



T.C.

BARTIN ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

METALÜRJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**AS21 MAGNEZYUM ALAŞIMLARININ FARKLI ORANLARDA KALAY
İLAVESİ İLE MİKRO YAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

HAZIRLAYAN

MEHMET MUSTAFA YILDIZ

DANIŞMAN

DOÇ. DR. ABDULLAH CAHİT KARAOĞLANLI

BARTIN-2019



T.C.

BARTIN ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

METALÜRJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**AS21 MAGNEZYUM ALAŞIMLARININ FARKLI ORANLARDA KALAY
İLAVESİ İLE MİKRO YAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN

Mehmet Mustafa YILDIZ

JÜRİ ÜYELERİ

Danışman	: Doç. Dr. Abdullah Cahit	- Bartın Üniversitesi
	KARAOĞLANLI	
Üye	: Doç. Dr. Yunus TÜREN	- Karabük Üniversitesi
Üye	: Prof. Dr. M. Sabri GÖK	- Bartın Üniversitesi
Üye	: Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI	- Karabük Üniversitesi
Üye	: Dr. Öğr. Üyesi Gülfem BİNAL	- Bartın Üniversitesi

BARTIN-2019

KABUL VE ONAY

Mehmet Mustafa YILDIZ tarafından hazırlanan “AS21 MAGNEZYUM ALAŞIMLARININ FARKLI ORANLARDA KALAY İLAVESİ İLE MİKRO YAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ” başlıklı bu çalışma, 13.03.2019 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak jürimiz tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Doç. Dr. Abdullah Cahit KARAOĞLANLI
(Danışman)

İkinci : Doç. Dr. Yunus TÜREN
Danışman

Üye : Prof. Dr. M. Sabri GÖK

Üye : Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Gülfem BİNAL

Bu tezin kabulü Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun/...../20... tarih ve 20...../.....-..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. H. Selma ÇELİKAY
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

BEYANNAME

Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre Doç. Dr. Abdullah Cahit KARAOĞLANLI danışmanlığında hazırlamış olduğum “AS21 MAGNEZYUM ALAŞIMLARININ FARKLI ORANLARDA KALAY İLAVESİ İLE MİKRO YAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ” başlıklı yüksek lisans tezimin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

13.03.2019

Mehmet Mustafa YILDIZ

ÖNSÖZ

Üniversite hayatım boyunca lisans ve yüksek lisans dönemlerinde her türlü konuda beni yalnız bırakmayarak danışmanlığımı üstlenen, araştırma konusunun seçiminden sonuçlandırılmasına kadar katkı ve emeklerini hiçbir zaman esirgemeyen değerli hocam Doç. Dr. Abdullah Cahit KARAOĞLANLI'ya saygıyla ve içtenlikle teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmasının sonuçlandırılmasına kadar Tez İzleme Komitesi üyesi olarak bizlere eşlik etme nezaketiyle kalmayıp mesleki, hayati ve bilimsel anlamda bilgi, görüş ve tecrübelerini benimle paylaşan değerli hocalarım Doç. Dr. Yunus TÜREN ve Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI'ya tez savunma sınavına jüri üyesi olarak katılan değerli hocalarım Prof. Dr. M. Sabri GÖK ve Dr. Öğr. Üyesi Gülfem BİNAL'e değerli fikir ve önerileri ile sağladıkları katkıları için teşekkür ve şükranlarımı sunarım. Deneysel çalışmalarım konusunda yardım ve desteğini esirgemeyen değerli hocalarım Arş. Gör. Dr. Hüseyin ZENGİN, Arş. Gör. Hüseyin ELÇİÇEK ve Arş. Gör. İsmail Hakkı KARA' ya teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her safhasında olduğu gibi tez çalışmam süresince de verdikleri moral ve destek ile beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan kıymetli eşim ve oğluma, aile büyüklerim ve dostlarıma sonsuz teşekkür ve şükranlarımı sunarım.

Mehmet Mustafa YILDIZ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

AS21 MAGNEZYUM ALAŞIMLARININ FARKLI ORANLARDA KALAY İLAVESİ İLE MİKRO YAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Mehmet Mustafa YILDIZ

Bartın Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Abdullah Cahit KARAOĞLALI

Bartın-2019, sayfa: 56

Bu çalışmada AS21 alaşımına ilave edilen %0,5-%1 ve %2 oranlarında Sn içerikli alaşımların basınçlı döküm yöntemi ile dökümleri yapılmış olup çekme, akma ve sertlik değerleri alınmıştır. Ayrıca OM ve SEM görüntüleri incelenmiştir.

AS21 magnezyum alaşımının hazırlanmasında %98,8 saflıkta magnezyum, alüminyum ve kalay kullanılmıştır. Alüminyum ve magnezyum külçeleri ergitildikten sonra kalay ilave edilerek istenen alaşımlamalar yapılmıştır. Bu aşamada hazırlanan deneysel malzememiz sırası ile AS21+%0,5 Sn, AS21+%1 Sn, AS21+%2 Sn hazırlanarak dökümleri gerçekleştirilmiştir.

En yüksek çekme akma ve yüzde uzama değerleri AS21-% 1Sn alaşımında görülmüştür. AS21-%0,5 Sn alaşımında çekme ve yüzde uzama değerlerinin Sn eklenmemiş alaşıma göre düştüğü gözlemlenmiştir. AS21-%2 Sn alaşımında AS21 alaşımına %2 oranında Sn ilavesinin etkisi çok az olduğu gözlemlenmiştir. AS21-%1 Sn alaşımında Mg_2Sn fazı ince çökeltiler halinde yapıda bulunduğundan dislokasyonların hareketini engelleme ve buna bağlı olarak çekme dayanımında bir miktar artış olarak gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: AS21; Kalay; Mikro yapı; Mekanik özellikler

Bilim Kodu: 604.02.04



ABSTRACT

M. Sc. Thesis

INVESTIGATION OF MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF AS21 MAGNESIUM ALLOYS REINFORCED WITH VARIOUS SN RATIO

Mehmet Mustafa YILDIZ

Bartın University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Metallurgical and Materials Engineering

Thesis Advisor: Assoc. Prof Abdullah Cahit KARAOĞLANLI

Bartın-2019, pp: 56

In this study, alloyed alloys containing 0,5%-1% and 2% Sn to the AS21 alloy were cast in the form of gravity and tensile hardness values were taken. Also OM and SEM images were examined.

In the preparation of AS21 magnesium alloy, 98,8% purity magnesium and aluminum were used. Pre alloy material was prepared with the addition of tin added to the AS21 alloy. After this step, our second melting process is prepared for casting process. The experimental material prepared at this stage was prepared as AS21+0.5% Sn, AS21+1% Sn, AS21+2% Sn, respectively.

According to experimental results, maximum tensile strength and percentage elongation were determined for the AS21-%.It was also observed that tensile and percent elongation values in the AS21-0,5% Sn alloy were decreased compared with the without Sn.In addition, it was observed that the addition of 2% Sn to the AS21 alloy has no important effect on tensile and elongation. The Mg_2Sn phase was dispersed as thin precipitates in the AS21-%1Sn alloy. These fine precipitate particles act as barriers to the motion of dislocations and provide resistance to slip, thereby the strength and hardness were in

creased.

Keywords: AS21; Microstructure; Mechanical Properties

Science Code: 604.02.04



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL VE ONAY	ii
BEYANNAME.....	iii
ÖNSÖZ	iv
ÖZET	v
ABSTRACT	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
 SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	 xv
 BÖLÜM 1 GİRİŞ.....	 1
1.1 Genel Bilgiler	2
1.1.1 Magnezyum	2
1.1.2 Magnezyum Alaşımlarının Kullanım Alanları	4
1.1.3 Magnezyum Alaşımları ve Standartları.....	9
1.1.4 Alaşım Elementlerinin Magnezyum Alaşımlarına Etkisi.....	10
1.1.4.1 Alüminyum	11
1.1.4.2 Çinko	12
1.1.4.3 Mangan	13
1.1.4.4 Kalsiyum.....	13
1.1.4.5 Kalay.....	14
1.1.4.6 Kurşun	15
1.1.4.7 Titanyum.....	15
1.1.4.8 Stronsiyum	16
1.1.4.9 Toryum	16
1.1.5 Toprak Alkali Elementler (RE).....	17
1.1.5.1 Silisyum	17
1.1.5.2 Magnezyum-Alüminyum Alaşımları	18
1.1.4.3 Magnezyum-Alüminyum-Çinko Alaşımları.....	18
1.1.4.4 Magnezyum-Alüminyum-Toprak Alkali Elementleri Alaşımları.....	20
1.1.4.5 AS21 Alaşımları.....	22

1.2 Magnezyum Alaşımlarının Döküm Yöntemleri.....	24
1.2.1 Kum Kalıba Döküm	24
1.2.2 Kokil Kalıba Döküm	25
1.2.3 Basınçlı Döküm	25
1.2.4 Yarı Katı Döküm Yöntemleri	26
1.3 Soğuma Hızının Mekanik Özelliklere Etkileri.....	27
1.3.1 Soğuma Hızının Mikro Yapıya Etkileri	28
1.3.2 Soğuma Hızının Mekanik Özelliklere Etkileri	28
1.4 Magnezyum Alaşımlarının Mekanik Özellikleri.....	29
BÖLÜM 2 MATERYAL VE YÖNTEM.....	30
2.1 Malzeme.....	30
2.2 Atmosfer Kontrollü Ergitme Ünitesi	30
2.3 Ergitme ve Alaşımlama İşlemi.....	31
2.3.1 Deneyin Yapılışı	31
2.3.2 Çekme Testi.....	32
2.3.3 Sertlik Testi.....	33
2.3.4 Mikro Yapı Çalışmaları.....	34
BÖLÜM 3 DENEYSEL SONUÇLAR	35
3.1 Optik Mikroskop Mikroyapı Sonuçları.....	35
3.2 Elektron Mikroskobu Mikroyapı Sonuçları	36
3.2.1 Elektron Mikroskobu Kırık Yüzey Sonuçları.....	37
3.3 EDX Sonuçları	38
3.4 Sertlik Deneyi Sonuçları.....	41
3.5 Çekme Testi Deneyi Sonuçları.....	43
BÖLÜM 4 SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE TARTIŞMA	44
4.1 Mikroyapı Sonuçlarının Değerlendirilmesi ve Tartışma	44
4.2 Mekanik Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi ve Tartışma.....	45
4.2.1 Çekme Dayanımı Sonuçlarının Değerlendirilmesi	45
4.2.2 % Uzama Sonuçlarının Değerlendirilmesi	46

4.2.2 Akma Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	47
BÖLÜM 5 SONUÇ VE ÖNERİLER	49
KAYNAKLAR	51
ÖZGEÇMİŞ	55



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil	Sayfa
No	No
1.1: Yüksek dayanımlı belirli malzemelerin 20. yy'da üretimi.....	4
1.2: 2015 yılında Magnezyum üretimi yapan ülkelerin yüzdeleri.....	5
1.3: Yıllara göre ABD ve Avrupa' da magnezyum kullanımı	6
1.4: 2011 yılında Avrupa' da Magnezyum kullanımı (330 000 ton).....	6
1.5: Mg alaşımlarının gelişimi için VW kullandığı teknik bölümleri stratejisi.....	7
1.6: Magnezyum alaşımlarının otomobillerde bazı kullanım yerleri	8
1.7: Mg-Al denge diyagramı.	12
1.8: Mg-Zn denge diyagramı.....	13
1.9: Magnezyum-Mangan denge diyagramı.	14
1.10: Magnezyum-Kalsiyum denge diyagramı.	15
1.11: Mg-Sn denge diyagramı.	16
1.12: Magnezyum-Kurşun denge diyagramı.....	16
1.13: Magnezyum-Titanyum denge diyagramı.	17
1.14: Mg-Sr denge diyagramı.....	18
1.15: Mg-Th denge diyagramı.....	18
1.16: Magnezyum -Silisyum denge diyagramı.	19
1.17: Mg-Al-Zn esaslı döküm alaşımlarının dökülebilirlikleri.	20
1.18: Magnezyum, Alüminyum, Çinko üçlü faz diyagramı	21
1.19: Silisyumlu Mg alaşımlarının mikroyapısı.	23
1.20: Mg alaşımları basınçlı döküm makinesi a) soğuk b) sıcak kameralı.....	26
1.21: Yarı-katı sıcaklık ve durumu.	26
1.22: Yarı-katı döküm yöntemi.	27
1.23: a) Klasik dökme yöntemi b) Hızlı katılaştırma yöntemi ile üretilmiştir.	28
1.24: Mg alaşımlarının gerilim-uzama eğrileri (basınçlı döküm).	29
2.1: Atmosferi kontrollü ergitme ünitesinin şematik gösterimi.	31
2.2: Çelik Pota Teknik Resim.	32
2.3: Çekme test numunesi.	33
3.1: 100X OM mikroyapı (a) AS21 (b) AS21+Sn 0,5 (c) AS21+%1 Sn (d) AS21+%2 Sn.	35
3.2: 200X OM mikroyapı (a) AS21 (b) AS21+%0,5 Sn (c) AS21+%1 Sn (d)	

AS21+%2 Sn.	36
3.3: 500X OM (a) AS21 (b) AS21+%0,5 Sn (c) AS21+%1 Sn (d) AS21+%2 Sn.	37
3.4: SEM mikroyapı görüntüleri (a) AS21 (b) AS21+%0,5 Sn (c) AS21+%1 Sn (d) AS21+%2 Sn.	38
3.5: Çekme testi sonrası alınan kırık yüzey SEM görüntüleri (a) AS21 (b) AS21+Sn 0,5 (c) AS21+1 Sn (d) AS21+2 Sn.	39
3.6: Şelikde Sn içermeyen ve %2 Sn içeren AS21 alaşımının çizelgesi EDX analizleri (a) Sn içermeyen AS21 alaşımı (b) %2 Sn içeren AS21 alaşımı	40
3.7: %0,5 Sn içeren AS21 alaşımının noktasal EDX analiz sonuçları	41
3.8: %2 Sn içeren AS21 alaşımının noktasal EDX analiz sonuçları	39
3.9: Sertlikölçüm değerlerinin gösterimi	43
3.10: Çekme, Akma ve % Uzama değerleri.....	44

TABLÖLER DİZİNİ

Tablo	Sayfa
No	No
1.1: Magnezyum elementinin fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	3
1.2: Alaşıma eklenen elementlerin kısaltmaları.	9
1.3: Magnezyum alaşımlarına göre standartları.	10
1.4: Magnezyum alaşımlarında oluşan intermetalik fazlar ve çözünürlük oranları.	11
1.5: Magnezyum alaşımlarının oda sıcaklığında mekanik özellikleri.	23
1.6: AS21 alaşımlarının oda sıcaklığında mekanik özellikleri.....	29
2.1: Magnezyum alaşımı oranları.	30
3.1: AS21-AS21+%0,5 Sn-AS21-%1 Sn-AS21-%2 Sn Sertlik Ölçüm değerleri.	43

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Bi	: Bizmut
gr/m ³	: Yoğunluk ölçü birimi
m	: Metre
m ²	: Metrekare
m ³	: Metreküp
Mg	: Magnezyum
Pb	: Kurşun
Sb	: Antimuan
Si	: Silisyum
Sr	: Stronsiyum
Th	: Toryum
Zn	: Çinko
γ	: Birim hacim ağırlığı
$\Gamma(x)$	: Gama işlevi
σ	: Normal gerilme

KISALTMALAR

AS21	: Magnezyum Alüminyum alaşıımı
EDX	: Taramalı Elektron Mikroskobu
FeMn	: Demir Mangan
$K_2MgCl_4 \cdot 6H_2O$	: Magnezyum Cevheri
Mg ₁₇ Al ₁₂	: Magnezyum Alüminyum alaşıımının oransal karışımı
Mg ₂ Si	: Magnezyum Silisyum alaşıımı
Mg ₂ X	: Magnezyum ile alaşıım oluşturan X alaşıımı
MgCO ₃	: Dolomit
Mg ₂ Sn	: Magnezyum Kalay alaşıımı
Mg ₂ Ca	: Mangan Kalsiyum Bileşimi
OM	: Optik Mikroskop
SF ₆	: Yalıtım Gazı

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Enerji kaynaklarının hızla tüketimi ve bununla birlikte meydana gelen çevresel kirlilik birçok endüstri alanında inovasyon çalışmalarının artmasına sebep olmuştur. Özellikle otomotiv sektöründe ortaya çıkan çevresel kirlilik ve aşırı enerji tüketimi, çevre dostu ve minimum enerjiye gereksinim duyan malzemelerin geliştirilmesine olanak sağlamaktadır. Araçlar da daha hafif malzemelerin kullanımı ve aerodinamik yapı açısından günümüzde birçok çalışma yürütülmektedir (Vecchiarelli, 1992). Örneğin araçlarda ortalama 200 kg'lık bir azalma aracın 100 km yol almasında ortalama 1lt yakıt tasarrufu sağlaması açısından önemlidir ve aynı zamanda araçların ağırlıklarının da meydana gelen azalmalar egzoz gazlarının atmosfere verilmesinde azalma sağlayacaktır (Dobrzanski vd., 2007). Yakıt tüketimindeki azalma için otomotiv endüstrisinde ağırlık azaltılmasına gerek olduğu gibi güvenilir ve sağlam malzeme kullanımı gerekmektedir. Bu bağlamda otomotiv endüstrisi daha hafif, ekonomik ve ergonomik malzemelerin geliştirilmesine ihtiyaç duymaktadır. Otomotiv endüstrisi bu konuda arayış içerisinde (Durrani, 1993). Bu arayış otomotiv endüstrisini hafif metallerden olan magnezyum (Mg) ve alaşımlarının kullanımına yöneltmiştir. Magnezyum kullanımı otomotiv sektöründe her geçen yıl artarak devam etmektedir. Artışın ileriki yıllarda da artması beklenmektedir (Barber, 2004).

Dünyada hammadde ve enerji kaynaklarının gün geçtikçe azalması dünyadaki enerji kaynaklarının korunması ve geri dönüşümünün önemini arttırmaktadır. Magnezyum yapı malzemesi metalik olarak en hafif malzemedir (Gaines vd., 1996).

Avrupa Birliği otomotiv üreticilerinin hedefi otomobillerde kullanılacak malzemelerin geri dönüşümünü arttırarak geri dönüşüm oranlarını en üst düzeyde tutmaktır. Bu amaçla geri dönüştürülebilir malzemelerin geliştirilmesine önem vermektedir. Büyük otomotiv sektörleri içerisinde bulunan Japonya'da geri dönüştürülebilir malzeme üretiminin kullanımı zorunlu hale getirilmiştir. Amerika Birleşik devletlerinde otomobil üretiminde magnezyum kullanımı her geçen yıl artarak devam etmektedir. Bunların yanında Almaya ve İsveç gibi otomobil üretimi yapan diğer ülkeler de aynı şekilde magnezyum ve geri dönüştürülebilir malzemelere yönelmişlerdir (Durrani, 1993).

Magnezyum alaşımlarının düşük yoğunlukta ve düşük ağırlıklarından dolayı otomotiv, havacılık ve savunma sanayi gibi yaygın bir kullanım alanına sahiptir (Zhou vd., 2009).

Mekanik özellikleri bakımından üstün özellikler taşıyan magnezyum yoğunluk ve buharlaşma bakımından plastiğe benzerken, metalik ve mekanik özelliklere de sahiptir. Magnezyum mühendislikte kullanılan plastiklere oranla sertliği çok yüksektir. Geri dönüşüm oranı çok fazladır (Westengen, 2006).

Magnezyum ve magnezyum alaşımları aynı zaman da; korozyon, süneklik dirençleri açısından üstün özelliklere sahiptir. Magnezyumun hegzagonal sıkı paket (HSP) yapısına sahiptir. Bu kafes yapısı magnezyum üretiminin kristal yapısına bağlı olarak oksijenle temas ettiğinde alevlenebilirlik özelliği ve dökümde problemlere neden olmaktadır. Günümüze kadar diğer yoğunluğu düşük metaller kadar çalışmalar yapılmamasının en büyük nedenleri olarak bunlar gösterilebilmektedir (Westengen, 2006).

Kullanılan farklı döküm yöntemlerine ve alaşımlanmalara bağlı olarak şekillendirilebilirlikleri değişebilmektedir. Özellikle AS serisi alaşımların mekanik özellikleri sebebiyle gün geçtikçe artan kullanım alanına sahiptir (Westengen, 2006). Magnezyumun kullanım değerinin gün geçtikçe artması ve üstün avantajları nedeni ile kullanılabilirliği açısından farkında lığı ön plana çıkarmakta ve literatürde çalışma alanı bulunmaktadır.

Bu çalışmanın hedefi AS serisi (AS21) magnezyum alaşımlarının mekanik özelliklerini geliştirilmesi ve özgün yeni yöntemler oluşturularak farklı oranlarda kalay ilavelerinin mekanik ve mikro yapı üzerine etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

1.1 Genel Bilgiler

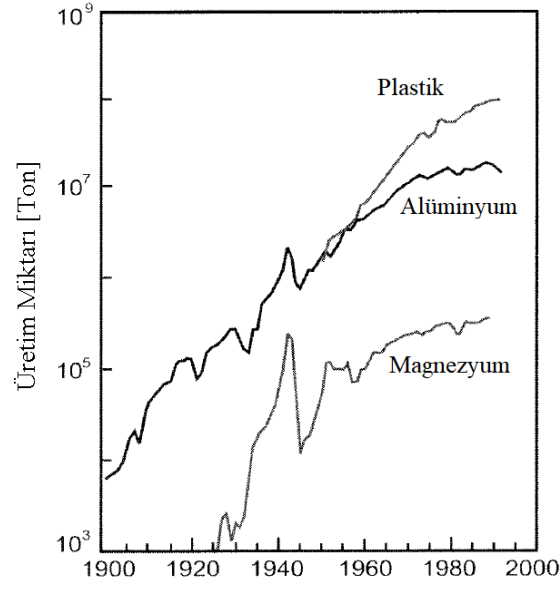
Magnezyum uygulamalarda kullanılan en hafif metallere dendir. Magnezyum elementi ilk olarak Sir Humprey Davey tarafından 1808 yılında bulunmuştur. Dünya üzerinde magnezyum oranı %2,7 oranında yer kabuğunda ve denizlerde bulunmaktadır. Periyodik cetvelde IIA grubunda yer alan gümüş beyazı renkte metal elementi Alkali toprak metallere dendir. Doğada en çok bulunan 8. Elementtir. Magnezyum saf haldeki mekanik ve fiziksel özellikleri aşağıdaki Tablo 1’ de verilmiştir.

1.1.1 Magnezyum

Tablo 1.1: Magnezyum elementinin fiziksel ve kimyasal özellikleri

Simgesi	Mg
Atom numarası	12
Atom Ağırlığı	24.312 g/mol
Kaynama noktası	1107 °C
Ergime noktası	650°C
Yoğunluk	1,74 gr/ cm ³
Elektron düzeyi	3s ²
Kristal Yapısı	Hegzagonal
Çekme Dayanımı	80-180 MPa
Yoğunluk Modülü	45 MPa
Çekme	%4,2
Atom hacmi	14.0 (Atom ağırlığı / Yoğunluk)
Özgül ısısı	0,25 °C/gr
Asit-Baz özelliği	Baz
Atom yarıçapı	1.60°A(12 koordinasyon sayılı metalik durumda)
İyon yarıçapı	0.65°A(6 koordinasyon sayılı kristaldeki)

2001 yılındaki veriler incelendiğinde en çok kullanılan alaşım 143190 ton ile alüminyum alaşımlandırma, 112200 ton ile kükürt giderme 33000 ton/yıl ile de küresel grafitli dökme demir kullanılmıştır (Plano, 2002). Şekil 1’de yüksek dayanımlı belirli malzemelerin 20. yy daki üretimi gösterilmektedir (Mordike vd., 2001).



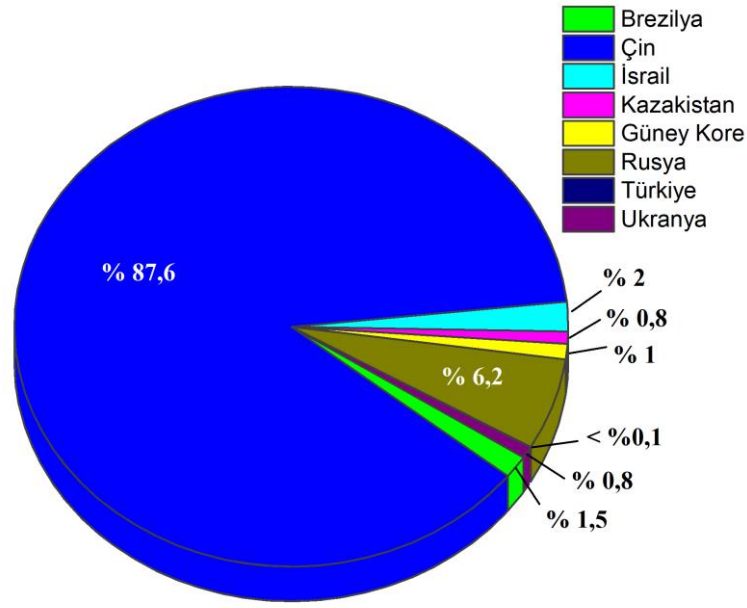
Şekil 1.1: Yüksek dayanımlı belirli malzemelerin 20. yy daki üretimi

1.1.2 Magnezyum Alaşımlarının Kullanım Alanları

Saf halde metallerin kullanılması dayanımlarının düşük olması nedeni ile mümkün olmamaktadır. Magnezyum aynı şekilde saf halde kullanımı mümkün değildir. Magnezyum alaşımları en önemli özelliği hafifliğidir. Magnezyum alaşımları çekme dayanımı alüminyum ve çeliğin çekme dayanımlarından daha yüksektir (Çıtak, 2004).

Otomotiv ve uzay sanayisinde teknolojinin hızla gelişmesi ile birlikte malzemeler de aranan hafiflik, dayanım, korozyon direnci gibi özellikler ve buna bağlı olarak yakıt sarfiyatının minimize edilmesi isteği sektörü magnezyum alaşımlarına yönelmeye itmiştir. Magnezyum alaşımlarının düşük yoğunluğu mühendislik uygulamaları açısından iyidir. Magnezyum birinci Dünya savaşında fişek sanayi sektöründe çok yaygın bir şekilde üretilmektedir. Bu esnada magnezyum kullanımı, İngiltere, Kanada, Amerika Birleşik Devletlerin de yayılmıştır (Zhang, 2000).

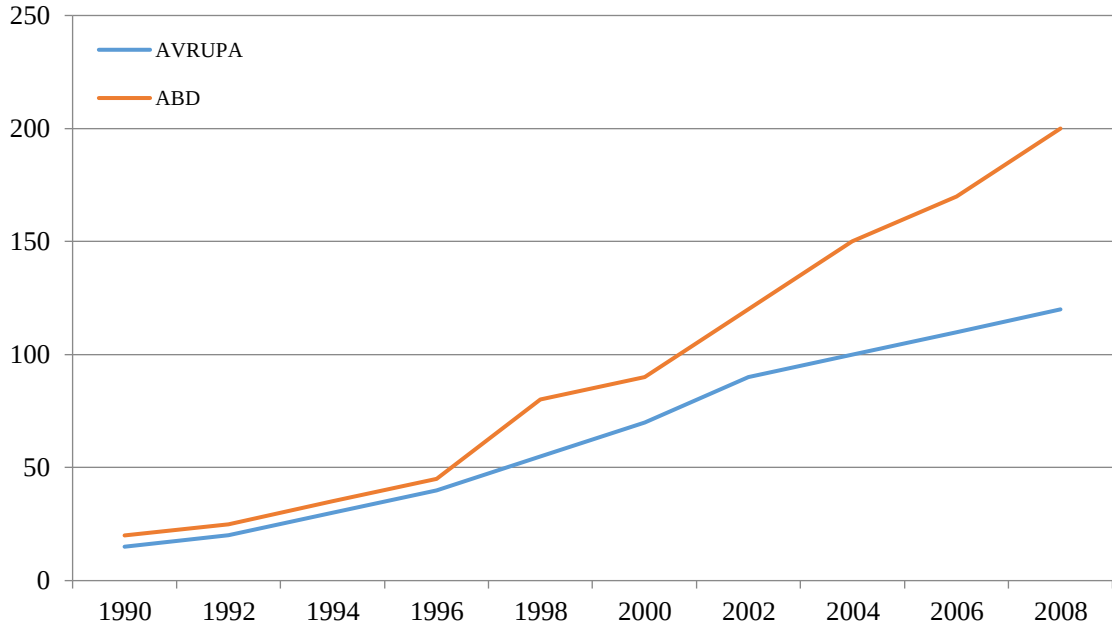
Şekil 1.2’de 2015 yılında Magnezyum üretimi yapan ülkeler ve üretim yüzdeleri gösterilmiştir.



Şekil 1.2: 2015 yılı itibariyle Magnezyum üretimi yapan ülkelerin yüzdeleri

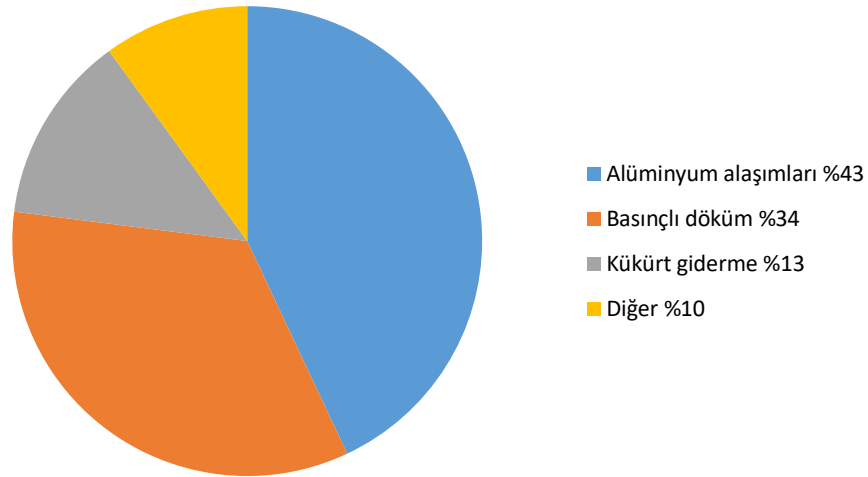
Magnezyum üretiminde kullanılan magnezyum cevherleri karnolit ($K_2MgCl_4 \cdot 6H_2O$) magnezit ($MgCO_3$) ve dolomit $MgCa (CO_3)_2$ 'dir. Bunların yanında doğal yer altı ve yerüstü tuzlu sulardan denizlerden magnezyum elde edilmektedir. Magnezyum üretimi iki farklı şekilde yapılmaktadır. Ergimiş maden ($MgCl_2$) indirgeme uygulamasına göre elektrolizi dolomit ten kimyasallar ile çökertme ve arıtma şeklidir. Diğer yöntem ise direkt tuzlu sulardan alınan magnezyum oksidin (MgO) sıcaklık redüksiyon ile imalatıdır (Gaines vd., 1996).

Magnezyum alaşımlarının tane inceltici etkisi 1938 yılında bulunmuştur. Magnezyumun alaşımlarını Mg-Al-Zn alaşımları korozyona karşı direnci artırılması 1925'de yapılan bir çalışma ile ortaya konulmuştur. Bu gelişmelerle beraber günümüze kadar magnezyumun yapısal olarak kullanılmasına teşvik etmiştir (Zhang, 2000). II. Dünya savaşı sırasında magnezyuma olan talep git gide artmış ve Amerika Birleşik Devletlerinde üretilen magnezyum miktarı 1938 -1943 yılları arasında 8 kat artmıştır. 1943 yılında gelindiğinde Amerika Birleşik Devletlerinde üretilen magnezyum miktarı 184000 tonu geçmiştir. Askeri amaçlarla kullanılan savaş araçlarının imalatı askeri uçakların imalatında kullanılmıştır. Uçakların motor parçaları, uçak iskeleti ve iniş takımları öncelikli olarak birçok yerinde kullanılmıştır. Şekil 1.3'de 1991-2008 yılları arasında Avrupa ve ABD ' de kullanılan Mg miktarları gösterilmiştir.



Şekil 1.2: Yıllara göre ABD ve Avrupa’ da magnezyum kullanımı

Şekil 1.3’te görüldüğü gibi 1997-2008 yılları arasında A.B.D ve Avrupa’da Mg üretimi oldukça artmıştır (Mordike vd., 2001). Şekil 1.4’te 2011 yılında Avrupa da Magnezyumun kullanım alanları görülmektedir (Zhang, 2010).

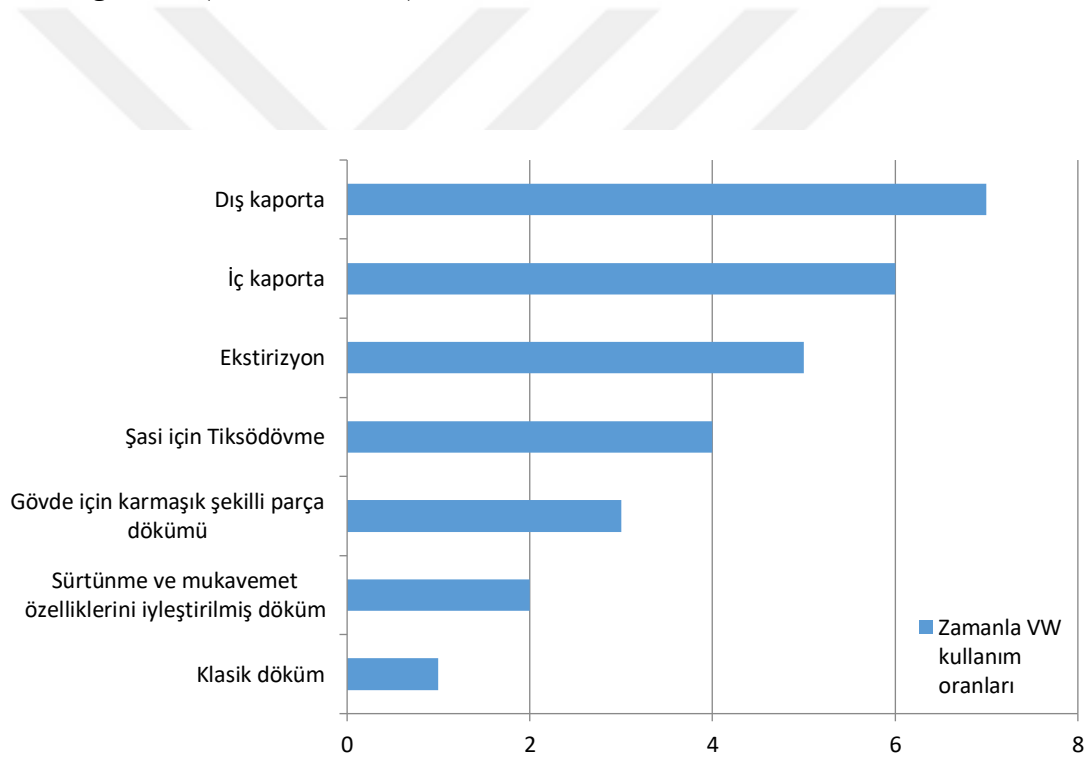


Şekil 1.3: 2011 yılında Avrupa’ da Magnezyum kullanımı (330 000 ton)

Magnezyumun kullanımı sert ve yumuşak maddeler olmak üzere iki grupta toplanabilir. Metallerin içinde hiçbir yabancı madde bulunmayan saf haldeyken yumuşak ve mühendislik olarak kullanılmayacak haldedir. Alüminyum, kalay, çinko gibi metallerle

karıştırılarak alaşım yapıldığında sertleşir (Zhou vd., 2009).

Magnezyum alaşımlarına olan en büyük ilgi otomotiv sektöründe oluşmaktadır. Bu ilginin en büyük nedeni magnezyum alaşımlarının hafifliği ile elde edilen ağırlık azalmasının ve bunun sonucu olarak gaz Emisyonu'nun azaltılmasıdır. Özellikle otomotiv sektörünün hafif metallerle ilgilenmesi sadece günümüz otomobilleri değil aynı zamanda geleceğin araçları içinde büyük önem taşımaktadır. Güneşten elde edilen elektrikli ya da hidrojen gibi alternatif enerji kaynakları ile çalıştırılması planlanan otomobillerde de hafiflik önemli bir ihtiyaç olarak doğacaktır. Gelecekte üretilen otomobillerde istenen yakıt tüketimi 3 litre/100 km hedef konulmuş bu amaçla otomobillerde yaklaşık olarak %30' luk bir ağırlık azalması gerektir (Zhou vd., 2009).



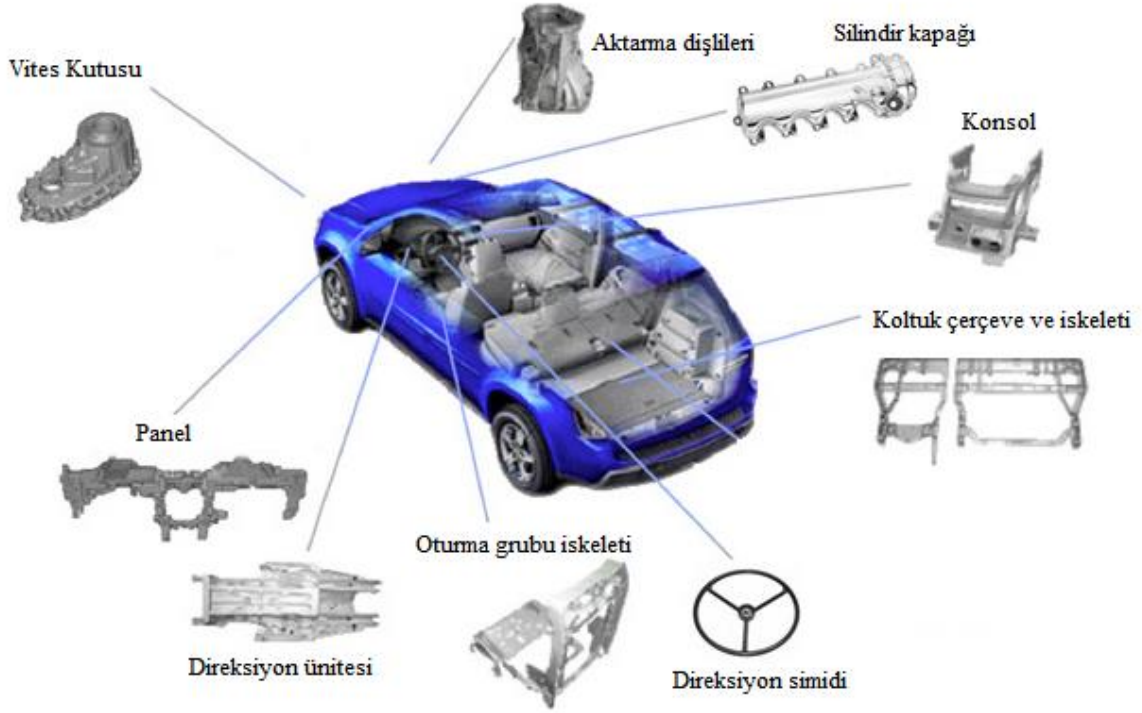
Şekil 1.4:Mg alaşımlarının gelişimi için VW kullandığı teknik bölümleri stratejisi

Magnezyumun mühendislik değerleri yüksek metallerle karşılaştırıldığında yüksek fiyatlı olmasına karşın döküm sonuçlarının istenilen teknik şekli vermesi otomobillerde kullanımını giderek arttırmaktadır (Eliezer vd., 1998).

2020 yılına kadar magnezyum alaşımları otomotiv ve yan sanayide kullanımı %360 artması bekleniyor (Zhang, 2010).

Mg-Al-Mn (AS21) alaşımları en fazla sanayinin birçok dalında ve otomotiv sektöründe kullanılmaktadır. Diğer magnezyum alaşımlarıyla karşılaştırıldığında AS serisi magnezyum alaşımları daha iyi döküm daha iyi dayanım özellikleri göstermektedir.

Bazı otomobil parçalarında magnezyum alaşımlarının kullanımı Şekil 1.6'da gösterilmiştir. Magnezyum alaşımlarının otomobillerin birçok bölgesinde kullanımı uygun görülmektedir.



Şekil 1.5: Magnezyum alaşımlarının otomobillerde bazı kullanım yerleri

Magnezyum döküm alaşımlarının gelecekte daha geniş kapsamlı kullanılabilecek olduğunun en büyük işaretlerinden biride BMW firmasının yeni geliştirmelerinde Al-Mg alaşımları ve kompozit malzemeleri kullanmaya başlamasıdır. Firma magnezyum alaşımlarını yüksek sıcaklık motor uygulamalarında kullanması yeni bir devrin başlangıcı anlamına gelmektedir (Landkof vd., 2005).

Mg-Al-Mn esaslı alaşımlar yüksek uzama ve yüksek darbe dirençlerine sahiptirler (Vogel, 2002). AS41,AS21 alaşımlarından daha yüksek sürtünme dayanımı ile karakterize edilen aktarma parçaları imalatı için kullanılırlar (Zhang, 2000).

Magnezyum alaşımlarından AM alaşımları yüksek gevreklik ve enerji sönümleme

özellikleri bakımından otomobil parçalarında direksiyon parçaları, tekerlek elemanları ve koltuk iskelet yapısında kullanımı yaygındır (Mordike vd., 2001).Şekil 1.6’da, Mg alaşımlarından dökülmüş parçalar görülmektedir.

1.1.3 Magnezyumun Alaşımları ve Standartlar

Magnezyum alaşımları ASTM (A275) standartları tarafından belirlenmiştir. Magnezyum alaşımları genellikle iki büyük harften ve onu takip eden iki veya üç rakamlardan oluşan sistemle tanımlanır. Başında bulunan harfler alaşımın iki ana alaşımı ile ilgilidir. İlk harf en yüksek elementi ikinci harf ise ikinci en yüksek elementi gösterir.

Başlarda bulunan harfleri takip eden ilk numara ilk harf elementinin içerisindeki yüzdesini ve ikinci numarada ikinci harfin elementinin ağırlıkça yüzdesini göstermektedir. Tablo 1.2’de bu şekilde uygulanan alaşım elementleri bir tek harfle gösterilmiş şekilde verilmiştir (Eker, 2008).

Tablo 1.2: Alaşıma konulan elementlerin kısaltmaları

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: AS 21 alaşımını aşağıdaki gibi örnekleyebiliriz.

A: Al’ yi yani magnezyum içerisindeki magnezyumdan sonraki en fazla elementi gösterir.

S: Si’ yi yani ikinci olarak magnezyum alaşımı içerisindeki en fazla elementi gösterir.

2: Alaşımda Al oranını ortalama olarak %2 olacağını ifade eder

1: Alaşımdaki Si oranını yaklaşık %1 olacağını ifade eder.

Magnezyum alaşımlarına göre standartları Tablo1.3’de gösterilmiştir(Zhang, 2000).

Tablo 1.3:Magnezyum alaşımlarına göre standartları

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

1.1.4 Alaşım Elementlerinin Magnezyum Alaşımına Katkısı

Malzeme biliminde metaller genellikle yalnız başına kullanılmadığı gibi magnezyumda yalnız başına kullanılamamaktadır. Magnezyuma dayanım ve korozyon direnci sağlamak için magnezyuma alaşımlama yapılarak döküm ve mühendislik özellikleri iyileştirilip istenilen özelliklerde ürün elde edilebilmektedir. Magnezyum hegzagonal yapıya sahip olduğundan tane çapından kaynaklı fazla sayıda element ile katı çözünebilirliğe sağlanabilir. Magnezyum alaşımları içerisinde Cu, Be, Ca, Al, Zr, Mn, Ni, Sn, Ag, Si, Zn, ve Fe ana elementlere K, Na, Li alkali ve Nd, Ln, Ce, Y toprak elementleri eklenerek alaşımlandırma yapılabilir. Bu elementler ile ikili alaşımlama üçlü alaşımlama yapılarak magnezyum genellikle yüksek mukavemet ve yüksek ağırlık dayanımına sahip olmaktadır (Barber, 2004).

Magnezyum alaşımları katı eriyiklerde sertleşme ve çökelti sertleşmesi önemli sertleştirme mekanizmalarıdır. Hume-Ruthery araştırmalarında; eğer çözünen ve çözen atomların

atomik çapları arasındaki fark %14-15 fazla ise katı çözelti oluşmaz. Katı çözelti oluşturabilmek için iki elementinde benzer kristal yapıya sahip olması gerekir (Zhang, 2000).

Tablo 1.4:Magnezyum alaşımlarında oluşan intermetalik fazlar ve çözünürlük oranları

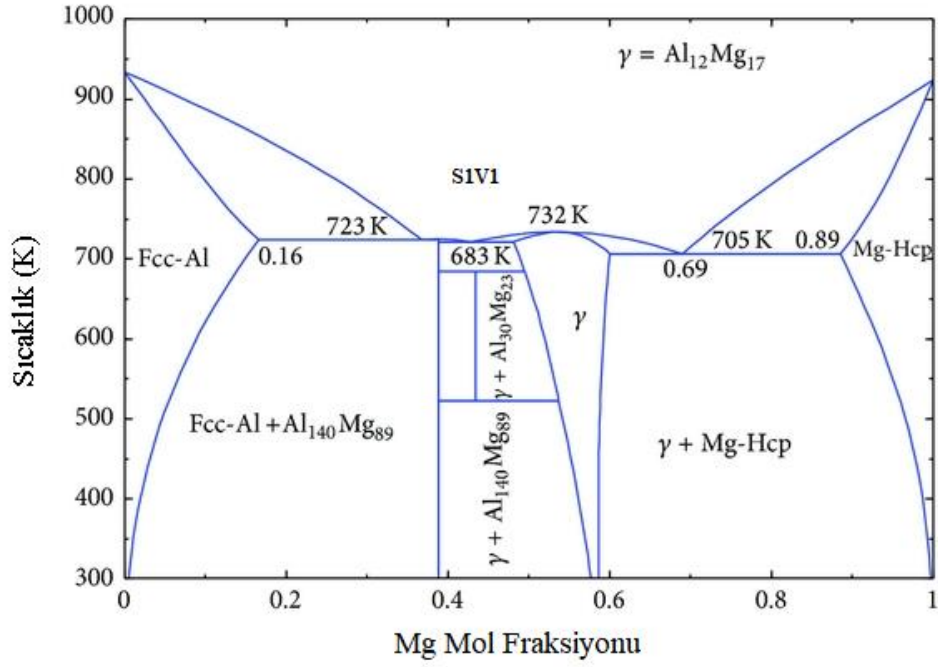
Sistem	Max. Çöz		Faz	Ergime Noktası °C	Sistem	Max. Çöz		Faz	Ergime Noktası °C
	%ağ	%at				%ağ.	%at		
Mg-Al	12,7	11,6	Mg ₁₇ Al ₂	402	Mg-Sm	5,8	0,99	Mg ₆₂ Sm	-
Mg-Ca	0,95	0,58	Mg ₂ Ca	714	Mg-Nd	3,6	0,63	Mg ₄₁ Nd ₅	560
Mg-Sc	25,9	15,9	MgSc	800	Mg-Th	5,0	0,49	Mg ₂₃ Th ₆	772
Mg-Mn	2,2	1,0	Mg ₂ Mn	1245	Mg-Dy	25,8	4,83	Mg ₂₄ Dy ₅	610
Mg-Zn	8,4	3,3	MgZn	347	Mg-Ho	82,0	5,44	Mg ₂₄ Ho ₅	610
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	MgZr	1855	Mg-Yb	3,3	0,48	Mg ₂ Yb	718
Mg-Ag	15,5	4,0	Mg ₃ Ag	4932	Mg-Lu	41,0	8,80	Mg ₂₄ Lu ₅	-
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

Aşağıda magnezyum alaşımlarında kullanılan magnezyumun ticari değerini yükselten alaşımlar aşağıda kısaca açıklanmıştır.

1.1.4.1 Alüminyum

Magnezyum alaşımlarda Al, çok kullanılan alaşımlama elementlerindendir. Alüminyum katkısı alaşımın çekme mukavemetini, katılaşma ve sertliğini süresini artırmakta, ama darbe dayanımını ve sünekliğini azaltmakta. Dökülebilirliğini arttırmakla birlikte magnezyumun katı çökelti mukavemetini ve dökümlerde alaşımları mikro gözeneklerini olumlu yönde etkiler. Alaşıma eklenen Alüminyum oranı %6'dan yüksek ise alaşımın ısıl işleme özelliği artar. Çökelti sertleşmesi ve katı eriyik sertleşmesi ile oluşan Mg₁₇Al₁₂

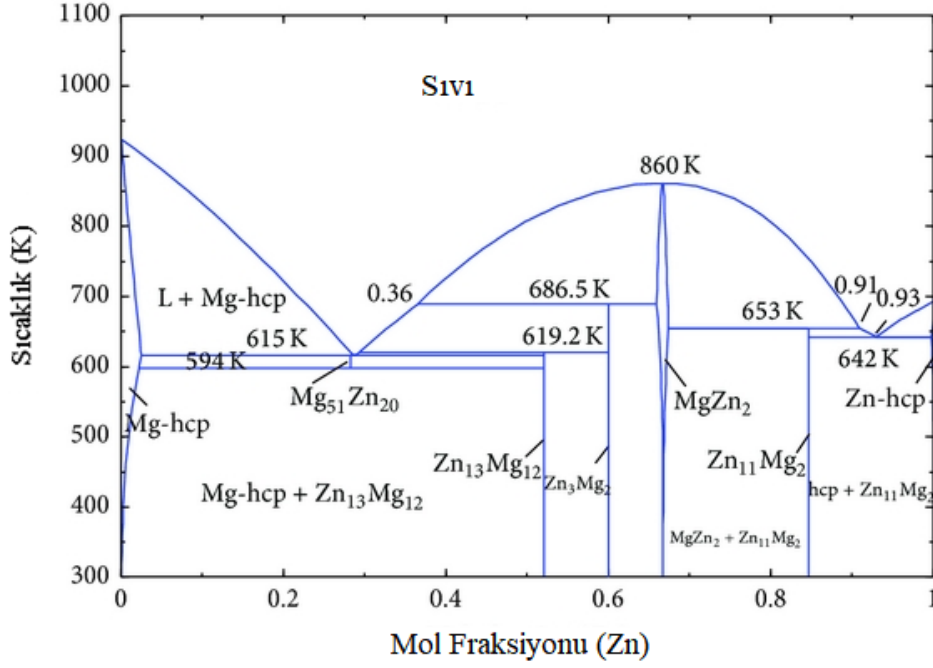
Inter metaliği düşük sıcaklıklarda meydana gelerek alaşımın mukavemetini artırır (Barber, 2004).



Şekil 1.6: Mg-Al denge diyagramı

1.1.4.2 Çinko

Alaşıma eklenen çinko tane sınırlardaki ötektik oluşumlarını artırarak, alaşımın katılaşma sıcaklığını aşağıya çekmektedir. Korozyon özelliklerindeki bakırın etkisi negatif yöndedir. Bu negatifliği ortadan kaldırmak amaçlı çinko ilavesi yapılır. Çinko sıcak yırtılma oluşturduğu için %2 ile aralıktadır. Bununla birlikte çinko alaşımın çekme dayanımında olumlu yönde etkilemektedir (Barber, 2004).

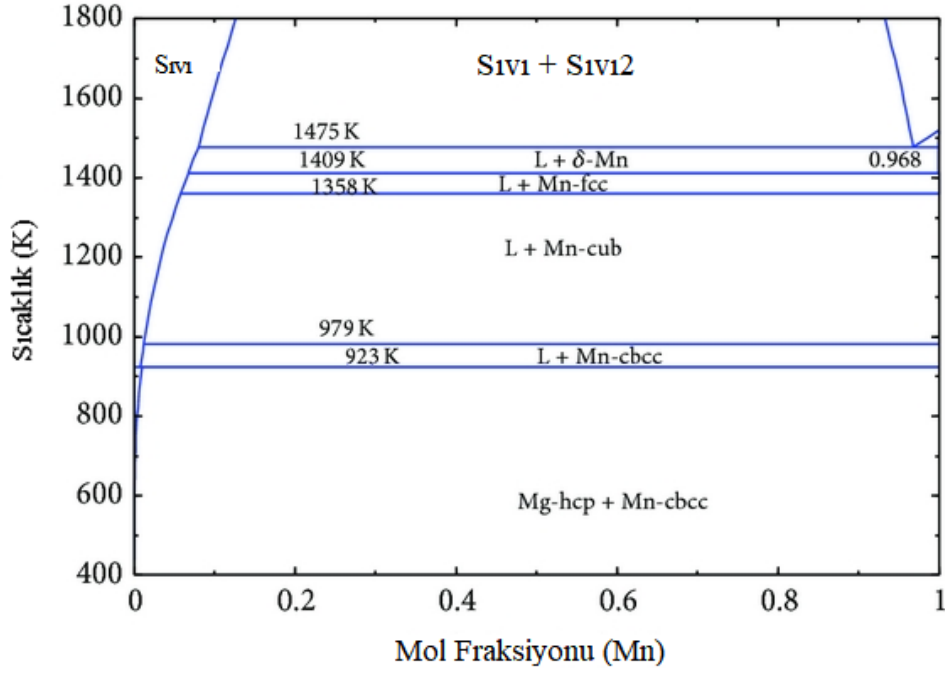


Şekil 1.7: Mg-Zn denge diyagramı

1.1.4.3 Mangan

Magnezyum alaşımına ilave edilen mangan yüksek orandan korozyon direncinin yükseltmek için %0,1-0,5 arasında alaşıma ilave edilir. Manganın magnezyum alaşımlarında, korozyon dayanımına etkisi yüksektir. Alaşımda FeMn çökeltlerinde, Demir'in kontrolü amaçlı Mangan eklenir. Mn, Magnezyum alaşımlarının sürünme direncini artırır ve demirinin etkisini düşürdüğü için, korozyonu önler. Bununla ek olarak Mg alaşımlarının dayanımında Mangan'ın etkisi fazla değildir (Schwam vd., 2000).

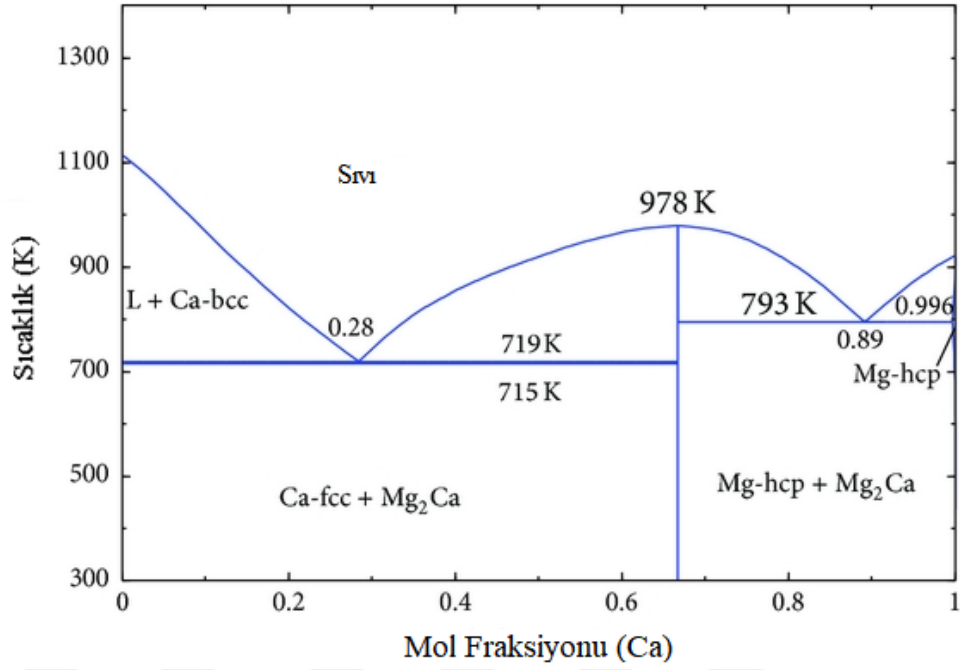
Şekil 1.9'da Mg-Mn denge diyagramına göre Mangan, Magnezyum içersinde oranı % 3,4'ten az olmak kaydı ile katı eriyik oluşturabilmektedir.



Şekil 1.8: Magnezyum-Mangan denge diyagramı

1.1.4.4 Kalsiyum

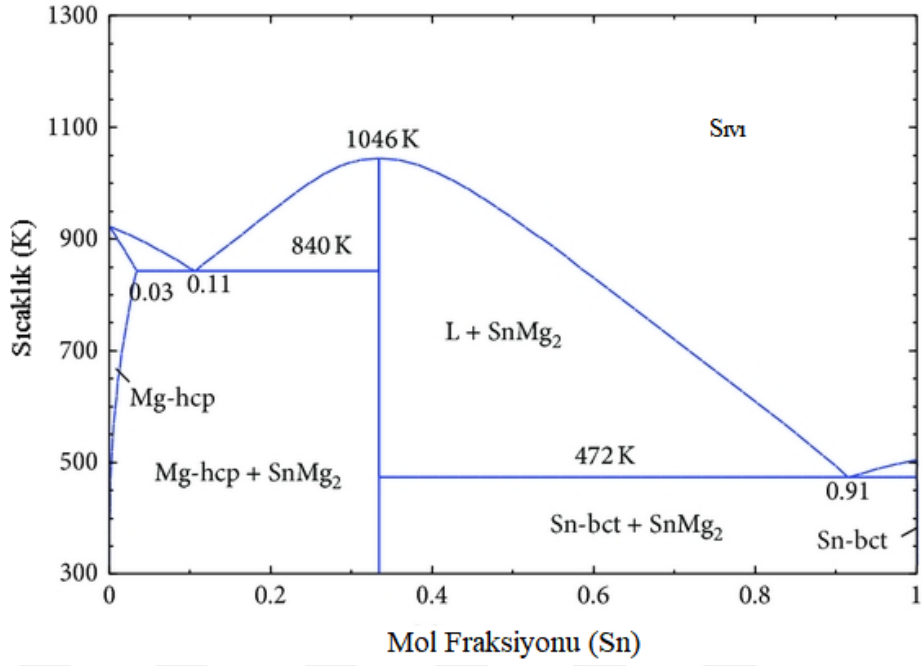
Kalsiyum'un, magnezyum içerisinde maksimum çözünübilirliği çok düşüktür. İnter metalik bileşim oluşturan Mg_2Ca 'un ergime noktası $715^{\circ}C$ 'ye yükselir. Magnezyumda kalsiyum belirli oranda çözünübilirliği katı ergimiş sertleşmesine faktörü çok azdır. Magnezyum alaşımlarına %1,1 oranında eklenen Kalsiyum temas direncini arttırılmasını yanı sıra sıcak yırtılmalara karşı zaafını fazlaştırır. Bununla birlikte az miktarda ergimiş metalin oksidasyonunu düşürmektedir (Vogel, 2002).



Şekil 1.9:Magnezyum-Kalsiyum denge diyagramı

1.1.4.5 Kalay

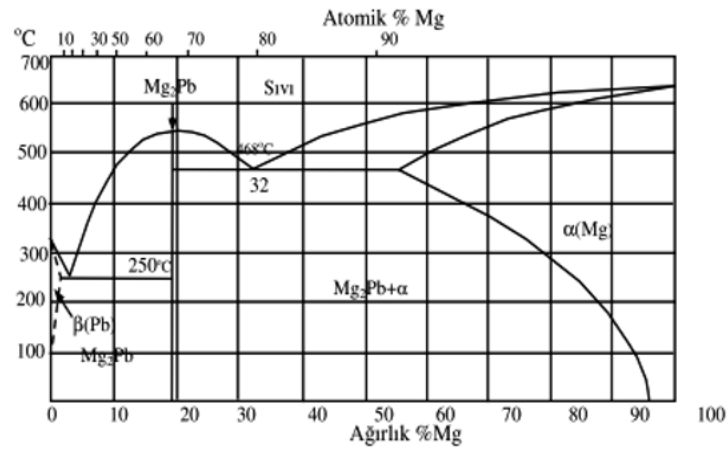
Kalay magnezyuma oranla daha düşük sıcaklıklarda ergir ve magnezyumdan daha az akıcı bir elementtir. Magnezyuma konulan kalay sürekliliği yükseltir. Sıcak çalışmalarda alaşımın çatlama riskini azalttığı için alaşıma eklenir. Bununla birlikte alaşımın işlenebilirliğini de artırmaktadır. Kalay içeren alaşımda Mg₂Sn intermetalik faz ortaya çıkması soğuma zamanına bağlı olur. Çok yüksek hızlarında soğuma çubuk olarak Mg₂Sn oluşumları görülmesi magnezyum matrisi ile beraber oluşur (Aizawa vd., 2006).



Şekil 1.10:Mg-Sn denge diyagramı

1.1.4.6 Kurşun

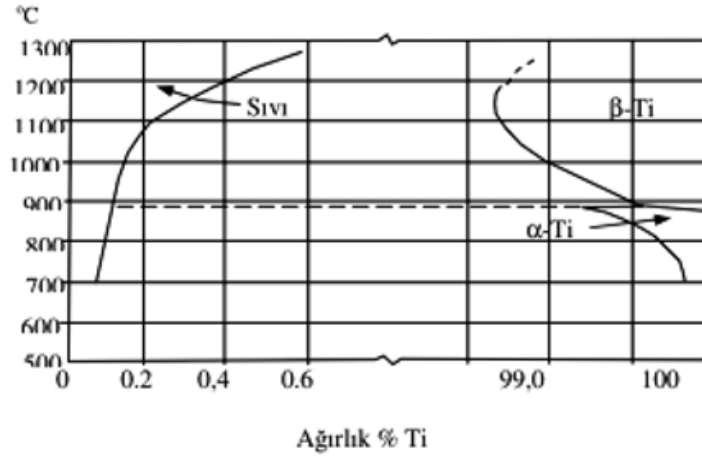
Alaşıma ilave edilen kurşun yüksek oranda çözünürlük gösterdiğinden dolayı yüksek sıcaklıklarda (yaklaşık 550°C) %45 oranında kurşun çözünmekte ve değişen fazlarda ortaya çıkmamasının ile beraber Mg₁₇Al₁₂ inter metalik oluşumunda da inceltmektedir (Aizawa vd., 2006). Şekil 12’de verilen Magnezyum-Kurşun denge diyagramı bakıldığında alaşım sıcaklığı düştükçe α +Mg₂ kurşun fazının ortaya çıktığı görülür (Ünal, 2008).



Şekil 1.11:Magnezyum-Kurşun denge diyagramı

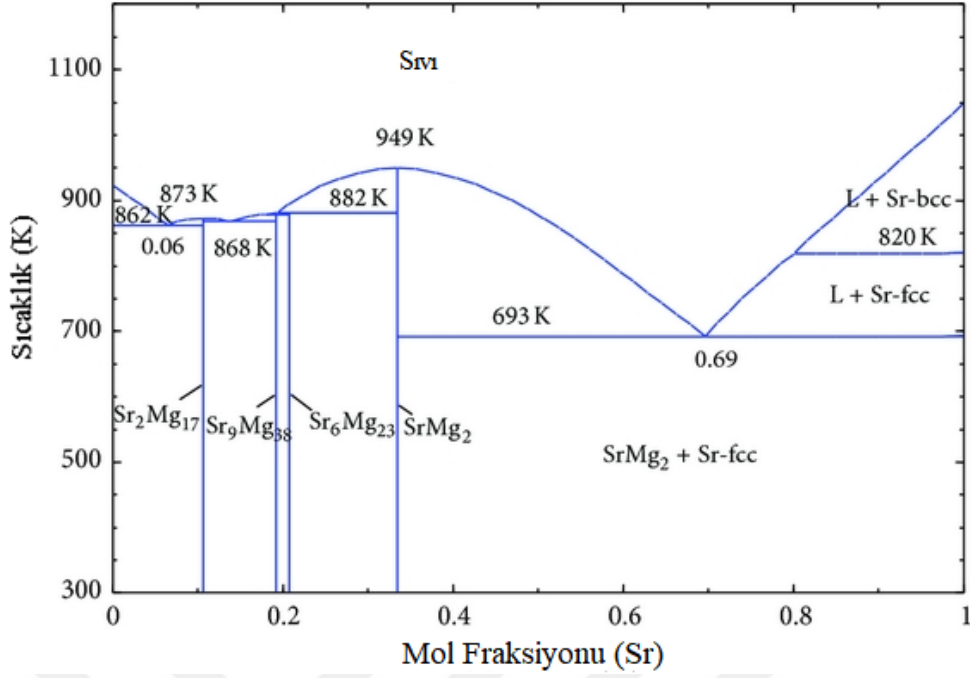
1.1.4.7 Titanyum

Magnezyum alaşıma ilave edilen Titanyum, tane inceltici olarak çalışır. Tane inceltme etkisi az oldukça düşüktür. Magnezyum ile alaşımlamada az çözünürlüğe vardır. Çabuk katılaşma ile üretilen magnezyum, titanyum alaşımları titanyumun çözünürlük miktarı fazlalaştırabilir (Zhao vd., 2007). Şekil 1.13’de Mg-Ti denge diyagramı verilmiştir.



1.1.4.8 Stronsiyum

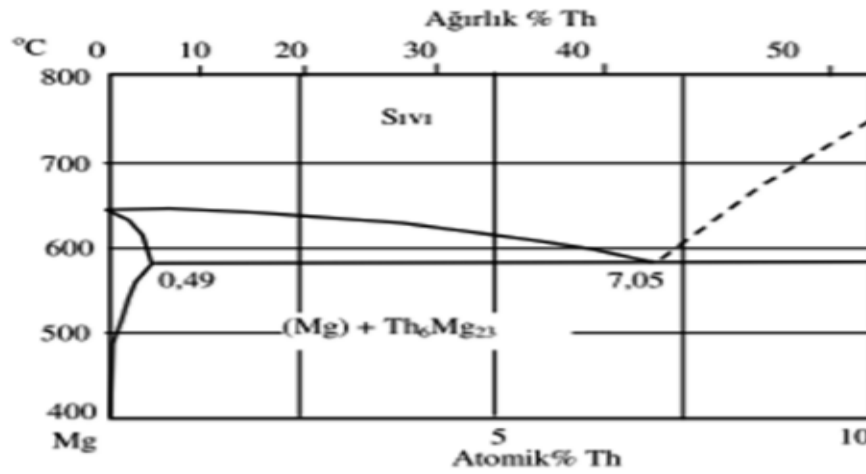
Stronsiyumun magnezyum alaşıma etkisi mikro gözeneklerin yayılmasında vardır ve Mg alaşımlarında porozite yi düşürür. Magnezyum alaşıma %2 stronsiyum eklenmesi ile alaşıma mekanik özellikleri ve korozyona mukavemeti yükselmektedir (Fan vd., 2011). Şekil 1.14’te Mg-Sr denge diyagramında gösterilmiştir.



Şekil 1.13: Mg-Sr denge diyagramı

1.1.4.9 Toryum

Magnezyum alaşımına ilave edilen toryum elementi 300°C ulaşana kadar sürünme özelliklerini artırır. Dökülebilirliği artırır, mikroporozite oluşumunu minimize eder. Çinko ilavesi ile kullanıldığında kaynak yapılabilme özelliğini artırır. (Zhang, 2000). Şekil 1.15'te Magnezyum-Toryum denge diyagramından Toryum yaklaşık % 0,48 oranında katı eriyik oluştururken, %7,05 erimiş malzemede ötektik oluşturduğu gözlemlenmektedir.



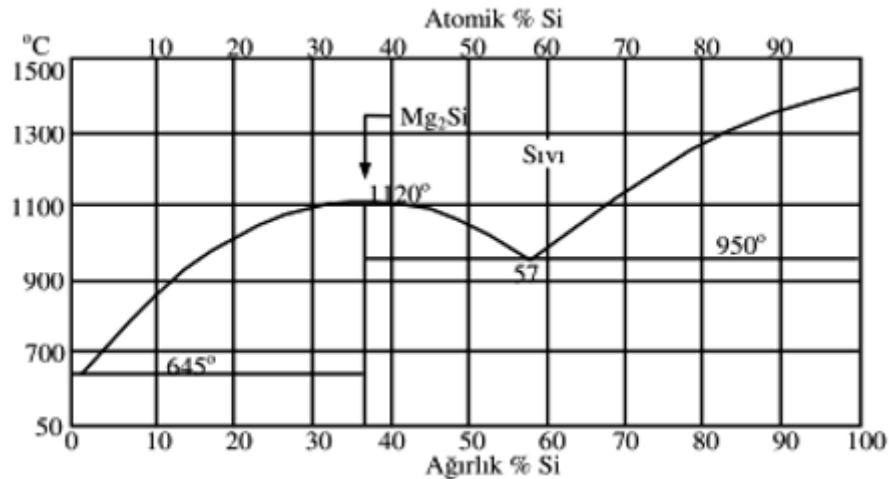
Şekil 1.14: Mg-Th denge diyagramı

1.1.5 Toprak Alkali Elementler (RE)

Toprak Alkali Elementleri yüksek sıcaklıklara dayanımını, sürünme mukavemetini yükselttiğini ve döküm porozitesini indirdiği araştırma sonuçlarında bilinmektedir. Toprak alkali elementleri dökülebilirliği arttırdığı ve Magnezyum alaşımlarında mikroporozite' yi düşürür. 25°C sıcaklıkta ve ergime sıcaklıklarına yakın çökelme mukavemeti yaparlar. Burada elementler, mukavemet özelliklerini artırır ve yükselen sıcaklık derecelerde alaşımların güzel sürünme dirençleri nedeni ile düzenli çöktirileri matris içerside ve tane sınırlarına yayılır (Barber, 2004).

1.1.5.1 Silisyum

Magnezyum alaşımlarına konan silisyum alaşımın yüksek sıcaklıklarda mukavemeti artırmakta olup, Oluşturulan magnezyum alaşımlarda demir ihtiva ediyor ise Si, Magnezyum alaşımlarının korozyona karşı mukavemetini düşürür. Si atomları Magnezyum matrisi içersinden, oda sıcaklığında katı olarak Mg_2Si intermetalik fazları oluşturur. Kum kalıba döküm yöntemi ile oluşan Mg_2Si fazı basınçlı dökümlere oranla yavaş soğumadan kaynaklı olarak kabadır ve bundan dolayı magnezyum alaşımını kırılgan yapmaktadır (Fan vd., 2011).



Şekil 1.15: Magnezyum -Silisyum denge diyagramı

1.1.5.2 Magnezyum-Alüminyum Alaşımları

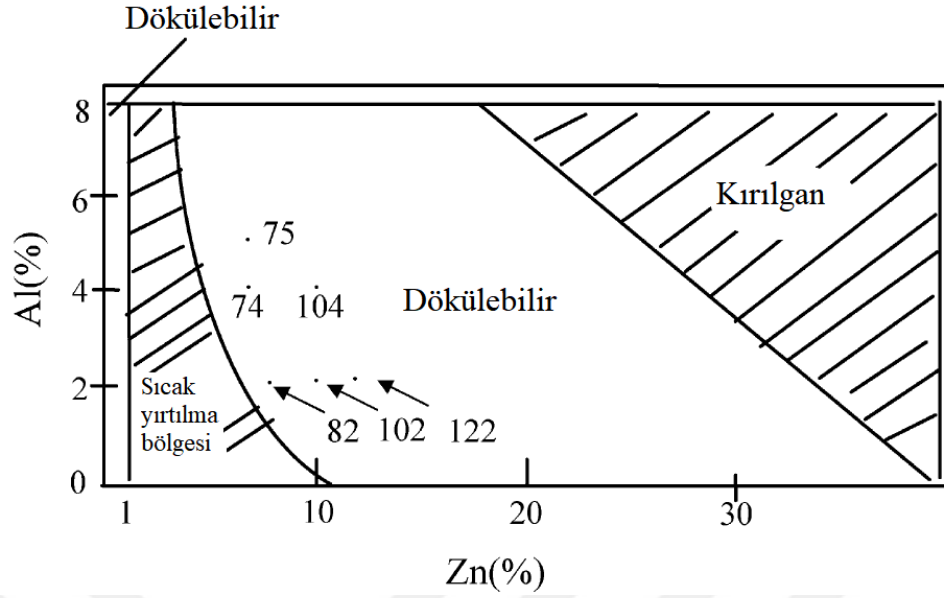
Magnezyum ve Alüminyum bilinen en eski ve en çok kullanılan döküm alaşımlarındandır. AM60, AM50, AZ91 gibi alaşımlar tüm Magnezyum alaşımları dökümünün büyük bir bölümünü bu alaşımlar ile oluşturmaktadır (Barber, 2004).

Şekil 1.17’de sunulan ikili Mg-Al diyagramı incelendiğinde ötektik reaksiyon, $Sıvı \rightarrow Mg_{17}Al_{12} + \alpha (Mg)$ dönüşümü, 438 °C gibi düşük sayılabilecek bir sıcaklıkta olduğu görülmektedir. Bu sıcaklıkta Al’un maksimum çözünürlüğü %12,7 olduğu görülmektedir. Alaşım %2’den fazla Al bulundurduğundan, dökümün mikro yapıda $Mg_{17}Al_{12}$ intermetalik oluşumu meydana getirir. Alaşımdaki Al içeriği %8’in üzerine çıkarsa $Mg_{17}Al_{12}$ bileşiği tane sınırları boyunca genişler ve sonuç olarak şekillenebilirlik azalır. Çözünme olanağı, 420 °C yakınlığında $Mg_{17}Al_{12}$ bileşiğinin yayılması ile nihayete erer ve şekil verilebilirlik artar. $Mg_{17}Al_{12}$ çökmesi 150°C’ de eskimeye neden olur ve bu çökeltiler mukavemeti arttırır. Si, Mn, Zn, ve diğer elementler Magnezyum ve Alüminyum sistemi içerisinde alaşımlanarak özelliklerinin artırılması için kullanılır (Vogel, 2002).

Mg-Al ikili alaşımları Al verdiği etki ile normalüstü döküm özelliklerine ve çok iyi mekanik özelliklere sahip olurlar (Barber, 2004).

1.1.5.3 Magnezyum-Alüminyum-Çinko Üçlü Alaşımları

Mg-Al-Zn üçlü alaşımlama, Mg döküm alaşımlama sistemlerinde önemli bir yeri vardır. 1913 yılında bulunan bu alaşımlama bundan sonraki dönemde birçok araştırmacı bu konuda araştırmalar yapmıştır (Zhang vd., 2006).

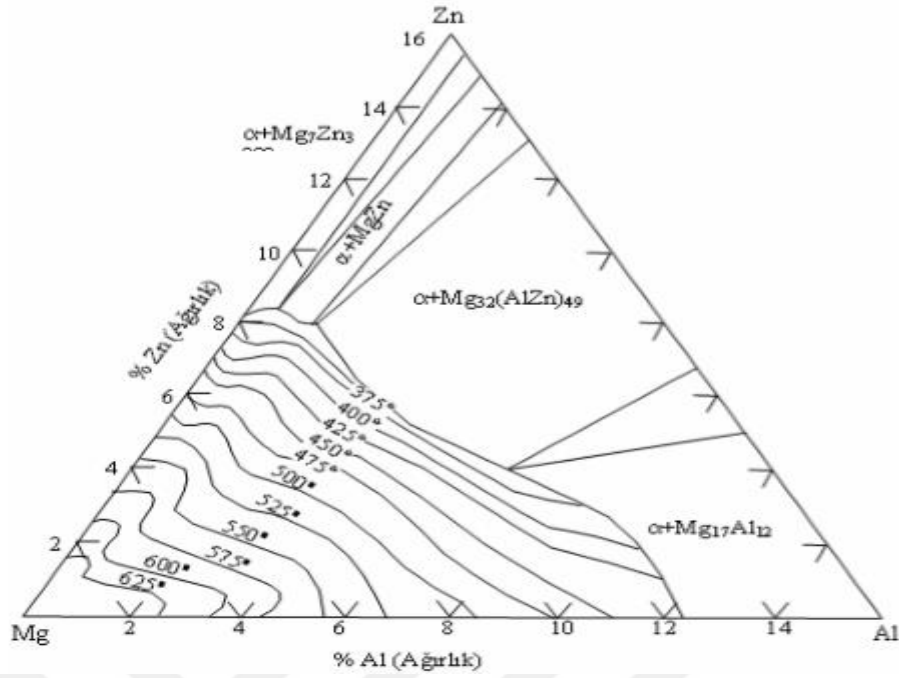


Şekil 1.16: Mg-Al-Zn esaslı döküm alaşımlarının dökülebilirlikleri

Diyagram incelendiğinde dört bölge göze çarpmaktadır.

- 1) Düşük Çinko'da dökülebilir alan : α (Mg) ve $Mg_{17}Al_{12}$ fazları vardır ve AS alaşımı bu alandadır.
- 2) Sıcak yırtılma alanı
- 3) Çinko oranı yüksek olan alanda: Yüksek Çinko'lu bölgenin dökülebilirliği gözükmemektedir.
- 4) Kırılğan alan

Mg-Al-Zn alaşımlarında üçlü faz diyagramında alüminyum oranı fazla alan incelendiğinde, üç metalik fazdan oluştuğu gözlemlenmektedir. Bunlar; Mg-Zn, $Mg_{32}(Al, Zn)_{49}$ ve $Mg_{17}Al_{12}$ 'dir. Bazı durumlarda $Al_{12}Mg_5Zn_2$ oluşumu $393^{\circ}C$ ' de ve yüksek sıcaklıkların üzerinde ortamdan uzaklaşır. $Mg_{32}(Al, Zn)_{49}$, fazının ortaya çıkma $535^{\circ}C$ ' dir. MgZn ve $Mg_{17}Al_{12}$ fazlarının ergime sıcaklık değerleri $347^{\circ}C$ ve $460^{\circ}C$ ' dir (Zhang vd., 1998).



Şekil 1.17: Magnezyum, Alüminyum, Çinko üçlü faz diyagramı

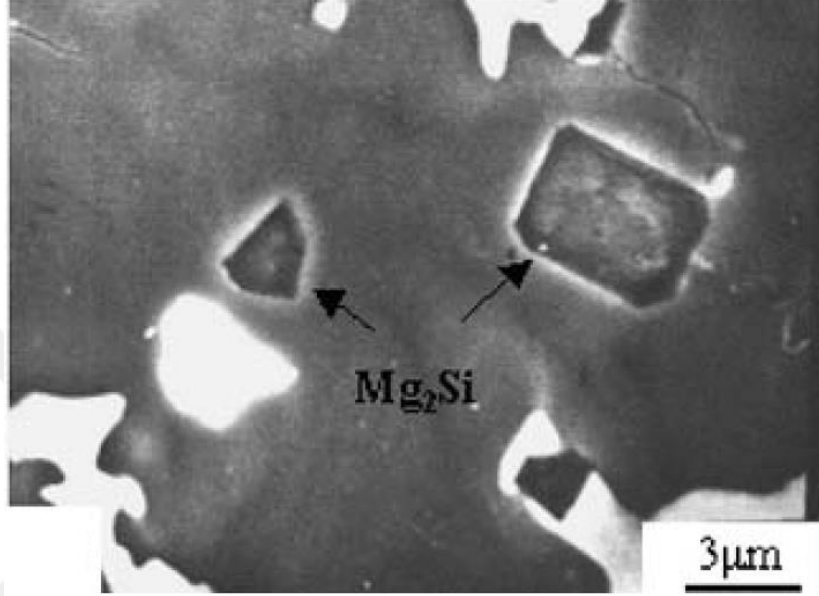
1.1.5.4 Magnezyum – Alüminyum - Toprak Alkali Elementleri Alaşımları

20. yüzyılın başlarında toprak alkali elementleri Magnezyum alaşımları özelliklerine yararlı olduğu bulunmuştur. Toprak alkali elementleri %1'in üzerinde konulduğunda, Mg-Al ihtiva eden alaşımların akışkanlık mukavemetlerinde ilerleme olduğu gözlemlenmiştir. Başlıca toprak alkali elementler kararlı $Mg_{12}RE$ intermetalik alaşımı oluşturduğundan; Oda sıcaklığın ve yüksek sıcaklıklarda kararlıdır. Düzenli matris yapısı oluşturmaktadırlar. Artan Alüminyum içeriği ile dökülebilirliğin iğleşmesine rağmen, toprak alkali elementleri 'nin sürünme dirençlerindeki etkisi Alüminyum kadar iyi sonuçlar vermeyebilir (Zhang, 2000). Toprak alkali elementleri miktarı AS21 ve AS41'a %0,1'e kadar sıcak yırtılmayı çoğaltmakta ve mikro sertliği arttırmaktadır. RE (toprak alkali elementler) oranı arttıkça sıcak yırtılma azalmaktadır (Weichao, 2006).

1.1.5.5 AS 21 Alaşımları

Magnezyum alaşımlarında 150°C ve altı sürünme mukavemetini arttırmak olarak AS21 (%4,2 Al, %1 Si, %0,35 Mn) basınçlı döküm alaşımlaması bulunmuştur (Zhang, 2000).

AS21 alaşımının mukavemeti, hızlı soğuma ve katılaşma nedeni ile ince taneli yapılaraya sahip olan Mg_2Si fazından oluşmaktadır. Alaşım kokil kalıba döküm uygulamalarında kullanıma uygun değildir. Bunun nedeni kokil kalıba döküm yönteminde yavaş soğuması nedeni ile Mg_2Si fazı büyük tane olmuştur. Alaşımının büyük taneli olmasından kaynaklı, süneklilik, basma ve çekme dayanımı düşmektedir (Feng vd, 2008).



şekil 1.18: Silisyumlu Mg alaşımının mikroyapısı

1966-1975 yıllarında magnezyum alaşımları ilgili en iyi gelişme AS21 alaşımlarının bulunmasıdır. AS21 oda sıcaklığında daha yüksek bir döküm sıcaklığına sahiptir. Bununla beraber, AS21 alaşımları yüksek sürünme dayanımı oluşturmasına nazaran, düşük dökülebilme performansı, basınçlı döküm sistemlerinde kullanımını azaltmıştır (Mordike vd., 2001).

Mg-Al-Mn içerikli alaşımlar (AM50, AM60 olumlu süneklilik ve olumlu darbe mukavemetine sahiptirler (Vogel, 2002). AS41, AS21 (Mg-Al-Si-Mn) ve AE42 (Mg-Al-Toprak alkali elementler) alaşımlarının çoğalan aralıklarla, Mg-Al-Mn ve Mg-Al-Zn-Mn alaşımlarında oldukça yüksek sürünme mukavemeti karakterize edilen aktarma parçaları imalatı için kullandırılır (Zhang, 2000).

Tablo 1.5: Magnezyum alaşımlarının oda sıcaklığında mekanik özellikleri

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

1.2 Magnezyum Alaşımlarının Döküm Yöntemleri

Magnezyum alaşımlarının dökülmesindeki karşılaşılan olumsuzluklar oksitlenme ve yanma oransal kaybıdır. Havacılıkta ve otomotiv sektörlerinde kullanılan Magnezyum alaşımlı parçaların büyük oranının döküm işlemi ile üretildiği dikkate alınırsa parça üretiminde döküm problemlerinin azaltılmasında temel öncelikler olarak yer almaktadır. Mg döküm teknikleri birçok yöntem kullanılmakla beraber 4 ana grupta toplanır (Zeytin, 1999; Zhang, 2000; Barber, 2004).

- 1) Kum kalıba döküm
- 2) Yarı-katı döküm
- 3) Basınçlı döküm
- 4) Kokil kalıba 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 (Looze vd, 2005).

1.2.1 Kum Kalıba Döküm

Kum kalıp dökümü, bilinen geleneksel en yaygın döküm yöntemidir. Bu yöntemde kum aralarından hava alacağından Mg'un yanma tehlikesine karşı önlemler alınmalıdır. Kalıp boşluğu oluşabilecek boşluklar koruyucu gaz ile korunmalıdır. Mg alaşımlarında herkes tarafından bilinen ve uygulanan en iyi döküm yöntemi kum döküm yöntemidir. Bu

yöntemde kalıpta bulunan kumlar arasında reçine tabaksı oluşturduğundan Mg'un kalıp içinde yanma ihtimalini ortadan kaldıracaktır. Mg-Al ve Mg-Al-Si alaşımları genellikle kolay dökülmelerine ile bilinirler. Fakat bu durumda sınırlılıkları vardır. Kum kalıba döküldüklerinde oluşan problemlerden biri mikro çekmelerdir ve 95°C' in üzerindeki sıcaklıklarda uygulamalar için uygun olmadığı gözlemlenmiştir. Mg-RE-Zr alaşımları bu problemlerin üstesinden gelmek için oluşturulmuştur. EZ33A alaşımları kuma dökümler için çok iyi mukavemet ihtiva ederler (Looze vd., 2005).

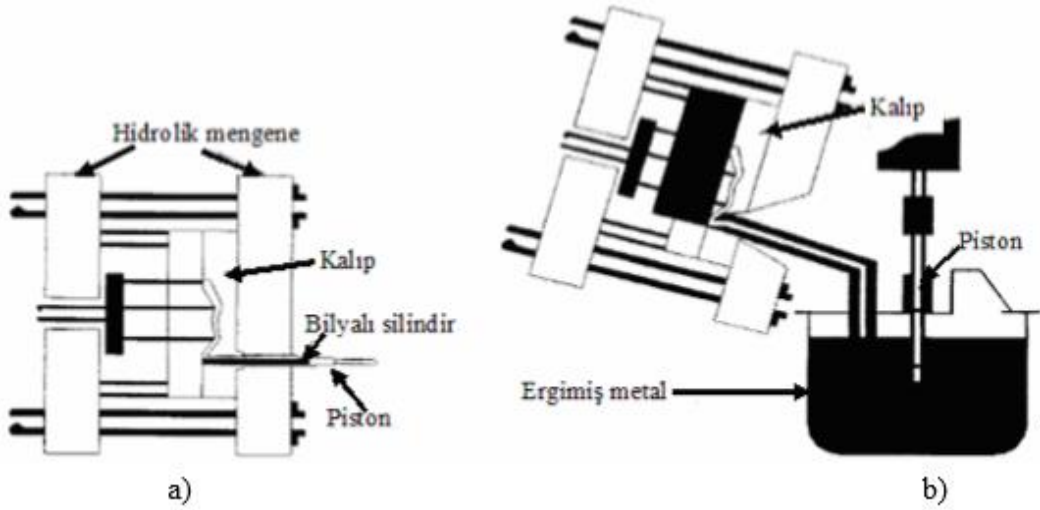
1.2.2 Kokil Kalıba Döküm

Kokil kalıp döküm, iki ya da daha fazla parçadan oluşan metal kalıba döküm yöntemidir. Birçok parçanın dökümü seri bir şekilde yapılabilir. Sıvı metal yer çekimi etkisiyle kalıba girer. Kokil döküm özellikle yüksek yoğunluklu parça üretimi için uygundur. Kum döküm yöntemi ile karşılaştırıldığında kokil kalıba dökümün elverişliliği daha çok öne çıkıyor. Boyutsal toleransların fazla olması ve yüzey verimliliğini yüksekliği sayesinde, daha homojen döküm ve parça üretimi elde edilmektedir. Döküm işleminin zamanının artması ile sıvılaşmış metal kalıp içerisine keskin bir türbülans ve dağılma eğilimi ile girer. Ergimiş metalin uzun sürede dökülmesini engellemek gayesi ile radyan döküm makineleri döküm parça imalatında sıklıkla kullanılmaktadır (Zhang, 2000).

Mg-Al-Si tipi metaller kokil dökümler sistemi imalatı için alaşımlanan alaşımlardır. Bu yöntemde Magnezyum alaşımları Alüminyum alaşımlarından daha hızlı dökülür. Alüminyum alaşımlarına göre takım ömrü daha iyidir. Çünkü Mg'de kalıp yüzeyine yapışma oranı daha az Alüminyum da ise yapışma oranı daha fazladır. Mg kalıpları, Al kalıplarından 2 katı daha fazla dayanır. Olumlu bir biçimde kullanıldığında ve uygun koşullarda korunduğunda, koruyucu kaplama uygulamaları ile de kalıp kullanım ömrü daha da uzatılabilir. Mg alaşımının farklı fiziki ve kimyasallık özellikleri Al ile karşılaştırıldığında değişik pota ürünleri kullanılır. Ergimiş Magnezyum, ergimiş Alüminyumda benzerlik gösterdiği gibi Fe ile tepkime oluşturmaz bu nedenle Mg ve Mg alaşımları Demir ve çelik potalarda ertilebilir ve korunabilirler (Looze vd., 2005).

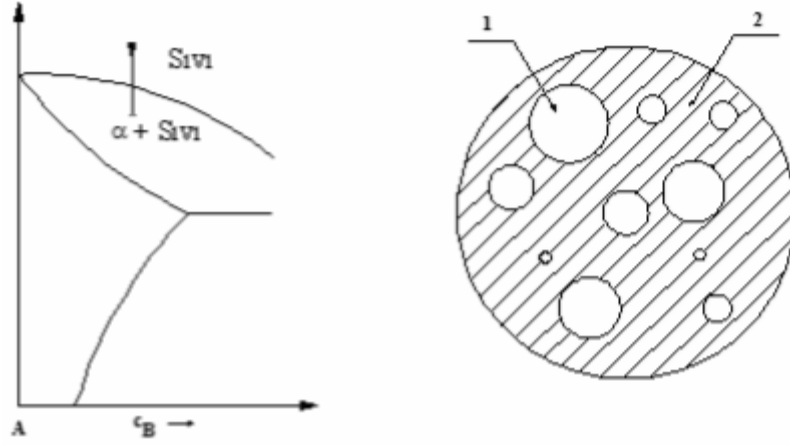
1.2.3 Basınçlı Döküm

Mg alaşımları genel anlamda yerçekimi veya basınçlı döküm ile üretilirler. Basınçlı döküm hidrolik sistem yardımıyla yüksek hızda basınç altında 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 metaller kullanılır. Sıcak kamaralı işlemde hidrolik sistemde sıvı metalin transferi sırasında ergimiş metaldeki türbülans, ısı kaybı ve oksitlenmeye neden olur. Bu işlemde metalin kalıp içerisine enjeksiyon yoluyla ilerlemesi sağlanır (Blawert, 2010). Magnezyum alaşımlarının döküm yöntemlerinden düşük basınçlı döküm tekniğinde tamamen kapalı sistemde kaliteli temiz alaşım üretimi sağlanır. Soğuk ve sıcak kamaralı basınçlı döküm sisteminin şematik gösterimi Şekil 1.20’de görülmektedir.



Şekil 1.19: Mg alaşımları basınçlı döküm makinesi a) Soğuk b) Sıcak kamaralı

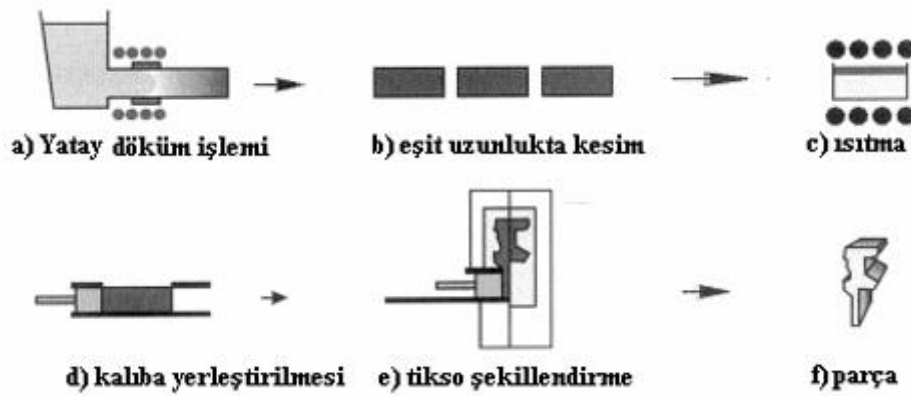
1.2.4 Yarı Katı Döküm Yöntemleri



Şekil 1.20: Yarı-katı sıcaklık ve durumu

Magnezyum 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 (Watari vd., 2004).

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. Yarı-katı durum şematik olarak Şekil 21’de, yarı-katı döküm yöntemi ise Şekil 1.22’de gösterilmiştir.



Şekil 1.21: Yarı-katı döküm yöntemi

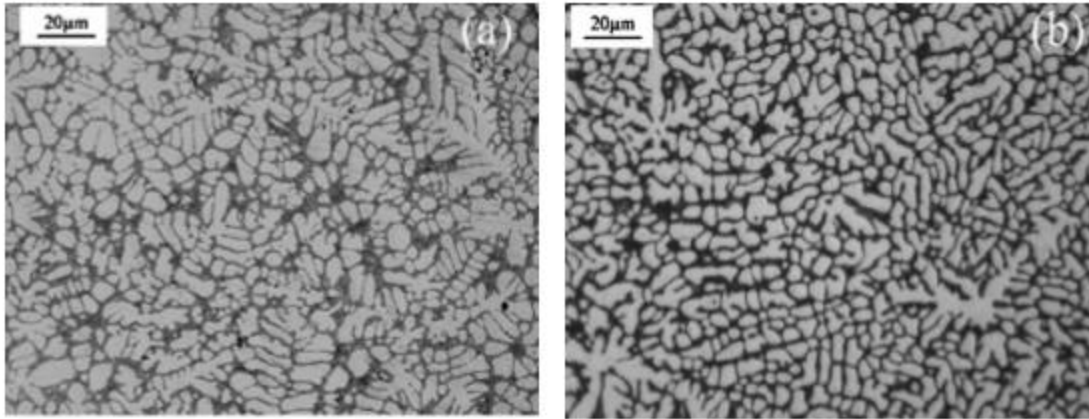
1.3 Soğuma Hızının Magnezyum Alaşımlarına Etkileri

Soğuma hızı birçok metal alaşımında olduğu gibi magnezyum alaşımları için belirleyici bir özelliktir. Özellikle hızlı soğutulmuş bir Mg alaşımı ile yavaş soğutulmuş bir Mg alaşımı arasında mikro yapı ve mekanik özellikler bakımından önemli farklar görülür.

Mg-Zn-Ce-Ag alaşımlarının klasik döküm ve hızlı soğuma arasındaki mekanik özellikleri ve mikroyapı farklılıklarını sunmaktadır. Hızlı katılaştırılmış alaşımların mekanik özelliklerinin arttığı deneysel sonuçlar ile gözlenmiştir. Tanecikleri inceltmiş ve homojen dağılmış $Mg_{12}Ce$ fazı elde edilmiştir. Yüksek soğuma hızı mikroyapıyı inceltmiş ve ötektik fazın morfolojisini değiştirmiştir. Hızlı soğutulmuş alaşımların mekanik özellikleri yüksek ve değişken olarak gözlenmiştir. Mikroporozite, magnezyum alaşımlarının mekanik özelliklerinin etkisini indirgeyecek düzeyde belirlenmiştir (Cai vd., 2007).

1.3.1 Soğuma Hızının Mikroyapıya Etkileri

Magnezyum alaşımlarının hızlı soğutma yöntemiyle mikroyapısının ilerletilmesi sonucunda mekanik dayanımı artmış, işlenebilirliği ve korozyon direnci gelişmiştir (Zhou vd., 2009).



Şekil 1.22: (a) Klasik dökme yöntemi (b) Hızlı katılaştırma yöntemi ile üretilmiştir

Şekil 1.23 incelendiğinde görüldüğü üzere hızlı katılaştırma yöntemi ile elde edilen alaşımların mikroyapıları daha ince taneli bir yapı oluşturmuştur. Klasik yöntemle elde edilen alaşımların mikroyapıları daha iri taneli olarak görülmektedir (Zhou vd., 2009).

1.3.2 Soğuma Hızının Mekanik Özelliklere Etkisi

Hızlı soğutulmuş alaşımların mekanik özellikleri yüksek ve değişken olarak gözlenmiştir. Mg-Zn-Ce-Ag alaşımlarının hızlı katılaşması üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Sonuçlar, yüksek soğuma hızlarının magnezyum alaşımlarının hem mikroyapı hem de mekanik özellikleri üzerinde güçlü bir etkisi olduğunu göstermiştir. Hızlı katılaştırılmış 4 mm' lik çapa sahip Mg-Zn-Ce-Ag alaşımları bakır dökme kalıbı ile elde edilmiştir. Hızlı katılaştırma mikroyapıyı inceltmiştir (Zhou vd., 2009).

Mg-Zn alaşımları yapısında oluşturulan $MgZn$, $MgZn_2$, Mg_2Zn_3 gibi yarı kararlı fazlar yoluyla korozyon direnci ve dayanımı yeterli en fazla gelecekte kullanımı en fazla olması beklenen magnezyum alaşımıdır (Maeng vd., 2000).

1.4 Magnezyum Alaşımlarının Mekanik Özellikleri

Magnezyum alaşımlarının da döküm yöntemine göre oluşan mekanik özellikleri Tablo 1.6'da verilmiştir.

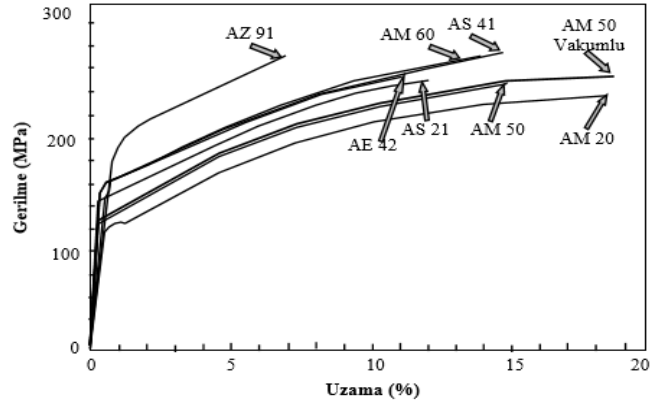
Tablo 1.6: AS41-AS21 alaşımlarının oda sıcaklığında mekanik özellikleri

Özellik	Birim	AS 41	AS 21
Max. Gerilme	MPa	240	230
Akma Dayanımı	MPa	130	120
Kopma Uzaması	%	10	12
Elastik Modül	GPa	45	45
Brinell Sertlik	BSD	60	55
Darbe Da Bai ımı	J	4	5

Mekanik özelliklerden genellikle, akma ve çekme dayanımı, uzama ve elastikiyet gibi bilgiler malzemelerin özelliklerinin belirlenmesinde önemlidir. AS41-AS21 alaşımlarının oda sıcaklığında mekanik özellikleri gösterilmiştir.

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 (Aghion ve Bronfin, 2005). Bazı Mg basınçlı döküm alaşımlarının gerilim-uzama diyagramı Şekil 1.24’de gösterilmiştir.



Şekil 1.23: Mg alaşımlarının gerilim-uzama eğrileri (basınçlı döküm)

BÖLÜM 2

MATERYAL VE YÖNTEM

2.1 Malzeme

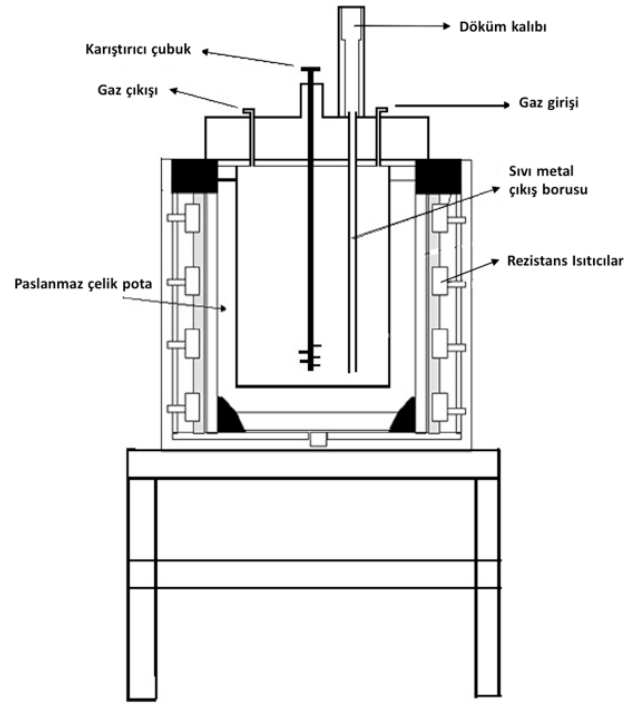
AS21 magnezyum alaşımının hazırlanmasında %98,8 saflıkta magnezyum ve alüminyum kullanılmıştır. Alüminyum ve magnezyum külçeleri ergitildikten sonra kalay ilave edilerek istenen alaşımlamalar yapılmıştır. Bu aşamada hazırlanan deneysel malzememiz sırası ile AS21+%0,5 Sn, AS21+%1 Sn, AS21+%2 Sn hazırlanarak dökümleri gerçekleştirilmiştir.

Tablo 2.1: Magnezyum alaşımı oranları

Alaşım	% Element Miktarları			
AS21	1,9-2,5	0,7-1,2	-	Kalan
AS21+ %0,5Sn	1,9-2,5	0,7-1,2	0,5	Kalan
AS21+%1Sn	1,9-2,5	0,7-1,2	1	Kalan
AS21+%2Sn	1,9-2,5	0,7-1,2	2	Kalan

2.2 Atmosfer kontrollü ergitme ünitesi

Deneylerde kullanılan ocağımız magnezyum alaşımımızın ergitilmesi ve kalıba alınması işlemi için tasarlanmış ve imalatı gerçekleştirilmiştir. Ergitme ocağımızın dış gövdesi 340 mm çapında çelik materyal ile örtülmüştür. İç kısmı ise 170 mm çapında refrakter tuğla ile örülmüştür. Ocak içerisinde ki ısı ölçümü için termokupllar kullanılmıştır. Sızdırmazlık oluşturmak için O-ring konulmuştur. Yapılan döküm ocak tezgâh üzerine montajı gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneği Şekil 21.'de görülmektedir.

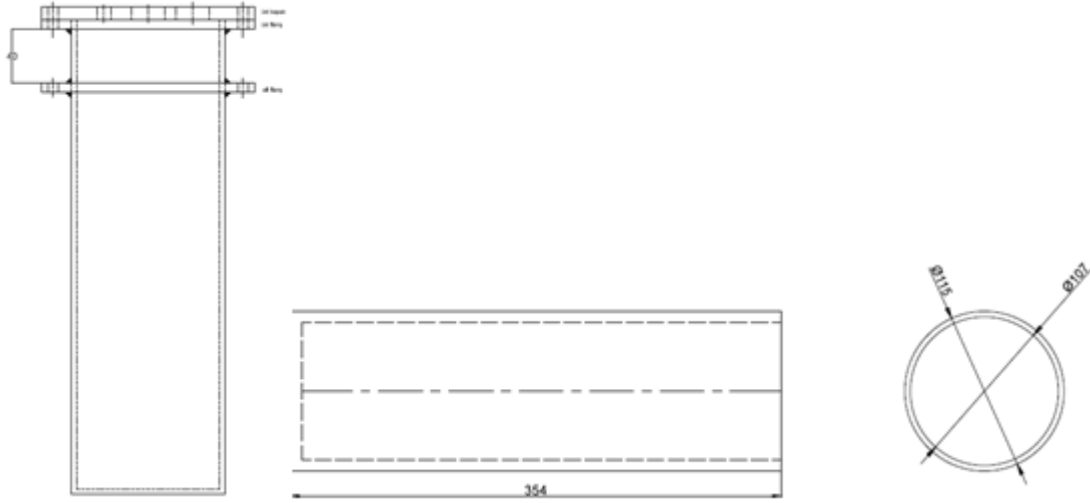


Şekil 2.1: Atmosferi kontrollü ergitme ünitesinin şematik gösterimi

2.3 Ergitme ve Alaşımlama İşlemi

2.3.1 Deneyin Yapılışı

Mg alaşımlarının ergitilmesi amacıyla tasarladığımız çelik pota içerisine yerleştirdiğimiz Mg alaşımlarımızın atmosfer ile teması kesilmek amacı ile pota içerisine koruyucu SF₆-CO₂ gazı uygulanmıştır. Mg alaşımlarımız döküm sıcaklığına kadar potada tutulmuştur. Kullanılan çelik pota Şekil 2.2’de görülmektedir.



Şekil 2.2: Çelik Pota Teknik Resim

Ergitme işlemi elektrik direnç ocağı içerisinde yapılmıştır. Alaşımın homojen bir yapıya kavuşması için karıştırma işlemi için ergimiş haline gelen alaşımımız uç kısmında pervane şekilde paslanmaz krom çelikten malzeme mil kullanılmıştır. Ergitme işlemi sırasında malzemenin atmosferden temasını kesebilmek için lineer bir SF₆-CO₂ gazı ile sağlanmıştır. Yer çekiminin olumsuz etkilerinden arındırmak amacı ile yer çekiminin tersine döküm yapılarak mikro segregasyonlar en aza indirmek istenmiştir. Bu amaç ile argon gazı ile basınçlandırma yapılmıştır. Basınçlandırma 1,5 bar olarak belirlenmiş ve 40 saniye olarak uygulanmıştır. Basınç kademeli olarak arttırılarak 2 bar'a kadar yükseltilmiştir. Alaşımın yapımında %99 oranında saf magnezyum kullanılmıştır. Kalayın ergime ve buharlaşma sıcaklığı düşük olduğundan kayıplardan minimum şekilde etkilenmek amacı ile dökümden 5 dakika önce alaşıma ilave edilmiştir. Döküm parametreleri olarak kullanılan ara boru ve alaşım döküm derecesi 750°C olarak ayarlanmıştır. Alaşım döküm sıcaklığına ulaşması sonrası basınçlı gaz (argon) yardımı ile 90 saniye uygulanarak kalıba dolumu gerçekleştirilir.

2.3.2 Çekme Testi

Metal kalıba alınan her bir alaşımdan tam orta noktasından 4 eşit parçaya bölünen malzememizden 4 adet çekme testi numunesi hazırlanmıştır. Çekme deneyleri Karabük Üniversitesi Teknoloji laboratuvarlarında 5 ton çekme kapasiteli çekme cihazında 0,5 mm / dakika çekme hızında yapılmıştır. Çekme numuneleri Şekil 2.3'de görülmektedir.



Şekil 2.3: Çekme test numunesi

2.3.3 Sertlik Testi

Sertlik deneyi numunesi hazırlanması çekme çubuğunun çap 8x5mm boyutunda çıkarılması ve yüzeyinin parlatılması ile yapılmıştır. Sertlik değerleri, Karabük Üniversitesi laboratuvarındaki Shimadzu HMV marka dijital mikro sertlik cihazı ile ölçülmüştür. 0,5mm yarıçaplı elmas kare piramit uç ve 50N yük uygulanmış. Buna bağlı olarak Vickers türünden mukavemet değerleri elde edilmiştir. Numunelere sertlik deneyi yapılırken numunenin ölçüm yapılabilecek en uç noktasından merkezin kısma doğru eşit aralıklarda beş farklı yerde belirlenmiş ve belirlenen bu yerlerden sertlik ölçümü yapılmış değerler elde edilmiştir. Bu değerlerin ortalaması alınmıştır.

2.3.4 Mikro Yapı Çalışmaları

Metalografik incelemeleri yapılmak üzere numunelerin yüzeyleri sırası ile 240, 400,600, 800, 1200,1800, 2000 ve 2500 mesh zımparalar ve su kullanılarak zımparalama yapıp 0,3µm a düşürülmüştür. Alümina pasta, solüsyon kullanılarak parlatma işlemine tabi tutulmuştur. Bu işlemlerin mukabilinde numunelerin yüzeyi saf su ve alkol ile temizlenip kurutulmuştur. Daha sonra da sitrik asit, 7,5 mL asetik asit, 15 mL saf su ve 15 mL etil

alkol karışımı ile dağlama yapılmıştır. Deneysel çalışmalarda her alaşım için mikroyapı görüntüleri 100X, 200X ve 500X büyötmelerde elde edilmiştir. Bahsedilen çalışmaların tamamı Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakóltesi malzeme laboratuarlarında gerçekleştirilmiştir.

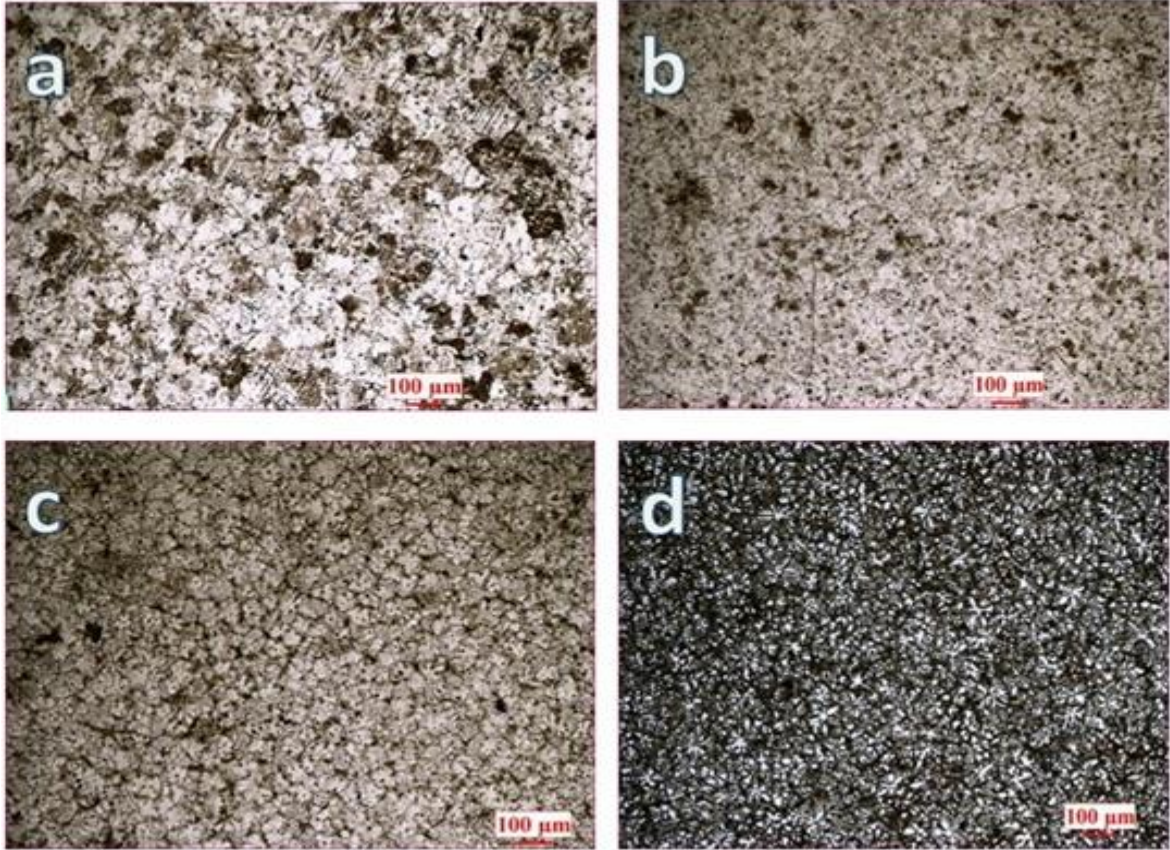


BÖLÜM 3

DENEYSEL SONUÇLAR

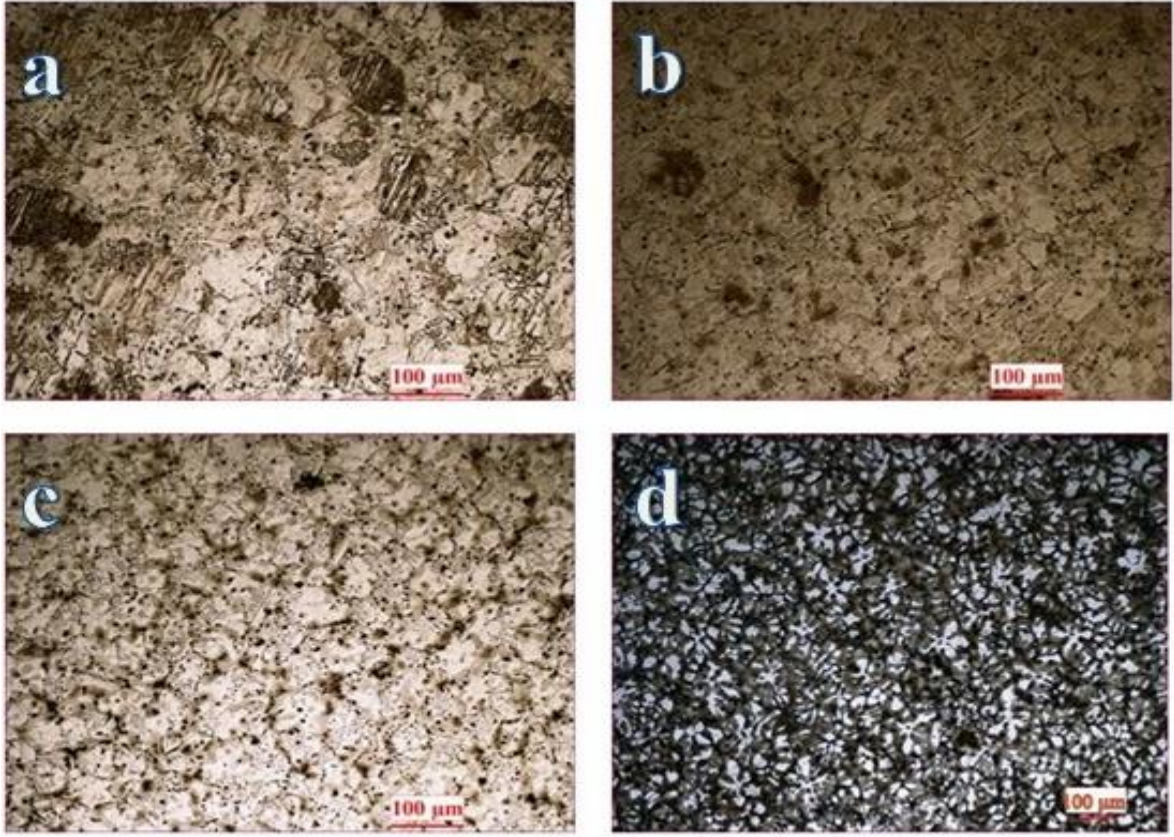
3.1 Optik Mikroskop (OM) Mikroyapı Sonuçları

AS21 mikroyapısında kaba çin yazısı şeklinde Mg_2Si inter metaliği görülmektedir. Artan kalay oranı ile birlikte Mg_2Si fazının Çin yazısı şeklinin değiştiği görülmektedir. Mg_2Si fazının daha yoğun bir şekilde bulunduğu görülmektedir.



Şekil 3.1: 100X OM mikroyapı (a) AS21 (b) AS21+0,5 Sn (c) AS21+%1 Sn (d) AS21+%2 Sn

Sn ilavesi Mg_2Si fazının genişlemesine engelleyerek bu fazı belli noktalarda yoğunlaşmasına neden olmuştur. Sn ilavesi ile tane sınırı boyunca Sn'ce zengin ağsı bir yapı oluşmaktadır. %2 Sn ilavelisi olan Şekil 29'da görüldüğü gibi bu ağsı yapı daha belirgin hala gelmektedir

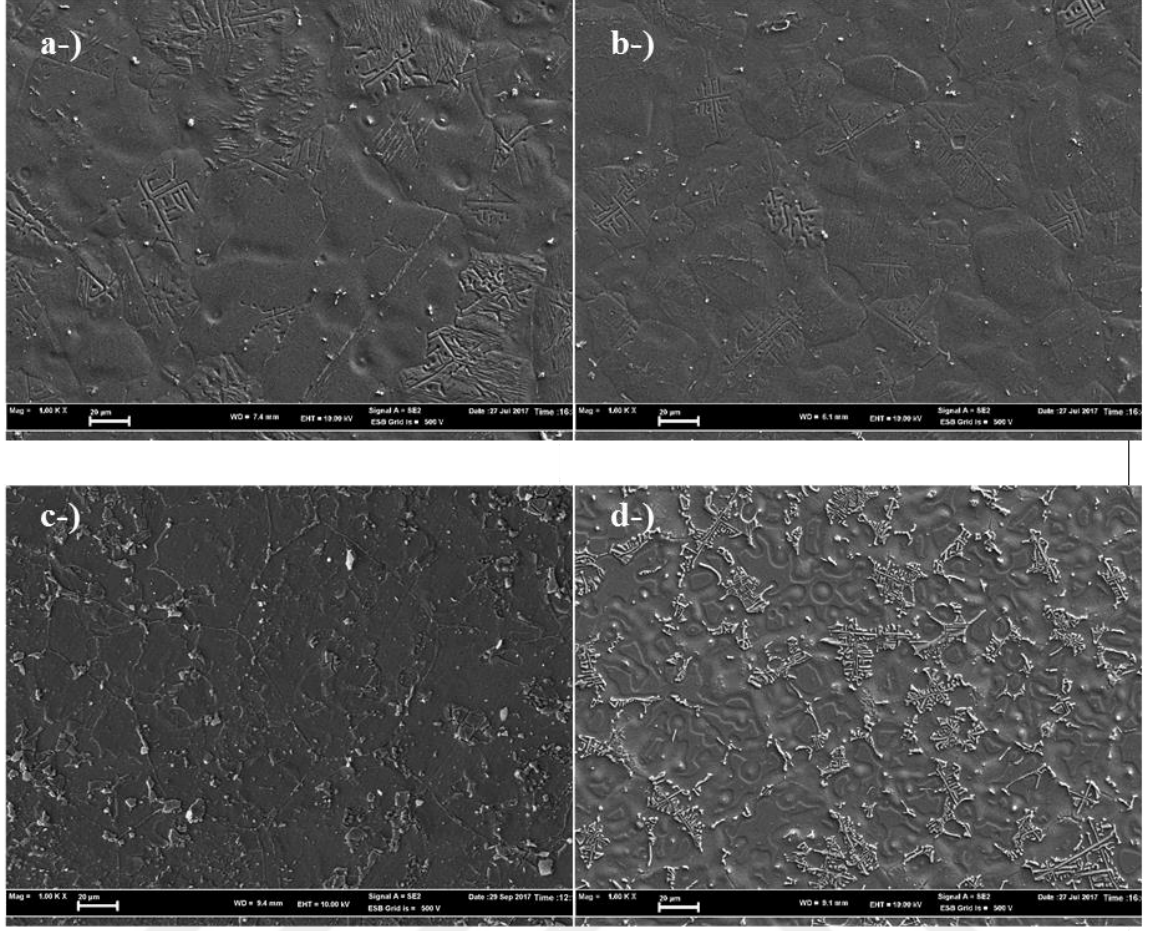


Şekil 3.2: 200X OM mikroyapı (a) AS21 (b) AS21+%0,5 Sn (c) AS21+%1 Sn (d) AS21+%2 Sn

Artan Sn oranı ile döküm mikroyapısında ikincil fazların oluşumunda artış olduğu görülür. Şekil 3.1’da gösterilen OM analizinde %1 Sn ihtiva eden mikroyapıda çoğunluk olarak Mg-Sn ve Mg-Al ikili fazlarının oluşu gözlemlenmiştir. AS21 Mg alaşımlarına farklı oranlarda Sn ilaveleri olarak gözlenen mikroyapı resimlemeleri arasında farklar gözlenmektedir. AS21’a Sn ilavesi %0,5’den %2’e arttırıldığında bu farkın arttığı gözlenmektedir.

3.2 Elektron Mikroskobu (SEM) Mikroyapı Sonuçları

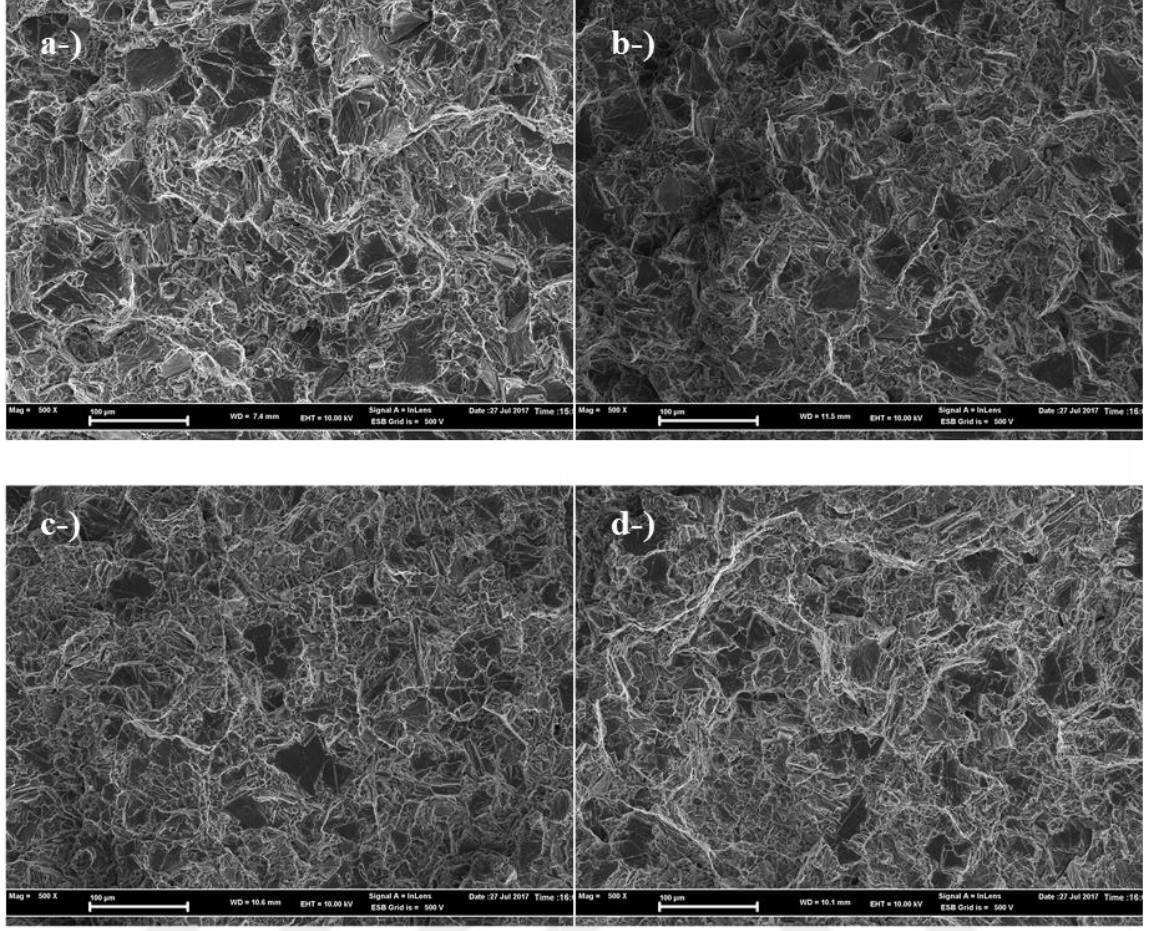
SEM görüntüleri incelendiğinde AS21 mikro yapısında kaba Çin yazısı şeklinde Mg_2Si inter metaliği görülmektedir. Artan Sn oranı ile birlikte Mg_2Si fazının Çin yazısı şeklinin değişerek Mg_2Si fazının daha yoğun bir şekilde bulunduğu görülmektedir. Sn ilavesi Mg_2Si fazının genişlemesine engelleyerek bu fazın belli noktalarda yoğunlaşmasına neden olmuştur (Şekil 3.4).



Şekil 3.4: SEM mikroyapı görüntüleri (a) AS21 (b) AS21+%0,5 Sn (c) AS21+%1 Sn (d) AS21+%2 Sn

3.2.1 Elektron Mikroskobu (SEM) Kırık Yüzey sonuçları

AS21 alaşımına ilave edilen Sn oranlarına bağlı olarak inter metalğin kırılma yapılarında değişiklikler gözlemlenmiştir. İlave edilen Sn oranındaki değişkenliğine bağlı olarak belirli oranlarda farklılık gösterdiği gözlemlenmiştir (Şekil 3.5).



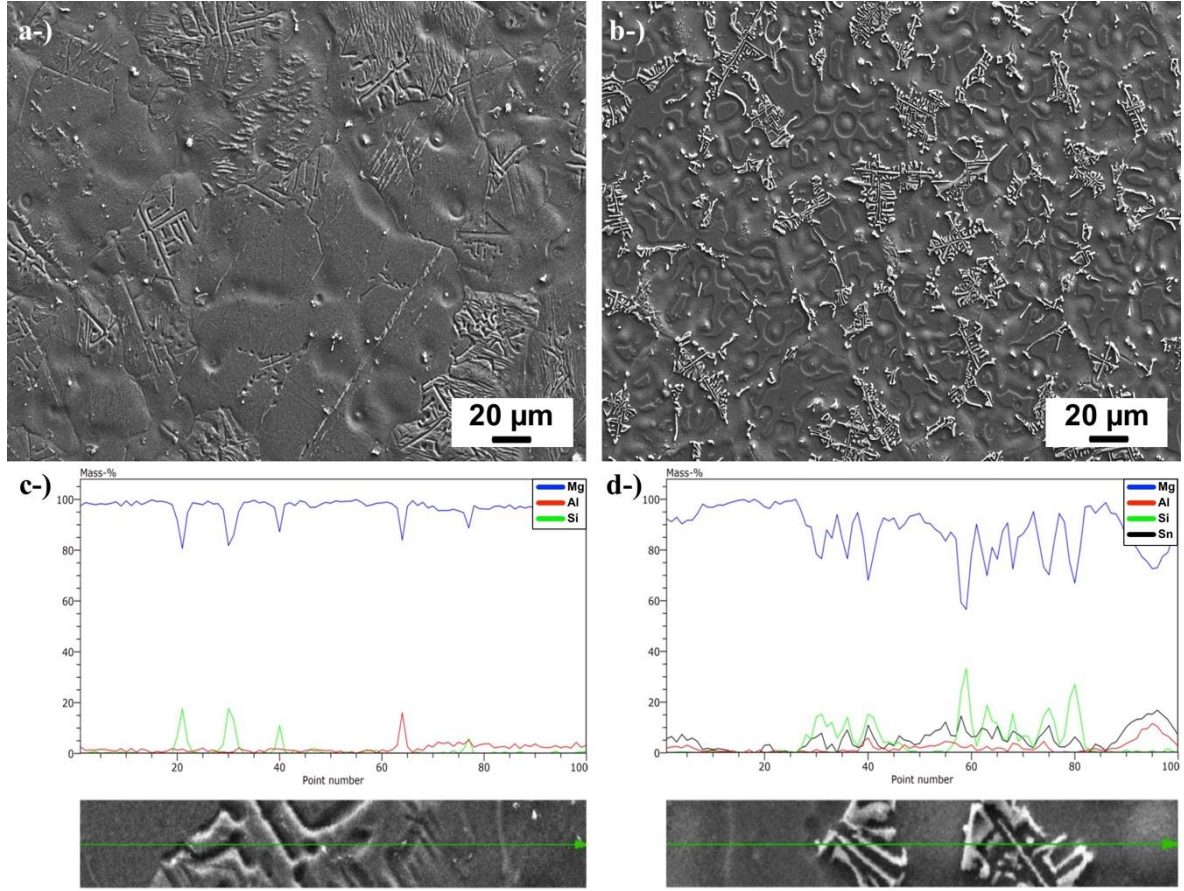
Şekil 24.5: Çekme testi sonrası alınan kırık yüzey SEM görüntüleri (a) AS21 (b) AS21+0,5 Sn (c) AS21+1 Sn (d) AS21+2 Sn

Şekil 3.5 incelendiğinde a ve d şekillerinin çukurluklar oluşturarak kırıldığı gözlemlenmiştir. Bu kırılma şekilleri ile sünek bir kırılma gözlemlenirken b ve c şekilleri a ve d şekillerine nazaran daha gevrek kırılmalar gözlemlenmiştir.

3.3 EDX sonuçları

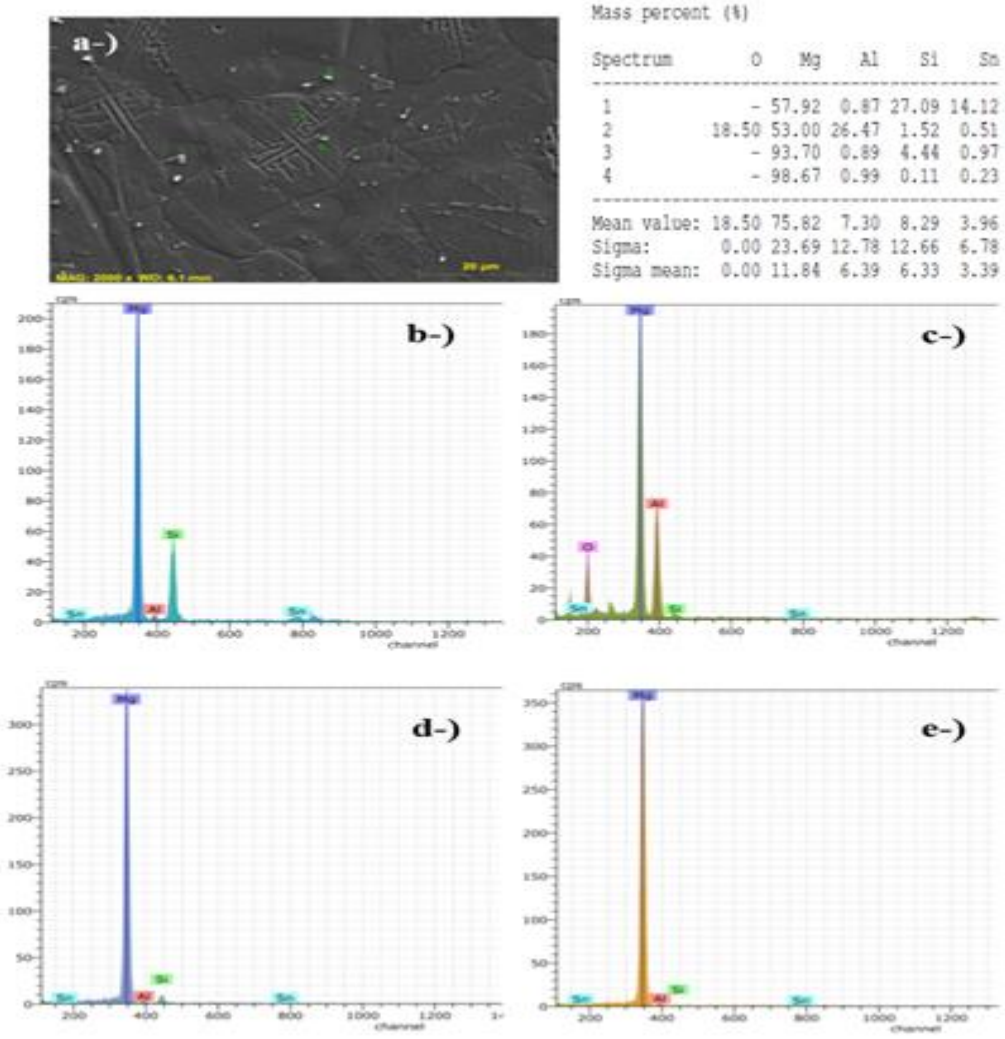
Şekil 3.6'da Sn içermeyen ve %2Sn içeren AS21 alaşımının çizgisel EDX analizleri verilmektedir. Elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında, AS21 alaşımındaki Çin yazısı şekilli Mg_2Si fazlarında sadece Mg ve Si elementlerinin yoğunlaştığı ancak %2 Sn içeren AS21 alaşımında ise Çin yazısı şekilli Mg_2Si fazlarında ek olarak Sn piklerinin olduğu görülmektedir. Mg-Al-Mn alaşımına eklenen Sn elementinin çoğunlukla α -Mg matrisinde çözünen element olarak gözlemlenmiş ve bulgulara Luo vd., 2009 çalışmadaki bulgulara benzer olarak $Mg_2(Sn,Si)$ şeklinde Çin yazısı şekilli Mg_2Si fazlarının içerisinde

bulunduğunu gözlemlemiştir. %2 Sn içeren AS21 alaşımlarının çizgisel EDX sonucunda ayrıca gri bölgelerin Sn ve Al bakımından zengin olduğu görülmektedir.



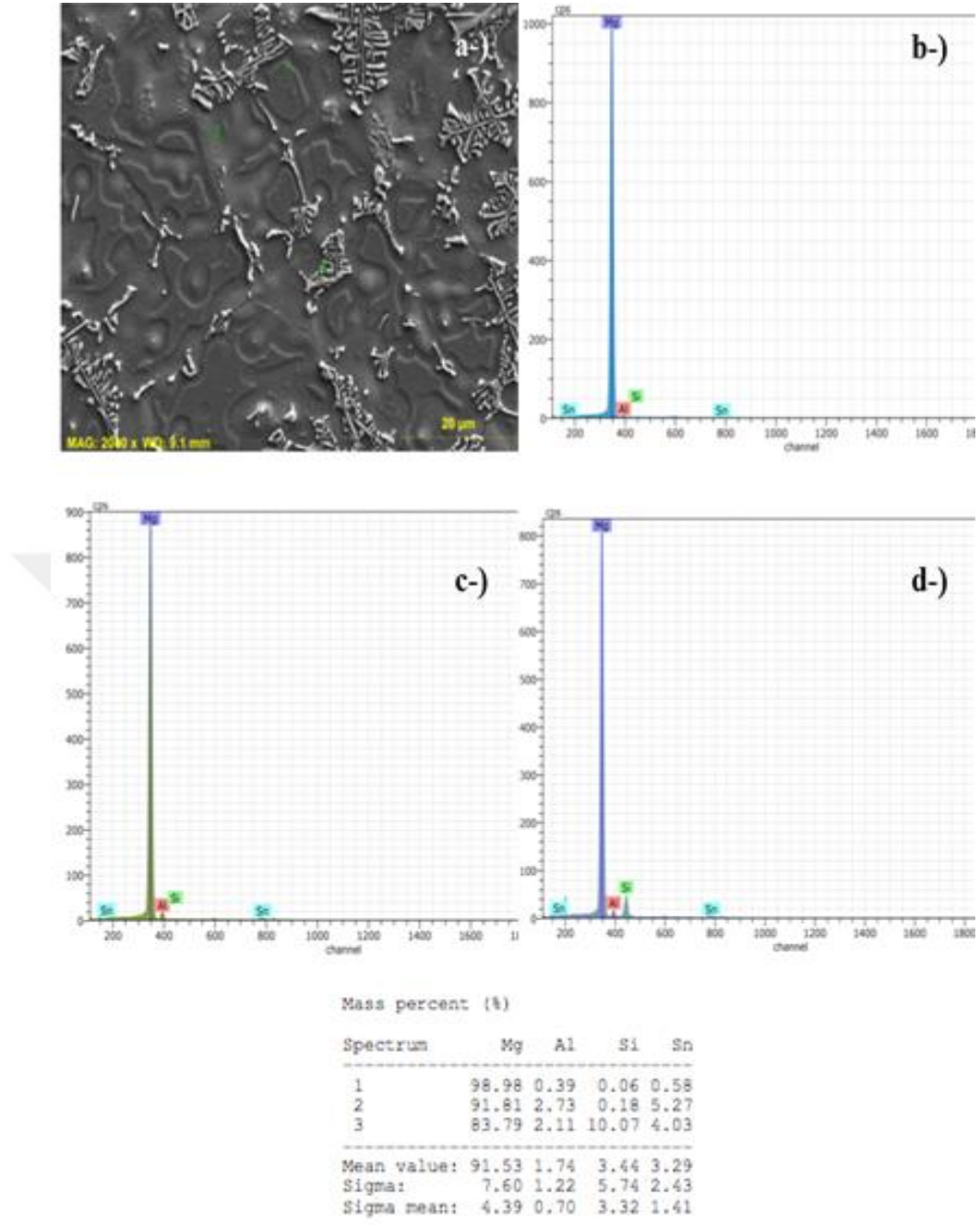
Şekil 3.6: Şekil Sn içermeyen ve %2 Sn içeren AS21 alaşımlarının çizgisel EDX analizleri
(a) Sn içermeyen AS21 alaşımı (b) %2 Sn içeren AS21 alaşımı

Şekil 3.6'da %0,5 Sn içeren AS21 alaşımlarının noktasal EDX analiz sonuçları verilmektedir. Kaba şekilde bulunan Çin yazısı şekilli Mg_2Si fazlarının içerisinde çizgisel EDX sonuçlarına benzer şekilde Sn elementinin var olduğu görülmektedir. Ayrıca yaklaşık olarak 2 µm boyutlarında, birbirinden ayrık ve küresel şekle yakın biçimde Mg ve Al'ce zengin fazlar da görülmektedir. Bu fazların kimyasal bileşimlerine bakıldığında β - $Mg_{17}Al_{12}$ fazının teorik bileşimine yakın olduğu görülmektedir. Her ne kadar Al elementinin Mg içerisindeki çözünürlüğü yaklaşık %12 olsa da dökümde sırasında gerçekleşen dengesiz katılaşma sonucunda düşük Al içeriklerinde dahi β - $Mg_{17}Al_{12}$ fazının oluşabileceği bu çalışmada gösterilmiş bulunmaktadır.



Şekil 3.7: %0,5 Sn içeren AS21 alaşımlarının noktasal EDX analiz sonuçları

Şekil 3.9'da %2 Sn içeren AS21 alaşımlarının noktasal EDX analiz sonuçları verilmektedir. Çizgisel EDX analiz sonuçlarına benzer olarak Sn elementinin sıkı şekilde bulunan Çin yazısı şekilli Mg_2Si fazlarının içerisine yerleştiği burada da görülmektedir. Gri alanların Sn içermeyen alaşımlara göre daha fazla bulunduğu ve bu alanlardaki Sn ve Al elementlerinin koyu bölgelere göre daha yoğun olduğu görülmektedir. Buna sebep olarak yine Sn ve Al alaşım elementlerinin dengesiz katılma sonucu segregasyona uğrayarak bölgesel kimyasal farklılıklara sebep olması gösterilmektedir.



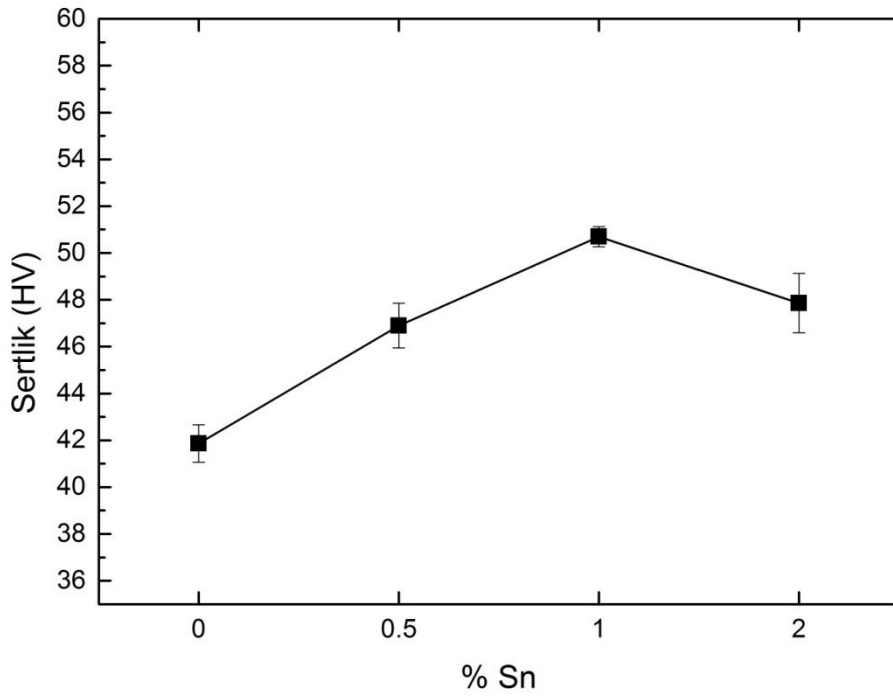
Şekil 3.8: %2 Sn içeren AS21 alaşımının noktasal EDX analiz sonuçları

3.4 Sertlik sonuçları

Tablo 3.1: AS21-AS21+%0,5 Sn-AS21-%1 Sn-AS21-%2 Sn Sertlik Ölçüm değerleri

Alaşım	Sertlik ölçümleri (MPa)					
	1.Ölçüm	2.Ölçüm	3.Ölçüm	4.Ölçüm	5.Ölçüm	Ortalama
AS21	41.1MPa	41.8MPa	42.7MPa	41.4MPa	41.6 MPa	41,72MPa
AS21-%0.5Sn	47.9MPa	46.6MPa	46.8MPa	46.4MPa	46.1 MPa	46,76MPa
AS21-%1Sn	51.2MPa	50.8MPa	50.5MPa	51.0MPa	50.5 MPa	50,8 MPa
AS21-%2Sn	48.5MPa	48.7MPa	48.4MPa	48.3MPa	48.8 MPa	48,54MPa

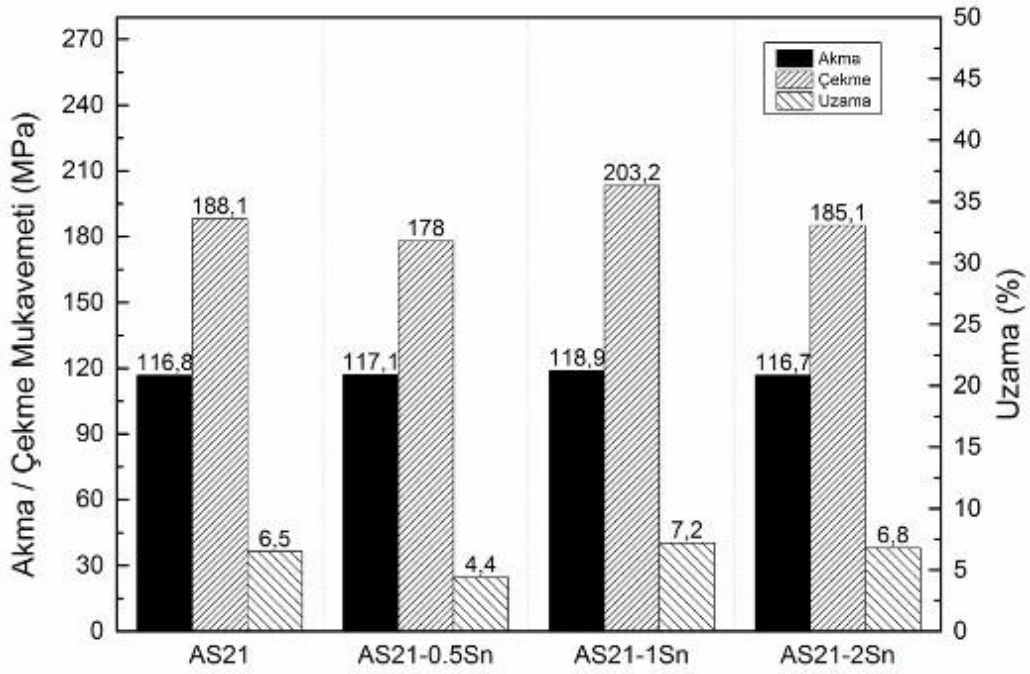
Tablo 3.1 ve Şekil 3.7 incelendiğın AS21 alaşımına eklenen kalay oranı sertlik değerklerine belli oranlarda olumlu etki yaptığı gözlemlenmiştir. Burada %1 oranında Sn ilavesi en üst seviyede setlik gösterirken. %2 Sn ilavesi setliğıe ters yönlü bir etkide bulunduğı gözlemlenmiştir.



Şekil 3.9: Sertlik ölçüm değerklerinin gösterimi

3.5 Çekme Testi Deneyi Sonuçları

Şekil 3.10'da görüldüğü gibi en yüksek çekme akma ve yüzde uzama değerleri AS21-%1 Sn alaşımında görülmüştür. AS21-%0,5 Sn alaşımında çekme ve yüzde uzama değerlerinin Sn eklenmemiş alaşıma göre düştüğü gözlemlenmiştir. AS21-%2 Sn alaşımında AS21 alaşımına %2 oranında Sn ilavesinin etkisi çok az olduğu gözlemlenmiştir. AS21-%1 Sn alaşımında Mg_2Sn fazı ince çökelti halinde yapıda bulunduğu için dislokasyonların hareketini engelleme ve buna bağlı olarak çekme dayanımında bir miktar artış olarak gözlemlenmiştir.



Şekil 3.10: Çekme, Akma ve % Uzama değerleri

BÖLÜM 4

BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Mikro Yapı Sonuçlarının Değerlendirilmesi ve Tartışma

AS21 alaşımının mikroyapısı incelendiğinde yapıda oluşan değişimler şu şekilde görülmektedir.

AS21 mikroyapısında kaba Çin yazısı şeklinde görülmektedir. Artan Sn oranı ile birlikte Mg_2Si fazının Çin yazısı şeklinde değişerek Mg_2Si fazının daha yoğun bir şekilde bulunduğu göstermektedir. Sn ilavesi Mg_2Si fazının genişlemesini engelleyerek bu fazı belli noktalarda yoğunlaşmasına neden olmuştur.

AS21 mikro yapısında kaba Çin yazısı şeklinde Mg_2Si inter metaliği görülmesi, artan Sn oranı ile birlikte Mg_2Si fazının Çin yazısı şeklinin değişerek Mg_2Si fazının daha yoğun bir şekilde bulunduğu görülmektedir. Sn ilavesi Mg_2Si fazının yayılmasını engelleyerek bu fazın belli noktalarda yoğunlaşmasına neden olmuştur Literatürde Luo, (2009); Sachdev vd.,(2009). ile aynı sonuçlara ulaşılmıştır.

Araştırmasında Magnezyuma eklenen kalayın Çin yazısı şeklini yoğunlaştırdığı ve buna bağlı olarak Sn oranlarındaki artış olduğunu belirtmiştir. Alaşıma eklenen Sn nin alaşımda yoğunlaşmaya neden olduğu sonucuna ulaşmıştır. Artan Sn miktarı ile Mg_2Sn intermetalik fazının oluşma eğiliminde olduğu gözlemlenmiştir.

AS21 alaşımında α -Mg matrisi yanı sıra β fazı tane sınırları boyunca ağ şeklinde ince bir faz olduğu görülmüştür. $\alpha+\beta$ ötektiği (Çin Yazısı Mg_2Si) şeklinde görülmektedir. OM ve EDX analizlerinin $\alpha+\beta$ ötektiği ve β fazının olduğu kanısına varılmıştır. Literatürde Zhao vd., (2007). Çalışması ile sonuçlar benzerlik göstermektedir. Kullanılan yöntemdeki farklılıklar ve alaşım elementinin farklı olması çini yazısı şeklinde bozulmalara neden olabilmektedir. Kullandığımız yöntem olarak imalatını gerçekleştirdiğimiz Atmosferi kontrollü ergitme ünitesi oksijen ile teması keserek oksijen ile teması engellemesi $\alpha+\beta$ ötektiği Chinese Script Çin Yazısı (Mg_2Si) oluşumunu sağlamıştır.

AS21 alaşımına eklenen Sn oranına bağlı olarak oluşan $\alpha+\beta$ fazlarının boyutlarında daralmalar gözlemlenmiştir. EDX ve çizgisel EDX analizleri kaba şekilde bulunan Çin yazısı şekilli Mg_2Si fazlarının var olduğunu ortaya koymaktadır. Literatürde Landkof. (2005) yaptığı çalışmaya benzerlik göstermektedir. Magnezyum alaşım uygulamalarında kullanılan metot ve alaşımlar fazlar arası geçişleri etkilemekte farklı oranlarda değişiklik göstermektedir.

Tane sınırları boyunca Sn' ce zengin ağısı bir yapı oluşmuştur. %2 Sn ilavesi olan Mg_2Si bu ağısı yapı daha belirgin yapıda görölmektedir. Atmosferi kontrollü ergitme ünitesinde kullanılan SF_6-CO_2 gazı ve argon lineer gazları oksijen ile teması keserek Magnezyum oksijen ile temasa girmesini engellemiştir. Ünite üzerine yerleştirdiğimiz karıştırıcı sayesinde homojen bir dağılım sağlanmaya çalışılarak Sn nin tane sınırlarına yerleşmesi sağlanmış ve Sn'ce zengin ağısı yapı oluşumu sağlanmışır.

Ayrıca yaklaşık olarak 2 μm boyutlarında, birbirinden ayrıık ve küresel şekle yakın biçimde Magnezyum ve Alüminyumca zengin fazlar da görölmektedir. Bu fazların kimyasal bileşimlerine bakıldığında $\beta-Mg_{17}Al_{12}$ fazının oluşması muhtemeldir. Her ne kadar Al elementinin Mg içerisindeki özünörlöğü yaklaşık %12 olsa da, dökümde sırasında gerçekleşen dengesiz katılaşma sonucunda, düşük Al içeriklerinde dahi $\beta-Mg_{17}Al_{12}$ fazının oluşabileceği kanısındaım. Literatürde Karaebi'nin ulaştığı sonuçlara bakıldığında Alaşımına eklenen Sn oranına göre Mg-Sn ikili fazlarının gözleendiği ve eklenen Sn oranı ile bu ikili fazların daha belirginleştiği hale getirdiği belirtilmiştir.

4.2 Mekanik Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi ve Tartışma

AS21 alaşımının mekanik sonuçlar incelendiğinde elde edilen sonuçlar şu şekilde değerlendirilir.

4.2.1 Çekme dayanımı sonuçlarının değerlendirilmesi

%0.5 Sn oranında Kalay ilavesinin alaşım çekme dayanımında 10,1 MPa kadar bir düşüş gözlemlenmiş ve çekmeye olumsuz yönde etkisi olduğu kanısına varılmıştır. Literatür

araştırıldığında bu sonuçlar ile çeliştiği sonucuna varılmıştır.

Araştırmada Şekil 3.10 incelendiğinde ulaşılan sonuçlar ile çelişmektedir. Araştırmalar incelendiğinde AS21 alaşımı mikroyapısında bulunan Mg ve Al fazları değişikliğe uğrayarak tane sınırlarındaki fazlar arasındaki mesafenin daralmasıdır. Buna bağlı olarak çekme dayanımının artması beklenmektedir.

AS21 alaşımının 188,1 MPa olan çekme dayanımının alaşıma eklenen %1 Sn ile çekme dayanımını 203,2 MPa'a yükselttiği ve pozitif yönde 15,1 MPa arttırdığı ve çekme dayanımına olumlu yönde etkilediği kanısına varılmıştır. Literatürde Ünal, (2008) Araştırması incelendiğinde farklı oranlarda farklı çekme dayanımları bulunmasına rağmen çekme dayanımına olumlu yönde bir etkiye bulunduğu desteklenmektedir. Bu aşamada çekme dayanımının artması beklenen bir sonuçtur. Diğer taraftan Mg_2Sn fazının dislokasyonların engelleme etkisinde çalışma üzerindeki etkisi büyüktür. Tablo 3.1 incelendiğinde sonuçlar araştırmayı desteklemektedir.

AS21 alaşımında çekme dayanımı 188,1 MPa bulunmuştur. Alaşıma eklenen %2 oranında Sn ile alaşımın çekme dayanımı 185 MPa olarak elde edilmiştir. Küçükte olsa bir azalma göstererek negatif yönde bir etki göstermiştir. Sn' in çekme dayanımını azalması mikroyapıda Mg_2Sn fazının oluşumunun yanı sıra taneler arası intermetalik fazların incelenerek dağılım göstermesine dayandırılabilir. Literatür taramalarının birçoğunda kalayın %2 seviyelerinde çekme dayanımında pozitif etkiler gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır. Fakat daha yüksek seviyede tane sınırlarına yerleşen Sn' ler oransal artımı belirli seviyeden sonra ters etki yaptığı sonucuna varılmıştır. %2 oranında ilave edilen elementler arasında Sn çekme dayanımını artırırken alaşımdaki Si elementinin etkisi azalmaktadır. Sn oranının artması çekme dayanımını AS21 alaşımından aşağılara düşürebilmektedir.

4.2.2 % Uzama Sonuçlarının Değerlendirilmesi

AS21 alaşımı incelendiğinde alaşıma eklenen %0,5 oranında Sn nin % uzama oranında olumsuz yönde etkiye bulunmuştur. Literatürde Aizawa, (2006) ve Song, (2006) Çalışmaları incelendiğinde uzamada olumsuz yönde etkilendiği kanısını desteklemektedir. Sn ilavesi ile oluşan Mg_2Sn sünek fazının oluşmasına rağmen % uzama oranında ki

düşüşün Mg_2Sn fazının yapıda ince çökelti fazı şeklinde bulunmasından kaynaklandığı sonucuna varılabilir.

AS21 alaşımına %1 Sn ilavesi % uzama miktarında artarak mekanik olarak olumlu yönde etkilenmiştir. Şekil 3.10 incelendiğinde AS21 alaşımında 6,5 MPa sonucuna ulaştığımız alaşımımız %1 oranında Sn ilavesi ile % uzama oranımızın 7,2 MPa olarak sonuç alınmıştır. Literatürde Nayyeri, (2010) Çalışmaların incelenmesi sırasında alaşıma girdi olarak eklenen %1Sn'in alaşım içerisinde % uzama oranını arttırmasını ve Mg_2Sn intermetalik fazının sünekliği arttırmasının en önemli faktörü olarak ortamdan uzaklaştırılan oksijen olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Mg_2Sn intermetalik fazının alaşımda tane sınırlarına yerleşerek oluşturduğu süneklik magnezyumla oksijenin tepkimeye girmesi engellenerek elde edilmiştir. Çalışmalarında kalay ilavelerinin belirli oranlarda olmasının % uzamaya katkıları olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

AS21 alaşımında 6,5 MPa olan % uzama miktarı % 2 Sn ilavesi ile 6,8 MPa a yükselmiş ve çok az bir miktar artarak bu pozitif yönlü bir etki gözlenmesine rağmen kayda değer bir artış sağlanmamıştır. Şekil 3.10 incelendiğinde görülmektedir ki AS21 alaşımına yakın bir yüzde uzama sonucuna ulaşılmıştır. Artan Sn miktarı ile Mg_2Sn intermetalik fazının oluşma eğiliminden çekme dayanımındaki artış oranı düşmüştür. Burada Sn elementinin artış oranına bağlı olarak sünekliğin artması gibi bir durum gözlenmemiştir. Aksine oranın artışı alaşımın % uzama miktarında düşmeye neden olmuştur. % uzama değerleri %2Sn oranda AS21+%1 Sn'den daha düşük olmuştur. Literatürde Karaçelebi, (2016) araştırması incelendiğinde bulunan sonuçların benzerlik gösterdiği görülmektedir.

4.2.3 Akma Sonuçlarının Değerlendirilmesi

%0,5Sn oranında Kalay ilavesinin alaşım üzerindeki akma dayanımının AS21 alaşımına eklenmeden önceki dayanım ile arasındaki farkın çok az olduğu gözlemlenmiş ve kayda değer bir gelişim gözlemlenmemiştir. Genellikle Magnezyum alaşımlarında akma oranları gösterilmemektedir. Bu oranların elde edilmesi alaşımda bulunan yapıda tane boyutlarının küçülmesi ile akma dayanımının artması ile sonuçlanır. Literatürde Aizawa, (2006) ve Song, (2006) Çalışmaları incelendiğinde eklenen kalay oranlarına bağlı olarak akma dayanımlarında artma gözlenmiştir. Bu sonuçlar beklenen bir sonuç olarak değerlendire

biliriz. Bu alaşıma eklenen Sn ile tane incelmesi ile ilişkilendirilmektedir. Deneysel kısımda kullandığımız atmosfer kontrollü döküm ünitesi ile yüksek basınçlı döküm yöntemi ile yapılması akma dayanımına etkisinin olduğu kanısına varılmıştır.

AS21 alaşımının eklenen %1Sn akma dayanımını 116,8 MPa AS21 alaşımının akma dayanımını 118,9 MPa'a yükseltmektedir. Bu oran %1Sn ilavesinin AS21 alaşımına akma dayanımına pozitif yönde bir etki yapmıştır. Literatüre göre olumlu olması beklenen bu etki az da olsa pozitif etki yapmıştır. Araştırmalar kısmında bulunan Şekil 1.24 incelendiğinde Magnezyum alaşımlarının uzama eğrisi görülmektedir. AS21 alaşımlarının akma değerleri basınçlı döküm uygulamalarının klasik kum kalıba döküm, kokil kalıba döküm yöntemlerine oranla daha yüksektir. Literatürde Aizawa, (2006) ve Song, (2006) Uyguladığımız döküm yöntemi ve pota içerisinde ki karıştırma ile Sn nin AS21 alaşımı ile homojen yakın bir yapıya kavuşması neticesinde herhangi bir negatif etki göstermeyerek az da olsa pozitif bir etkide bulunmuştur.

AS21 alaşımına eklenen %2 Sn ilavesi akma dayanımında AS21 alaşımı ile yakın bir dayanım göstererek kayda değer bir değişim göstermemiştir. Bu sonuç Sn miktarının belirli oranları geçmesi durumunda negatif yönde bir etkide bulunması ihtimali üzerinde değerlendirilmiştir. Burada akma dayanımının % uzama oranına bağlı olarak birbiri ile ilişkilendirildiği düşünülürse elde ettiğimiz veriler % uzama oranına benzerlik göstermektedir. % uzama oranında düşme miktarı oranı akma dayanımı oranları birbiri ile örtüşmektedir. Burada Mg_2Sn intermetalik fazının artış oranına bağlı olarak akma dayanımının artması gibi bir durum gözlenmemiştir. Aksine oranın artışı alaşımın akma dayanımında miktarında negatif yönlü bir etkide bulunmuştur. Akma değerleri %2 Sn oranda AS21+%1 Sn'den daha düşük olmuştur.

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmamda AS21 alaşımına ilave olarak %0,5-%1 ve %2 oranlarında Sn içerikli alaşımların düşük basınçlı döküm yöntemi ile dökümleri yapılmış olup çekme, akma ve yüzde uzama değerleri alınmıştır. Ayrıca OM ve SEM görüntüleri incelenmiştir. Yapılan incelemelerden elde edilen sonuçlar ve öneriler ise şu şekildedir;

Sonuçlar:

- 1) AS21 alaşımlarına Sn ilavesi ile oluşan Çin yazısı şeklinde Mg_2Si şekillerin, alaşım içerisine ilave edilen Sn oranı ile değişiklik gösterdiği gözlemlenmiştir.
- 2) AS21 alaşımına eklenen Sn elementinin ilavesi ile mikro yapı morfolojisi değişerek tane boyutlarında ve yapılarında değişimler gözlemlenmiştir.
- 3) AS21 alaşımına ilave edilen Sn nin oransal olarak değişiminin miktarına bağlı sertlikte lineer bir artma gözlenmiştir. Bu oran %2'ye ulaştığında bu olumlu etkinin ortadan kaybolarak olumsuz yönlü değiştiği gözlemlenmiştir.
- 4) AS21 alaşımları daha yüksek sürünme dayanımı gözlemlenmesine rağmen, düşük döküm verimliliği basınçlı döküm çalışmalarında kullanımını azaltmıştır. Kullanılan ters yer çekimi döküm performansını arttırdığı gözlemlenmiştir.
- 5) AS21 alaşımının Sn ilavesi ile dökülebilirlik ve buna bağlı mekanik özelliklerinde yükselme meydana geldiği görülmektedir. Alaşıma %1 Sn ilavesi ile en üst düzey akma, çekme dayanımı ve % uzama elde edilmiştir.
- 6) AS21 alaşımlarının ergitilmesin ve dökümünde kalıp atmosferi kontrolü seçimlerinde ocak atmosferinde argon gazı ile O_2 miktarını azaltması, kalıp ortamında ise SF_6-CO_2 gaz karışımı kullanımı ile O_2 ve diğer gazların dışarı atılmasından dolayı uygun değer sonuçlar elde edilmiştir.

7) AS21 alaşımının dökümünde kalıp sıcaklığı arttıkça sıcak yırtılma eğiliminin azaldığı ve 250 °C kalıp sıcaklığında birim hacimdeki O₂ ve buna bağlı olarak nemlilik miktarının azalması ile dökülen parçaların döküm yüzeyinin daha temiz olduğu gözlenmiştir.

8) AS21 alaşımına %0,5 ve %1 Sn ilavesinin AS21 alaşımının akma değeri değişim gözlenmezken, %0,5 Sn ilavesi alaşımını çekme ve uzama dayanımını düşürdüğü %1 Sn ilavesinin de Artan Sn miktarı ile Mg₂Sn intermetalik fazının oluşma eğiliminden çekme ve uzama dayanımındaki artış gözlemlenmiştir.

İlerideki aşamalarda çalışılabilecek konular için öneriler aşağıda sunulmuştur:

1) AS21 alaşımına Kalay (Sn), Antimuan (Sb) ve Stronsiyum (Sr) elementleri ilave edilerek ikili ve üçlü farklı kombinasyonlar ile birlikte mikroyapı ve mekanik testlerin sonuçları araştırılabilir.

2) Yapılan çalışmalarda elde edilen numuneleri homojenleştirme mekanik özelliklerinin değişimi hakkında incelemeler yapılabilir.

3) AS21 alaşımına eklenen Sn miktarı ileriki çalışmalarda %0,1-0,2-0,3-0,4 oranlarında eklenerek mekanik özellikleri, akma, çekme ve uzama özellikleri araştırılabilir.

4) Mg alaşımlarının ergitme teknikleri, döküm yöntemleri ve atmosferlerinde değişik gazlar kullanılarak dökümler yapılabilir.

5) Yapılan çalışmada elde edilen numunelerin ve imalatı yapılan döküm prosesinin farklı lisans ve yüksek lisans tezlerin yapımında kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- Aizawa, T. and Song, R., (2006). Mechanically induced reaction for solid-state synthesis of Mg_2Si and Mg_2Sn , *Intermetallics*, 14: 382-391
- Aghion, E. and Bronfin, B., (2005). Physical metallurgy of Mg alloys, *Magnesium Technologies Users Assotiation*, 7-44
- Barber, L.P., (2004). Characterization of the solidification behavior and resultant microstructures of magnesium-aluminum alloys, *A Thesis of Master, Worcester Polytechnic Institute, Worcester*, 10-46
- Baker, H., (1998). , Alloy phase diagrams, *ASM Handbook*, 3: 280-285 73
- Balasubramani, N., Srinivasan, A., Pillai, U.T.S. and Pai, B.C., (2007). Effect of Pb and Sb additions on the precipitation kinetics of AZ91 magnesium alloy, *Materials Science & Engineering*, 457: 275-281
- Beffort, O. ve Hausmann, C., (1999). Das leichtmetal magnesium und seine egierungen, *EMPA Mg seminar, Thun*, 15-22
- Bolstad, J., (2000). Magnesium alloy development for intelligent magnesium Designs, *SinoMaG seminar, Beijing-China*, 8-14
- Brungs, D., (1997). Light Weight Design with Light Metal Castings, *Materials & Design*, Vol:18, pp.285-291.
- Durrani S, (1993). Optimizing Convertible Automobile Design Trough the Use of Magnesium, *SAE Tecnical Report Papier Series*, 930411
- Dobrzanski, L.A., Tanski, T., Cizek ve L., Brytan, Z., (2007). Structure and properties of magnesium cast alloys, *Journal of Materials Processing Technology*, (192-193): 567-574
- Eker A. A., Magnezyum ve Alaşımları, Ders Notları, *Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul* (2008).
- Eliezer, D., Aghion, E. ve Froes, F.H., (1998). Magnesium science, technology and applications, *Advanced Performance Materials*, 201-212
- Feng, X., Xuegang, M. ve Yangshan, S., (2006). Microstructures and mechanical properties of AZ91 alloy with combined additions of Ca and Si, *Journal Materials and Science*, 41: 4725-4731
- Feng, H., Jianping, L. ve Zhong, Y. (2008). Effects of Ti Content on Microstructure and Mechanical Properties of As-cast AM60 Magnesium Alloy, *Special Casting & Nonferrous Alloys*, 42-1148/TG

- Gaines, L., Cuenca, R., Stodolsky, F. and Wu, S., (1996). Potential automotive uses of wrought magnesium alloys, *Automotive Technology Development, Detroit, Michigan*, 1-7
- Guthrie, S.E., Thomas, G.J., Bauer, W. and Yang, N.Y.C., (1996). The development of lightweight hydride alloys based on magnesium, *Master, Ms.C. Thesis Sandia National Laboratories Department of Energy, California*, 1-35
- Johansson, S., Magnesium Alloys, (2002). Summary of chapter 1-7 in light alloys by I.J. Polmear, *Engineering Materials*, 5: 17-20
- J. Geng, X. Gao, X.Y. Fang ve J.F. Nie (2011). Enhanced agehardening response of Mg-Zn alloys via Co additions, *Scripta Materialia* 64 506–509
- Kaçar Ğ., Öztürk F., (2006). Magnezyum alaşımlarının Şekillendirilmesindeki son gelişmeler, *Timak Tasarım İmalat Analiz Kongre Yayını*, Balıkesir, 354-361
- Karaçelebi E., Am60 Magnezyum Alaşımlarında Farklı Oranlarda Titanyum (Ti), İndiyum (In) Ve Kalay (Sn) İlavesinin Mikroyapı Ve Mekanik Özelliklere Etkisi 2016
- Landkof, B., Magnesium alloys applications, (2005). *Magnesium Alloys Science, Tecnology and Application, Ben-Guron University*, (8): 293-316
- Luo A.A (2000). Materials Comparison And Potential Applications Of Magnesium In Automobiles, *Magnesium Technology 2000*, Nashville, 89-99.
- Luo AA, Sachdev AK. (2009). *Optimization of Magnesium–Aluminum– Manganese Alloys and the Effects of Tin and Rare Earth Additions*. Eric Nyberg Sean R Agnew Neale R Neelameggham Mihriban O Perguleryuz Eds Magnes. Technol. TMS Miner. Mater. Soc. 2009. p. 437–443.
- Looze, G., Carrig, J. ve Nguyen, V., (2005). High-yield, high-integrity, permanent mould magnesium casting Foundry Trade Journal, 3629: 280-282
- Mordike, B.L. ve Ebert, T., (2001). Magnesium properties-applications-potential, *Materials Science&Engineering A*, 302: 37-45
- Mordike B.L. ve Kainer K.U., (1998). Magnesium alloys and their applications, *Werkstoff- Informationsgesellschaft, Frankfurt*, 34-482
- Minor Metals Trade Association, Magnesium Metal Market Overview, <http://www.mmta.co.uk/magnesium-market-overview> (2016).
- Malarvizhi, S. ve Balasubramanian, V., (2012). Influences of tool shoulder diameter to plate thickness ratio (D/T) on stir zone formation and tensile properties of friction stir welded dissimilar joints of AA6061 aluminum–AZ31B magnesium alloys, *Materials and Design, Cilt 40*, 453–460

- Nayyeri, G., Mahmudi, R., ve Salehi, F., (2010). The microstructure, creep resistance, high-temperature mechanical properties of Mg5Sn ally with Ca and Sb additions. and aging treatment, *Materials Science and Engineering A*, 527: 5353-5359
- Öztürk, F., ve Kaçar, G., (2012). Magnezyum alaşımları ve kullanım alanlarının incelenmesi”, Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 1 (1): 12-20
- P. Bala Srinivasan, C. Blawert, W. Dietzel (2009). Dry sliding wear behaviour of a conventional and recycled high pressure die cast magnesium alloys *Materials characterization* 60(2009)843-847
- Schwam, D., Wallace, J.F., Zhu, Y. and Viswanathan, S. and Iskander, S., (2000). Enhancements in magnesium die casting impact properties, final report, *Case Western Reserve University*, DOE-FC07-98ID13611, Ohio, 5-22
- Ünal, M. (2008). Magnezyum alaşımlarının döküm özelliklerinin incelenmesi Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 57-61
- Vecchiarelli, M.A., Sand cast magnesium prototypes for automotive die casters, *SAE Technical Report Paper Series*, DOI: 10.4271/920072 (1992).
- Vogel, M., (2002). Mikrostruktur und kriechverhalten von magnesium-druckgusslegierungen im system Mg-Zn-Al-Ca”, Ph.D. Thesis, Max-Planck-Institut für Metallforschung, Stuttgart, 6-20
- Watarai, H., (2006). Trend of research and development for magnesium alloys, *Science and Technology Trends*, 18: 84-97
- Watari, H., Davey, K., Rasgado, M.T., Haga, T. ve Izawa, S., (2004). Semi-solid manufacturing process of magnesium alloys by twin-roll casting, *Journal of Materials Processing Technology*, 155 (156): 1662-1667
- Weichao, Z., Shuangshou, L., Bin T., Daben, Z. and Xutao, G., (2006). Effect of rare earths on hot cracking resistant property of Mg-Al alloys, *Journal of Rare Earths*, 24: 346-351
- Westengen, H., Gjestland, H., (2006). Advancements in High Pressure Die Casting of Magnesium, *Proceedings of the 7th International Conference on Magnesium Alloys and Their Applications*, Germany, pp. 175-189.
- Wei Zhou, Naing Aung, Yangshan Sun (2009). Effect of antimony, bismuth and calcium addition on corrosion and electrochemical behaviour of AZ91 magnesium alloy, *Corrosion Science*
- Zhang Z., Couture, A. ve Luo, A., (1998). An Investigation of the properties of Mg-Zn-Al alloys, *Scripta Materialia*, 39: 45-53
- Zhang, J., Guo, Z.X., Pan, F., Li, Z. ve Xiaodong, L., (2006). Effect of composition on the microstructure and mechanical properties of Mg–Zn–Al alloys, *Materials Science and Engineering*, 456: 43-51

- Zhan, Z., (1997). Review and classification for magnesium patents, Report for the institute of magnesium technologies, *Derwent World Patents Index*, 14
- Zhao, P., Wang, Q., Zhai, C. ve Zhu, Y., (2007). Effects of strontium and titanium on the microstructure, tensile properties and creep behavior of AM50 alloys, *Materials Science and Engineering*, 444: 318-326
- Zhang, Z., (2000). Development of magnesium-based alloys for elevated temperature applications, Doctor of These, Faculte Des Sciences Et De Genie Universite, Quebec-Canada, 2-75



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Mehmet Mustafa YILDIZ
Doğum Yeri ve Tarihi : ADANA - 1985

Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi : Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi
Döküm Öğretmenliği
Bartın Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalürji ve
Malzeme Mühendisliği
Yüksek Lisans Öğrenimi : Bartın Üniversitesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği
Bildiği Yabancı Diller : İngilizce
Bilimsel Faaliyet/Yayınlar : Ahlatcı Hayrettin, Zengin Hüseyin, Türen Yunus, Sun
Yavuz, **Yıldız Mehmet Mustafa**, KARAOĞLANLI
ABDULLAH CAHİT (2017). Effect of Sn Addition on
Mechanical Properties of AS21 Magnesium Alloy. The
IRES - 178th International Conferences on Metallurgy
Technology and Materials (ICMTM) (Tam Metin
Bildiri/Sözlü Sunum)

Ahlatci, H., Zengin, H., Türen, Y., Sun, Y., **Yıldız, M.M.**, Karaoglanli, A.C., Ünal, M., Effect of Sn addition on mechanical properties of AS21 magnesium alloys, The Ires - 188th International Conferences On Engineering And Natural Science (ICENS), Lisbon, Portugal, 11-12 May 2017.

Zengin, H., Türen, Y., Sun, Y., Ahlatci, H., Karaoglanli, A.C., **Yıldız, M.M.**, Improvement on corrosion resistance of AS21 magnesium alloys by Sn addition, 4th International Conference On Computational And Experimental Science and Engineering, ICCESN, Side-

Antalya, Turkey, 4-8 October 2017.

Aldığı Ödüller : THY Teknik A.Ş Yılın Yüksek Performansı Ödülü (2013) İSDEMİR (2019 / 6 DOGY (Davranış Odaklı Güvenlik Yönetimi))

İş Deneyimi

Stajlar : Yeşilyurt Döküm Makine Sanayi Tic. Ltd. Şti
Projeler ve Kurs Belgeleri : Bilgisayar İşletmenliği (2010)
Uçak Bakım Personeli (2012)
Çalıştığı Kurumlar : Türk Hava Yolları Teknik A.Ş
İskenderun Demir Çelik Fabrikaları (Devam ediyor)

İletişim

E-Posta Adresi : mmy19@hotmail.com – metal5184@gmail.com

Tarih : 13/03/2019 (Tez Savunma Tarihi)