

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÇİNKO-ALÜMİNYUM ESASLI ZA-12 ALAŞIMINA Cr
İLAVESİNİN MİKROYAPI VE MEKANİK
ÖZELLİKLERE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Metalurji Müh. Yılmaz AYDIN

Enstitü Anabilim Dalı : METALURJİ ve MALZ.MÜH.

Tez Danışmanı : Doç. Dr. S. Can KURNAZ

Mart 2008

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÇİNKO-ALÜMİNYUM ESASLI ZA-12 ALAŞIMINA Cr
İLAVESİNİN MİKROYAPI VE MEKANİK
ÖZELLİKLERE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Metalurji Müh. Yılmaz AYDIN

Enstitü Anabilim Dalı : METALURJİ ve MALZ.MÜH.

Bu tez 07 / 03 /2008 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Doç. Dr. S. Can KURNAZ
Jüri Başkanı

Doç. Dr. Ahmet TÜRK
Üye

Yrd.Doç. Dr.Uğur ÖZSARAÇ
Üye

ÖNSÖZ

Çinko-Alüminyum alaşımları günümüzde birçok alanda bazı alüminyum alaşımları, dökme demir, pirinç ve bronz gibi diğer geleneksel döküm alaşımlarının yerini almaktadır. Bunun sebebi olarak da bu alaşımların iyi dökülebilirliğe, yüksek mukavemete ve iyi aşınma özelliklerine sahip olması gösterilebilir. Son yıllarda ise bu alaşımlara çeşitli alaşım elementlerinin ilavesinin mekanik özelliklere ve mikroyapıya etkisi araştırılmaktadır. Bu çalışmada, Cr alaşım elementi ilavesinin mekanik-mikroyapısal özellikler ve mukavemet üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

Bu yüksek lisans tezinin hazırlanmasında, değerli bilgi ve fikirleriyle büyük katkı sağlayan, çalışmalarında her türlü yardımı gösteren saygıdeğer hocam Doç. Dr. Can KURNAZ 'a çok teşekkür ederim.

Yardım ve önerileri ile katkılarını esirgemeyen sayın hocam Arş.Gör.Hüseyin Şevik 'e, deneysel çalışmalarım sırasında gösterdikleri ilgi ve özenden dolayı Metalurji ve Malzeme Mühendisliği yüksek lisans öğrencisi Şehzat AÇIKGÖZ' e teşekkürlerimi sunarım.

Yılmaz AYDIN

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
TABLolar LİSTESİ.....	x
ÖZET.....	xi
SUMMARY.....	xii

BÖLÜM 1.

GİRİŞ.....	1
------------	---

BÖLÜM 2.

BASINÇLI DÖKÜM.....	3
2.1. Genel Bilgi	3
2.2. Basınçlı Döküm Yöntemleri ve Makinaları.....	3
2.2.1. Sıcak kamaralı döküm yöntemi.....	4
2.2.1.1. Pistonlu sıcak kamaralı makinalar.....	5
2.2.1.2. Basınçlı hava ile çalışan sıcak kamaralı makinalar.....	5
2.2.2. Soğuk kamaralı döküm yöntemi.....	6
2.2.2.1. Yatay soğuk kamara tipi makinalar.....	6
2.2.2.2. Düşey soğuk kamara tipi makinalar.....	8
2.3. Basınçlı Dökümün Avantajları ve Dezavantajları.....	9

BÖLÜM 3.

ÇİNKO-ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI.....	11
3.1. Çinko Alaşımlarının Gelişimi.....	11
3.2. Çinko-Alüminyum Alaşımlarının Gelişimi.....	12

3.3. Çinko-Alüminyum Döküm Alaşımlarının Yapı ve Özellikleri.....	14
3.3.1. Çinko-Alüminyum ikili denge diyagramı.....	14
3.3.2. Çinko-Alüminyum döküm alaşımları ve faz dönüşümleri	16
3.3.2.1. ZA-8 alaşımı.....	16
3.3.2.2. ZA-12 alaşımı.....	17
3.3.2.3. ZA-27 alaşımı.....	18
3.3.3. Çinko-Alüminyum alaşımlarının fiziksel özellikleri.....	19
3.3.4. Çinko-Alüminyum alaşımlarının mekanik özellikleri.....	20
3.3.4.1. Sıcaklığın mekanik özelliklere etkisi.....	24
3.3.4.2. Mekanik özellik-mikroyapı ilişkisi.....	26
3.3.4.2.1. Isıl işlemin etkisi.....	27
3.3.4.2.2. Tane inceltici ilavelerin etkisi.....	31
3.3.4.3. Çinko-Alüminyum alaşımlarında korozyon ve aşınma...	31
3.3.4.4. Çinko-Alüminyum alaşımlarında darbe dayanımı kırılma tokluğu ve yorulma dayanımı.....	34
3.3.5. Alaşım elementlerinin mekanik özelliklere ve mikroyapıya etkisi.....	38
3.3.5.1. Bakırın etkisi.....	38
3.3.5.2. Magnezyumun etkisi.....	40
3.3.5.3. Manganın etkisi.....	41
3.3.5.4. Silisyumun etkisi.....	42
3.3.5.5. Kromun etkisi.....	44
3.3.5.6. Titanyum etkisi.....	44
3.3.5.7. Diğer elementler.....	44
3.4. Çinko-Alüminyum Alaşımlarının Kullanım Alanları.....	45

BÖLÜM 4.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	48
4.1. Çalışma Programı.....	48
4.2. Alaşımların Üretimi.....	48
4.3. Metalografi Çalışmaları.....	49
4.4. Sertlik Deneyleri.....	49

4.4.1 Brinell sertlik deneyi.....	49
4.4.2 Vickers sertlik deneyi.....	50
4.5. Çekme Deneyleri.....	50
4.6. Darbe Deneyleri.....	50
4.7. Yorulma Deneyleri.....	51
BÖLÜM 5.	
DENEYSEL SONUÇLAR	53
5.1. Giriş.....	53
5.2. Alaşımın Mikroyapıları.....	53
5.3. Alaşımlarda Sertlik.....	69
5.3.1. Brinell sertlik.....	69
5.3.2. Vickers sertlik.....	70
5.4. Alaşımlarda Darbe Mukavemeti	72
5.5. Alaşımlarda Çekme Mukavemeti	78
5.6. Alaşımlarda Yorulma Mukavemeti.....	81
BÖLÜM 6.	
SONUÇLAR.....	88
6.1. Sonuçlar.....	88
KAYNAKLAR.....	90
ÖZGEÇMİŞ	94

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

T	: Sıcaklık
a, c	: Kafes parametreleri
η	: Zn katı eriyiği
α	: Al katı eriyiği
Å	: Angstrom
$^{\circ}\text{K}$	: Kelvin
SPH	: Sıkı Paket Hegzagonal
YMK	: Yüzey Merkezli Kübik
W	: Watt
kWh	: Kilowattsaat
MPa	: Mega Pascal
GPa	: Giga Pascal
J	: Joule
kJ	: Kilojoule
μm	: Mikrometre
$\mu\Omega$	: Mikroohm
MN	: Mega Newton
HV	: Vickers Sertlik
BSD	: Brinell Sertlik

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Pistonlu sıcak kamara tipi basınçlı döküm makinası.....	5
Şekil 2.2.	Basınçlı hava ile çalışan makinanın basit görünüşü.....	6
Şekil 2.3.	Yatay soğuk kamaralı makinanın çalışmasına örnek.....	7
Şekil 2.4.	Düşey soğuk kamaralı döküm makinası ve çalışma sırasının gösterilmesi.....	8
Şekil 3.1.	Çinko-Alüminyum ikili denge diyagramı.....	15
Şekil 3.2.	Sıcaklığın fonksiyonu olarak ZA-8, ZA-12 ve ZA-27 'nin çekme gerilmesi ve uzaması.....	25
Şekil 3.3.	ZA alaşımlarında sıcaklık-darbe enerjisi değişimi.....	26
Şekil 3.4.	20°C ve 95°C 'de ZA alaşımları için yaşlandırma zamanı-çekme gerilmesi diyagramı.....	28
Şekil 3.5.	20°C 'de ve 95°C 'de ZA alaşımları için yaşlandırma süresi-değişim diyagramı.....	29
Şekil 3.6.	Döküm ve yaşlandırma işlemi görmüş ZA-8 'in darbe enerjisi değerleri.....	30
Şekil 3.7.	Çeşitli ısı işlemlerin ZA-27 'nin darbe enerjisine etkisi.....	30
Şekil 3.8.	ZA-12, ZA-27 ve SAE 660 bronzunun gerilme-hız ilişkisi	33
Şekil 3.9.	ZA alaşımları ve SAE 660 bronzunun aşınma davranışları.....	34
Şekil 3.10.	Kırılma tokluğunun sıcaklık ve Al miktarı ile değişimi.....	35
Şekil 3.11.	Metallerde yorulma kırılmasının makroskobik görünümü.....	37
Şekil 3.12.	ZA alaşımlarının eğmeli yorulma deneyi ile elde edilen S-N eğrileri.....	38
Şekil 3.13.	Zn-Cu ikili denge diyagramı.....	39
Şekil 3.14.	Zn-Mg ikili denge diyagramı.....	41
Şekil 3.15.	Zn-Mn ikili denge diyagramı.....	42
Şekil 3.16.	Zn-Si ikili denge diyagramı.....	43

Şekil 4.1.	Çekme mukavemeti deneylerinde kullanılan ASTM 8 standardına göre hazırlanan yuvarlak kesitli numunelerin şematik olarak gösterimi.....	50
Şekil 4.2.	Yorulma deney cihazı.....	51
Şekil 4.3.	Yorulma deney numunesi.....	51
Şekil 5.1.	Saf ZA-12 alaşımının optik mikroyapısı.....	54
Şekil 5.2.	Saf ZA-12 alaşımının SEM mikroyapısı.....	55
Şekil 5.3.	Cr ilaveli alaşımlarda lamelleri gösteren optik mikroyapı fotoğrafları (a) ZA-12+%0.01 Cr (b) ZA-12+%0.03 Cr (c) ZA-12+%0.05 Cr (d) ZA-12+%0.1 Cr.....	56
Şekil 5.4.	ZA-12+%0.01Cr alaşımının optik mikroyapısı.....	58
Şekil 5.5.	ZA-12+%0.01Cr alaşımının SEM mikroyapısı.....	58
Şekil 5.6.	ZA-12+%0.03Cr alaşımının optik mikroyapısı.....	59
Şekil 5.7.	ZA-12+%0.03Cr alaşımının SEM mikroyapısı.....	59
Şekil 5.8.	ZA-12+%0.05Cr alaşımının optik mikroyapısı.....	60
Şekil 5.9.	ZA-12+%0.05Cr alaşımının SEM mikroyapısı.....	60
Şekil 5.10.	ZA-12+%0.1Cr alaşımının optik mikroyapısı.....	61
Şekil 5.11.	ZA-12 +%0.01 Cr ilaveli alaşımın SEM mikroyapısı ve bu mikroyapı üzerindeki noktanın EDS analizi.....	63
Şekil 5.12.	ZA-12 +%0.03 Cr ilaveli alaşımın SEM mikroyapısı ve bu mikroyapı üzerindeki noktanın EDS analizi.....	64
Şekil 5.13.	ZA-12 +%0.05 Cr ilaveli alaşımın SEM mikroyapısı ve bu mikroyapı üzerindeki noktanın EDS analizi.....	65
Şekil 5.14.	ZA-12 +%0.1 Cr ilaveli alaşımın SEM mikroyapısı ve bu mikroyapı üzerindeki noktanın EDS analizi.....	66
Şekil 5.15.	%0,10 Cr içeren ZA-12 alaşımından elde edilen X-Işınları difraksiyonu.....	67
Şekil 5.16.	Al-Cr ikili denge diyagramı.....	68
Şekil 5.17.	ZA-12+Cr alaşım elementlerinin Cr oranı ile sertlik değişimi....	69
Şekil 5.18.	ZA-12+Cr alaşım elementlerinde ötektik ve dendritik bölgelerdeki Vickers sertlik değerleri.....	71
Şekil 5.19.	ZA-12 alaşımına Cr elementi ilavesinin darbe enerjisine etkisi..	72
Şekil 5.20.	ZA-12 alaşımının sertlik ve darbe enerjisine kromun etkisi.....	74

Şekil 5.21.	Darbe deneyi sonucunda kırılan saf ZA-12 alaşımına ait numunenin kırılma yüzeyini gösteren SEM fotoğrafları (a) x22 (b) x200.....	75
Şekil 5.22.	Darbe deneyi sonucunda kırılan ZA-12+%0.01Cr alaşımına ait numunenin kırılma yüzeyini gösteren SEM fotoğrafları (a) x22 (b) x200.....	76
Şekil 5.23.	Darbe deneyi sonucunda kırılan ZA-12+%0.1 Cr alaşımına ait numunenin kırılma yüzeyini gösteren SEM fotoğrafları (a) x22 (b) x200.....	77
Şekil 5.24.	ZA-12+Cr alaşım elementlerinin Cr oranı ile çekme dayanımının değişimi.....	79
Şekil 5.25.	ZA-12 alaşımına Cr elementi ilavesinin gerilmenin fonksiyonu olarak yorulma direncine etkisi.....	82
Şekil 5.26.	ZA-12 alaşımının çekme ve yorulma mukavemetine kromun etkisi.....	83
Şekil 5.27.	125 MPa 'lık gerilme altında yapılan yorulma deneyi sonucunda kırılan saf ZA-12 alaşımına ait numunenin kırılma yüzeyini gösteren SEM fotoğrafı (x200).....	84
Şekil 5.28.	150 Mpa 'lık gerilme altında yapılan yorulma deneyi sonucunda kırılan ZA-12+%0.03Cr alaşımına ait numunenin kırılma yüzeyini gösteren SEM fotoğrafları (a) x22 (b) x200.....	85
Şekil 5.29.	150 MPa 'lık gerilme altında yapılan yorulma deneyi sonucunda kırılan ZA-12+%0.1Cr alaşımına ait numunenin kırılma yüzeyini gösteren SEM fotoğrafları (a) x22 (b) x200.....	86

TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1.	Çeşitli Çinko - Alüminyum alaşımları, alüminyum alaşımı ve Cosmal Z alaşımlarının % ağırlıkça kimyasal bileşimleri.....	14
Tablo 3.2.	İkili çinko-alüminyum alaşım sistemindeki önemli dönüşümler	15
Tablo 3.3.	ZA-8 alaşımının ingot ve döküm standartına göre kimyasal bileşimi.....	17
Tablo 3.4.	ZA-12 alaşımının ingot ve döküm standartına göre kimyasal bileşimi.....	17
Tablo 3.5.	ZA-27 alaşımının ingot ve döküm standartına göre kimyasal bileşimi.....	18
Tablo 3.6.	ZA alaşımları ve bazı konvansiyonel malzemelerin fiziksel özellikleri.....	20
Tablo 3.7.	Çeşitli ZA alaşımlarının bileşimleri ve döküm yöntemine göre mekanik özellikleri.....	21
Tablo 3.8.	ZA alaşımları ve bazı döküm alaşımlarının mekanik özellikleri.....	23
Tablo 3.9.	Bazı ticari çinko - alüminyum alaşımlarının yorulma özellikleri.....	36
Tablo 3.10.	Bazı ZA alaşımlarının kullanım alanları ve özellikleri.....	47
Tablo 4.1.	Üretilen alaşımların % ağırlıkça kimyasal bileşimleri.....	49
Tablo 5.1.	EDS analizlerine göre alaşımların mikroyapıları üzerindeki partiküllerin % ağırlıkça kimyasal bileşimleri.....	67
Tablo 5.2.	ZA-12+Cr alaşım elementlerinin Brinell sertlik değerleri.....	69
Tablo 5.3.	ZA-12+Cr alaşım elementlerinin ötektik, dendritik bölgelerin ve intermetaliklerin Vickers sertlik değerleri.....	70
Tablo 5.4.	ZA-12+Cr alaşım elementlerinin darbe enerjisi değerleri.....	72
Tablo 5.5.	ZA-12+Cr alaşım elementlerinin çekme dayanımı değerleri.....	78
Tablo 5.6.	ZA-12+Cr alaşım elementlerinin gerilme genliklerine göre çevrim sayısı değerleri.....	81

ÖZET

Anahtar Kelimeler: Sıkıştırma döküm, Çinko-Alüminyum alaşımları, ZA-12, sertlik, çekme gerilmesi, mekanik özellikler

ZA alaşımları günümüzde bir çok alanda bazı Al alaşımları, dökme demir, pirinç ve bronz gibi diğer konvansiyonel döküm alaşımlarının yerine kullanılmaktadır. Bunun sebebi olarak ZA alaşımlarının iyi dökülebilirliğe, yüksek mukavemete ve iyi aşınma özelliklerine sahip olması ve mukavemet/ağırlık oranının yüksek olması gösterilebilir. Bu alaşımların üstün mekanik özelliklerinin yanında sundukları en önemli avantajları hemen hemen bilinen bütün döküm yöntemleri ile başarılı bir şekilde dökülebilmeleridir.

Bu çalışmada çinko-alüminyum esaslı standart ZA-12 alaşımına, bileşiminde bulunmayan krom alaşım elementi %0.01- %0.1 aralığında değişen oranlarda ilave edilmiş, sıkıştırma döküm yöntemi kullanılarak üretilen alaşımlarda kromun mikroyapısal özellikler ile sertlik, çekme, darbe, yorulma gibi mekanik özelliklere etkisi araştırılmıştır.

Cr alaşım elementi ZA-12 alaşımının sertlik değeri üzerinde artışa neden olur iken, darbe direncini önemli ölçüde azaltmıştır. Darbe direnci sadece % 0,01 Cr içeren ZA-12 alaşımı için artarken, diğer Cr ilavelerinde darbe direncinde farkedilir derecede bir düşüş görülmüştür. %0.03 oranına kadar ilave edilen Cr elementi standart alaşımın çekme ve yorulma mukavemetini arttırırken, yüksek oranlarda ilaveler alaşımın mukavemet değerlerini sürekli olarak önemli miktarda düşürmüştür. Yapılan metalografik çalışmalarda, kromun mikroyapıda kompleks şekilli partiküller halinde bulunduğu gözlenmiştir. Bu partiküllerin ZA-12 alaşımının çekme mukavemeti, yorulma mukavemeti ve darbe direncinde azalmalara sebep olduğu düşünülmektedir.

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF Cr ADDITIVES ON MECHANICAL PROPERTIES AND MICROSTRUCTURE OF THE ZINC-ALUMINUM-BASED ZA-12 ALLOY

SUMMARY

Keywords: Squeeze Casting, Zn-Al Alloys, ZA-12, Hardness, Tensile Strength, Mechanical Properties.

At present, ZA alloys are used in many areas/applications instead of conventional casting alloys such as Al alloys, brass, bronze and cast iron alloys. This is reason that ZA alloys have good castability, high strength; good wear resistance and high ratio of strength to weight. The most important advantage of ZA alloys, in addition to its superior mechanical properties, is to be cast by all of common casting methods.

In this study, the effect of the chromium on microstructure and the mechanical properties (tensile strength, hardness, impact strength and fatigue strength) of the squeeze cast zinc-aluminium based ZA-12 alloy have been investigated in the range from 0.01 % to 0.1 % Cr.

The results showed that while the addition of the chromium increases the hardness of the ZA-12 alloy, considerably decreases the impact strength. The impact strength only increased for the ZA-12 alloy containing 0.01 wt.%Cr, then decreased with further increase in Cr content. The ultimate tensile strength (UTS) and fatigue strength of the standard alloy have been increased with Cr addition up to 0.03 % and then decreased with further increase in chromium content. Metallographic examinations revealed that chromium forms complex shaped particles in the microstructure. It can be suggested that these particles cause a decrease in UTS and fatigue resistance of the ZA-12 alloy.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Çinko genel olarak, çelik yüzeylerini korozyondan korumak için galvanizlemede kullanılmaktadır. 1960 'lı yıllardan sonra ise Kuzey Amerika 'da ZA alaşımları olarak adlandırılan ZA-8, ZA-12 ve ZA-27 alaşımları geliştirilmiştir ve son yıllarda bu alaşımların kullanım alanı gittikçe artmaktadır [1]. Bakır ve alüminyum içeren hiperötektoid çinko-alüminyum esaslı bu alaşımlar içlerindeki alüminyum oranına göre (% ağırlıkça) isimlendirilmektedir. Örneğin; ZA-8, ZA-12; ZA-22 ve ZA-27 alaşımları sırasıyla; % ağırlıkça 8, 12, 22 ve 27 alüminyum içermektedir [2,3,4].

ZA alaşımları günümüzde birçok alanda bazı alüminyum alaşımları, dökme demir, pirinç ve bronz gibi diğer geleneksel döküm alaşımlarının yerini almaktadır. Bunun sebebi olarak da bu alaşımların iyi dökülebilirliğe, yüksek mukavemete ve iyi aşınma özelliklerine sahip olması gösterilebilir [5,6]. ZA alaşımlarının üstün mekanik özelliklerinin yanı sıra en önemli avantajlarından biri de hemen hemen bilinen bütün döküm yöntemleri ile başarılı bir şekilde dökülebilmeleridir [1].

Kaymalı yatak malzemelerinin temel alaşım elementlerinden olan kalay ve bakırın pahalı ve kısıtlı miktarda bulunan metaller olması, araştırmacıları kalaysız veya çok az kalay ve/veya bakır içeren yatak malzemeleri geliştirmeye yöneltmiştir. Bu nedenle, günümüzde beyaz metal, bronz ve pirinç gibi konvansiyonel yatak malzemelerinin yerini almaları için hem ekonomik hem de üstün tribolojik ve ekonomik özelliklere sahip yeni yatak malzemeleri geliştirilmeye çalışılmaktadır [7].

Çinko-alüminyum alaşımları; mükemmel dökülebilirlik, yüksek mukavemet, standart yatak bronzu ile karşılaştırıldığında benzer veya daha iyi yatak alaşımı özelliğinden dolayı çoğu alüminyum döküm alaşımı, dökme demir, yatak bronzu, plastik ve çelik ürünlerine alternatif malzemeler olarak bulunmuş ve geliştirilmiştir. Bunun yanı sıra,

bu alaşımlarda sıcaklığın artmasıyla (yaklaşık 100-200°C üzerinde) boyutsal kararsızlık artmakta ve kalite kaybı olmaktadır. Bu durum malzeme açısından büyük bir problemdir [8]. Söz konusu alaşımlardan imal edilen yataklar, daha çok düşük hız ve yüksek basıncın olduğu kaymalı yataklarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Çinko-alüminyum esaslı alaşımlar içerisinde ZA-27 alaşımı diğer ticari alaşımlardan (ZA-8, ZA-12) daha üstün mekanik ve tribolojik özellikler sergilemesi nedeniyle yatak uygulamalarında daha fazla tercih edilmektedir [7,9].

ZA alaşımlarının en önemli özellikleri; alüminyum, pirinç ve dökme demirlerle karşılaştırıldığında düşük ergime sıcaklıklarından dolayı döküm esnasında düşük enerji gerektirmeleridir. Ayrıca, düşük döküm maliyetleri bu alaşımların kullanımını önemli kılmaktadır. Bu duruma zıt olarak, çinko-alüminyum alaşımlarındaki diğer önemli problemleri şöyle sıralayabiliriz [10];

1. Düşük ergime sıcaklıklarından dolayı oda sıcaklığına yakın sıcaklıklarda kullanımı sınırlıdır.
2. Isıl işlem sırasında oluşan farklı fazlarda metalurjik belirsizlikler görülür.
3. Yaşlanma ile alaşımlarda boyutsal değişimler meydana gelmektedir. Örneğin; ZA-27 alaşımının boyutlarında; 100°C 'de yaşlanma işleminden sonra yaklaşık % 0.12 artış olabilir.
4. Düşük sürünme dirençlerinden dolayı, ortalama gerilmeler altında oda sıcaklığından 50°C 'ye kadar kullanım alanları sınırlıdır.

BÖLÜM 2. BASINÇLI DÖKÜM

2.1. Genel Bilgi

Basınçlı dökümler, Basınçlı dökümler, sıvı metalin basınç altında metal kalıba doldurulması yoluyla elde edilen dökümlerdir. Basınçlı döküm, metal kalıba döküm yöntemine çok benzemektedir. Aradaki en önemli fark, basınçlı dökümde metalin kalıba doluşunun basınç altında gerçekleştirilmesidir [11].

Basınçlı döküm, aynı tip parçaların, hızlı bir şekilde ve yüksek kapasitelerde üretimleri için ekonomik olması nedeniyle tercih edilen bir döküm yöntemidir. Bu prosesin en önemli avantajı ince kesitli ve kompleks şekilli parçaların diğer döküm yöntemlerine oranla daha üstün yüzey kalitesi ile, hemen hemen son bitirme işlemi gerektirmeksizin parça üretimine olanak vermesidir. Günümüzde bu yöntem ile çinko, alüminyum, magnezyum, bakır, kurşun ve kalay gibi demir dışı alaşımlar başarılı bir şekilde dökülebilmektedir. Bu alaşımlar içinde alüminyum ve çinko alaşımları, sahip oldukları iyi dökülebilirlik, mekanik ve fiziksel özellikleri ile en çok tercih edilen otomotiv sektöründe geniş uygulama alanı bulan alaşımlardır [11].

2.2. Basınçlı Döküm Yöntemleri ve Makinaları

Basınçlı döküm, düşük sıcaklıkta ergime ve metal kalıplar içerisinde kalıplanabilme özelliğine sahip olup demirdışı metal ve metal alaşımlarının yüksek basınç altında biçimlendirilmesidir. Basınçlı dökümle bisiklet parçaları, çatal bıçak takımları, saatler, klimalar, kül tablaları, el aletleri, motorlar, kilitler, makaralar, valfler, traktör parçaları, tren parçaları, elektrik aletleri, dürbünler, hava freni donanımı, savaş gereçleri, roket parçaları v.b. gibi yapımı özen gerektiren önemli parçalar üretilebilmektedir [12].

Basınçlı döküm makinaları metal basma sistemlerinin farklı oluşuna göre “sıcak” ve

“soğuk” kamaralı olarak başlıca iki ana gruba ayrılabilirler. Bu genel sınıflandırmaya göre seçilecek makina, dökülecek alaşımların ergime derecesine bağlı olacaktır. Kullanılan alaşım düşük ergime sıcaklığına sahip ise, ergimiş metal piston-silindir malzemesine zarar vermeyeceğinden, piston-silindir doğrudan ergimiş metale daldırılabilir. Bu tip makinalara “sıcak kamara tipi makinalar” adı verilir. Buna karşılık dökülecek alaşımın ergime sıcaklığı yüksek ise, ergimiş metale daldırılan dökme demir veya çelik piston-silindir alaşımı, sıvı metali kirleterek döküm kalitesini bozabilir; dolayısıyla ergime derecesi yüksek alaşımların basınçlı dökümünde “soğuk kamara tipi makinalar” kullanılır [13].

2.2.1. Sıcak kamaralı döküm yöntemi

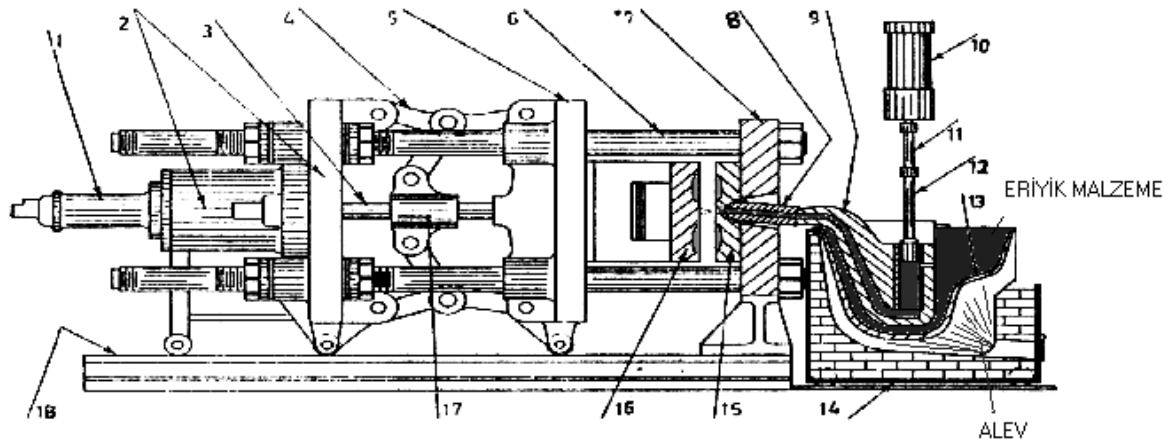
Sıcak kamaralı basınçlı döküm makinalarında ergime sıcaklığı 327°C olan kurşun, 420°C olan çinko, 232°C olan kalay gibi ergime sıcaklıkları düşük olan malzemelerin kalıplanmasında kullanılır. Bu yöntemle çok küçük ve hassas, hepsi aynı özelliğe sahip parçalar seri halde dökülebilir. Sıcak kamaralı döküm yöntemi ile üretim sonucunda $\pm 0,05$ mm hassasiyet elde edilebilir. Üretim sırasında 10-80 atmosfer basınçla çalışıldığından üretilmiş parçaların üzerinden ikinci bir suretle talaş kaldırılmasına gerek duyulmaz [12].

Sıcak kamara tipi makinalar büyük ölçüde çinko esaslı alaşımların dökümünde kullanılır. Alüminyum ve diğer daha yüksek ergime dereceli alaşımlar için uygun değildir. Çünkü kamara cidarları ile sıvı metalin uzun süren teması alaşımların içine demir bulaşmasına sebep olabilmektedir. Sıcak kamaralı makinalarda 20 gr 'lık küçük parçalardan, 22 kg ağırlığındaki parçalara kadar çeşitli büyüklükte parça üretimi mümkündür. Mekanizma, proses ve dökülecek parça boyutuna göre üretim hızı farklıdır. Sıcak kamara tipi makinalar 50–500 parça/saat üretim hızına sahiptirler. Özel makinalarda üretim hızı 2000–5000 parça/saat 'ten, örneğin bir fermuar parçası döken makina için 18000 parça/saate kadar ulaşabilmektedir [13].

Sıcak kamaralı döküm yönteminde kullanılan makinalar çalışma sistemlerine göre pistonlu ve basınçlı hava ile çalışan sıcak kamaralı makinalar olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

2.2.1.1. Pistonlu sıcak kamaralı makinalar

Şekil 2.1 'de görünen pistonlu makinalarda; fırın içerisine pik bir pota yerleştirilir. Bu potaya monte edilen silindir ergimiş alaşımın içine gömülür. Silindir içindeki piston bir levye ve eksantrik mekanizma ile yatay yönde çalıştırılır. Ergimiş metal bir delikten geçerek yer çekimi etkisi ile silindiri doldurur. Çalıştırma levyesi çekildiğinde piston kolu pim çevresinde dönerek pistonu silindir içinde hareket ettirir. Pistonun ileri hareketi önce silindirde metal giriş deliğini kapatır, sonra da silindirdeki metali kalıba basar. Bu sistem ile yaklaşık olarak 20 kg/cm^2 'yi aşan basınçlara erişmek mümkün olabilmektedir. Ayrıca sıvı metal en kısa sürede ve en az ısı kaybı ile enjekte edilebilmektedir [12].



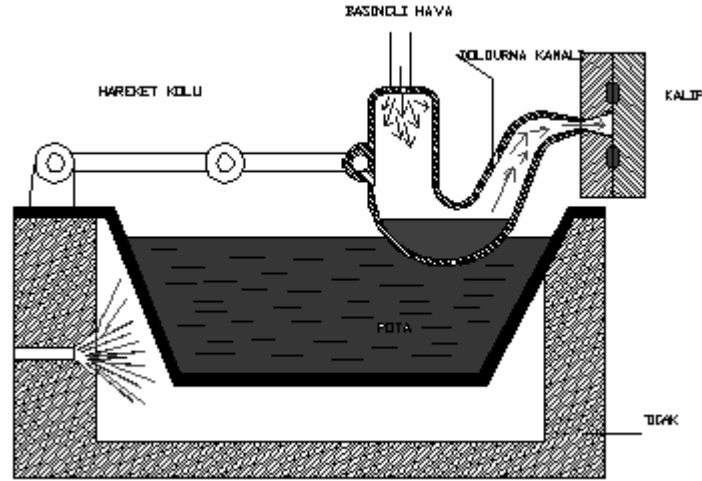
Şekil 2.1. Pistonlu sıcak kamara tipi basınçlı döküm makinası [12]

1-Kapama silindiri, 2-Gövde, 3-Ana mil 4-Kollar, 5-Kayar plaka, 6-Kılavuzlar, 7-Ön plâka, 8-Meme 9-Deve boynu 10- Baskı silindiri 11-Piston kolu, 12-Piston, 13-Pota, 14-Fırın, 15-Kapak kalıbı, 16-İtici kalıp, 17-Kroshed, 18-Şasi.

2.2.1.2. Basınçlı hava ile çalışan sıcak kamaralı makinalar

Şekil 2.2 'de basınçlı hava ile çalışan döküm makinalarında metal basma sistemi için tipik bir örnek verilmektedir. Bu makina görünüş itibari ile kaz boynunu andırdığı için kaz boynu tipi de denilebilir. Hareket kolunun yardımı ile hareket koluna bağlı bulunan kaz boynunun sıvı metal içerisine daldırılması sağlanır. Sıvı metal içerisine daldırılan kaz boynu içerisine doldurma kanalından ergitilmiş metal dolar daha sonra

hareket kolu yardımıyla kaz boynu sıvı metali kalıba basacak şekilde kilitlenir sonra sıvı metal, kaz boynundan kalıba yüksek basınçlı bir hava ile doldurulur. Bu tip makinalarda kalıba sıvı metalin doldurma işlemi yaklaşık 35 kg/cm² basıncındaki hava ile gerçekleşmektedir. Burada depo içindeki sıvı metal ergime noktasının oldukça üstünde bir sıcaklıkta tutulur [12].



Şekil 2.2. Basınçlı hava ile çalışan makinenin basit görünüşü [12].

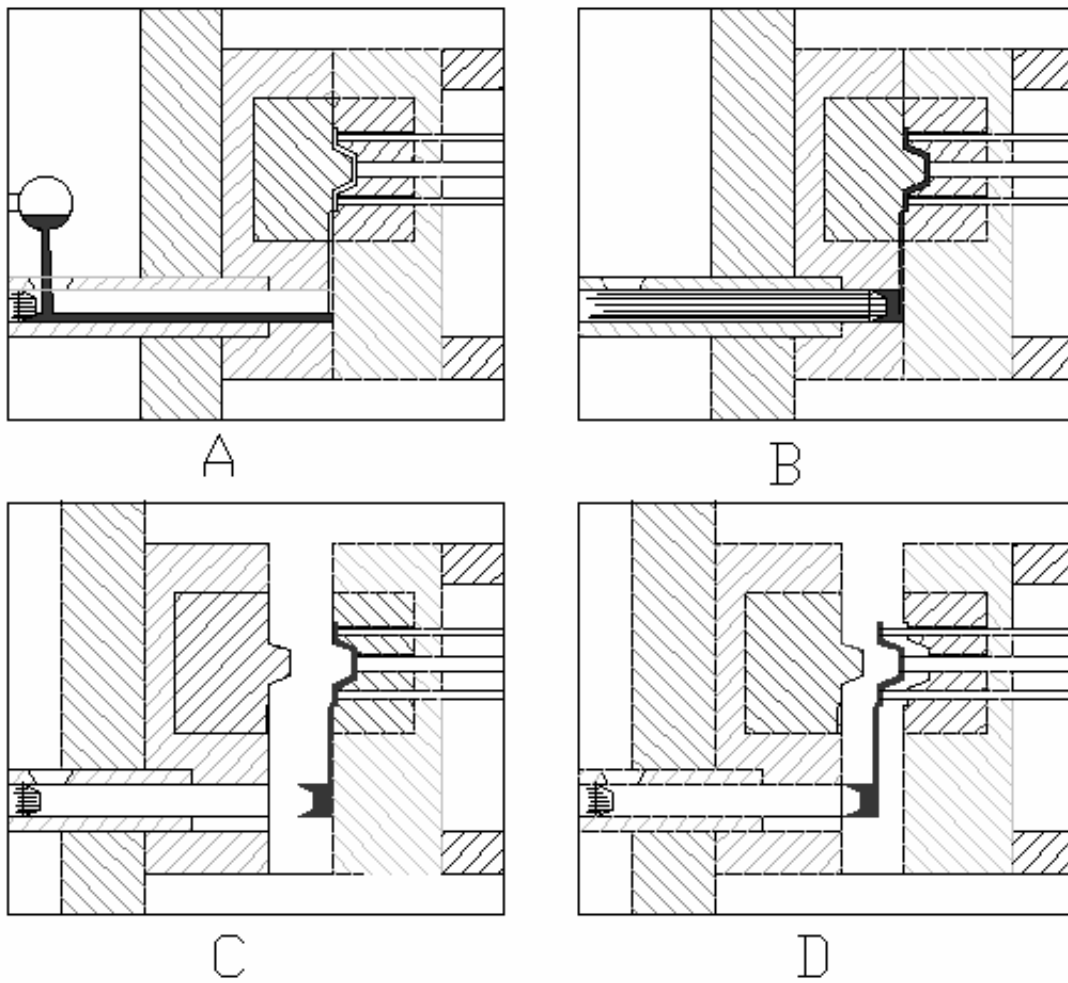
2.2.2. Soğuk kamaralı döküm yöntemi

Soğuk kamaralı döküm yönteminde ergime sıcaklığı 665 °C olan alüminyum, 649 °C olan magnezyum, 1083°C olan bakır gibi ergime sıcaklıkları yüksek olan malzemelerin kalıplanmasında kullanılmaktadır. Bu presin en büyük avantajı eritilmiş olan metalin silindir-piston ünitesini etkilememesidir. Çünkü metal ayrı bir fırın içerisinde eritilerek kalıp içerisine basılmaktadır. Soğuk kamaralı döküm makinaları, pistonun konumuna göre yatay ve düşey soğuk kamara tipi olarak iki ana gruba ayrılır [12].

2.2.2.1. Yatay soğuk kamara tipi makinalar

Bu tip basınçlı döküm makinalarında metal basma kamarası ısıtılmaz. Kamarada yalnız sıvı metalin neden olduğu ısı artışı söz konusudur. Ancak aşırı ısınma olursa

piston, su ile soğutma yoluyla korunur. Ergimiş metal, basma veya enjeksiyon kamarası üzerindeki bir açıklıktan beslenir [13]. Bu preste ergitilmiş metalin silindir içerisine aktarılışında uygulanacak ilave ve besleme sisteminin yerleşiminin zor olması, kalıplama zamanının fazlalığı, ısı kaybını önlemek için madenin ergime sıcaklığından fazla ısıtılması gibi zararlı yönleri olmaktadır Şekil 2.3 'te yatay soğuk kamara tipi bir basınçlı döküm makinasının çalışması örnek olarak gösterilmiştir [12].



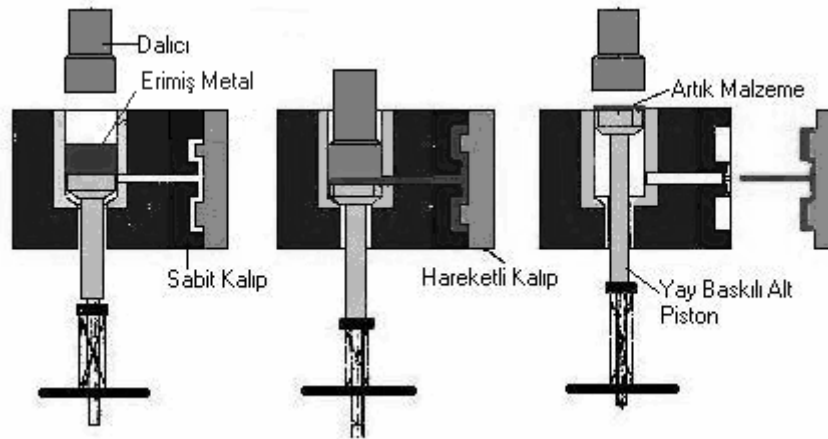
Şekil 2.3. Yatay soğuk kamaralı makinanın çalışmasına örnek [12]

A-Metalin Doldurulması B-Metalin Basılması C-Kalıbın Açılması D-Parçanın Çıkarılması

Soğuk kamara tipi enjeksiyon sistemleri, basınçlı dökümle üretimi gerçekleştirilebilen bütün malzemelere uygulanabilir. Fakat bu sistem genellikle Al, Mg ve Cu alaşımları için tercih edilir [13].

2.2.2.2. Düşey soğuk kamara tipi makineler

Şekil 2.4 'te düşey soğuk kamara tipi makina görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi, alttaki piston ergimiş metal kamaraya dolarken, kalıp giriş deliğini kapayacak konumdadır. Metal beslendikten sonra üst piston aşağı doğru hareket ettirilerek, önce ergimiş metal iki piston arasında sıkıştırılır ve bu esnada alt piston üst piston basıncının etkisi ile aşağı doğru hareket ederek kalıp giriş deliğini açar. Ergimiş metal bu girişten hızla kalıp boşluğuna basılır ve dökümün tamamlanması için bir süre basınç tatbik edilir. Katılaşma bittikten sonra üst ve alt piston yukarıya doğru hareket ettirilerek metal artığı dışarı atılır. Kalıp yarımı açılarak parça çıkarılır. En önemli avantajları piston hareket ettirildiğinde ergimiş metal sıkı bir kitle halinde hareket ederek dökülen parçada hava boşluklarının oluşumu da minimum olur [12].



Şekil 2.4.. Düşey soğuk kamara tipi döküm makinası ve çalışma sırasının gösterilmesi [12]

Genellikle yatay makinalarda üretilemeyen, yoğunluğu yüksek parçalar ve merkezden beslenme yapılmasının daha uygun düştüğü hallerde düşey makinalarla çalışılır. Örneğin; merkez kısmının et kalınlığı fazla ve merkezden uzaklaştıkça kenarlara doğru et kalınlıkları azalan tekerlek ve benzeri parça dökümlerinde düşey

tip makina kullanmak avantajlı olmaktadır. Merkezden besleme yapılmasına ilave olarak sıvı metalin düşey hareketi, parçada porozite oluşma olasılığının önemli ölçüde azalmasını sağlar [13].

2.3. Basınçlı Dökümün Avantajları ve Dezavantajları

Teknolojik üretim yöntemi olan basınçlı döküm yönteminin avantajlarını ve dezavantajlarını şu şekilde sıralayabiliriz [12,13,14].

Avantajları;

1. Metal kalıba kıyasla çok daha karmaşık şekilli parçaların dökümü mümkündür.
2. Kalıplar basınç altında doldurulduğundan, diğer döküm yöntemlerine kıyasla, daha ince cidarlı, "uzunluk/kalınlık" oranı daha yüksek ve boyutsal hassasiyeti daha fazla olan parçalar üretilebilir.
3. Özellikle birden fazla boşluk ihtiva eden kalıplar kullanıldığında üretim hızı diğer yöntemlerden çok daha fazladır.
4. Dökülen parça boyutlarında bir değişim olmaksızın aynı kalıptan binlerce parça üretilebilir.
5. Diğer döküm yöntemlerine nazaran daha ince kesitler ve hafif ürünler elde edilmesi, metal maliyetini azaltıcı bir husus olmaktadır.
6. Basınçlı döküm ürünleri genellikle çok az bir yüzey bitirme işlemi gerektirirler.
7. Bazı alaşımlar (örneğin Al esaslılar) basınçlı döküm yöntemi ile üretildiklerinde, hızlı soğuma sonucu ince taneli yapı oluşumundan dolayı diğer döküm yöntemlerine nazaran çok daha yüksek mekanik özellikler gösterirler.
8. Döküm başına işçilik maliyeti düşüktür.
9. Birçok farklı alaşım çeşitli farklı özelliklerle dökülebilir.

Dezavantajları;

1. Döküm boyutları sınırlıdır, döküm ağırlığı en fazla olarak 23 kg 'ı aşar ve genellikle 4-5 kg. civarındadır.

2. Kalıp dizaynında dökülecek parçanın dolayısıyla yolluklarının ve hava kaçış yollarının yapımı ve yerinin seçimi büyük önem taşır; zira bu faktörlere bağlı olarak kalıp içerisine hava sıkışması söz konusu olabilir ve hapsolan havada gaz boşluklarına neden olabilir.
3. Eğer basınçlı döküm ürününde porozite mevcut ise herhangi bir ısıl işlem yapılamaz. Çünkü tutulmuş hava ve gaz ısıl işlem sıcaklıklarında genişerek yüzey kabarcıklarını arttırmırlar.
4. Komple bir basınçlı döküm makinası (ana pres, yardımcı cihazlar ve kalıplar) oldukça pahalıdır. Bu nedenle yöntemin ekonomik bir değer ifade edebilmesi ancak çok sayıda parça üretimi ile mümkündür. Eğer az miktarda döküm yapılacaksa, nispeten pahalı kalıp maliyeti yüzünden döküm başına maliyet artar.
5. Birkaç istisna dışında, ergime sıcaklıkları bakır esaslı alaşımların ergime sıcaklıklarından daha yüksek olan alaşımlar basınçlı döküm yöntemiyle üretilemezler.

BÖLÜM 3. ÇİNKO-ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI

3.1. Çinko Alaşımlarının Gelişimi

Çinko içeren malzemeler geçmişten günümüze kadar kendilerine kullanım alanı bulmaktadır. Ancak sadece bu yüzyılın ortalarında çinko bazlı döküm ve işleme ürünleri metalurjik olarak kabul edilebilir seviyeye ulaşmışlardır [1].

Çinko uzun yıllardır endüstride çelikleri korozyondan koruyan kaplama olarak kullanılmasına rağmen ilk kez 1907 'de basınçlı döküm alaşımı olarak kullanılmış ve üretilen döküm parçalarındaki problemin kurşun ve kalay gibi çinko içerisinde çözünürlükleri ihmal edilebilecek seviyedeki empüritelerden kaynaklandığı düşünülmüştür. Daha sonraki yıllarda çinkonun mekanik özelliklerinin yetersiz kalması sonucu çeşitli alaşım elementleri ilave edilerek dezavantaj yaratan özellikler yok edilmek istenmiştir. 1923 yılından 1937 yılına kadar yapılan deneylerde kötü sonuçlar elde edilmiştir. Daha sonra bu konular araştırıldığında çinko alaşımlarında ihmal edilebilecek seviyedeki empüritelerin taneler arası korozyona sebep olduğu görülmüştür [5].

Çinko bazlı döküm ve işleme alaşımlarındaki yüksek mukavemet, iyi korozyon direnci ve diğer yararlı özellikler, elektrolitik çinko üretiminin yapılmasıyla oldukça yüksek derecede saflık elde edilmesinden kaynaklanmaktadır. Böylece % 99.99 saflıkta çinko üretilmiş ve istenmeyen empüriteler çok düşük seviyelere indirilmiştir [1,15].

3.2. Çinko-Alüminyum Alaşımlarının Gelişimi

İlk çinko bazlı basınçlı döküm alaşımları ticari olarak 1920 'li yılların sonuna doğru ortaya çıkmıştır. Bunlar 2, 3, 5 ve 7 alaşımları olarak bilinmektedir. Dekoratif ve yapısal amaçlar için kullanılan bu alaşımlar yüksek kaliteye, uygun mekanik ve fiziksel özelliklere, düşük maliyete sahip olduklarından dolayı yaygın olarak kullanılmaktadırlar [11,16].

Bu alaşımlar hem hızlı hem de ekonomik bir döküme imkan sağlayan özelliklere sahiptir ve farklı basınçlı döküm alaşımları ile karşılaştırıldığında birçok avantajlara sahiptirler. Bu yüzden ticari olarak kullanımları gittikçe artmaktadır. Bu avantajlar: daha düşük döküm sıcaklığı, daha az enerji gereksinimi ve daha uzun ömürlü kalıp kullanımınıdır. Ayrıca, bu alaşımlar sıcak kamaralı döküme uygun olduklarından dolayı üretim hızları soğuk kamaralı makinalarla dökülebilen alüminyum alaşımlarından daha yüksektir. Çinko-alüminyum alaşımlarında, %5 gibi düşük alüminyum içeriklerinde sıcak kamaralı döküm yöntemi yüksek hızda bir otomasyon sağlar. Daha yüksek alüminyum içeriklerinde ise sistemdeki demirli parçalar alüminyum tarafından korozyona uğramaktadırlar. Bu yüzden yüksek alüminyum içeriklerinde soğuk kamaralı makinalar kullanılmaktadır [1].

Çinko alaşımlarının iyi dökülebilirlik özelliği de ince duvarlı çinko dökümüyle ekonomik üretime izin vermektedir. Çinko döküm alaşımlarının diğer bir çekici özelliği de daha kolay elektrolitik kaplama ve yüzey temizlemeye izin veren döküm sonrası elde edilen yüzey kalitesidir. 1960 'lı yılların başında plastik malzemelerin piyasaya çıkmasıyla Zamak alaşımlarının kullanımı daraltılmıştır. Bunun sebebi de Zamak alaşımlarının yüksek sıcaklık özelliklerinin bekleneni verememesidir. Kaybedilen piyasayı tekrar ele geçirmek ve istenen özellikleri sağlamak amacıyla çinko endüstrisi özellikle bu endüstrinin araştırma kolu olan ILZRO (International Lead Zinc Research Organization) önderliğinde araştırma programları başlatılmıştır [1,17].

Bu araştırmalar sonucunda 1960 'lı yılların sonunda yüksek performanslı yeni bir çinko-alüminyum (ZA) döküm alaşımı ailesi geliştirilmiştir. İlk olarak ILZRO 14

ve 16 geliştirilmiştir. Bunlar bileşimlerindeki Ti, Cr gibi elementler sebebiyle yüksek sürünme direnci göstermelerine rağmen, düşük alüminyum içeriğinden dolayı mukavemetleri oldukça düşüktür. Bu alaşımların sürünme direncinin yüksek olmasının sebebi Ti ve Cr 'nin çinko ile intermetalik bileşikler oluşturması ve bunların taneler arasında çökmesidir. Ancak bu alaşımlar düşük mukavemetleri ve sıcak kamaralı döküm yöntemi ile dökülememeleri sebebiyle geleneksel malzemeler karşısında yetersiz kalmaktaydı [18]. 1970 'li yıllarda ILZRO tarafından gravity döküm için % 12 alüminyum içeren bir ZA alaşımı geliştirilmiştir ve ILZRO 12 olarak adlandırılmıştır. Sonraları ZA-12 olarak tekrar isimlendirilmiştir. Daha sonraki yıllarda Norando Araştırma Merkezi iki yeni gravity döküm alaşımı olan ZA-8 ve ZA-27 'yi geliştirmiştir. Bu alaşımlar iyi döküm özellikleri sebebiyle gravity döküm için üretilmelerine rağmen basınçlı döküm yöntemiyle üretilmişlerdir. Ayrıca, bu ZA alaşımları kuma döküm, santrifüj döküm ve kokil kalıba döküm ile dökülebilmektedirler ve ekstrüzyon, dövme gibi yöntemler ile sürekli üretim yapılabilmektedir. ZA-8, ZA-12, ZA-27 alaşımları diğer ticari döküm alaşımları ile karşılaştırıldığında, çok iyi fiziksel ve mekanik özelliklere sahip olduklarından dolayı yapısal ve dekoratif uygulamalar için yüksek performansa sahiptirler. Bu alaşımlar yaygın çinko ve alüminyum döküm alaşımlarına kıyasla sahip oldukları yüksek mukavemet, sertlik, iyi yatak ve aşınma özellikleri ile düşük yoğunluk gibi üstün özelliklerinden dolayı çinko ve alüminyum alaşımlarının kullanıldığı bazı yerlerde başarıyla kullanılabilirler [19,20]. ZA alaşımları yaygın çinko döküm alaşımlarına göre %50 daha fazla çekme mukavemeti, oda sıcaklığında sürünme mukavemetinin 4/3 katı ve çinko alaşımlarının pratik işlem sıcaklık aralığının 100°C üzerine çıkmaktadır [1].

Ayrıca son zamanlarda Japonya 'da geliştirilen Cosmal-Z alaşımlarından ZM-3 ve Süper Cosmal alaşımları yüksek sönüm kapasitesine sahip basınçlı döküm alaşımlarıdır. Bunların alüminyum esaslı basınçlı döküm alaşımı LM-24 ve çinko-alüminyum esaslı basınçlı döküm alaşımları (ZA-8, 12, 27) ile karşılaştırılması sonucu Super Cosmal alaşımının diğer alaşımlardan daha yüksek sertliğe sahip olduğu bulunmuştur. ZM-3 alaşımı ise düşük sıcaklıklarda iyi sertlik ve mukavemet vermiştir. Fakat kötü sürünme özelliği bu alaşımın kullanım alanını sınırlamaktadır.

Tablo 3.1 'de çeşitli çinko-alüminyum alaşımları, Alüminyum alaşımı ve Cosmal Z alaşımlarının bileşimleri verilmektedir [5,7].

Tablo 3.1. Çeşitli Çinko - Alüminyum alaşımları, alüminyum alaşımı ve Cosmal Z alaşımlarının % ağırlıkça kimyasal bileşimleri [5,7]

Alaşımlar	Al	Cu	Mg	Fe	Mn	Çinko
ZA-8	8,0-8,8	0,8-1,3	0,015-0,03	0,1 max	0,5 max	Kalan
ZA-12	10,5-13	0,5-1,25	0,015-0,03	0,1 max	0,5 max	Kalan
ZA-27	25-28	2,0-2,5	0,01-0,02	0,1 max	0,5 max	Kalan
LM24	Kalan	3-4	0,1	1,3 max	0,5 max	30
ZM3	40	1,0	0,005 max	-	0,3	Kalan
Süper C.	60	1,0	0,005 max	-	0,3	Kalan
ZM11	22	0,5	0,005 max	-	0,3	Kalan

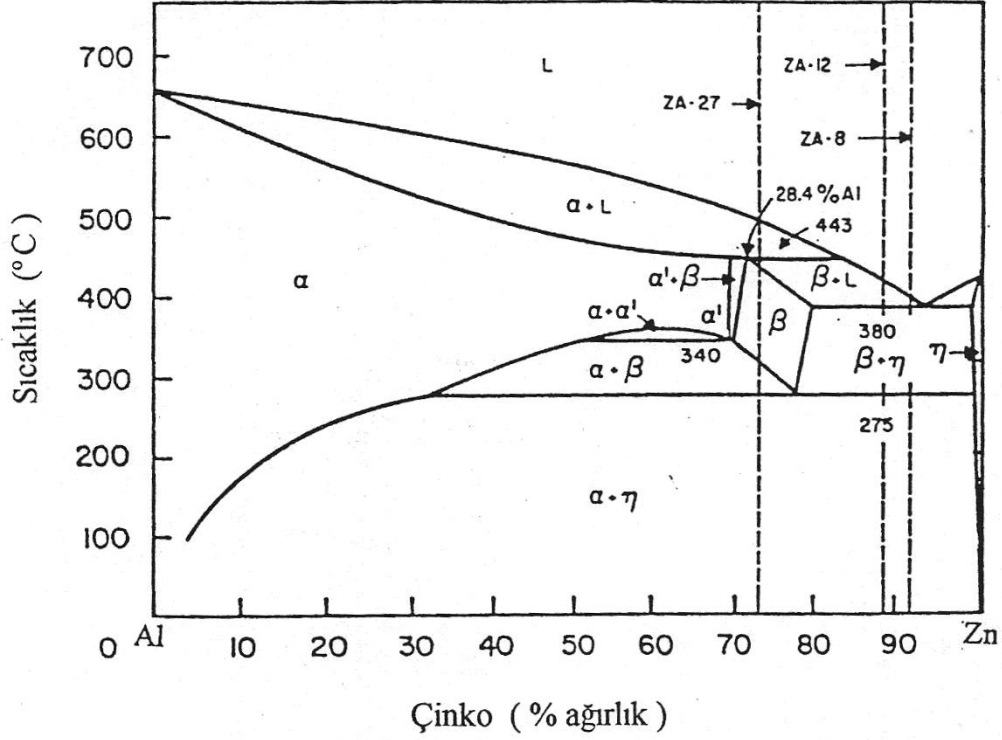
3.3. Çinko-Alüminyum Döküm Alaşımlarının Yapı ve Özellikleri

3.3.1. Çinko-Alüminyum ikili denge diyagramı

Çinko-Alüminyum denge diyagramı 80 yıldan fazla süredir araştırılmaktadır. Bu süre içinde birçok denge diyagramı yayınlanmıştır. İlk çalışmalar Presnyakov ve arkadaşları tarafından ortaya konulmuş ve daha sonra Goldak ve Parr tarafından bazı değişiklikler yapılmıştır. Günümüzde halen bu diyagram kullanılmaktadır [13].

Çinko-alüminyum denge diyagramında α alüminyumca zengin faz bölgelerini, η ise çinkoca zengin faz bölgelerini göstermektedir. Çinko, alüminyum içerisinde % 80 oranına kadar çözünerek, yüzey merkezli kübik (YMK) yapıya sahip, α , α' ve β olarak adlandırılan üç değişik faz bölgesi oluşturmaktadır (Şekil 3.1). Bu fazların her biri, yavaş soğutma işlemi sonunda kararlı çinko ve alüminyum fazlarına dönüşmektedir. Hızlı soğutma işlemi, çinkonun aşırı doymuş katı çözeltili içerisinde tutulmasına neden olmakta ve daha sonra uygulanan yaşlandırma işlemi sırasında ortaya çıkan faz dönüşümleri, bir takım geçiş fazlarını oluşturmaktadır [2].

Diyagramdan da görüldüğü üzere, 443°C 'de peritektik, 380 °C 'de ötektik, 340 °C 'de monotektoid ve 275 °C 'de ötektoid dönüşümler meydana gelmektedir [2,17,21].



Şekil 3.1. Çinko-Alüminyum ikili denge diyagramı [2].

İkili çinko-alüminyum alaşım diyagramında meydana gelen önemli faz dönüşümleri Tablo 3.2 'de verilmiştir.

Tablo 3.2. İkili çinko-alüminyum alaşım sistemindeki önemli dönüşümler [5,18]

Dönüşüm	Çinko Oranı (%)	Sıcaklık (°C)
Ötektik $L \leftrightarrow \beta + \eta$	95	380
Ötektoid (i) $\beta \leftrightarrow \alpha + \eta$ (ii) $\alpha + \alpha' \leftrightarrow \alpha + \beta$	78 52	275 340
Peritektik $\alpha + L \leftrightarrow \beta$	71.6	443

η = çinkoca zengin katı eriyik

α = alüminyumca zengin katı eriyik

α' = monotektoidin çinkoca zengin tarafındaki faz

β = çinkoca zengin yüksek sıcaklık fazı

L = sıvı faz

351°C ve 340°C sıcaklıkları arasında alüminyumca zengin katı eriyikler farklı miktarlarda çinko içerdiklerinden ve kafes parametreleri değişik olduğundan α , α' olarak ikiye ayrılmaktadırlar. α , α' 'nün karışabilme aralığı 340°C 'de %49 çinko 'dan %69.5 çinkoya kadar uzamaktadır ve 351°C 'de tek bir noktaya ulaşmaktadır. $\alpha + \beta$ bölgesi ise %69.5 çinko içeren ötektoid noktadan 443°C 'deki peritektik noktaya kadar dar bir alanı kapsamaktadır. Çinko içerisinde alüminyumun çözünürlüğü ötektik sıcaklıkta yaklaşık olarak %1.1, ötektoid sıcaklıkta azalarak %0.65 ve 227°C 'de %0.42 olmaktadır [13].

YMK 'li β fazının kafes parametresi %70 çinko içeren durumda 4.04 Å iken, % 76 çinko içermesi halinde 4.03 Å 'e düşmektedir. Saf alüminyumun 25°C 'deki kafes parametresi 4.0414 Å 'dur. α bölgesinde %65 çinko içeren bölüme kadar lineer bir şekilde azalarak 4.04 Å değerine gelmektedir. Çinko hegzagonal sıkı paket kristal yapısına sahiptir ve kafes parametreleri saf olduğu zaman $a=2.6595$ Å, $c = 4.9368$ Å, alüminyum ile katı eriyik yaptığında $a=2.665$ Å, $c=4.987$ Å olmaktadır [11].

3.3.2. Çinko-Alüminyum döküm alaşımları ve faz dönüşümleri

3.3.2.1. ZA-8 alaşımı

Ticari ismi ZA-8 olan alaşımın ASTM standardındaki karşılığı ASTM B 791 (dökümler), B 669 (ingot) şeklindedir. Alaşımın ASTM B 699 (ingot), ve ASTM B 791 (döküm) standardına göre kimyasal bileşimi Tablo 3.3 'te verilmiştir.

Tablo 3.3. ZA-8 alaşımının ingot ve döküm standartına göre kimyasal bileşimi [1,13]

Standart	%Al	%Cu	%Mg	%Fe	%Pb	%Cd	%Sn	%Zn
ASTM B 699 (İNGOT)	8.2-8.8	0.8-1.3	0.02-0.03	0.065 max.	0.005 max.	0.005 max.	0.002 max.	Kalan
ASTM B 791 (DÖKÜM)	8.0-8.8	0.8-1.3	0.015-0.03	0.075 max.	0.006 max.	0.006 max.	0.003 max.	Kalan

Mikroyapı oluşumu ilk olarak sıvı metal içinde primer β oluşumu ile başlar. % 75 oranında çinko içeren bu fazda ötektik sıcaklığa inildikçe bileşimdeki çinko miktarı artar ve ötektik sıcaklıkta çinko % 80 oranına yükselir. β dendritlerinin oluşumu sırasında sıvı fazın bileşimi çinkoca zenginleşir ve 380°C sıcaklığın altında ise ötektik dönüşüm ile primer β dendritlerinin etrafında $\beta+\eta$ ötektik matrisi oluşur. 275°C sıcaklığın altında kararsız yapıda olan β fazı ötektoid dönüşüm ile $\alpha + \eta$ fazlarına dönüşmektedir. ZA-8 alaşımında oda sıcaklığında ötektoid dönüşüme uğramış β dendritleri ve bu dendritleri çevreleyen $\alpha + \eta$ ötektik matrisi mikroyapıyı oluşturmaktadır [1].

3.3.2.2. ZA-12 alaşımı

Ticari ismi ZA-12 olan alaşımın ASTM standardındaki karşılığı ASTM B 791 (dökümler) B 669 (ingot) şeklindedir. Alaşımın ASTM B 699 (ingot) ve ASTM B 791 (döküm) standartına göre kimyasal bileşimi Tablo 3.4 'te verilmiştir.

Tablo 3.4. ZA-12 alaşımının ingot ve döküm standartına göre kimyasal bileşimi [1,13]

Standart	%Al	%Cu	%Mg	%Fe	%Pb	%Cd	%Sn	%Çinko
ASTM B 699 (İNGOT)	10.8-11.5	0.5-1.2	0.02-0.03	0.065 max.	0.005 max.	0.005 max.	0.002 max.	Kalan
ASTM B 791 (DÖKÜM)	10.5-11.5	0.5-1.2	0.015-0.03	0.075 max.	0.006 max.	0.006 max.	0.003 max.	Kalan

ZA-12 alaşımı ZA-8 alaşımına benzer bir katılma gösterir. İlk önce primer β fazı çekirdeklenmeye başlar ve 380°C sıcaklıkta $\beta + \eta$ ötektik matrisi oluşur. Primer β fazında ZA-8 'de oluşan primer β fazına nazaran % 30 daha fazla alüminyum vardır.

ZA–8 'de olduğu gibi ZA–12 alaşımında da 275°C sıcaklığın altında β fazı ötektoid dönüşüm ile $\alpha + \eta$ 'ye dönüşmektedir [13].

3.3.2.3. ZA–27 alaşımı

Ticari ismi ZA–27 olan alaşımın ASTM standardındaki karşılığı ASTM B 791 (dökümler) B 669 (ingot) şeklindedir. Alaşımın ASTM B 699 (ingot) ve ASTM B 791 (döküm) standardına göre kimyasal bileşimi Tablo 3.5 'te verilmiştir.

Tablo 3.5. ZA-27 alaşımının ingot ve döküm standartına göre kimyasal bileşimi [1,13]

Standart	%Al	%Cu	%Mg	%Fe	%Pb	%Cd	%Sn	%Zn
ASTM B 699 (İNGOT)	25.5-28	2-2.5	0.012-0.02	0.072 max.	0.005 max.	0.005 max.	0.002 max.	Kalan
ASTM B 791 (DÖKÜM)	25-28	2-2.5	0.01-0.02	0.075 max.	0.006 max.	0.006 max.	0.003 max.	Kalan

ZA–27 yüksek miktarda alüminyum içerdiği için mikroyapısı diğer çinko-alüminyum esaslı alaşımlara nazaran daha komplekstir. Alaşımın katılaşması peritektik ve ötektik dönüşümler sonucunda meydana gelir. Şekil 3.1 'deki Çinko–Alüminyum denge diyagramında, % 27 alüminyum içeren alaşımda önce alüminyumca zengin YMK α fazının sıvı içinde dendritik olarak büyüdüğü görülmektedir. Yapıda % 60 alüminyum içeren α dendritlerinin oluşumu sırasında, sıvı faz çinkoca zenginleşir. 443°C sıcaklığa ulaşıldığında α dendritleri sıvı ile peritektik reaksiyona girer ve neticede dendritler etrafında çinkoca zengin β fazı oluşur. α ve β fazları YMK yapıda olup kafes parametreleri ve bileşimleri açısından farklılık gösterirler. Peritektik reaksiyondan geriye kalan aşırı soğumuş ve çinkoca zengin sıvının ötektik dönüşümü ile katılaşma tamamlanır. Daha sonra 275°C sıcaklıktaki ötektoid dönüşüm neticesinde β fazı $\alpha + \eta$ kararlı fazlarına dönüşür [17].

Döküm halindeki ZA–27 alaşımı, çok az miktarda $\alpha + \eta$ ötektik matrisi içinde yer alan alüminyumca zengin primer α dendritleri ve bunları çevreleyen β fazının ötektoid dönüşümü sonucu oluşan $\alpha + \eta$ fazlarından ibaret bir mikroyapıya sahiptir. Mikroyapıdaki yarı kararlı (CuZn_4) çökelti fazının η matrisi içinde oda sıcaklığında

uzun süre varlığını koruduğu tespit edilmiştir. ZA–27 alaşımının yüksek miktarda bakır içermesinden dolayı ϵ fazı, bu küçük partiküllere ilave olarak dendritler arası bölgede büyük partiküller halinde de ortaya çıkmaktadır [13,22]

3.3.3. Çinko-Alüminyum alaşımlarının fiziksel özellikleri

Çinko-Alüminyum ikili denge diyagramından görüleceği gibi alaşımların ergime noktaları ve katılma aralığı alüminyum miktarı ile değişmektedir. Denge dışı döküm şartları için ötektik sıcaklık pratik solidüs sıcaklığı olarak alınır. ZA–8 alaşımı için likidüs sıcaklığı 404°C ve katılma aralığı 29°C 'dir. ZA–12 için değerler 432°C ve 55°C, ZA–27 için 484°C ve 109°C 'dir. ZA–27 'nin yüksek katılma aralığında aşırı miktarda çekilme boşluğundan kaçınmak için katılmayı kontrol etmek gerekir. Erimiş ZA alaşımlarının 50°C aşırı ısıdaki ısı içeriği ortalama olarak erimiş alüminyumun sahip olduğu değer yarısından daha azdır [11]. Düşük ergime noktasına sahip alaşımlar daha düşük enerjiye ihtiyaç gösterirler. Yapılan testler göstermiştir ki çinkoyu eritmek için gerekli enerji yaklaşık 130 kwh/ton, pirinç için 220 kwh/ton, alüminyum için 400 kwh/ton ve dökme demir için 500 kwh/ton 'dur. Çinko alaşımları yaklaşık olarak alüminyumdan iki kat daha hızlı, bronzdan ise üç kat daha hızlı bir şekilde eritilebilirler [15].

Bu üç alaşımın yoğunluğu alüminyum içeriği ile ilgilidir. 5 gr/cm³ yoğunluğundaki ZA–27, No.3 kokil döküm alaşımından %25, bakırdan %5, dökme demirden %45 daha hafiftir ve alüminyumdan ise %85 daha ağırdır. Oda sıcaklığındaki elektrik direnci ve iletkenliği alüminyum içeriğiyle az oranda etkilidir. ZA–12 için oda sıcaklığındaki elektrik iletkenliği %28.3 IACS 'dir. Buna karşın alüminyum için %39 IACS, A380 için %27 IACS, pirinç ve bronz için yaklaşık %10 IACS ve dökme demir için %7 IACS 'dir. Termal genleşme katsayısı pres ve sıkı geçme yatak durumlarında önemlidir. 20–100°C aralığında ($23-26 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$) ZA alaşımının termal genleşme katsayısı çoğu alüminyum ve bakır alaşımından daha yüksektir ve dökme demirin iki katına yakındır. 24°C 'deki termal iletkenlik 115–125.5 W/mK arasında değişmektedir. Bu değerler birçok alüminyum alaşımı ile aynı seviyededir fakat ticari bakır alaşımlarından daha yüksektir. Tablo 3.6 'da ZA alaşımları ve bazı konvansiyonel malzemelerin fiziksel özellikleri verilmektedir [15,23].

Tablo 3.6. ZA alaşımları ve bazı konvansiyonel malzemelerin fiziksel özellikleri [15,23].

Alaşımlar	Döküm Yöntemi	Yoğunluk (g/cm ³)	Erime Aralığı (°C)	Termal Genleşme Katsayısı (µm/mK)	Termal İletkenlik (W/mK)	Elektrik İletkenliği (%IACS)	
Çinko	ZA-8	Kokil Basınçlı	6,30	375-404	23,2	115	27,7
	ZA-12	Kum Kokil Basınç	6,03	377-432	24,1	116	28,3
	ZA-27	Kum Basınç	5,00	375-484	26	125,5	29,7
Alüminyum	356-T6	Kokil	2,69	556-615	21,5	151	39
	380	Basınç	2,74	540-595	21,8	96,2	27
	319	Kum	2,80	515-605	21,5	109	27
Pirinç	SAE 40	Kum	8,83	855-1010	18	72	15
Bronz	SAE 660	Kum	8,93	855-975	18	59	12
	SAE 64	Kum	8,88	762-928	18,5	46,9	10,1
DD	GG30	Kum		>1176	12,1	49,52	8
	Temper	Kum	7,2-7,45	>1232	11,9	43,31	6

3.3.4. Çinko-Alüminyum alaşımlarının mekanik özellikleri

Çinko-alüminyum esaslı ZA alaşımlarının; birçok uygulamada, geleneksel Zamak alaşımı, pirinç, bronz, bazı alüminyum alaşımları ve dökme demirin yerini almasının sebebi, mükemmel dökülebilirliklerinin yanı sıra göstermiş oldukları yüksek mekanik özelliklerdir [15].

Tablo 3.7 'de yukarıda bahsedilen ZA alaşımları, tavsiye edilen döküm teknikleri ve mekanik özellikleri özetlenmiştir. Bütün bu alaşımlar, mukavemet arttırmak ve taneler arası korozyona sebep olan kalıntı Pb, Sn, Cd 'un zararlı etkilerini yok etmek için çeşitli miktarlarda Cu ve Mg içermektedirler [23].

Tablo 3.7. Çeşitli ZA alaşımlarının bileşimleri ve döküm yöntemine göre mekanik özellikleri [23]

Alaşım	Bileşim			Döküm Tekniği				Mekanik Özellik			Yoğunluk (g/cm ³)
	%Al	%Mg	%Cu	Sıc.K. Basınç	Soğ.K. Basınç	Kum dök.	Kokil dök.	Çekme Muk. (Mpa)	Uzama (%)	Sertlik Brinell	
ZA-8	8,0-8,8	0,01-0,03	0,8-1,3	....	....	....	x	240-250	1-2	85-90	6,3
ZA-12	11-11,5	0,01-0,03	0,5-1,5	....	x	....	....	400-410	5	100-105	6,03
				....	....	x	....	300-305	1,50	90-100	6,03
ZA-27	25-28	0,01-0,02	2,0-2,5	....	x	....	....	400-430	2,5	110-125	5,0
				....	....	x	....	420-430	4,5	90-100	5,0
				....	....	....	x	400-440	5	110-125	5,0
ZA-35	30-35	0,5-1,08	3,5	....	x	x	x	290-390	5-10	90-120	4,6

Tablo 3.7 'den yüksek mekanik özelliklerin, ZA alaşımları ile ve özellikle yüksek mukavemet/yoğunluk oranına sahip olan ZA-27 ile elde edilebileceği görülmektedir. Bu nedenle, ZA-27 alaşımı diğer döküm alaşımları olan bakır veya alüminyum alaşımları veya dökme demirle başarılı bir şekilde rekabet edecek özelliklere sahiptir. Ayrıca, ZA alaşımlarının oda sıcaklığındaki mekanik özellikleri konvansiyonel malzemelerle karşılaştırmalı olarak Tablo 3.8 'de verilmektedir [24].

Tablo 3.8 'den görüldüğü gibi kuma döküm ve basınçlı döküm ZA-27 'nin çekme gerilmesi ve akma gerilmesi ZA-8 ve ZA-12 'nin basınçlı döküm şartları gibi diğer gösterilen bütün alaşımlardan daha iyidir. ZA alaşımlarının sertlikleri (brinell) alüminyum ve bakır alaşımlarından daha yüksektir. Fakat bu alaşımlar içerisinde en yüksek sertlik değeri dökme demirlere aittir. ZA-27 'nin çekme gerilmesi döküm yönteminin değişmesi ile önemli bir şekilde etkilenmemesine karşın ZA-8 ve ZA-12 'nin özellikleri değişiklik göstermektedir. Gravite döküm ZA-8 alaşımının çekme ve akma gerilme değerleri basınçlı döküm yöntemiyle %50 oranında arttırmaktadır. ZA-12 için ise bu değerler sırasıyla %30 ve %45 olmaktadır. Kuma dökülmeye nazaran kokil döküm ve basınçlı dökümle sağlanan hızlı katılaşma sonucu mikroyapının incelenmesi bu artışı sağlamaktadır [15,24].

Kuma döküm ZA-27 'nin darbe direnci en yüksek değerdedir. ZA alaşımları çentik hassasiyetine sahip olduklarından darbe deneyi değerleri çentiksiz numuneler kullanılarak elde edilir. Tablodan da görüldüğü gibi Çinko-Alüminyum alaşımları içinde en yüksek değerdeki çekme gerilmesi kuma döküm ve basınçlı döküm ZA-27 'dedir ve 400-440 MPa arasında bulunmaktadır. ZA-12 orta dirençteki ihtiyaçları karşılamakta ve alüminyum alaşımlarına, dökme demirlere ve bronzlara karşı alternatif malzeme olarak görülmektedir. Kum dökümdeki çekme gerilmesi 275-310 MPa, kokil dökümde ise 310-345 MPa değerindedir. ZA-8 de orta dirençteki ihtiyaçları karşılamaktadır fakat ZA-12 'den düşük çekme gerilmesi değerine sahiptir [25,26].

ZA-8, ZA-12 ve ZA-27 alaşımları; uzun kalıp ömrü, dökümden sonra yüksek yüzey kalitesi, oda sıcaklığında mükemmel mekanik ve fiziksel özelliklere sahip olmasına karşın sürünme dirençlerinin düşük olması uygulamada bazı problemleri beraberinde getirmektedir. Örneğin; düşük sürünme dirençlerinden dolayı, ortalama gerilmeler altında oda sıcaklığından 50°C 'ye kadar kullanım alanları sınırlıdır [25]. Alüminyum, bakır ve dökme demir gibi malzemelerle karşılaştırıldığında, son yıllarda endüstride kendine kullanım alanı bulan ve daha iyi mekanik özelliklere sahip olan ZA alaşımları yüksek sıcaklıklarda düşük mekanik özellikler göstermektedir [27,28]

Tablo 3.8. ZA alaşımları ve bazı döküm alaşımlarının mekanik özellikleri [15,24]

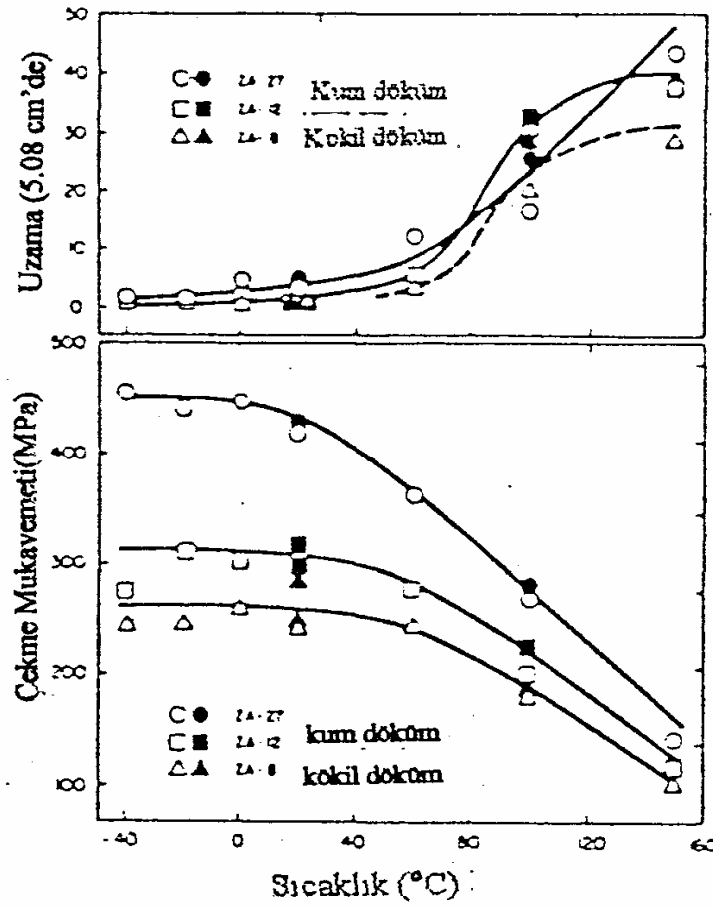
Özellik	Çinko-Alüminyum												Alüminyum		Bronz		Pirinç		Dökme Demir			
	ZA-8				ZA-12				ZA-27				356-357		SAE40		SAE660		SAE64		GG30	
	Kokil	Basınçlı	Kum	Kokil	Basınçlı	Kum	Basınçlı	Kum	Basınçlı	Kum	Basınçlı	Kum	Kokil	Basınçlı	Kum	Basınçlı	Kum	Kum	Kum	Kum	Kum	
Elastisite Modülü (GPa)	85.5	85.5	82.7	82.7	82.7	82.7	77.9	77.9	77.9	77.9	77.9	72.4	71	74	83	100	80	90-113	172			
%Uzama	1-2	8	1.5	2.2	5	4.5	2.5	2.5	4.5	2.5	2.5	5	3.5	2	30	20	20				10	
%0.2 Akma Dayanımı (MPa)	208	290	-	268	320	365	371	371	365	371	371	186	158	124	117	124	124	124	124	124	124	221
Çekme Dayanımı (MPa)	240	374	299	328	404	421	426	426	421	426	426	262	324	185	255	240	240	214	214	214	214	345
Brinell Sertlik	85-90	103	94	89	100	90	119	119	90	119	119	80	80-85	70	60	65	60	210	210	210	210	110-156
Basma Akma Dayanımı (MPa)	210	252	230	234	269	330	359	359	330	359	359	172.5		131	258.8	317.4	324	752	752	752	752	345
Kırılma Tokluğu (MPa√m)		12.6	14.5		14.4	23.7	20.2	20.2	23.7	20.2	20.2											
Darbe Direnci (J)	20	42 ¹	26 ²	20	29 ¹	48 ²	12 ¹	12 ¹	48 ²	12 ¹	12 ¹	8 ²	3 ¹	4 ²	15 ²	8 ⁴	15 ³	54-88 ²	54-88 ²	54-88 ²	54-88 ²	54-88 ²
Yorulma Dayanımı 5×10^8 Çevrim (MPa)	52	103	103		117	172	117	117	172	117	117	58.7	138	69	75.9	110.4	89.7	96.5	96.5	96.5	96.5	193
Kayma Dayanımı (MPa)	242	275	253		295	292	325	325	292	325	325	207	185	150				276	276	276	276	310

3.3.4.1. Sıcaklığın mekanik özelliklere etkisi

Çinko-Alüminyum alaşımlarının düşük ergime sıcaklığına sahip olması üretim yönünden avantajlar sağlamasına karşın, alaşımların özelliklerini sıcaklığa karşı duyarlı hale getirmektedir. Sıcaklık arttıkça çekme gerilmesi, akma gerilmesi ve sertlik düşerken süneklik artmaktadır [11,15].

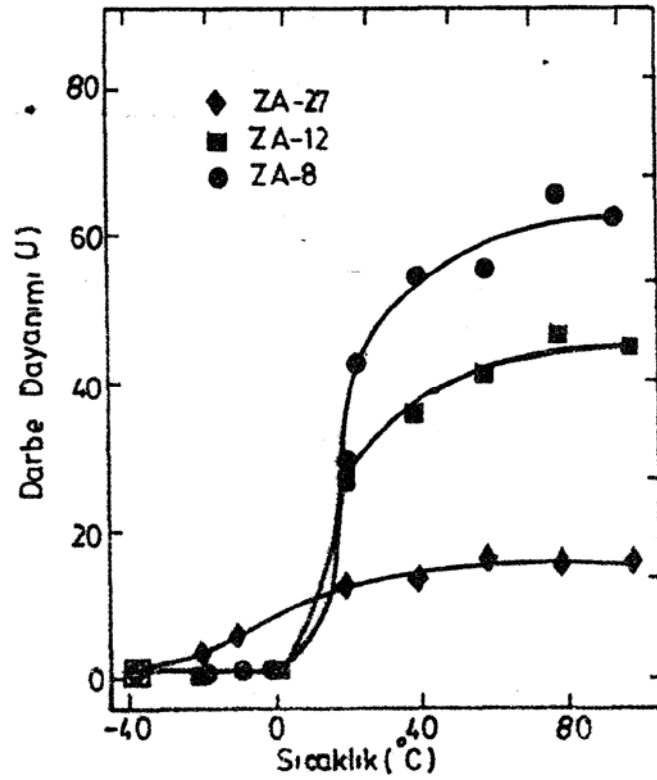
ZA alaşımlarına ilave edilen Si (% 3-5) ile aşınma özelliklerinde iyileştirmelere gidilmiştir. Cu katkısı ile tribolojik özelliklerde daha fazla bir artış elde edilmiştir. Bunun yanında, Cu (% 1'den fazla) ilavesi çekme mukavemetini arttırırken boyutsal karasızlık meydana getirmektedir [29].

Şekil 3.2, ZA-8, ZA-12 ve ZA-27 alaşımlarının sıcaklığın fonksiyonu olarak çekme gerilmeleri ve uzama değerlerini göstermektedir. 100°C 'de ZA-27 'nin çekme özellikleri birçok alüminyum ve bakır döküm alaşımlarının oda sıcaklığındaki özelliklerinden daha iyidir. Hatta bu özellikler yüksek süneklikle birlikte elde edilebilmektedir. Şekil 3.2 'den görüldüğü gibi ZA alaşımlarında sıcaklığın artışıyla süneklik artmaktadır. ZA-12 'nin oda sıcaklığındaki uzaması yaklaşık %2.5 iken bu değer 80°C 'de yaklaşık %20 'ye ulaşmaktadır. ZA-8 'de ise bu değer %2 'den %5 'e (80°C 'de) çıkmaktadır. Bu iki alaşımın eğrileri 70°C ile 85°C arasında hızlı bir yükseliş göstermesine rağmen, ZA-27 ise dereceli bir yükselme gösterir ve 100°C üzerinde keskin bir artış göstermektedir [23].



Şekil 3.2. Sıcaklığın fonksiyonu olarak ZA-8, ZA-12 ve ZA-27 'nin çekme gerilmesi ve uzaması [23]

Çinko alaşımlarının yüksek darbe enerjisi değerleri mühendislik özelliklerinin en önemlilerinden biridir. Şekil 3.3 'ten görüldüğü gibi yaklaşık 20°C 'de darbe enerjisinde ani bir düşüş olmaktadır. Bu ani düşüş sünek gevrek geçişinden dolayıdır. ZA-27 oda sıcaklığında en yüksek darbe mukavemetine sahiptir ve en düşük sünek gevrek geçiş sıcaklığına sahiptir. Buna neden olarak da daha fazla alüminyum içermesi ve daha az miktarda ötektik faza sahip olması gösterilmektedir [11,30].



Şekil 3.3. ZA Alaşımlarında sıcaklık-darbe enerjisi değişimi [11,30]

3.3.4.2. Mekanik özellik-mikroyapı ilişkisi

Çinko-Alüminyum diyagramından görüldüğü gibi (Şekil 3.1) alüminyum içerisinde çinkoca zengin katı eriyik %80 çinko bileşimine kadar uzanarak α , α' ve β olarak adlandırılan üç faz bölgesi oluşturmaktadır. Cu katkıları ikili Çinko-Alüminyum alaşımlarının mukavemet, korozyon ve aşınma dayanımlarını büyük ölçüde arttırmaktadır [30].

ZA alaşımlarının özelliklerine mikroyapının etkisi çeşitli çalışmalarla açıklanabilir. Örneğin, tane boyutu ve dendrit yapısının mekanik özellikler ve korozyon direnci üzerinde etkisi olduğu görülmüştür. Tane boyutu azaldıkça mekanik özelliklerde artış olmaktadır [31,32].

Alaşımların mekanik özellikleri, kimyasal bileşimlerine ve içyapılarına bağlıdır. Ayrıca uygulanan ısıl işlem de mekanik özellikleri etkiler. Monotektoid bileşimindeki gerek dökülmüş gerekse ısıl işlem görmüş çinko esaslı bütün alaşımlar

(%30–50 Al), ötektoid alaşımlardan (%20–30 Al) daha yüksek mukavemet ve sertlik değerleri gösterirler [15,30].

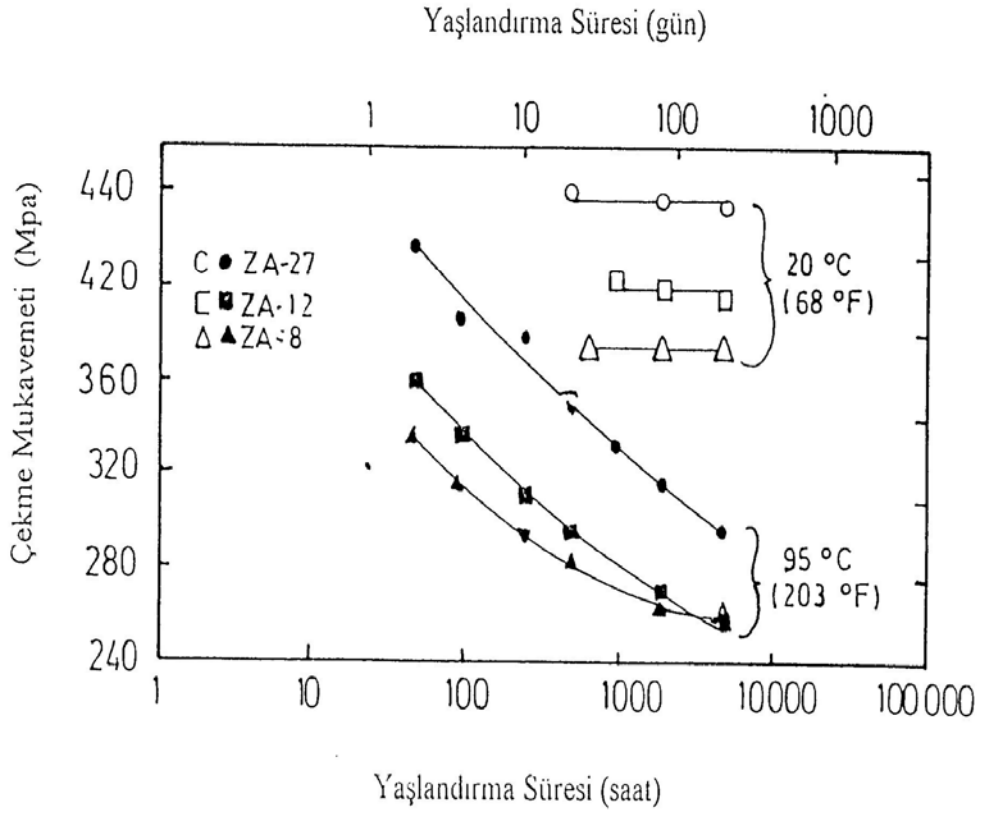
Çinko-Alüminyum alaşımlarının çekme dayanımları ile sertlik değerlerinin artan alüminyum oranı ile arttığı ve % 50–69 Al oranları arasında maksimum değere ulaştığı, bu oranın üzerinde ise düştüğü görülmüştür. Kısacası çekme gerilmesi ve süneklilikte mikroyapının etkisi farklı şu iki bölümde incelenebilir [30]:

1. Isıl işlem etkisi
2. Tane incelticilerin ilavelerin etkisi

3.3.4.2.1. Isıl işlemin etkisi

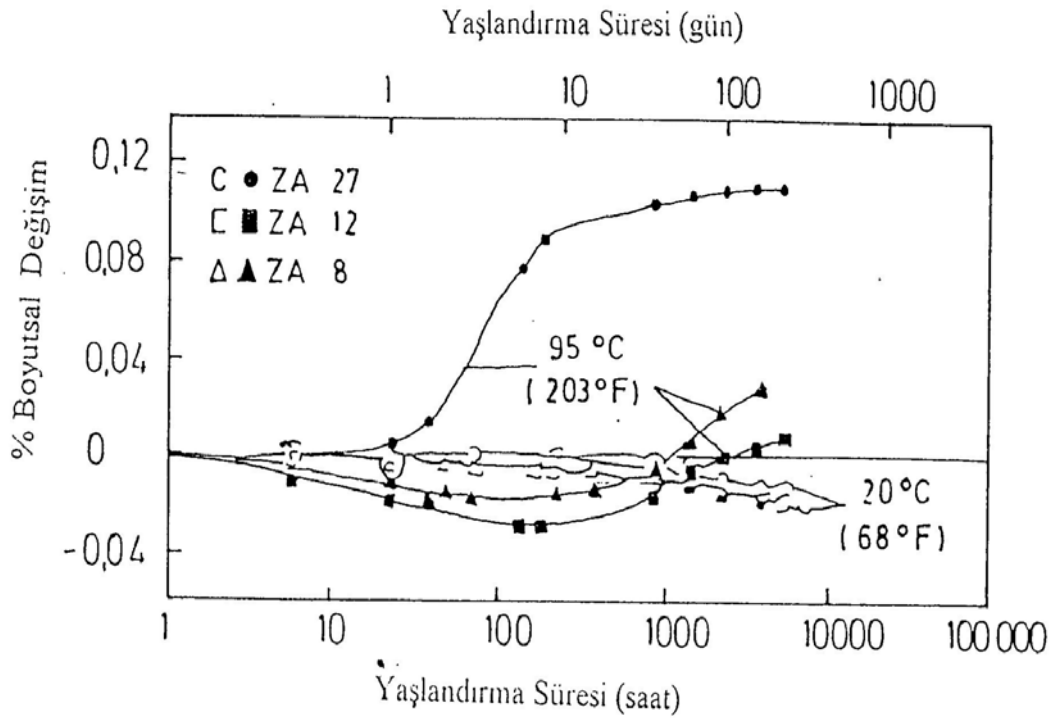
95°C 'de 10 gün yaşlandırma ısıl işlemi, çekme ve akma mukavemetini ZA–8 ve ZA–12 'de %20–23, ZA–27 'de ise %15 azaltır. ZA–8 ve ZA–12 'de çekme uzaması, yaşlandırma ile yaklaşık iki katına çıkar. Yaşlandırma darbe mukavemetini ZA–12 'de %35, ZA–8 'de ise %55 azaltır [16].

20°C 'de 5000 saat yaşlandırma ise, çekme gerilmesini ve sertliği etkilememiştir. 95°C 'de aynı işlem her üç alaşım için çekme gerilmesini yaklaşık % 30 azaltmaktadır. Son yıllardaki araştırmalar, kuma dökümle üretilen ZA alaşımlarını oda sıcaklığında yaşlandırmanın özellikleri azaltıcı yönde etkilemediğini göstermiştir. 95°C 'deki deney sonuçları Şekil 3.4' de verilmiştir [30].



Şekil 3.4. 20°C ve 95°C 'de ZA alaşımları için yaşlandırma zamanı-çekme gerilmesi diyagramı [30]

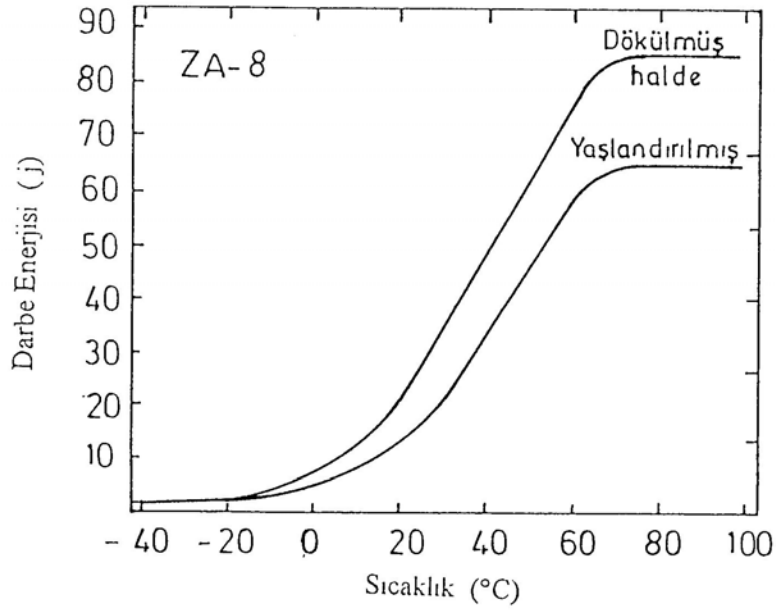
Her üç alaşım için oda sıcaklığında ve 95°C 'de yaşlandırmadaki (12000 saatten fazla) boyutsal değişimler Şekil 3.5 'te görülmektedir [16,30].



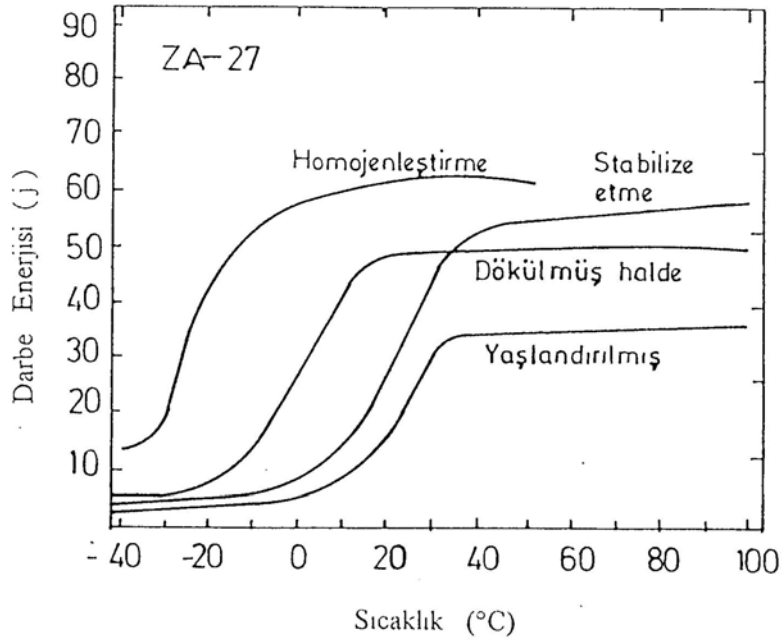
Şekil 3.5. 20°C 'de ve 95°C 'de ZA alaşımları için yaşlandırma süresi-değişim diyagramı [16,30]

Oda sıcaklığında üç alaşım da boyutsal değişim bakımından benzer davranış göstermektedir. Bu değer, yaklaşık %0.015–0.03 arasındadır. 95°C 'de ise ZA–8 ve ZA–12 'de az bir miktar büzülme görülmektedir. ZA–8 için 100 saatten sonra minimuma ulaşmaktadır. 12000 saatten sonra uzama yaklaşık olarak ZA–12 için % 0.01 ve ZA–8 için %0.03 olmaktadır. Kuma döküm numunelerinde ise ZA–27 çok belirgin bir şekilde büyüme göstererek yaklaşık %0.1 genişlemektedir. Bu büyük genişleme ilk 200 saat esnasında meydana gelmektedir. Bu sonuçlardan, oda sıcaklığında yaşlandırma işleminin çok yavaş olduğu anlaşılmaktadır [16,30].

Yaşlandırma ZA alaşımlarında darbe mukavemetini azaltmaktadır. ZA–27 'de ise daha sonra yapılan homojenleştirme işlemi darbe enerjisini arttırmaktadır. ZA–8 'in döküm hali ve yaşlandırılmış haldeki darbe mukavemeti Şekil 3.6 'da gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi yaşlandırma, darbe geçiş sıcaklıklarını sağa kaydırmakta ve sıcaklığı artırmaktadır. Fakat ZA–27 'nin homojenleştirilmesi darbe geçiş sıcaklığını düşürmektedir. ZA–27 'nin stabilize işlemi oda sıcaklığına kadar darbe mukavemetini azaltmaktadır. Şekil 3.7 'de, ZA–27 'nin değişik işlemler sonucundaki sünek-gevrek geçişi gösterilmiştir [15,30].



Şekil 3.6. Döküm ve yaşlandırma işlemi görmüş ZA-8 'in darbe enerjisi değerleri [15,30]



Şekil 3.7. Çeşitli ısı işlemlerin ZA-27 'nin darbe enerjisine etkisi [15,30]

3.3.4.2.2 Tane inceltici ilavelerin etkisi

Ti-B, La veya Ce gibi alaşım elementleri ZA alaşımlarına ilave edildiğinde tane inceltici etki göstermektedir. Örneğın, basınçlı döküm ile üretilen ZA-27 'ye Ti-B ilavesi alaşımın çekme mukavemetinde bir artışa neden olmaktadır. Aynı zamanda süneklilik de yükselmektedir. Araştırmalar %0.025 Ti ve %0.05 B 'un Al-%5 Ti-%1 B master alaşımıyla ilavesinin kokil kalıba dökümünde çekme gerilmesini 475 MPa 'a ve sünekliliğı de %20 'ye kadar çıkardığını göstermiştir. Bu esnada diğeri özelliklerin değışmeden kaldığı gözlenmiştir [13,30].

3.3.4.3 Çinko-Alüminyum alaşımlarında korozyon ve aşınma

ZA alaşımlarının korozyon dirençleri konvansiyonel çinko alaşımları ve alüminyumun arasında değışiklik göstermektedir. Tuzlu bir ortamda ZA-8 ve ZA-12, saf çinkodan daha dirençlidir. ZA-27 ise Al 380 alaşımının korozyon özelliklerine benzer davranışlar göstermektedir. Dökülmüş halde ZA alaşımlarının yüzeyinde pasif film tabakası oluştuğundan atmosferik ortamlarda korozyona karşı dirençlidir. Daha sert şartlarda örneğın deniz suyunda korozyondan koruma için kromatlama, elektroplating, boyama veya çinko anodlama gibi koruyucu kaplamalar yapılır. [18,24].

ZA alaşımlarının diğeri bir mühendislik özelliğı de, yatak ve aşınma özelliklerinin endüstrideki diğeri yatak malzemelerine kıyasla daha üstün olmasıdır. Genellikle yatak uygulamaları için ZA-12 ve ZA-27 kuru ve yağlı aşınma ortamlarında süper performans gösterirler. Bunlar daha düşük sürtünme katsayısına, daha iyi yük-yatak kabiliyetine, daha düşük çalışma sıcaklıklarına ve daha geniş hidrodinamik yağlama oranına sahiptirler [18,24].

Marczah ve Ciach %2 Cu içeren ZA alaşımlarının çok iyi aşınma özelliklerine sahip olduklarını göstermiştir. Bu özelliklerin nedeni boyutsal kararsızlıklarının ortadan kaldırılması için uygulanan ısıtıl işlem sonucu meydana gelen çok fazlı yapı ile yatak yüzeyinde oluşan çinko oksit ve alüminyum oksitten ileri geldiğı söylenmektedir. Alüminyum oksitin sertliğı alaşımınkinden büyük olduğı için aşınma direnci

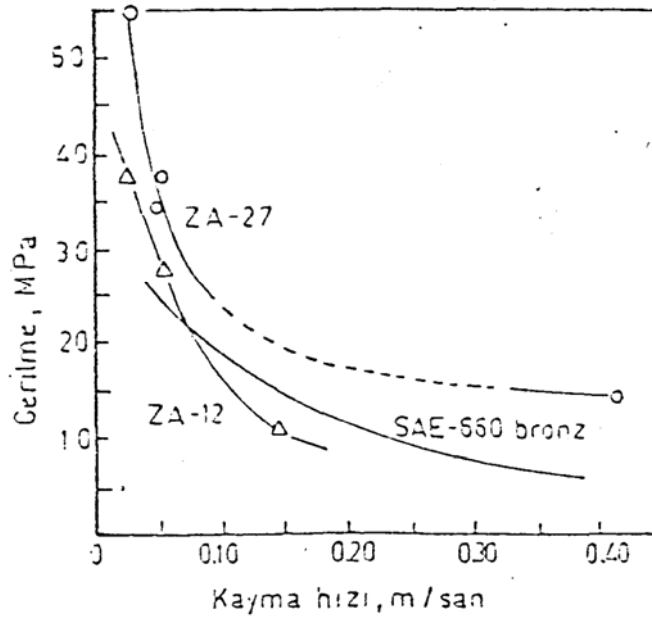
kazandırır. Çinko oksit ise çok daha yumuşak olup yatak mil arasında bir sıkışma olması halinde yatağı yağlama görevi görür [24].

Bronziar (SAE 660) ve ZA alaşımları bugün ağır yük ve hafif hız uygulamasında kullanılan birkaç yatak alaşımından iki tanesidir. ZA alaşımları, endüstride kullanılan SAE 660 Pb-Sn bronzu gibi konvansiyonel yatak alaşımlarına kıyasla daha iyi aşınma özellikleri sergilemektedir. Çinko alaşımlarından yapılan yatakların SAE 660 bronzuna göre daha iyi performans gösterdiği aşağıdaki uygulamalarla kanıtlanmıştır:

a) Traktörlerde bronz yerine Çinko alaşımlarının kullanılması yatak çalışma ömrünü 1800–2000 saatten 5000–7000 saate çıkarmıştır.

b) Çinko ve bronz yatakları aynı şartlarda kullanıldığında, 650 saat sonunda bronzun 1.18 mm, Çinko alaşımının 0.4 mm aşındığı görülmüştür. Aynı zamanda, bronz yatakta çalışan çelik milin 0.6 mm, Çinko yatakta çalışan milin ise ancak 0.05 mm aşındığı tespit edilmiştir [24].

ZA–12 ve ZA–27 birçok Pb-Sn yatak bronzlarına kıyasla daha dayanıklı, sert ve daha yüksek darbe direncine sahiptir. ZA–27 ve ZA–12 sırasıyla SAE 660 bronz alaşımından %40 ve %32 daha hafiftirler. Şekil 3.8 'de ZA–12, ZA–27 ve SAE 660 bronzunun gerilme-kayma hızı ilişkisi karşılaştırılmıştır [15,24].

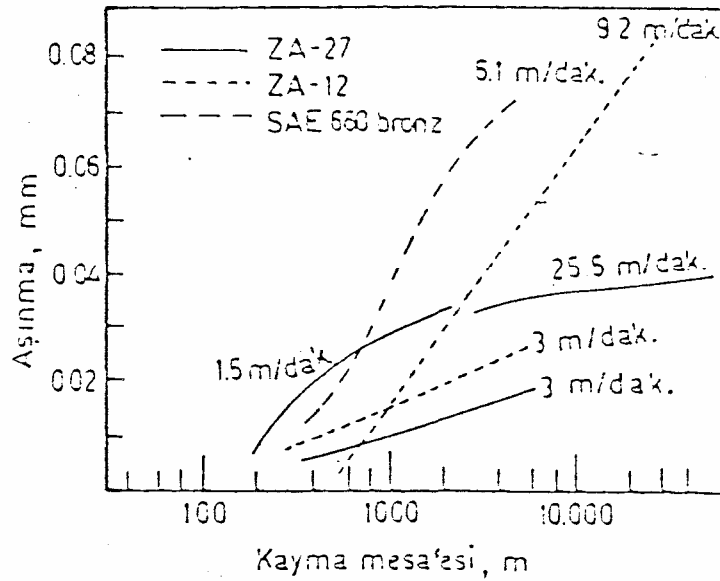


Şekil 3.8. ZA-12, ZA-27 ve SAE 660 bronzunun gerilme-hız ilişkisi [15,24].

Numuneler çeşitli yük ve saf yüzey kayma hızlarında test edilmiştir. Çalışma sıcaklık sınırı 140°C 'dir. Bu şartlarda yapılan testlerde ZA-27 alaşımı tüm hızlarda SAE 660 bronzundan daha iyi performans göstermiştir. Düşük kayma hızlarında ZA-12 'nin bronzdan daha iyi olduğu görülmektedir. ZA-27 'nin sürtünme katsayısı 0.03-0.07, bronzun ise 0.1 olarak bulunmuştur [24].

SAE 660 bronz alaşımı ile ZA alaşımlarının aşınma davranışları 6.89 MPa gerilme altında çeşitli kayma hızları ve farklı kayma mesafeleri için Şekil 3.9 'da karşılaştırılmıştır. Örneğin 0.05 mm aşınma bronz yatakta 1220 m mesafede, ZA-12 'de ise kayma hızı daha büyük olduğu halde yaklaşık 9000 m 'de, ZA-27 'nin 25m/dak hızla en az 30000 m mesafe gitmesi gerekmektedir.

Ayrıca, ZA alaşımları kuvvetli asit veya alkaliler tarafından korozyona uğratıldıkları için kullanılan yağlayıcıların pH değerleri 6-9 arasında olmalıdır [24].



Şekil 3.9. ZA alaşımları ve SAE 660 bronzunun aşınma davranışları [24]

3.3.4.4. Çinko-Alüminyum alaşımlarında darbe dayanımı, kırılma tokluğu ve yorulma dayanımı

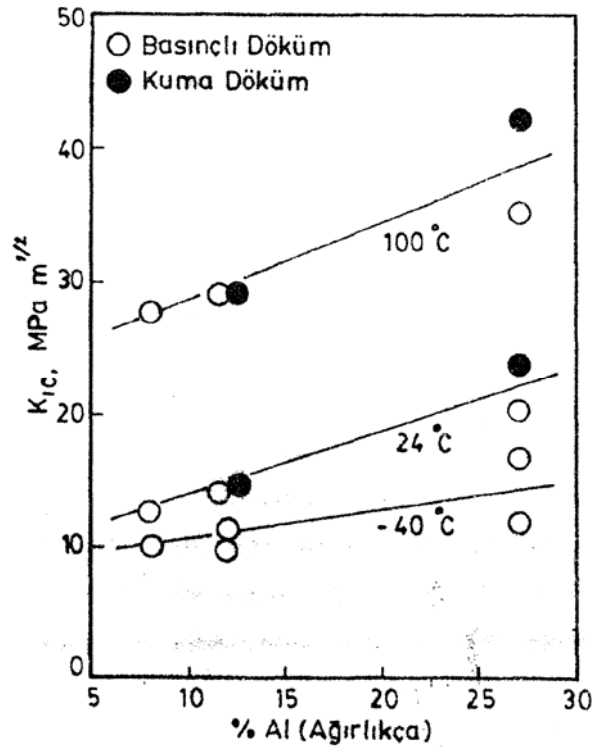
ZA alaşımlarında çentik hassasiyeti olduğundan, darbe deneyleri çentiksiz numuneler ile yapıldığında daha tutarlı sonuçlar elde edilmektedir. Bu alaşımların oda sıcaklığındaki darbe özellikleri, diğer döküm alaşımları ve özellikle dökme demir ile alüminyum alaşımlarından daha yüksektir [2,15].

ZA alaşımlarında yapılan darbe deneyleri, ZA-8 ve ZA-12 alaşımlarında çok açık olarak gevrek-sünek geçiş sıcaklığının bulunduğunu göstermiştir. Fakat bu ZA-27 alaşımında çok açık olarak belli değildir [15].

100°C sıcaklıkta yapılan deneylerde, ZA-8 65 Joule 'lük bir darbe dayanımı gösterirken, ZA-12 'nin 45 Joule ve ZA-27 'nin ise 19 Joule 'lük darbe enerjisine sahip olduğu gözlenmiştir (Şekil 3.3). Oda sıcaklığı şartlarında ise, basınçlı döküm ile üretilen ZA-8 alaşımı, ZA-12 ve ZA-27 alaşımından daha yüksek darbe dayanımına sahiptir. ZA-27 'nin düşük olan darbe dayanımı, döküm esnasında oluşan çekilme boşluğu ve porozite ile ilişkilidir. Bununla birlikte, soğuk kamaralı

basıncılı döküm tekniği ile daha kaliteli dökümlerin elde edilebileceği belirtilmektedir [11,30].

ZA alaşımlarının kırılma tokluğu üzerine yapılan araştırmalarda, kuma döküm basıncılı döküm ZA-27 alaşımının, en yüksek kırılma tokluğu değerine sahip olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, bu değer homojenleştirme ısıl işlemi ile bir miktar arttırılabilmektedir. ZA alaşımlarının kırılma tokluğu değerleri, diğer döküm alaşımları özellikle alüminyum alaşımları ve dökme demirler ile karşılaştırılabilecek seviyededirler. Bunun yanında, ZA alaşımlarının alüminyum içeriğinin artması ve artan ortam sıcaklığı kırılma tokluğu değerlerini arttırmaktadır. Ayrıca Şekil 3.10 'da görüldüğu gibi, kuma döküm ZA-27 'nin kırılma tokluğu değerleri basıncılı döküm ile üretilen ZA-27 'den yaklaşık %30 daha yüksektir. Ayrıca, %2 'ye kadar porozitenin kırılma tokluğu değerlerini önemli oranda etkilemediği belirlenmiştir [15,29].



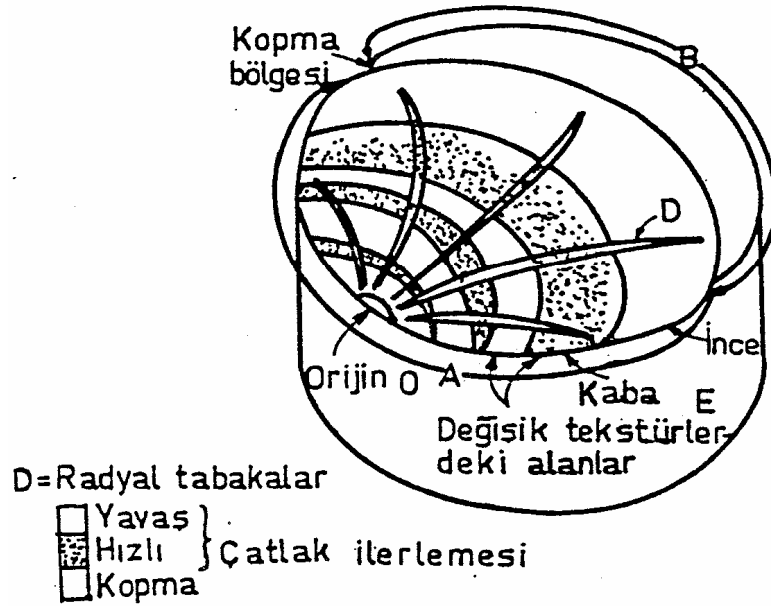
Şekil 3.10. Kırılma tokluğunun sıcaklık ve Al miktarı ile değişimi [29]

ZA alaşımlarının oda sıcaklığı yorulma dayanımı değerleri 5×10^8 çevrimlik bir ömür için Tablo 3.9 'da verilmiştir. Tablo 3.9'daki değerler incelendiğinde, basınçlı döküm ile üretilen ZA-8 alaşımının yorulma dayanımı değerinin, kokil döküm ZA-8 alaşımının yorulma dayanımının yaklaşık iki katına eşit olduğu ve kuma döküm ZA-27 alaşımının, basınçlı döküm yöntemi ile üretilen ZA-27 alaşımından daha yüksek yorulma dayanımına sahip olduğu görölmektedir [2].

Tablo 3.9. Bazı ticari çinko - alüminyum alaşımlarının yorulma özellikleri [2]

Alaşım	Döküm Yöntemi	Yorulma Dayanımı (Mpa)
ZA-8	Kum döküm	-
	Kokil döküm	52
	Basınçlı döküm	103
ZA-12	Kum döküm	103
	Kokil döküm	-
	Basınçlı döküm	-
ZA-27	Kum döküm	172
	Kokil döküm	-
	Basınçlı döküm	145

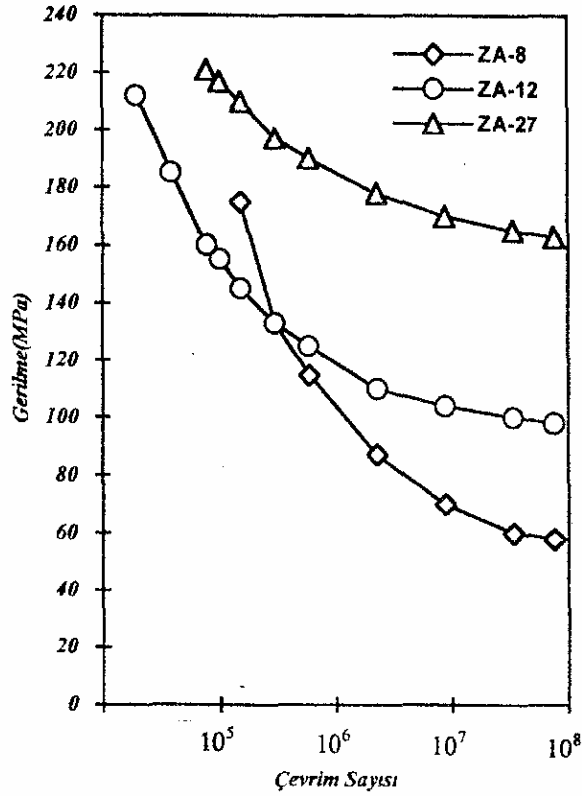
Yorulma çatlağı, alternatif olarak değişen, tekrarlı yüklerin etkisi altında başlar ve içeriye doğru parça kırılıncaya kadar ilerler. Yorulma sonucunda kırılan bir malzemenin kırılma yüzeyinde, Şekil 3.11'de göröldüğü gibi, genellikle iki ayrı bölge olur. Birincisi, farklı renklere ve yüzey özelliğine sahip, aynı merkezli bandlar veya bilezikler içeren, pürüzsüz ve parlak bir bölgedir. İkincisi ise, kaba, pürüzlü, kristal görünüşlü bir bölge görünümündedir. Kırık yüzey üzerindeki düzgün ve pürüzsüz alan, çatlağın ilerlediği bölgeyi gösterir. Kaba, pürüzlü bölge ise, parçanın son yük çevrimi etkisiyle aniden kırıldığı alanı gösterir. Pürüzsüz yüzey üzerindeki renkli bandlar ve donuk (renksiz) tabakalar, değişken tekrarlı gerilmelerin etkisiyle, çatlağın hızlı veya yavaş ilerlediği bölgeleri göstermektedir. Çatlağın başlangıç noktası (orijin), genellikle parlak bölgenin ucunda yer alır [2].



Şekil 3.11. Metallerde yorulma kırılmasının makroskobik görünümü [2]

Çinko-alüminyum esaslı alaşımların üretiminde kullanılan döküm yönteminin, söz konusu alaşımların yorulma davranışını büyük ölçüde etkilediği bilinmektedir. Kokil döküm yöntemi ile üretilen çinko-alüminyum esaslı alaşımlarda, basınçlı döküm yöntemi ile üretilen alaşımlara göre daha fazla gözenek olduğu bilinmektedir. Söz konusu gözenekler, yorulma çatlaklarının oluşmasında önemli bir etken olarak ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle, döküm şartlarını kontrol etmek veya gözenek oluşumuna imkan vermeyen, hızlı soğuma sonucu ince taneli yapı oluşumuna imkan veren basınçlı döküm yöntemi uygulamak suretiyle çinko-alüminyum esaslı alaşımların hem yorulma, hem de diğer mekanik özelliklerinin iyileştirilebileceği sonucuna varılabilir [2].

ZA alaşımlarının eğmeli yorulma deneyi ile belirlenen S-N eğrileri Şekil 3.12 'de verilmiştir. ZA-27 alaşımı, yaklaşık 150 MPa 'lık bir yorulma dayanımı ile üç alaşım içerisinde en yüksek değere sahip olan alaşımdır [15].



Şekil 3.12. ZA alaşımlarının eğmeli yorulma deneyi ile elde edilen S-N eğrileri [15]

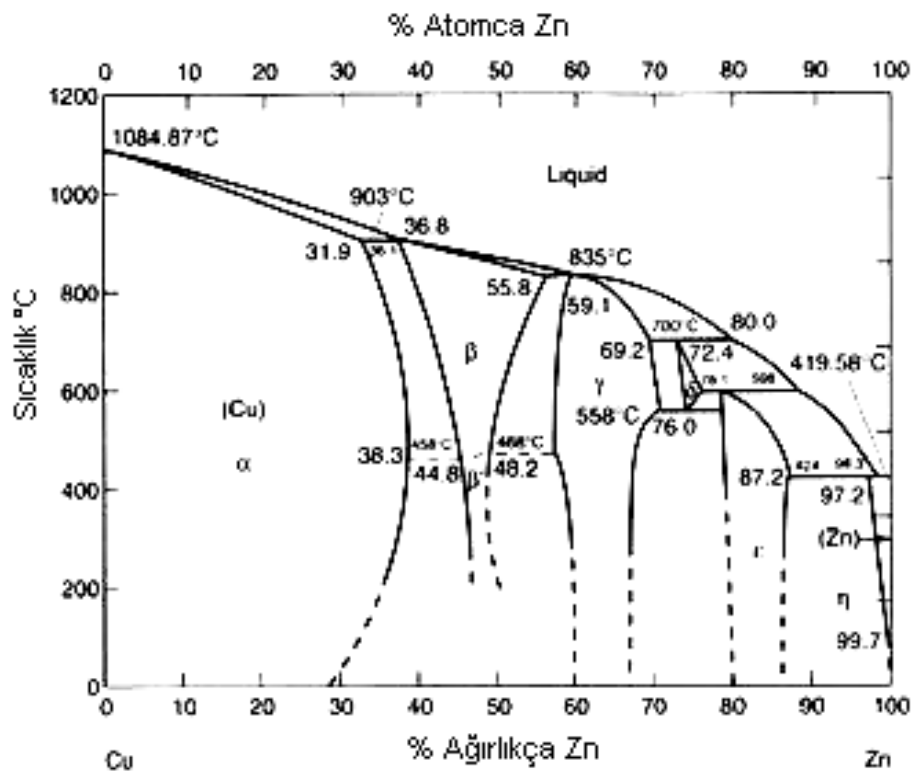
3.3.5. Alaşım elementlerinin mekanik özelliklere ve mikroyapıya etkisi

Geleneksel ZA alaşımının; içerisinde bulunan düşük mukavemetli, zayıf süneklilikli ve boyutsal olarak kararsız bakır elementinden dolayı yüksek sıcaklıklarda kullanımı sınırlıdır. Bu nedenle, bu alaşımların uygulamada daha çok kullanılmasını sağlamak ve bu problemleri minimize etmek için, sisteme alaşım elementi ilavesi ve ısıtılmasının gerekli olduğu konusunda fikirler yürütülmektedir [26].

3.3.5.1. Bakırın etkisi

Çinko içerisinde bakırın çözünürlüğü çok sınırlı olmasına rağmen (Şekil 3.13), Çinko-Alüminyum alaşımlarında Al miktarına bağlı olarak bakırın çözünürlüğü artmaktadır. Çinko-Alüminyum esaslı alaşımlara Cu, mukavemet ve sertliği arttırmak amaçlı ilave edilmektedir. Ayrıca, Cu ilaveleri korozyon ve sürünme direncini arttırmaktadır [15,30].

Bu element alaşımların sürünme ve korozyon direncini de arttırmakta fakat buna karşılık sünekliği artan mukavemet değerleri ile ters orantılı olarak azaltmaktadır. Artan Cu miktarı ile alaşımların ötektik yapı miktarında artış olmaktadır. Bunun sebebi olarak, Cu ilavesinin çinko-alüminyum faz sisteminde ötektik bileşimini alüminyum lehine zenginleştirdiği ve buna bağlı olarak artan ötektik hacminin ϵ fazının çökelebilmesi için daha fazla oranda η matris oluşturması ile mekanik özelliklerin artışında diğer bir etken olduğu düşünülmektedir [15,33].



Şekil 3.13. Zn-Cu ikili denge diyagramı [15,30]

Bununla beraber, Cu ilaveleri 275°C 'de meydana gelen $\beta \rightarrow \eta + \alpha$ ötektoid dönüşümünü geciktirmektedir. Ayrıca, %5 Cu içeren ZA alaışımının ötektoid dönüşüm sıcaklığının 5°C arttığı ifade edilmiştir [30].

%1.06 Cu içeren ZA-8 alaışımında, bakırın yarı kararlı ϵ fazı (CuZn_4) halinde ötektik η ve β fazının dönüşümü sonucu oluşan η matrisi içinde çok küçük partiküller halinde çökeldiğini ve bu fazın uzun süreler (yaklaşık 5 yıl) yapıda yarı kararlı varlığını koruduğunu gözlemlenmiştir. Yüksek oranda (%2-3) Cu içeren

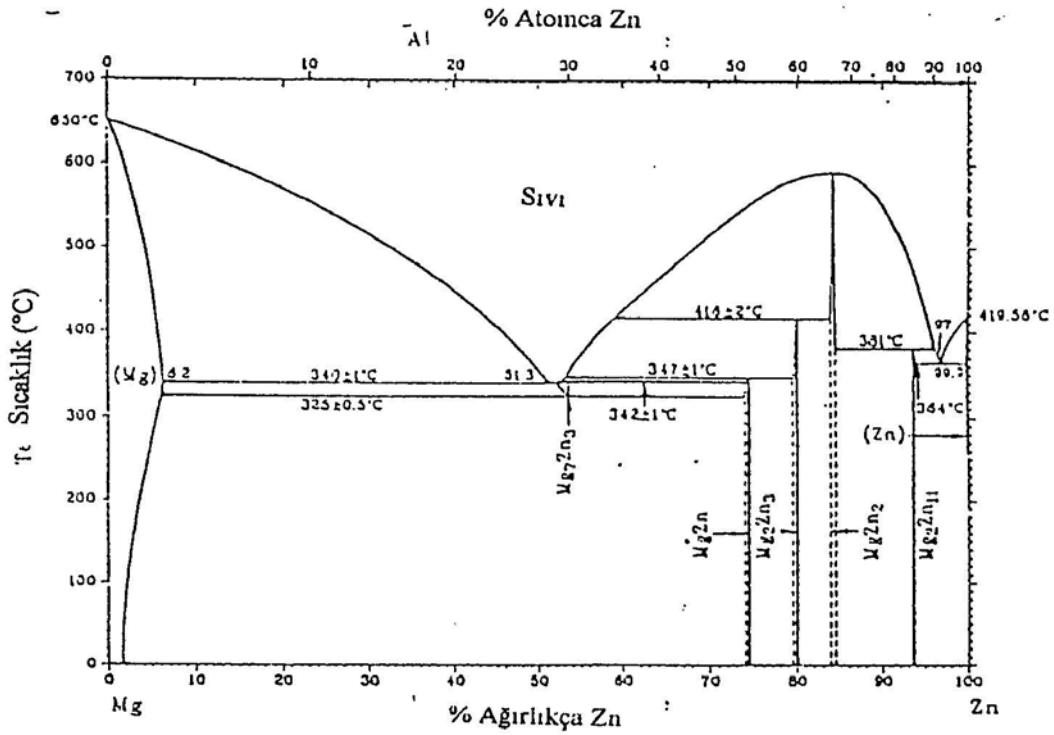
alaşımlarda ise bakırın, bu morfolojinin yanı sıra dendritler arası bölgelerde yine ϵ fazı olarak fakat büyük partiküller halinde bulunduğu belirlenmiştir [15,30].

3.3.5.2. Magnezyumun etkisi

Şekil 3.14 'deki Zn-Mg ikili denge diyagramından görüldüğü gibi çinko, magnezyum içerisinde maksimum %6,2 çözünmektedir. Çinko içerisinde Mg çözünürlüğü ise çok azdır. Bu durum, çinko-alüminyum esaslı alaşımlarda da benzer şekildedir. Örneğin, çinko-alüminyum ötektoid alaşımında 275 °C 'de Mg çözünürlüğü %0.025 iken, bu değer oda sıcaklığında çok daha düşüktür. Genellikle Mg, çinko-alüminyum alaşımlarına %0.02–0.1 oranlarında alaşım elementi olarak ilave edilmektedir [15,23].

Sertlikte, çekme mukavemetinde, sürünme mukavemetinde gelişmeler elde etmek ve aynı oranda taneler arası korozyonu geciktirmek için Mg, çinko-alüminyum alaşımlarında alaşım elementi olarak %0.002–0.1 arasında değişen oranlarda ilave edilmektedir. Ancak mukavemet parametrelerindeki artış genellikle süneklilikteki azalma ile orantılıdır. 300°C 'de katı hal dönüşümüne sebep olmakta ve %0.01 gibi düşük miktarlarda kullanıldığında mukavemeti arttırmaktadır. Cd, Pb, Sn gibi empüritelerin olduğu rutubetli ortamlarda taneler arası korozyon direncini arttırmaktadır [33].

Magnezyum elementi ötektoid dönüşümün kinetiği üzerinde de önemli bir etkiye sahiptir. Artan oranlarda Mg ilavesi ile β fazının ötektoid dönüşümü gecikmektedir. İçeriğinde magnezyum bulunmayan çinko-alüminyum alaşımında β fazının dönüşme süresi birkaç gün iken, %0,1 Mg katkısı ile bu süre yaklaşık 1,5 aya kadar çıkabilmektedir [15].



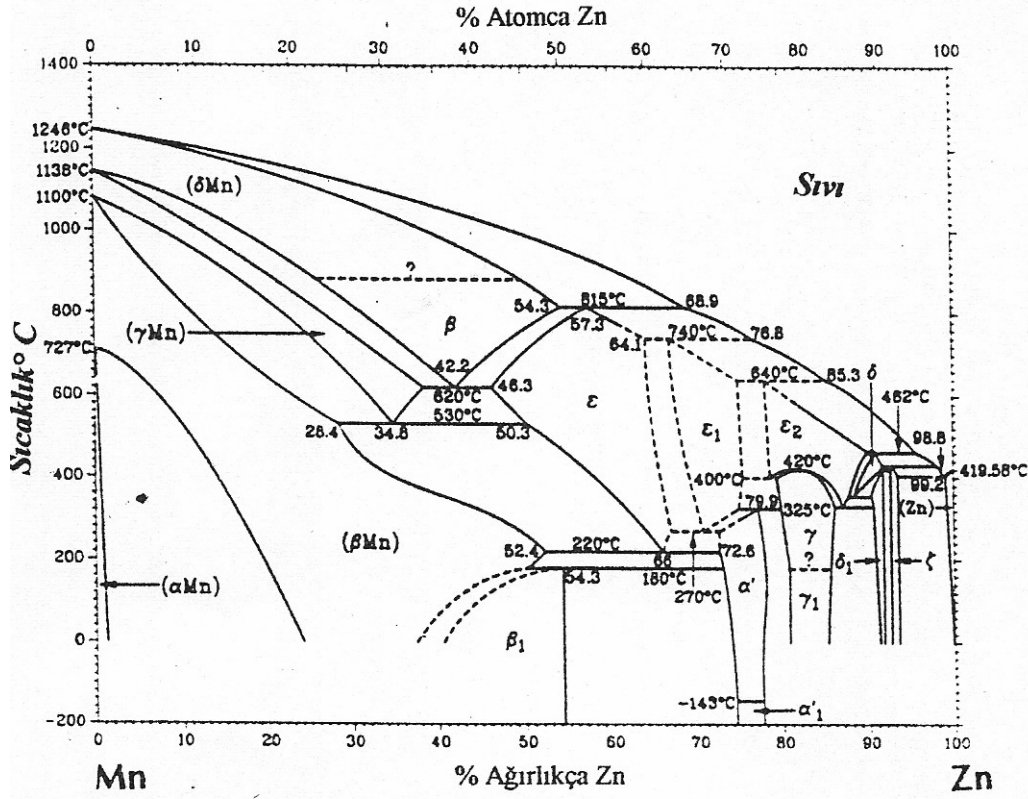
Şekil 3.14. Zn-Mg ikili denge diyagramı [23]

3.3.5.3. Manganın etkisi

Mangan, saf çinko içerisinde çok düşük miktarda çözünürlüğe sahiptir. Şekil 3.15 'te görüldüğü gibi, 400°C de % 0.47 olan Mn çözünürlüğü oda sıcaklığında daha da azalmaktadır. Zn-Al esaslı alaşımlarda ise, Mn çözünürlüğü çok daha düşük değerlerdedir. ZAMAK3 alaşımında 420°C 'deki Mn çözünürlüğü % 0.0013 iken, 390°C de ise % 0.0006 seviyelerine düşmektedir. Bu nedenle, Zn-Al alaşımlarına ilave edilen Mn, bileşik yaparak yapıda intermetalik halinde bulunmaktadır. Bu intermetalik fazların ortorombik kristal yapıdaki Al_3Mn ve Al_6Mn olduğu belirlenmiştir [13,15,30].

Ti içeren Çinko-Alüminyum alaşımlarına aşınma direnci için Mn ilavesi, basma yükleri altında deformasyona ve kırılmaya iyi direnç göstermesini sağlar. Çinko-%22 Alüminyum alaşımına %0.2 Mn ilavesi sertlik, mukavemet ve sürünme direncinde önemli artışlar sağlamaktadır. Daha yüksek seviyelerde Mn (%1.5 Mn gibi) istenmeyen sürünme özelliklerine sebep olmaktadır. Örneğin; ZA-8 alaşımına ilave edilen Mn 'nin (0-0.5 arası) sertliği önemli ölçüde etkilemediği gözlenmiştir.

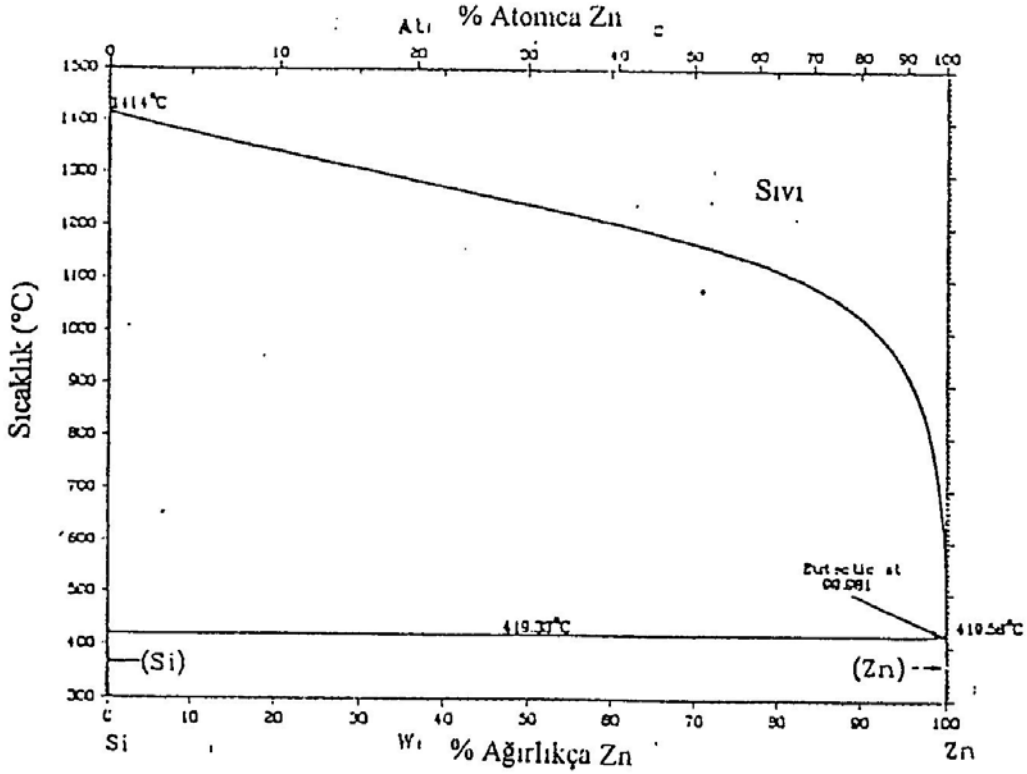
%0.05 oranına kadar Mn ilavesinin çekme mukavemetini bir miktar arttırdığı fakat bu oranın üzerindeki ilavelerin çekme mukavemetinin azalmasına neden olduğu bildirilmiştir [33].



Şekil 3.15. Zn-Mn ikili denge diyagramı [13,15,30]

3.3.5.4. Silisyumun etkisi

Si gerçekte saf çinkoda çözünmez (Şekil 3.16) ve küçük miktarda iğneye benzer şekilde mikroyapıda görülür. Si bir empürite olarak bahsedilmektedir. %0.02 'ye kadar düşük Si seviyesi çekme gerilmesini artırır. Fakat uzama ve darbe özelliğini önemli derecede azaltır ve sünek gevrek geçiş sıcaklığını artırır. Cu ilavesi ise Si 'nin ters etkisini azaltmaktadır [15,23].



Şekil 3.16. Zn-Si ikili denge diyagramı [15,23]

Ötektik üstü Zn-%12 Al alaşımına %0,05–0,1 oranlarında ilave edilen Si ile ötektik tane boyutu artar ve darbe direnci büyük oranda azalır. Aynı oranda Si katkısı ötektik altı Zn-%4 Al alaşımında ise tane boyutunda önemli bir değişiklik meydana getirmemiştir [33]

%0.02 oranında silisyum, Zn-Al esaslı alaşımlara ilave edildiğini çekme mukavemetinde önemli bir artma meydana getirirken, % uzama ve darbe direncinde azalmaya neden olmakta ve ayrıca gevrek-sünek geçiş sıcaklığını arttırmaktadır. Thompson ve Niessen, ötektik üstü Zn-%12 Al alaşımına % 0.05–0.1 Si ilavesi ile ötektik tane boyutunun önemli miktarda arttığını ve darbe direncinin büyük oranda azaldığını belirlemişlerdir. Aynı oranda Si ötektik altı Zn-% 4 Al alaşımına ilave edildiğinde ise, ötektik tane boyutunda önemli bir değişiklik meydana getirmediği gözlenmiştir [15,30].

3.3.5.5. Kromun etkisi

Cr 'un Çinko içerisinde çözünürlüğü ihmal edilebilir boyutlardadır. Fakat Çinko-Alüminyum alaşımlarında $CrAl_4$ ve $CrAl_7$ intermetalik bileşikleri halinde bulunmaktadır. Cr, Mn gibi sürünmeye karşı dayanımı arttırır. Ayrıca Cr, ZA alaşımlarının dökülebilme özelliklerini kötü yönde etkilemekte ve dendritik büyümeyi hızlandırmaktadır. ZA-27 alaşımına %0,1 Cr ilave ederek yapılmış olan sürünme deneyleri neticesinde sürünme dayanımında önemli bir değişikliğin meydana gelmediği, fakat alaşımın çekme mukavemetinin arttığı tespit edilmiştir [15].

3.3.5.6. Titanyum etkisi

Ti 'nin Zn 'de çözünürlüğü sınırlıdır ve yaklaşık % 0.11 Ti 'de ötektikle Zn zengin bileşikler oluşturmaktadır. Bu bileşikler döküm Zn 'nin tane boyutunu azaltmaktadır. ZA alaşımlarında Ti mikroyapıyı inceltmekte, bunun nedeni olarak da, alüminyumca zengin katı eriyik merkezinde görülen Al_5Ti_2Zn metaller arası bileşiği gösterilmektedir. Bu ise sünekliliğin artmasına imkan vermektedir. Ti, çinko döküm alaşımlarında tane boyutunu azaltıcı etki yaptığı gibi yüksek sıcaklıklarda tane büyümesine engel olur. Genel olarak Ti sürünme direncini geliştirmek amacı ile kullanılmaktadır. Ti 'nin ZA-8 alaşımına %0.01-0.2 aralığında ilavesi sertlikte önemli bir değişiklik yapmamış fakat az oranda Ti ilavesi çekme mukavemetini arttırmıştır. Ancak %0.1 üzerinde Ti ilavesi çekme mukavemetinde azalma meydana getirmektedir [15,30].

3.3.5.7. Diğer elementler

ZA-8, ZA-12 ve ZA-27 alaşımlarına %0.06 'ya kadar Sr ilavesi söz konusu malzemelerin mekanik özelliklerine zararlı etki yapmamaktadır. Daha yüksek miktarlarda Sr ise maksimum çekme dayanımını, darbe direncini ve % uzamayı düşürmektedir. Sr ile B ikilisinin birlikte kullanılması ise, sünekliliği arttırmakta ve döküm yüzeyi kaliteli ürünlerin elde edilmesini sağlamaktadır. Yüksek miktarda B ilavesi % uzamanın düşmesini önlemektedir. Çinko-Alüminyum bazlı alaşımlara

hem Mn hem de Li 'nin katılması primer ve ikincil sürünme dirençlerinde büyük bir artış göstermektedir [23,33].

%0,01 alkali metal ilavelerinin ZA–27 alaşımının çekme ve sürünme dayanımını önemli oranda arttırdığı ortaya çıkarılmıştır. Ayrıca nadir toprak elementleri ve bazı flux ilavelerinin, Zn-Al alaşımlarının mekanik özelliklerini ve taneler arası korozyon dayanımını yükselttiği belirlenmiştir. Chen son yıllarda yaptığı bir araştırmada, %0,12 'ye kadar Ce+La elementlerinin ZA–12 alaşımına ilavesinin, darbe dayanımını önemli miktarda yükselttiğini belirlemiş ve mikroyapıda bu elementlerin intermetalik bileşikler halinde bulunduğunu gözlemiştir [15].

3.4. Çinko-Alüminyum Alaşımlarının Kullanım Alanları

Günümüzde, Çinko-Alüminyum esaslı alaşımlar bronz, pirinç ve dökme demir gibi geleneksel yatak malzemelerinin arasına girmiş bulunmaktadır [23]. Düşük oranlarda Cu veya Si içeren Çinko-Alüminyum esaslı alaşımlar düşük yağlama koşullarında ve yüksek yükler altında iyi aşınma direnci göstermektedir. Ayrıca, bu alaşımların tribolojik özelliklerinin iyi olması ve iyi talaşlı işleme kabiliyetlerinin dışında yatak malzemesi olarak kullanılması da yaygındır [34,35].

ZA alaşımları döküm, dövme, ekstrüzyon ve laminasyon gibi çeşitli proseslerle üretilebilir. ZA alaşımından üretilen malzemeler, endüstrinin çeşitli alanlarında kendilerine kullanım sahaları bulmuşlardır. Örneğin; otomotiv, donanım, elektrik, elektronik, telekomünikasyon, endüstriyel makinalar vs. [36].

Aynı zamanda bu alaşımlar, lokomotif çekme yatağı ve baskı makinalarında kullanılmaktadır. Ayrıca bazı ekipmanlarında, kazı makinalarında, kompresörlerde, pistonlu su pompasında, haddeleme tezgahında, hava ile çalışan matkap gibi birçok yerde kullanılmakta ve bronza göre daha iyi performans göstermektedirler [1].

Ulaşım endüstrisinde; süspansiyon ve aks parçaları, vites kutusu, iletim (aktarma) parçaları, yakıt enjeksiyon pompa kapakları ve koltuk kolları gibi uygulamalarda kullanılmaktadır. Ayrıca traktörler için hidrolik kollar, tekerlekli sandalye

kelepçeleri, pnömatik güç ünitesi parçaları ve otomatik bisiklet vites dökümleri ZA alaşımlardan yapılmaktadır [15].

Yüksek sönüm kapasitesine sahip olmalarından dolayı kokil olarak dökülmüş, ZA-12 elle çalışan havalı çekiçte, ZA-27 ise otomobil motor çerçevelerinde ve arazi motosikletlerinde kam mili tahrik kasnaklarında kullanılmaktadır. Aşınma direnci ve sürünme özellikleri yüksek olan ZA alaşımları kırılcım dirençlerinin çok yüksek olması nedeniyle, potansiyel bir patlama ihtimali içeren ortamlarda, rahatlıkla kullanılmaktadır [1,23]. Tablo 3.10 'da bazı Çinko-Alüminyum (ZA) alaşımlarının kullanım alanı ve özellikleri verilmiştir.

Tablo 3.10. Bazı ZA alaşımlarının kullanım alanları ve özellikleri [1,15,24]

Alaşım	Kullanım Alanları
ZA-8	Yüksek mukavemetin gerekli olduğu yerlerde, otomobiller, genel madeni eşyalarda, tarım ekipmanlarında, elektronik ve elektrik tertibatlarında, ev ve bahçe aletlerinde, bilgisayar madeni eşyalarında, iş makinelerinde, kayıt makinelerinde, radyolar ve el aletlerinde kullanılır. Sıfır tolerans ile Zamak 3 alaşımından üretilen dişli kutusu, özellikleri daha iyi olan ZA-8 alaşımından dizaynında bir değişiklik yapılmaksızın üretilebilmiştir.
ZA-12	ZA-12, ZA-8 'in kullandığı tüm yerlerde kullanılır. İlaveten bu alaşım yüksek yük düşük hız uygulamaları için yataklarda kullanılır. Madenlerde kullanılan çekici lokomotiflerin yatağı, C93500 bronzu yerine ZA-12 alaşımından üretilmiş ve yağlı ortamda 20 ay kullanılmıştır. Bronz yatakların aşırı aşınmadan dolayı 18-24 aylık periyotlardan sonra değiştirilmeleri gerekirken, ZA-12 alaşımı yataklarda aşınmaya rastlanmamıştır.
ZA-27	Çok yüksek mukavemet gerektiren yerlerde kullanılır Otomobil motorlarında, tren lokomotiflerinde, madeni eşyalarda, tarım ekipmanlarında, ev ve bahçe aletlerinde, ağır yüklerle çalışan el ve iş aletlerinde kullanılır. Bu alaşım da ZA-12 alaşımı gibi yaygın olarak yüksek yük düşük hız uygulamaları için yataklarda kullanılır. Kam mili tahrik çarkı yapımında dökme demir yerine ZA-27 alaşımının kullanımı ile dökme demirdeki dişli dişlerini işlemeden tasarruf sağlanmıştır.

BÖLÜM 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1. Çalışma Programı

Bu çalışmada, sıkıştırma döküm alaşımı olan Çinko-Alümiyum alaşımına (ZA-12), çeşitli oranlarda Cr elementi ilave edilerek mekanik özelliklerin incelenmesi amaçlanmıştır. Çalışmanın üretim aşamasında ilk olarak, Cr elementi %0,01, 0,03, 0,05, 0,1 oranlarında matris alaşımı içerisine verilmiştir. Daha sonra üretilen alaşımlar sıkıştırma döküm yöntemi ile şekillendirilmiştir. Elde edilen alaşımlara yorulma, sertlik, çekme ve darbe deneyleri uygulanmıştır. Bu deneyler; optik ve taramalı elektron mikroskopuyla (SEM) yapılan metalografik incelemelerle, EDS (Enerji Dispersif Spektrometresi) ve XRD (X Işınları Difraksiyonu) çalışmaları ile desteklenmiştir.

4.2. Alaşımların Üretimi

Çinko-alümiyum döküm alaşımlarının üretilmesinde literatür çalışmasında değinildiği gibi bir çok teknik mevcuttur. Bu çalışmada, mevcut döküm yöntemlerinden olan sıkıştırma döküm yöntemi kullanılarak modifiye edilmiş çeşitli çinko-alümiyum alaşımları üretilmiştir.

Alaşımlar ticari saflıkta çinko (%99.95), alümiyum (%99.8) ve elektrolitik Cu kullanılarak hazırlanmış ve elektrikli direnç fırınında grafit bir pota içerisinde azot gazı altında ergitilmişlerdir. Cr alaşım elementi ilavesi bileşimi %90 Cu - %10 Cr olan master alaşımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sıvı metale magnezyum ilaveleri ise dökümlerden hemen önce karıştırma ile yapılmıştır. Deneysel malzemelerin üretimi, 600–620° C 'deki sıvı alaşımın yaklaşık 200° C 'ye ön ısıtılmış sıkıştırma döküm kalıbına boşaltılması ve bunu takiben 80 mm çapındaki piston yardımıyla 0.3 MN 'luk yük uygulanması ile gerçekleştirilmiştir. Alaşımların

atomik absorpsiyon yöntemi ile belirlenen % ağırlıkça kimyasal bileşimleri Tablo 4.1 'de verilmiştir.

Tablo 4.1. Üretilen alaşımların % ağırlıkça kimyasal bileşimleri

Alaşım	% Al	% Cu	% Mg	% Cr	% Zn
ZA-12	11,10	1,05	0,025	0	Kalan
ZA/1	11,20	1,10	0,025	0,01	"
ZA/2	11,05	1,00	0,025	0,027	"
ZA/3	11,25	0,95	0,025	0,045	"
ZA/4	11,00	1,10	0,025	0,1	"

4.3. Metalografi Çalışmaları

Üretilen alaşımların mikroyapı incelemeleri OLYMPUS B 071 optik mikroskobunda ve SEM (Scanning Electron Microscobe)' de gerçekleştirilmiştir. Numuneler standart metalografik yöntemler kullanılarak hazırlanmıştır. İlk olarak bakalite alınan numuneler incelemeler öncesinde; 400, 600, 800 ve 1000 mesh' lik SiC zımpara kağıtları ile zımparalanmış, 0,05 µm Alümina solüsyonu ile parlatmaları yapılmış ve %2'lik nital çözeltisi ile dağlanmıştır.

4.4. Sertlik Deneyleri

4.4.1. Brinell sertlik deneyi

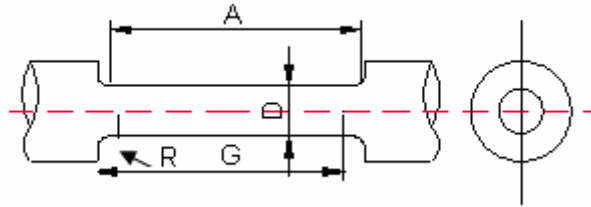
Üretilen alaşımların brinell sertlik deneyleri 187.5/2.5/30 kombinasyonuna sahip Brinell sertlik (BHN) skalasında Brooks marka sertlik cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Tüm alaşımlardan alınan numuneler üzerinde 3 'er adet ölçüm yapıp sertlik değeri olarak bu ölçümlerin ortalaması alınmıştır.

4.4.2. Vickers sertlik deneyi

Üretilen alaşımların vickers sertlik deneyleri FUTURETECH FM 700 marka mikrosertlik cihazında 5 gr yük altında 10 sn. beklenecek şekilde ölçülmüştür. Numunelerin ötektik bölgesinden ve dendirit bölgesinden; her numune için ve her iki bölge (ötektik bölge, dendirit bölge) için 5 'er ölçüm yapıp ortalaması alınarak sertlik değerleri belirlenmiştir. Ayrıca, % 0,05 ve % 0,1 Cr içeren alaşımlardaki intermetaliklerin sertlikleri 1 gr yük altında 10 sn. beklenecek şekilde ölçülmüş ve her intermetalikten 2 'şer adet ölçüm alınıp ortalaması sertlik değeri olarak belirlenmiştir.

4.5. Çekme Deneyleri

Üretilen alaşımların çekme deneyleri INSTRON 3367 3 KN 'luk çekme cihazında yapılmıştır. Her bir numunenin çekme mukavemeti hesaplanırken 6 'şar adet numune kullanılmıştır ve çekme hızı da $0,0007 \text{ sn}^{-1}$ olarak ayarlanmıştır.



Şekil 4.1. Çekme mukavemeti deneylerinde kullanılan ASTM 8 standardına göre hazırlanan yuvarlak kesitli numunelerin şematik olarak gösterimi.

A = 32 mm. Daralan kesitin boyu.

D = 6 mm numunenin çapı.

G = 25 mm ölçü uzunluğu

R = 6 mm, eğrilik Çapı.

4.6. Darbe Deneyleri

Darbe deney numuneleri her bir alaşımdan 10x10x55 mm boyutlarında, çentiksiz standart numuneler olarak torna ve planya tezgahlarında işlenerek hazırlanmıştır.

Çentiksiz olarak hazırlanan darbe deneyi numunelerinden, her bir döküm için dört numune kırılmış ve ortalama değer darbe dayanımı olarak alınmıştır.

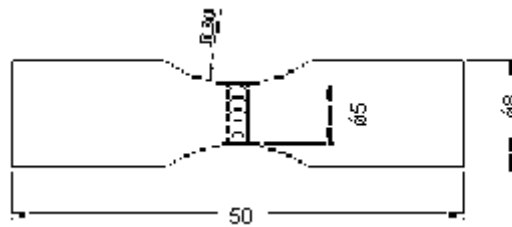
4.7. Yorulma Deneyleri

Denison 7615 marka yüksek çevrimli, burma, ileri geri eğme ile eğme ve burma modüllerinde çalışabilen yorulma cihazında (Şekil 4.2) düşük çevrimli “yorulma deneyleri” gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada yorulma deneyleri eğme modülü kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 4.2. Yorulma deney cihazı

Kullanılan numunelerin boyutları Şekil 4.3 'te gösterilmiştir:



Şekil 4.3. Yorulma deney numunesi

Deneyleerde kullanılan eğme momenti (M) değerlerinden eğilme gerilmesi (σ) değerlerine klasik mukavemet bilgileri kullanılarak uygulanacak gerilmeye göre moment ve komparatörlerde ayarlanacak değerler aşağıdaki formüllerle hesaplanır. Hesaplamalar R= -1 gerilme oranı için dairesel kesitli parçalara göre yapılır [37] :

$$\sigma = M/Z$$

$$Z = \pi D^3 / 32$$

$$\sigma = 32 M / \pi D^3$$

Burada;

σ = Gerekli gerilme (MPa)

M = Eğme momenti

Z = Kesit modülü

D = Numunenin orta kısmının çapıdır.

Hazırlanan numunelere uygulanan yorulma deneyi sonrasında kırılan deney parçaları incelenerek yorulma çatlaklarının oluştuğu yer saptanmıştır. Yorulma deneyleri, 75, 90, 100, 110, 115, 125 ve 150 MPa gerilme genliklerinde, her bir alayım için 3 kez tekrarlanmak suretiyle yapılmış, sonuçta her bir gerilme genliğı için 3 değerin ortalaması alınarak ve bir grafik üzerinde çizilerek her bir alayım için gerilmenin fonksiyonu olarak her Cr ilavesine göre çevrim sayısı eğrisi belirlenmiştir.

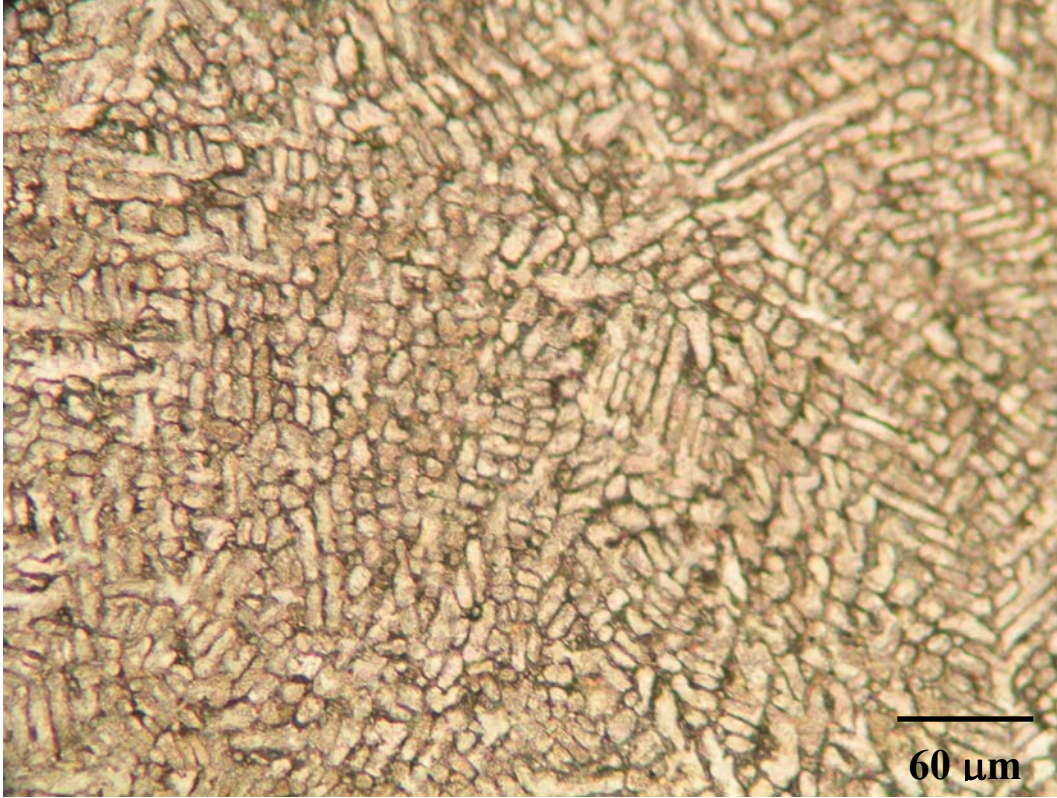
BÖLÜM 5. DENEYSEL SONUÇLAR

5.1. Giriş

Standart ZA-12 alaşımına Cr alaşım elementinin değişik oranlarda ilave edilmesi ile sıkıştırma döküm yöntemi ile üretilen alaşımların mikroyapıları SEM-optik mikroyapı fotoğraflarıyla, EDS ve XRD analizleri ile; sertlik, çekme, darbe ve yorulma deneyi sonuçları da tablolar ve grafikler üzerinde gösterilerek, neden- sonuç ilişkisi göz önüne alınarak açıklanmaya çalışılmıştır.

5.2. Alaşımların Mikroyapıları

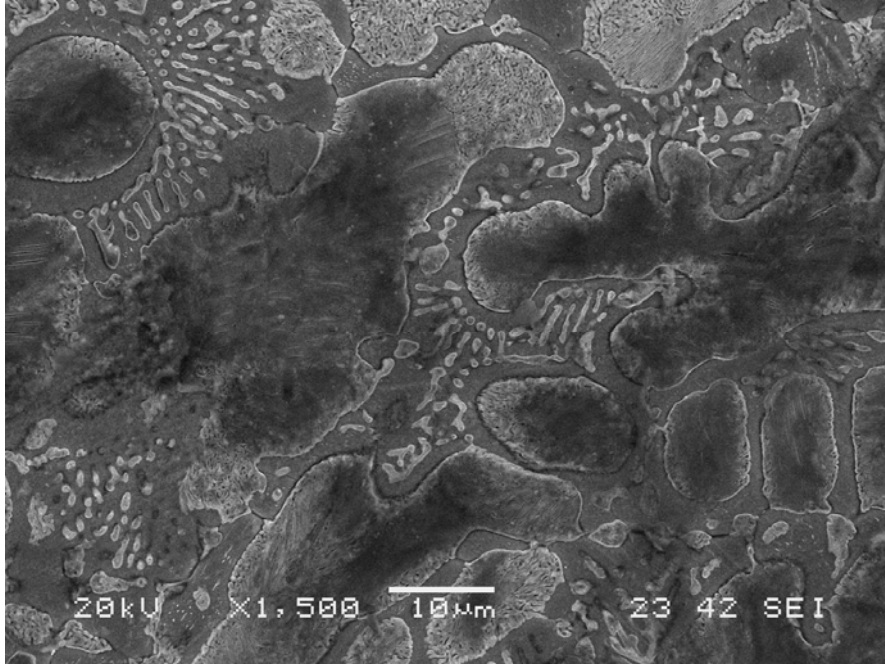
Aşağıdaki şekillerde saf ZA-12, ZA-12+%0.01Cr, ZA-12+%0.03Cr, ZA-12+%0.05Cr, ZA-12+%0.1Cr alaşımlarının optik ve SEM mikroyapısı görülmektedir. Optik mikroyapı fotoğraflarında alüminyumca zengin fazlar açık tonlarda, çinkoca zengin fazlar koyu tonlarda belirmişlerdir.



Şekil 5.1. Saf ZA-12 alaşımının optik mikroyapısı

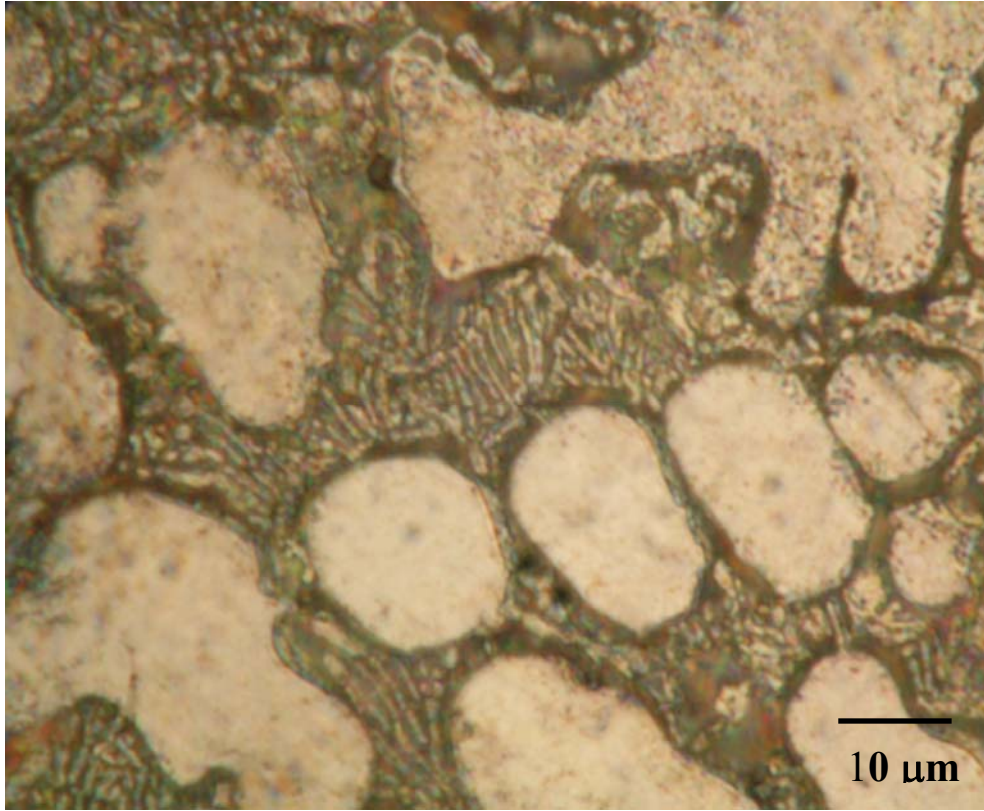
Standart ZA-12 alaşımı çinkoca zengin ötektik alandan ve oda sıcaklığında α ve η fazlarından oluşan alüminyumca zengin β dendiritten oluşmaktadır. Ötektik lamelli yapıya sahiptir ve $\alpha+\eta$ fazından oluşmaktadır. ZA-12 katılaşmasında önce primer β fazı çekirdeklenmeye başlar ve 381°C sıcaklıkta $\beta+\eta$ ötektik matriksi oluşur. Daha sonra β yarı kararlı fazı 275°C 'nin altında ötektoid dönüşüm ile $\alpha+\eta$ 'ya ayrılmaktadır [17].

ZA-12 'nin katılaşma aralığı geniş olduğundan (43°C) dendiritik yapının büyümesi için yeterli oranda zaman bulunmaktadır. Bu nedenle ZA-12 alaşımına ötektik matriks içinde ayrılmış primer β dendiritleri hakim olduğundan ötektik faz alanlarının miktarı dendiritik yapıya oranla daha düşüktür. Ötektik yapı büyük oranda çinko (η) ve ayrılmış halde bulunan β parçacıklarından meydana gelmektedir. İlk katılaşan faz β dendiritik yapıdadır ve primer β dendiritleri oda sıcaklığında α ve η 'ya dönüşmektedir [13,38]. Bu dönüşüm ve ötektik alanların yapısı Şekil 5.2 'de verilen SEM fotoğrafında açıkça görülmektedir.

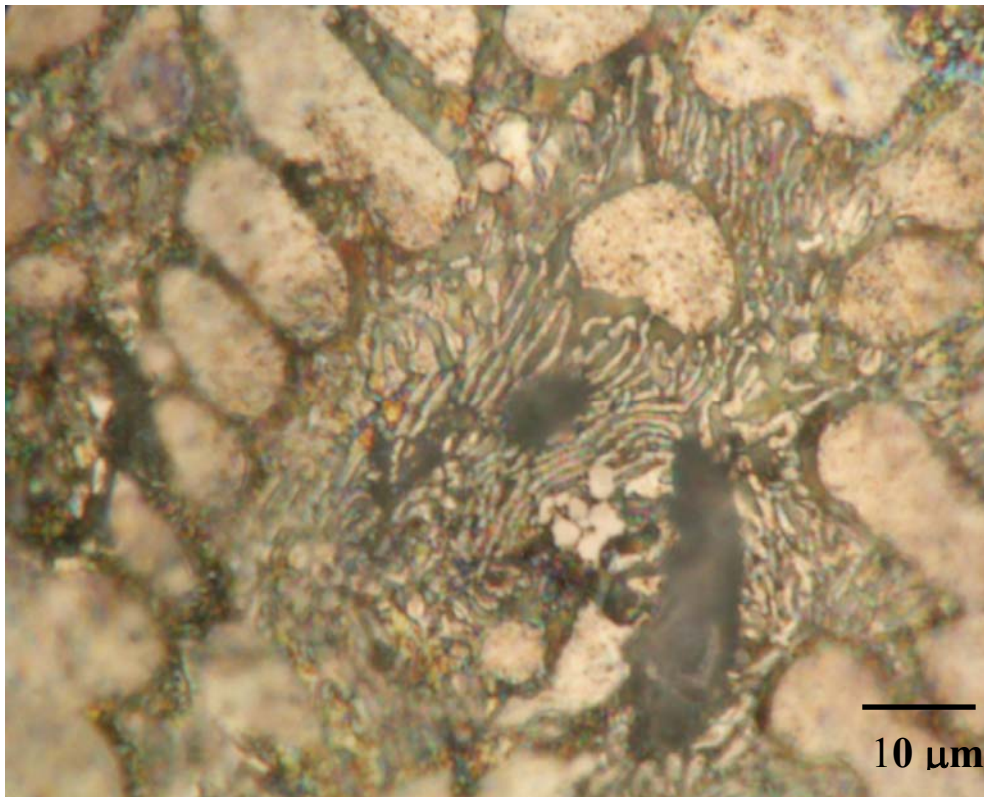


Şekil 5.2. Saf ZA-12 alaşımının SEM mikroyapısı

Aşağıda ise değişik oranlarda Cr ilaveli ZA-12 alaşımının optik ve SEM görüntüleri sırası ile Şekil 5.4-5.10 'da verilmektedir. ZA-12 alaşımına Cr ilavesinin alaşımın mikroyapısını dereceli olarak modifiye ettiği görülmektedir. Mikroyapılar incelendiğinde, ZA-12 alaşımına Cr ilavesinin dendirit yapısını küresel şekle getirdiği ve boyutunu küçülttüğü, ayrıca Şekil 5.3 'teki mikroyapılardan görüldüğü gibi ötektik lameller arası mesafeyi azalttığı gözlenmektedir. Yani, Cr ilavesi dendirit kollarının büyümesine izin vermemiş ve böylece ötektik bölgelerin mikroyapıda daha fazla alana sahip olmalarına imkan vermiştir. Ayrıca, Cr oranının artması ile dendirit boylarının küçülmesi arasında lineer bir ilişki kurulamamıştır. Özellikle %0.01-%0.05 arasında Cr içeriğinin dendirit boyu ve ötektik alanların büyüklüğünde önemli ölçüde değişime yol açmadığı, benzer mikroyapılardan oluştuğu anlaşılmaktadır. En yüksek Cr içeriği durumunda (%0.1 Cr) ise, Şekil 5.10 'dan görüldüğü gibi, ötektik alanların büyüklüğü maksimum seviyeye ulaşmış ve yapıda intermetalik bileşiklerin varlığı optik mikroskopta dahi kolayca görülür hale gelmiştir. Daha düşük Cr içeriği durumunda optik mikroyapılarda görülemeyen kompleks şekilli ve keskin köşeli intermetaliklerin, daha yüksek büyütmelede SEM görüntüsünün alınması ile her Cr ilavesi oranında da ötektik bölgelerde oluştuğu belirlenmiştir.

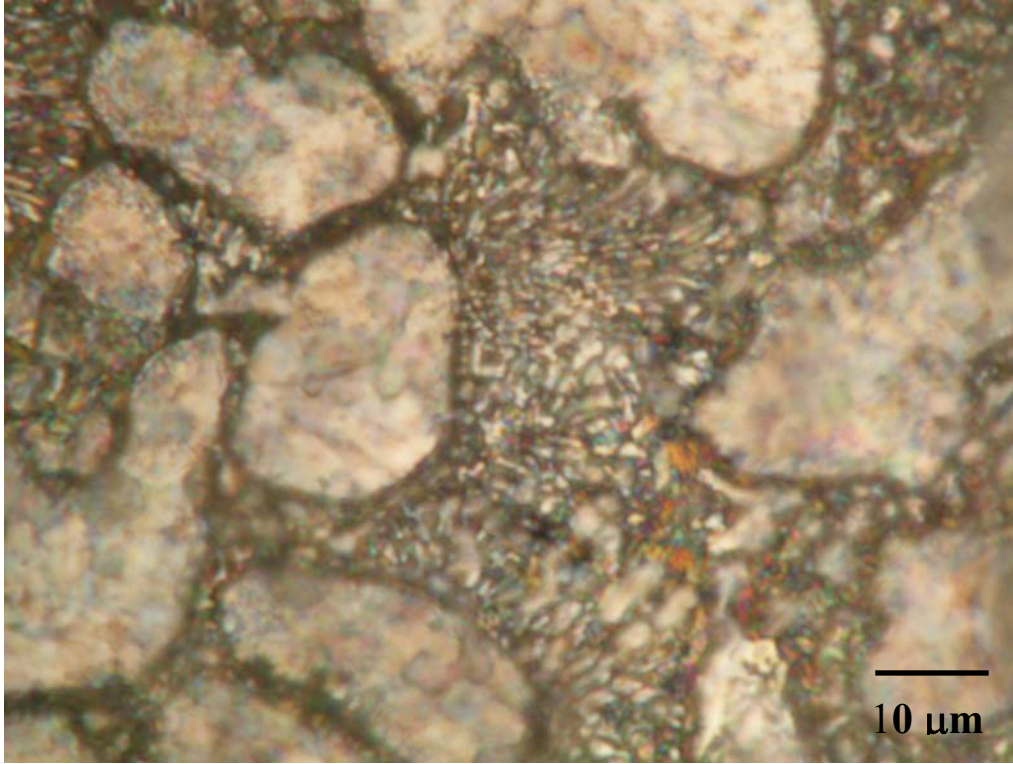


(a)

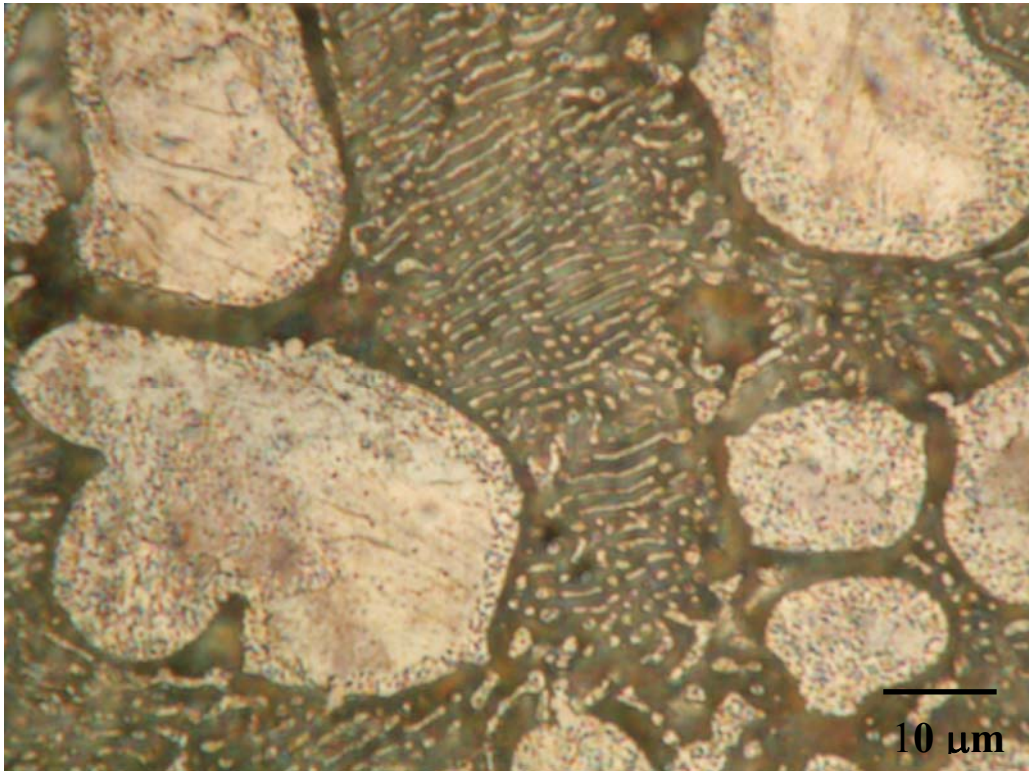


(b)

Şekil 5.3. Cr ilaveli alaşımlarda lamelleri gösteren optik mikroyapı fotoğrafları
(a) ZA-12+%0.01 Cr (b) ZA-12+%0.03 Cr (c) ZA-12+%0.05 Cr (d) ZA-12+%0.1 Cr

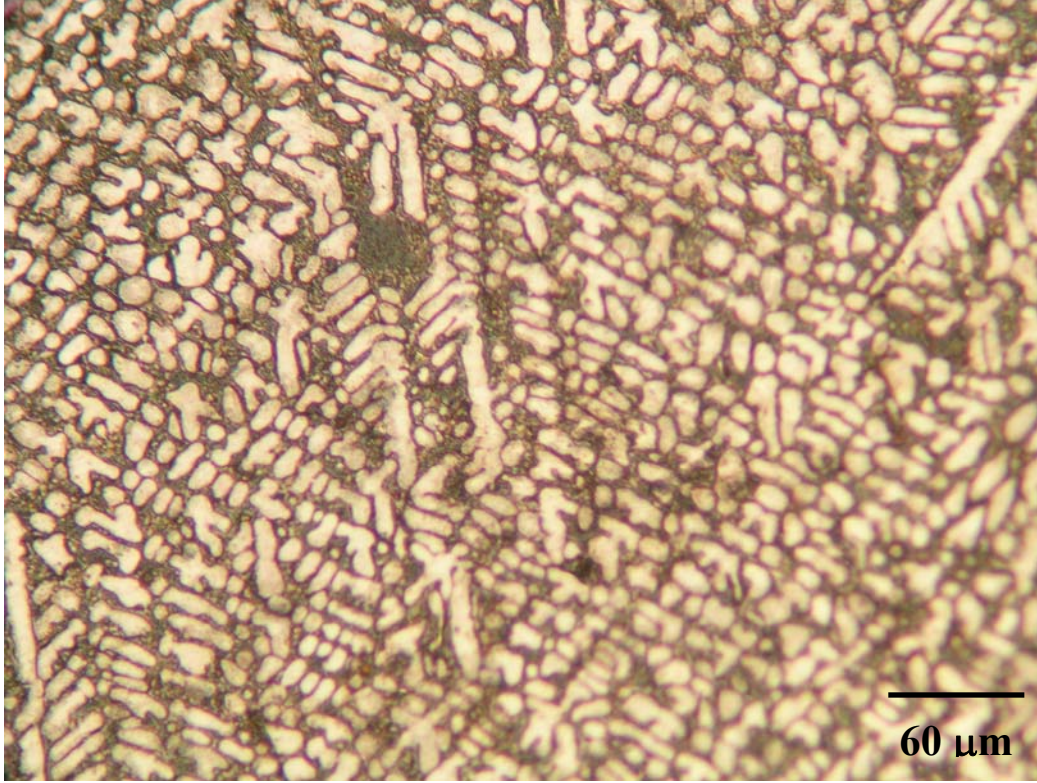


(c)

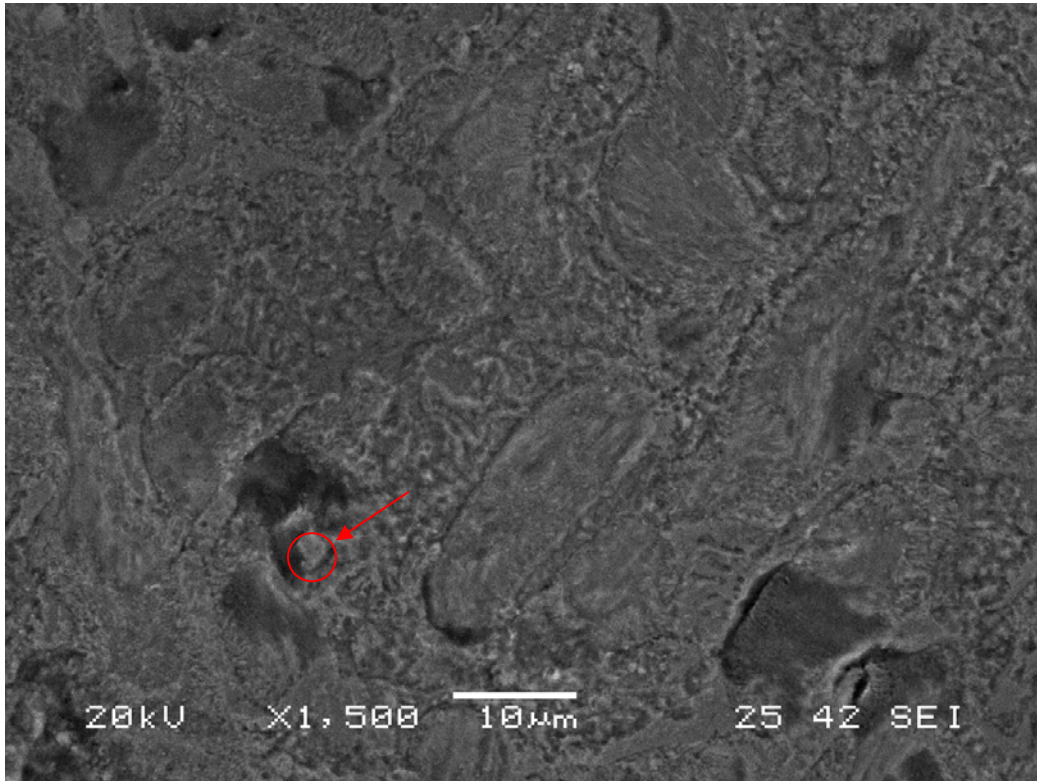


(d)

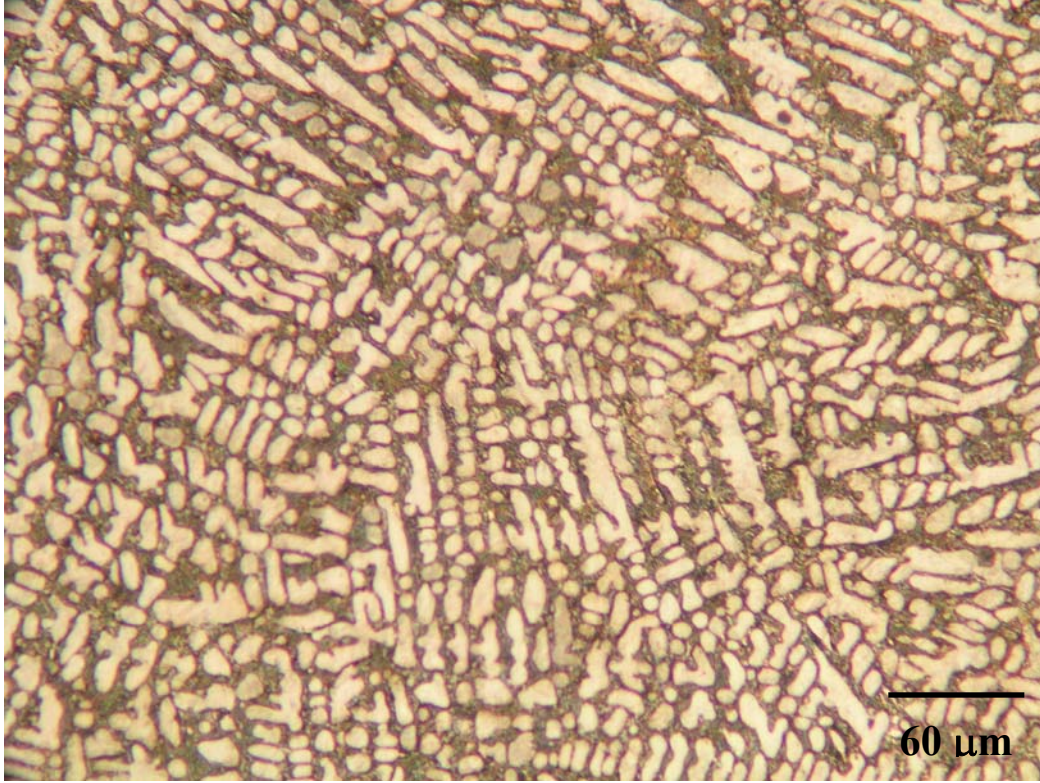
Şekil 5.3. (devamı)



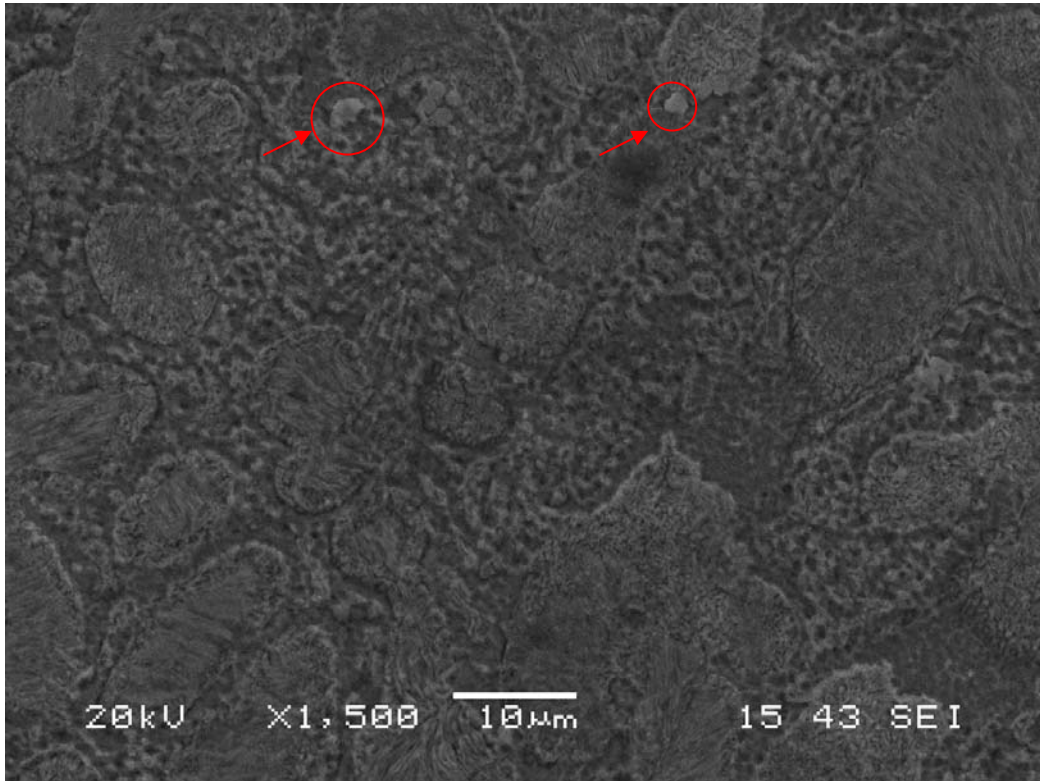
Şekil 5.4. ZA-12+%0.01Cr alaşımının optik mikroyapısı



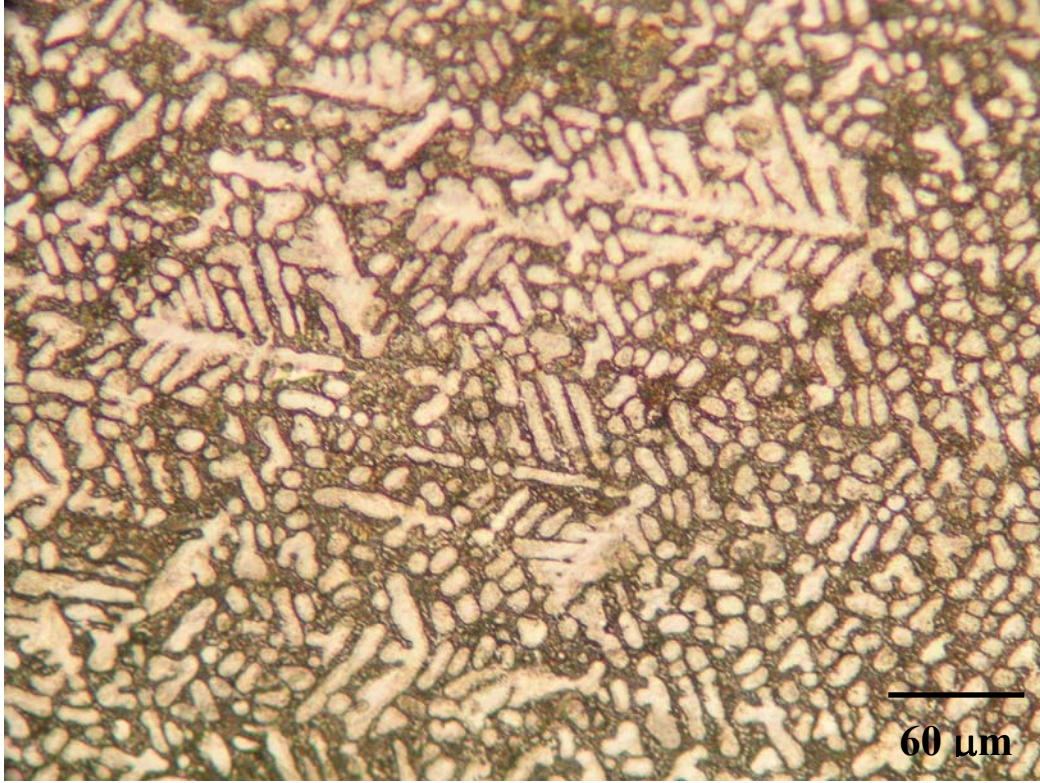
Şekil 5.5. ZA-12+%0.01Cr alaşımının SEM mikroyapısı



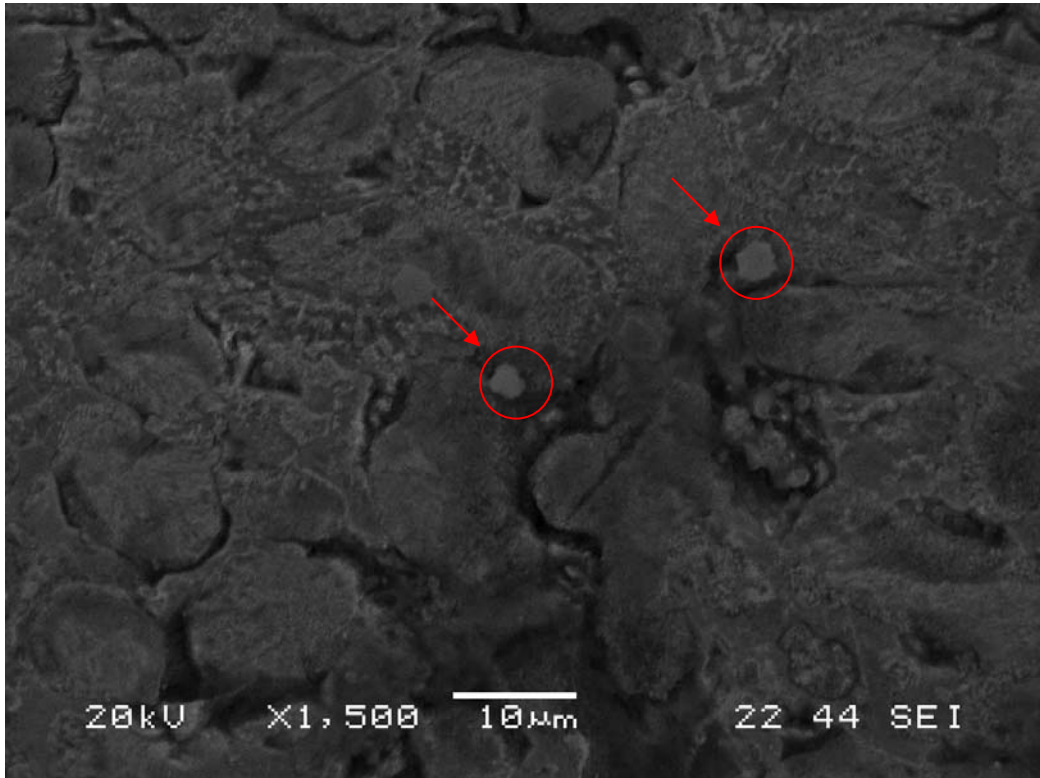
Şekil 5.6. ZA-12+%0.03Cr alaşımının optik mikroyapısı



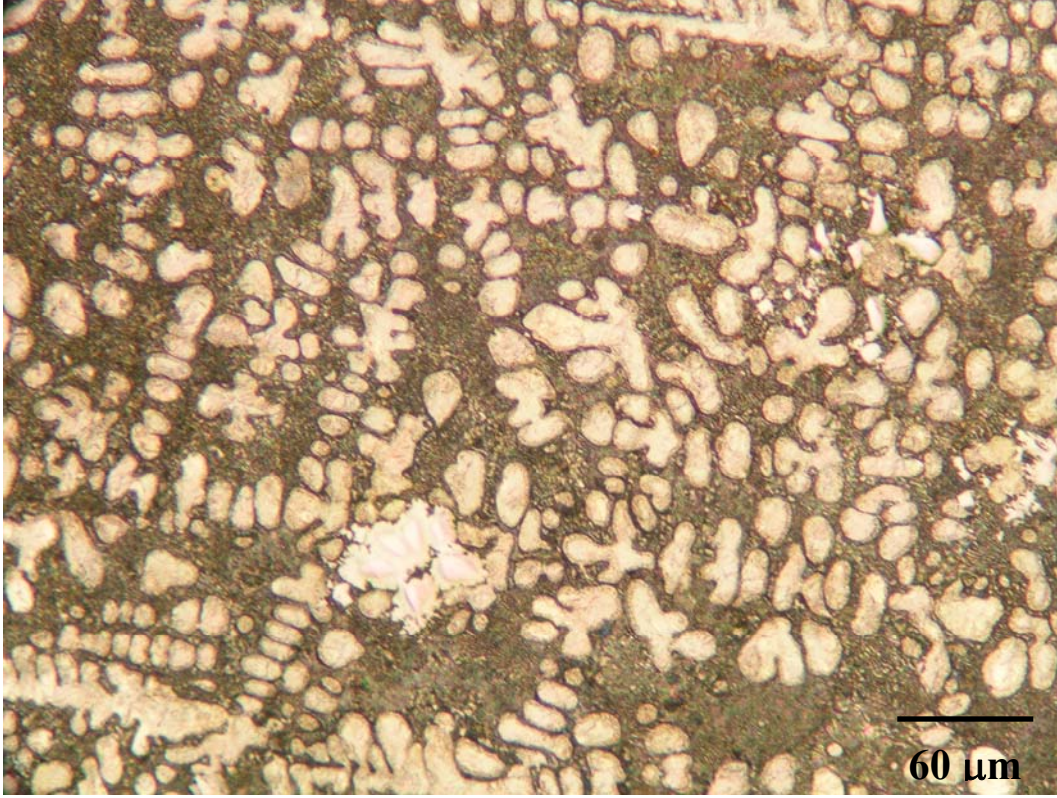
Şekil 5.7. ZA-12+%0.03Cr alaşımının SEM mikroyapısı



Şekil 5.8. ZA-12+%0.05Cr alaşımının optik mikroyapısı



Şekil 5.9. ZA-12+%0.05Cr alaşımının SEM mikroyapısı



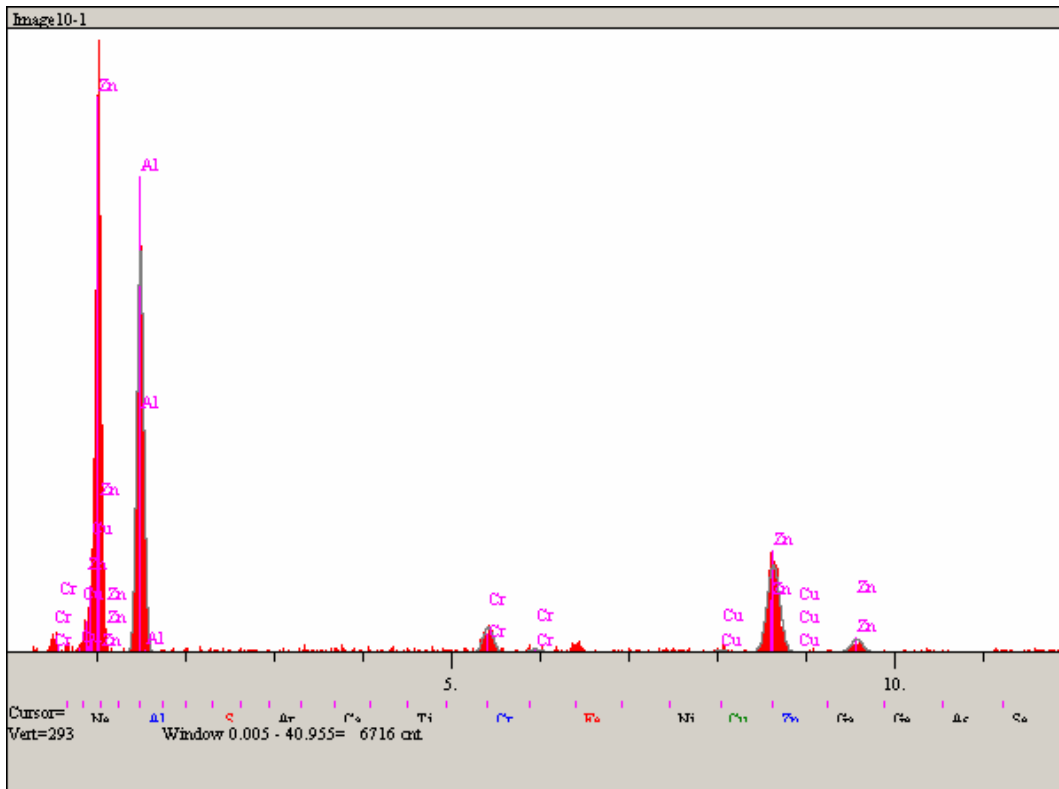
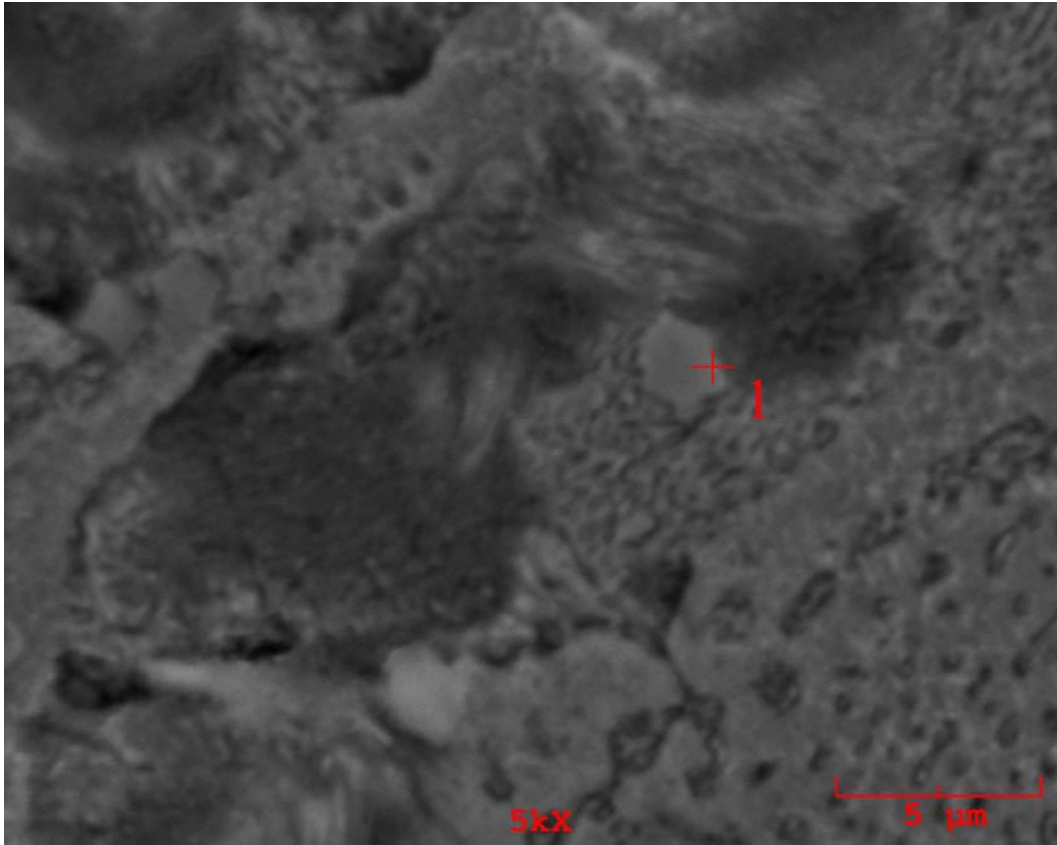
Şekil 5.10. ZA-12+%0.1Cr alaşımının optik mikroyapısı

Literatürde belirtildiğine göre Cr 'un çinko içerisindeki çözünürlüğü ihmal edilebilir boyutlardadır ve çinko-alüminyum esaslı alaşımlarda $CrAl_4$ ve $CrAl_7$ intermetalik bileşikleri olarak mikroyapıda bulunabilir. Ayrıca, katılaşma esnasında Cr 'un aşılavıcı etkisinden dolayı yapının hücresel olmasına sebep olduğu belirtilmiştir [15].

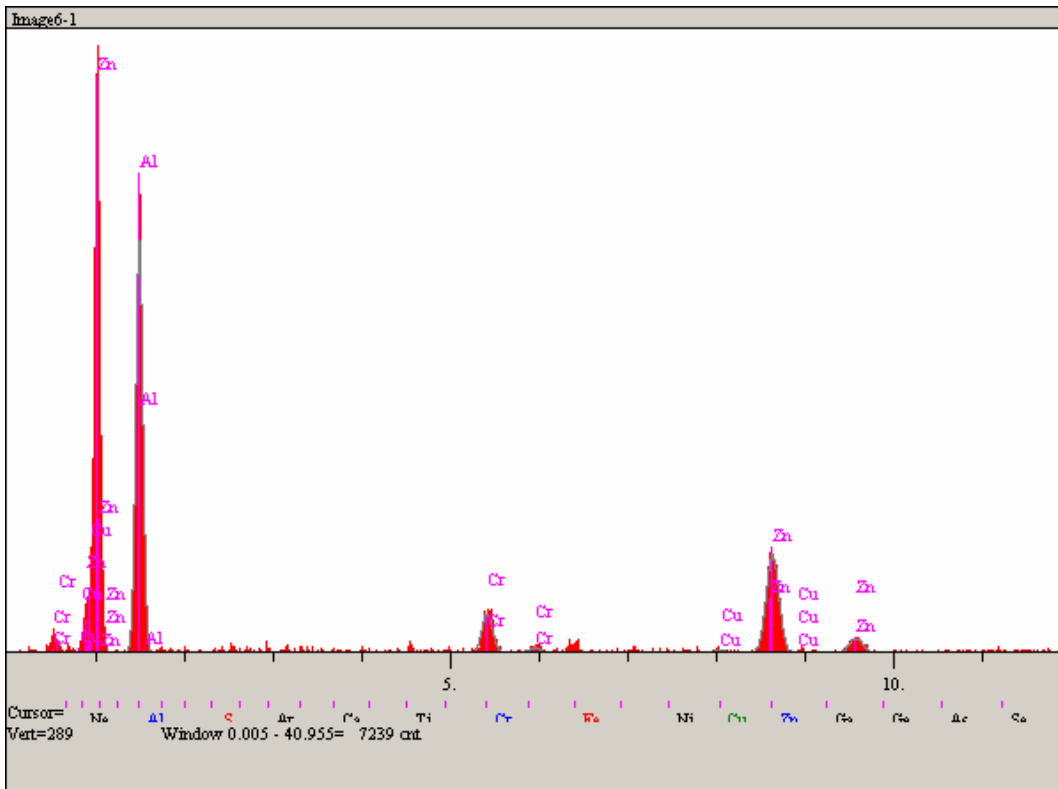
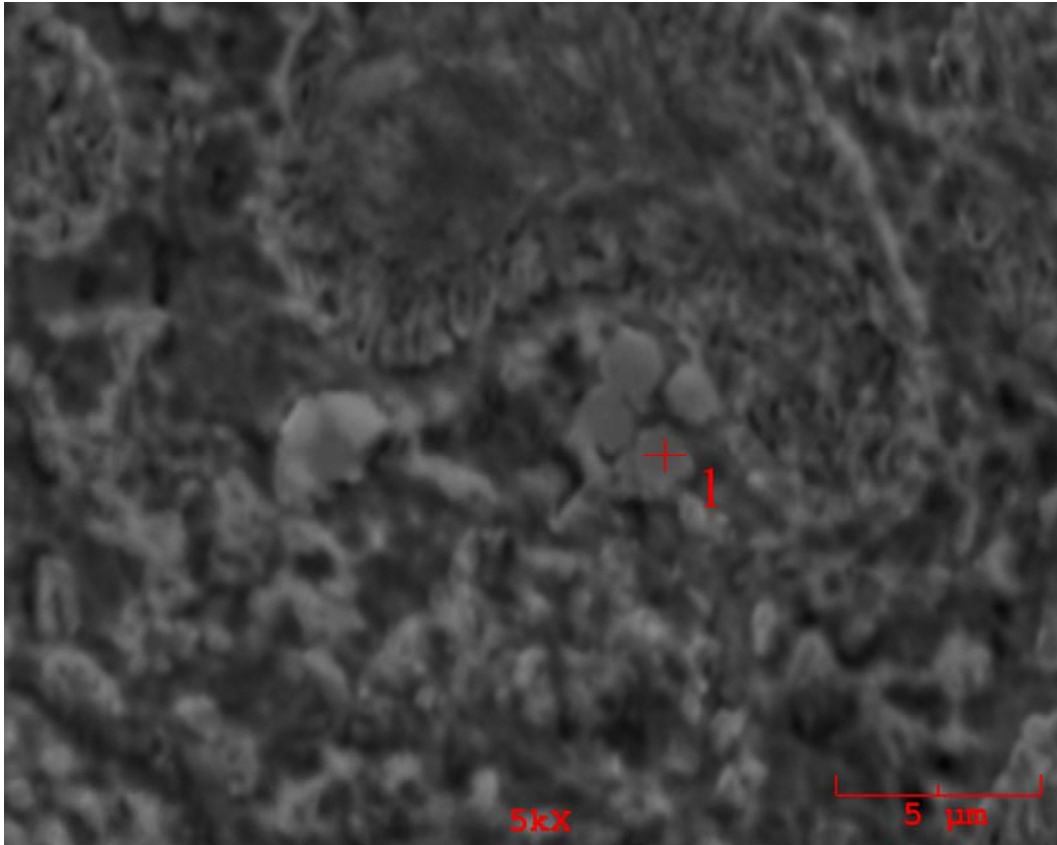
Sıkıştırma döküm yöntemi ile üretilen ZA-12 +%0.01,0.03,0.05 ve 0.1 Cr alaşımına ait SEM görüntüsü ve bu görüntü üzerindeki noktanın EDS analizleri Şekil 5.11, 5.12, 5.13 ve 5.14 'te verilmiştir. Ayrıca, bu noktalara ait % ağırlıkça kimyasal bileşimler Tablo 5.1 'de verilmiştir.

EDS incelemeleri; ötektik bölgelerde görülen intermetalikler üzerinden, intermetalik bulunmayan ötektik alanlardan ve dendritler üzerinden defalarca analiz alınarak yapılmıştır. İntermetalikler üzerinden yapılan incelemeler sonucunda bu parçaların Cr içerdiği tespit edilmiştir. EDS analizleri sonucunda intermetalik içermeyen ötektik alanlardan ve dendritler üzerinden alınan analiz sonuçları incelendiğinde, bu bölgelerde Zn ve Al elementlerinin olduğu görülmüş olup Cr çözünürlüğünün

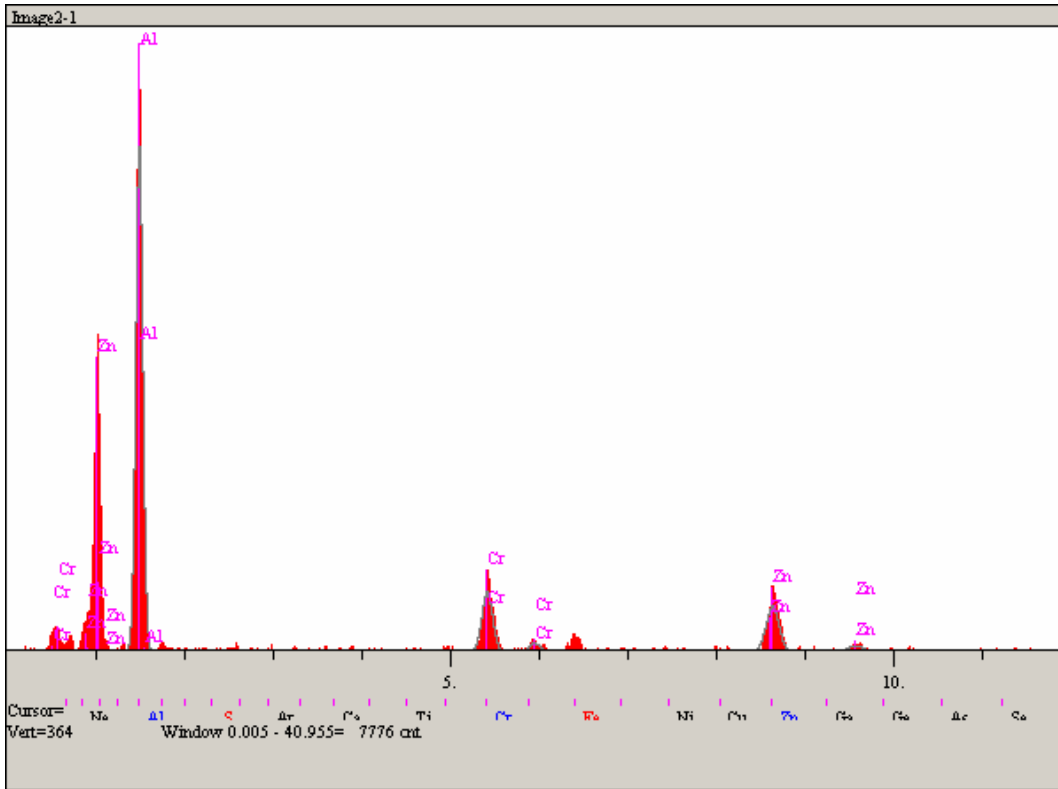
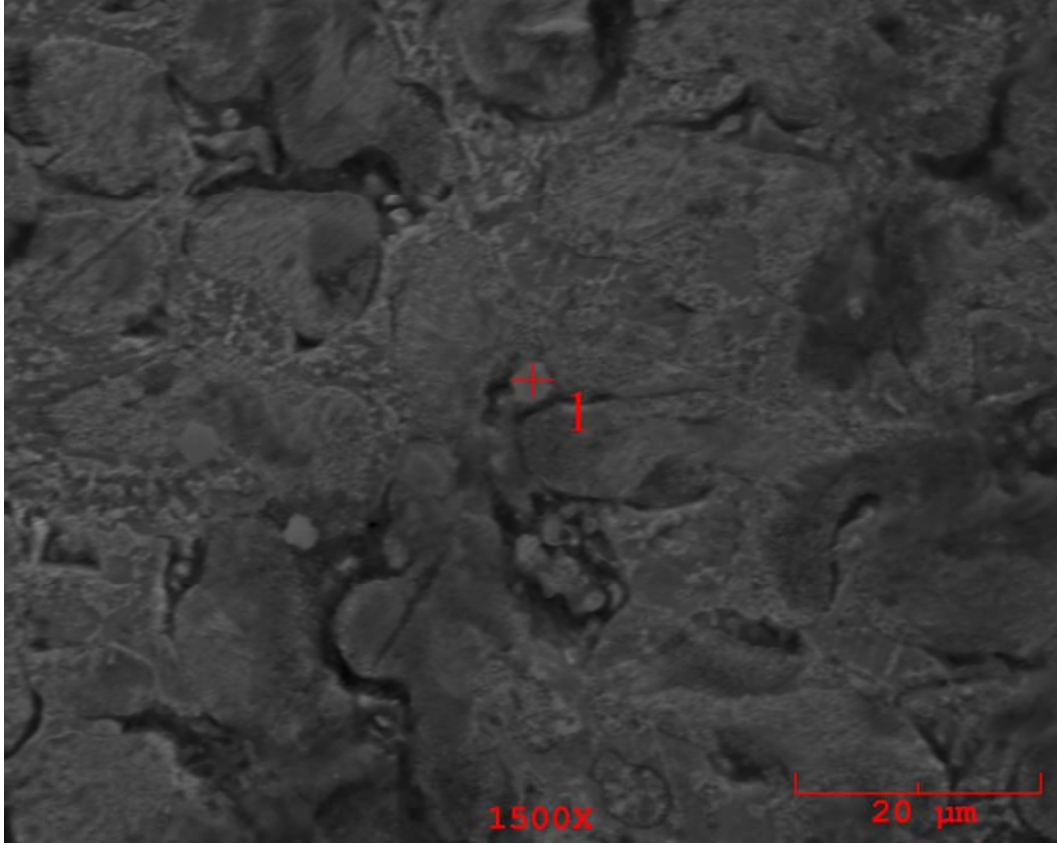
varlığını belirtecek herhangi bir bulguya rastlanmamıştır. EDS analizlerinden anlaşıldığı üzere % 0.01 içeriğinde dahi Cr, ZA-12 alaşımı içerisinde çözünmeden yapıda ötektik alanlarda intermetalik olarak bulunmaktadır. Literatürde de bahsedildiği gibi Cr 'un çinko içerisinde çözünürlüğü ihmal edilebilir miktarlardadır [15].



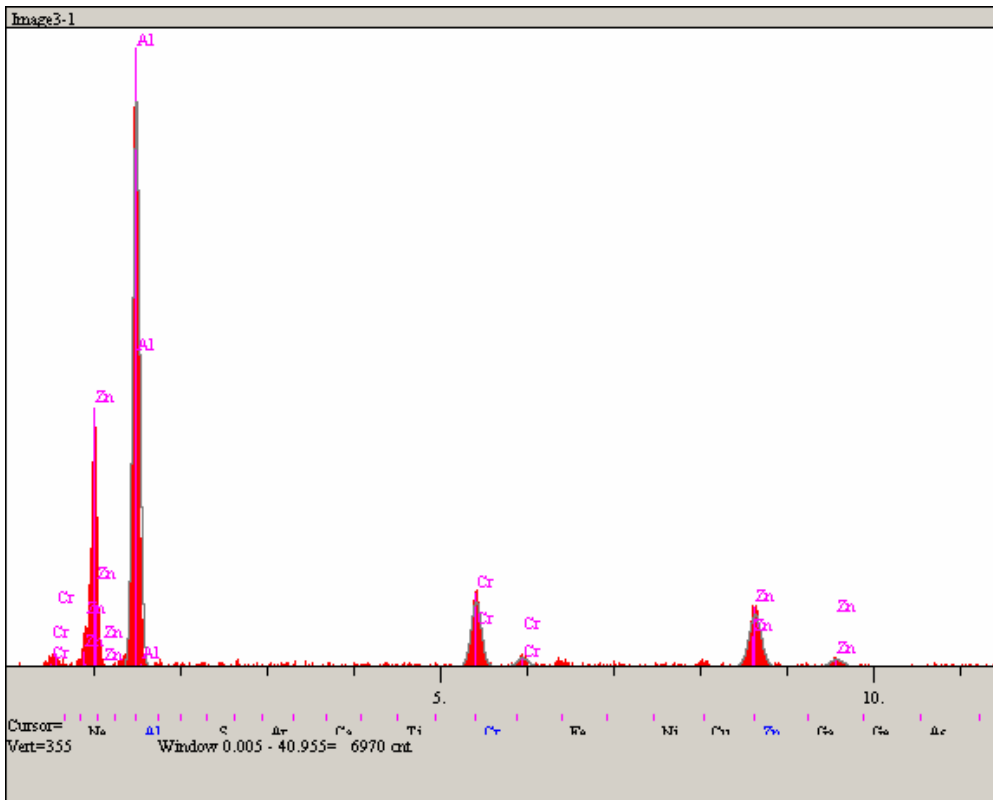
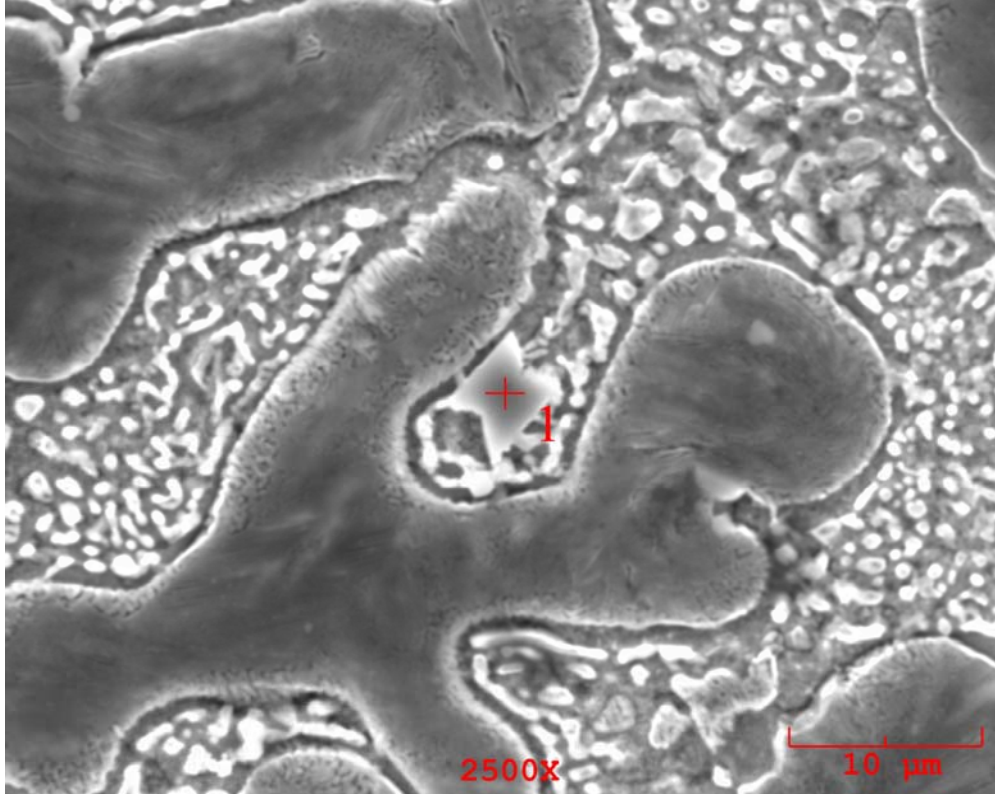
Şekil 5.11. ZA-12 +%0.01 Cr ilaveli alaşımın SEM mikroyapısı ve bu mikroyapı üzerindeki noktanın EDS analizi



Şekil 5.12. ZA-12 +0.03 Cr ilaveli alaşımın SEM mikroyapısı ve bu mikroyapı üzerindeki noktanın EDS analizi



Şekil 5.13. ZA-12 +0.05 Cr ilaveli alaşımın SEM mikroyapısı ve bu mikroyapı üzerindeki noktanın EDS analizi

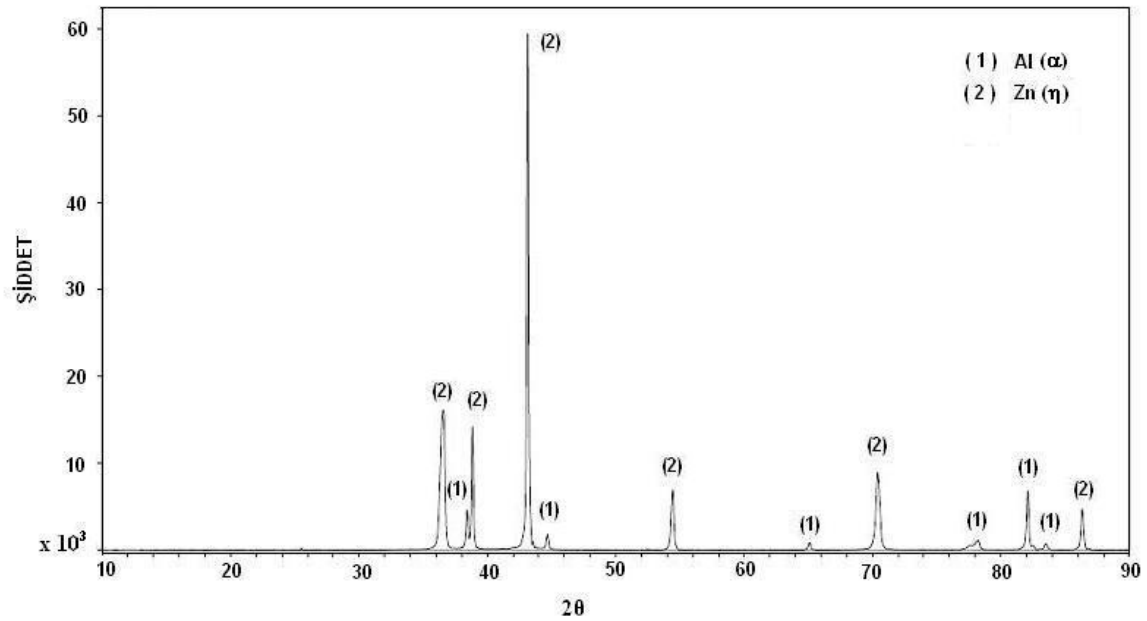


Şekil 5.14. ZA-12 +0.1 Cr ilaveli alaşımın SEM mikroyapısı ve bu mikroyapı üzerindeki noktanın EDS analizi

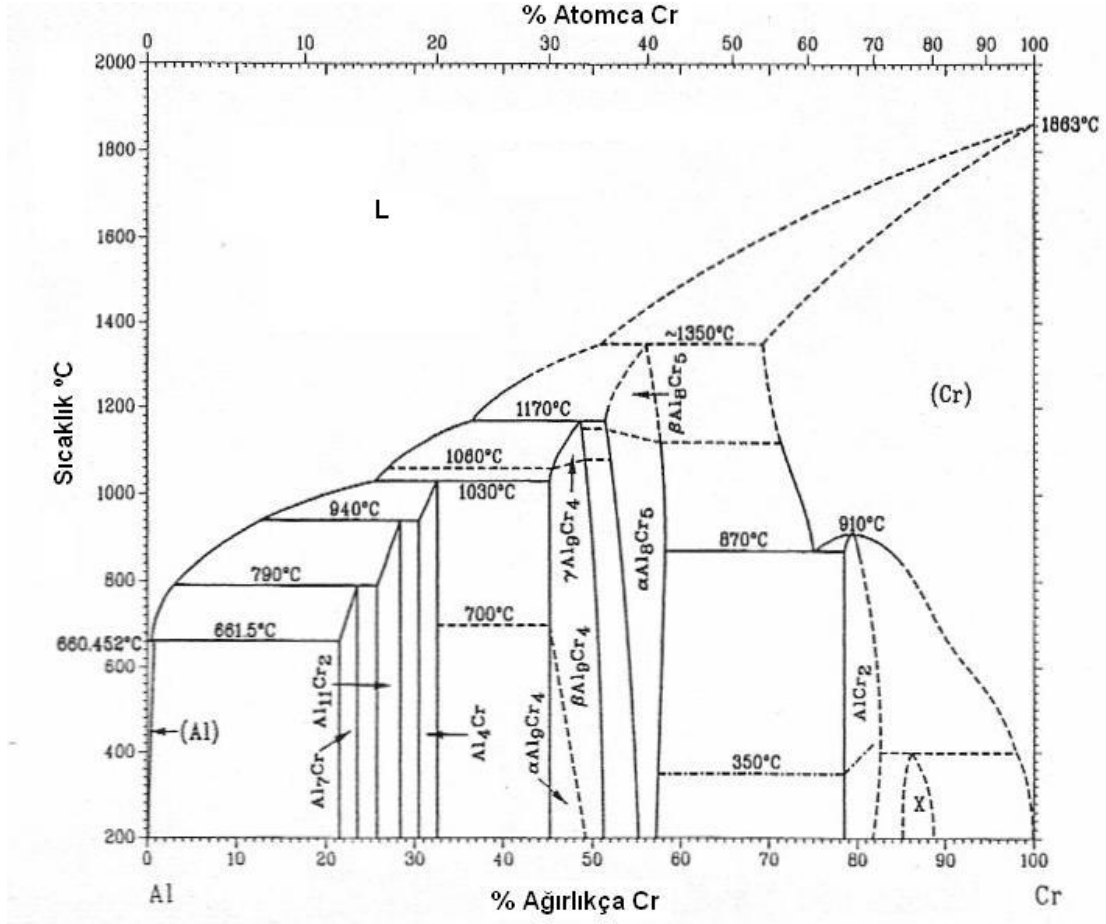
Tablo 5.1. EDS analizlerine göre alaşımların mikroyapıları üzerindeki partiküllerin % ağırlıkça kimyasal bileşimleri

Alaşım	% Zn	% Al	% Cr	% Cu
ZA-12 +%0.01 Cr	69,9	25,2	3,5	1,4
ZA-12 +%0.03 Cr	70,4	23,3	5,1	1,2
ZA-12 +%0.05 Cr	49,6	38,3	12,1	-
ZA-12 +%0.1 Cr	32,7	55,1	12,2	-

Elde edilen EDS analizlerinden (Tablo 5.1) bu partiküllerin ağırlıkça ortalama olarak %55,65 Zn -%35,48 Al -% 8,23 Cr -%0,65 Cu bileşimine sahip olduğu görülmüştür. Belirlenen bu ortalama kimyasal bileşimden, bu partiküllerin Al-Cr ikili denge diyagramından da görüldüğü gibi (Şekil 5.16) Al-Cr esaslı bir intermetalik bileşiğe ait olabileceği söylenebilir. Bundan dolayı, bu partiküllerin kimyasal bileşimini belirlemek amacıyla ZA-12+%0.1Cr alaşımı ile yapılan XRD çalışmasından elde edilen difraksiyon paterninde çinkoca zengin (η) ve alüminyumca zengin (α) fazların pikleri farklı 2θ değerlerinde belirlenmiştir (Şekil 5.15). Fakat, yapılan araştırmada Al-Cr içerikli herhangi bir inermetalığın varlığı tespit edilememiştir.



Şekil 5.15. %0,10 Cr içeren ZA-12 alaşımından elde edilen X-Işımları difraksiyonu



Şekil 5.16. Al-Cr ikili denge diyagramı [39]

Türk yaptığı çalışmada [15], ZA-8 alaşımına yaklaşık % 0,01 oranında çok az olarak ilave edilen Cr elementinin, alaşımın mikroyapısını önemli ölçüde modifikasyona uğrattığını ve iyi gelişmiş düzgün lamelli ötektik hücreleri içerisinde küçük küresel primer β dendiritlerinin mikroyapıda oluştuğunu belirlemiş ve bu modifikasyon etkisinin yanısıra Cr elementinin, özellikle yüksek oranda Cr içeren alaşımların mikroyapısında dendiritler arası bölgelerde kompleks şekilli Al₉Cr₄ ve/veya Al₈Cr₅ metallar arası bileşiklerini oluşturduğunu tespit etmiştir. Yapılan bu çalışmada da bulunan mikroyapısal sonuçların, Türk'ün bulduğu mikroyapısal sonuçlarla benzerlik gösterdiği saptanmıştır. Ayrıca, Belkıs çalışmasında [1] %0,05 Cr ilaveli ZA-8 alaşımının mikroyapısında EDS analizini % 32,18 Al, % 26,63 Cr, % 4,79 Fe, % 34,66 Zn olarak tespit etmiş ve yapıda bu çalışmada da olduğu gibi Cr intermetaliklerine rastlamıştır.

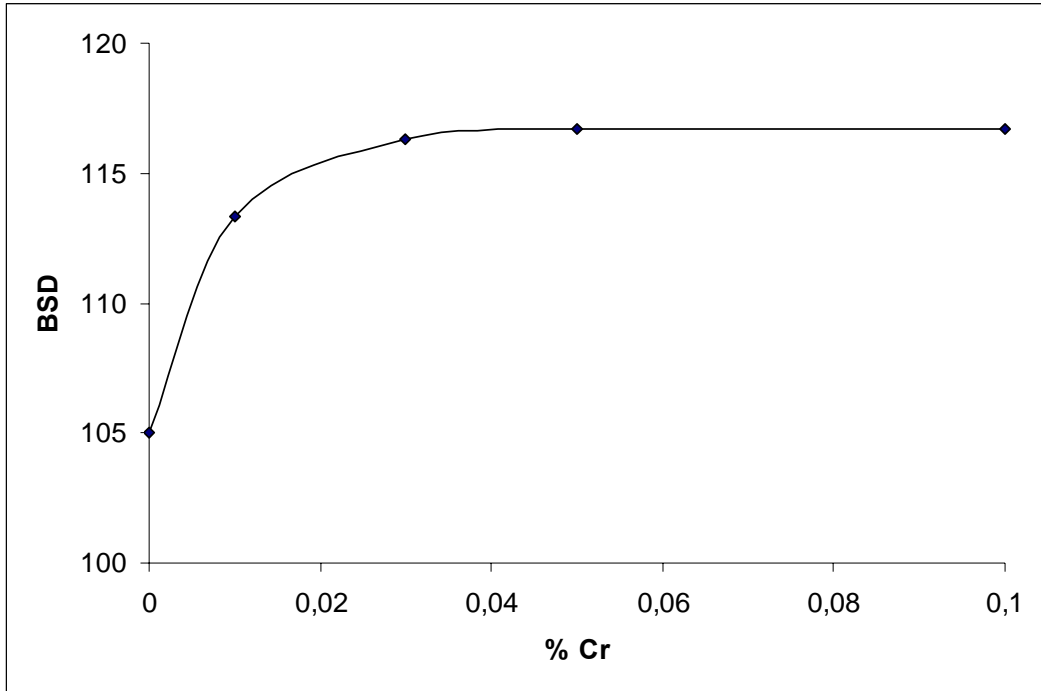
5.3. Alaşımlarda Sertlik

5.3.1. Brinell sertlik

Basıncılı döküm yöntemiyle üretilen ZA-12+Cr alaşım elementlerinin sertlikleri Brinell skalasına göre (187.5/2.5/30) ölçülmüş ve elde edilen sonuçlar Tablo 5.2 'de verilmiştir. Ayrıca Tablo 5.2 'de bulunan sonuçlar Şekil 5.17 'de şematik olarak gösterilmektedir.

Tablo 5.2. ZA-12+Cr alaşım elementlerinin Brinell sertlik değerleri.

Alaşım Elementi	% Cr	Sertlik Değerleri (BSD)
Saf ZA	0	105
ZA/1	0,01	113,33
ZA/2	0,03	116,33
ZA/3	0,05	116,67
ZA/4	0,1	116,67



Şekil 5.17. ZA-12+Cr alaşım elementlerinin Cr oranı ile sertlik değişimi

Saf ZA-12 alaşımının sertliği 105 Brinell olarak ölçülmüştür. %0.01 Cr ilavesi ZA-12 alaşımının sertliğini % 7 artırarak 113 Brinell 'e yükseltmiştir. Daha fazla Cr ilavesi durumunda ise sertlikteki artışı hızı yavaşlamış ve % 0.05 Cr içeriğinden sonra 116 Brinell 'e çıkararak sabit kalmıştır.

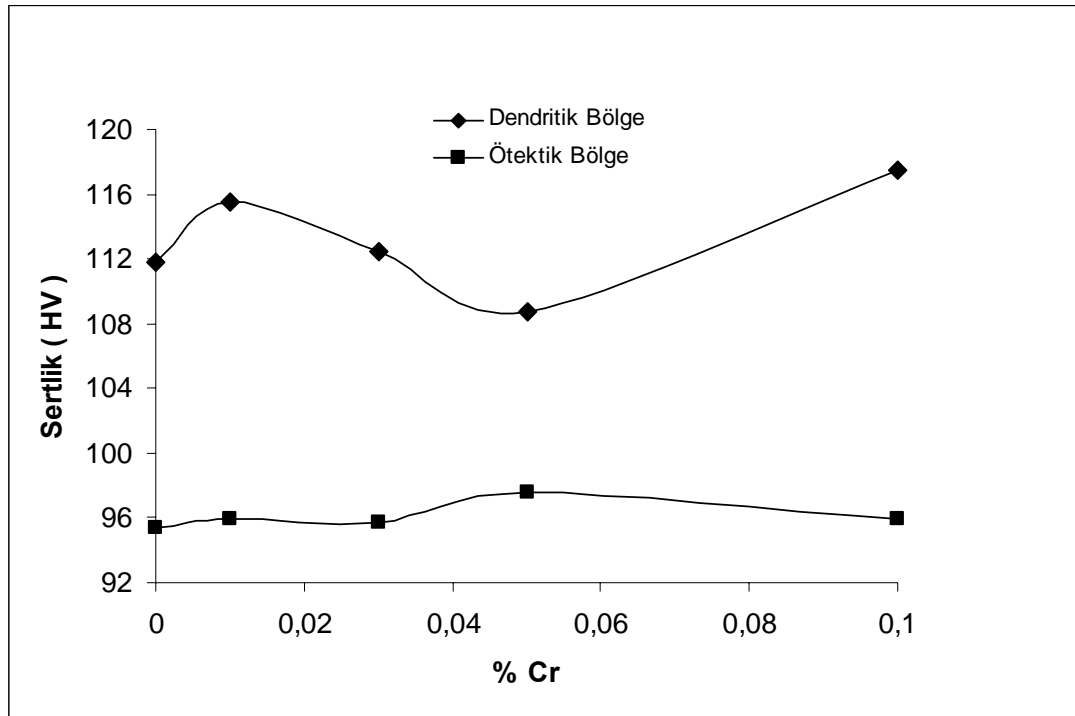
5.3.2. Vickers sertlik

Basıncılı döküm yöntemiyle üretilen ZA-12+Cr alaşım elementlerinin vickers sertlikleri ötektik ve dendritik bölgeler için 5 gr yük altında 10 sn, intermetalikler için (% 0,05 ve % 0,1 Cr içeren alaşımlardaki) 1 gr yük altında 10 sn beklenerek ölçülmüş ve elde edilen sonuçlar Tablo 5.3 'te verilmiştir. Ayrıca Şekil 5.18 'de ötektik ve dendritik bölgeden alınan sertlik değerleri Şematik olarak gösterilmektedir.

Tablo 5.3. ZA-12+Cr alaşım elementlerinin ötektik, dendritik bölgelerin ve intermetaliklerin Vickers sertlik değerleri.

Alaşım Elementi	% Cr	Sertlik (HV)		
		Ötektik	Dendirit	İntermetalik
Saf ZA	0	95,4	111,8	-
ZA/1	0,01	95,9	115,5	-
ZA/2	0,03	96,7	112,4	-
ZA/3	0,05	97,6	108,7	330,5
ZA/4	0,1	96,9	117,5	313,8

Bu tablodan görüldüğu gibi; ötektik, dendiritik bölgelerin ve intermetaliklerin ortalama sertlik değerleri sırasıyla 96,5 HV, 113,2 HV ve 320 HV 'dir. Bunun yanı sıra, Cr içermeyen saf ZA-12 alaşımının Vickers sertliği, ötektik ve dendiritik bölgelerdeki sertliklerin ortalaması alındığında 106 HV 'dir. Literatürdeki Vickers-Brinell sertlik dönüşüm tablosu incelendiğinde bu değerin yaklaşık 101 Brinell 'e eşit olduğu görülmektedir [40]. Ayrıca, Cr ilaveli alaşımların ötektik ve dendiritik bölgelerinin ortalama sertlik değerleri ise 104-107 HV (99-102 Brinell) arasında değişmektedir. Brinell sertlik sonuçları göz önüne alındığında Cr ilavesinin sertlikte bir artışa neden olduğu açıkça söylenebilir.



Şekil 5.18. ZA-12+Cr alaşım elementlerinde ötektik ve dendritik bölgelerdeki Vickers sertlik değerleri

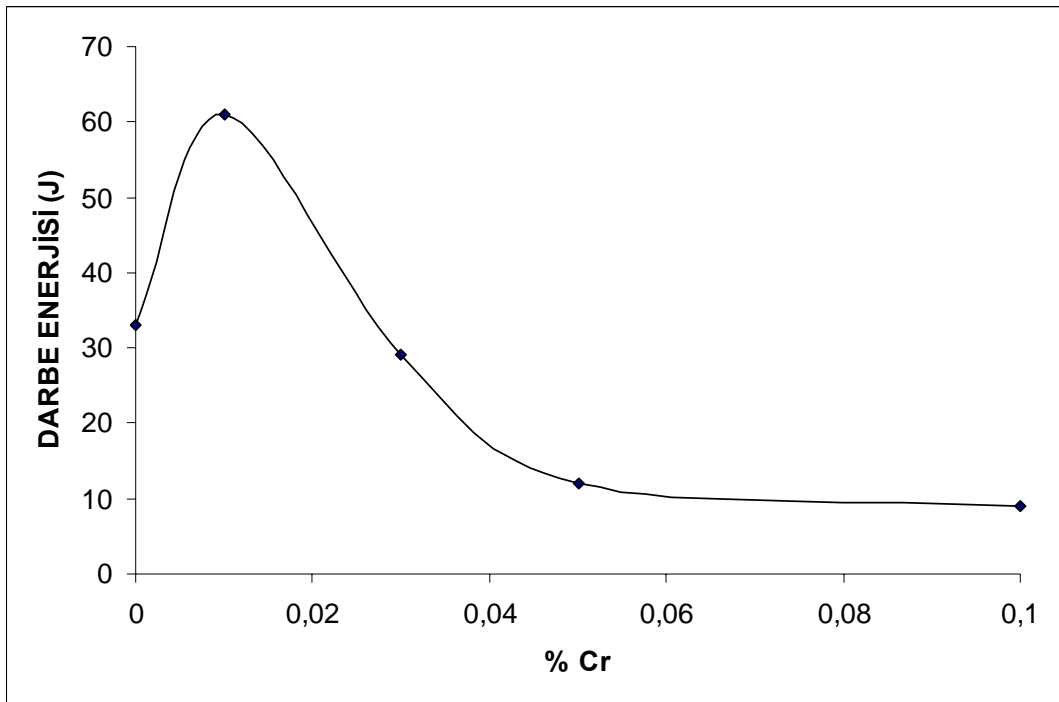
Mikroyapı incelemeleri sonucunda ZA-12 alaşımına her oranda Cr ilavesinin dendrit tane boyutunu küçülttüğü ve ötektik lameller arası mesafeleri azalttığı tespit edilmiş ve tüm Cr ilavelerinde yapıda Cr intermetaliklerinin varlığı görülmüştür. ZA-12 alaşımına %0.01 oranında Cr ilavesinin sertlikteki ani artış hızına etkisinin yukarıda söylenen mikroyapısal değişimlerin etkisi ile olduğu düşünülmektedir. Tane boyutunun ve ötektik lameller arası mesafelerin azalması ve ilave sert partiküllerin, malzemelerin sertlik ve çekme mukavemetlerine olumlu etkisinin olduğu genel kabul gören bir durumdur. % 0.03 Cr ve daha fazla ilave durumunda ise sertlik değerinde önemli bir artış görülmemiştir. Şekil 5.6–5.10 arasındaki iç yapı görüntüleri incelendiğinde artan Cr ilavesi ile mikroyapıda önemli derecede değişimin olmadığı anlaşılmakta buna paralel olarak, sertlik değeri % 0.03 Cr ilavesinden sonra sabit bir değere ulaşmaktadır. Mikroyapılarda görülen Cr inetermetaliklerinin % 0.03 Cr 'den sonra sertlikte önemli bir etkisinin olmadığı anlaşılmaktadır.

5.4. Alaşımlarda Darbe Mukavemeti

Tablo 5.4 'de alaşımlar üzerinde yapılan darbe deneyi sonuçları, Şekil 5.19 'da ise bu tablodaki değerlerin grafiksel gösterimi verilmektedir. ZA-12 alaşımının darbe enerjisi 33 Joule olarak bulunmuştur. ZA-12 alaşımının darbe enerjisi literatür incelemelerinde de 29 Joule olarak ifade edilmiştir. Görüldüğü gibi bu çalışmada bulunan sonuç literatürdeki sonuç ile uyumluluk göstermektedir. ZA-12 alaşımına Cr ilavesi, alaşımın darbe enerjisinde artış ve azalmalar olmasına neden olmuştur.

Tablo 5.4. ZA-12+Cr alaşım elementlerinin darbe enerjisi değerleri.

Alaşım Elementi	% Cr	Darbe Enerjisi(J)
Saf ZA	0	33,0
ZA/1	0.01	61,0
ZA/2	0.03	29,0
ZA/3	0.05	12,0
ZA/4	0.1	9,0

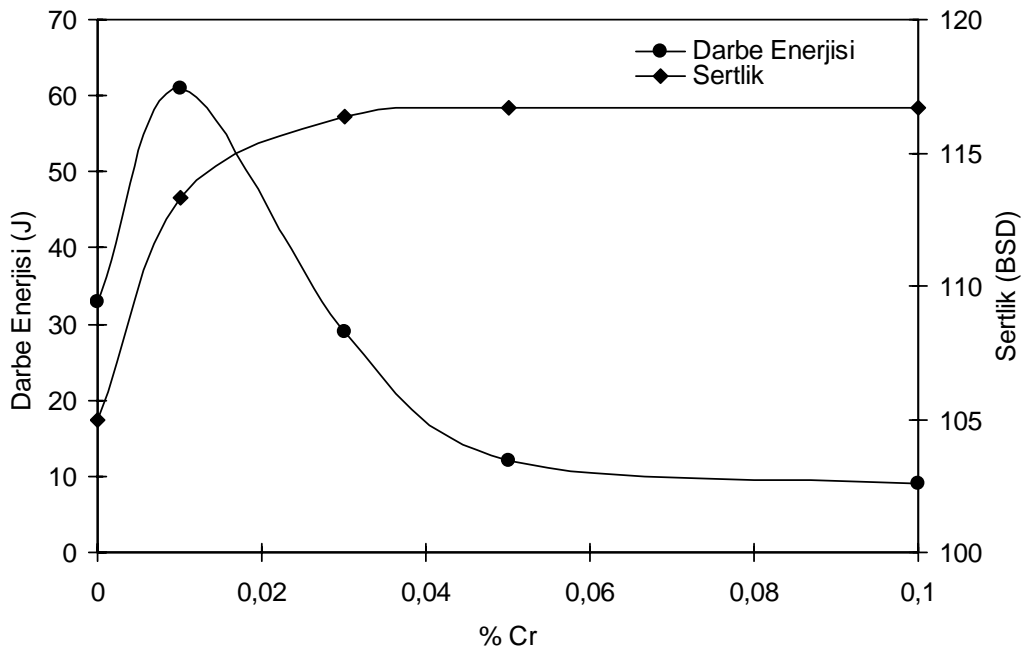


Şekil 5.19. ZA-12 alaşımına Cr elementi ilavesinin darbe enerjisine etkisi.

Şekil 5.19 'da görüldüğü gibi ZA-12 alaşımına %0.01 Cr ilavesi, darbe enerjisini yaklaşık 2 kat arttırmıştır ve maksimum değer olan 61 J elde edilmiştir. Mikroyapı ve sertlik sonuçları incelendiğinde, %0.01 Cr ilavesi ile içyapının önemli ölçüde değişime uğradığı ve sertlik değerinde de % 7 'lik bir artışın olduğu belirtilmektedir. Mikroyapı ve sertlikteki bu değişimin ZA-12 alaşımının darbe direncine de olumlu bir etki yaptığı ve darbe direncini arttırdığı sonucu ortaya çıkmaktadır. Yani Cr ilavesi ile alaşım mukavemet kazanmış ve darbe yüküne karşı bir iç dirence sahip duruma gelmiştir. Cr oranının % 0.03 'e artırılması ile alaşımın darbe enerjisi ZA alaşımına yakın değerler aldığı ve 29 J olduğu tespit edilmiştir. Artan Cr ilavesi ile alaşımın darbe enerjisi 9 J değerlerine kadar düşmüştür. Artan Cr ilavesi ile mikroyapı ve sertlikte önemli bir değişimin olmadığı yapılan çalışmalarda gösterilmişti. Bunun sonucu olarak, darbe enerjisinin artmasına yapının modifiye edilmesinin Cr esaslı intermetaliklerden daha etkili olduğu ve hatta yüksek Cr içermesi durumunda (min. %0.03 Cr) intermetaliklerin zararlı etkilerinin olduğu anlaşılmaktadır.

Ayrıca sertlik sonuçlarını göz önüne alırsak, saf ZA-12 alaşımının Cr ilavesiyle sertliğinin arttığı bunun da malzemeyi gevrek yaptığı açıkça görülmektedir. % 0.01 Cr ilaveli alaşımın darbe enerjisinin artmasına, modifiye olmuş içyapı ve yapıda bulunan çökelti partiküllerinin enerjii absorbe edecek kadar kararlı, gerilme konsantrasyonu oluşturmayacak kadar düşük miktarda olması sebep gösterilebilir.

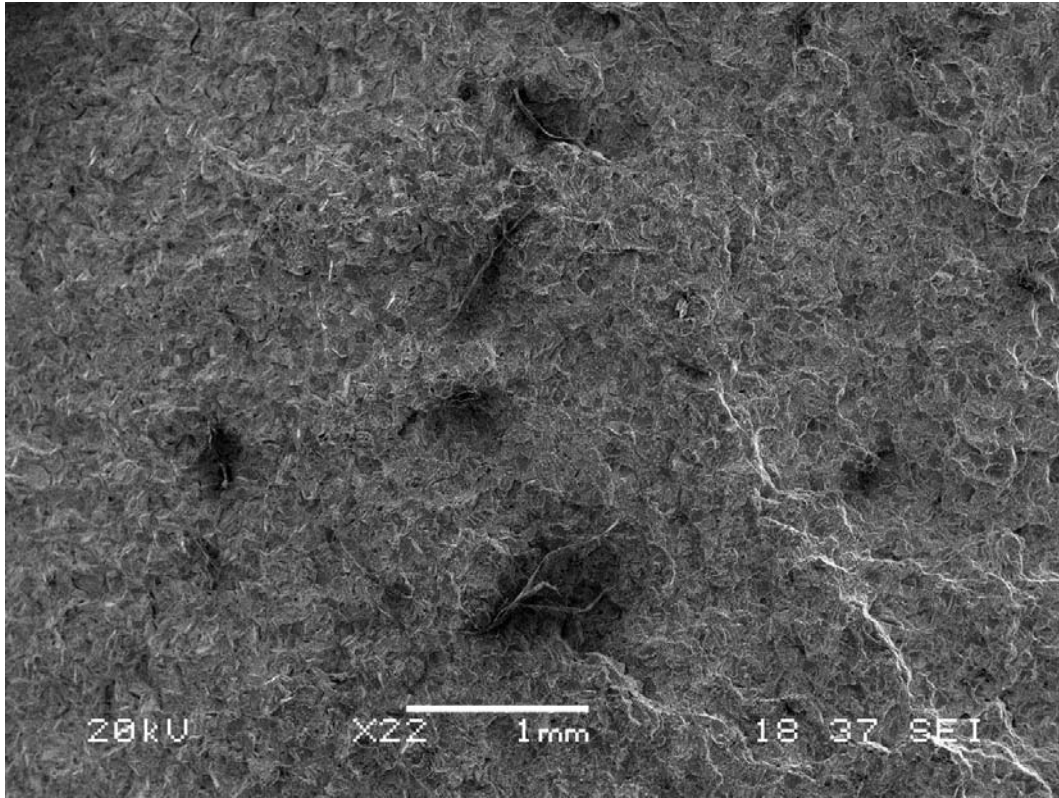
Şekil 5.20 'de darbe enerjisi sertlik ilişkisi gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi sadece % 0.01 Cr içeren alaşımın darbe enerjisi, saf ZA-12 'ye ikinci bir fazın ilavesiyle artmıştır. Yani bu durumda hem darbe enerjisi maksimuma ulaşmıştır hem de Cr ilavesiyle malzemenin saf ZA-12 'ye göre sertliği büyük oranda artış göstermiştir.



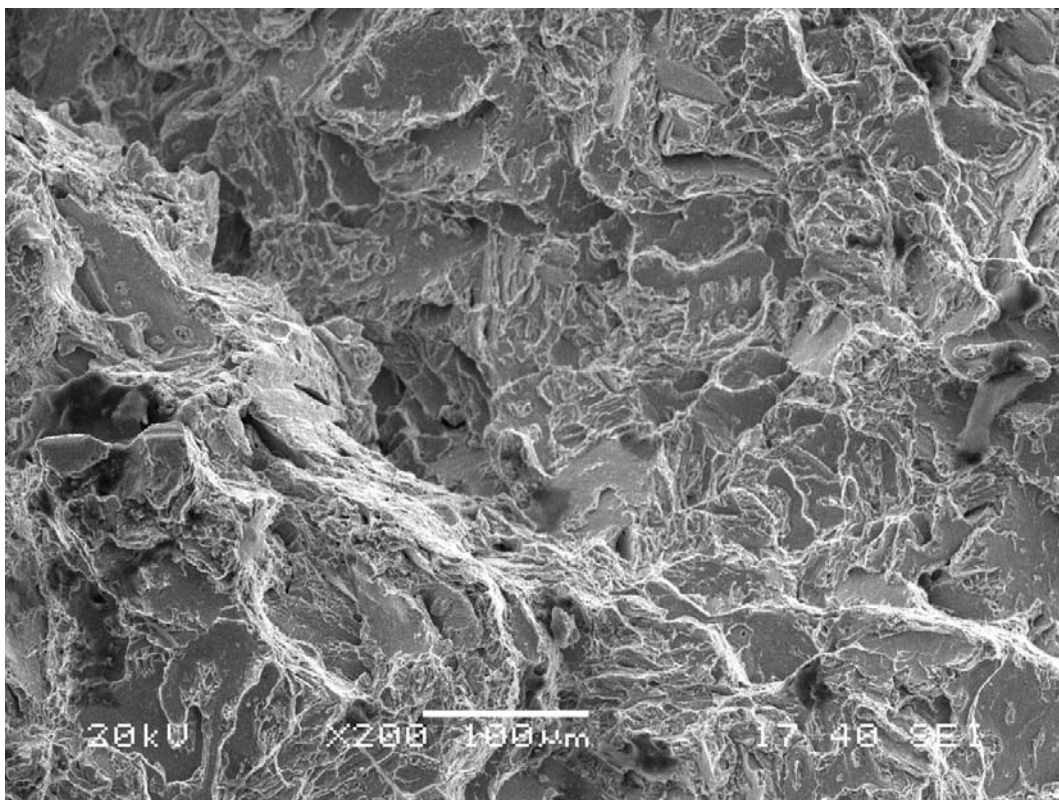
Şekil 5.20. ZA-12 alaşımının sertlik ve darbe enerjisine kromun etkisi

Yüksek oranda Cr içeren alaşımların mikroyapısında dendritler arası bölgede Cr intermetaliklerinden oluşan kompleks şekilli ve keskin köşeli partiküller gözlenmiştir. Cr ilavesinin artması ile alaşımların içerdiği keskin köşeli partiküllerinin çatlak oluşturma eğiliminin fazla olması ve gerilme yoğunlaşmasını artırması sebebiyle ZA-12 alaşımının darbe direncini düşürdüğü görülmektedir. Çatlak ucu gibi keskin köşelerde veya noktalarda lokal olarak gerilme yoğunlaşması olur. Lokal gerilme malzemeye uygulanan ortalama gerilmeden çok daha fazladır. Bundan dolayı malzemeler beklenenden çok daha düşük gerilmeler altında kırılırlar. Bütün malzemeler çatlaklar, yüzey çizikleri vb. kusurlar içerir. Bütün bunlar gerilme yoğunlaşmasına yol açarlar. Darbe direncinde deformasyon hızı çok yüksek olduğundan çok küçük partiküller bile etkili olmakta ve darbe enerjisini azaltmaktadır [41]. Bu çalışmada yüksek oranlarda Cr ilavesi ile mikroyapıda görülen Cr esaslı partiküllerin çatlak ucu etkisine benzer davranış sergiledikleri ve böylece darbe enerjisini düşürdükleri düşünülmektedir.

Şekil 5.21, 5.22 ve 5.23 'de sırasıyla saf ZA-12, ZA-12+%0.01Cr ve ZA-12+%0.1 Cr alaşımının darbe sonucu kırılma yüzeylerinin SEM 'de farklı büyütme ölçeklerinde çekilmiş fotoğrafları gösterilmektedir.

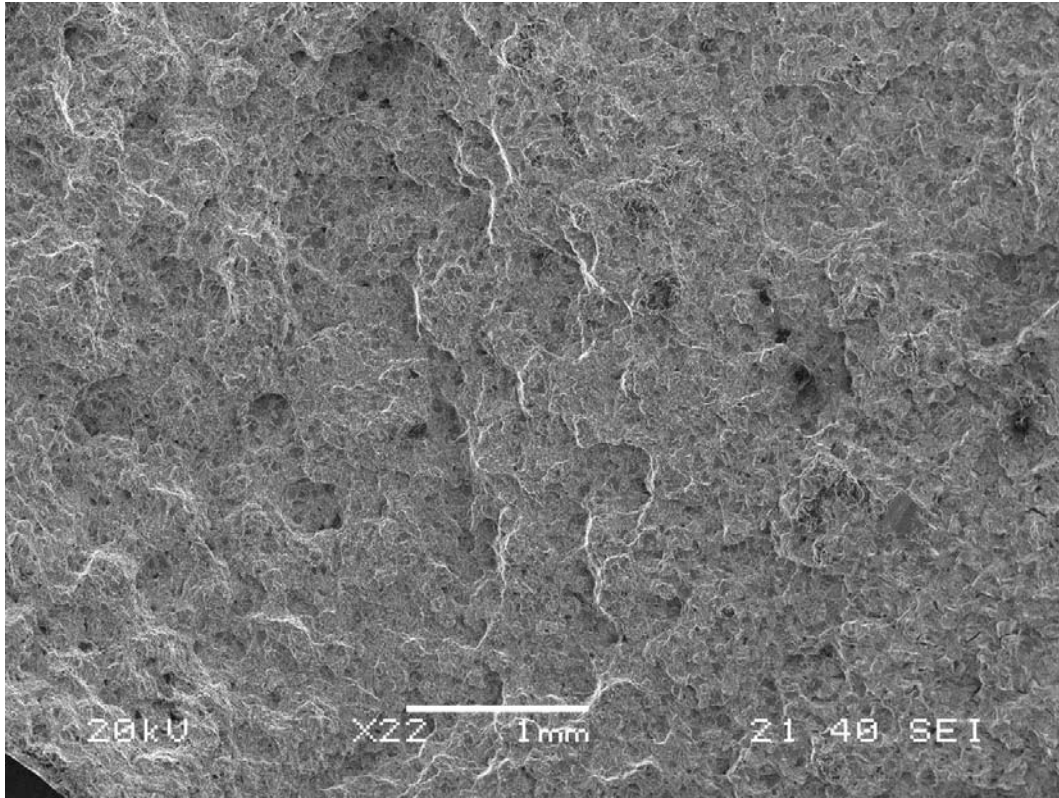


(a)

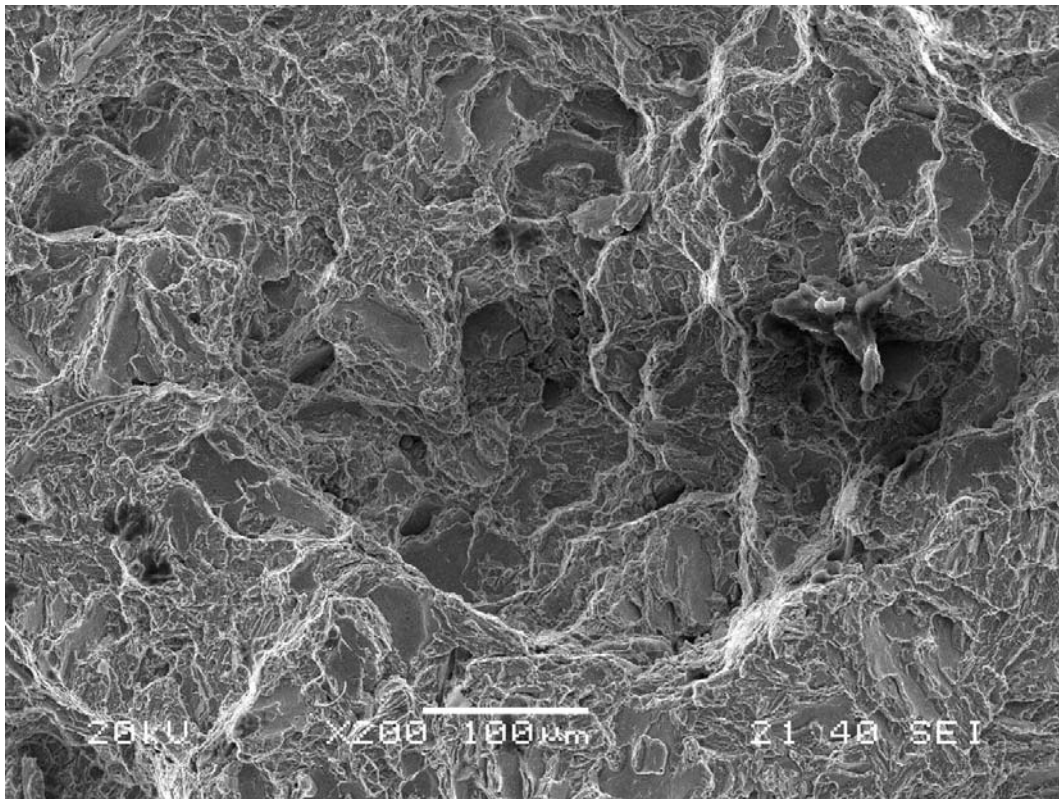


(b)

Şekil 5.21. Darbe deneyi sonucunda kırılan saf ZA-12 alaşımına ait numunenin kırılma yüzeyini gösteren SEM fotoğrafları (a) x22 (b) x200

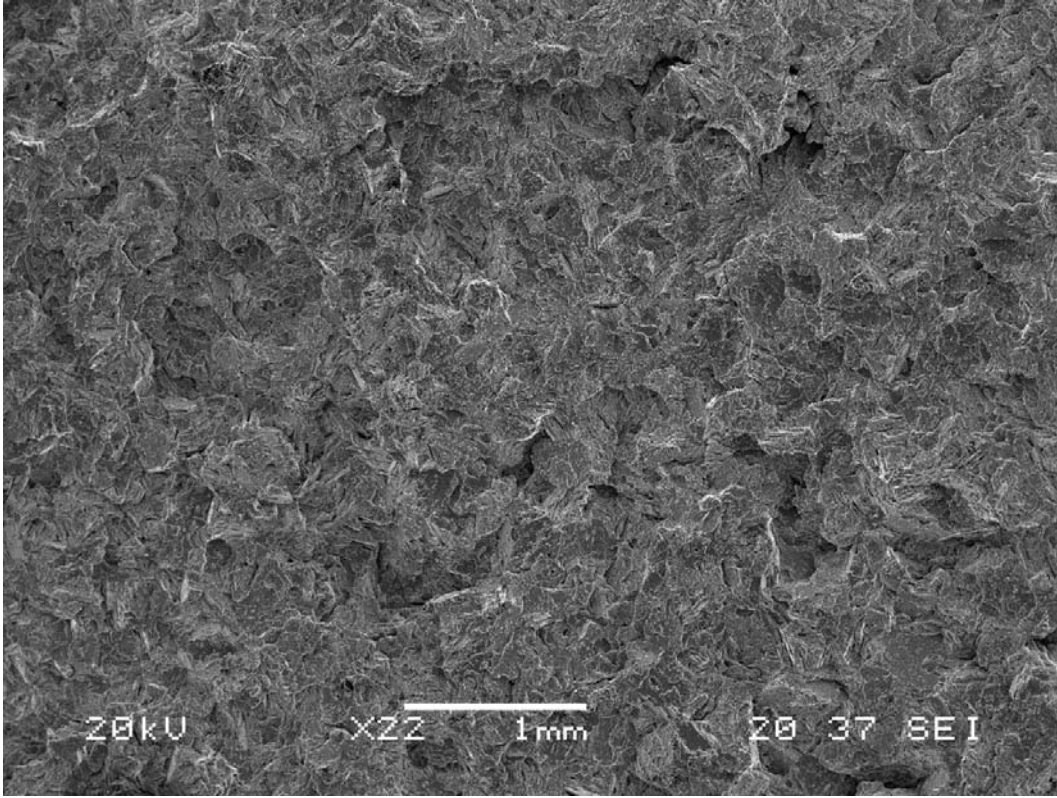


(a)

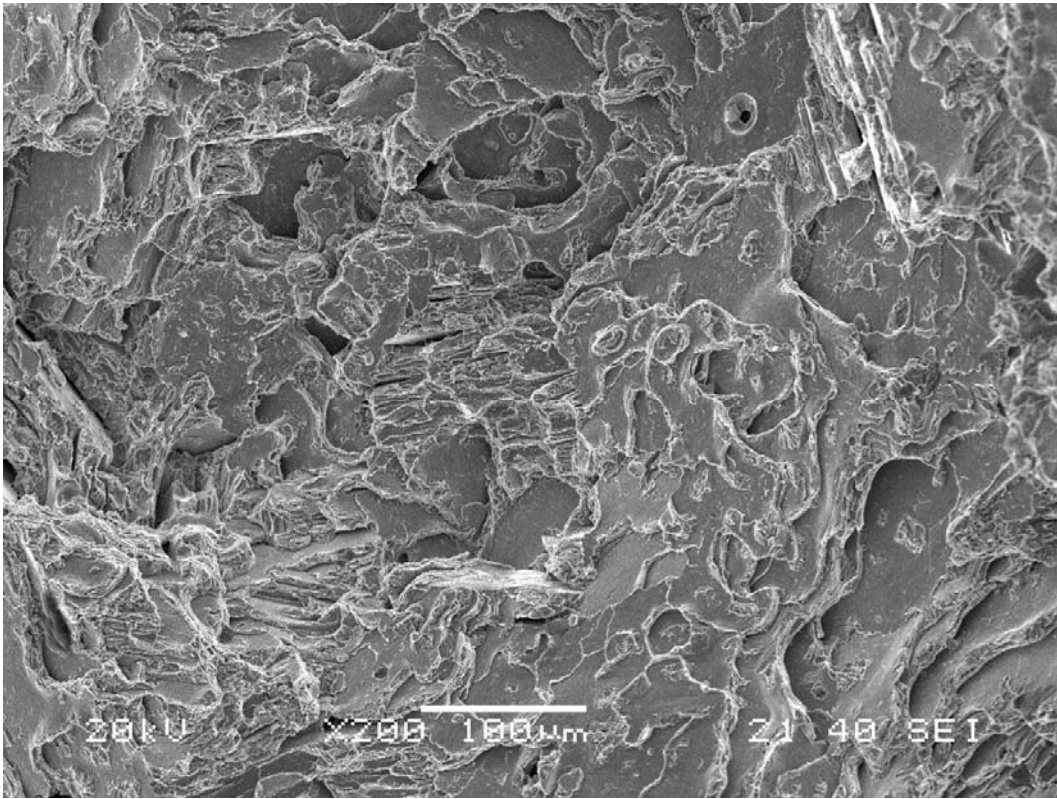


(b)

Şekil 5.22. Darbe deneyi sonucunda kırılan ZA-12+0.01Cr alaşımına ait numunenin kırılma yüzeyini gösteren SEM fotoğrafları (a) x22 (b) x200



(a)



(b)

Şekil 5.23. Darbe deneyi sonucunda kırılan ZA-12+0.1 Cr alaşımına ait numunenin kırılma yüzeyini gösteren SEM fotoğrafları (a) x22 (b) x200

Şekil 5.21 incelendiğinde saf ZA–12 alaşımının sünek-gevrek kırılma (büyük oranda sünek) davranışı sergilediği görülmektedir. Şekil 5.22 'de ise %0.01 Cr ilavesiyle elde edilen alaşımın darbe deneyi sonucu kırık yüzeyinden alınan görüntü verilmektedir. ZA–12 ve % 0.01 Cr ilavesi durumunda darbe deneyi sonucu elde edilen görüntüler kıyaslandığında, iki malzeme yüzeyi arasında önemli derecede bir farkın oluşmadığı gözlenmektedir. Yani iki malzeme de sünek-gevrek (büyük oranda sünek) kırılma mekanizması sergilemektedir. Fakat Şekil 5.23 incelendiğinde, ZA–12+%0.1Cr alaşımının plastik deformasyona uğramadan büyük oranda gevrek kırılma mekanizması gösterdiği görülmektedir. Sünek kırılmada önce kalıcı bir deformasyon olur ve yüzeyde yer yer giriftler mevcuttur. Yüzey daha engebelidir. Gevrek kırılma ise ciddi bir ön deformasyon oluşmadan gerçekleşir. Kırılma yüzeyi daha düz, parlak ve gerilme doğrultusuna diktir.

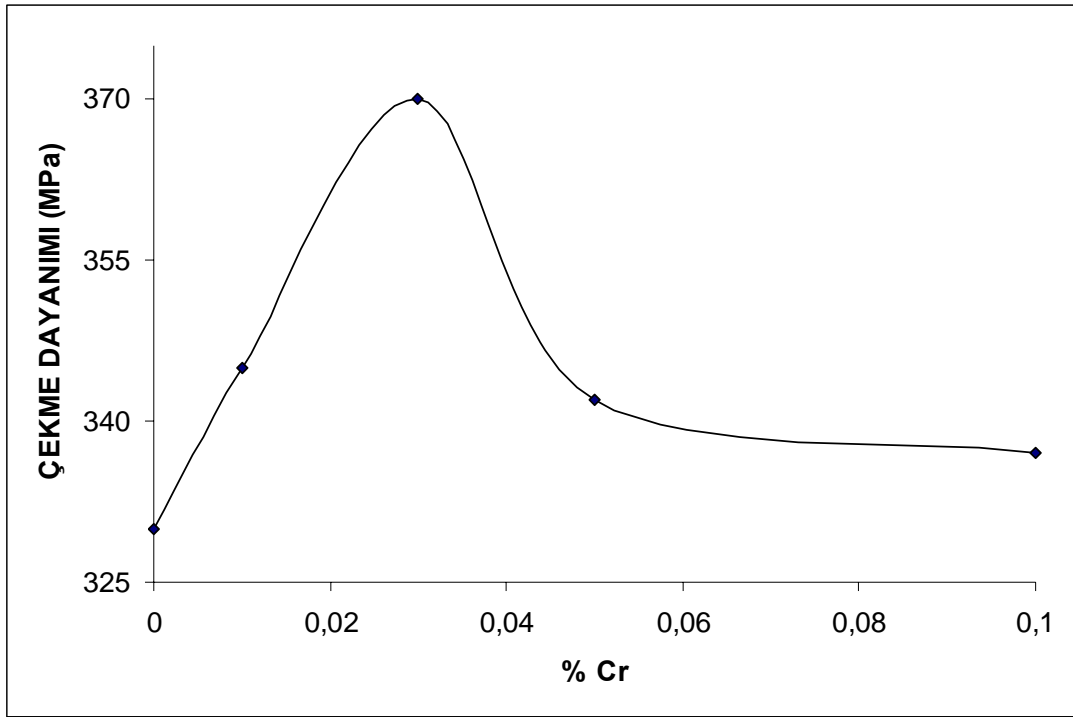
5.5. Alaşımlarda Çekme Mukavemeti

Çekme deneyi $0,0007 \text{ sn}^{-1}$ 'lik sabit bir çekme hızında gerçekleştirilerek söz konusu alaşımların çekme dayanımı değerleri belirlenmiştir. ZA–12+Cr alaşımlarının çekme mukavemeti değerleri Tablo 5.5 'de verilmiştir. Bu tablodan, Cr içeren ZA–12 alaşımlarının yüksek çekme dayanımına sahip olduğu fakat çok önemli artışlara neden olmadığı anlaşılmaktadır.

Tablo 5.5. ZA–12+Cr alaşım elementlerinin çekme dayanımı değerleri.

Alaşım Elementi	% Cr	Çekme Dayanımı Değerleri (MPa)
Saf ZA	0	330
ZA/1	0,01	345
ZA/2	0,03	370
ZA/3	0,05	342
ZA/4	0,1	337

Çekme mukavemeti değerlerini gösteren eğri de Şekil 5.24 'de verilmiştir. Bu şekilden, ZA-12+Cr alaşımının çekme mukavemetinin % 0,03 'lük Cr elementi ilavesine kadar lineer olarak arttığı görülmektedir. Saf ZA alaşımının çekme dayanımı değeri 330 MPa iken %0,03 Cr elementi ilavesi ile 370 MPa olarak ölçülmüştür, %12,4 'lük bir artış söz konusudur. Ancak Cr elementi katkı miktarı arttırıldığında alaşımın çekme mukavemeti değerinin düştüğü görülmektedir.



Şekil 5.24. ZA-12+Cr alaşım elementlerinin Cr oranı ile çekme dayanımının değişimi

Çinko-alüminyum esaslı alaşımların mukavemet değerlerinin, alaşım elementi katkısıyla veya çökelme sertleşmesi yöntemiyle büyük ölçüde arttırıldığı bilinmektedir [2]. % 0.03 'e kadar Cr ilavesi ile çekme gerilmesinde ki artışın nedeni olarak, mikro yapı incelemelerinden de anlaşılacağı gibi modifiye edilmiş mikroyapı ve kısmen de olsa yapı içerisinde bulunan Cr esaslı intermetalikler olduğu düşünülmektedir.

Sıkıştırma döküm ile üretilen alaşımların mikro yapıları dikkatle incelendiğinde (Şekil 5.4-5.10 arası) Cr ilavesi ile dendirit boylarının azaldığı ve ötektik alanların arttığı görülmektedir. Mikro yapıdaki bu değişimlerin, ZA serisi alaşımlarda çekme

ve akma dayanımlarını arttırdığı ve bunun da Hall-Petch bağıntısı ile ilişkilendirilebileceği yapılan benzeri çalışmalarla da doğrulanmaktadır [11].

$$\text{Hall-Petch Eşitliği : } \sigma = K.D^{-1/2}$$

σ = malzemenin dayanımı

K = malzeme sabiti

$D^{-1/2}$ = tane boyutu

Tane boyutunun küçülmesi neticesinde tane sınırları yoğunluğunun artar ve bu tane sınırlarının da dislokasyon hareketlerini engellemesinden dolayı mukavemette bir artış sağlanmaktadır [41].

Çekme mukavemetinin % 0,03 Cr ilavesinden sonra düşüş göstermesinin sebebi olarak, Cr elementinin matriks içerisinde, katkı oranının artmasıyla ZA alaşımı içerisinde keskin köşeli partiküller oluşturması ve gerilim konsantrasyonunun artmasına neden olması gösterilebilir.

Cr elementi genellikle çinko-alüminyum esaslı alaşımlara mukavemet arttırmak amacıyla ilave edilmektedir. Lamberights ve arkadaşları, Standart ZA-27 alaşımına % 0,10 Cr ilave edilmesi ile alaşımın çekme mukavemetinde bir miktar artış meydana geldiğini belirlemişlerdir.

Türk çalışmasında [15]; ZA-8 alaşımına artan oranlarda ilave edilen Cr elementinin (%0,01-%0,10), alaşımların sertlik değerleri üzerinde önemli bir değişiklik meydana getirmediğini, yaklaşık % 0,03 oranına kadar ilave edilen Cr elementi ile alaşımın çekme mukavemetini bir miktar arttırdığını ve bu oranın üzerindeki Cr ilavelerinin ise alaşımın mukavemet değerlerini azalttığını belirlemiştir. Türk; % 0,03'ün üzerindeki Cr ilaveleri ile alaşımların çekme mukavemetinde tespit edilen azalmanın, mikroyapıda oluşan bu Al-Cr esaslı metaller arası bileşikler nedeniyle meydana geldiğini düşünmüştür. Yapılan bu çalışmada da mekanik özelliklerin, Türk'ün bulduğu sonuçlarla benzerlik gösterdiği saptanmıştır. Ayrıca, Hyun You Kim ve arkadaşları [42] A356 Al alaşımına ilave ettikleri Mn+Cr katkısı ile gerilmeye birlikte plastik deformasyonun dendirit hücrelerinde başladığını, tane sınırları

boyunca Cr partiküllerinden dolayı hücrelerarası bir kırılma olduğunu ve çekme gerilmesinin artan katkı miktarı ile hızlı bir düşüş gösterdiğini belirtmişlerdir.

5.6. Alaşımlarda Yorulma Mukavemeti

Farklı gerilme genliklerinde yapılan deneylerde (75–90–100–110–115–125 ve 150 MPa) alaşımlara ait numunelerin kırılmasına kadar geçen çevrim sayısı değerleri Tablo 5.6 'da verilmiştir. Bu tablodaki verilerden yararlanılarak Cr ilaveli alaşımların gerilmenin fonksiyonu olarak kırılma çevrimi arasındaki ilişki Şekil 5.25 'te gösterilmiştir. Çinko-alüminyum esaslı alaşımlara ait gerilme-çevrim sayısı eğrileri genel olarak literatürde demir olmayan metaller için verilen yorulma eğrilerine benzemekte olup, uygulanan gerilme değeri düştükçe, alaşımların kırılmasına kadar geçen çevrim sayısı artmaktadır.

Tablo 5.6. ZA–12+Cr alaşım elementlerinin gerilme genliklerine göre çevrim sayısı değerleri.

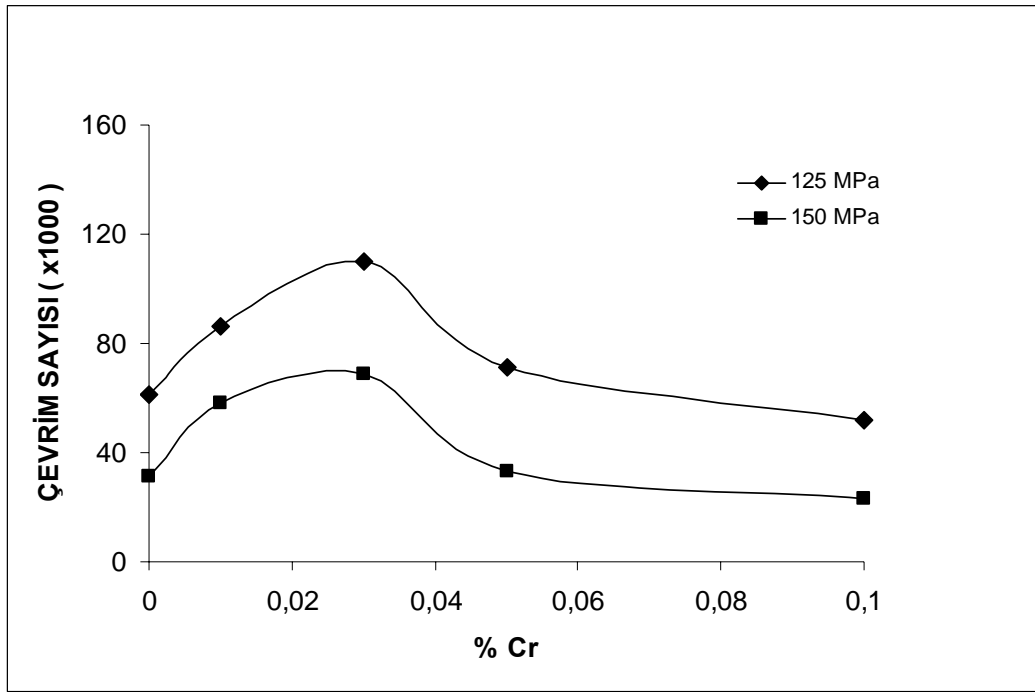
Alaşım Elementi	% Cr	Çevrim Sayısı (x1000)	
		125 MPa	150 MPa
Saf ZA-12	0	61	31
ZA/1	0,01	86	58
ZA/2	0,03	110	69
ZA/3	0,05	71	33
ZA/4	0,1	52	23

(Not: 75–90–100–110 ve 115 MPa gerilme genliklerinde yapılan deneylerde malzemelerde yorulma kırılması meydana gelmemiştir.)

Bu çalışmada incelenen ZA–12+Cr esaslı alaşımlarda, 125 MPa 'dan daha düşük gerilme genliklerinde yorulma kırılması meydana gelmediği gözlenmemiştir. Bu nedenle, söz konusu gerilme değeri bu alaşımlar için yorulma dayanımı sınırı olarak kabul edilebilir. Literatürde belirtildiği gibi, demir olmayan malzemeler için yapılan yorulma deneylerinde, herhangi bir gerilme altında, çevrim sayısı 20×10^6 değerine

ulaştığında deneye son verilerek bu gerilme değeri söz konusu malzeme için yorulma dayanımı sınırı olarak kabul edilebilir [2].

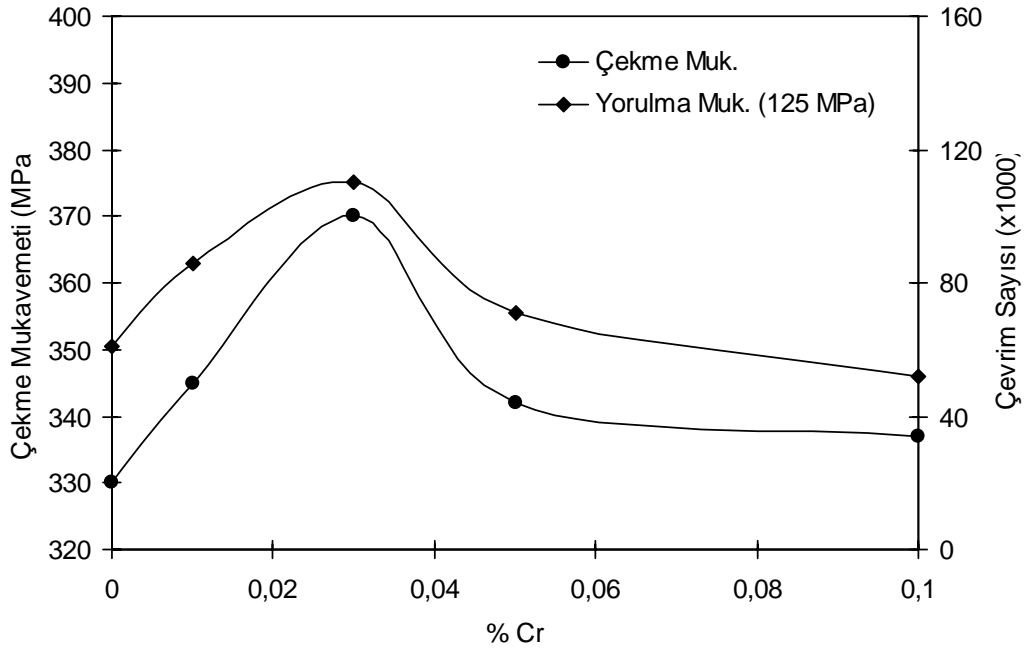
Tablodaki değerler de göz önüne alındığında, % 0,03 Cr ilavesine kadar yorulma direncinin arttığı, daha yüksek oranlarda Cr ilavelerinde ise yorulma direncinin düştüğü gözlenmiştir. Şekil 5.25 'ten de görüldüğü gibi, söz konusu alaşımlar içerisinde, en düşük yorulma direnci ZA-12+%0.1 Cr alaşımından, en yüksek yorulma ömrü ise ZA-12+%0.03 Cr alaşımından elde edilmiştir. Bu durum, literatürde de belirtildiği gibi, çekme mukavemeti yüksek olan malzemelerin yorulma dayanımının yüksek veya yorulma ömrünün uzun olduğunu göstermektedir [43].



Şekil 5.25. ZA-12 alaşımına Cr elementi ilavesinin gerilmenin fonksiyonu olarak yorulma direncine etkisi.

Yorulma direncindeki artışa ve azalmalara neden olarak mikro yapı incelemelerinden de anlaşılacağı gibi modifiye edilmiş mikroyapı ve Cr esaslı intermetalikler gösterilmektedir. Yani, Cr ilavesi dendrit kollarının büyümesine izin vermezken ötektik bölgeler artmıştır. Buna bağlı olarak, tane küçülmesi ile yorulma direnci artmıştır. Diğer taraftan, yüksek oranlardaki Cr ilavesindeki mevcut olan keskin köşeli partiküllerin gerilim konsantrasyonunu artırması yorulma mukavemetinin de düşmesine neden olmuştur.

Test edilmiş alaşımların yorulma sonuçları, çekme mukavemeti sonuçları ile benzer sonuçlar vermiştir. Şekil 5.26 'daki grafik incelenecek olunursa, % 0.03 Cr ilavesinde en yüksek dayanıma ulaşılmıştır. Daha sonraki ilavelerde ise alaşımın yorulma ve çekme mukavemeti değerleri benzer şekilde düşüş göstermiştir.

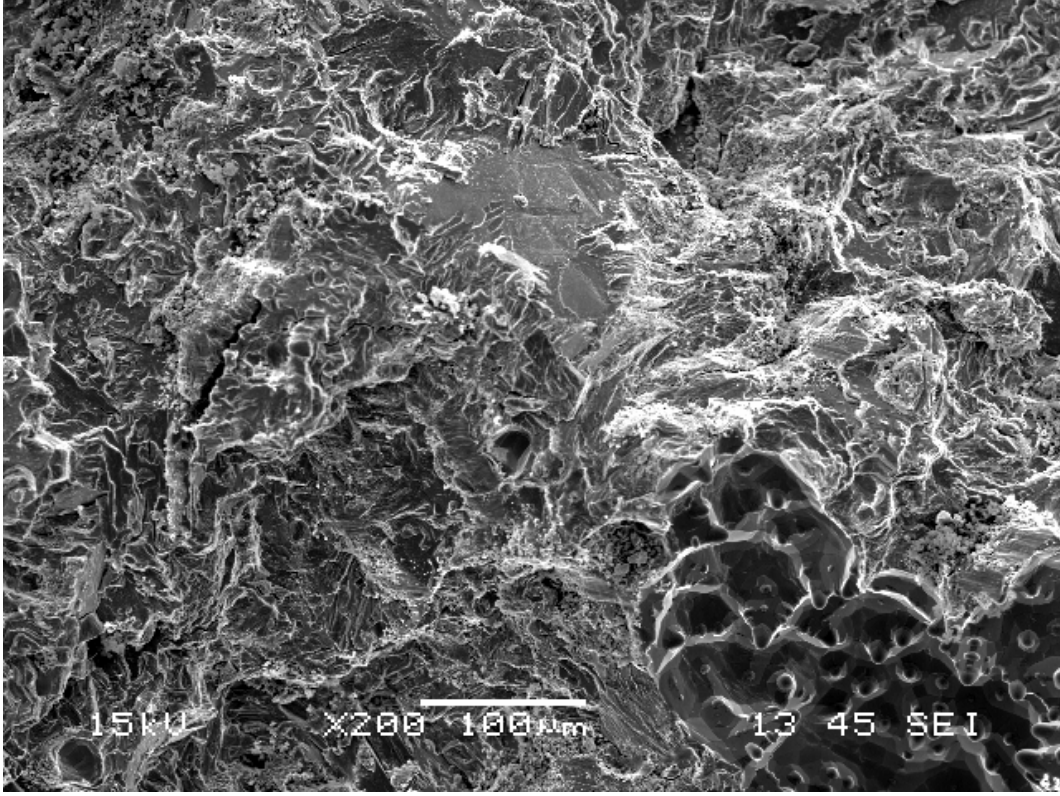


Şekil 5.26. ZA-12 alaşımının çekme ve yorulma mukavemetine kromun etkisi

Sıkı düzenli hegzagonal (SPH) yapıya sahip olan çinkonun, yüzey merkezli kübik (YMK) yapıya sahip alüminyumdan daha gevrek olduğu bilinmektedir. Nitekim uzun ömürlü yorulmada, yorulma çatlaklarının, içyapıda bulunan kısmen yumuşak tanelerde, pekleşme sonucunda meydana gelen gevreklik nedeniyle oluştuğu ifade edilmektedir. Şöyle ki; tekrarlı yüklerin etkisiyle, yumuşak tanelerde akma sonucunda meydana gelen sürekli plastik deformasyon, pekleşmeye neden olmaktadır. Pekleşme sonucu gevrekleşen tanelerde yorulma çatlakları oluşmaktadır. Dolayısıyla, yorulma malzemenin gevrekleşmesi sonucunda meydana gelmektedir [2].

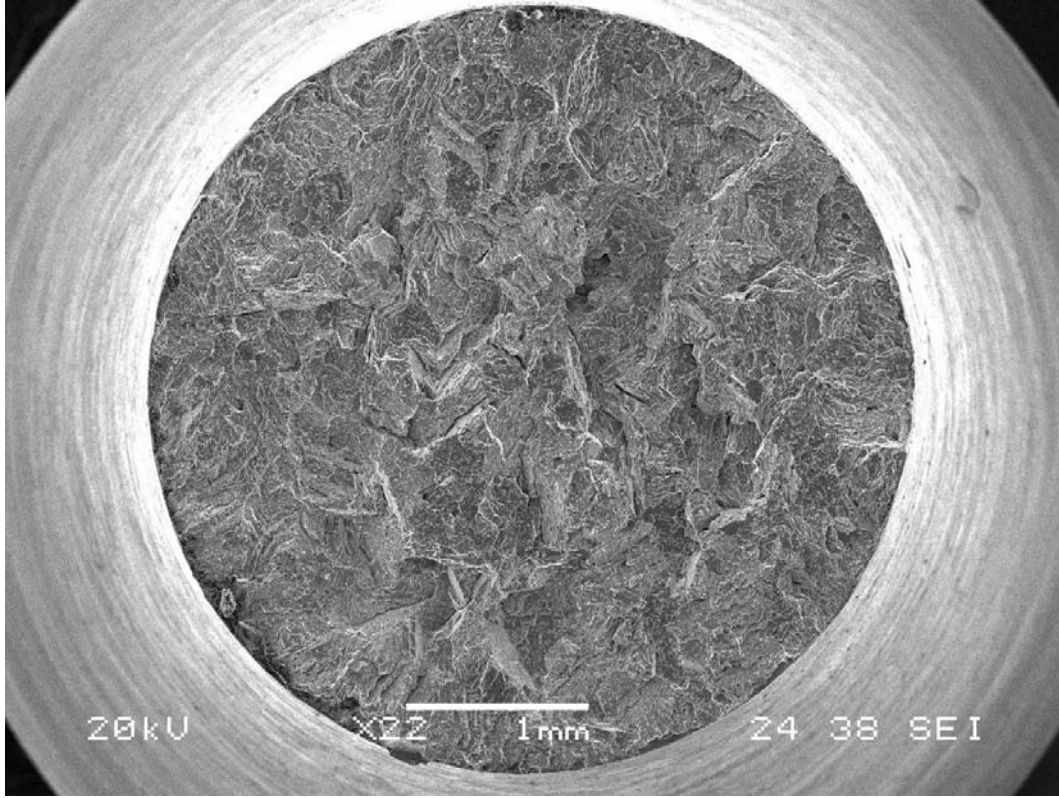
125 ve 150 MPa yük altında yorulma sonucunda kırılan numunelerden saf ZA-12 (125 MPa), ZA-12+%0.03Cr (150 MPa) ve ZA-12+%0.1Cr (150 MPa)

alaşımlarının kırılma yzeyleri taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmiştir ve fraktografik ozellikleri Şekil 5.27, 5.28 ve 5.29 'da verilmiştir.

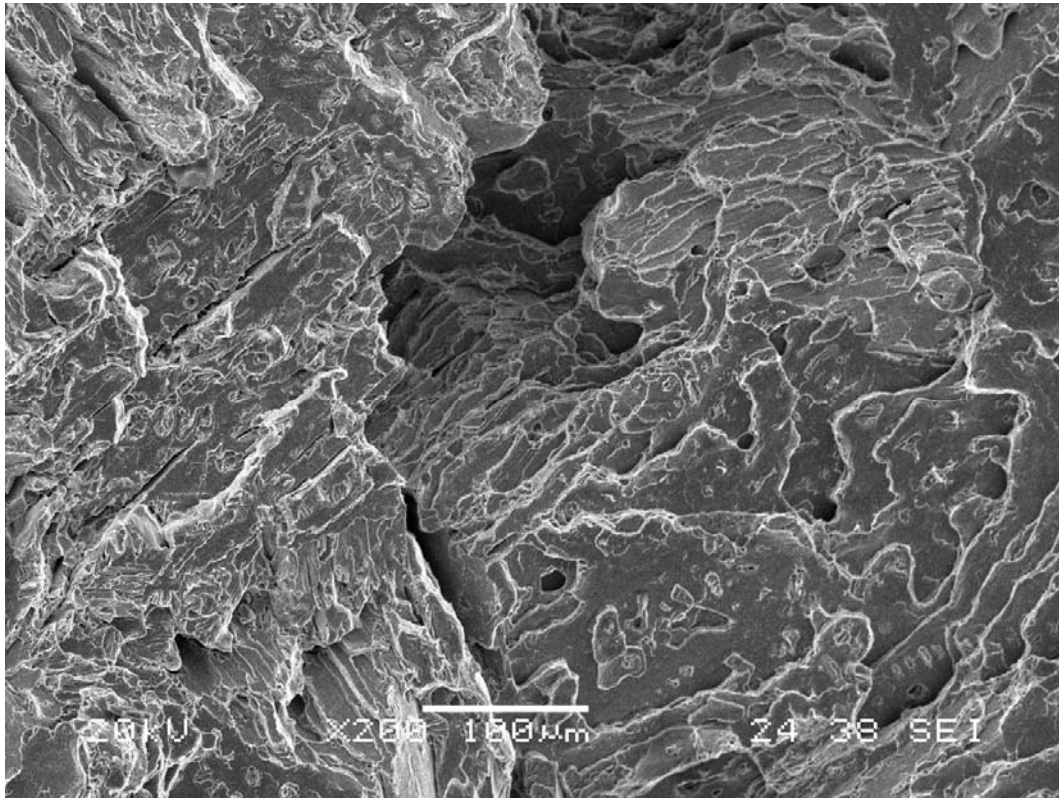


Şekil 5.27. 125 MPa 'lık gerilme altında yapılan yorulma deneyi sonucunda kırılan saf ZA-12 alaşımına ait numunenin kırılma yzeyini gosteren SEM fotoğrafı (x200)

Şekil 5.27 'de standart ZA-12 alaşımının kırılma yzeyi gorulmektedir ki bu kırılma karışık modu karakterize eder. Bu alaşım buyuk oranda sunek ve az oranda gevrek kırılmayı sergilemektedir. Ayrıca, mikroyapı incelendiğinde malzemenin bazı bolgelerinde taneler arası kırılma olduğu açıkça gorulmektedir.



(a)

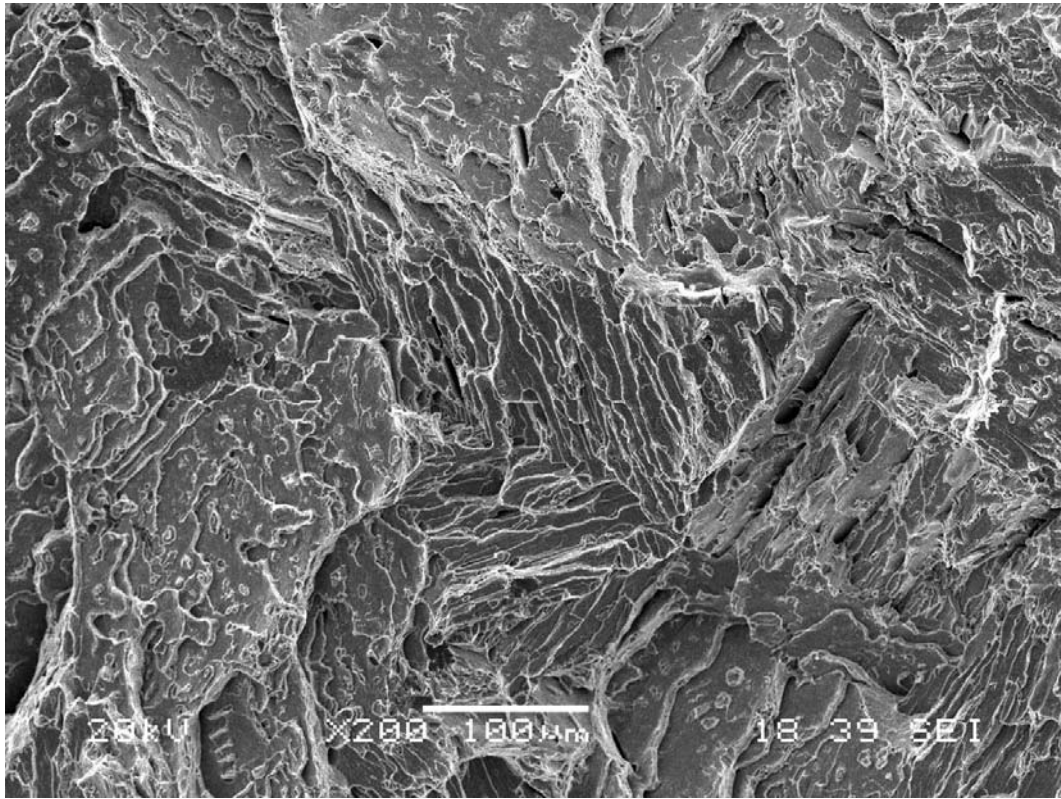


(b)

Şekil 5.28. 150 Mpa 'lık gerilme altında yapılan yorulma deneyi sonucunda kırılan ZA-12+0.03Cr alaşımına ait numunenin kırılma yüzeyini gösteren SEM fotoğrafları (a) x22 (b) x200



(a)



(b)

Şekil 5.29. 150 MPa 'lık gerilme altında yapılan yorulma deneyi sonucunda kırılan ZA-12+0.1Cr alaşımına ait numunenin kırılma yüzeyini gösteren SEM fotoğrafları (a) x22 (b) x200

Buna karşın, ZA-12 alaşımına Cr ilavesi alaşımın kırılma modunu önemli derecede değiştirmiştir. Şekil 5.28 'de görüldüğü gibi, ağırlıkça %0.03 Cr ilavesi yapılan alaşımda sünek-gevrek kırılma görülmektedir. Şekil 5.29 'da ağırlıkça % 0.1 Cr içeren alaşımda ise baskın mekanizma gevrek kırılmadır. Bunun yanında Cr oranının artması ile birlikte yapıdaki keskin köşeli partiküller gevrek kırılmaya neden olmuştur.

Şekillerde verilen fotoğraflardan görüldüğü gibi, söz konusu alaşımların kırılma yüzeyleri, tipik yorulma kırılması özelliklerine sahip olup, iki ana bölgeden oluşmaktadır. Yorulma kırılması malzemenin üst yüzeyinde başlayıp, iç kısmında merkeze yakın bir yerde son yük çevrimi etkisiyle malzeme kırılmıştır.

BÖLÜM 6. SONUÇLAR

6.1. Sonuçlar

ZA-12 alaşımına Cr ilavesi sonucu elde edilen bulgular aşağıda özetlenmektedir;

1. ZA-12 alaşımına Cr ilavesi alaşımın mikroyapısını bir miktar modifiye etmektedir. Mikroyapılar incelendiğinde, ZA-12 alaşımına eklenen Cr oranının artmasıyla birlikte dendirit yapının küreselleştiği, ötektik lameller arası mesafenin kısaldığı dendirit tane boyutunun küçüldüğü gözlenmiştir. Ayrıca yapılan EDS çalışmalarında Cr içeren her alaşımın mikroyapısında ötektik bölgede ve dendirit sınırlarında kompleks şekilli ve keskin köşeli Cr intermetaliklerine rastlanmıştır. Ayrıca, intermetalik içermeyen ötektik alanlardan ve dendritler üzerinden alınan analiz sonuçları incelendiğinde, bu bölgelerde Zn ve Al elementlerinin olduğu görülmüş olup Cr çözünürlüğünün varlığını belirtecek herhangi bir bulguya rastlanmamıştır.

2. %0.03 oranına kadar ilave edilen Cr elementi, standart alaşımın sertliğini yaklaşık % 7 oranında arttırır iken %0.03 oranından sonra alaşımın sertliğini önemli oranda değiştirmemiştir. En yüksek sertlik değeri % 0.05 ve 0.1 katkılı ZA-12+Cr alaşımında elde edilmiştir. % 0,05 ve % 0,1 Cr içeren alaşımlardaki intermetaliklerin sertikleri ortalama 320 HV olarak ölçülmüştür. Cr ilavesinin yapıyı inceltmesi ve tane küçülmesiyle tane sınırlarının çoğalması bunun da dislokasyon hareketlerini engellemesiyle malzemenin mukavemetinin yanında sertliğinde de bir artış olmuştur. Sertlik değerinin % 0.03 Cr ilavesinden sonra sabit bir değere ulaşması, mikroyapılarda görülen Cr inetermetaliklerinin % 0.03 Cr 'den sonra sertlikte önemli bir etkisinin olmamasıdır.

3. Sıkıştırma döküm yöntemiyle üretilen alaşımların mikroyapıları dikkatle incelendiğinde; dendritlerin ufak boyutta olduğu, yüksek katılma hızı ve basınç etkisi ile dendrit kollarının büyümediği, küreselleştiği ve dendrit kolları arasındaki mesafenin küçüldüğü görülmektedir. Bu durum da çekme gerilmesinin artmasına sebep olmuştur. Ancak, daha sonra Cr ilavesinin alaşım içerisinde keskin köşeli intermetalikler oluşturması ve bu da gerilim konsantrasyonunun artmasına neden olduğu için çekme mukavemetinde düşüş gözlenmiştir.

4. %0.01 Cr ilavesi darbe enerjisini yaklaşık 2 kat arttırmıştır ve maksimum değer olan 61 J elde edilmiştir. Cr ilaveli alaşımın darbe enerjisinin artmasına, modifiye olmuş iç yapı ve yapıda bulunan çökelti partiküllerinin enerjiyi absorbe edecek kadar kararlı, gerilme konsantrasyonu oluşturmayacak kadar düşük miktarda olmalarıdır. Yüksek oranda Cr içeren alaşımların mikroyapısında dendritler arası bölgede muhtemelen Cr' nin oluşturduğu kompleks şekilli ve keskin köşeli intermetalikler gözlenmiştir. Cr ilavesinin artması ile alaşımların içerdiği keskin köşeli Cr intermetaliklerinin çatlak oluşturma eğiliminin fazla olması ve gerilme yoğunlaşmasını artırması sebebiyle ZA-12 alaşımının darbe enerjisini düşürdüğü görülmektedir.

5. % 0,03 Cr ilavesine kadar çekme mukavemetinde olduğu gibi yorulma direncinin arttığı, daha yüksek oranlarda Cr ilavelerinde ise yorulma direncinin düştüğü gözlenmiştir. Yorulma direncindeki artışın nedeni, Cr ilavesi ile dendrit kollarının büyümesine izin vermezken dendrit tane boyutu azalmıştır ve ötektik bölgeler artmıştır. Buna bağlı olarak, tane küçülmesi ile yorulma direnci artmıştır. Diğer taraftan, yüksek oranlardaki Cr ilavesindeki mevcut olan keskin köşeli intermetaliklerin gerilim konsantrasyonunu artırması yorulma mukavemetinin de düşmesine neden olmuştur.

KAYNAKLAR

- [1] BELKIS, H., “Alaşım elementlerinin ınko alüminyum esaslı ZA 8 alaşımının sertlik ve darbe direncine etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 1996.
- [2] AYDIN, M., “ınko-alüminyum esaslı alaşımların yorulma özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, 1995.
- [3] ZHU, Y.H., LEE, W.B., TO, S., “Ageing characteristics of cast Zn-Al based alloy (ZnAl7Cu3)”, Journal of Materials Science 38, pp. 1945–1952, 2003
- [4] NILSSON, A., GABRIELSON, P., STAHL, J.E., “Zinc-alloys as tool materials in short-run sheet-metal forming processes Experimental analysis of three different zinc-alloys”, Journal of Materials Processing Technology 125–126 pp. 806–813, 2002
- [5] TÜRK, A., KURNAZ, C., ŞEVİK, H., “Comparison of the wear properties of modified ZA-8 alloys and conventional bearing bronze”, Materials and Design, pp. 1–9, 2006
- [6] CHEN, T.J., HAO, Y., SUN, J., LI, Y.D., “Phenomenological observations on thixoformability of a zinc alloy ZA27 and the resulting microstructures”, Materials Science and Engineering A 396, pp. 213–222, 2005
- [7] ÇUVALCI, H., “ınko-alüminyum esaslı alaşımların ve bu alaşımlardan imal edilen kaymalı yatakların tribolojik özelliklerinin incelenmesi”, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, 1996.
- [8] CHOUDHURY, P., DAS, S., DATTA, B.K., “Effect of Ni on the wear behavior of a zinc-aluminum alloy”, Journal of Materials Science 37, pp. 2103–2107, 2002
- [9] BEKTAŐOĐLU, A., SAVAŐKAN, T., “Zn-60Al-(1-5) Cu Alaşımlarının Kuru Sürtünme Durumundaki Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi”, Makale, Mühendis ve Makina - Cilt: 46 Sayı: 544, s. 31-39
- [10] DOMİNGUEZ, C., MORENO LOPEZ, M.V., RİOS-JARA D., “The influence of manganese on the microstructure and the strength of a ZA-27 alloy”, Journal of Materials Science 37, pp. 5123–5127, 2002

- [11] ÇAĞLAR, B., “Sıkıştırma Döküm Yöntemi ile Üretilen Ti-B İlaveli ZA-12 Alaşımının Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, 2003.
- [12] <http://www.makinamuhendisi.comidx8006articleBasnl-Metal-Dkm-Makine-ve-Kalplar.html>, 20.10.2007
- [13] DEMİRCİ, C., “Basınçlı döküm yöntemiyle üretilen çinko-alüminyum alaşımlarının aşınma davranışlarına alaşım elementlerinin etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2000.
- [14] <http://ejmt.teknolojikarastirmalar.comkubilaydok3.pdf>, 24.11.2007
- [15] TÜRK, A., “Çinko-Alüminyum esaslı ZA-8 alaşımında alaşım elementlerinin mekanik özelliklere ve mikroyapıya etkisi”, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, 1996.
- [16] KURNAZ, S.C., “Production of saffil fibre reinforced Zn-Al (ZA 12) based metal matrix composites using infiltration technique and study of their properties”, *Materials Science and Engineering A* 346, pp. 108–115, 2003
- [17] KURNAZ, C., “Alümina Fiber Takviyeli Zn-%27 Al M.M.K.’ların Basınçlı Döküm Yöntemi ile Üretilmesi ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi”, Doktora Tezi 5 İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ocak 1999
- [18] PÜRÇEK, G., “Çinko-Alüminyum Esaslı Alaşımlardan Üretilen Kaymalı Yatakların Tribolojik Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, 1994.
- [19] ÇUVALCI, H., “Çinko-Alüminyum Esaslı Ticari ZA-27 Kaymalı Yatağının Sürtünme Davranışının İncelenmesi”, *Turk J Engin Environ Sci* 25, pp. 199–204, TÜBİTAK, 2001
- [20] ZHU, Y.H., “Microstructure dependence of the creep behavior of a Zn-Al based alloy”, *Journal of Materials Processing Technology* 73, pp. 18-24, 1998
- [21] MARDER, A.R., “The metallurgy of zinc-coated steel”, *Progress in Materials Science* 45, pp. 191-271, 2000
- [22] ZHANG, Z.M., WANG, J.C., LIU, H.Z., GUO, X.F., “Effect of Annealing Damping Capacities of As-Cast Za27 Alloy”, *Acta Metallurgica sinica (English Letters)*, Vol.19, No.5, pp. 379-384, 2006
- [23] APAYDIN, İ., “Çinko-Alüminyum (ZA) Alaşımlarının Aşınması ve Yatak Malzemesi Olarak Kullanımının Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, 1996.

- [24] OKTAY, E., “Çinko-Alüminyum Alaşımlarının Korozyon Davranışına Alaşım Elementlerinin Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, 2000
- [25] ANWAR, M., “Comparative load-relaxation behaviour of high-aluminium zinc-based alloys”, *Journal of Materials Science* 36, pp. 411–417, 2001
- [26] GENÇAĞA, P., “Improvement of mechanical properties for Zn–Al alloys using equal-channel angular pressing”, *Journal of Materials Processing Technology* 169, pp. 242–248, 2005
- [27] OSORIO, W. R., GOULART, P. R., SANTOS, G. A., NETO, C. M., GARCIA, A., “Effect of Dendritic Arm Spacing on Mechanical Properties and Corrosion Resistance of Al 9 Wt Pct Si and Zn 27 Wt Pct Al Alloys”, *Metallurgical and Materials Transactions*, 37A, pp. 2525, 2006
- [28] Alloy Data, NADCA Product Specification Standards for Die Castings, pp. 3/21-3/23, 2006
- [29] ÇAY, F., “Kokil ve Basınçlı Döküm Yöntemleriyle Üretilen Çinko-Alüminyum Alaşımlarının Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, 2003.
- [30] PENBE, S., “Zn-Al Alaşımlarının Özelliklerinin İncelenmesi”, Mühendislik Projesi, Sakarya Üniversitesi, 2006.
- [31] SANTOS, G.A., NETO, C.M., OSORIO, W.R., GARCIA, A., “Design of mechanical properties of a Zn27Al alloy based on microstructure dendritic array spacing”, *Materials and Design*, pp.1-6, 2006
- [32] ZHU, Y.H., LEE, W.B., MEI, Z., TO, S., SZE, Y.K., “Structural evolution in films of alloy Zn₇₀Al₂₇Cu₃ (ZA27)”, *Applied Surface Science* 242, pp. 236-244, 2005
- [33] BARNHURTS, R.J., *Zinc and Zinc Alloys*, ASM Handbook, pp.527-540,1990
- [34] SHARMA, S.C., GIRISH, B.M., KAMATH, R., SATISH, B.M., “Effect of SiC particle reinforcement on the unlubricated sliding wear behaviour of ZA-27 alloy composites”, *Wear* 213, pp. 33-40, 1997
- [35] HANNA, M.D., CARTER, J.T., RASHID, M.S., “Sliding wear and friction characteristics of six &-based die-casting alloys”, *Wear* 203-204, pp. 11-21, 1997
- [36] AURAS, R., SCHVEZOV, C., “Wear Behavior, Microstructure, and Dimensional Stability of As-Cast Zinc-Aluminum/SiC (Metal Matrix Composites) Alloys”, *Metallurgical and Materials Transactions*, 35A, pp. 1579, 2004

- [37] ÖZSARAÇ, U., “Raylı taşıtlarda teker bandajlı–ray sisteminde dolgu kaynağı ve sabo parçaların aşınma ve yorulma davranışlarının incelenmesi”, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, 2005
- [38] TÜRK, A., KURNAZ, C., ŞEVİK, H., “Silisyum Alaşım Elementinin ZA-12 Alaşımının Mekanik Özelliklerine Etkisi”, 11. Uluslararası Malzeme Sempozyumu, s.787-791, 2006
- [39] Alloy Phase Diagrams, Metals Handbook Volume 3, pp. 43, 1993
- [40] <http://www.erdeticaret.com.tr/default.asp?Page=Content&ContentId=100>, 12.01.2008
- [41] ÖZGÜL, M., AKÜ Seramik Mühendisliği Ders Notları, 2007
<http://www2.aku.edu.tr/~metinozgul/SFO/6Mekanik.pdf>, 24.11.2007
- [42] HYUN YOU K., SANG WON H., HYUCK MO L., The influence of Mn and Cr on the tensile properties of A356–0.20Fe alloy
- [43] KURNAZ, C., ŞEVİK, H., TURK, A., OZSARAC, U., “The effect of Ti-B and Sr on the mechanical behaviour of the zinc-aluminum based ZA-12 alloy produced by gravity casting”, Int. J. Mat. Res. (formerly Z. für Metallkunde), 97(2006) 8, pp. 1152-1157, 2006

ÖZGEÇMİŞ

1981 yılında İstanbul 'da doğmuştur. İlk ve orta öğrenimini tamamladıktan sonra 1998 yılında Kadıköy İntaş Lisesi 'ni bitirmiştir. Aynı yıl girdiği Osmangazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü 'nden 2003 yılında mezun olmuştur. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilimdalı 'nda yüksek lisans eğitimine 2004 yılında başlamıştır.