

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ZAMAK-5 ÇİNKO-ALÜMİNYUM ALAŞIMININ BİLEŞİM
MODİFİKASYONUNUN MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERE
ETKİSİNİN BELİRLENMESİ**

Melih KOÇYİĞİT

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

2016

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ZAMAK-5 ÇİNKO-ALÜMİNYUM ALAŞIMININ BİLEŞİM
MODİFİKASYONUNUN MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERE
ETKİSİNİN BELİRLENMESİ**

Melih KOÇYİĞİT

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**(Bu Tez Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi
tarafından FYL-2015-587'nolu proje ile desteklenmiştir.)**

2016

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ZAMAK-5 ÇİNKO-ALÜMİNYUM ALAŞIMININ BİLEŞİM
MODİFİKASYONUNUN MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERE
ETKİSİNİN BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Melih KOÇYİĞİT

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Bu tez .../.../2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği/Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Doç. Dr. H. Erdem ÇAMURLU.....

Prof. Dr. Remzi VAROL.....

Doç Dr. Eyüp Sabri TOPAL.....

ÖZET

ZAMAK-5 ÇİNKO-ALÜMİNYUM ALAŞIMININ BİLEŞİM MODİFİKASYONUNUN MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİNİN BELİRLENMESİ

Melih KOÇYİĞİT

Yüksek Lisans Tezi Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. H. Erdem ÇAMURLU

11 2016 89 Sayfa

Bu çalışmada, ticari adıyla ZAMAK 5 (% 3,5-4,3 Al, %0,75-1,25 Cu, %0,03-0,08 Mg, %95<Zn) olarak bilinen Zn-Al alaşımının spesifikasyonunda bulunan alaşım elementlerinin miktarları değiştirilmeden, atmosfere açık şartlarda (işletme koşullarında), spesifikasyonda bulunmayan elementlerin (Ti, Mn ve Cr) 450 °C veya 650 °C’de eklenmesi sonucunda bileşim modifikasyonu sağlanmıştır. Bu işlemin, dökümle üretilen numunelerin mikroyapı ve mekanik özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Ağırlıkça % 0,057 ve % 0,126 Mn, % 0,035 ve % 0,053 Cr, %0,01, % 0,028 ve % 0,03 Ti olarak alaşım elementlerini içeren numuneler, kokil ve kum kalıplara sırasıyla 450 °C, 600 °C’de dökülmüştür. Numunelerin mikroyapıları optik mikroskop ve taramalı elektron mikroskobu ve EDX ile incelenmiştir. XRF ve ICP-OES yöntemleri ile alaşımların elemental analizleri yapılmıştır. Üç nokta eğme, basma deneyleri ve sertlik ölçümleri uygulanmıştır. Kum kalıba yapılan dökümlerde soğuma sırasında metal sıcaklığı kaydedilerek soğuma eğrileri belirlenmiştir.

Yapılan elemental analizler sonucunda, eklenen alaşım elementlerinin alaşıma beklenenden düşük oranlarda katıldığı anlaşılmıştır. Mikroyapı incelemelerinden, eklenen miktardaki alaşım elementlerinin eta ve ötektik yapının boyutunu değiştirmedeği görülmüştür. Cr ve Mn eklenmiş olan alaşımların mikroyapısında Cr ve Mn içeren intermetalik bileşik parçacıklarının bulunduğu görülmüştür. Kum kalıba yapılan dökümlerde soğuma hızının yavaş olması sebebiyle eta ve ötektik yapıların kokil kalıba kıyasla daha büyük olduğu gözlemlenmiştir. Kokil kalıba dökülen numunelerin sertlik değerleri 95-105 BSD aralığında iken, kum kalıba dökülen numunelerin sertlik değerleri 80 – 88 BSD aralığındadır. Mn ilaveli alaşımlar hariç alaşım elementi ilaveli olan tüm numunelerin sertlik değeri baz alaşımdan yüksek olmuştur. Kokil kalıba dökülen numunelerin eğme dayanımları 570 – 700 MPa aralığındadır. Alaşım elementlerinin, eğme dayanımını düşürdüğü, sadece Ti ilavesinin eğme dayanımını arttırdığı görülmüştür.

Eklenen oranlarda alaşım elementlerinin ZAMAK 5 alaşımının sertlik değerinde artış sağladığı ancak dayanımda azlamaya yol açtığı belirlenmiştir.

ANAHTAR KELİMELEER: Zn-Al Alaşımları, ZAMAK-5, Mekanik Özellikler, Mikroyapı, Alaşım Elementi

JÜRİ: Doç. Dr. H. Erdem ÇAMURLU (Danışman)

Prof. Dr. Remzi VAROL
Doç Dr. Eyüp Sabri TOPAL

ABSTRACT

INVESTIGATION OF EFFECT OF COMPOSITIONAL MODIFICATION OF ZINC-ALUMINUM ALLOY ZAMAK-5 ON MECHANICAL PROPERTIES AND MICROSTRUCTURE

Melih KOÇYİĞİT

MSc Thesis in Mechanical Engineering
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. H. Erdem ÇAMURLU
11 2016 89 Pages

In this study, the effect of additional titanium, manganese and chromium has been investigated that has been separately added at 450 °C or 650 °C without changing original composition of base alloy, on the microstructure and mechanical properties of a Zn-Al alloy (% 3,5-4,3 Al, %0,75-1,25 Cu, %0,03-0,08 Mg, % 95< Zn) which is known commercially as ZAMAK5.

Specimens that included additional alloying element (% 0,057 and % 0,126 Mn, % 0,035 and % 0,053 Cr, %0,01, % 0,028 and % 0,03 Ti) in weight percentages were cast into permanent and sand moulds at 450 °C, 600 °C, respectively. Microstructure of the alloys were investigated with optical microscope, scanning electron microscope and EDX. Elemental analyses were conducted with X-ray fluorescence (XRF) and Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (ICP-OES). Hardness, compression and three point bending tests were conducted. In the castings made into sand molds, metal temperature was recorded during cooling and cooling curves were determined.

According to elemental analyses, it was observed that additional alloying elements did not combine with base alloy as much as expected. Microstructure investigations shows that additional alloying elements did not effect size of η and eutectic phases. Intermetallics that includes Cr and Mn were seen in alloys that have Cr and Mn content. Because of longer cooling time, bigger η and eutectic phases were seen in sand cast specimens when they compare to die cast specimens. While hardness results of sand cast specimens were between 80 – 88 HB, results of die cast specimens were between 95 – 105 HB. Except Mn added alloys, all alloys that were produced in this study have higher hardness value than base alloy. Die cast specimens' bending strength values are between 570 – 700 MPa. It was seen that only Ti added alloys' value of bending strength is higher than base alloys', other alloying elements effect negative on bending strength.

It was determined that although additional alloying elements and their amounts that are used in this study effect hardness of base alloy positively, they cause negative effects on strength

KEYWORDS: Zn-Al Alloys, ZAMAK-5, Mechanical Properties, Microstructure, Alloying Elements

COMMITTEE: Assoc. Prof. Dr. H. Erdem ÇAMURLU (Supervisor)
Prof. Dr. Remzi VAROL
Assoc. Prof. Dr. Eyüp Sabri TOPAL

ÖNSÖZ

Bu Tez çalışmasında sanayide geniş kullanım alanları bulunan çinko-alüminyum alaşımlarından ZAMAK-5 alaşımına ilave alaşım elementlerinin etkisi ile mikroyapısında ve mekanik özelliklerinde meydana gelen değişimler araştırılmıştır. ZAMAK-5 alaşımının yüksek dökülebilirlik kabiliyeti seri imalata yatkın olmasını sağlamakta ve beraberinde yüksek ticari potansiyel barındırmaktadır. Bu bağlamda gerçekleştirilen çalışmalarda üretime yönelik avantaj sağlayacak modifikasyonların geliştirilmesinin hem yerel hem de ulusal ölçekte kalkınmaya katkı sunacağı düşünülmektedir.

Bu maksat ve motivasyonla hayata geçirilen tez çalışmamın konusunun belirlenmesinden deneylerin yapılışına kadar her türlü konuda ihtiyacım olduğunda bilgisini, tecrübesini ve zamanını benden esirgemeyen akademik danışmanım Doç. Dr. H. Erdem ÇAMURLU'ya teşekkürü bir borç bilirim.

Yürütülen yoğun deneysel çalışmalar ve tez yazım süreçlerinde bana her türlü yardımı ve kolaylığı sağlayan başta Prof. Dr. N. Ayşe BOZTOSUN olmak üzere tüm Akdeniz Üniversitesi İş Dünyası ile İşbirliği ve Teknoloji Transferi Uygulama ve Araştırma Merkezi ailesine teşekkür ederim.

Özveri ile yapılan laboratuvar çalışmalarına yoğun emeğini ve katkısını sunan meslektaşım Makine Mühendisi Sertaç Ferat POLAT'a teşekkür ederim.

Bu çalışmanın ortaya çıkması ve yürütülmesinde sunduğu katkılardan dolayı ACCADO Genel Müdür Yardımcısı Çoşkun AKKAYA ve meslektaşım Makine Mühendisi İsmail AKTUNA'ya teşekkür ederim.

Akdeniz Üniversitesi ile imzalanan protokol kapsamında bu çalışmaya destek sağlayan Antalya Ticaret ve Sanayi Odası'na (ATSO) teşekkür ederim.

Bu projeyi FYL-2015-587 numara ile destekleyerek gerçekleşmesini sağlamış olan ve FAY-2015-304 nolu proje kapsamında alınmış olan cihazları kullanmam sebebiyle Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne teşekkür ederim.

Çalışma süresince deneylerin gerçekleştirilmesinde katkı sunan META Nikel A.Ş.'ye ve Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Merkezi Laboratuvarına ve değerli yetkililerine şükranlarımı sunarım.

Son olarak, bu çalışmada ve hayatımın her döneminde derin sevgisini ve desteğini hep arkamda hissettiğim annem Ayla KOÇYİĞİT ve babam Ş. Abdullah KOÇYİĞİT'e sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	iii
ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	viii
SEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL BİLGİLER VE KAYNAK TARAMASI.....	2
2.1. Zn-Al Döküm Alaşımlarının Gelişimi.....	2
2.2. Zn-Al Alaşımlarının Kimyasal Bileşimleri.....	3
2.3. Zn-Al İkili Denge Diyagramı.....	4
2.4. Zn-Al Alaşımlarının Mikroyapısı.....	4
2.5. ZAMAK Alaşımlarının Mikroyapısı.....	5
2.6. Zn-Al Alaşımlarının Fiziksel Özellikleri.....	5
2.7. Zn-Al Alaşımlarının Mekanik Özellikleri.....	6
2.8. Alaşım Elementlerinin Zn-Al Alaşımlarına Etkileri.....	8
2.9. Zn-Al Alaşımlarının Kullanım Alanları.....	14
3. MATERYAL VE METOT.....	16
3.1. Alaşımların Hazırlanması ve Dökümü.....	16
3.2. Metalografik Çalışmalar.....	20
3.2.1. Mikroyapı incelemesi için numunelerinin hazırlanması.....	20
3.2.2. Optik mikroskop ile mikroyapı incelemesinin gerçekleştirilmesi.....	22
3.2.3. SEM incelemeleri EDX analizleri için numunelerin hazırlanması.....	22
3.3. Elemental Analizler.....	23
3.4. Sertlik Deneyleri.....	24
3.4.1. Sertlik ölçümü numunelerinin hazırlanması ve sertlik ölçümlerinin yapılması.....	24
3.5. Üç Nokta Eğme Deneyleri.....	25
3.6. Basma Deneyleri.....	26
3.7. Soğuma Eğrileri ve Katılma Sıcaklıklarının Belirlenmesi.....	27
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	29
4.1. Elemental Analiz Sonuçları.....	29
4.1.2. Kantitatif – yarı kantitatif analiz sonuçları.....	29
4.2. Mikroyapı, SEM ve EDX İncelemeleri.....	32
4.2.1. Kokil kalıba yapılan dökümlerin sonuçları.....	32
4.2.1.1. ZAMAK-5 baz alaşım mikroyapı, SEM ve EDX incelemeleri.....	32
4.2.1.2. Mn ilaveli alaşımların mikroyapı, SEM ve EDX incelemeleri.....	37
4.2.1.3. Cr ilaveli alaşımların mikroyapı, SEM ve EDX incelemeleri.....	44
4.2.1.4. Ti ilaveli alaşımların mikroyapı, SEM ve EDX incelemeleri.....	50
4.2.2. Kum kalıba yapılan dökümlerin sonuçları.....	56
4.3. Soğuma Eğrileri ve Katılma Sıcaklıkları.....	61
4.4. Mekanik Deneyler.....	65
4.4.1. Sertlik Deneyleri.....	65
4.4.1.1. 450 °C’de alaşımlanan numunelerin sertlik deneyleri.....	65
4.4.1.2. 650 °C’de alaşımlanan numunelerin sertlik deneyleri.....	67

4.4.1.3. Kum kalıba yapılan döküm numunelerinin sertlik deneyleri.....	68
4.4.2. Üç nokta Eğme Deneyleri	69
4.4.2.1. 450 °C’de alaşımlanan numunelerin 3 nokta eğme deneyi sonuçları	69
4.4.2.2. 650 °C’de alaşımlanan numunelerinin 3 nokta eğme deneyi sonuçları	72
4.5. Basma Deneyi Sonuçları	75
4.5.1. 450 °C’de alaşımlandırılan numunelerin basma deneyi sonuçları	76
4.5.2. 650°C’de alaşımlanan numunelerin basma deneyi sonuçları.....	79
5. SONUÇ	81
5.1. Mikroyapı İncelemelerinin Sonuçları	82
5.2. Katılma Sıcaklıkları ile İlgili Yapılan Çalışmaların Sonuçları.....	85
5.3. Mekanik Testlerin Sonuçları	85
6. KAYNAKLAR	90
ÖZGEÇMİŞ	

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

α : Alüminyumca zengin katı eriyik
 $\acute{\alpha}$: Monotektoidin çinkoca zengin tarafındaki faz
 η : Çinkoca zengin katı eriyik
 β : Çinkoca zengin yüksek sıcaklık fazı
 ϵ : bakırca zengin fazlar
 $^{\circ}\text{C}$: Santigrat
 σ : Gerilme
 μm : Mikrometre
 $\%$: Yüzde
Al: Alüminyum
Cd: Kadmiyum
cm: Santimetre
Cu: Bakır
Cr: Krom
Fe: Demir
gr: gram
GPa:Gigapascal
J: Joule
kg: Kilogram
kN: Kilonewton
L: Sıvı Faz
mK: Isıl Genleşme Katsayısı
MPa: Megapascal
mm: Milimetre
 ms^{-1} : Mili frekans
W/m.K: Isıl İletkenlik Katsayısı
Mg: Magnezyum
Mn: Mangan
Pb: Kurşun
Si: Silisyum
Ti: Titanyum
Zn: Çinko

Kısaltmalar

ASTM: American Society for Deneying and Materials
ASM: American Society for Metals
BSD: Brinell Sertlik Değeri
ECAP: Equal-Channel Angular Pressing
EDX: Energy Dispersive X-ray Spectroscopy
HV: Hardness Vickers
IACS: The International Association of Classification Societies
ICP-OES: Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry
ILZRO: International Lead Zinc Research Organization

MERLAB: Merkez Laboratuvarı
ODTÜ: Orta Doğu Teknik Üniversitesi
Ort: Ortalama
SEM: Scanning Electron Microscope
Std: Standart
Sn: Saniye
XRF: X-Ray Fluorescence
XRD: X-ray Diffraction
YMK: Yüzey Merkezi Kübik

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Çinko-Alüminyum ikili denge diyagramı.....	4
Şekil 2.2. ZA-8'e % 0,01 – 0,53 aralığında Mn ilavesi ile değişen sertlik ve çekme dayanımı değerleri (Türk 1996)	11
Şekil 2.3. ZA-8'e % 0,01 – 0,2 aralığında Ti ilavesi ile değişen sertlik ve çekme dayanımı değerleri (Türk 1996)	12
Şekil 2.4. ZA-8'e Cr ilavesi ile değişen sertlik ve çekme dayanımı değerleri (Türk1996)	13
Şekil 3.1. a) Ön döküm için kullanılan PROTHERM Furnaces marka fırın b) 14 mm çaplı döküm kalıbı.....	16
Şekil 3.2. 8 mm çaplı 3 nokta eğme numunesi kalıbı	17
Şekil 3.3. Yüzeyi bozuk numune örneği	19
Şekil 3.4. Yüzeyi düzgün numune örneği	20
Şekil 3.5. Metkon Metacut M250 Testere.....	20
Şekil 3.6. a) Metkon FORCIPOL 1V GRINDER-POLISHER marka polisaj (parlatma) makinesi b) Metkon FORCIPOL 2V GRINDER-POLISHER marka polisaj (zımpara) makinesi.....	21
Şekil 3.7. Nital dağlayıcı.....	21
Şekil 3.8. a) Nikon ECLIPSE LV-150 optik mikroskop.....	22
b) incelenen numune örnekleri.....	22
Şekil 3.9. ZEISS- SUPRA 40VP marka SEM cihazı.....	23
Şekil 3.10. a) XRF numunesi örneği b) ICP-OES numunesi örneği.....	24
Şekil 3.11. Metkon METAPRESS-A MOUNTING PRESS marka bakalit makinesi....	24
Şekil 3.12. a) DIGIROCK HARDNESS TESTER marka Brinell sertlik ölçüm cihazı b) sertlik ölçümü için hazırlanan numuneler.....	25
Şekil 3.13. 50 kN kapasiteli SHIMADZU AUTOGRADH A6-IC mekanik deney cihazı 3 nokta eğme deneyi düzeneği.....	25
Şekil 3.14. a) 3 nokta eğme aparatı ve deney pozisyonu b) 3 nokta eğme deneyi numuneleri.....	26

Şekil 3.15. 50 kN kapasiteli SHIMADZU AUTOGRADH A6-IC mekanik deney cihazı basma deneyi düzeneği.....	26
Şekil 3.16. Basma deneyi grafiklerine göre offset methodunun gösterimi	27
Şekil 3.17. Soğuma eğrisi analizi deney düzeneği. soldan sağa; kum kalıp, numune, bilgisayar, dönüştürücü ve adım kontrol ünitesi	27
Şekil 3.18. Kum kalıp ve termokupl - adım kontrol cihazı bağlantı noktasının yakından gösterimi	28
Şekil 4.1. Baz 450 450 kokil, 200x optik mikroskop görüntüsü.....	34
Şekil 4.2. Baz 450 450 kokil, 500x optik mikroskop görüntüsü.....	34
Şekil 4.3. Baz 450 450 kokil, 2kx SEM görüntüsü	34
Şekil 4.4. Baz 450 450 kokil, 10kx SEM görüntüsü	35
Şekil. 4.5. Baz 450 450 kokil, 10kx SEM görüntüsü	35
Şekil 4.6. Baz 650 450 kokil, 200x optik mikroskop görüntüsü	36
Şekil 4.7. Baz 650 450 kokil, 500x optik mikroskop görüntüsü.....	36
Şekil 4.8. Baz 450 450 kokil, EDX analizi yapılan SEM görüntüsü	37
Şekil 4.9. Baz 450 450 kokil, Z çizgisi üzerindeki elementlerin frekans dağılımları	37
Şekil 4.10. Mn 0,057 450 450 kokil, 200x optik mikroskop görüntüsü	38
Şekil 4.11. Mn 0,057 450 450 kokil, 500x optik mikroskop görüntüsü.....	38
Şekil 4.12. Mn 0,057 450 450 kokil, 5kx SEM görüntüsü	39
Şekil 4.13. Mn 0,057 450 450 kokil, 5kx SEM görüntüsü.....	39
Şekil 4.14. Mn 0,057 450 450 kokil, EDX analizi yapılan SEM görüntüsü	40
Şekil 4.15. Mn 0,057 450 450 kokil, EDX analizi enerji dağılım grafiği.....	40
Şekil 4.16. Mn 0,057 450 450 kokil, EDX analizinde Z çizgisi üzerinde yer alan elementlere ait frekans dağılımları.....	41
Şekil 4.17. Mn 0,126 650 450 kokil mikrografi.....	41
Şekil 4.18. Mn 0,126 650 450 kokil, 200x optik mikroskop görüntüsü	42
Şekil 4.19. Mn 0,126 650 450 kokil, 500x optik mikroskop görüntüsü	42

Şekil 4.20. Mn 0,126 650 450 kokil, 5kx SEM görüntüsü	43
Şekil 4.21. Mn 0,126 650 450 kokil, 10kx SEM görüntüsü	43
Şekil 4.22. Cr 0,035 450 450 kokil, 200x optik mikroskop görüntüsü	44
Şekil 4.23. Cr 0,035 450 450 kokil, 500x optik mikroskop görüntüsü	44
Şekil 4.24. Cr 0,035 450 450 kokil, 5kx SEM görüntüsü	45
Şekil 4.25. Cr 0,035 450 450 kokil, 5kx SEM görüntüsü	45
Şekil 4.26. Cr 0,053 650 450 kokil, 200x optik mikroskop görüntüsü	46
Şekil 4.27. Cr 0,053 650 450 kokil, 500x optik mikroskop görüntüsü	46
Şekil 4.28. Cr 0,053 650 450 kokil, 5kx SEM görüntüsü	47
Şekil 4.29. Cr 0,053 650 450 kokil, 5kx SEM görüntüsü	47
Şekil 4.30. Cr 0,053 650 450 kokil, EDX analizi yapılan SEM görüntüsü	48
Şekil 4.31. Cr 0,053 650 450 kokil, EDX analizi x noktasındaki elementlerin enerji dağılımları	48
Şekil 4.32. Cr 0,053 650 450 kokil, EDX analizi y noktasındaki elementlerin enerji dağılımları	49
Şekil 4.33. Cr 0,053 650 450 kokil, EDX analizinde seçili Z kesiti üzerinde yer alan elementlerin frekans değişimleri	49
Şekil 4.34. Cr 0,053 650 450 kokil, EDX analizi z kesiti üzerinde yer alan elementlerin enerji dağılımları	50
Şekil 4.35. Ti 0,01 450 450 kokil, 200x optik mikroskop görüntüsü (% 4,6 Al).....	50
Şekil 4.36. Ti 0,01 450 450 kokil, 500x optik mikroskop görüntüsü (% 4,6 Al).....	51
Şekil 4.37. Ti 0,028 450 450 kokil, 200x optik mikroskop görüntüsü (% 5,2 Al).....	51
Şekil 4.38. Ti 0,028 450 450 kokil, 500x optik mikroskop görüntüsü (% 5,2 Al).....	52
Şekil 4.39. Ti 0,028 450 450 kokil, 5kx SEM görüntüsü (% 5,2 Al).....	52
Şekil 4.40. Ti 0,028 450 450 kokil, 10kx SEM görüntüsü (% 5,2 Al).....	53
Şekil 4.41. Ti 0,03 650 450 kokil, 200x optik mikroskop görüntüsü (% 5,25 Al)	53

Şekil 4.42. Ti 0,03 650 450 kokil, 500x optik mikroskop görüntüsü (% 5,25 Al)	54
Şekil 4.43. Ti 0,03 650 450 kokil, 5kx SEM görüntüsü (% 5,25 Al)	54
Şekil 4.44. Ti 0,03 650 450 kokil, 10kx SEM görüntüsü (% 5,25 Al)	55
Şekil 4.45. Ti 0,03 650 450 kokil, EDX analizi yapılan SEM görüntüsü (% 5,25 Al)...	55
Şekil 4.46. Ti 0,03 650 450 kokil, EDX analizinde seçili alan üzerinde yer alan elementlerin enerji dağılımları (% 5,25 Al)	57
Şekil 4.47. Baz 450 600 kum, 200x optik mikroskop görüntüsü.....	56
Şekil 4.48. Mn 0,057 450 600 kum, 200x optik mikroskop görüntüsü.....	57
Şekil 4.49. Mn 0,126 650 600 kum, 200x optik mikroskop görüntüsü.....	57
Şekil 4.50. Mn 0,057 450 600 kum, EDX analizi yapılan SEM görüntüsü	58
Şekil 4.51. Mn 0,057 450 600 kum, EDX analizinde seçili x noktası üzerinde yer alan elementlerin enerji dağılımları	58
Şekil 4.52. Cr 0,035 450 600 kum, 200x optik mikroskop görüntüsü	59
Şekil 4.53. Cr 0,053 650 600 kum, 200x optik mikroskop görüntüsü	59
Şekil 4.54. Cr 0,035 450 600 kum, 2kx SEM görüntüsü	60
Şekil 4.55. Ti 0,028 450 600 kum, 200x optik mikroskop görüntüsü	60
Şekil 4.56. Ti 0,03 650 600 kum, 200x optik mikroskop görüntüsü	61
Şekil 4.57. Ti 0,03 650 600 kum, 2kx SEM görüntüsü.....	61
Şekil 4.58. 450 °C’de alaşımlanan numunelerin karşılaştırmalı soğuma eğrisi sonuçları	62
Şekil 4.59. Baz 450 600 ilk katılma ve ötektik dönüşüm bölgelerini gösteren grafik.	62
Şekil 4.60. 450 650 kum numunelerinin genişletilmiş karşılaştırmalı soğuma eğrisi sonuçları	64
Şekil 4.61. Baz alaşım ve Ti ilaveli alaşımların ilk katılma noktaları	63
Şekil 4.62. 650 °C’de alaşımlandırılan ve 600 °C’de kum kalıba dökümü gerçekleştirilen numunelerin karşılaştırmalı soğuma eğrisi grafikleri.....	635
Şekil 4.63. 650 °C’de alaşımlandırılan ve 600 °C’de kum kalıba dökümü	

gerçekleştirilen numunelerin genişletilmiş karşılaştırmalı soğuma eğrisi grafikleri	65
Şekil 4.64. 650°C’de alaşımlanan ve 600°C’de kum kalıba dökümü gerçekleştirilen numunelerin 400 °C – 350 oC aralığında genişletilmiş karşılaştırmalı soğuma eğrisi grafikleri	66
Şekil 4.65. Kokil kalıba dökümü yapılan numunelerin (450 °C) toplu sertlik değeri karşılaştırma grafiği	67
Şekil 4.66. 650 °C’de alaşımlanan ve kokil kalıba dökümü yapılan numunelerin toplu sertlik değeri karşılaştırma grafiği	68
Şekil 4.67. Kum kalıba dökümü yapılan numunelerin toplu sertlik değeri karşılaştırma grafiği	69
Şekil 4.68. Baz 450 450 kokil, 3 nokta eğme deneyi sonuç grafiği.....	70
Şekil 4.69. Cr 0,035 450 450 kokil, 3 nokta eğme deneyi sonuç grafiği.....	70
Şekil 4.70. Ti 0,028 450 450 kokil, 3 nokta eğme deneyi sonuç grafiği.....	71
Şekil 4.71. Mn 0,057 450 450 kokil, 3 nokta eğme deneyi sonuç grafiği.....	71
Şekil 4.72. 450 °C’de dökülen alaşımların karşılaştırmalı 3 nokta eğme deneyi sonuç grafiği	71
Şekil 4.73. 450 °C’de dökülen alaşımların karşılaştırmalı % Birim Şekil Değiştirme sonuç grafiği.....	72
Şekil 4.74. Baz 650 450 kokil, 3 nokta eğme deneyi sonuç grafiği.....	73
Şekil 4.75. Mn 0,126 650 450 kokil, 3 nokta eğme deneyi sonuç grafiği.....	73
Şekil 4.76. Cr 0,035 450 450 kokil, 3 nokta eğme deneyi sonuç grafiği	74
Şekil 4.77. Ti 0,03 650 450 kokil, 3 nokta eğme deneyi sonuç grafiği.....	74
Şekil 4.78. 650°C’de alaşımlanan numunelerin karşılaştırmalı 3 nokta eğme deneyi karşılaştırmalı sonuç grafiği.....	74
Şekil 4.79. 650°C’de alaşımlanan numunelerin karşılaştırmalı % birim şekil değiştirme karşılaştırmalı sonuç grafiği.....	75
Şekil 4.80. Basma deneyi sonrası elde edilen numune örneği	76
Şekil 4.81. Baz alaşım 450 450 kokil, basma deneyi sonuç grafiği	76

Şekil 4.82. Mn 0,057 450 450 kokil, basma deneyi sonuç grafiği.....	77
Şekil 4.83. Cr 0,035 450 450 kokil, basma deneyi sonuç grafiği	77
Şekil 4.84. Ti 0,028 450 450 kokil, basma deneyi sonuç grafiği.....	78
Şekil 4.85. 450 °C’de alaşımlanan numunelerin basma deneyi sonuçlarına göre akma dayanımları karşılaştırmalı sonuç grafiği.....	78
Şekil 4.86. Mn 0,126 650 450 kokil, basma deneyi sonuç grafiği.....	79
Şekil 4.87. Ti 0,03 650 450 kokil, basma deneyi sonuç grafiği.....	79
Şekil 4.88. Cr 0,053 650°C kokil, basma deneyi sonuç grafiği	80
Şekil 4.89. 650°C’de alaşımlanan numunelerin basma deneyi sonuçlarına göre akma dayanımları karşılaştırmalı sonuç grafiği.....	80
Şekil 5.1. 450 °C ve 650 °C dökümü yapılan alaşımların mikroyapı fotoğrafları (500x)	83
Şekil 5.2. 450 °C, 650 °C ve 600 °C’de kum ve kokil kalıba dökümü yapılan alaşımların karşılaştırmalı mikroyapı fotoğrafları (200x).....	85
Şekil 5.3. 450 °C’de alaşımlandırılan numunelerin 3 nokta eğme deneyi sonuç grafikleri	88
Şekil 5.4. 650 °C’de alaşımlandırılan numunelerin 3 nokta eğme deneyi sonuç grafikleri	88
Şekil 5.5. 450 °C’de alaşımlandırılan numune örneklerinin karşılaştırmalı basma deneyi sonuç grafikleri	88
Şekil 5.6. 650 °C’de alaşımlandırılan numune örneklerinin karşılaştırmalı basma deneyi sonuç grafikleri	89

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Zn-Al esaslı alaşımlarının ASTM B 86 ve B 791 döküm standartlarına göre % ağırlıkça kimyasal bileşimleri.....	3
Çizelge 2.2. İkili çinko-alüminyum alaşım sistemindeki önemli dönüşümler (Türk 2006, Pürçek 1994)	5
Çizelge 2.3. Zn-Al alaşımlarının fiziksel özellikleri (Gervais 1985, Nyrastar 2013)	5
Çizelge 2.4. Zn-Al alaşımları ve bazı döküm malzemelerinin mekanik özellikleri (Türk 1996)	7
Çizelge 2.5. Takviyesiz ve sürekli çelik tel takviyeli ZAMAK-5 alaşımının mekanik özellikleri (Sahar 2007).....	14
Çizelge 3.1. 450 °C de alaşımlandırılan numunelerinin numaralandırma tablosu.....	18
Çizelge 3.2. 650 °C de alaşımlandırılan numunelerinin numaralandırma tablosu.....	18
Çizelge 3.3. Deney numunelerinin deney koşulları tablosu.....	19
Çizelge 4.1. Baz alaşımın elemental (ICP-OES ve XRF) analizi sonuçları.....	29
Çizelge 4.2. % Ağırlıkça % 0,1 Mn ve %0,2 Mn ilavesi yapılan alaşımların XRF ve ICP - OES analiz tabloları.....	30
Çizelge 4.3. % Ağırlıkça % 0,1 Cr ve % 0,2 Cr ilavesi yapılan alaşımların XRF ve ICP – OES analiz tabloları	30
Çizelge 4.4. % Ağırlıkça % 0,05 Ti ve %0,1 Ti ilavesi yapılan alaşımların XRF ve ICP - OES sonuç tabloları	31
Çizelge 4.5. Deney numunelerinin elemental analiz sonrasında isimlendirme tablosu..	32
Çizelge 4.6. İkili çinko-alüminyum alaşım sistemindeki önemli dönüşümler (Türk 2006, Pürçek 1994)	33
Çizelge 4.7. Baz 450 450 kokil numunesine ait edx analizi noktalarındaki % ağırlıkça element miktarları	37
Çizelge 4.8. Mn 0,057 450 450, EDX görüntüsünde yer alan x noktasının içerdiği elementlerin % ağırlıkça oranları	40
Çizelge 4.9. Mn 0,126 650 450 kokil, numunesine ait mikrograf görüntüsünde yer alan elementlerin % ağırlıkça oranları	42
Çizelge 4.10. Cr 0,053 650 450 kokil, EDX analizi X ve Y noktalarında yer alan elementlerin % ağırlıkça oranları	49

Çizelge 4.11. Ti 0,03 650 450 kokil, EDX analizinde seçili alan üzerinde yer alan elementlerin % ağırlıkça oranları	57
Çizelge 4.12. Mn 0,057 450 600 kum, EDX analizinde seçili x noktası üzerinde yer alan elementlerin % ağırlıkça oranları	58
Çizelge 4.13. Baz alaşımlı (ZAMAK 5) numunelerin ortalama sertlik değerleri.....	66
Çizelge 4.14. %0,057 Mn ilave alaşım elementli numunelerin ortalama sertlik değerleri.....	66
Çizelge 4.15. %0,035 Cr ilave alaşım elementli numunelerin ortalama sertlik değerleri.....	66
Çizelge 4.16. % 0,01 Ti ve %0,028 Ti ilave alaşım elementli numunelerin ortalama sertlik değerleri.....	66
Çizelge 4.17. 450 °C’de alaşımlanan ve kokil kalıba dökümü yapılan numunelerin toplu sertlik değeri karşılaştırma tablosu	67
Çizelge 4.18. Baz alaşımlı (ZAMAK 5) numunelerin ortalama sertlik değerleri (Baz 650 450 kokil).....	67
Çizelge 4.19. % 0,126 Mn ilave alaşım elementli numunelerin ortalama sertlik değerleri (Mn 0,126 650 450 Kokil)	67
Çizelge 4.20. % 0,053 Cr ilave alaşım elementli numunelerin ortalama sertlik değerleri Cr 0,053 650 450 kokil)	67
Çizelge 4.21. % 0,03 Ti ilave alaşım elementli numunelerin ortalama sertlik değerleri .. (Ti 0,03 650 450 kokil)	67
Çizelge 4.22. 650 °C’de alaşımlanan ve kokil kalıba dökümü yapılan numunelerin toplu sertlik değeri karşılaştırma tablosu	68
Çizelge 4.23. Kum kalıba dökümü yapılan numunelerin toplu sertlik değeri karşılaştırma tablosu	69
Çizelge 4.24. 450 °C’de dökülen alaşımların karşılaştırmalı 3 nokta eğme deneyi sonuçları	72
Çizelge 4.25. 650°C’de alaşımlanan numunelerin karşılaştırmalı 3 nokta eğme deneyi sonuçları	75
Çizelge 4.26. 450 °C’de alaşımlanan numunelerin basma deneyi sonuçlarına göre akma dayanımları	78
Çizelge 5.1. Alaşım grupları ortalama sertlik değerleri karşılaştırma tablosu.....	86

Çizelge 5.2. 650 °C’de ve 450 °C’de alaşımlanan ve kokil kalıba dökülen numunelerin karşılaştırmalı 3 nokta eğme deneyi sonuçları.....	86
Çizelge 5.3. 650 °C’de ve 450 °C’de alaşımlanan ve kokil kalıba dökülen numunelerin karşılaştırmalı basma testi sonuçları.....	87
Çizelge 5.4. Farklı alaşım elementleri içeren ve farklı sıcaklıklarda dökülmüş olan numunelerin mekanik özelliklerinin karşılaştırmalı tablosu.....	87

1. GİRİŞ

Günümüz koşullarında birçok farklı sektörde endüstrileşme hızla devam etmektedir. Bu durumun bir getirisi olarak bir yandan teknoloji hızla gelişmekte diğer yandan da rekabet artmaktadır. Artan pazar ihtiyaçlarına doğru ve hızlı cevap verme, müşteri memnuniyeti odaklı, çevre ile dost, kaliteli ve düşük maliyetli üretim yapabilmek yakın tarihte sanayinin öncelikli alanlarından olmaya başlamıştır.

Zn-Al alaşımları, sahip oldukları iyi dökülebilirlik, yüksek mukavemet ve süneklik, düşük ergime sıcaklığı, aşınma ve korozyon direnci gibi özellikler sayesinde 1920'li yıllardan itibaren birçok uygulama alanında bronz, demir, çelik gibi konvansiyonel malzemelerin önüne geçmiş ve kaymalı yataklardan dekoratif malzemelere kadar geniş bir yelpazede kullanım alanı bulmuştur. Söz konusu ticari başarı beraberinde bu alaşımların kalitelerinin iyileştirilmesi, maliyetlerinin düşürülmesi ve/veya kullanım alanlarının artırılmasına yönelik çalışmalar için önemli bir teşvik unsuru olmuştur. Günümüzde Dünya'da var olan zengin çinko yatakları ve çoğunluğunun atıl olduğu göz önünde bulundurulursa potansiyelin keşfedilmesi adına Çinko – Alüminyum (Zn-Al) alaşımları üzerinde yapılan akademik çalışmaların mahiyeti daha iyi anlaşılacaktır.

ZAMAK alaşımları Zn-Al alaşımlarından olup sahip oldukları Bakır (Cu) ve Magnezyum (Mg) içeriğinden dolayı ticari olarak bu şekilde isimlendirilmişlerdir. ZAMAK ailesi kendi içerisinde ihtiva ettiği bakır içeriğine göre 3'e ayrılmaktadır (Mg oranı 3 alaşım türünde de aynı aralıkta yapıda bulunmaktadır). Bunlar ZAMAK 2, ZAMAK 3 ve ZAMAK 5'dir. Bu 3 tür alaşım da sanayide kullanılmakta fakat alaşımın içeriğinde yer alan Cu oranının farklılığından dolayı oluşan değişik seviyelerdeki mukavemet, sertlik ve tokluk özelliklerine binaen talep görmektedirler. Bu alaşımlar basınçlı döküm için uygun olması sebebi ile seri üretime yönelik malzemeler olduğundan rahatlıkla bahsedilebilir.

ZAMAK 5 yapısında % 3,5-4,3 arasında Al, % 0,75 – 1,25 arasında Cu, %0,03-0,08 arasında Mg, eser miktarda Demir (Fe), Kurşun (Pb), Kadmiyum (Cd), Kalay (Sn) ve kalan kısımda Zn (yaklaşık % 95) bulundurmaktadır. Literatürde Zn-Al alaşımlarının Titanyum (Ti), Krom (Cr), Manganez (Mn), Al, Silisyum (Si) gibi alaşım elementleri ile alaşımlandırılması veya var olan alaşım elementlerinin miktarlarının değiştirilmesi hakkında çalışmalar mevcuttur. Fakat ZAMAK 5 özelinde bu çalışmaların çeşitlendiği gözlemlenmemiştir.

Yaşadığımız bölge itibariyle (Batı Akdeniz Bölgesi) ZAMAK 5 alaşımlarının sanayideki üretim süreçlerinin iyileştirilmesi ihtiyacının öğrenilmesini takiben bu çalışmanın yapılmasına karar verilmiş ve yapılan literatür taramasının ardından ZAMAK 5 alaşımlarının sanayide daha etkin kullanılmasını sağlamak için ilave alaşım elementleri ile yeni modifikasyonlar oluşturularak mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi hedeflenmiştir. Yukarıda da bahsedildiği gibi ZAMAK 5 alaşımı da diğer Zn-Al alaşımları gibi düşük ergime sıcaklığına sahip olup, bu çalışmada işletme koşullarında (atmosfere açık) ilave alaşım elementlerinin yapıya eklenmesi ve bu işlemin, dökümle üretilen numunelerin özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

2. KURAMSAL BİLGİLER VE KAYNAK TARAMASI

2.1. Zn-Al Döküm Alaşımlarının Gelişimi

Zn-Al alaşımları, iyi dökülebilirlik, uzun kalıp ömrü, düşük ergime sıcaklığı gibi çeşitli avantajlara sahip olması sebebiyle 1920'li yıllardan bugüne otomotiv uygulamalarında, mekanik parçalarda ve dekoratif amaçlı olarak kullanılmaktadır. Günümüzde Zn-Al esaslı alaşımlardan en yaygın kullanılanları Almanca çinko (Zink), alüminyum (Aluminium), magnezyum (Magnesium) ve bakırın (Kupfer) baş harflerinden oluşan ve içerisindeki alaşım elementlerinin miktarlarına ve çeşitlerine göre isimlendirilen, ZAMAK-2, ZAMAK-3 ve ZAMAK-5 alaşımlarıdır. ZAMAK-2 ve ZAMAK-5, ZAMAK-3'den farklı olarak sırasıyla %3 ve %1 oranında bakır içermekte ve daha yüksek mukavemet ve sertlik değerlerine sahiptir (Goodwin 1989, Campbell 2011).

1920'li yılları takiben Zn-Al alaşımlarının kullanım alanlarının artırılması adına çinko üreticileri tarafından yürütülen çalışmalar neticesinde ILZRO-12 ve ILZRO -16 isminde iki yeni alaşım türü üretilmiş, ILZRO-16, ZAMAK alaşımlarına göre kötü mekanik özellikler göstermesi sebebiyle kullanım alanı bulamamıştır (Türk 1996).

Üretilen ILZRO-12 alaşımı ise gösterdiği üstün özellikler sayesinde daha sonra ağırlıkça % Al bileşimine göre adlandırılacak olan ZA-8, ZA-12, ZA-27 alaşımlarının temelini oluşturmuş ve bu alaşımlar günümüzde birçok alanda alüminyum, dökme demir, pirinç, bronz gibi konvansiyonel döküm alaşımlarının yerine kullanım alanı bulmuştur (Cowie 1983, Gervais 1987).

Hızlı ve ekonomik döküm imkânlarına sahip olan Zn-Al alaşımları basınçlı döküm yöntemleri ile dökülebilmektedir. %5'in altında Al içeren alaşımlar sıcak kamaralı dökümle üretilebilirken, % 5 'in üzerinde Al içeren alaşımların korozyon sebebiyle soğuk kamaralı dökümü tercih edilmektedir (Goodwin 1989).

% 5 Al içeren Zn-Al alaşımları diğer kompozisyonlara göre en fazla akışkanlık değerlerine sahip olmakla birlikte darbe dirençleri düşüktür. % 3,8 ve aşağısı Al içeren alaşımlar ise düşük döküm kabiliyetlerine ve çekme direncine sahiptir. % 4 civarında Al içeren Zn-Al alaşımları ise en uygun akışkanlık ve mekanik özellik kombinasyonuna sahiptir (Kaye 1982).

Yakın geçmişte Zn-Al alaşımlarının mekanik alaşımlama yöntemi ile üretilebilirliği hakkında çalışmalar da yürütülmüştür. Ataç ve Güral (2013) mekanik alaşımlama süresine bağlı olarak farklı boyutlarda ve farklı kimyasal bileşimlere sahip ZA-8, ZA-12, ZA-27 alaşım tozları üretmiştir. Üretilen bu tozlar 652 MPa basınçta 320 °C de sıcak presleme ve aynı sıcaklıkta sinterleme işlemine tabi tutulmuştur. Orijinal ZA kompozisyonu ile kıyaslandığında üretilen numunelerde % Al oranının beklenenden fazla, % Zn oranının ise beklenenden daha az çıktığı tespit edilmiştir. Bunun muhtemel sebebinin ise Zn'nin Al'den daha fazla oranda oksitlenme eğilimine sahip olduğu belirtilmiştir.

Mekanik alaşımla yöntemi ile üretim yapılan bir diğer çalışmada (Azizi vd 2015) ZAMAK 2 alaşımının toz metalürjisi ile mekanik alaşımlanması gerçekleştirmiş ve

üretilen numuneler içerisinde maksimum 101 HB değerine ulaşmıştır. Azizi çalışmasında bu değer aynı bileşime sahip basınçlı döküm numunesi (130 HB) ve kum kalıba döküm numunelerinin (85 HB) sertlik değerleri ile kıyaslanmış, netice itibariyle mekanik alaşımlama yöntemi ile üretilen numunelerin ara bir değere ulaştığını belirtmiştir.

ZAMAK alaşımlarının Zn döküm alaşımlarına kıyasla %50 daha fazla çekme ve sürünme dayanıma sahip olmaları ticari kullanımda daha fazla tercih edilmelerine sebep olmaktadır (Uğur 2009).

Endüstri uygulamalarında, Zn-Al alaşımları testere ile kesme, matkap ile delme, raybalama, kılavuz çekme, tornalama vb. talaşlı işlemlerde üst düzey özellikler sergilemekte düşük kesme kuvveti, işlem sonrası iyi yüzey kalitesi, düşük aşınma yaratması gibi avantajları sayesinde talaşlı imalatta da kullanım kolaylığı sunmaktadır. (ASM Handbook 1992).

Zn-al alaşımları ile ilgili problemlerden öne çıkanlar ise şu şekilde sıralanabilir (Gervais 1985, Rachev 1991, Dominguez 2002).

1. Düşük ergime sıcaklığı dolayısı ile oda sıcaklığı civarındaki sıcaklıklarda sınırlı kullanım aralığı,
2. Isıl işlem sırasında farklı fazlarda meydana gelen metalürjik belirsizlikler,
3. Yaşlandırma işlemi sonrasında meydana gelen boyutsal değişiklikler.

2.2 Zn-Al Alaşımlarının Kimyasal Bileşimleri

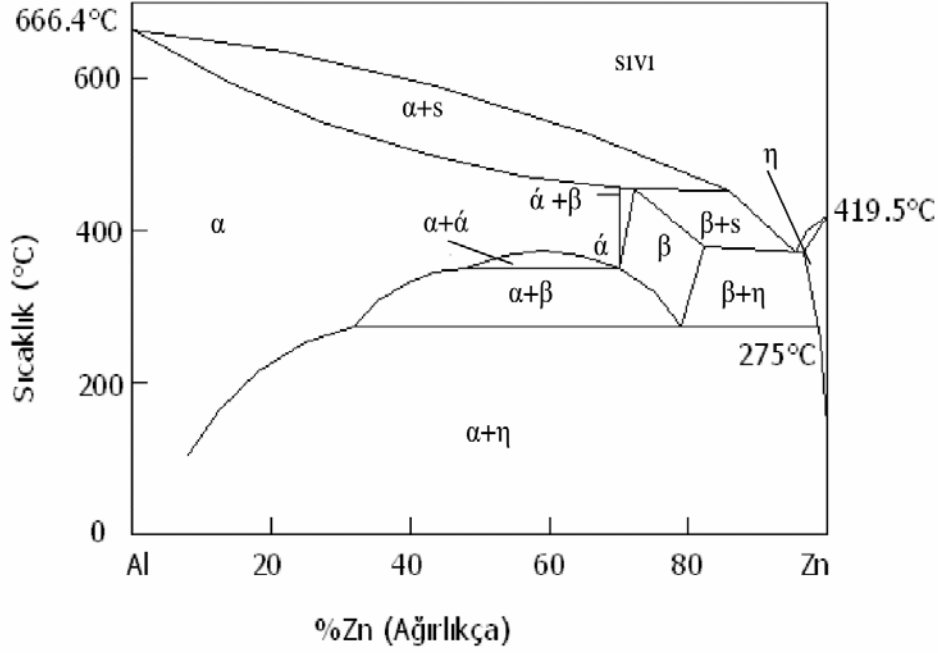
Zn-Al alaşımlarından ZA alaşımları içerdikleri ağırlıkça % Al bileşimlerine göre isimlendirilmekte ve % 8 Al içeren alaşım ZA-8, % 12 Al içeren alaşım ZA-12 ve % 27 Al içeren alaşım ise ZA-27 olarak adlandırılmaktadır. ZAMAK alaşımları ise %4 civarında Al içermektedir. Bu değer ilave olarak ZAMAK-2 alaşımı içerdiği %3 Cu ve ZAMAK 5 alaşımı ise içerdiği % 1 Cu ile ZAMAK-3'ten farklılık göstermektedir. Hala kullanılmakta olan bir diğer Zn-Al alaşımı olan ILZRO 16 ise çok düşük miktarlarda Al, Cr, ve Ti bulundurmakta ve hiç Cu bulundurmamaktadır. Bu çalışmanın konusunu oluşturan ZAMAK 5'in diğer Zn-Al alaşımları ile kimyasal bileşimleri arasındaki farklar çizelge 2.1.'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Zn-Al esaslı alaşımlarının ASTM B 86 ve B 791 döküm standartlarına göre % ağırlıkça kimyasal bileşimleri

8	Al	Cu	Mg	Ti	Cr	Fe maks	Pb maks	Cd maks	Sn maks	Zn maks
ZAMAK 2	3,5-4,3	2,6-3,0	0,025-0,05	-	-	0,100	0,003	0,004	0,003	Kalan
ZAMAK 3	3,5-4,3	0,25 maks.	0,02-0,05	-	-	0,100	0,005	0,004	0,003	Kalan
ZAMAK 5	3,5-4,3	0,75-1,25	0,03-0,08	-	-	0,100	0,005	0,004	0,003	Kalan
ILZRO 16	0,01-0,04	-	0,02	0,15- 0,25	0,1- 0,2	0,004	0,005	0,004	0,003	Kalan
ZA 8	8,0-8,8	0,8-1,3	0,015-0,030	-	-	0,075	0,006	0,006	0,003	Kalan
ZA 12	10,5-11,5	0,5-1,2	0,015-0,30	-	-	0,075	0,006	0,006	0,003	Kalan
ZA 27	25-28	2,0-2,5	0,010-0,02	-	-	0,075	0,006	0,006	0,003	Kalan

2.3. Zn-Al İkili Denge Diyagramı

Zn-Al alaşımlarının kullanım alanlarının artmaya başladığı yıllardan itibaren ikili denge diyagramı üzerinde çalışmalar başlatılmış, Prensyaakov ve arkadaşları (1961) tarafından diyagramın genel hatları oluşturulmuştur. Daha sonra Goldak ve Parr'ın (1963) çalışmaları neticesinde ise Şekil 2.1' de görülen son haline ulaşmıştır.



Şekil 2.1. Çinko-Alüminyum ikili denge diyagramı

Zn-Al ikili denge diyagramında görüldüğü gibi artan Al miktarı ile alaşımın ergime noktası ve katılaşma aralığı değişmektedir (Campbell 2011). Zn-Al ikili sisteminde; %70 Zn ve 443 °C'de peritektik, %94.9 Zn ve 382 °C'de ötektik ve 275 °C'de %78 Zn değerinde ötektoid dönüşümler meydana gelir (Türk 1996).

2.4 Zn-Al Alaşımlarının Mikroyapısı

Zn-Al alaşımları çinkoca zengin η (eta) ve alüminyumca zengin α (alfa) fazından oluşmaktadır (Prasad 1997a). (α) fazı yüzey merkezli kübik (YMK) yapıya sahip olmakla birlikte (η) fazı idealden daha büyük bir c/a oranıyla fazı hegzagonal sıkı paket (HSP) yapıda bulunur (Prasad 1997b). Yüzey merkezli kübik yapıların çok iyi süneklik davranışı sergiledikleri ve HSP yapıların malzemelerin sıvanma kabiliyeti sağladıkları ve katı yağlayıcı olarak görev yapmalarına imkân tanıdıkları yapılan çalışmalar ile netleştirilmiştir (Prasad 2000a).

2.5. ZAMAK Alaşımlarının Mikroyapısı

Zn-Al alaşımlarından ticari öneme sahip ZAMAK-2, ZAMAK3 ve ZAMAK 5 alaşımları Zn-Al denge diyagramında ötektik altı bileşime sahiptirler. Ötektik altı bileşim sebebiyle katılaşması sıvı içerisinde çinkoca zengin η (eta) dendritlerinin oluşması ile başlar. Bu dendritlerin büyümesi ötektik sıcaklığa (382 °C) kadar devam eder ve katılaşma ötektik sıcaklığa ulaşıldığında bu dendritler etrafından β (beta) + η (eta) ötektik dönüşümü meydana gelir (Çizelge 2.2.). β fazı 275 °C'nin altında kararlı olmayıp ötektoid dönüşüm ile α + η fazlarına dönüşür. Bu nedenle ZAMAK alaşımlarının oda sıcaklığı mikro yapıları, α + η ötektik matrisi içerisinde ki η dendritlerinden oluşmaktadır (Türk 1996).

Çizelge 2.2. İkili çinko-alüminyum alaşım sistemindeki önemli dönüşümler (Türk 2006, Pürçek 1994)

Dönüşüm	Çinko Oranı (%)	Sıcaklık (°C)
Ötektik $L \leftrightarrow \beta + \eta$	95	382
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

2.6. Zn-Al Alaşımlarının Fiziksel Özellikleri

Zn-Al alaşımlarının fiziksel özellikleri ve karşılaştırmaları çizelge 2.3. de verilmiştir.

ZAMAK 3 ve ZAMAK 5'in ergime noktası 380°C dereceden başlayıp, 6 °C'lik bir katılaşma aralığı sahiptirler. ZAMAK-2'nin ise ergime sıcaklığı 379 °C'den başlamakta ve 11 °C'lik katılaşma aralığı bulunmaktadır. ZA-8 alaşımı için likidüs sıcaklığı 404 °C iken ergime sıcaklığı 375°C katılaşma aralığı ise 29 °C dir. Bu değerler; ZA-12 için 432 °C, ve 55 °C, ZA-27 için ise 484 °C ve 109 °C'dir. Alaşım içerisindeki Al miktarının artması ile birlikte ZA alaşımlarının elektrik iletkenliği, ısıl iletkenlik, spesifik ısı ve soğuma aralığının arttığı görülmektedir (Gervais 1985).

Çizelge 2.3. Zn-Al alaşımlarının fiziksel özellikleri (Gervais 1985, Nyrastar 2013)

Alaşım	Yoğunluk g/cm ³	Ergime Aralığı, °C	Isıl Genleşme Katsayısı, $\mu\text{m/mK}$	Isıl İletkenlik, W/mK	Elektrik İletkenliği, IACS	Elektriksel Direnc, $\mu\text{/cm}$
ZAMAK 2	6,8	379-390	27,8	105	25	6,85
ZAMAK 3	6,6	381-387	27,4	113	27	6,37
ZAMAK 5	6,7	380-386	27,4	100	26	6,54
ZA 8	6,3	375-404	23,2	115	27,7	6,2
ZA 12	6,3	377-432	24,1	116	28,3	6,1
ZA 27	5,0	375-484	26,0	125,5	29,7	5,8

2.7. Zn-Al Alaşımlarının Mekanik Özellikleri

Son yıllarda üretim endüstrisinde Zn alaşımları gibi yüksek aşınma direncine sahip malzemelere ihtiyaç artmıştır (Nilsson 2002).

ZAMAK alaşımlarının normal Zn döküm alaşımlarına göre % 50 daha fazla çekme dayanımı ve daha yüksek sürünme dayanımına sahip olması da bu alaşımların tercih edilmelerine sebep olmaktadır (Şekil 2.2.) (Uğur 2009).

Ticari Zn-Al döküm alaşımı olan ZAMAK-5 bir arada sağladığı iyi süneklik ve sertlik değerlerinin yanı sıra mükemmel son işlem kabiliyetlerine sahiptir (Wu 2016).

Bütün Zn bazlı alaşımlar SAE 660 bronzundan düşük sürtünme katsayısı ve yüksek aşınma direncine sahiptir; deneysel çalışmalar göstermiştir ki Zn bazlı alaşımların aşınma davranışları Archhard's denklemi ile tutarlılık göstermektedir (Pürçek 2002).

Yükleme koşulları aşınma miktarında önem arz eder. Statik yükleme koşullarında ham döküm Zn bazlı alaşımlar aynı ısıl işlem görmüş muadillerine oranla daha yüksek aşınma direnci göstermektedirler. Dinamik yükleme koşullarında bu durum tam tersine döner (Savaşkan 2002).

S. Sandlöbes ve arkadaşlarının (2016) ZAMAK 5 bileşimine çok yakın değerlerde Al Cu ve Mg içeren ($Zn_{4.3}Al_{0.59}Cu_{0.31}Mg$) Zn-Al-Cu-Mg alaşımlarının yaşlandırma süreçlerini anlamaya yönelik çalışmalar gerçekleştirmiştir. Söz konusu çalışmada alaşımın oda sıcaklığında ve 85°C deki akma, kopma mukavemeti incelemiş ve oda sıcaklığında 157 MPa olan kopma mukavemeti değerlerinin 85 °C 'de 133 MPa gerilediğini tespit etmişlerdir. Zn – Al esaslı alaşımlarda, sıcaklığın artması ile çekme mukavemetinde meydana gelen azalmayla paralel olarak her alaşımın sünekliği önemli miktarda artış göstermektedir (Türk 1996).

Zn-Al alaşımları içerisinde. % 4'lük alüminyum içeriğine sahip olan ZAMAK 3 alaşımı mükemmel darbe direnci ve devam eden uzun süreli iyi boyutsal kararlılık göstermektedir. Bununla beraber aynı bileşimde olan fakat bakır içeriği daha fazla olan ZAMAK 5 alaşımı ise daha yüksek çekme dayanımı ve sürünme direncine sahiptir (Uğur 2009) Diğer Zn-Al alaşımları ile kıyaslandığında Zn-%5 Al alaşımı daha sünek olduğundan dolayı oda sıcaklığında ECAP (Equal-Channel angular pressing) işlemine tabi tutulabilmektedir (Pürçek 2004).

Morgül (2003) çalışmasında ZA-27 alaşımı ile sırasıyla 0,1MPa, 100MPa ve 150MPa basınç altında gerçekleştirdiği dökümlerin ardından, basınç artışına paralel olarak eriyik metal ile kalıp arasındaki ısı transfer kat sayısının arttığı, numunelerin sertlik ve çekme dayanımlarında artış meydana geldiğini tespit etmiştir.

Türk (2006) 0,5 ms⁻¹, 1 ms⁻¹, 1,3 ms⁻¹, 1,7 ms⁻¹ ve 2 ms⁻¹ kayma hızlarında ve 30N ve 45N yük altında yatak bronzu ve ZA-8 alaşımlarının aşınma dayanımlarını karşılaştırdığı çalışmasında ZA-8 alaşımının yatak bronzu (SAE 660)'dan daha iyi aşınma dayanımına sahip olduğunu tespit etmiştir (Çizelge 2.4.).

	ÇİNKÜ												ALÜMİNYUM		PİRİNÇ		BRONZ	DÖKME DEMİR
	Zamak 3	Zamak 5	ZA-8		ZA-12			ZA-27		356-T6	380	319	SAE40	SAR660	SAE64	GG30	32510	
	Basınçlı	Basınçlı	Kodlu	Basınçlı	Kodlu	Basınçlı	Kodlu	Basınçlı	Basınçlı	Kodlu	Basınçlı	Kodlu	Kum	Kum	Kum	Kum	Kum	
Özellik	-	-	85.5	85.5	82.7	82.7	82.7	77.9	77.9	72.4	71	74	83	100	80	90-113	172	
Elastisite Modülü (GPa)	-	-	85.5	85.5	82.7	82.7	82.7	77.9	77.9	72.4	71	74	83	100	80	90-113	172	
%Uzama	10	7	1-2	8	1.5	2.2	5	4.5	2.5	5	3.5	2	30	20	20		10	
%0.2 Akma Dayanımı (MPa)	-	-	208	290	-	268	320	365	371	186	158	124	117	124	124	124	221	
Çekme Dayanımı (MPa)	283	331	240	374	299	338	404	421	426	262	324	185	255	240	240	214	345	
Brimel Sertlik	82	91	85-90	103	94	89	100	90	119	80	80-85	70	60	65	60	210	110-156	
Basma Akma Dayanımı (MPa)	414	600	210	252	230	234	269	330	359	172.5		131	258.8	317.4	324	752		
Kırılma Tokluğu MPa √m	13.3	-		216	14.5	-	14.4	23.7	20.2									
Darbe Direnci (J)	58 ¹	6,5 ¹	20	42 ¹	26 ¹	20	29 ¹	48 ¹	12 ¹	8 ¹	3 ¹	4 ¹	15 ¹	8 ¹	15 ¹		54-88 ²	
Yorulma Dayanımı 5x10 ⁷ Çeyrim (MPa)	48	56,5	52	103	103	-	117	172	117	58.7	138	69	75.9	110.4	897	96.5	193	
Kayma Dayanımı (MPa)	214	262	242	275	253	296	292	325	325	207	185	150				276	310	

Çizelge 2.4. Zn-Al alaşımları ve bazı döküm malzemelerinin mekanik özellikleri (Türk 1996)

Zn bazlı alaşımların ana avantajları; düşük maliyetleri, yüksek aşınma ve sürünme dirençleri, büyük yüklemelere karşı dayanımları ve kuru işleme kabiliyetleri olarak özetlenebilir (Murphy 1984, Prasad 1997c, Prasad 2000b).

Yatak malzemesi için en uygun özelliklere sahip malzemeler olan ZAMAK alaşımlarının yüksek bakır içeriği, malzemenin iyi boyutsal kararlık ve bununla beraber düşük darbe direnci değerleri göstermesine neden olmaktadır. ZAMAK 3 alaşımı bu alanda çok kullanılan basınçlı döküm alaşımları olup, dayanım, boyutsal kararlılık, % kopma uzama, ekonomiklik ve benzer özellikler açısından en iyi kombinasyonu oluşturan Zn-Al alaşımıdır (Uğur 2009).

2.8. Alaşım Elementlerinin Zn-Al Alaşımlarına Etkileri

Alaşım elementlerinin Zn-Al alaşımlarına olan etkisi konusunda Wu (2016) şöyle demiştir.

“Yapılan çalışmalarda Zn-Al alaşımlarının mekanik özelliklerini geliştirmenin en etkili yolunun alaşım elementi ilavesi olduğu ispatlanmıştır”.

Alüminyum

Zn-Al Denge Diyagramında ötektik reaksiyon %94,9 Zn oranında meydana gelmektedir. Örnek olarak Uğur'un (2009) 'Basınçlı Döküm Yöntemi İle Üretilen Zn-Al Esaslı Alaşımların Mikroyapı Ve Mekanik Özelliklerine Alaşım Elementlerinin Etkisi' isimli çalışmasında % 7.18 Al içeren alaşımın XRD paterninde alaşımın sadece Zn ve Al'ca zengin fazlardan meydana geldiği ve bunun dışında herhangi bir metaller arası bileşik olmadığını tespit etmiştir. Uğur (2009), ötektik üstü bileşimlerde primer β fazı dendritik morfolojide oluştuğunu belirtmekle birlikte, primer β dendritlerin çevresi ise $\alpha + \eta$ ötektik yapısı ile (α , Al'ca zengin; η , Zn'ce zengin) çevrelendiğini bulgularında ifade etmiştir. Ötektoid dönüşüme uğrayan β dendritlerin içerisinde lameler bir morfolojinin hâkim olduğu ve ortalama dendrit boyutunun alüminyum oranı arttıkça yaklaşık 5-10 μm aralığında arttığı ayrıca bu çalışmada sunulmuştur.

Türk (1996), %0,028 oranında Mg içeren çinko-alüminyum sistemlerinde yaptığı çalışmasında, alüminyum oranı % 5 ila % 11 aralığında değiştirilerek üretilen alaşımlardan sertlik değerlerinin 79-100BSD, çekme mukavemeti değerlerinin ise 213 MPa – 241 MPa arasında olduğu tespit etmiştir. Buna göre artan Al miktarına bağlı olarak sertlik ve çekme mukavemeti değerlerinin de arttığı tespit edilmiştir.

Ataç vd (2014) mekanik alaşımlama ile hazırlanan ve farklı bileşimlere sahip ZA alaşım tozlarının 320°C'de şekillendirildiği ve 2 saat süre ile sinterlendiği çalışmada, artan Al oranı ile birlikte sertlik değerlerinin artış gösterdiği ve değerler 78HV ile 145 HV arasında değişiklik gösterdiği belirtilmiştir.

Bakır

Çinko içerisinde bakırın çözünürlüğü çok sınırlı olmasına rağmen, Zn-Al alaşımlarında Al miktarına bağlı olarak bakırın çözünürlüğü artmaktadır (Huoghton, 1984). Zn-Al esaslı alaşımlara bakır, mukavemet ve sertliği arttırmak amacıyla ilave edilmektedir. %2 ye kadar Cu ilaveleri çekme mukavemetini ve sertlikte artmaya sebep olur iken, % uzama değerini azaltır. Ayrıca, bakır ilaveleri sürünme ve korozyon direncini arttırmaktadır (Gervais 1980, Apelian 1981).

T. Savaşkan ve arkadaşlarının (2002) çalışmalarında monoötektoid Zn bazlı alaşımlarda bakır ilavesinin sürünme direncini etkilediği tespit edilmiştir. Dinamik yüklemelerde bakır ilavesine bağlı olarak paralel bir şekilde artış gösterdiği %2'lik ilavelerin üzerinde ise azalma tespit edildiği çalışmada, monoötektoid Zn bazlı alaşımlarda bakır ilavesine bağlı olarak sürünme özellikleri ve sertliğinde etkilendiği belirlenmiştir.

Wu vd (2016) Ham döküm Zn-Al-Cu-Mg alaşımların mekanik davranışlarını inceledikleri çalışmada bakır, Zn-Al alaşımlarının sertlikleri, mukavemetleri ve sürünme dirençlerinin geliştirilmesi adına ilave edilen başlıca alaşım elementlerinden biri olması ile birlikte %2'nin üzerindeki oranlarda bakırca zengin fazlar (ϵ) yüksek sıcaklıklarda boyutsal kararsızlığa sebebiyet verdiği tespit edilmiştir.

Savaşkan (2014) bakır ve silikon ilavesi Zn-Alaşımlarında sertlik ve sıkıştırma mukavemeti değerlerini artırdığını ifade etmektedir. Çekme mukavemeti de bakır ve silikon ilavesi ile artmakla birlikte %3 Cu ve %1 Si değerleri üzerinde bu durum tersine döndüğünün belirtildiği çalışmada, Zn-15Al-3Cu 3'lü ve Zn-15Al-3Cu-Si 4 lü yapılarada Darbe enerjisi ve yüzde uzama değerlerinin bakır ve silikon miktarları arttıkça azalttığı tespit edilmiştir.

Alaşım elementi olarak Bakır oranı % 0.86-2.66 arasında değişen çalışmalarda (Uğur 2009) alaşımların mikro yapısında Zn ve Al'ca zengin fazlar bulunduğu, % 2.2 ve daha fazla bakır içeren alaşımlarda ise, Zn ve Al'ca zengin katı çözeltilere ilaveten CuZn₄ fazının varlığı tespit edilmiştir. CuZn₄ fazı, ϵ fazı olarak da bilinen bir metaller arası bileşik olup, dendritler arası bölgede $\alpha + \eta$ ötektik yapısı ile birlikte bulunmaktadır (Bobic 2003, Mayer 2003, Aashuri 2002).

%2'nin altında bakır içeren alaşımlarda bakır çinkoca zengin η fazı içerisinde yer almakta ve daha yüksek bakır içeren alaşımlarda ise ϵ çökelti fazı olarak ötektik tane sınırlarında bulunmaktadır (Türk 1996) . Türk (1996) çalışmasında ZA-8 alaşımına %0 ila %3 bakır ilavesi yapmış ve bakır miktarındaki artışa paralel olarak sertlik ve çekme mukavemeti değerlerinin de lineer bir şekilde arttığını belirtmiştir.

Uğur (2009) bakır oranı % 0.86-2.66 arasında değişen Zn-Al alaşımlarında % 1.79 değerine kadar artan Cu oranıyla birlikte sertliğin de azaldığını, en düşük sertlik değerinin %1.79 Cu oranına sahip alaşımda ~40HV1 olduğunu belirtmiştir. Çalışmasında daha yüksek oranda Cu ilavesiyle sertliğin yaklaşık 2 kat arttığını belirten Uğur, en yüksek Cu oranına sahip alaşımda sertliğin azalarak ~55 HV1 değerine gerilediğini ifade etmiştir. Cu oranındaki artışa bağlı olarak akma ve çekme dayanımının artış eğilimi gösterdiği, en düşük ve en yüksek Cu oranına sahip alaşımların akma ve çekme dayanımındaki farkın ~%10 seviyesinde olduğunu tespit edilen çalışmada, kopma uzamasının da artan Cu oranına bağlı olarak bir artış eğiliminde olduğu ve en yüksek Cu oranında (%2,7) en yüksek kopma uzaması değerinin elde edildiği vurgulanmıştır.

Magnezyum

Çinko magnezyum içerisinde maksimum %6,2 oranında çözünmektedir. Çinko içerisindeki Mg çözünürlüğü ise çok azdır. Bu durum Zn-Al esaslı alaşımlarda da benzer şekildedir. Örneğin Zn-Al ötektoid alaşımında 275 derecede Mg çözünürlüğü % 0.025 iken bu değer oda sıcaklığında çok daha düşüktür. Genellikle Mg, Zn-Al alaşımlarından, %0,002–0,1 oranlarında alaşım elementi olarak ilave edilmelidir (Houghton 1984).

Wu vd (2016) Zn- Al alaşımlarında Mg miktarının artırılması Mg_2Zn_{11} fazı çökelmeye uğradığını ve ötektoid fazda ince lamelli yapı halinde bulunduğunu tespit etmiştir. Ayrıca orta miktarda Mg içeriğine sahip alaşımların (%0.21 gibi) oda sıcaklığında ve yüksek sıcaklıklarda en yüksek akma mukavemetine sahip olduğu ve ayrıca Mg içeriği $ZnAl_4Cu_1$ (ZAMAK5) bazlı alaşımlarda özellikle yüksek sıcaklıklarda sünekliğin artmasını sağladığı bu çalışmada belirtilmiştir.

Zn-Al alaşımlarını Mg ile alaşımlandırmak sertlik ve mukavemet değerlerini arttırmasının yanı sıra ötektoid yapının ince lamelli olmasını sağlar (Wu 2016).

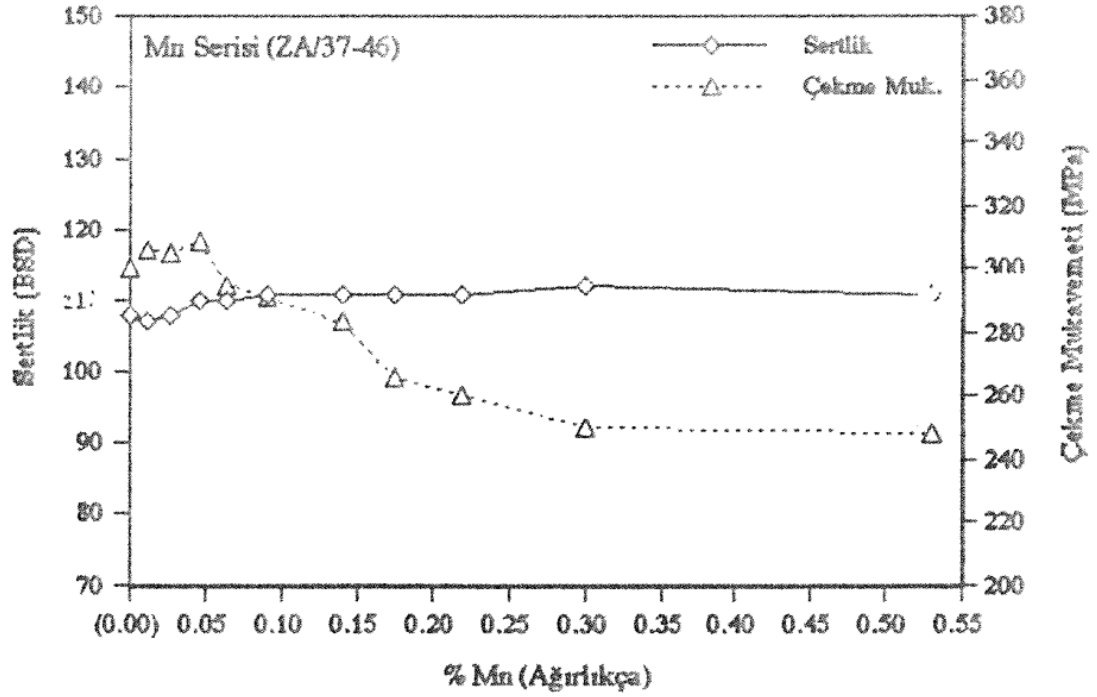
Zn-Al esaslı alaşımlara ilave edilen Mg, sertlik, çekme mukavemeti ve sürünme dayanımını arttırmaktadır. Bununla beraber Pb, Cd, ve Sn gibi empüritelerin nemli ortamlarda sebep olduğu taneler arası korozyonu engellemektedir (Ayık 1987).

Uğur (2009), ZA alaşımına, % 7.18-10.48 arasında Al, %0.86-2.66 aralığında Cu, % 0.009-1.19 Mg ilave edilerek yapılan çalışmalarda Mg oranı, % 0.009-1.19 arasında değişen Zn-Al alaşımlarında artan Mg oranına bağlı olarak sertlik değerlerinin de artış eğiliminde olduğunu belirtmiş ve en yüksek sertlik değerinin (~95HV1), en yüksek oranda Mg (%2,66) içeren alaşımda elde edildiğini tespit etmiştir. Buna karşılık, çekme dayanımı değerinin, artan Mg oranına bağlı olarak azalma eğilimi gösterdiği ve en yüksek ve en düşük çekme dayanımı değerleri arasındaki farkın ~%17 düzeyinde olduğu ifade edilmiştir. Akma dayanımında ise artan Mg oranına bağlı olarak sistematik bir değişim belirlenmemiştir.

Manganez

Manganez saf çinko içerisinde çok düşük miktarlarda çözünürlüğe sahiptir. 400°C'de %0,8 olan Mn çözünürlüğü oda sıcaklığında daha da azalmaktadır. Zn-Al esaslı alaşımlarda ise, Mn çözünürlüğü çok daha düşük değerlerdedir. ZAMAK -3 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 bulunur (Houghton 1984). L'Esperance (1993) bu intermetalik fazların ortorombirik kristal yapıdaki Al_3Mn ve Al_6Mn olduğu belirlemiştir.

Türk (1996), ZA-8 alaşımına %0,01 - %0,53 aralığında Mn ilave edilerek gerçekleştirdiği çalışmada ZA-8 alaşımının sertliğinin bu elementinin ilavesine bağlı olarak önemli ölçüde değişmediği çekme mukavemetinin ise %0,045 oranına kadar bir miktar arttığı fakat %0,045 oranının üzerindeki Mn ilavelerinde mukavemet değerlerinin hızla azaldığı belirtilmiştir (Şekil 2.2.).

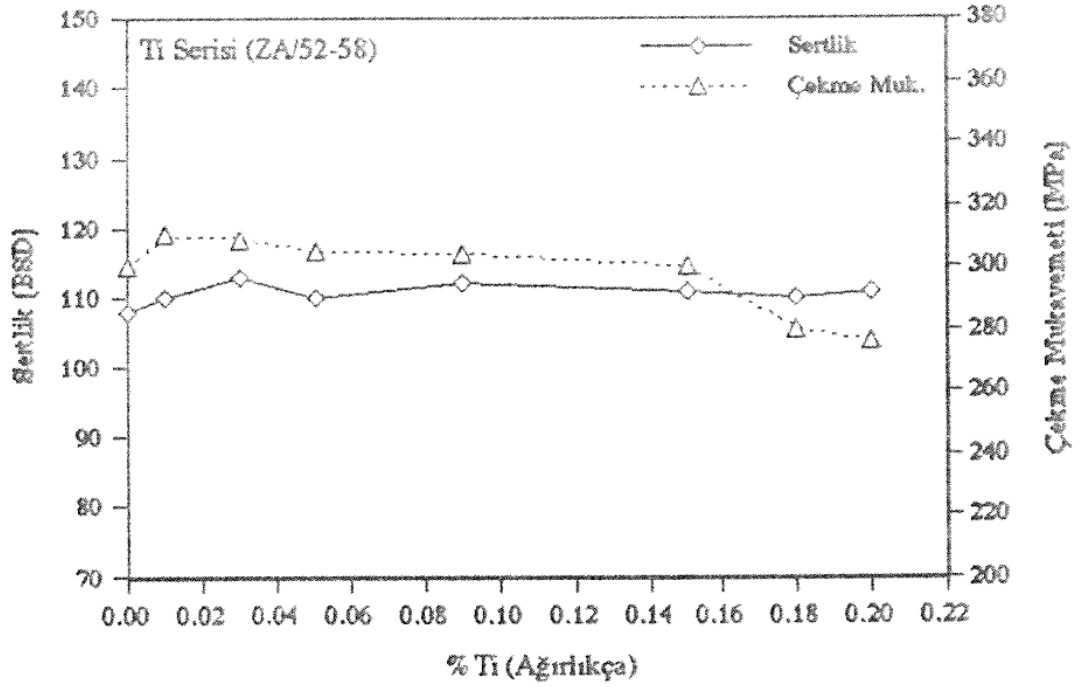


Şekil 2.2. ZA-8'e % 0,01 – 0,53 aralığında Mn ilavaesi ile değişen sertlik ve çekme dayanımı değerleri (Türk 1996)

Titanyum

Ti, Zn içerisinde çok sınırlı bir çözürlüğe sahiptir ve %0,11 Ti bileşiminde Zn ile Zn- TiZn₁₅ ötektikini meydana getirir. Çok az miktarlardaki Ti ilavelerinin Zn alaşımlarının çekme mukavemeti ve sertlik değerleri üzerinde önemli bir etkisinin bulunmadığı, fakat sürünme dayanımını önemli oranda artırdığı belirlenmiştir. Sürünme dayanımındaki bu olumlu etki, tane sınırlarında oluşan ince TiZn₁₅ intermetalikinin varlığı ile açıklanmıştır (Houghton 1984, Morgan 1977).

Türk 1996 “Yeni Çinko Alaşımlarının Üretilmesi” isimli doktora tezi çalışmasında ZA-8 alaşımına %0,01-%0,2 oranları arasında Ti elementi ilave etmiştir ve sertliğin %0,003 oranına kadar bir miktar (5 BSD) arttığı, bu oranın üzerindeki ilavelerde ise önemli ölçüde bir değişiklik meydana gelmediği belirtilmiştir. Benzer şekilde bu çalışmada ZA-8'e %0,01 - %0,09 aralığında ilave Ti çekme mukavemeti değerlerini 4-10 MPa arasında arttırmakta fakat Ti içeriğinin %0,15 olduğunda çekme mukavemeti değerlerinin ZA-8'le aynı değerlere gerilediği tespit edilmiştir (Şekil 2.2.).



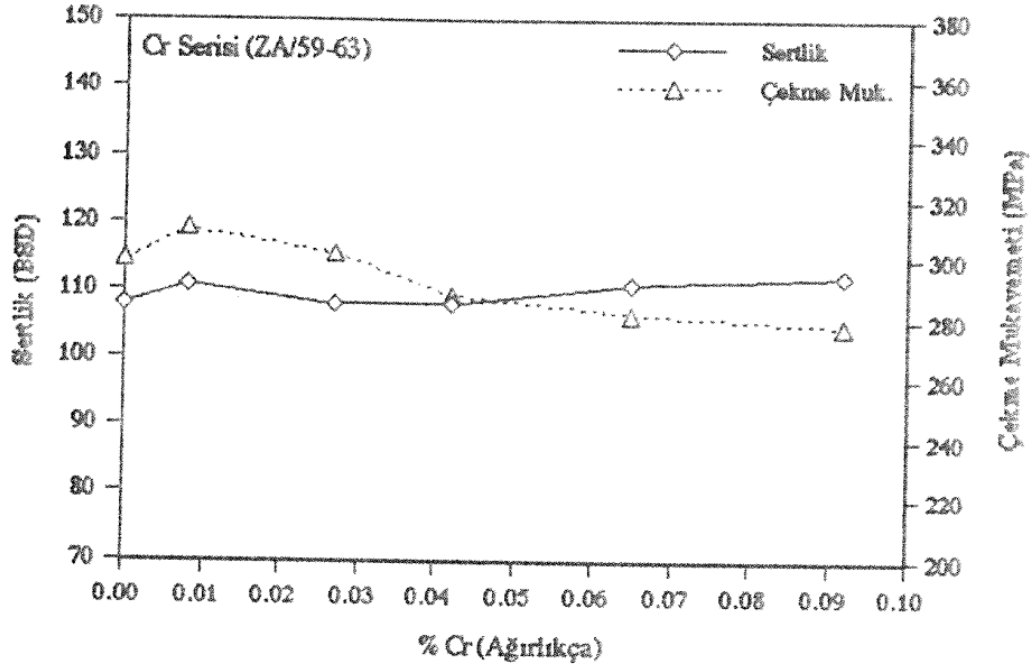
Şekil 2.3. ZA-8'e % 0,01 – 0,2 aralığında Ti ilavesi ile değişen sertlik ve çekme dayanımı değerleri (Türk 1996)

Krom

Kromun çinko içerisindeki çözünürlüğü ihmal edilebilir boyutlardadır ve Zn-Al esaslı alaşımlarda $CrAl_4$, $CrAl_7$ intermetalik bileşikler olarak mikroyapıda bulunabilir (Durman, 1988).

Lamberighs ve arkadaşları (1987) ZA-27 alaşımına %0,1 Cr ilave ederek sürünme deneyleri gerçekleştirmiştir. Deneyler neticesinde dayanımında önemli bir değişikliğin meydana gelmediğini, fakat alaşımın çekme mukavemetinin arttığını tespit etmişlerdir. Ayrıca, katılma esnasında kromun aşıl原因ıcı etkisi olduğunu ve yapının ince taneli olmasına sebep olduğu belirtilmiştir.

ZA-8 alaşımına %0,01 - %0,1 oranları arasında Cr elementi ilave edilerek gerçekleştirilen çalışmalarda (Türk 1996) üretilen alaşımların sertlik değerlerinde önemli ölçüde değişiklik meydana gelmediği belirtilmiş olmakla birlikte, az oranda (%0,008) ilave edilen Cr, standart ZA-8 alaşımının mukavemetini 10MPa arttırdığı ifade edilmiştir. Ek olarak % 0,008 oranının üzerindeki krom ilavelerinin mukavemet değerini olumsuz yönde etkilediği belirtilmiştir (Şekil 2.4.).



Şekil 2.4. ZA-8'e Cr ilvaesi ile değişen sertlik ve çekme dayanımı değerleri (Türk 1996)

Aydın (2008) Zn-Al esaslı ZA-12 alaşımına Cr ilavesinin Mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisini incelediği çalışmada Cr alaşım elementinin ZA-12 alaşımının sertlik değeri üzerinde artışa neden olurken, darbe direncinin sadece % 0,01 Cr içeren ZA-12 alaşımı için arttığı, üzerindeki ilavelerde ise önemli ölçüde azaldığını tespit etmiştir. Söz konusu çalışmada %0.03 oranına kadar ilave edilen Cr elementinin standart alaşımın çekme ve yorulma mukavemetini artırırken, yüksek oranlardaki ilavelerin alaşımın mukavemet değerlerini önemli miktarda düşürdüğü gözlemlenmiştir. Yapılan metalografik çalışmalarda, kromun mikroyapıda kompleks şekilli partiküller halinde bulunduğu tespit edilmiş, bu partiküllerin ZA-12 alaşımının çekme mukavemeti, yorulma mukavemeti ve darbe direncinde azalmalara sebep olduğunun düşünüldüğü belirtilmiştir.

Diğer Elementler

Yapılan çalışmalarda (Sahoo, 1985) 1A (Li, Na K ve Cs) ve 2A(Be, Ca, Sr ve Ba) grubu elementlerin % 0.02 – 0.1 aralığında ilave edilmesi ile, Zn-Al alaşımındaki çekilme boşluğunun önlenebileceği belirtilmiştir. Çekilme boşluğunu elemine etmek amacıyla gerçekleştirilen çalışmalarda (Sriram, 1992) ise ilave edilen Ca ve Na gibi elementlerin çekme mukavemeti üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı fakat darbe dayanımını bir miktar azalttığı tespit edilmiştir.

Türk (1996) “Yeni Çinko Alüminyum Esaslı Alaşımın geliştirilmesi” isimli çalışmada ZA-8 alaşımına % 0,13 - % 1,10 aralığında ilave edilen Si oranının artışına bağlı olarak sertlik değerlerinin artış göstermediğini, çekme mukavemetinin ise önemli miktarda azaldığını vurgulamıştır. Yine aynı şekilde ZA-8 standart alaşımına % 0,01 - %

0,07 aralığında ilave edilen Li ilavesinin sertlik değerlerinde 3-6 BSD lik bir artış gerçekleştirdiği gözlemlenmiştir. %0,0028 oranına kadar Li ilavesinin çekme mukavemeti değerlerinde ise önemli ölçüde bir azalma, % 0,049 ve % 0,067 Li oranlarında ise ZA-8 standart değerlerinin yaklaşık 10 MPa üzerine bir artış sağladığı gözlemlenmiştir.

Türk (2006) bir diğer çalışmada ise % 1 Pb, % 1 Sn ve % 1 Cd içeren ZA-8 alaşımlarının 45 ve 30 N yük altında $0,5 \text{ ms}^{-1}$, 1 ms^{-1} , $1,3 \text{ ms}^{-1}$, $1,7 \text{ ms}^{-1}$ ve 2 ms^{-1} kayma hızlarında aşınma davranışlarını incelemiş % 1 Pb, % 1 Sn ve % 1 Cd ilaveli alaşımlarının standart ZA-8 alaşımına göre daha düşük sıkıştırma mukavemeti ve sertlik değerlerine sahip olduğunu tespit etmiştir. Ayrıca Pb ilavesinin 30 ve 45N'lük yüklemelerde tüm aşınma hızlarında, Cd ilavesinin ise sadece 45N'lük yüklemelerde ZA-8 alaşımına göre daha yüksek aşınma direnci gösterdiğini belirlemiştir. Buna karşılık Sn ilavesinin çalışmanın tüm deney koşullarında ZA-8 standart alaşımlarına göre daha düşük aşınma direnci gösterdiği belirlenmiştir.

Zn-Al alaşımlarına % 1 Si ilavesi akma mukavemeti, sertlik ve sürünme direncini arttırmaya karşın süneklik değerlerini düşürmektedir (Pürçek 2002).

Yapıda empurite olarak bulunan demir, FeAl3 metallerarası bileşimini oluşturarak darbe dayanımı ve % uzama değerlerinin düşmesine neden olmaktadır. Bundan dolayı demir bileşiminde maksimum % 0.075 olmalıdır (Barnhurst, 1985).

Çağlar ve Kurnaz (2003) ZA-12 alaşımına % 1 - % 8 aralığında Ti-B (Titanyum-Bor) alaşım elementi ilavesinin etkisini inceledikleri çalışmalarında % Ti-B oranı arttıkça sertlik ve çekme değerlerinin de arttığını belirlemişlerdir.

Sahar (2007) ise ZAMAK 5 alaşımına 4, 8, 12 adet çelik tel takviyesi kullanmış ve her tip takviyeli alaşım için çentiksiz 3 nokta eğme deneyi, basma deneyi ve çekme deneyi uygulamıştır. Deney neticelerine göre, eğilme dayanımları 4, 8, 12 li tel takviyeli alaşımlarda takviyesiz alaşıma göre sırasıyla %3, %14, %35 oranında, basma dayanımı değerleri ise % 18, % 32, % 58 oranında arttığını belirtmiştir (Çizelge 2.4.).

Çizelge 2.5. Takviyesiz ve sürekli çelik tel takviyeli ZAMAK-5 alaşımının mekanik özellikleri (Sahar 2007)

	Takviyesiz	Bir Tel Takviyeli	4 Tel Takviyeli	8 Tel Takviyeli	12 Tel Takviyeli
Eğme dayanımı (MPa)	361.8	-	374.8	413.5	487.3
Basma Dayanımı (MPa)	512	-	605	676	810

2.9. Za-Al Alaşımlarının Kullanım Alanları

Son yıllarda otomotiv üretim sektörü gibi son derece rekabetçi bir ortamın bulunduğu ve müşterin sürekli olarak ürün yenilemeleri beklediği üretim sektörlerinde imalat süreleri kısaltmakta ve sıklıkla yeni ürünler piyasa sürülmekte. Bu sebeple üretim

parçalarının ucuzlatılması için yeni alternatif malzemelerin kullanılması gerekmektedir (Nilsson 2002).

Pek çok mühendislik ve tribolojik uygulamada CuSn12 bronz, dökme demir ve alüminyum alaşımlarından daha üstün özellikler sergileyen Zn-Al esaslı alaşımlar geleneksel yatak malzemelerinin yerini almaktadır (Hanna 1997, Prasad 1996a, Prasad 1996b, Lee 1987, Savaşkan ve Pürçek 2000).

Söz konusu alaşımlardan üretilen yataklar çeşitli iş makineleri, kablolu krenler ve hidrolik sistemler gibi değişik mühendislik uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Barnhurst, 1984, Altorfer, 1982, Prasad, 1996b).

Bakır ve silikon barındıran Zn-Al alaşımları ticari yataklama elemanı olarak kullanımı her geçen gün önem kazanmaktadır (Pürçek 2002).

Zn bazlı kaplamalar çeliğin korozyondan korunmasında kritik öneme sahiptir. Çok iyi bilinmektedir ki alaşım elementlerinin ilavesi ile Zn bazlı kaplamaların korozyon dirençleri artırılabilir. Yapılan incelemelerde Zn-Al-Mg alaşımları Zn esaslı kaplamalara nazaran daha iyi korozyon direnci değerlerine sahip olduğu gözlemlenmiştir. 4. Bir alaşım elementi ile bu değerleri daha da iyi hale getirilmesi mümkündür. (Prosek 2016).

Özabdal'ın gerçekleştirdiği bir diğer çalışmada (2014) ise ZAMAK-5 soğuk sarı kaplama ile NaCl ortamında korozyona karşı %55,14 dayanıklı hale getirilmiştir. Bu çalışma kaplama yapılarak ZAMAK-5 alaşımının kullanım alanlarının artırılabilceğini göstermiştir.

Mukevemetli yapısı sebebiyle ZAMAK 5 çekme performansının önemli olduğu kullanım alanlarında hizmet verecek parçaların üretiminde tercih edilmektedir. Yüksek dökülebilirlik özelliği gösteren ZAMAK5, yoğun olarak Avrupa'da kullanılmaktadır. ZAMAK5 alaşımı kaplama, boyama, kromatlama işlemlerine yüksek performansta cevap vermesine rağmen, ZAMAK3'ten pahalı olması nedeniyle karmaşık şekilli parçalarda veya yüzey hazırlamanın zor olduğu parçalarda özellikle tercih edilmelidir (<http://www.nyrstarturkiye.com/ZAMAK5.html> 05/08/2016 16:20).

Kamberoğlu (2011) basınçlı dökümle üretilen ZAMAK 5 e çelik insörtler yerleştirmek suretiyle piyade tüfeğinin kritik bir parçasını üretmiş ve gerçek hayattaki denemelerini gerçekleştirmiştir. Bu kapsamda basınçlı döküm sebebiyle kaynaklanan bazı mekanik eksikliklerin giderilmesi hedeflenmiştir. Darbe temas noktalarına yerleştirilen çelik insörtlerin gerçekleştirilen Charpy darbe deneyi ve sonlu elemanlar analizleri neticesinde ürünün darbe tokluğunu ve dayanımını ciddi miktarlarda artırdığı gözlemlenmiştir.

3. MATERYAL VE METOT

Bu çalışma kapsamında mikroyapı ve mekanik özelliklerin incelenmesi için kokil ve kum döküm, elemental analiz (XRF, ICP-OES), mikroyapı incelemeleri (Optik mikroskop, SEM, EDX), mekanik deneyler (Sertlik, 3 Nokta Eğme, Basma deneyleri) ve soğuma eğrisinin belirlenmesi işlemleri gerçekleştirilmiştir.

3.1. Alaşımların Hazırlanması ve Dökümü

Bu çalışmada baz alaşım olarak külçe halinde temin edilen ve ağırlıkça %3.5-4.5 Al, % 0.75-1,25 Cu, % 0.03-0.08 Mg içeren Zn- Al alaşımı, ticari adıyla ZAMAK 5 kullanılmıştır. Çalışma kapsamında ilave alaşım elementlerinin etkisini incelemek amacıyla 3 element (Ti, Cr, Mn) ağırlıkça 2 farklı orana sahip olacak şekilde (%0,05 Ti, % 0,1 Ti, % 0,1 Cr, % 0,2Cr, % 0,1 Mn, % 0,2 Mn) baz alaşımın kompozisyonuna eklenmiştir. Ti elementi ön alaşımlı (% 10 Ti % 90 Al) külçeden, Cr elementi toz halinde ve Mn elementi ise pul halinde baz alaşıma ilave edilmiştir. Cr ve Mn, ZAMAK 5 külçeden elde edilen toz ile karıştırılarak ve preslenerek pelet haline getirilerek, eriyik ZAMAK 5 alaşımına eklenmiştir.

Alaşım ekleme işlemi iki farklı sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir. Birinci grup numune 450 °C'de 15 saat bekletildikten sonra dökümü yapılmıştır. İlave alaşım elementlerinin sıcaklık etkisiyle çözünmelerini incelemek ve bu durumun mekanik özellikler ile mikroyapıdaki etkisini incelemek amacıyla, ikinci grup numune 650 °C'de 6 saat bekletilip dökülmüştür. Alaşım ekleme işlemi için ZAMAK 5 grafit bir potada PROTHERM marka fırında eritilmiştir. Bu işlemden sonra dökümler 14mm çaplı çelik kalıpta gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.1).



(a)

(b)

Şekil 3.1. a) Ön döküm için kullanılan PROTHERM Furnaces marka fırın
b) 14 mm çaplı döküm kalıbı

Protherm kül fırını 1200 °C'ye kadar ısınabilen ve sıcaklığı elektronik olarak kontrol edilebilen bir fırındır. Eritme işleminin yapıldığı grafit potanın iç yüzeyi ve çelik kalıbın iç yüzeyi Ekamold marka bor nitrür ile kaplanmıştır. Bu işlem, eritme sırasında potanın içine ve döküm esnasında kalıbın iç yüzeyine eriyik metalin yapışmasını önlemekte ve akışkan bir döküm sağlamaktadır. Bu sayede son ürünün yüzeyi pürüzsüz bir şekilde çıkmaktadır.

Mekanik deneyler için uygun boyutlardaki numunelerin döküm işlemi için ise, alaşım eklenerek dökümü gerçekleştirilen numuneler 30 gr olacak şekilde kesilmiş ve indüksiyonlu/vakumlu/atmosfer kontrollü döküm fırınında 450 °C'de eritilerek, 3 bar basınç altında 8 mm çaplı kalıplara tekrar dökülmüştür (2. aşama döküm) (Şekil 3.2). Bu işlem neticesinde 3 nokta eğme deneyi için uygun ebatlarda ve yüzeyi pürüzsüz numuneler elde edilmiştir. Toplam 41 adet 3 nokta eğme deneyi numunesi dökülmüştür. İlave alaşım elementleri ve baz alaşımların numaralandırması Çizelge 3.1. ve Çizelge 3.2.'de verilmiştir. Bazı dökümler numune yüzeylerinde gözenek tespit edilmiş ve kalıp iç yüzeyindeki bor nitrür yenilenerek tekrar dökülmüştür.

Döküm fırınına harici olarak bağlanan bir vakum motoru vasıtasıyla vakum yapılmakta ve soğutucu ile indüksiyon bobinleri soğutulmaktadır. Vakum sonrasında ortama argon gazı basılıp atmosfer kontrolü sağlanmaktadır. Ayrıca döküm esnasında verilen otomatik vibrasyon ve basınç ile hem döküm yapılan eriyik metalin potada kalmasının önlenmesi hem de döküm numunesinin yüzeyinin pürüzsüz, içinin gözeneksiz olması sağlanmaktadır. 2. aşama döküm işlemlerinde de kalıp içerisinde ince bir bor nitrür tabakası oluşturulmuş ve dökümler o şekilde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.2. 8 mm çaplı 3 nokta eğme numunesi kalıbı

Bu çalışma kapsamında ilave alaşım elementine göre (**ZAMAK-5 Baz Alaşım, Ti, Cr ve Mn**) sonuçlar kategorize edilmiştir. 650 °C 'de alaşımlandırılan numuneler **650 Alaşımlandırma**, 450°C'de alaşımlandırılan numuneler **450 Alaşımlandırma** 650°C'de Alaşımlandırılıp 600°C'de Kum kalıba dökümü yapılan numuneler **650 600 Kum Kalıba Döküm** ve 450°C'de Alaşımlandırılıp 600°C'de dökümü yapılan numuneler **450 600 Kum Kalıba Döküm** olarak isimlendirilen koşullara göre ayrıştırılmıştır. Yapılan

sınıflandırmaya göre **Bulgular ve Tartışma** ve **Sonuç** kısımlarında değerlendirmelerde bulunulmuştur.

Çizelge 3.1. 450 °C de alaşımlandırılan numunelerinin numaralandırma tablosu

NUMUNE NO	İLAVE EDİLEN ALAŞIM ELEMENTİ	İLAVE EDİLEN ALAŞIM ELEMENTİNİN DÖKÜM ÖNCESİ AĞIRLIKÇA YÜZDESİ
21	Yok	ZAMAK 5 Standart Bileşim
22	Yok	ZAMAK 5 Standart Bileşim
23	Yok	ZAMAK 5 Standart Bileşim
24	Cr	% 0,1
25	Cr	% 0,1
43	Cr	% 0,1
27	Cr	%0,2
28	Cr	%0,2
29	Cr	%0,2
31	Ti	%0,05
32	Ti	%0,05
42	Ti	%0,05
33	Ti	%0,1
34	Ti	%0,1
35	Ti	%0,1
36	Mn	%0,1
37	Mn	%0,1
38	Mn	%0,1
39	Mn	%0,2
40	Mn	%0,2
41	Mn	%0,2

Çizelge 3.2. 650 °C de alaşımlandırılan numunelerinin numaralandırma tablosu

NUMUNE NO	İLAVE EDİLEN ALAŞIM ELEMENTİ	İLAVE EDİLEN ALAŞIM ELEMENTİNİN DÖKÜM ÖNCESİ AĞIRLIKÇA YÜZDESİ
2	Yok	ZAMAK 5 Standart Bileşim
3	Yok	ZAMAK 5 Standart Bileşim
4	Yok	ZAMAK 5 Standart Bileşim
7	Ti	% 0,1
8	Ti	%0,1
9	Ti	%0,1
12	Cr	%0,2
13	Cr	%0,2
14	Cr	%0,2
17	Mn	%0,2
18	Mn	%0,2
19	Mn	%0,2

Numaralandırma döküm sırasına göre yapılmış olup mekanik deneyler, mikroyapı incelemeleri, SEM – EDX analizlerinde süreç takibi için kullanılmıştır. Bozuk yüzeye

sahip numuneler değerlendirmeye alınmamış ve numaralandırma tablolarında verilmemiştir.

Farklı koşullarda dökümleri gerçekleştirilen numunelerin döküm koşullarını içeren tablo aşağıda sunulmuştur.

Çizelge 3.3. Deney numunelerinin deney koşulları tablosu

İlave Edilen Alaşım Elementi	İlave Alaşım Elementinin Ağırlıkça Yüzdesi	Alaşım Sıcaklığı (°C)	Döküm Sıcaklığı (°C)	Kullanılan Kalıp Türü
Yok	ZAMAK 5 Standart Bileşim	450	450	Kokil
Yok	ZAMAK 5 Standart Bileşim	650	650	Kokil
Yok	ZAMAK 5 Standart Bileşim	450	600	Kum
Mn	%0,1	450	450	Kokil
Mn	%0,2	450	450	Kokil
Mn	%0,2	450	600	Kum
Mn	%0,2	650	650	Kokil
Mn	%0,2	650	600	Kum
Cr	%0,1	450	450	Kokil
Cr	%0,2	650	650	Kokil
Cr	%0,2	650	600	Kum
Cr	%0,2	450	600	Kum
Ti	% 0,05	450	450	Kokil
Ti	% 0,05	450	600	Kum
Ti	% 0,1	650	650	Kokil
Ti	% 0,1	650	600	Kum
Ti	% 0,1	450	600	Kum



Şekil 3.3. Yüzeyi bozuk numune örneği



Şekil 3.4. Yüzeyi düzgün numune örneği

3.2. Metalografik Çalışmalar

3.2.1. Mikroyapı incelemesi için numunelerinin hazırlanması

2. aşama döküm numunelerinden 10 mm kalınlığında parçalar kesilmiştir. Parçalar Metkon Metacut M250 marka dairesel karbür kesicide kesilmiştir.



Şekil 3.5. Metkon Metacut M250 Testere

Kesilen numuneler sırasıyla;

- 1- 800, 1200 ve 3000 grit kalınlıktaki silikon karbür zımparalarla Metkon FORCIPOL 2V GRINDER-POLISHER marka polisaj (zımpara) makinasında elde zımparalanmış (Şekil 3.6.),
- 2- 1 μm 'lik elmas pasta ile Metkon FORCIPOL 1V GRINDER-POLISHER marka polisaj (parlatma) makinasında elde parlatılmış (Şekil 3.6.),

- 3- 100 ml alkol içerisinde 1 ml'lik nitrik asit bulunan nital dağlayıcıda 3 saniye bekletilmek suretiyle dağlanmıştır (Şekil 3.7.).



(a)

(b)

- Şekil 3.6. a) Metkon FORCIPOL 1V GRINDER-POLISHER marka polisaj (parlatma) makinası
b) Metkon FORCIPOL 2V GRINDER-POLISHER marka polisaj (zımpara) makinası

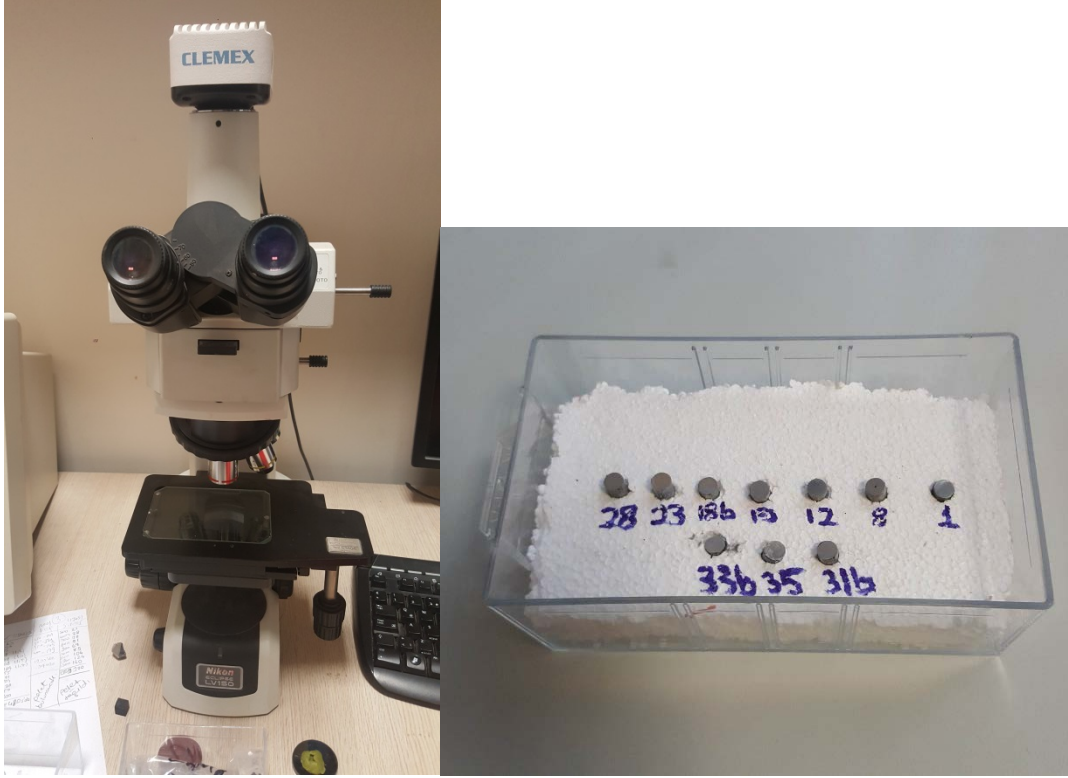


Şekil 3.7. Nital dağlayıcı

Dağlama işlemi öncesinde 1µm elmas pasta ile parlatılan numuneler sabunlu suda temizlenmiştir. Dağlama işlemi sonrasında kurutma makinası ile yüzey nitalden arındırılmış ve mikroyapı incelemeleri gerçekleştirilmiştir. Deneyler esnasında parlatma ve dağlama işleminin yapıldığı gün mikroyapı incelemesi yapılmıştır. Aksi durumlarda parlatma ve dağlama işlemi tekrarlanmıştır.

3.2.2. Optik mikroskop ile mikroyapı incelemesinin gerçekleştirilmesi

Numunelerinin mikroyapı incelemeleri, Nikon ECLİPSE LV-150 optik mikroskop (Şekil 3.8.) kullanılarak yapılmıştır. Mikroyapı incelemesi için her kompozisyondan ve baz alaşımından birer tane olmak üzere toplamda 450°C de eritilen numunelerden 7 adet ve 650°C’de eritilen numunelerden 4 adet olmak üzere 50, 200, 500, 1000 büyütmede numune fotoğrafları çekilmiştir.



(a)

(b)

Şekil 3.8. a) Nikon ECLİPSE LV-150 optik mikroskop
b) İncelenen numune örnekleri

3.2.3. SEM incelemeleri EDX analizleri için numunelerin hazırlanması

Optik mikroskop incelemesinin ardından numuneler tekrar parlatılıp dağlanarak SEM ve EDX analizleri yapılmak üzere Bilecik Ş.E. Üniversitesi MARAL’a gönderilmiştir (Şekil 3.9.) Literatürde Scanning Electron Microscope (SEM) olarak bilinen, Türkçe tabiriyle Taramalı Elektron Mikroskopları, yüksek çözünürlüklü resim oluşturma için vakum ortamında oluşturulan ve aynı ortamda elektromanyetik lenslerle inceltiren elektron demeti ile incelenmek istenen malzemenin yüksek büyütmelerde görüntülenmesini sağlar.



Şekil 3.9. ZEISS- SUPRA 40VP marka SEM cihazı

3.3. Elemental Analizler

Bu çalışmada hazırlanan alaşımların elemental analizleri 2 farklı yöntem ile yapılmıştır. Bunlardan ilki XRF (X-ray Fluorescence) yöntemidir. Bu yöntem tahribatsız bir analiz tekniği olup bu çalışma kapsamında üretilen numuneler ilk olarak XRF yöntemi ile analiz edilmişlerdir. XRF yönetimi için 1. Aşamada dökümde elde edilen numunelerden 28mm çapında ve 10mm boyunda parçalar kesilmiş (Şekil 3.10.) ve kesilen parçalar sırasıyla 600 ve 800 grit zımparalarda zımparalanıp deneyleri gerçekleştirilmek üzere ODTÜ Merkez Laboratuvarına gönderilmiştir.

İkinci yöntem ise ICP-OES (Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry) yöntemidir. Bu yöntemde ise XRF analizi için hazırlanan 14mm çaplı numunelerinden testere vasıtasıyla 2'şer gram toz alınıp (Şekil 3.11.) Meta Nikel Kobalt AŞ, Manisa Gördes İşletmesine gönderilmiştir.

Yapılan analizlerden XRF yöntemi yarı-kantitatif olarak tanımlanmaktadır. Yarı kantitatif analizler daha çok numune içerisinde araştırılan elementin varlık yokluk durumunu tespit etmek için kullanılmaktadır. Numune içerisindeki ilave elementlerin yüzdelerini daha gerçekçi değerler ile belirlemek için kullanılan yöntemler ise kantitatif yaklaşımlardır. ICP-OES bu yaklaşımlardan bir tanesidir. ICP-OES daha özellikle Ti, Al, Mg gibi elementler için XRF'e göre daha kesin sonuçlar verdiği bilinmektedir (Gaines, 2016) Bu sebeple bu çalışmadaki değerlendirmeler ICP-OES neticelere göre yapılmıştır. Elemental analizlerde yapıya yeterince karışmadığı düşünülen numuneler tespit edilmesi istenilen elemente (Bu çalışmada Mn, Cr ve Ti) özel bir çözündürme yöntemi olan eritiş yöntemi ile çözündürülüp tekrar analiz edilmiştir. Ek olarak XRF ve ICP-OES sonuçlarının karşılaştırmalı tabloları Bulgular kısmında verilmiştir.



Şekil 3.10. a) XRF numunesi örneği
b) ICP-OES numunesi örneği

Deney neticelerinden elde edilen veriler karşılaştırmalı tablolar halinde bulgular kısmında verilmiş olup daha net veriler sunduğu için kantitatif yöntem olan ICP-OES sonuçları Tartışma ve Sonuçlar kısmında kullanılmıştır.

3.4. Sertlik Deneyleri

3.4.1. Sertlik ölçümü numunelerinin hazırlanması ve sertlik ölçümlerinin yapılması

Sertlik deneyleri, her kompozisyona ve baz alaşımına ait 7.9 mm çaplı döküm numunelerinden kesilen 5 mm uzunluğundaki parçaların bakalite alması (Şekil 3.11.) ve sırasıyla 600 ve 800 grit zımparalarda zımparalanmasının ardından BULUT MAKİNA - DIGIROCK HARDNESS TESTER marka Brinell sertlik ölçüm cihazında (Şekil 3.12.) 2,5 mm çaplı çelik bilye uç ile Brinell 10 skalasına göre 62.5 kg yük altında gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan numunelerin her birinden en az 3 ölçüm yapılmış daha sonra bu ölçümlerin, önce her numune için ayrı daha sonra aynı grup içerisinde yer alan numunelere ait ortalamalarının ortalamaları alınmıştır. Ölçümler yapılırken, ölçüm izi etrafındaki plastik deformasyon göz önünde bulundurularak deney noktaları arasında mesafe bırakılmıştır.



Şekil 3.11. Metkon METAPRESS-A MOUNTING PRESS marka bakalit makinası



(a)

(b)

Şekil 3.12. a) DIGIROCK HARDNESS TESTER marka Brinell sertlik ölçüm cihazı
b) sertlik ölçümü için hazırlanan numuneler

3.5. Üç Nokta Eğme Deneyleri

Üç nokta eğme deneyleri, 7.9 mm çapında ve yaklaşık 54 mm uzunluğundaki döküm numuneleri üzerinde SHIMADZU marka AUTOGRAPH A6-IC model 50 kN kapasiteli mekanik deney cihazında gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.13 ve Şekil 3.14.). 3 nokta eğme deneylerinde, alt mesnetler arası açıklık 25 mm'dir (L) ve 1 mm/dakika çene hızı kullanılmıştır. Tüm kompozisyonlardan ve baz alaşımdan üretilen 3'er numunenin 3 nokta eğme deneyi yapılmış ve aritmetik ortalamaları alınmıştır.



Şekil 3.13. 50 kN kapasiteli SHIMADZU AUTOGRADH A6-IC mekanik deney cihazı
3 nokta eğme deneyi düzeneği



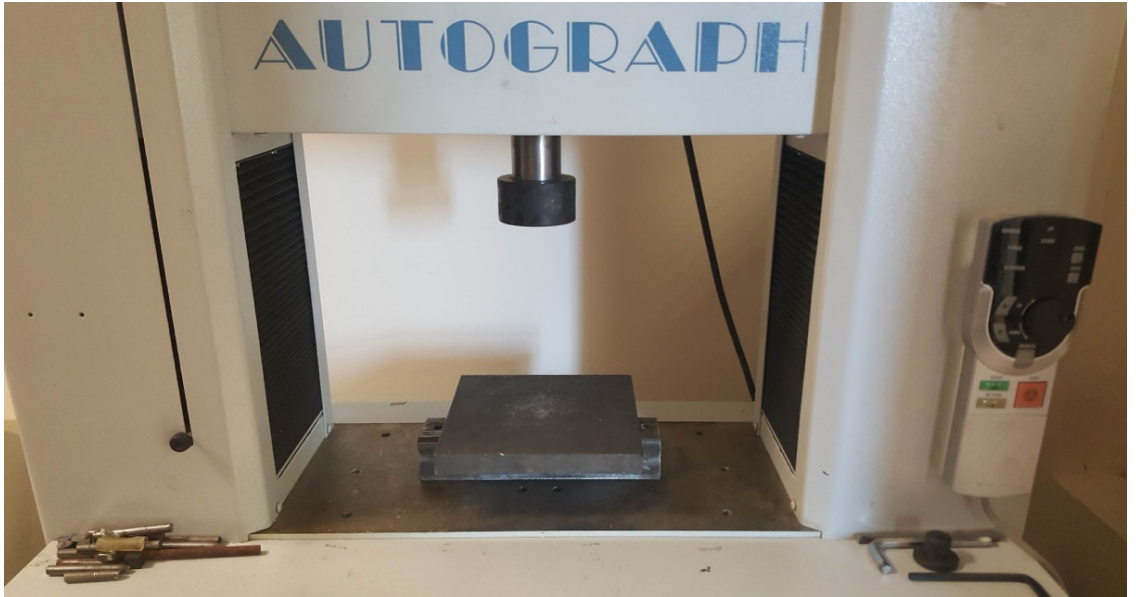
(a)

(b)

Şekil 3.14. a) 3 nokta eğme aparatı ve deney pozisyonu
b) 3 nokta eğme deneyi numuneleri

3.6. Basma Deneyleri

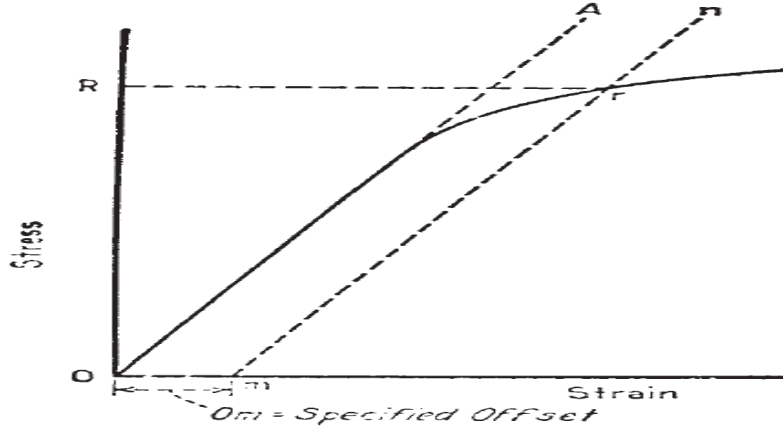
450 °C ve 650 °C alaşımlandırılan numuneler 7,9 mm'lik çap ve 14-15mm aralığında boylarda 50 kN kapasiteli SHIMADZU AUTOGRADH A6-IC mekanik deney cihazında basma deneyine tabi tutulmuştur (Şekil 3.15.).



Şekil 3.15. 50 kN kapasiteli SHIMADZU AUTOGRADH A6-IC mekanik deney cihazı basma deneyi düzeneği

Basma deneylerinde numunelerin akma dayanımı deney edilmiş olup hesaplama Offset Metodu ile gerçekleştirilmiştir. Offset metodunda grafikte akmanın meydana geldiği noktaya kadar olan doğrusal bölgeye paralel çizilip, bu paralelin 0,002 birim sağından çizilen 2. paralelin grafiği kesme noktası akma dayanımı olarak okunmaktadır

(ASTM Standard E9- 89a, 2000). Offset yönetimi ifade eden bir görsel şekil 3.15'te verilmiştir.



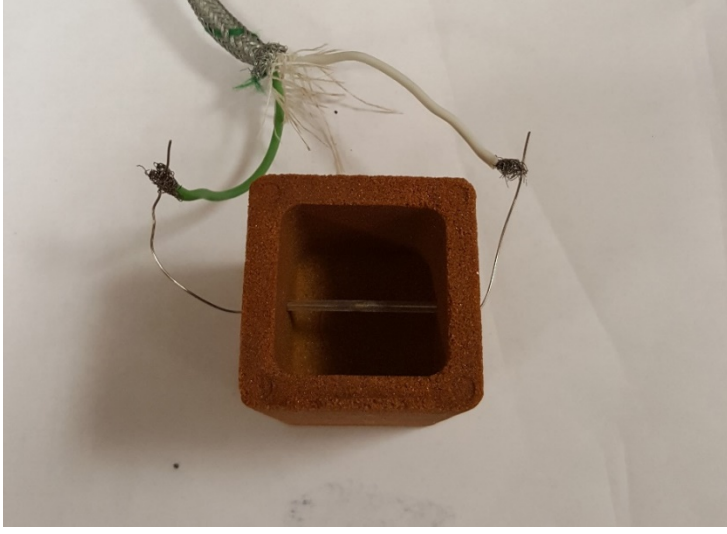
Şekil 3.16. Basma deneyi grafiklerine göre offset methodunun gösterimi

3.7. Soğuma Eğrileri ve Katılaşma Sıcaklıklarının Belirlenmesi

Mekanik deneyleri gerçekleştirilen numunelerin soğuma eğrilerinin ve faz dönüşümlerinin incelenebilmesi için tekrar dökümü gerçekleştirilmiştir. 650°C’de eritilip kum kalıba dökümü yapılan numunelerin soğumaları ORDEL PC991 marka adım kontrol cihazı ve ORDEL SBA200 marka dönüştürücü ile takip edilmiştir. Kum kalıba yerleştirilen termocouple ve termocouple’a bağlı olan adım kontrol cihazında işlenen veriler eş zamanlı olarak cihazın yazılımı ile takip ve analiz edilmiştir. Alt kenarları 35mm x 35mm ve yüksekliği 45mm olan kesik kare piramit geometrisindeki kum kalıplarda (Şekil 3.18) yapılan dökümler soğuma eğrilerinin isabetli neticeler vermesi adına 250-300gr aralığında (kalıbın ortasında kalan termokupl döküm sonrasında numune merkezine denk gelecek şekilde) yapılmıştır (Şekil 3.19.).



Şekil 3.17. Soğuma eğrisi analizi deney düzeneği. soldan sağa; kum kalıp, numune, bilgisayar, dönüştürücü ve adım kontrol ünitesi



Şekil 3.18. Kum kalıp ve termokupl - adım kontrol cihazı bağlantı noktasının yakından gösterimi

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Bu çalışma kapsamında ZAMAK 5 baz alaşıma 3 farklı alaşım elementi (Cr, Ti, Mn), baz alaşıma eklenmiştir. İlave alaşım elementine sahip numunelerin ve baz alaşım numunelerinin mikroyapı ve mekanik özelliklerini karşılaştırmak üzere optik mikroskop ve SEM incelemeleri ile sertlik, 3 nokta eğme ve basma deneyleri gerçekleştirilmiştir. İlave edilen alaşım elementlerinin baz alaşıma hangi miktarda katılabildiğini tespit etmek amacıyla XRF ve ICP-OES ve EDX analizleri yaptırılmıştır. Kantitatif analiz sonucuna göre numune isimlendirmeleri yapılmıştır.

4.1. Elemental Analiz Sonuçları

4.1.2. Kantitatif – yarı kantitatif analiz sonuçları

Döküm öncesinde baz alaşıma ilave edilmek üzere 6 farklı kompozisyon (% 0,1 ve 0,2 Mn, % 0,1 ve 0,2 Cr, % 0,05 ve 0,1 Ti) belirlenmiş ve grafit potada 450°C’de eriyen numuneler 1’er saat arayla minimum 3 kere karıştırılıp 10 saat sonunda kokil kalıba dökülmüştür. Bu işlem neticesinde ilave edilen alaşım elementlerinin % ağırlıkça ne kadar karıştığını tespit etmek amacıyla yarı-kantitatif (XRF) ve kantitatif (ICP-OES) analizleri gerçekleştirilmiştir. Değerlendirmeler kantitatif bir yöntem olan ve daha hassas sonuçlar veren ICP-OES analiz sonuçlarına göre yapılmıştır. Döküm sıcaklığına bağlı olarak yeterli çözünme sağlanmadığı tahmin edilen yüksek oranlı alaşımlar (% 0,1 Ti, % 0,2 Cr, % 0,2 Mn) tekrar hazırlanıp 650°C’de alaşımlandırma işlemi yapılmıştır. Ti ve Cr ilaveli alaşımlar daha kesin ve özelleştirilmiş tespit için **eritiş ile çözündürülmüş ve ICP-OES** ile kantitatif analize tabii tutulmuştur. ICP Eritiş metoduyla yapılan analizlerde sadece varlığı tespit edilmesi istenilen alaşım elementlerine odaklanılmıştır (Ti, Cr, Mn). % 0,01 ve altında alaşım elementi içeren numuneler **Bulgular, Tartışma ve Sonuç** kısımlarında değerlendirmeye alınmamıştır.

ZAMAK 5 baz alaşımının ICP-OES ve XRF ile belirlenmiş olan kimyasal bileşimi Çizelge 4.1’de, diğer elementlerin eklenmiş olduğu alaşımların analiz sonuçları Çizelge 4.2, 4.3 ve 4.4’te sunulmaktadır.

Çizelge 4.1. Baz alaşımın elemental (ICP-OES ve XRF) analizi sonuçları

	Element Yüzdesi
Al	% 4,43
Cu	% 0,83
Mg (XRF)	%0,04 - %0,05

450°C’de alaşımlandırması yapılan numunelerin analiz sonuçları;

1. Ağırlıkça % 0,1 oranında ilave edilen Mn, ICP-OES sonuçlarında %0,057, XRF sonuçlarında % 0,106 olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.2.)
2. Ağırlıkça % 0,2 oranında ilave edilen Mn, ICP-OES sonuçlarında %0,057, XRF sonuçlarında % 0,0796 olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.3.) Bu numune **Mn 0,057**

450 ifadeleri kullanılarak isimlendirilmiştir. Bu isimlendirmenin sonuna, döküm sıcaklığı olarak uygulanan 450 veya 600 (°C) değerleri eklenmiştir.

450 °C’de % 0,1 ve 5 0,2 Mn ilave edilerek alaşımlandırılan numunelerin alaşım elementi oranları ve mekanik özellikleri standart sapma değerleri içerisinde birbirine çok yakın çıkmıştır. Bu sebeple **Bulgular, Tartışma ve Sonuç** kısımlarında tek bir numune gibi değerlendirmede bulunulmuştur.

Çizelge 4.2. % Ağırlıkça % 0,1 Mn ve %0,2 Mn ilavesi yapılan alaşımların XRF ve ICP - OES analiz tabloları

%0,1 Mn İlavesi			%0,2 Mn İlavesi		
	ICP	XRF		ICP	XRF
Al	% 4.262	% 4,97	<i>Al</i>	% 4,115	% 4,01
Cu	% 0,836	% 0,92	<i>Cu</i>	% 0.822	% 0.93
Mg	-	-	<i>Mg</i>		% 0.04
Mn	% 0,057	% 0,10	<i>Mn</i>	% 0.0571	% 0,07

- Ağırlıkça %0,1 oranında ilave edilen Cr, ICP-OES sonuçlarında %0,0019, XRF sonuçlarında % 0,0149 olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.3.) Bu nedenle, numune düşük alaşım oranı sebebiyle değerlendirmeye alınmamıştır.
- Ağırlıkça % 0,2 oranın ilave edilen Cr, ICP-OES sonuçlarında % 0,035, XRF sonuçlarında %0,0032 olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.3.) Bu numune **Cr 0,035 450** ifadeleri kullanılarak isimlendirilmiştir. Bu isimlendirmenin sonuna, döküm sıcaklığı olarak uygulanan 450 veya 600 (°C) değerleri eklenmiştir.

Çizelge 4.3. % Ağırlıkça % 0,1 Cr ve % 0,2 Cr ilavesi yapılan alaşımların XRF ve ICP – OES analiz tabloları

%0,1 Cr İlavesi				%0,2 Cr İlavesi			
	ICP	XRF	ICP Eritiş		ICP	XRF	ICP Eritiş
Al	% 4.37	% 4,39		<i>Al</i>	% 4,35	% 4,77	
Cu	% 0,84	% 0,90		<i>Cu</i>	% 0.84	% 0.90	
Mg				<i>Mg</i>		% 0.04	
Cr	%0,002	%0,014	% 0,00	<i>Cr</i>	% 0.001	% 0.003	% 0,035

- Ağırlıkça %0,05 oranında ilave edilen Ti, ICP-OES sonuçlarında % 0,0104, XRF sonuçlarında ise % 0,0259 olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.4.). Bu numune Al oranının mikro yapı ve mekanik özelliklere etkisinin tespiti için **Ti 0,01 ve 450** ifadeleri kullanılarak isimlendirilmiştir. Bu isimlendirmenin sonuna, döküm sıcaklığı olarak uygulanan 450 veya 600 (°C) değerleri eklenmiştir.
- Ağırlıkça % 0,1 oranında ilave edilen Ti, ICP-OES sonuçlarında % 0,0281, XRF sonuçlarında % 0,0273 olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.4.) Bu numune **Ti 0,028 ve 450°C** ifadeleri kullanılarak isimlendirilmiştir. Bu isimlendirmenin sonuna, döküm sıcaklığı olarak uygulanan 450 veya 600 (°C) değerleri eklenmiştir.

Çizelge 4.4. % Ağırlıkça % 0,05 Ti ve %0,1 Ti ilavesi yapılan alaşımların XRF ve ICP - OES sonuç tabloları

%0,05 Ti İlavesi				%0,1 Ti İlavesi			
	ICP	XRF	ICP Eritiş		ICP	XRF	ICP Eritiş
Al	% 4.57	% 5,28		<i>Al</i>	% 5.10	% 5.70	
Cu	% 0,80	% 0,91		<i>Cu</i>	% 0.83	% 0.80	
Mg	-	-		<i>Mg</i>	-	% 0.06	
Ti	% 0,02	% 0,025	% 0,01	<i>Ti</i>	% 0.02	% 0.02	% 0,028

Analiz sonuçları incelendiğinde döküm öncesi kompozisyonlara kıyasla yapıya en büyük oranda karışan elementin % 0,12'lik değer ile Mn (Çizelge 4.3) olmuştur.

Döküm öncesi ön alaşım (%90 Al %10 Ti) halinde eritilmek üzere potaya konulan Ti içeren numunelerin Al değerlerinin diğer alaşımlardan daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. ICP-OES sonuçlarına göre baz alaşımında Al miktarı % 4,44 iken, ön alaşımlı % 0,05 ve % 0,1 Ti ilaveli alaşımların oranı sırasıyla % 4,58 ve % 5,1 (Çizelge 4.5.) olarak tespit edilmiştir. Ti ile birlikte eklenmiş olan Al miktarının, alaşımdaki Al miktarındaki artış ile uyumlu olduğu anlaşılmıştır.

650°C'de alaşımlandırılan numunelerin analiz sonuçları:

1. Ağırlıkça % 0,1 oranında ilave edilen Ti, ICP-OES sonuçlarında %0,0299, olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.5). Bu numune **Ti 0,03 650** ismi ile değerlendirmeye alınmıştır.
2. Ağırlıkça % 0,2 Cr oranında ilave edilen Cr, ICP-OES sonuçlarında %0,0530, olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.5). Bu numune **Cr 0,053 650** ismi ile değerlendirmeye alınmıştır.
3. Ağırlıkça % 0,2 oranında ilave edilen Mn, ICP-OES sonuçlarında %0,1259 olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.5). Bu numune **Mn 0,126 650** ismi ile değerlendirmeye alınmıştır.

Döküm sıcaklığının artırılması Cr ilaveli numunelerde ilave elementin yapıya karışmasında % 0,019'luk ve Mn ilaveli numunelerde ise % 0,069'luk bir artış sağlarken, Ti ilavesinde ise bu artış ihmal edilebilir düzeyde kalmıştır.

Döküm sonrası elde edilen numunelerin isimlendirmeleri, Çizelge 4.5'te sunulmaktadır. Bu isimlendirmede, önce alaşım elementinin ismi sonra ilave edilen alaşım elementinin % ağırlıkça oranı, alaşım ekleme sıcaklığı (°C), döküm sıcaklığı (°C) ve döküm kalıbı türü ifade edilmektedir.

Çizelge 4.5. Deneysel numunelerinin elemental analiz sonrasında isimlendirme tablosu

Numune Adı	İlave Edilen Alaşım Elementi	İlave Edilen Alaşım Elementinin Ağırlıkça %	Alaşım Ekleme Sıcaklığı (°C)	Döküm Sıcaklığı (°C)	Kullanılan Kalıp Türü	Tespit edilen ilave Alaşım Elementi Ağ %
Baz 450 450 Kokil	Yok	ZAMAK 5 Standart Bileşim	450	450	Kokil	-
Baz 650 450 Kokil	Yok	ZAMAK 5 Standart Bileşim	650	650	Kokil	-
Baz 450 600 Kum	Yok	ZAMAK 5 Standart Bileşim	450	600	Kum	-
Mn 0,057 450 450 Kokil	Mn	0,1	450	450	Kokil	0,057
Mn 0,057 450 600 Kum	Mn	0,1	450	600	Kum	0,057
Mn 0,126 650 450 Kokil	Mn	0,2	650	650	Kokil	0,126
Mn 0,126 650 600 Kum	Mn	0,2	650	600	Kum	0,126
Ti 0,01 450 450 Kokil	Ti	0,05	450	450	Kokil	0,01
Ti 0,01 450 600 Kum	Ti	0,05	450	600	Kum	0,01
Ti 0,028 450 450 Kokil	Ti	0,1	450	450	Kokil	0,0281
Ti 0,028 450 600 Kum	Ti	0,1	450	600	Kum	0,0281
Ti 0,03 650 450 Kokil	Ti	0,1	650	650	Kokil	0,0299
Ti 0,03 650 600 Kum	Ti	0,1	650	600	Kum	0,0299
Cr 0,035 450 450 Kokil	Cr	0,2	450	450	Kokil	0,035
Cr 0,035 450 600 Kum	Cr	0,2	450	600	Kum	0,035
Cr 0,053 650 450 Kokil	Cr	0,2	650	650	Kokil	0,053
Cr 0,053 650 600 Kum	Cr	0,2	650	600	Kum	0,053

4.2. Mikroyapı, SEM ve EDX İncelemeleri

4.2.1. Kokil kalıba yapılan dökümlerin sonuçları

Çalışma kapsamında 3 farklı alaşım elementi (Ti, Cr, Mn) her biri kendi içerisinde 2 farklı oranda olacak şekilde 6 farklı kompozisyonda baz alaşıma ilave edilmiştir. Alaşımlandırma sıcaklıkları olarak 450 °C ve 650 °C uygulanmıştır. Alaşımlandırılmış parçalardan, mekanik deneyler için numune dökümleri (2. Aşama dökümler) 450°C ve 600°C sıcaklıkta sırasıyla kokil ve kum kalıplara gerçekleştirilmiştir (Bkz. Sayfa 16). Mikroyapı, SEM ve EDX incelemesi ve mekanik deneyleri yapılan numuneler 2. Aşama döküm numuneleridir (Bkz. Sayfa 17). 2. Aşama döküm numuneleri arasından her kompozisyonda ve baz alaşımdan birer örnek belirlenip Nikon ECLİPSE LV-150 marka optik mikroskopta mikroyapı fotoğrafları çekilmiş, ZEISS- SUPRA 40VP marka SEM cihazında taramalı elektron mikroskobu görüntüleri alınmış ve EDX analizleri yapılmıştır.

4.2.1.1. ZAMAK-5 baz alaşım mikroyapı, SEM ve EDX incelemeleri

Yapılan çalışmaya göre % 95 ve üzeri Zn içeren Zn-Al alaşımlarının 382 °C civarında ötektik dönüşüm geçirdiği tespit edilmiştir (Türk 2006, Pürçek 1994). Ötektik dönüşümden önce ise $S \rightarrow \eta + L$ bölgesine girerek ilk katı (η) oluşmaktadır (İlk

katının oluşumu alaşımın Al oranına göre değişmektedir). Kalan sıvı, ötektik dönüşümle ($L \rightarrow \eta + \beta$) şeklinde 382 °C’de katılaşmaktadır ve bu sıcaklığa kadar eta dendritleri büyümektedir. Ötektik dönüşümle, primer eta dendritlerinin etrafında ötektik yapı ($\eta + \beta$) oluşmaktadır (Çizelge 4.6.). Daha sonra, 275°C’de meydana gelen ötektoid dönüşümle beta, çinkoca (η) ve Al’ca zengin (α) iki faza dönüşmektedir ($\beta \rightarrow \eta + \alpha$). Primer eta dendritleri arasındaki ötektik yapı ($\eta + \beta$) içindeki betanın, ötektoid dönüşümle $\eta + \alpha$ ’ya dönüşmesi sonucunda, oda sıcaklığında mikroyapıda primer eta dendritleri ve dönüşmüş ötektik yapı ($\eta + \alpha$) bulunmaktadır.

Bu çalışmada mikro yapı, SEM ve EDX incelemeleri gerçekleştirilen ZAMAK-5 baz alaşımlarında da ötektik dönüşüm öncesi oluşan η dendritleri ve ötektik ve ötektoid dönüşümlerle meydana gelen çinkoca zengin η ve Al’ca zengin α fazları gözlemlenmektedir (Şekil 4.1., Şekil 4.7) Aşağıda verilen mikroyapılarda, beyaz olan bölgeler ilk katılaşan primer η ve koyu olan bölgeler ise katmanlı halde η ve α fazlarından oluşan ötektik (ya da dönüşmüş ötektik) yapıdır. Yapılan EDX analizlerine göre Al ve Zn fazları haricinde baz alaşımda metallerarası bir bileşik gözlemlenmemiştir.

Çizelge 4.6. İkili çinko-alüminyum alaşım sistemindeki önemli dönüşümler (Türk 2006, Pürçek 1994)

Dönüşüm	Çinko Oranı (Ağ %)	Sıcaklık (°C)
Ötektik $L \leftrightarrow \beta + \eta$	95	382
Ötektoid (i) $\beta \leftrightarrow \alpha + \eta$ (ii) $\alpha + \alpha' \leftrightarrow \alpha + \beta$	78 52	275 340
Peritektik $\alpha + L \leftrightarrow \beta$	71.6	443

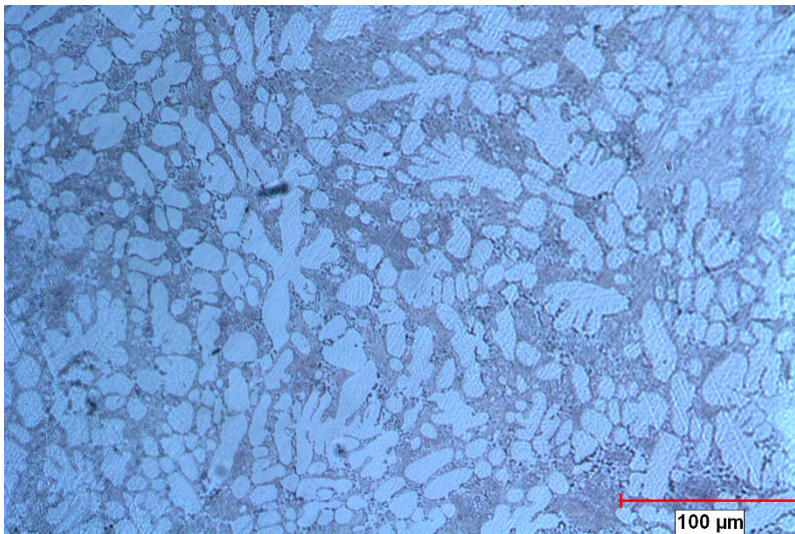
η = çinkoca zengin katı eriyik

α = alüminyumca zengin katı eriyik

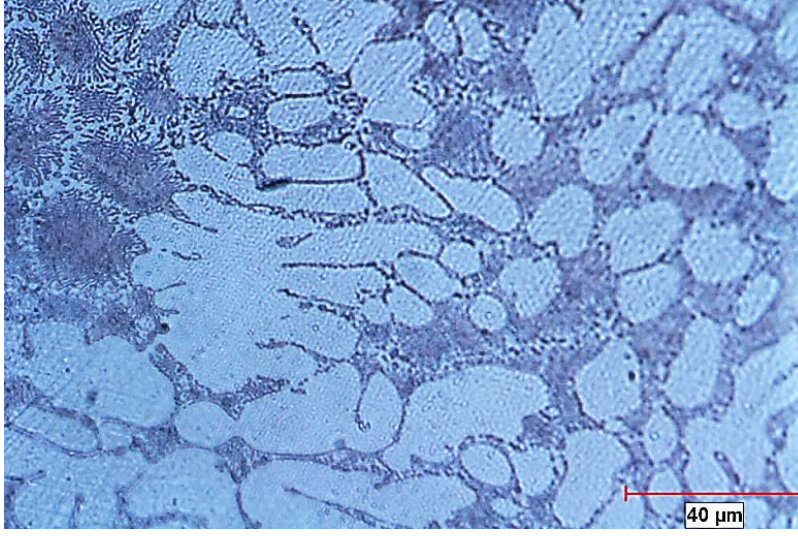
α' = monotektoidin çinkoca zengin tarafındaki faz

β = çinkoca zengin yüksek sıcaklık fazı

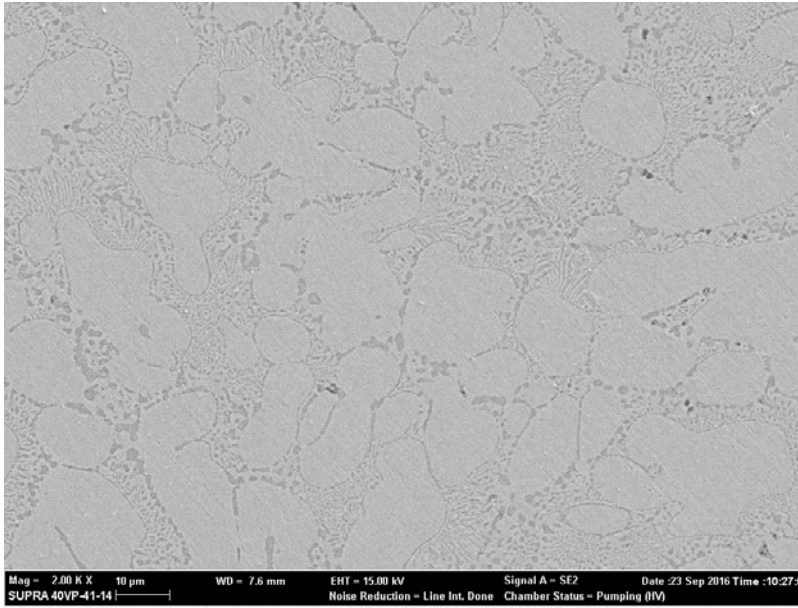
L = sıvı faz



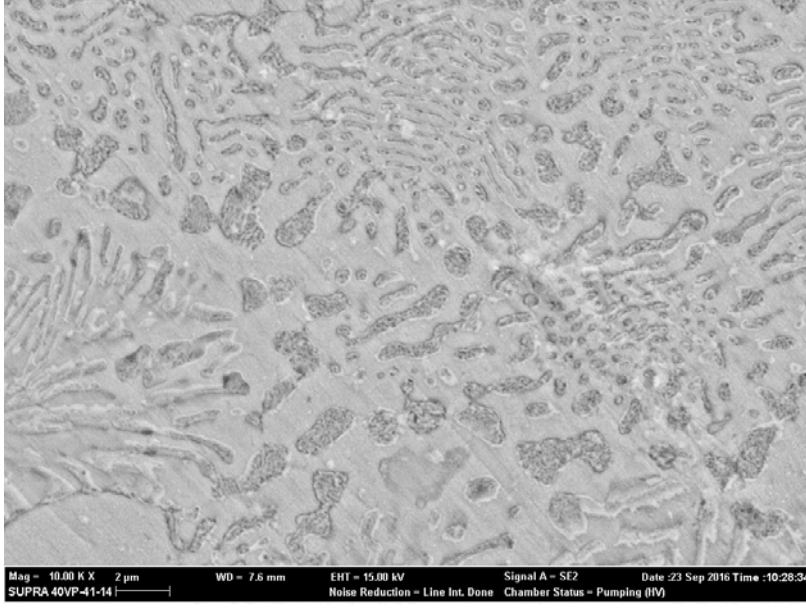
Şekil 4.1. Baz 450 450 kokil, 200x optik mikroskop görüntüsü



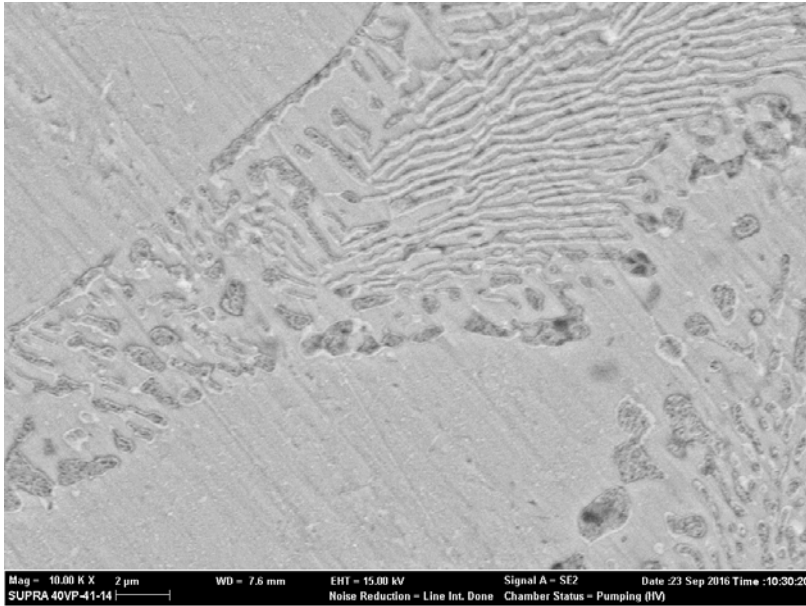
Şekil 4.2. Baz 450 450 kokil, 500x optik mikroskop görüntüsü



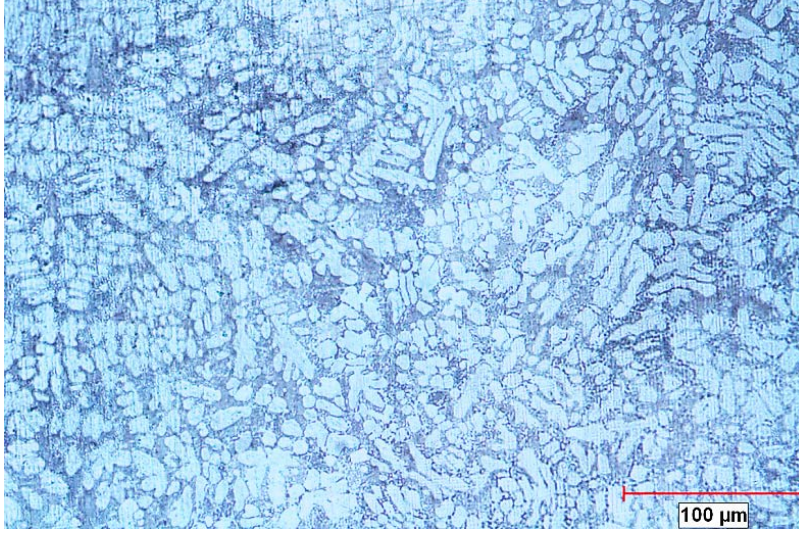
Şekil 4.3. Baz 450450 kokil, 2kx SEM görüntüsü



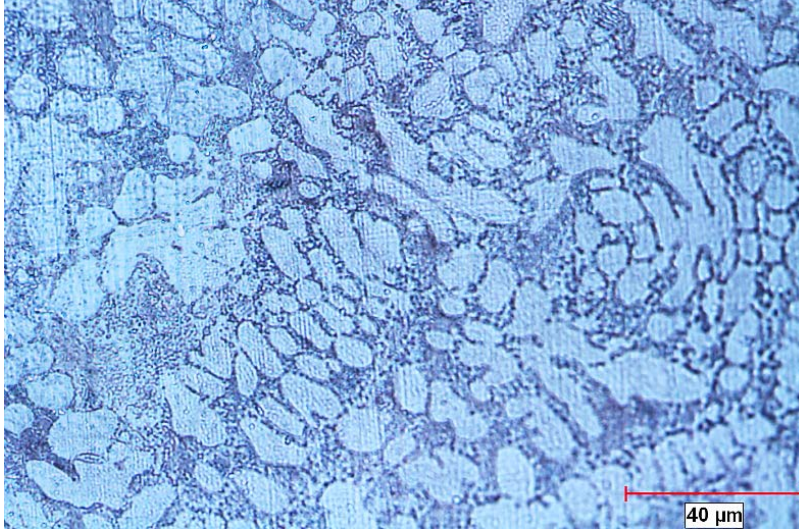
Şekil 4.4. Baz 450450 kokil, 10kx SEM görüntüsü



Şekil. 4.5. Baz 450450 kokil, 10kx SEM görüntüsü

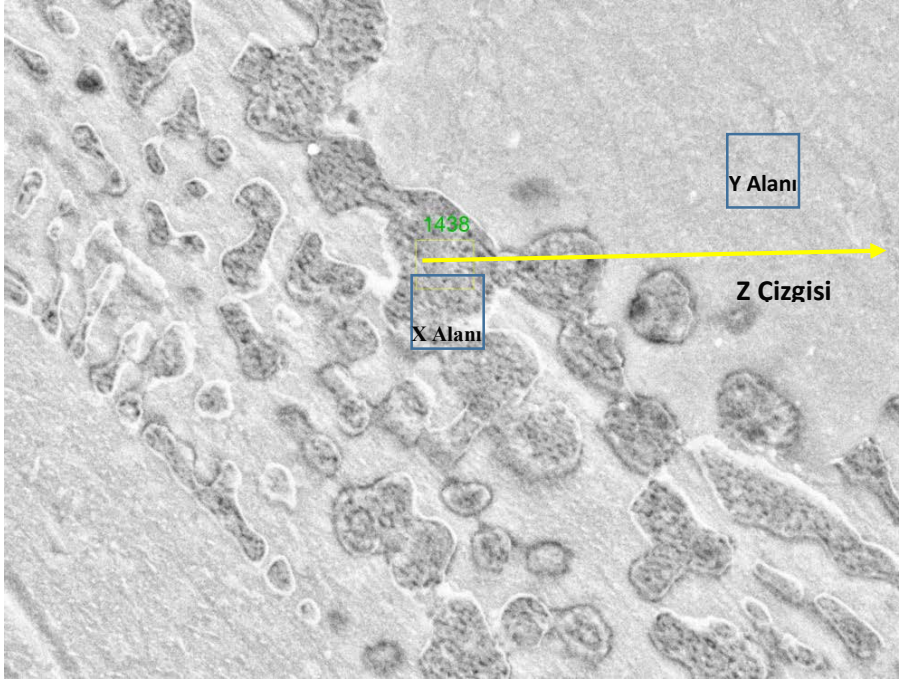


Şekil 4.6. Baz 650 450 kokil, 200x optik mikroskop görüntüsü



Şekil 4.7. Baz 650 450 kokil, 500x optik mikroskop görüntüsü

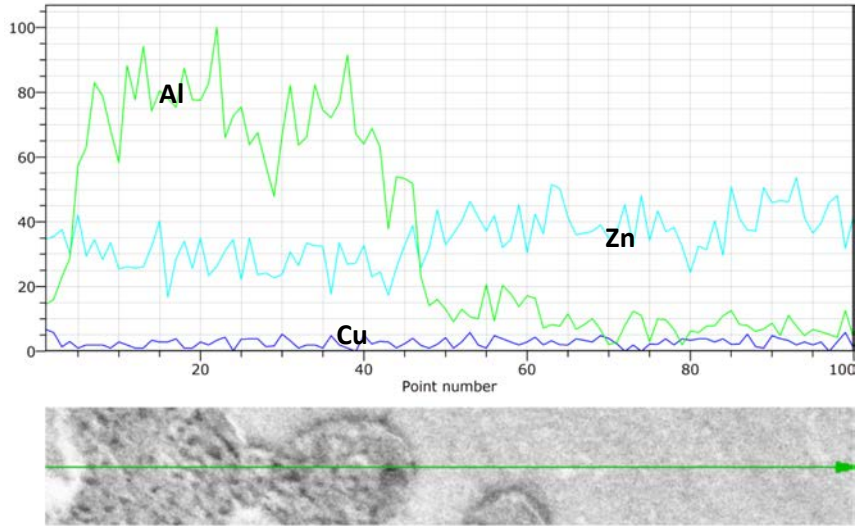
SEM incelemeleri sırasında gerçekleştirilmiş olan noktasal EDX analizlerinde, eta dendritlerinin arasında bulunan dönüşmüş ötektik bölgelerin Al'ca zengin olduğu (%22,74 Al oranları ile) tespit edilmiştir. Analiz edilen bu bölgelerde Al'ca zengin bölgelerdeki Cu içeriğinin Zn'ce zengin bölgelerdekine göre daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Dönüşmüş ötektik bölgelerinde (alfa + eta) Al oranının yüksek olduğu, yapılan bölgesel ve çizgi elemental analizleri ile de görülmüştür (Şekil 4.8 ve 4.9, X alanı ve Z çizgisi). Cu her iki fazda da bulunmasına karşın bu bölgelerde metallerearası bir bileşik tespit edilmemiştir.



Şekil 4.8. Baz 450 450 kokil, EDX analizi yapılan SEM görüntüsü

Çizelge 4.7. Baz 450 450 kokil numunesine ait edx analizi noktalarındaki % ağırlıkça element miktarları

	Al % Ağırlıkça	Cu % Ağırlıkça	Zn % Ağırlıkça
X Alanı	22.74	1.54	75.73
Y Alanı	1.36	0.77	97.84

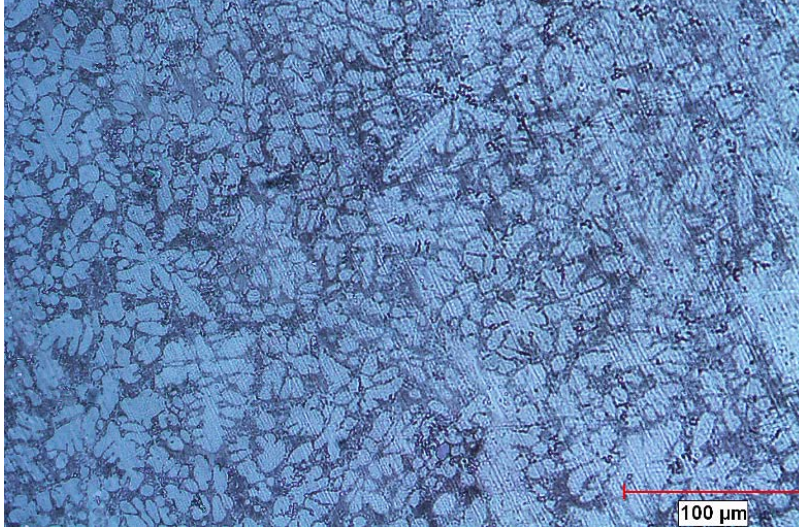


Şekil 4.9. Baz 450 450 kokil, Z çizgisi üzerindeki elementlerin frekans dağılımları

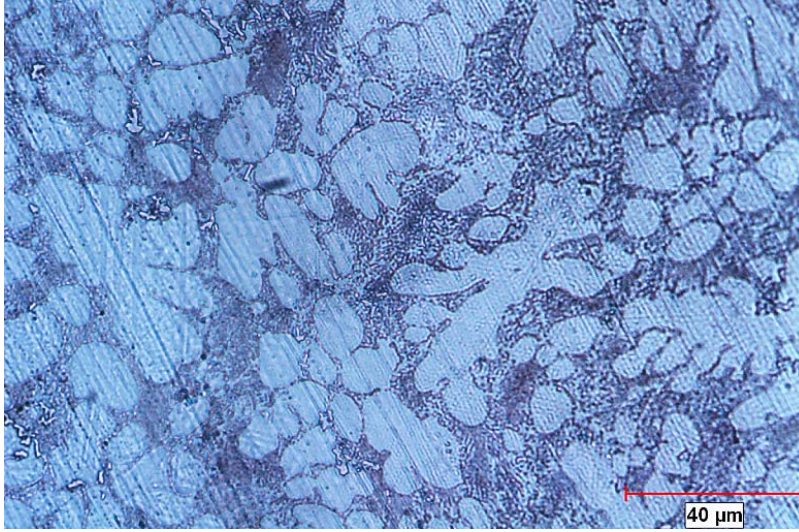
4.2.1.2. Mn ilaveli alaşımların mikroyapı, SEM ve EDX incelemeleri

Şekil 4.10'da çinkoca zengin eta fazları (beyaz kısımlar) ve Al'ca zengin alfa fazları (koyu kısımlar) gözlemlenebilmektedir. 450°C'de alaşımlanan % 0,057 Mn

içeğine sahip ve 650 °C’de alaşımlanan %0,126 Mn içeriğine sahip numunelerin mikroyapıları incelendiğinde, eta ve ötektik yapının boyutlarının baz ZAMAK 5 alaşımının mikroyapısındakine benzer olduğu görülmüştür.

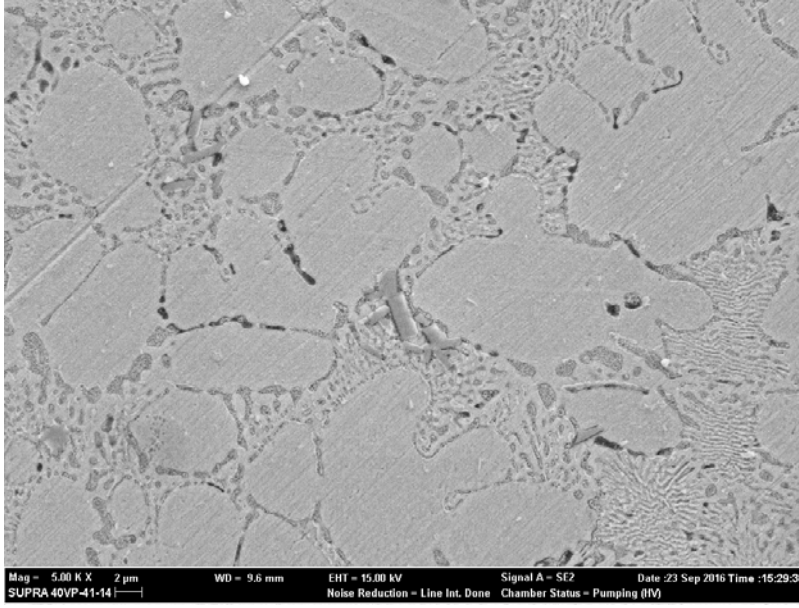


Şekil 4.10. Mn 0,057 450 450 kokil, 200x optik mikroskop görüntüsü

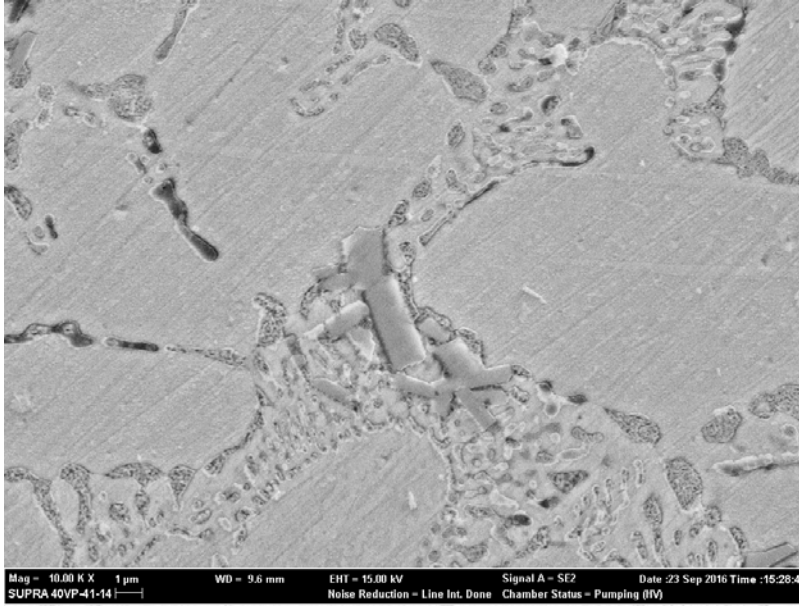


Şekil 4.11. Mn 0,057 450 450 kokil, 500x optik mikroskop görüntüsü

Mn eklenmiş olan ZAMAK-5 alaşımının mikroyapısında primer η dendritleri ve ötektik yapı ($\alpha + \beta$) bulunmaktadır. Bununla birlikte, çinkoca zengin (η) ve ötektik yapı haricinde, mikroyapıda Mn içeren parçaların bulunduğu gözlemlenmiştir. Şekil 4.11, 4.12, 4.16. ve 4.17’de ZAMAK-5 ana fazlarının (η ve α) arasında Mn içeren parçacıklar görülmektedir. Bu parçacıkların, eta dendritlerinin içinde değil, ötektik yapı içinde bulunması, bu parçacıkların oluşumunun ötektik dönüşüm sırasında meydana geldiğini göstermektedir. Primer eta dendritlerinin oluşması sırasında, eta dendritleri içinde çözünmeyen Mn’ın, sıvı içine itildiği ve ötektik dönüşüm sırasında Mn içeren intermetalik bileşikler halinde eta dendritleri arasında çökeldiği düşünülmektedir. Bu parçacıkların, yapıda homojen olarak dağılmadığı görülmüştür.

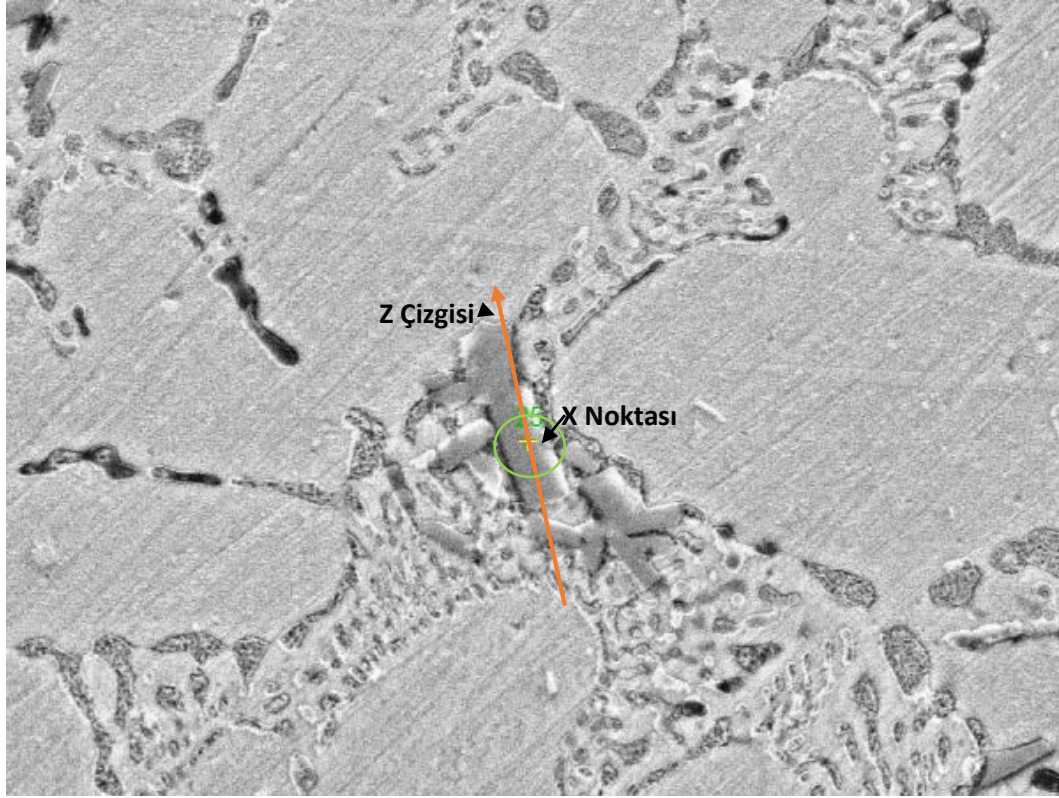


Şekil 4.12. Mn 0,057 450 450 kokil, 5kx SEM görüntüsü

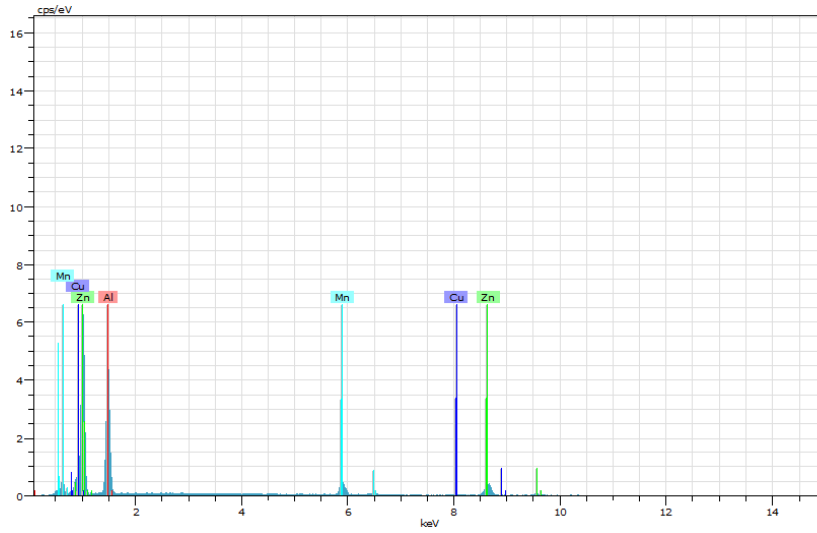


Şekil 4.13. Mn 0,057 450 450 kokil, 5kx SEM görüntüsü

Yapılan noktasal ve çizgisel analizlerde, bu parçacıkların yüksek oranda Mn içerdiği görülmüştür. Bu parçacıkların büyük olasılıkla Al, Mn ve belki Zn içeren intermetalik bileşikler olduğu düşünülmektedir (Şekil 4.14. Şekil 4.16. Çizelge 4.8.)



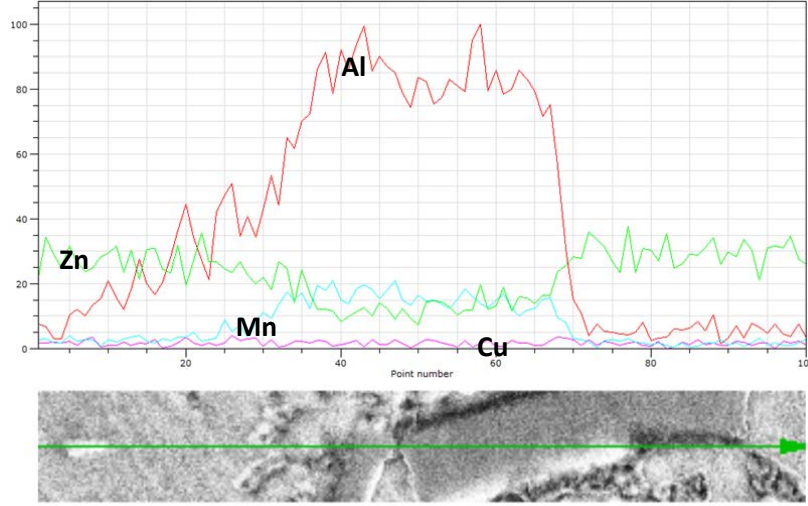
Şekil 4.14. Mn 0,057 450 450 kokil, EDX analizi yapılan SEM görüntüsü



Şekil 4.15. Mn 0,057 450 450 kokil, EDX analizi enerji dağılım grafiği

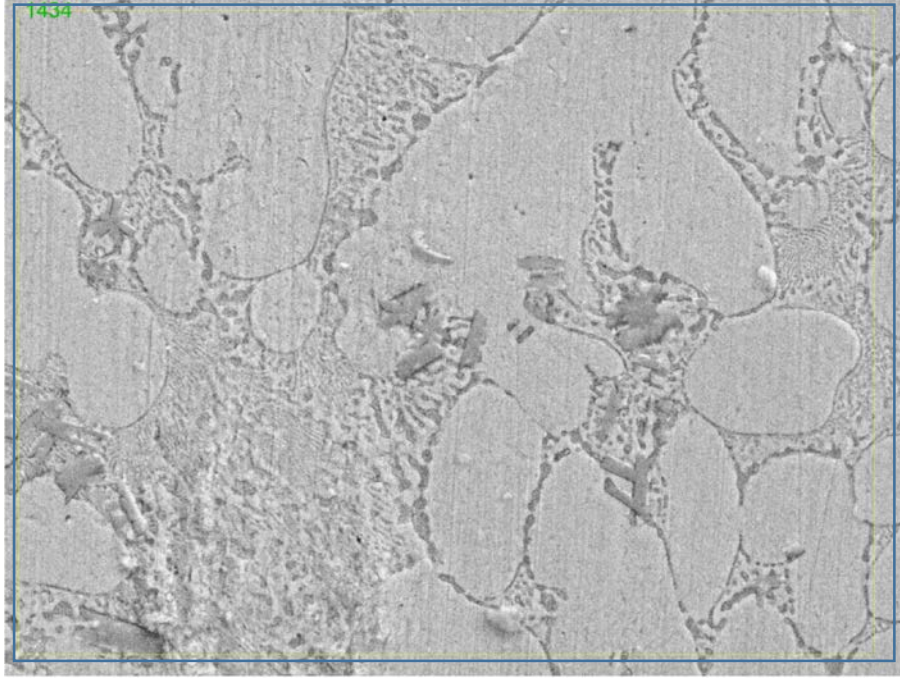
Çizelge 4.8. Mn 0,057 450 450, EDX görüntüsünde yer alan x noktasının içerdiği elementlerin % ağırlıkça oranları

	Al (% Ağırlıkça)	Cu (% Ağırlıkça)	Mn (% Ağırlıkça)	Zn (% Ağırlıkça)
X Noktası	29,64	2,40	12,39	55,58



Şekil 4.16. Mn 0,057 450 450 kokil, EDX analizinde Z çizgisi üzerinde yer alan elementlere ait frekans dağılımları

Ağırlıkça %0,126 Mn (Mn 0,126 650 °C Kokil) içeren numunenin mikroyapısı aşağıdaki mikrografta sunulmuştur. Belirtilen bölgeden yapılmış olan EDX analizinin sonuçları aşağıdaki tabloda sunulmaktadır.



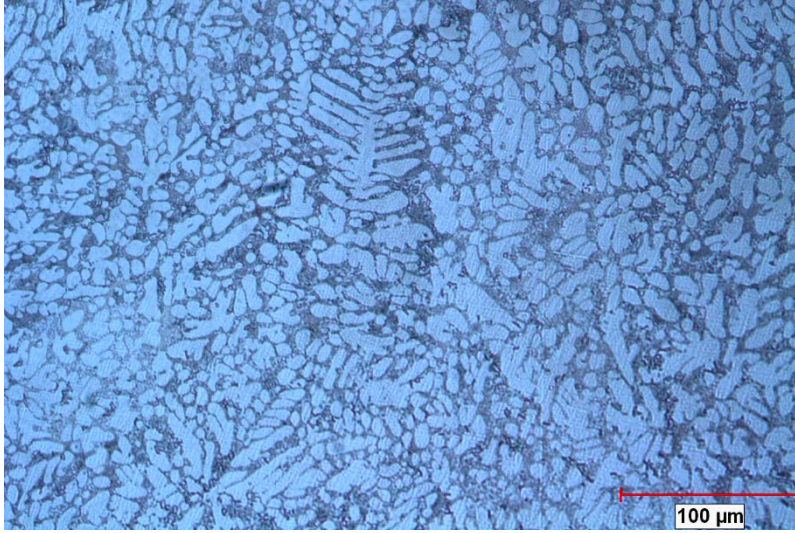
Şekil 4.17. Mn 0,126 650 450 kokil mikrografı

Bu bölgede % 0,66 oranında Mn bulunduğu anlaşılmaktadır (Çizelge 4.9). Bu değer, ICP ile belirlenmiş olan değerden yüksek olmasının nedeninin, EDX yapılan bölgede Mn'ca zengin intermetalik parçacıklar bulunması olduğu düşünülmektedir. EDX analizlerinde verilen elemental miktarlar, genel bir bölgeden de alınsa, o bölgedeki fazların bağıl oranlarına göre farklılık göstermektedir. Aşağıda verilmiş olan, EDX

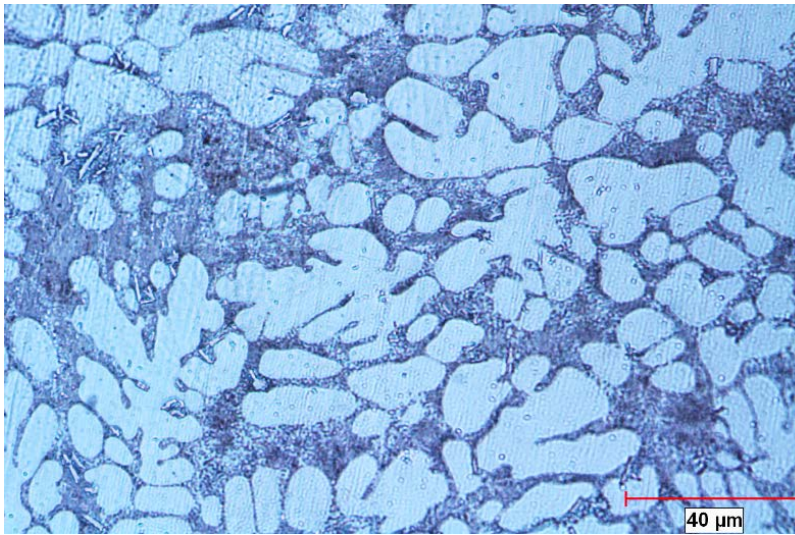
analizine ait tabloda Al, Cu gibi elementlerin miktarlarının ICP analizlerindeki farklı çıkmasının nedeninin bu durum olduğu düşünülmektedir.

Çizelge 4.9. Mn 0,126 650 450 kokil, numunesine ait mikrograf görüntüsünde yer alan elementlerin % ağırlıkça oranları

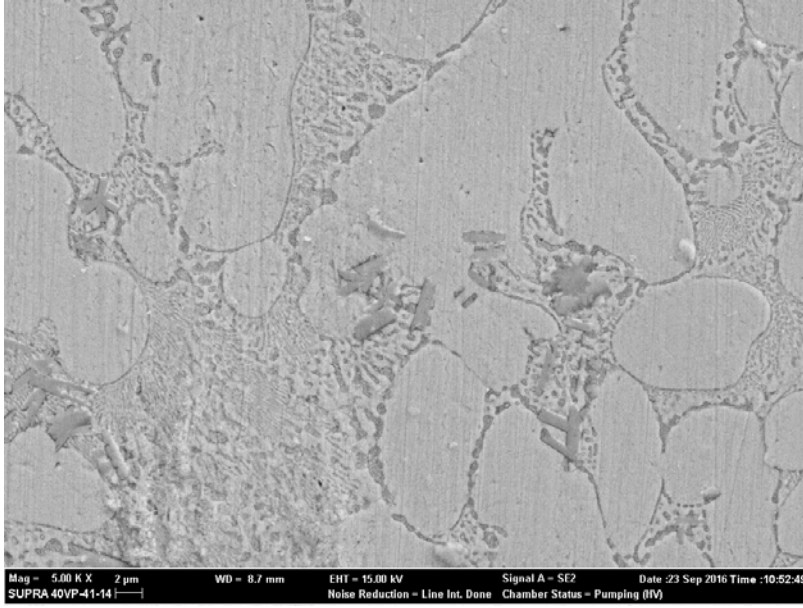
	Al (% Ağırlıkça)	Cu (% Ağırlıkça)	Mn (% Ağırlıkça)	Zn (% Ağırlıkça)
Mavi Bölge	5.28	1.06	0.66	93



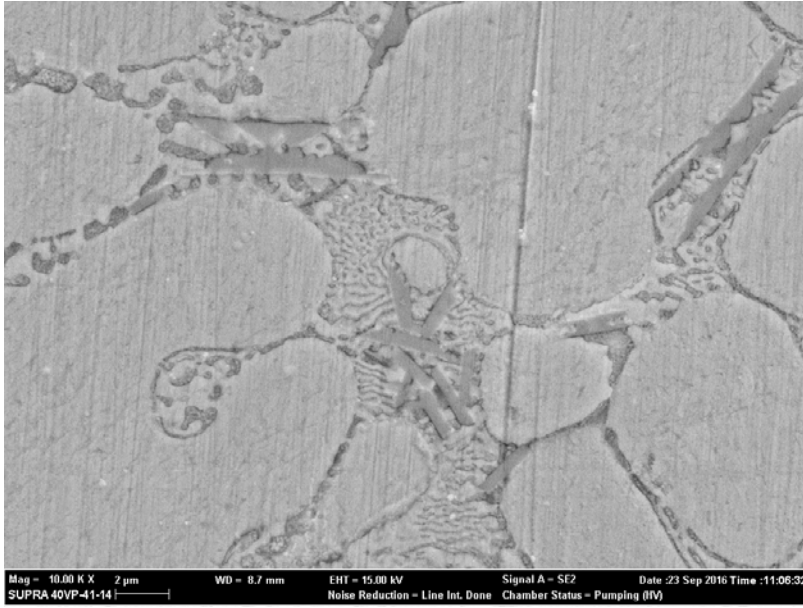
Şekil 4.18. Mn 0,126 650 450 kokil, 200x optik mikroskop görüntüsü



Şekil 4.19. Mn 0,126 650 450 kokil, 500x optik mikroskop görüntüsü



Şekil 4.20. Mn 0,126 650 450 kokil, 5kx SEM görüntüsü

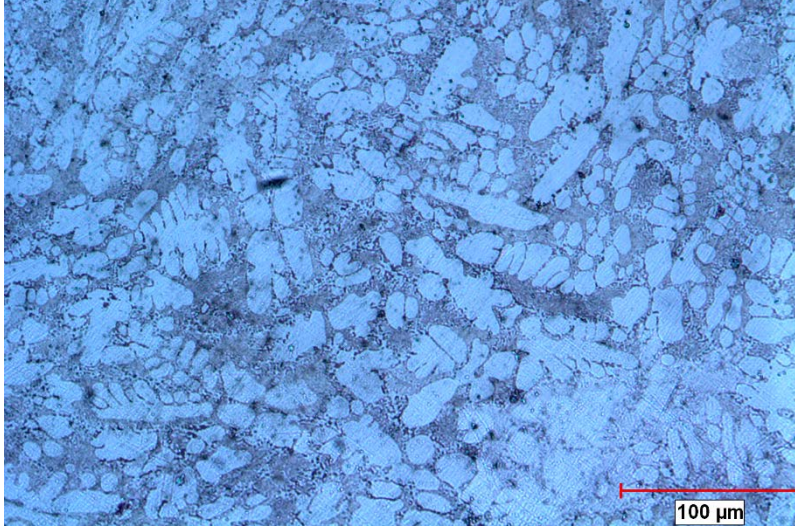


Şekil 4.21. Mn 0,126 650 450 kokil, 10kx SEM görüntüsü

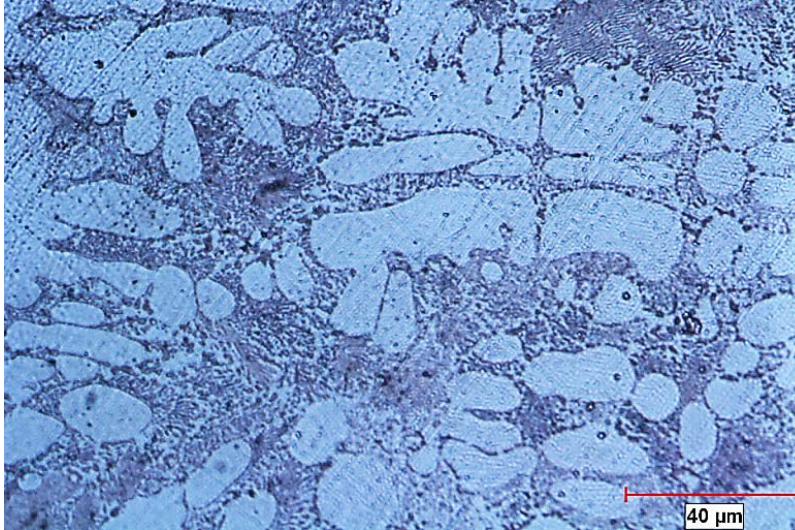
Literatürde Mn'nin Zn-Al alaşımları içerisinde Al_3Mn ve Al_6Mn intermetalik bileşikleri oluşturduğu belirtilmiştir (L'Esperance 1993). EDX analizlerinde Mn yoğunluğunun bulunduğu bölgelerde %12,39 Mn ve %29,64 Al tespit edilmiştir (Şekil 4.18, Çizelge 4.3). Mn 0,126 650 450 Kokil numunesinde tespit edilen % Mn ve Al miktarlarının mol oranları hesaplandığında literatürde bahsedilen Al_3Mn intermetalik bileşiminin atom kütle oranlarına yakın olduğu tespit edilmiştir.

4.2.1.3 Cr ilaveli alaşımların mikroyapı, SEM ve EDX incelemeleri

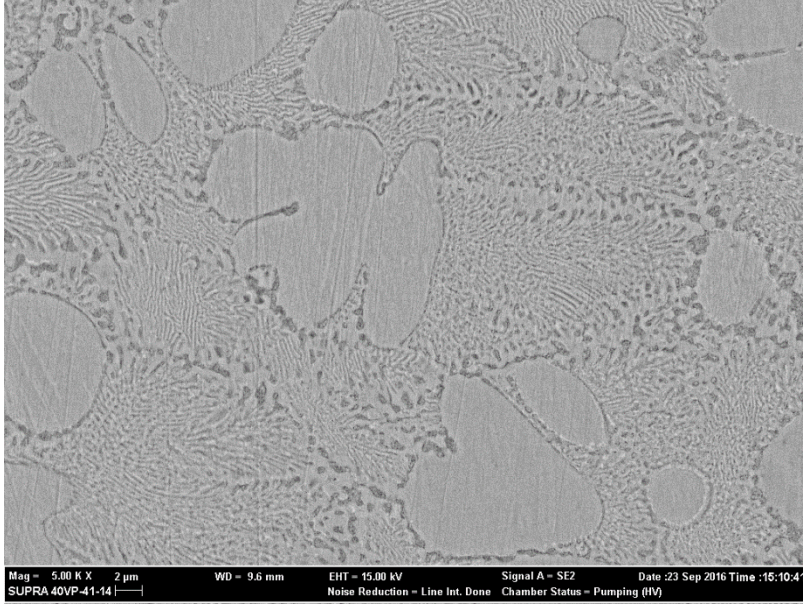
Cr ilavesi yapılan numunelerin optik mikroskop ve SEM mikrografları Şekil 4.22 ve Şekil 4.29'da sunulmaktadır. Mikroyapıda oluşan çinkoca ve alüminyumca zengin fazların boyutlarının baz ZAMAK-5 alaşımındakilerle benzer olduğu görülmüştür. Bu fazlar haricinde EDX analizleri neticesine göre Cr oranının yüksek olduğu kısımlar gözlemlenmiştir.



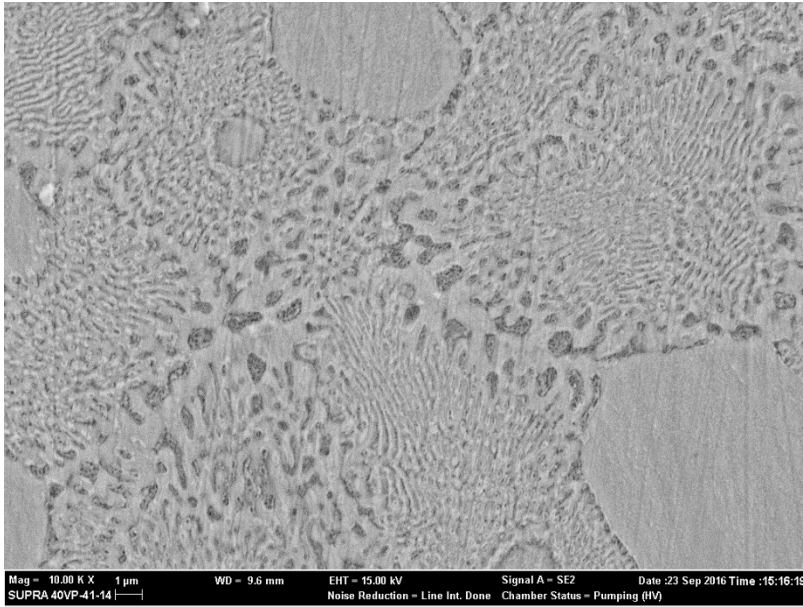
Şekil 4.22. Cr 0,035 450 450 kokil, 200x optik mikroskop görüntüsü



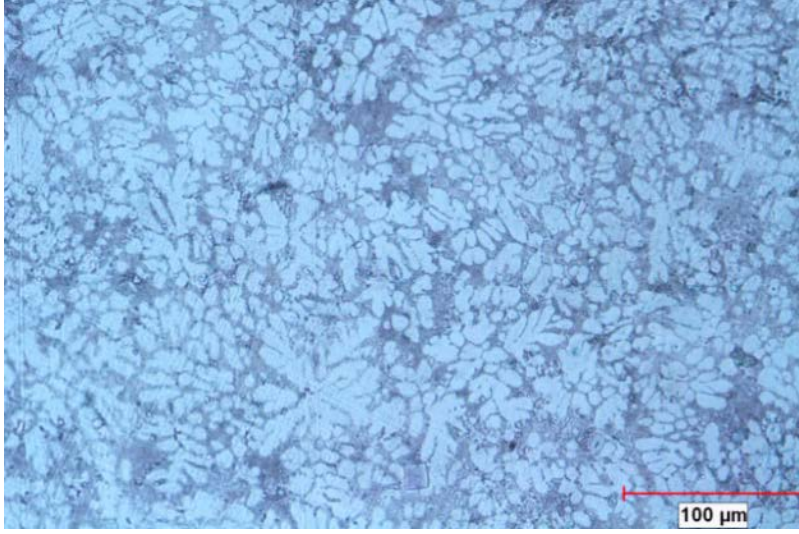
Şekil 4.23. Cr 0,035 450 450 kokil, 500x optik mikroskop görüntüsü



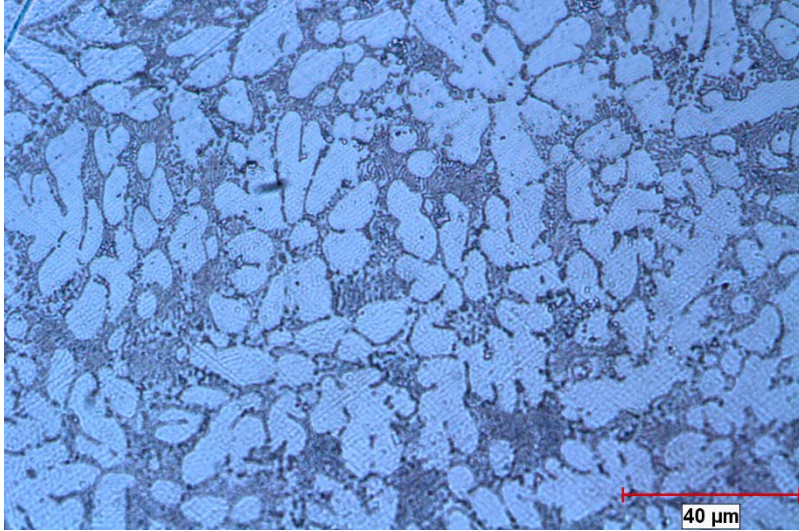
Şekil 4.24. Cr 0,035 450 450 kokil, 5kx SEM görüntüsü



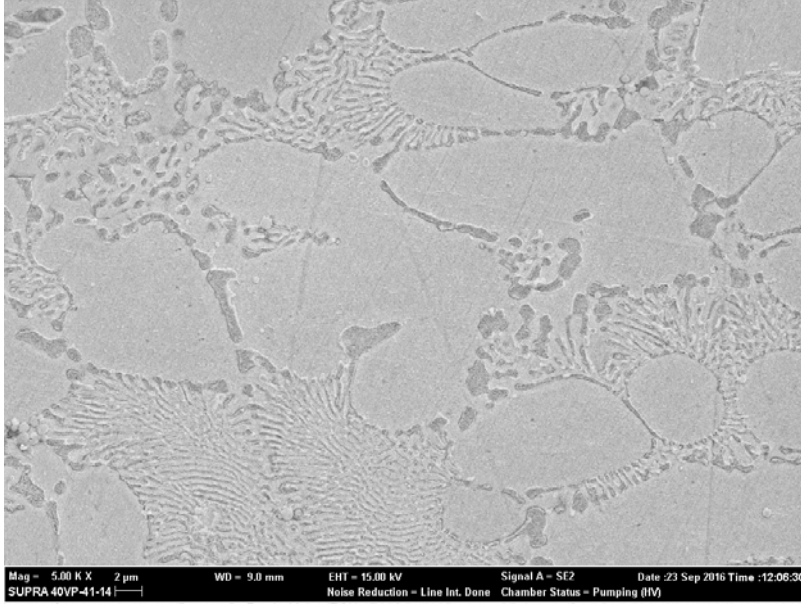
Şekil 4.25. Cr 0,035 450 450 kokil, 5kx SEM görüntüsü



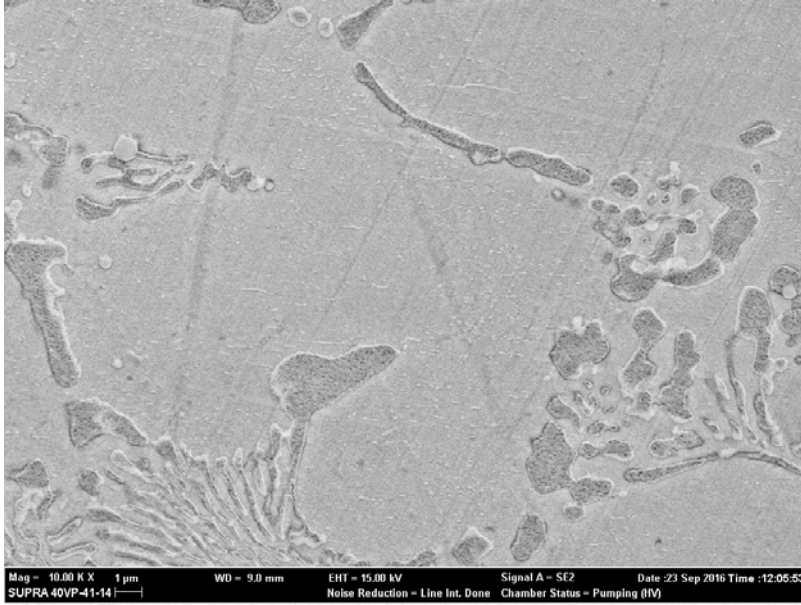
Şekil 4.26. Cr 0,053 650 450 kokil, 200x optik mikroskop görüntüsü



Şekil 4.27. Cr 0,053 650 450 kokil, 500x optik mikroskop görüntüsü

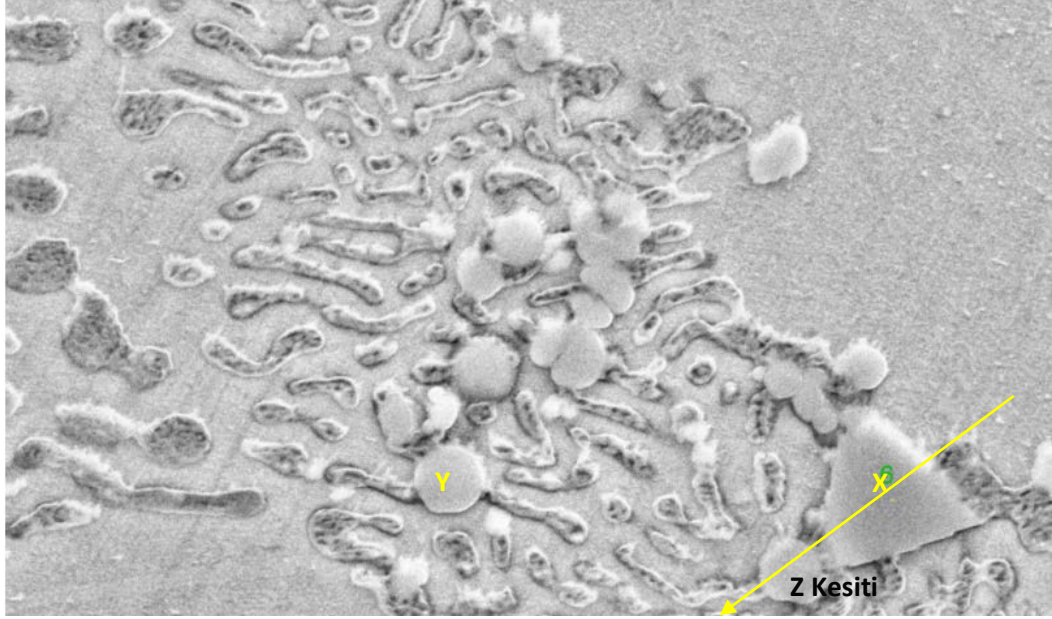


Şekil 4.28. Cr 0,053 650 450 kokil, 5kx SEM görüntüsü

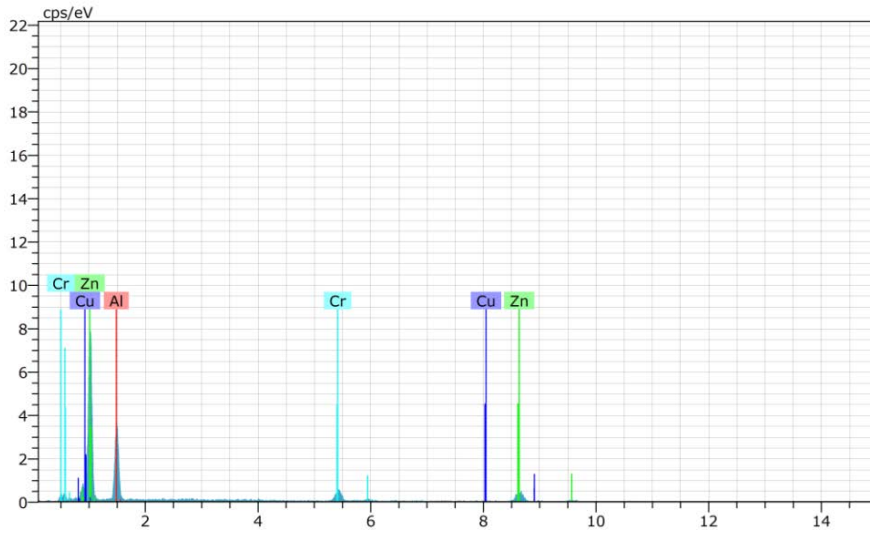


Şekil 4.29. Cr 0,053 650 450 kokil, 5kx SEM görüntüsü

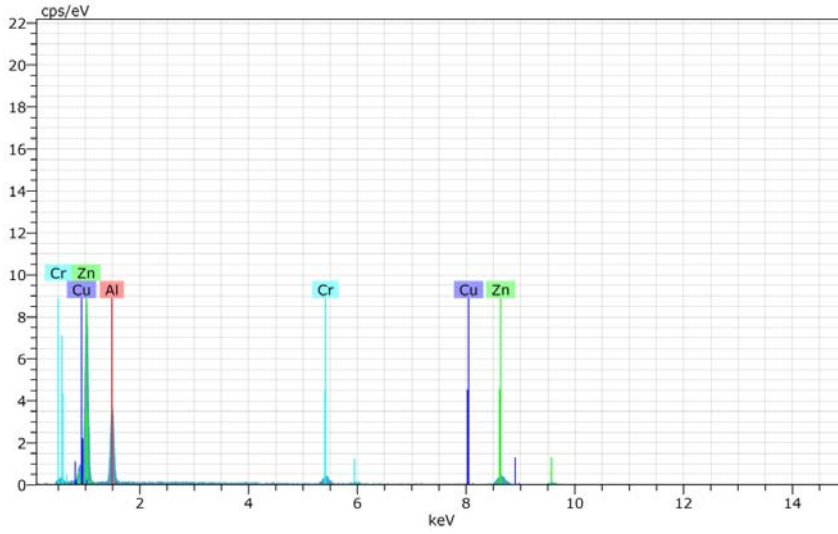
Gerçekleştirilen EDX analizlerinde %0,053 Cr içeren deney numelerinde alüminyum ve Cr'un alaşımın genel yapısına göre daha fazla olduğu parçacıklar tespit edilmiştir. Literatürde Zn-Al alaşımlarına yapılan Cr ilavesi ile birlikte CrAl_4 , CrAl_7 intermetalik bileşiklerinin oluştuğu belirtilmiştir (Durman, 1988). Şekil 4.30'da yer alan noktalarda (X noktası: % 27,38 Al, %9,33 Cr ve Y Noktası: %26,14 Al, %13,97 Cr) X noktası için içerdiği % Al ve Cr miktarlarına göre belirlenen mol oranları hesaplandığında literatürde bahsedilen CrAl_4 intermetalik bileşiğinin atom kütle oranlarına yakın olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.30. Cr 0,053 650 450 kokil, EDX analizi yapılan SEM görüntüsü



Şekil 4.31. Cr 0,053 650 450 kokil, EDX analizi x noktasındaki elementlerin enerji dağılımları

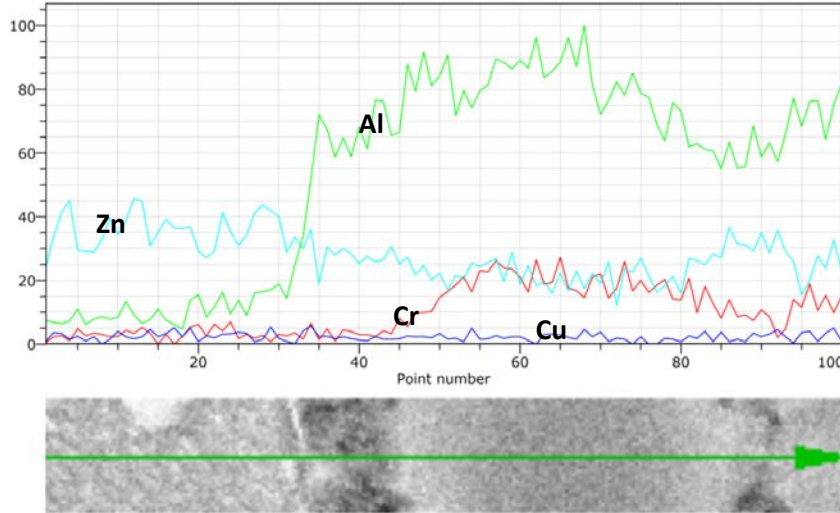


Şekil 4.32. Cr 0,053 650 450 kokil, EDX analizi y noktasındaki elementlerin enerji dağılımları

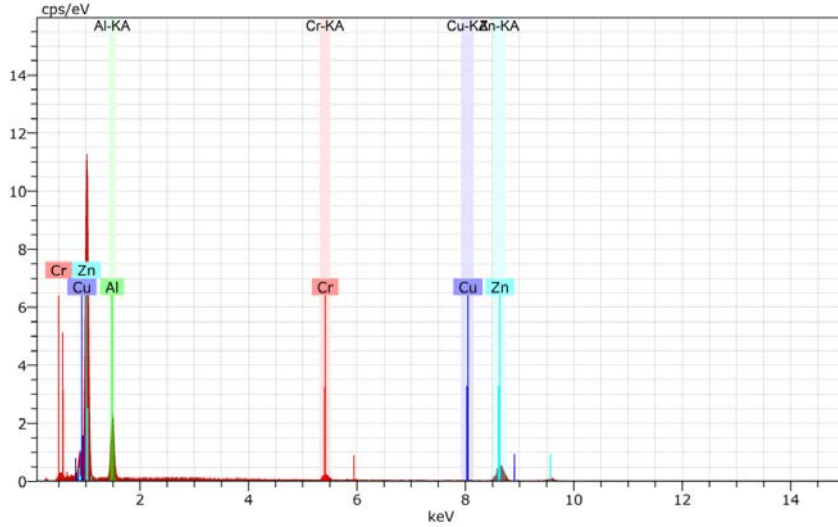
Çizelge 4.10. Cr 0,053 650 450 kokil, EDX analizi X ve Y noktalarında yer alan elementlerin % ağırlıkça oranları

	Al % Ağırlıkça	Cu % Ağırlıkça	Zn % Ağırlıkça	Cr % Ağırlıkça
X Noktası	27,38	1,65	61,64	9,33
Y Noktası	26,14	1,77	59,13	13,97

Bu parçacıkların bulunduğu bölgelerde yapılan çizgisel element analizinde, bu parçacıkların Cr ve Al oranının yüksek olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.33, 4.34)



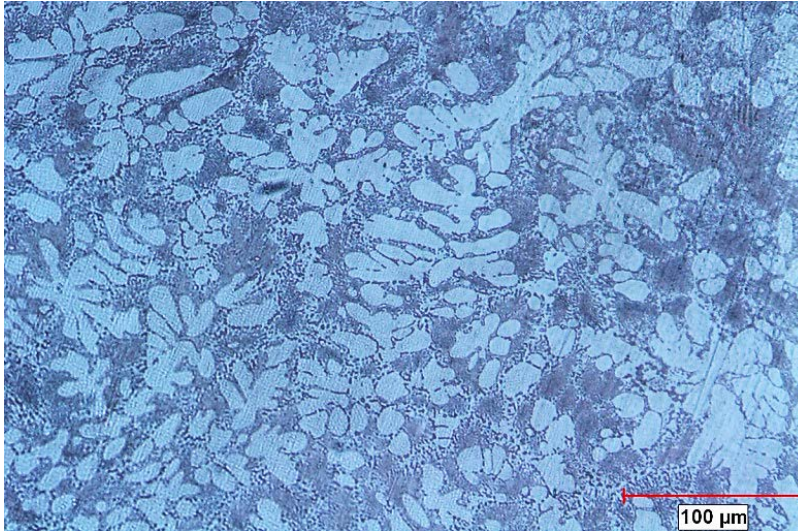
Şekil 4.33. Cr 0,053 650 450 kokil, EDX analizinde seçili Z kesiti üzerinde yer alan elementlerin frekans değişimleri



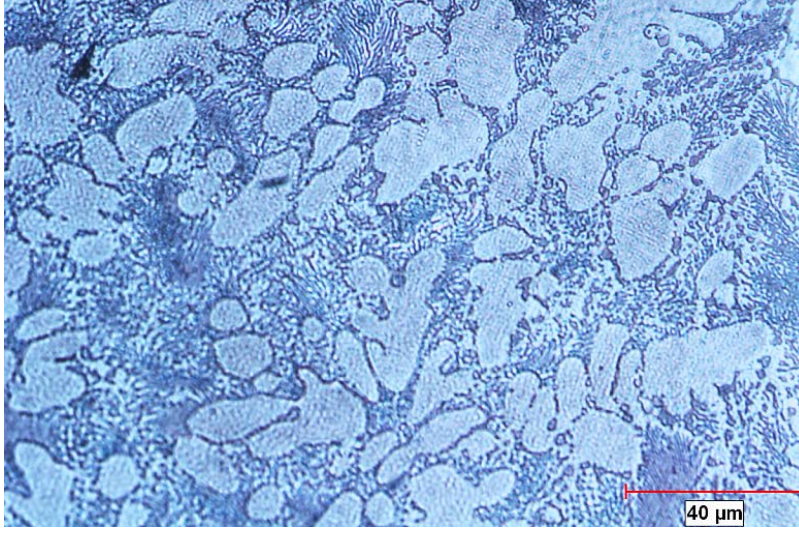
Şekil 4.34. Cr 0,053 650 450 kokil, EDX analizi z kesiti üzerinde yer alan elementlerin enerji dağılımları

4.2.1.4. Ti ilaveli alaşımların mikroyapı, SEM ve EDX incelemeleri

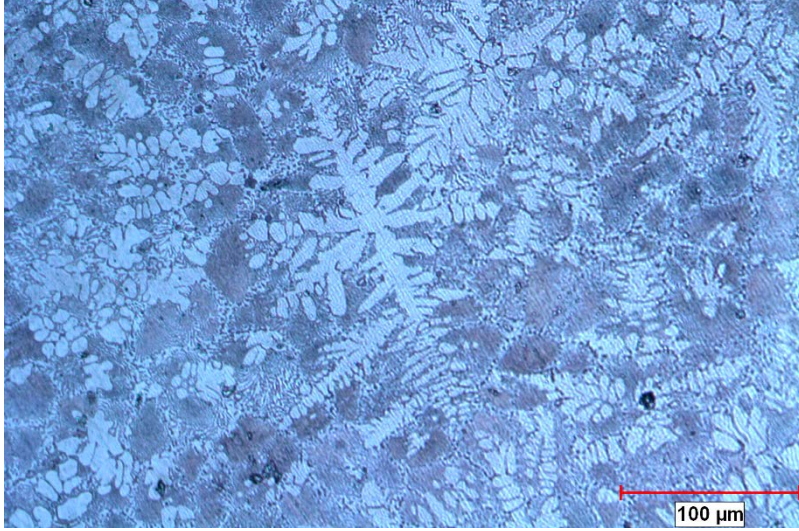
450 °C’de dökümü gerçekleştirilen ve %0,01 ve % 0,028 Ti içeren alaşımların mikroyapıları Şekil 4.34 – 4.44’te sunulmaktadır. Ti ilavesinin Al-Ti (% 90 Al ve % 10 Ti) alaşımı ile gerçekleştirilmiş olması sebebiyle, alaşımdaki Al oranının arttığı yapılmış olan ICP-OES analizleri ile belirlenmiştir. Bu nedenle alaşımdaki Al oranı Zn-Al ötektik bileşime yaklaşmıştır. Yapılan mikroyapı incelemelerinde bunun sonucu olarak, mikroyapıda ötektik fazın miktarının arttığı görülmüştür. Al oranının ötektik bileşime yaklaşması ve bunun sonucunda ötektik fazın miktarının çoğalması neticesinde, primer η tanelerinin yapıda daha az oluştuğu görülmektedir. Bu durum, ilave Al-Ti alaşımındaki alüminyumunun alaşıma eklenmiş olduğuna dair farklı bir ispat niteliğinde değerlendirmeye alınmıştır.



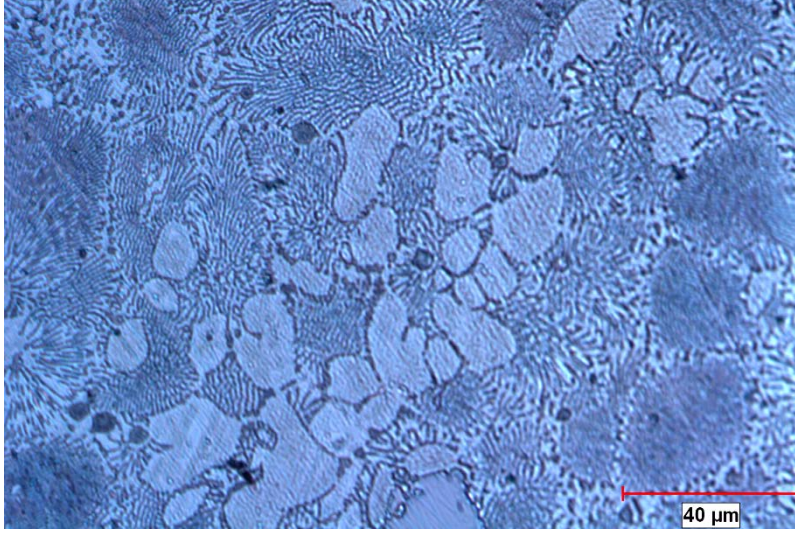
Şekil 4.35. Ti 0,01 450 450 kokil, 200x optik mikroskop görüntüsü (% 4,6 Al)



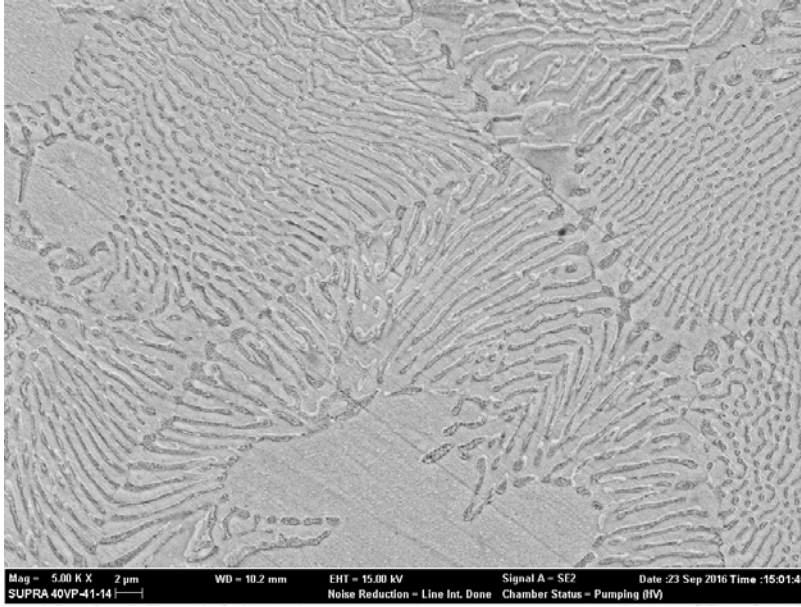
Şekil 4.36. Ti 0,01 450 450 kokil, 500x optik mikroskop görüntüsü (% 4,6 Al)



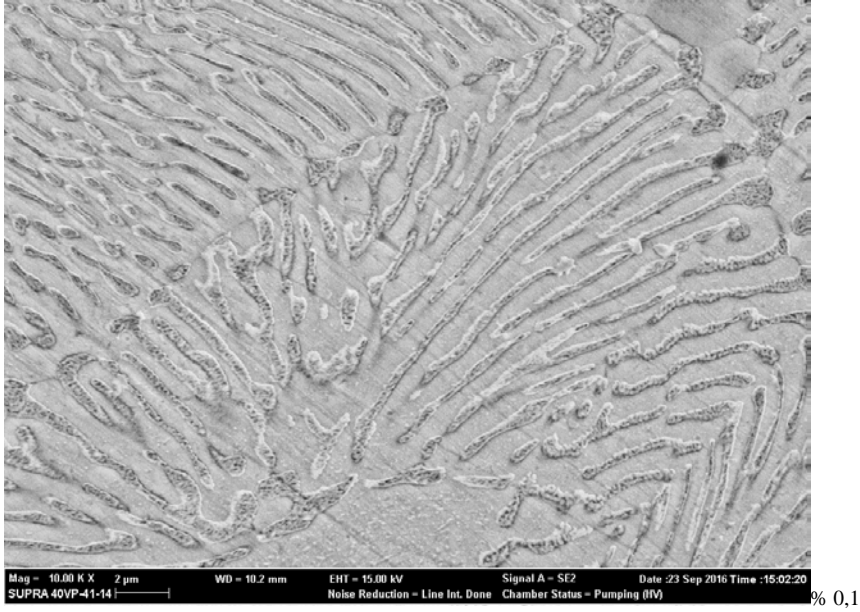
Şekil 4.37. Ti 0,028 450 450 kokil, 200x optik mikroskop görüntüsü (% 5,2 Al)



Şekil 4.38. Ti 0,028 450 450 kokil, 500x optik mikroskop görüntüsü (% 5,2 Al)

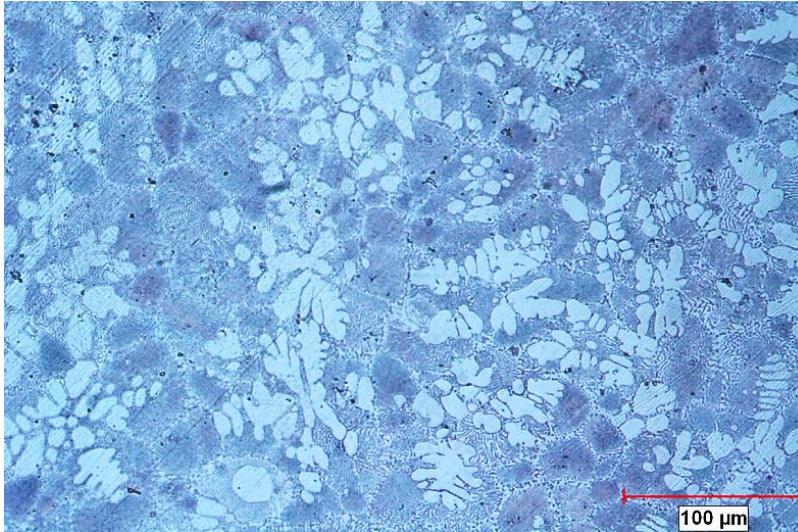


Şekil 4.39. Ti 0,028 450 450 kokil, 5kx SEM görüntüsü (% 5,2 Al)

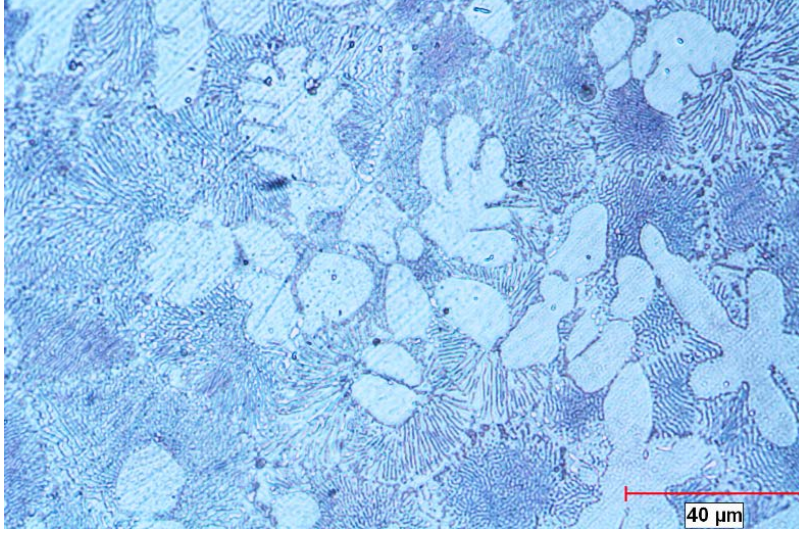


Şekil 4.40. Ti 0,028 450 450 kokil, 10kx SEM görüntüsü (% 5,2 Al)

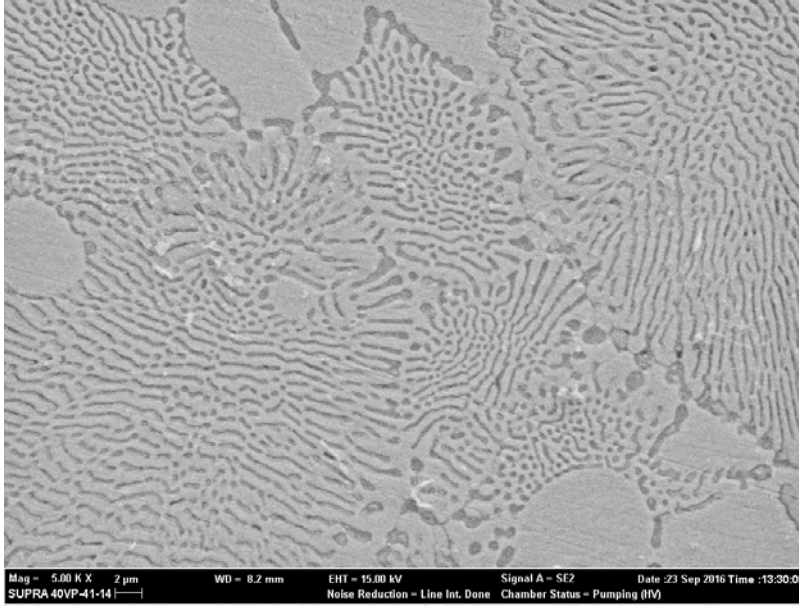
Öte yandan 450 °C ve 650 °C ‘de yapılan aynı kompozisyondaki dökümler **Ti 0,028 450 450 Kokil ve Ti 0,03 650 450 Kokil**, karşılaştırıldığında 450°C de alaşım eklenen numunenin mikroyapısında 650°C de alaşım eklenen yapılan numuneye kıyasla daha fazla primer η tanesi bulunduğu gözlemlenmiştir.



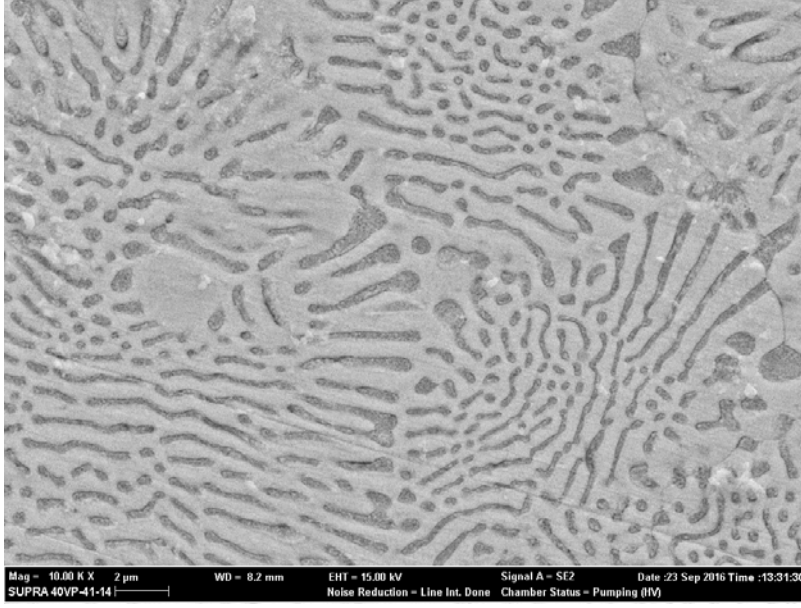
Şekil 4.41. Ti 0,03 650 450 kokil, 200x optik mikroskop görüntüsü (% 5,25 Al)



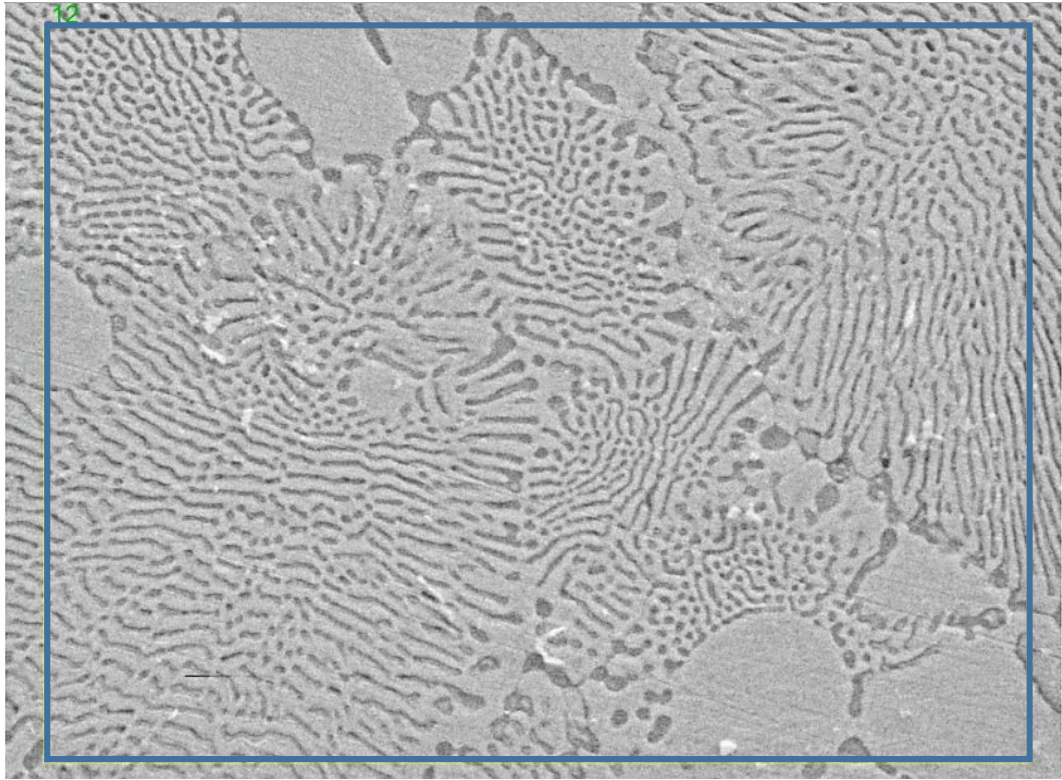
Şekil 4.42. Ti 0,03 650 450 kokil, 500x optik mikroskop görüntüsü (% 5,25 Al)



Şekil 4.43. Ti 0,03 650 450 kokil, 5kx SEM görüntüsü (% 5,25 Al)

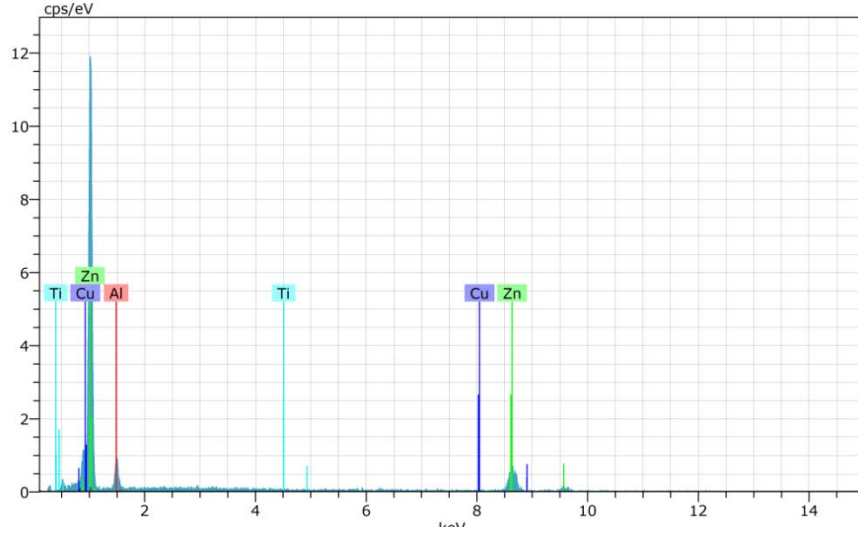


Şekil 4.44. Ti 0,03 650 450 kokil, 10kx SEM görüntüsü (% 5,25 Al)



Şekil 4.45. Ti 0,03 650 450 kokil, EDX analizi yapılan SEM görüntüsü (% 5,25 Al)

Yapılmış olan EDX analizlerinin, tipik bir elemental analiz sonuç grafiği Şekil 4.46 'da sunulmaktadır. Bu grafik, Şekil 4.45 'deki seçili alana ait bölgenin EDX analizini vermektedir.



Şekil 4.46. Ti 0,03 650 450 kokil, EDX analizinde seçili alan üzerinde yer alan elementlerin enerji dağılımları (% 5,25 Al)

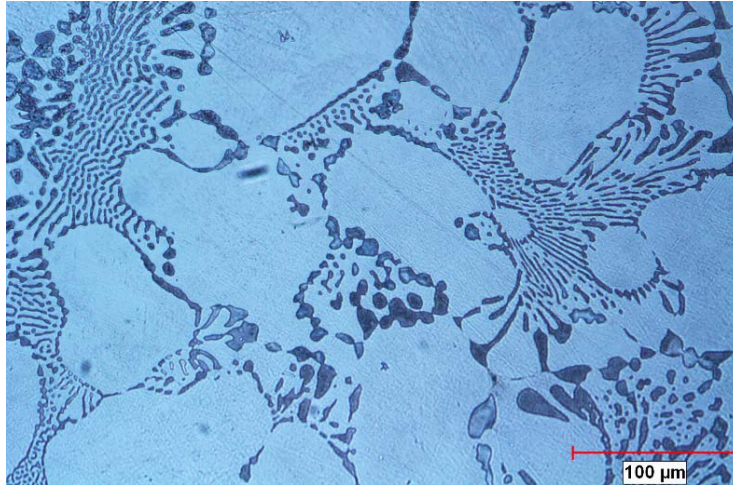
Çizelge 4.11. Ti 0,03 650 450 kokil, EDX analizinde seçili alan üzerinde yer alan elementlerin % ağırlıkça oranları

	Al % Ağırlıkça	Cu % Ağırlıkça	Ti % Ağırlıkça	Zn % Ağırlıkça
Seçili Alan	7,49	1,25	0,15	91,11

Yapılan EDX analizleri ile, alaşımdaki Ti varlığı belirlenmiştir.

4.2.2. Kum kalıba yapılan dökümlerin sonuçları

600°C de kum kalıba yapılan dökümlerde numuneler kokil kalıba dökümden daha yavaş soğumuşlardır. Bu durum çinkoca zengin primer η tanelerinin ötektik fazlarının büyümesine yol açmıştır. Ötektik yapı kokil döküm numunelerine kıyasla çok daha net gözlemlenebilmektedir.

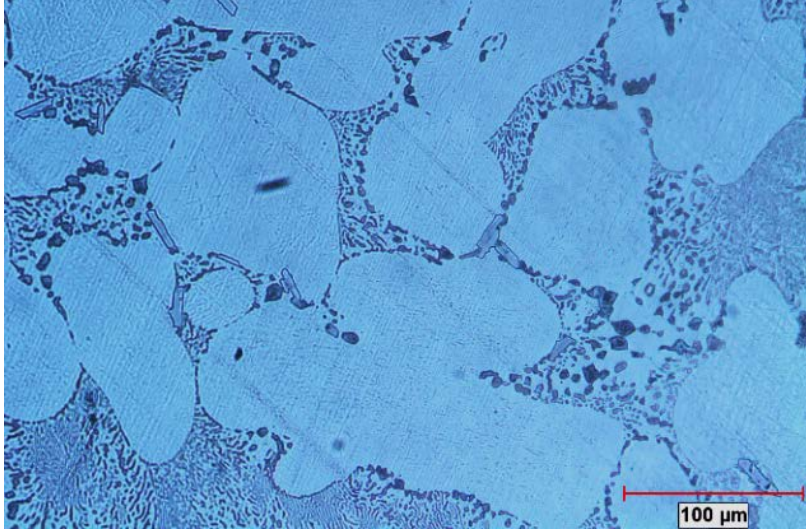


Şekil 4.47. Baz 450 600 kum, 200x optik mikroskop görüntüsü

Alaşıma 450°C’de ilave edilmiş olan Mn elementini içeren numunelerde, intermetalik bileşik parçacıkları, kum kalıba döküm işlemi sonrasında da yapıda net bir şekilde gözlemlenmiştir (Şekil 4.48-4.50).



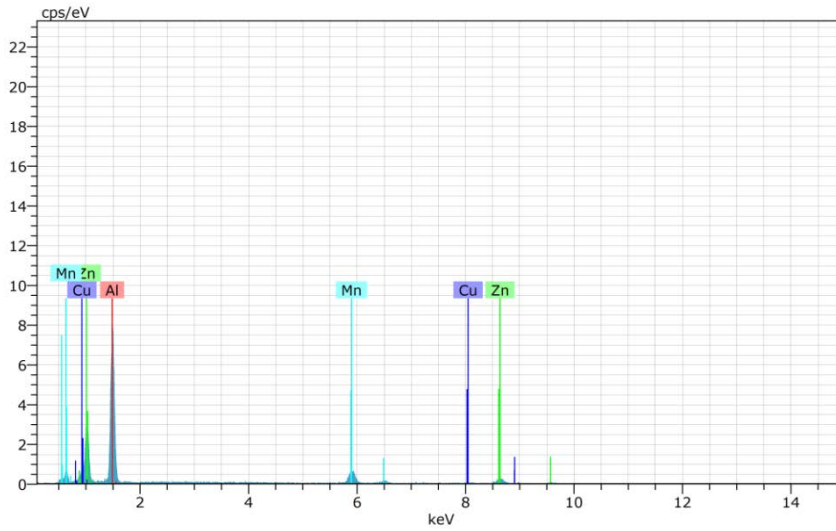
Şekil 4.48. Mn 0,057 450 600 kum, 200x optik mikroskop görüntüsü



Şekil 4.49. Mn 0,126 650 600 kum, 200x optik mikroskop görüntüsü



Şekil 4.50. Mn 0,057 450 600 kum, EDX analizi yapılan SEM görüntüsü

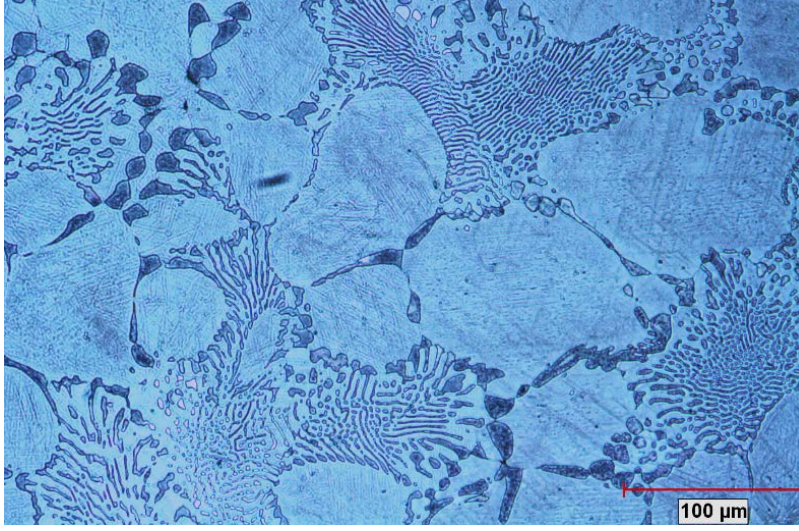


Şekil 4.51. Mn 0,057 450 600 kum, EDX analizinde seçili x noktası üzerinde yer alan elementlerin enerji dağılımları

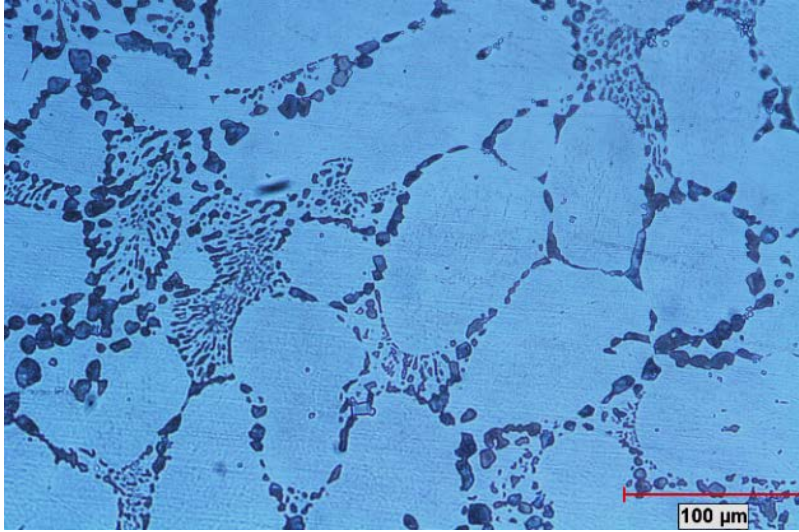
Çizelge 4.12. Mn 0,057 450 600 kum, EDX analizinde seçili x noktası üzerinde yer alan elementlerin % ağırlıkça oranları

	Al % Ağırlıkça	Cu % Ağırlıkça	Mn % Ağırlıkça	Zn % Ağırlıkça
X Noktası	43,14	3,64	20,30	32,92

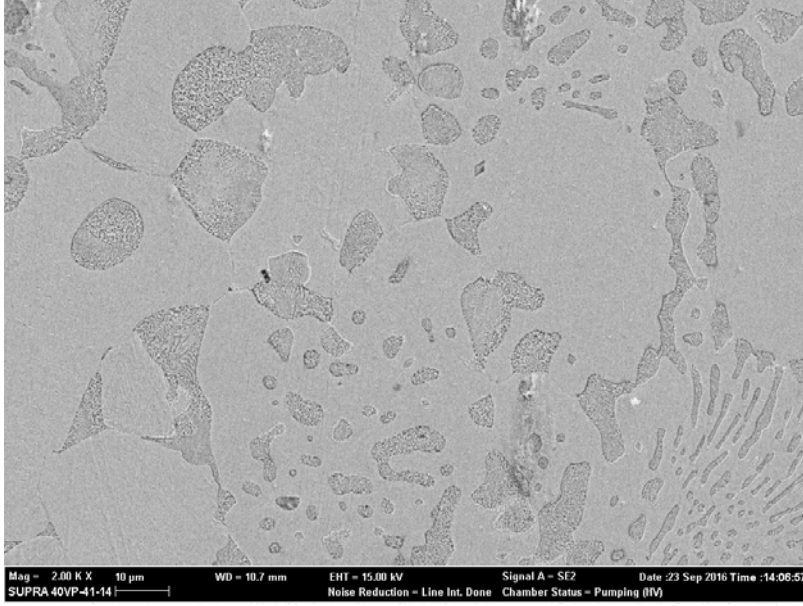
450 °C’de Cr ilavesi yapılan numunelerin kum kalıba döküm işlemi sonrasında mikroyapıları incelendiğinde kokil dökümde meydana gelen Cr ve Al ağırlıklı bölgelerin bu numunelerde çok daha küçük ve az sayıda olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 4.52., 4.54).



Şekil 4.52. Cr 0,035 450 600 kum, 200x optik mikroskop görüntüsü

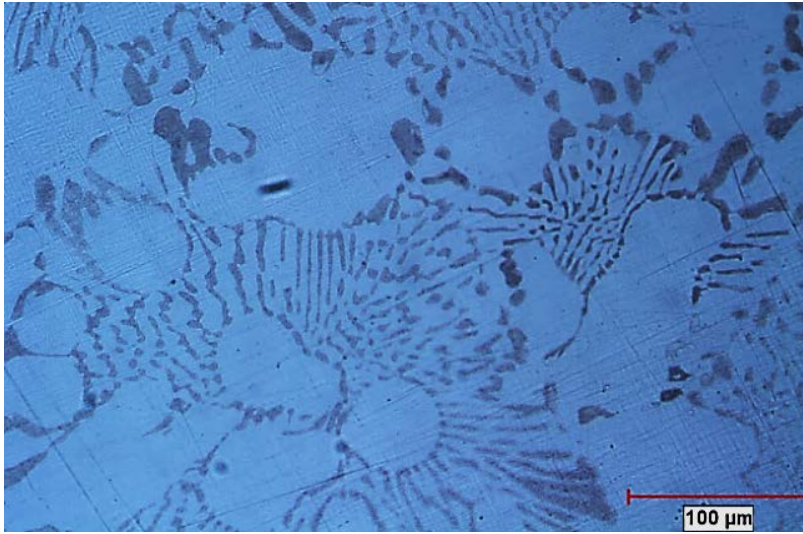


Şekil 4.53. Cr 0,053 650 600 kum, 200x optik mikroskop görüntüsü



Şekil 4.54. Cr 0,035 450 600 kum, 2kx SEM görüntüsü

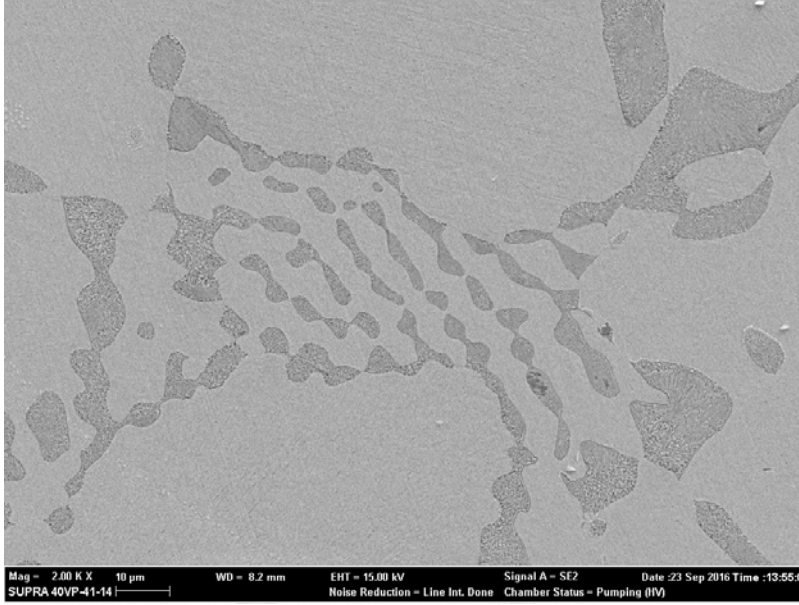
Ti ilaveli alaşımlarda titanyumun 10Ti-90Al ön alaşımı şeklinde eklenmesinden kaynaklanan Al miktarındaki artış kokil kalıba yapılan dökümlerdeki kadar net bir ötektik yapı miktarı artışına yol açmadığı gözlemlenmiştir (Şekil 4.55-5.57).



Şekil 4.55. Ti 0,028 450 600 kum, 200x optik mikroskop görüntüsü



Şekil 4.56. Ti 0,03 650 600 kum, 200x optik mikroskop görüntüsü



Şekil 4.57. Ti 0,03 650 600 kum, 2kx SEM görüntüsü

4.3. Soğuma Eğrileri ve Katılma Sıcaklıkları

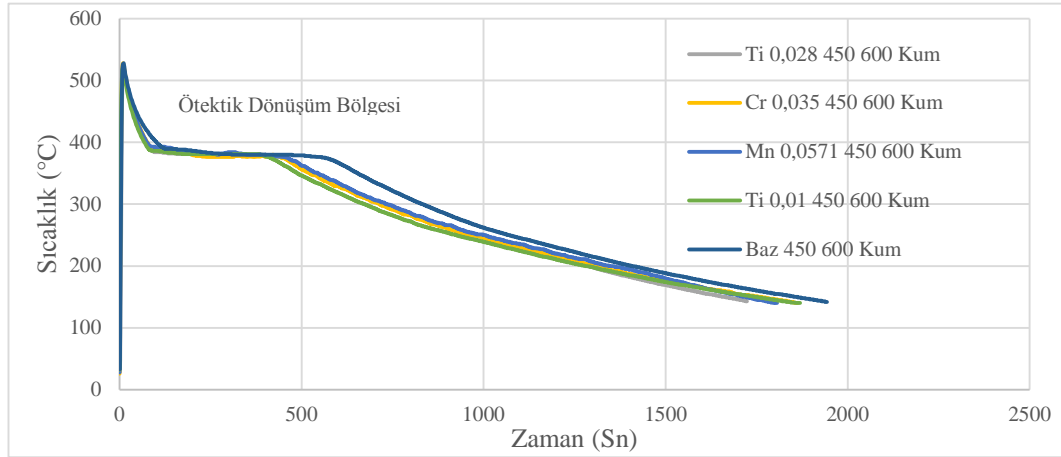
Faz dönüşümleri ve soğuma eğrilerini gözlemleyebilmek adına 450°C’de alaşımlanan ZAMAK-5 baz alaşım, % 0,01 Ti, % 0,028 Ti, %0,057 Mn, % 0,035 Cr ve 650 °C alaşımlanan % 0,03 Ti, % 0,053 Cr ve % 0,126 Mn içeren numuneler 600°C’de tekrar eritilip kum kalıba dökülmüştür. Kum kalıpta gerçekleşen soğuma kokil kalıba kıyasla daha uzun sürede gerçekleşmiş olup bu analiz çerçevesinde katılma sıcaklıklarına yoğunlaşmıştır. Analiz neticelerinin ifade edilmesinde ICP-OES sonuçlarına göre verilen isimlendirilmeler kullanılmıştır. Beklenen ötektik öncesi katılma ve ötektik dönüşümler grafiklerde net şekilde gözlemlenebilmiştir (Şekil 4.58). Soğuma eğrilerindeki ilk eğim değişikliği, sıvı faz içinde η fazının ilk katılmaya

başladığı sıcaklıktır. Sonrasında, 380-381 °C’de ötektik dönüşüme ait sabit sıcaklık bölgesi bulunmaktadır (Şekil 4.59). Ötektik dönüşüm tamamlandığında, tamamen katı fazlardan oluşan yapının soğuduğu görülmektedir. Elde edilen soğuma eğrilerinde, 275 °C’de gerçekleşen ötektoid dönüşüme ait bir belirti gözlenmemiştir.

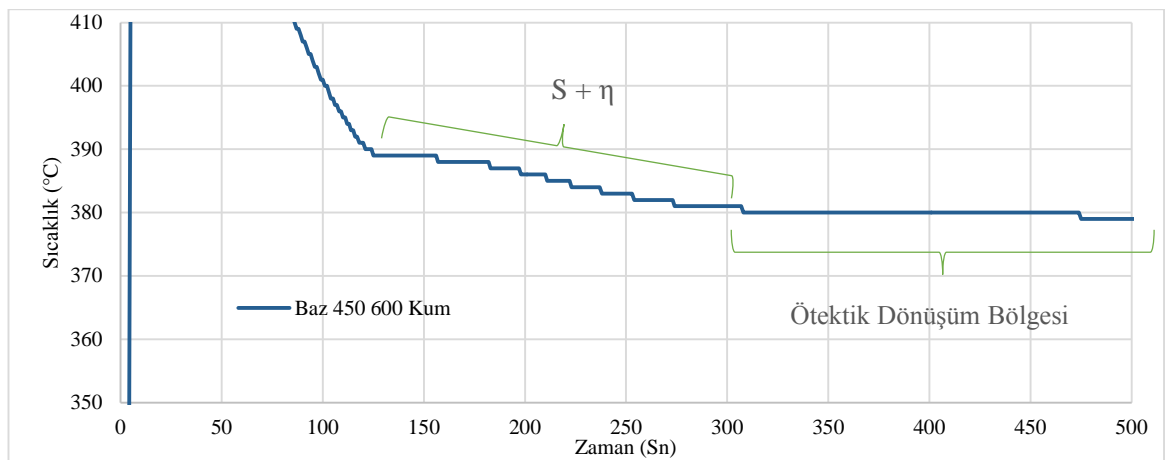
450 °C’de alaşımlanan numunelerde ilk katılaşma sıcaklığı;

- Baz alaşım için 389 °C,
- % 0,057 Mn içeren numune için 395 °C,
- % 0,035 Cr içeren numune için 389 °C,
- % 0,01 Ti içeren alaşımda 387 °C ve % 0,028 Ti ilaveli alaşımda ise 385 °C olmuştur (Şekil.4.76. Şekil 4.77.)

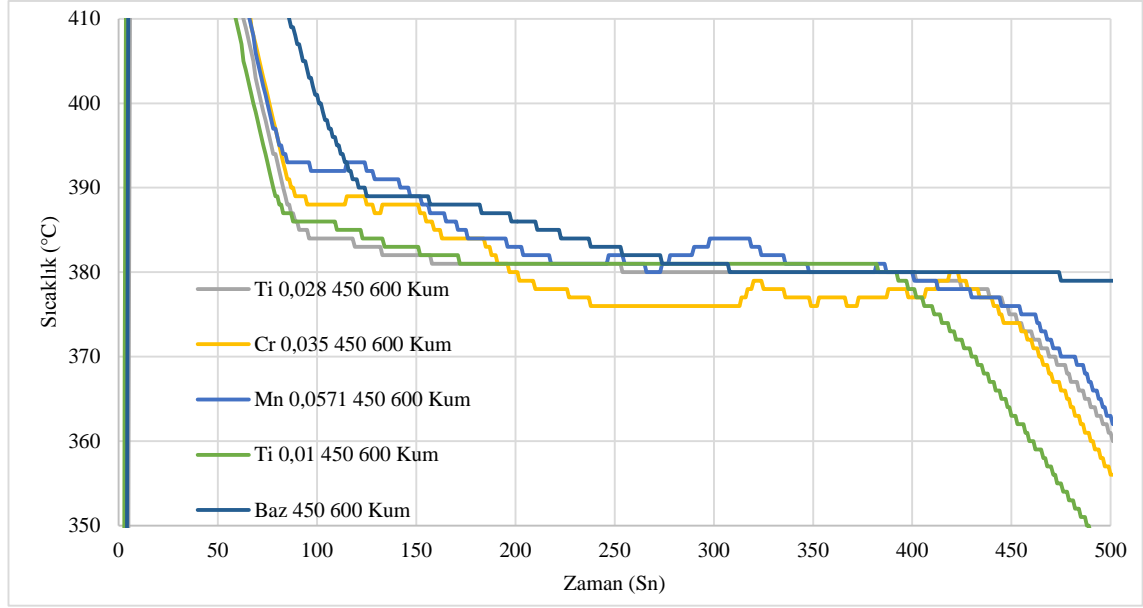
Ti ilaveli numunelerde, diğer numunelere kıyasla daha düşük sıcaklıklarda ilk katılaşmanın başlamasının (Al oranının ötektik bileşime yaklaşması nedeniyle) Zn-Al denge diyagramı ile uyumlu olduğu görülmüştür. Mn içeren alaşımlarda, ilk katılaşma sıcaklığının, baz alaşıma kıyasla yükseldiği görülmüştür.



Şekil 4.58. 450 °C’de alaşımlanan numunelerin karşılaştırmalı soğuma eğrisi sonuçları

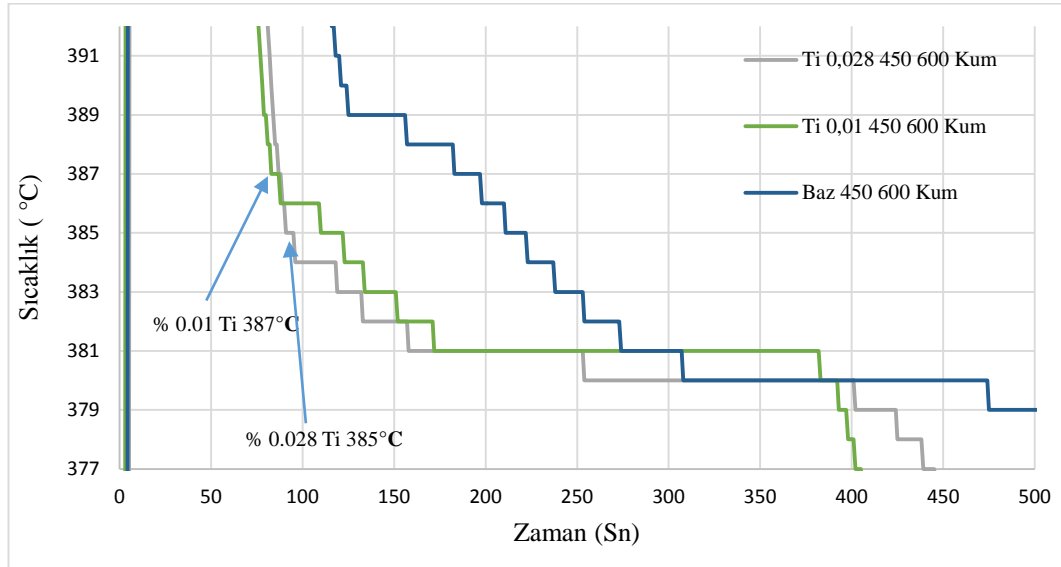


Şekil 4.59. Baz 450 600 ilk katılaşma ve ötektik dönüşüm bölgelerini gösteren grafik



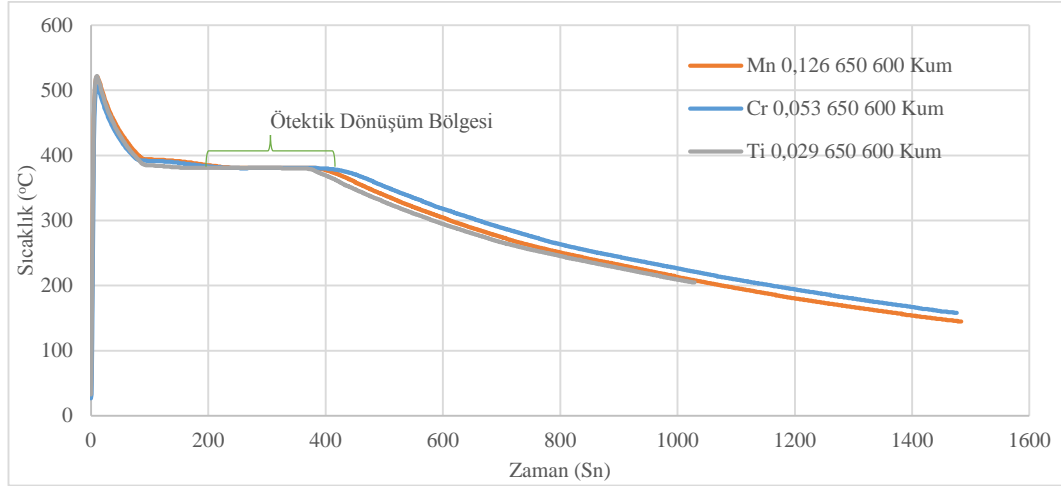
Şekil 4.60. 450 650 kum numunelerinin genişletilmiş karşılatırmalı soğuma eğrisi sonuçları

% 0,01 Ti ve % 0,028 Ti ilaveli alaşımların soğuma eğrileri incelendiğinde Ti ilavesinin Al-Ti (%90 Al - %10 Ti) alaşımı ile yapılması sebebiyle yapıyan karışan Al, alaşımın Al oranını arttırmıştır. Bu nedenle alaşımın bileşimi ötektik bileşime yaklaşmıştır ve ilk katılaşmanın başladığı sıcaklık değerleri baz alaşım ve diğer alaşımlara göre daha düşük sıcaklıklarda gerçekleşmiştir. Eta fazının ilk oluşmaya başlaması, baz alaşımında 389°C 'de gerçekleşirken (Al % 4,4), Al oranı %4,6 olan alaşımında (%0,01 Ti) 387°C 'de ve % 0,028 Ti alaşımında (Al % 5,1) 385°C 'de gerçekleşmektedir. Eta fazının ilk oluşmaya başladığı sıcaklığın, alaşımların Al oranı ile uyumlu olduğu görülmüştür.

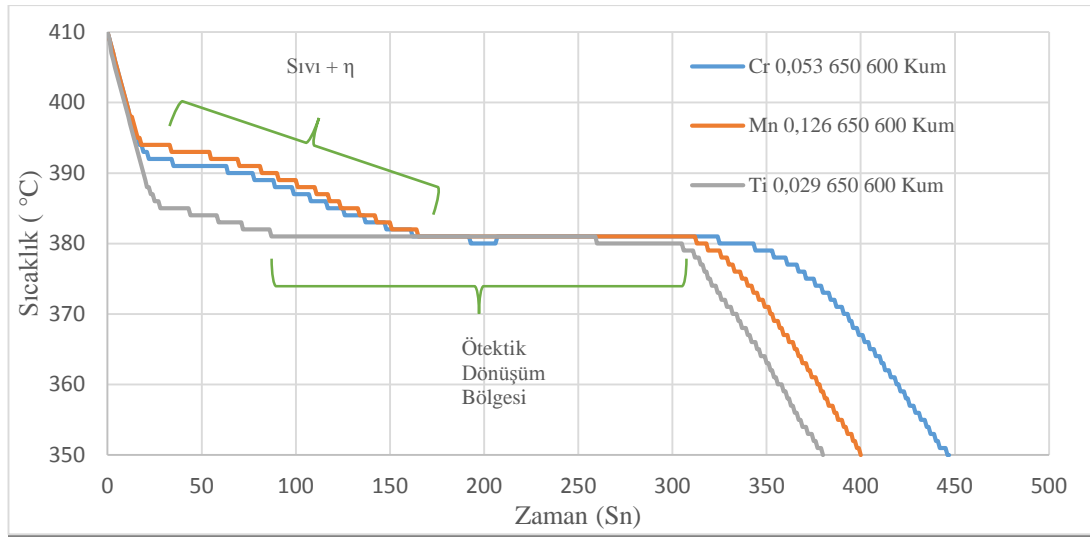


Şekil 4.61. Baz alaşım ve Ti ilaveli alaşımların ilk katılaşma noktaları

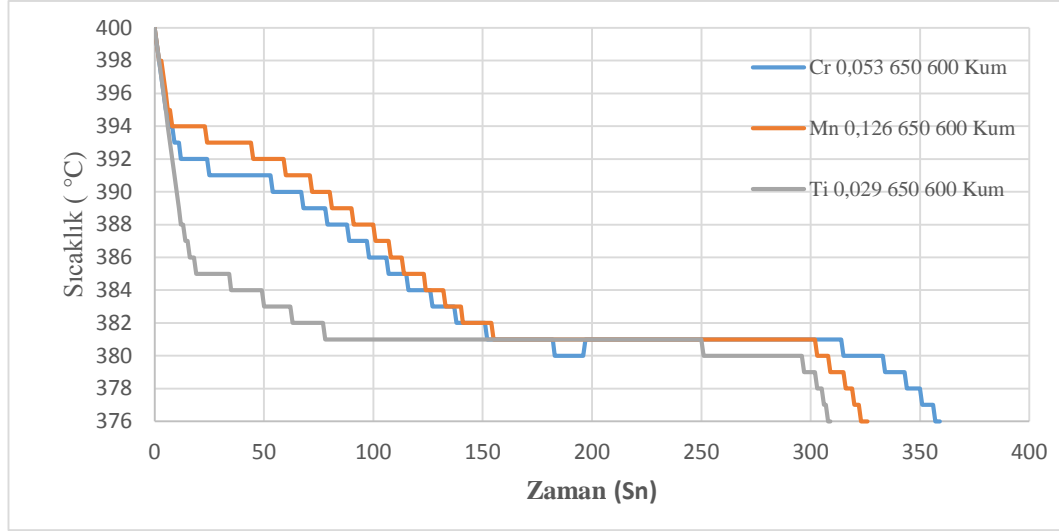
650 °C’de alaşım eklenen numuneler kıyaslandığında, ilk katılaşmanın Cr ve Mn eklenen alaşımlarda sırasıyla 392 ve 394 °C’de gerçekleştiği, Ti eklenen alaşımda 385 °C’de gerçekleştiği görülmektedir. Ti eklenen alaşımda ilk katılaşmanın, nispeten yüksek Al içeriği ile ötektik dönüşüm sıcaklığına yaklaştığı görülmektedir.



Şekil 4.62. 650 °C’de alaşımlandırılan ve 600 °C’de kum kalıba dökümü gerçekleştirilen numunelerin karşılaştırmalı soğuma eğrisi grafikleri



Şekil 4.63. 650 °C’de alaşımlandırılan ve 600 °C’de kum kalıba dökümü gerçekleştirilen numunelerin genişletilmiş karşılaştırmalı soğuma eğrisi grafikleri



Şekil 4.64. 650°C'de alaşımlanan ve 600°C'de kum kalıba dökümü gerçekleştirilen numunelerin 400 °C – 350 °C aralığında genişletilmiş karşılaştırmalı soğuma eğrisi grafikleri

4.4. Mekanik Deneyler

4.4.1. Sertlik Deneyleri

Sertlik deneylerinin gerçekleştirilebilmesi için 7.9 mm çaplı döküm numunelerinden 10mm kalınlığında birer parça kesilip bu parçalar bakalite alınmıştır (Bkz. Sayfa 23). Bakalite alınan numunelerin Brinell sertlik ölçüm cihazında sertlik değerleri tespit edilip standart sapmaları hesaplanmıştır. Elde edilen değerler tablolar halinde sunulmuştur.

4.4.1.1. 450 °C'de alaşımlanan numunelerin sertlik deneyleri

450 °C'de alaşımlandırılan numunelerin sertlik değerleri incelendiğinde, % 0,057 Mn içeren numune hariç tüm numunelerin sertlik değerlerinin baz alaşıma kıyasla az oranda yükseldiği görülmüştür (Çizelge 4.13-4.15, Şekil 4.65). % 0,057 Mn içeren numunenin 97,05 BSD ($\pm 0,98$)'ne sahip baz alaşıma kıyasla küçük farklarla da olsa daha düşük sertlik değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir. İlave alaşım elementi içeren numunelerin kendi aralarında bir karşılaştırma yapıldığında ise % 0,01 Ti içerikli numunenin 100,16 BSD ($\pm 1,84$), % 0,028 Ti içeren numunenin 98,26 BSD ($\pm 0,86$), % 0,035 Cr içeren numunenin 98,03 BSD ($\pm 0,25$) ve % 0,057 Mn içeren numunenin 95,61 BSD ($\pm 0,35$)'ne sahip olduğu tespit edilmiştir. (Çizelge 4.17.)

Standart sapmalar göz önünde bulundurulduğunda % 0,057 Mn içeren numunenin sertlik değerinin baz alaşıma kıyasla daha düşük olmasının haricinde anlamlı bir farklılık gözlemlenmemiştir.

Çizelge 4.13. Baz alaşımlı (ZAMAK 5) numunelerin ortalama sertlik değerleri

Numune No	Numune İsmi	Ort. Sertlik Değeri (BSD)	Std. Sapma	Grup Ort. (BSD)	Grup Std. Sapma
21	Baz 450 450 Kokil	96,83	0,98	97,05	0,98
22	Baz 450 450 Kokil	98,13	0,29		
23	Baz 450 450 Kokil	96,2	3,21		

Çizelge 4.14. %0,057 Mn ilave alaşım elementli numunelerin ortalama sertlik değerleri

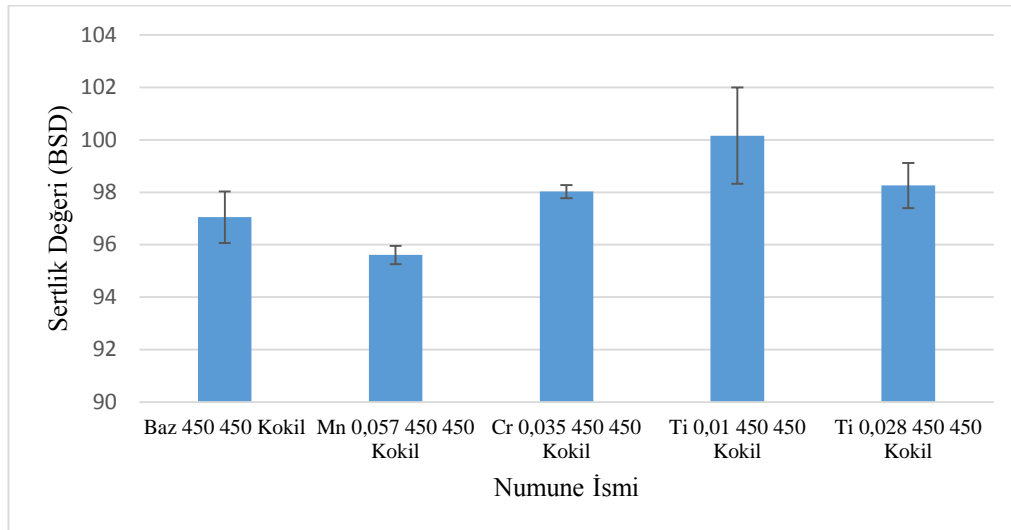
No	Numune İsmi	Ort. Sertlik Değeri (BSD)	Std. Sapma	Grup Ort. (BSD)	Grup Std. Sapma
39	Mn 0,057 450 450 Kokil	95,83	0,64	95,61	0,35
40	Mn 0,057 450 450 Kokil	95,8	0,75		
41	Mn 0,057 450 450 Kokil	95,2	2,09		

Çizelge 4.15. %0,035 Cr ilave alaşım elementli numunelerin ortalama sertlik değerleri

No	Numune İsmi	Ort. Sertlik Değeri (BSD)	Std. Sapma	Grup Ort. (BSD)	Grup Std. Sapma
27	Cr 0,035 450 450 Kokil	98,17	1,11	98,03	0,25
28	Cr 0,035 450 450 Kokil	96,8	1,61		
29	Cr 0,035 450 450 Kokil	99,13	1,3		

Çizelge 4.16. % 0,01 Ti ve %0,028 Ti ilave alaşım elementli numunelerin ortalama sertlik değerleri

No	Numune İsmi	Ort. Sertlik Değeri (BSD)	Std. Sapma	Grup Ort. (BSD)	Grup Std. Sapma	No	Numune İsmi	Ort. Sertlik Değeri (BSD)	Std. Sapma	Grup Ort. (BSD)	Grup Std. Sapma
31	Ti 0,01 450 450 Kokil	99,7	1,35	100,16	1,84	33	Ti 0,028 450 450 Kokil	97,80	1,83	98,26	0,86
32	Ti 0,01 450 450 Kokil	102,2	1,2			34	Ti 0,028 450 450 Kokil	99,26	2,05		
42	Ti 0,01 450 450 Kokil	98,6	0,52			35	Ti 0,028 450 450 Kokil	97,73	1,33		



Şekil 4.65. Kokil kalıba dökümü yapılan numunelerin (450 °C) toplu sertlik değeri karşılaştırma grafiği

Çizelge 4.17. 450 °C’de alaşımlanan ve kokil kalıba dökümü yapılan numunelerin toplu sertlik değeri karşılaştırma tablosu

% Ağırlıkça Alaşım Elementi	Numune İsmi	Sertlik Ortalama Değeri (BSD)	Standart Sapma
Baz Alaşım	Baz 450 450 Kokil	97,05	0,98
% 0,057 Mn	Mn 0,057 450 450 Kokil	95,61	0,35
% 0,035 Cr	Cr 0,035 450 450 Kokil	98,03	0,25
% 0,01 Ti	Ti 0,01 450 450 Kokil	100,16	1,84
%0,028 Ti	Ti 0,028 450 450 Kokil	98,26	0,86

4.4.1.2. 650 °C’de alaşımlanan numunelerin sertlik deneyleri

650 °C’de alaşımlanan numunelerin sertlik değerleri incelendiğinde 102,28 BSD ($\pm 2,83$) değeri ile en yüksek sertlik değerinin % 0,03 Ti içerikli numunede, en düşük sertlik değerinin ise 96,92 BSD ($\pm 2,41$)’ye sahip olan baz alaşımda olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.18-4.21, Şekil 4.66). İlave alaşım elementi içeren numunelerin (% 0,126 Mn, % 0,053 Cr, % 0,03 Ti) baz alaşımdan az miktarda daha yüksek sertlik değerlerine sahip olmakla birlikte kendi aralarından belirgin farklılıklar göstermemişlerdir (Çizelge 4.22.)

Çizelge 4.18. Baz alaşımlı (ZAMAK 5) numunelerin ortalama sertlik değerleri (Baz 650 450 kokil)

No	% Ağırlıkça İlave Alaşım Elementi	Ort. Sertlik Değeri (BSD)	Std. Sapma	Grup Ort. (BSD)	Grup Std. Sapma
2	Yok	94,16	1,91	96,92	2,41
3	Yok	97,93	1,61		
4	Yok	98,66	1,47		

Çizelge 4.19. % 0,126 Mn ilave alaşım elementli numunelerin ortalama sertlik değerleri (Mn 0,126 650 450 Kokil)

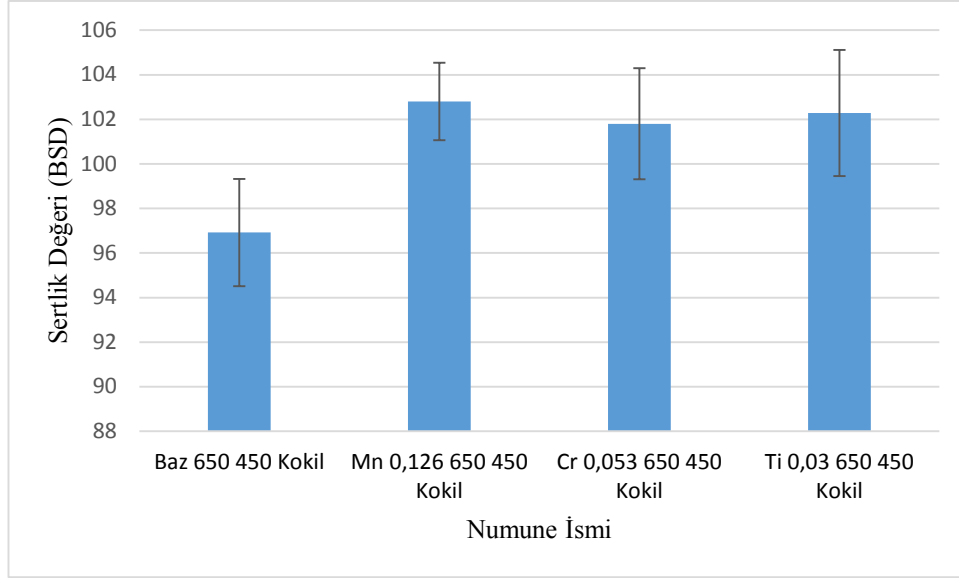
No	% Ağırlıkça İlave Alaşım Elementi	Ort. Sertlik Değeri (BSD)	Std. Sapma	Grup Ort. (BSD)	Grup Std. Sapma
17	% 0,126 Mn	101,2	1,92	102,8	1,74
18	% 0,126 Mn	102,53	2,91		
19	% 0,126 Mn	104,66	2,27		

Çizelge 4.20. % 0,053 Cr ilave alaşım elementli numunelerin ortalama sertlik değerleri (Cr 0,053 650 450 kokil)

No	% Ağırlıkça İlave Alaşım Elementi	Ort. Sertlik Değeri (BSD)	Std. Sapma	Grup Ort. (BSD)	Grup Std. Sapma
12	% 0,053 Cr	99	1,21	101,8	2,49
13	% 0,053 Cr	102,6	0,69		
14	% 0,053 Cr	103,8	0,34		

Çizelge 4.21. % 0,03 Ti ilave alaşım elementli numunelerin ortalama sertlik değerleri (Ti 0,03 650 450 kokil)

No	% Ağırlıkça İlave Alaşım Elementi	Ort. Sertlik Değeri (BSD)	Std. Sapma	Grup Ort. (BSD)	Grup Std. Sapma
7	% 0,03 Ti	99,73	1,70	102,28	2,83
8	% 0,03 Ti	101,8	0,69		
9	% 0,03 Ti	105,33	0,92		



Şekil 4.66. 650 °C’de alaşımlanan ve kokil kalıba dökümü yapılan numunelerin toplu sertlik değeri karşılaştırma grafiği

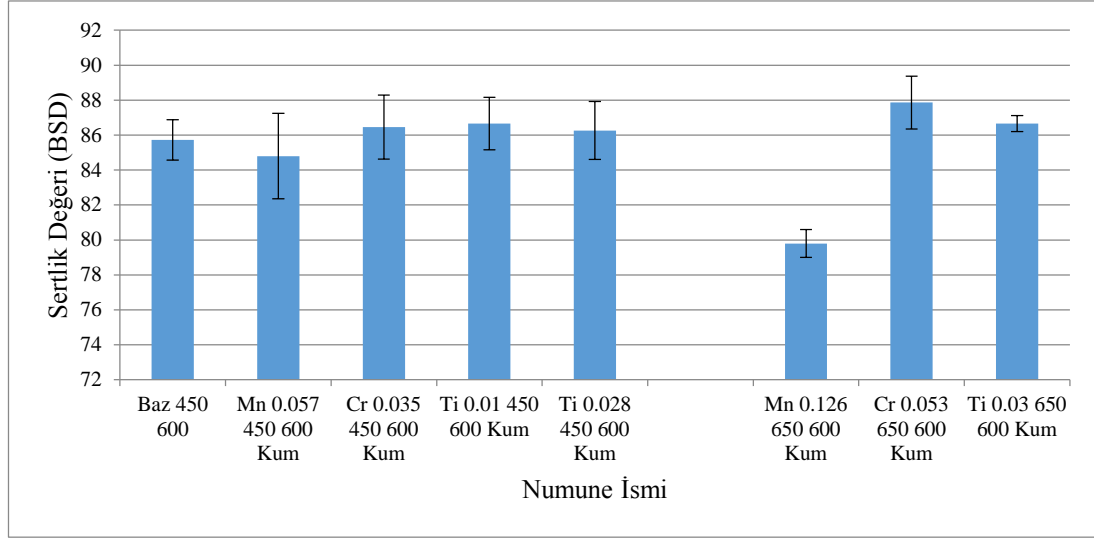
Çizelge 4.22. 650 °C’de alaşımlanan ve kokil kalıba dökümü yapılan numunelerin toplu sertlik değeri karşılaştırma tablosu

% Ağırlıkça Alaşım Elementi	Numune İsmi	Sertlik Ortalama Değeri (BSD)	Standart Sapma
Baz Alaşım	Baz 650 450 Kokil	96,92	2,41
% 0,126 Mn	Mn 0,126 650 450 Kokil	102,80	1,74
% 0,053 Cr	Cr 0,053 650 450 Kokil	101,80	2,49
%0,03 Ti	Ti 0,03 650 450 Kokil	102,28	2,83

4.4.1.3. Kum kalıba yapılan döküm numunelerinin sertlik deneyleri

Kum kalıp sertlik numuneleri 35 mm x 35 mm taban ölçülerine sahip 45mm yüksekliğindeki kare kesik piramit şeklindeki döküm numunesinden 20mm kalınlığında kesilerek alınmıştır. 450°C ve 650°C’de alaşımlanan numuneler 600°C’de eritilip kum kalıba dökülmüştür. Kum kalıba döküm işlemi öncelikli olarak soğuma eğrileri ve faz dönüşümlerini gözlemleyebilmek için yapılmış olup, kum kalıbın kokil kalıba nazaran daha uzun sürede soğumasından kaynaklı olarak sertlik değerlerinde meydana gelen bir değişim olup olmadığı gözlemlenmiştir.

%0,126 Mn içeriğine sahip olan numunenin 79,80 BSD ($\pm 0,80$) ile baz alaşım ve diğer ilave alaşım elementi içeren numunelerden daha düşük sertlik değerlerine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Diğer alaşım elementlerinin, sertlik değerini az oranda arttırdığı görülmüştür. Deney numunelerinin sertlik değerleri Şekil 4.67’de ve Çizelge 4.23’te verilmiştir.



Şekil 4.67. Kum kalıba dökümü yapılan numunelerin toplu sertlik değeri karşılaştırma grafiği

Çizelge 4.23. Kum kalıba dökümü yapılan numunelerin toplu sertlik değeri karşılaştırma tablosu

% Ağırlıkça Alaşım Elementi	Numune İsmi	Sertlik Ortalama Değeri (BSD)	Standart Sapma
Baz Alaşım	Baz 450 600	85,73	1,15
% 0,057 Mn	Mn 0,057 450 600 Kum	84,80	2,44
% 0,035 Cr	Cr 0,035 450 600 Kum	86,46	1,83
% 0,01 Ti	Ti 0,01 450 600 Kum	86,66	1,51
%0,028 Ti	Ti 0,028 450 600 Kum	86,26	1,66
% 0,126 Mn	Mn 0,126 650 600 Kum	79,80	0,80
% 0,053 Cr	Cr 0,053 650 600 Kum	87,86	1,51
% 0,03 Ti	Ti 0,03 650 600 Kum	86,66	0,46

4.4.2. Üç nokta Eğme Deneyleri

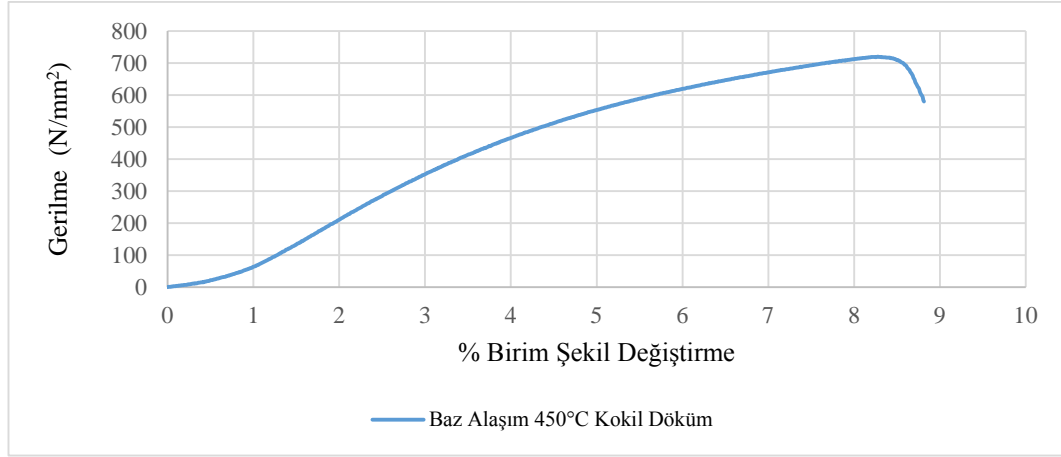
Tüm modifikasyonlar ve baz alaşımlar 3 nokta eğme deneyine tabi tutulmuştur. Bu çalışma kapsamında toplamda 41 adet üç nokta eğme numunesi deneye tabi tutulmuştur. ZAMAK-5 baz alaşımı ve yüksek oranda ilave yapılan alaşımlar (% 0,1 Ti, % 0,2 Cr ve % 0,2 Mn) sıcaklığın ilave alaşım elementinin % ağırlıkça karışmasındaki etkisini gözlemlemek amacıyla 2 ayrı set halinde hazırlanıp hem 450°C’de hem de 650°C’de alaşımlandırılıp dökülmüştür. Deney sonuçları tablolar halinde karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

4.4.2.1. 450 °C’de alaşımlanan numunelerin 3 nokta eğme deneyi sonuçları

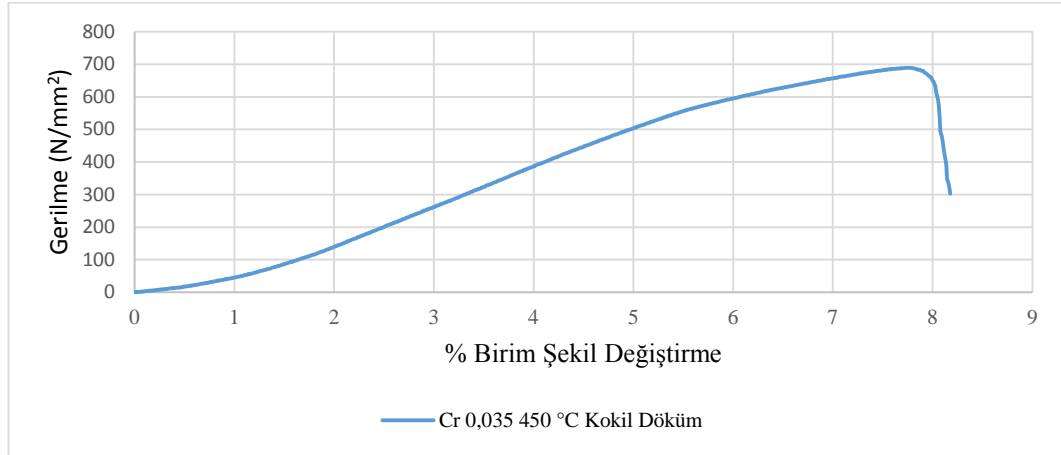
Alaşımlarının her birinden 3 adet olmak üzere toplam 21 numune üç nokta eğme deneyine tabi tutulmuş 15 tanesi yukarıda açıklandığı üzere değerlendirmeye alınmıştır. 3 nokta eğme testlerinde elde edilen tipik gerilme – birim şekil değişimi grafikleri, Şekil 4.68 – 4.71’de sunulmuştur. Deney neticelerine göre ZAMAK-5 baz alaşımının eğme dayanımı 699,81 (± 48,44) MPa olarak gözlemlenmiştir. Baz alaşımı takiben sırasıyla;

- % 0,57 Mn içeren numunelerin ortalaması 617,43 MPa ($\pm 52,95$),
- % 0,035 Cr içeren numunelerin ortalaması 656,03 MPa ($\pm 76,16$),
- % 0,028 Ti içeren numunelerin ortalaması 569,21 MPa ($\pm 114,33$) olmuştur (Şekil 4.72).

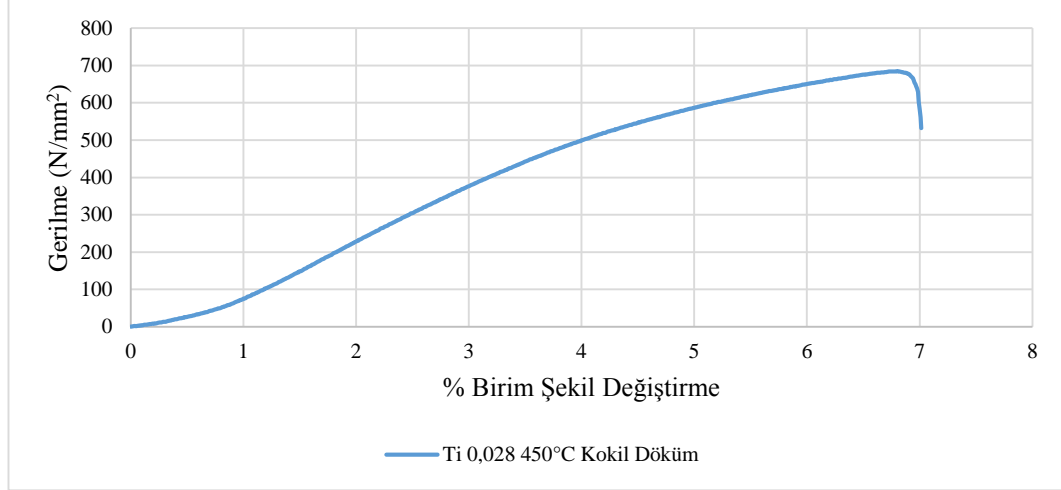
İlave alaşım elementlerinin kendi içerisinde eğilme dayanımlarında kayda değer bir değişiklik olmadığı tespit edilmiştir. Deney numunelerinin eğme dayanımları karşılaştırmalı olarak Çizelge 4.24.'de verilmiştir. % birim şekil değişimi değerlerinde ise Ti 0,028 450 450 Kokil numunesinin baz alaşıma kıyasla daha düşük % birim şekil değişimi değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.24.)



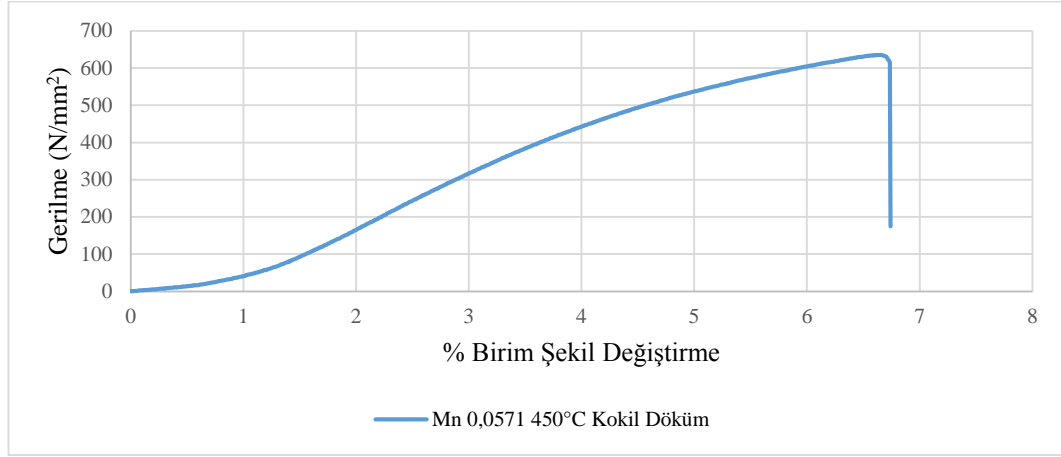
Şekil 4.68. Baz 450 450 kokil, 3 nokta eğme deneyi sonuç grafiği



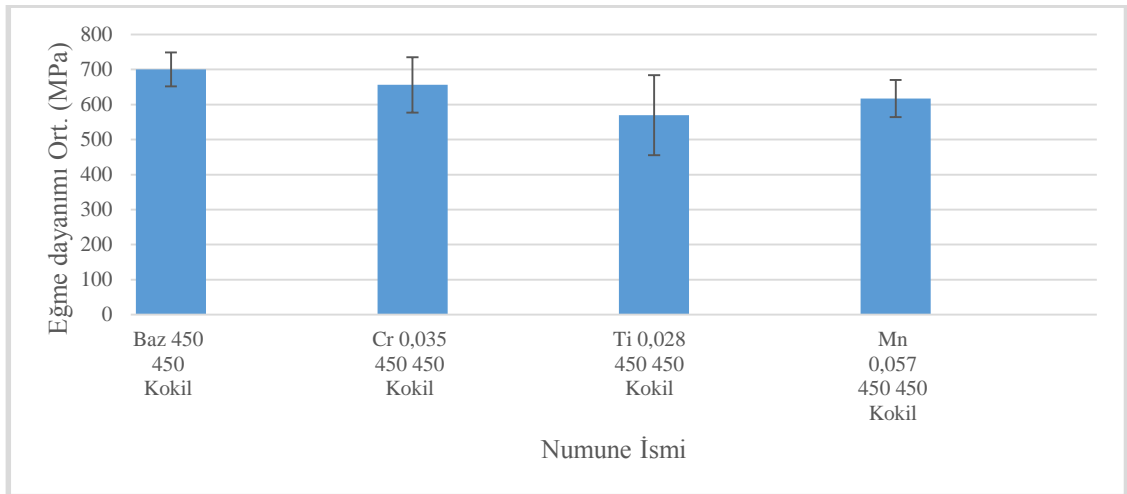
Şekil 4.69. Cr 0,035 450 450 kokil, 3 nokta eğme deneyi sonuç grafiği



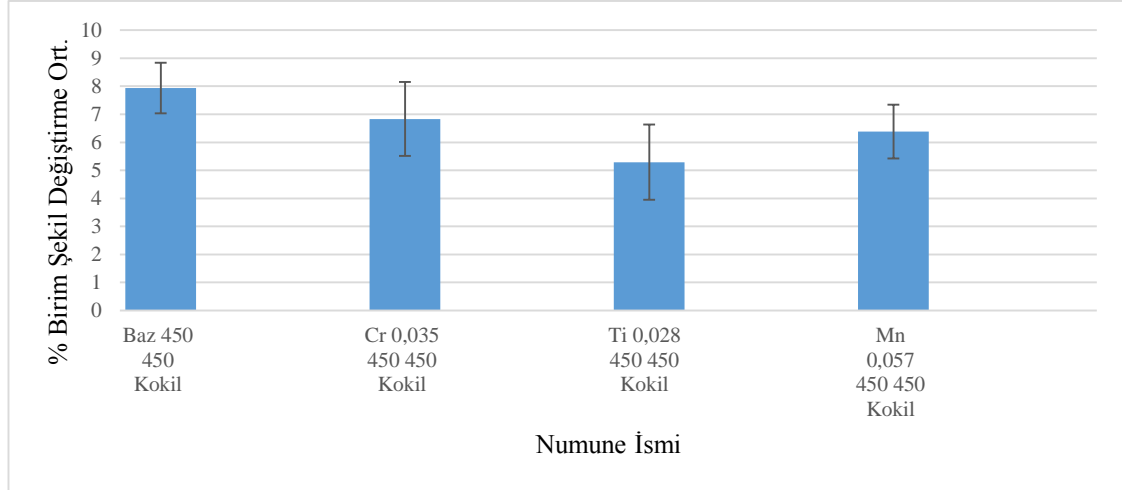
Şekil 4.70. Ti 0,028 450 450 kokil, 3 nokta eğme deneyi sonuç grafiği



Şekil 4.71. Mn 0,057 450 450 kokil, 3 nokta eğme deneyi sonuç grafiği



Şekil 4.72. 450 °C'de dökülen alaşımların karşılaştırmalı 3 nokta eğme deneyi sonuç grafiği



Şekil 4.73. 450 °C’de dökülen alaşımların karşılaştırmalı % Birim Şekil Değiştirme sonuç grafiği

Çizelge 4.24. 450 °C’de dökülen alaşımların karşılaştırmalı 3 nokta eğme deneyi sonuçları

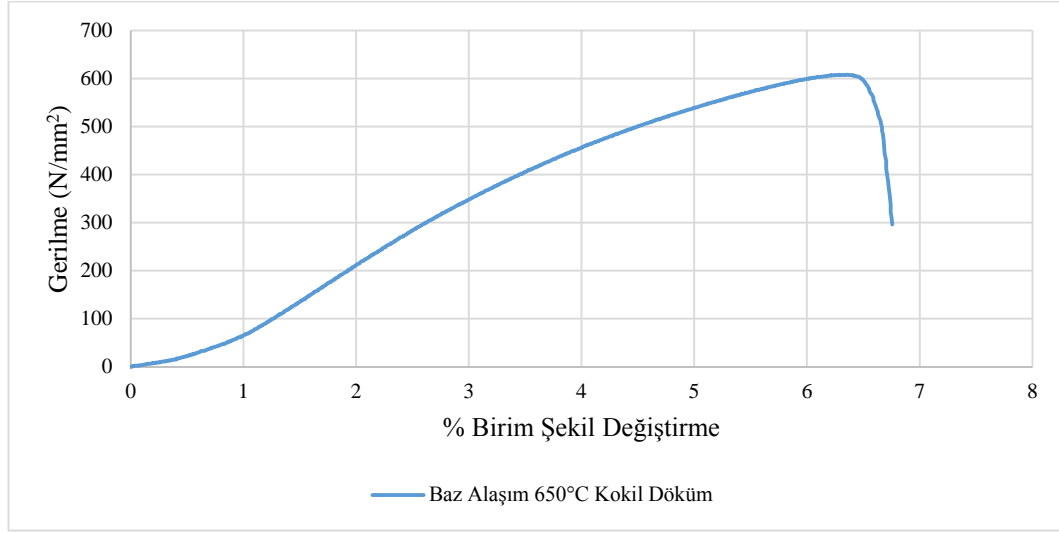
No	Numune İsmi	Eğme dayanımı (MPa)	% Birim Şekil Değiştirme	Eğme dayanımı Ort. (MPa)	% Birim Şekil Değiştirme Ort.	Eğme dayanımı 1 Std. Sapma	% Birim Şekil Değiştirme Std. Sapma
21	Baz 450 450 Kokil	644,59	6,91	699,81	7,94	48,44	0,90
22	Baz 450 450 Kokil	735,18	8,63				
23	Baz 450 450 Kokil	719,65	8,28				
27	Cr 0,035 450 450 Kokil	565,71	5,30	656,03	6,83	79,16	1,32
28	Cr 0,035 450 450 Kokil	713,39	7,40				
29	Cr 0,035 450 450 Kokil	688,98	7,76				
33	Ti 0,028 450 450 Kokil	499,53	4,77	569,21	5,29	114,33	1,34
34	Ti 0,028 450 450 Kokil	522,94	4,33				
35	Ti 0,028 450 450 Kokil	685,15	6,79				
39	Mn 0,057 450 450 Kokil	659,12	7,18	617,43	6,38	52,95	0,96
40	Mn 0,057 450 450 Kokil	635,31	6,65				
41	Mn 0,057 450 450 Kokil	557,84	5,30				

4.4.2.2. 650 °C’de alaşımlanan numunelerinin 3 nokta eğme deneyi sonuçları

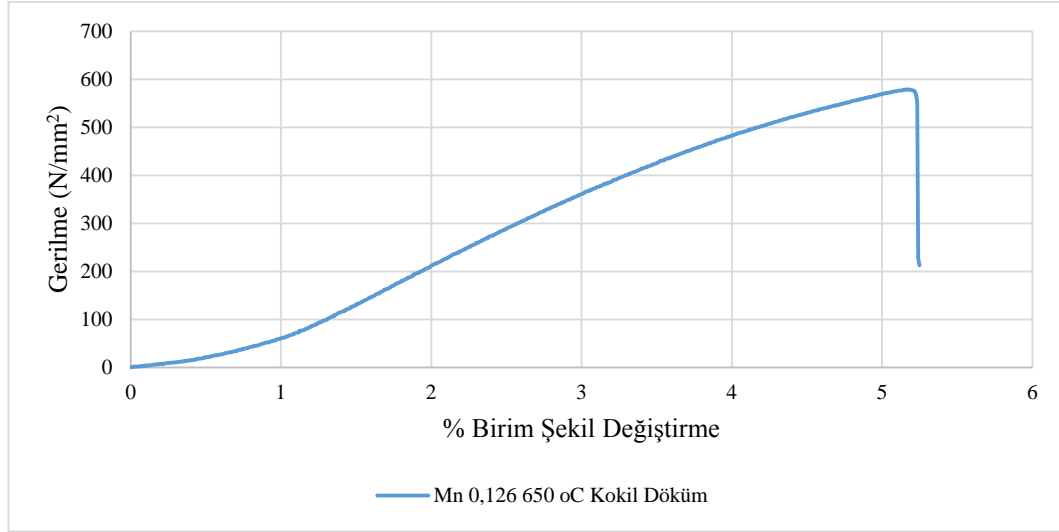
Deney sonuçlarına göre % 0,03 Ti içeren numunelerin ortalaması 643,92 MPa ($\pm 30,52$) ZAMAK-5 baz alaşım numunelerinin ortalama değeri 620,254 MPa (± 31) % 0,053 Cr içeren numunelerin ortalaması 595,77 MPa ($\pm 81,66$) ve % 0,126 Mn içeren numunelerin ortalaması ise 580,57 MPa ($\pm 1,10$)’dır (Şekil 4.74-4.79, Çizelge 4.25).

% Birim şekil değiştirme değerlerinde incelendiğinde Mn 0,126 650 450 Kokil % 5,48 ($\pm 0,4$) değeri ile Cr 0,053 650 450 Kokil (% 5,61 ($\pm 1,36$)), Baz 650 450 Kokil (%

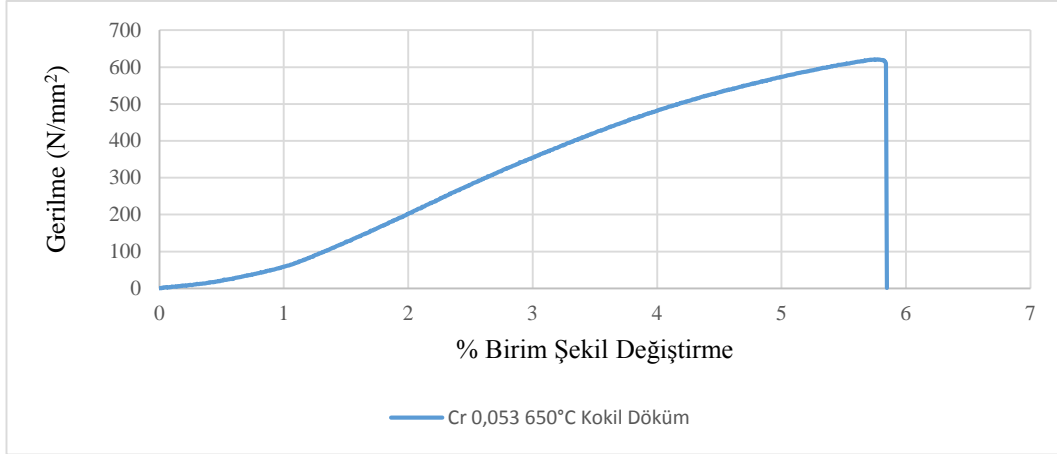
7,22 ($\pm 0,85$) ve Ti 0,03 650 450 Kokil (% 6,18 ($\pm 0,59$))'den daha düşük % birim şekil değıştirme değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir.



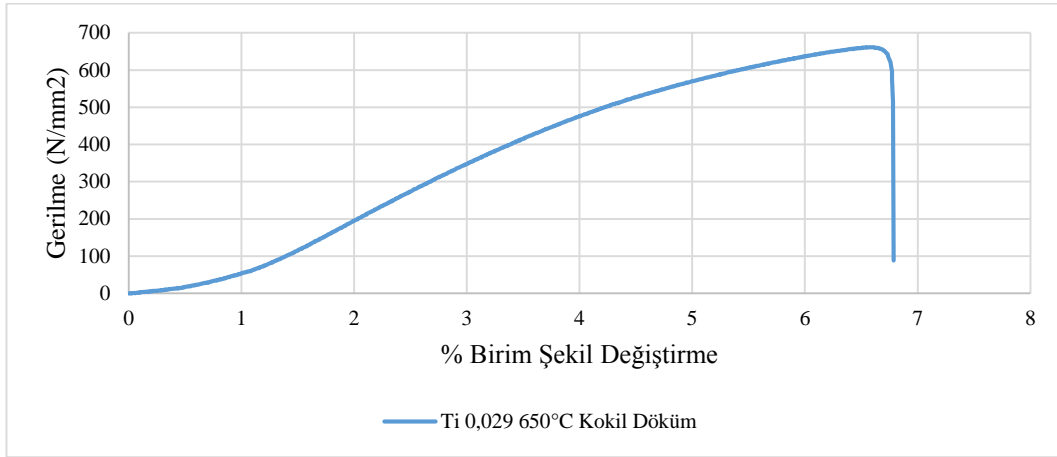
Şekil 4.74. Baz 650 450 kokil, 3 nokta eğme deneyi sonuç grafiğı



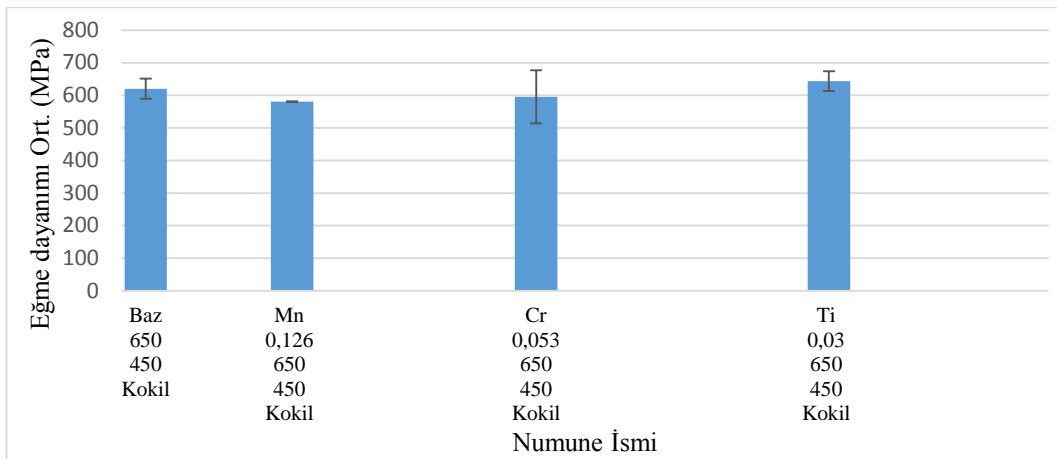
Şekil 4.75. Mn 0,126 650 450 kokil, 3 nokta eğme deneyi sonuç grafiğı



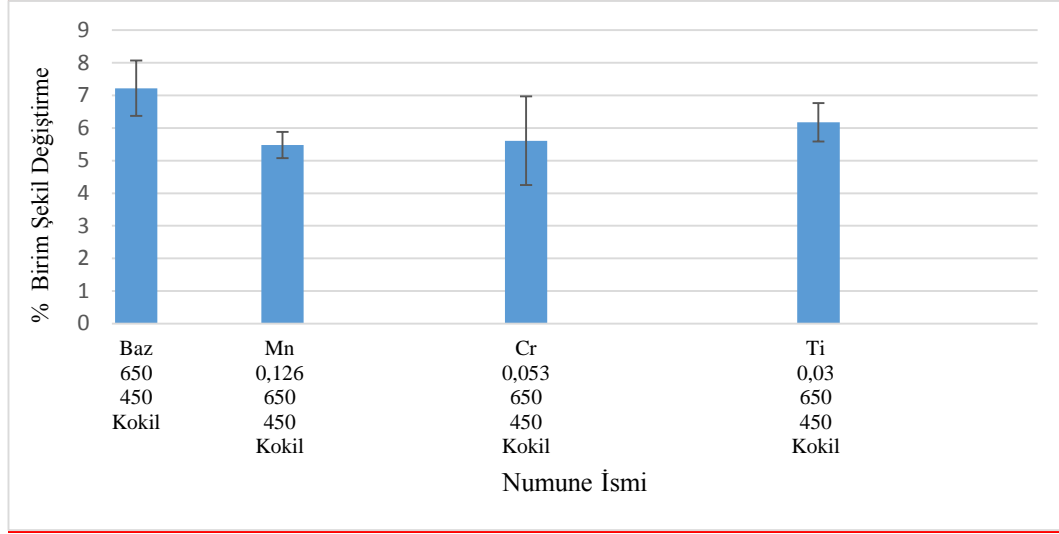
Şekil 4.76. Cr 0,035 450 450 kokil, 3 nokta eğme deneyi sonuç grafiği



Şekil 4.77. Ti 0,03 650 450 kokil, 3 nokta eğme deneyi sonuç grafiği



Şekil 4.78. 650°C'de alaşımlanan numunelerin karşılaştırmalı 3 nokta eğme deneyi karşılaştırmalı sonuç grafiği



Şekil 4.79. 650°C’de alaşımlanan numunelerin karşılaştırmalı % birim şekil değiştirme karşılaştırmalı sonuç grafiği

Çizelge 4.25. 650°C’de alaşımlanan numunelerin karşılaştırmalı 3 nokta eğme deneyi sonuçları

No	% Ağırlıkça Alaşım Elementi	Eğme dayanımı (MPa)	% Birim Şekil Değişime	Eğme dayanımı Ort. (MPa)	% Birim Şekil Değişime Ort.	Eğme dayanımı Std. Sapma	% Birim Şekil Değişime Std. Sapma
2	Baz 650 450 Kokil	597,187	8,0769	620,25	7,22	31	0,85
3	Baz 650 450 Kokil	608,082	6,37056				
4	Baz 650 450 Kokil	655,494	7,21997				
17	Mn 0,126 650 450 Kokil	578,03	5,17987	580,579	5,48	1,10	0,4
18	Mn 0,126 650 450 Kokil	569,951	5,32397				
19	Mn 0,126 650 450 Kokil	593,758	5,95344				
12	Cr 0,053 650 450 Kokil	504,583	4,18637	595,77	5,61	81,66	1,36
13	Cr 0,053 650 450 Kokil	662,152	6,90902				
14	Cr 0,053 650 450 Kokil	620,591	5,75626				
7	Ti 0,03 650 450 Kokil	661,95	6,48432	643,92	6,18	30,52	0,59
8	Ti 0,03 650 450 Kokil	661,143	6,57533				
9	Ti 0,03 650 450 Kokil	608,687	5,4984				

4.5. Basma Deneyi Sonuçları

Gerçekleştirilen basma deneyleri neticesinde oluşturulan grafikler üzerinden % 0,2 offset Metodu ile deney numunelerinin akma dayanımları belirlenmiştir. Deneyler 50 kN kapasiteli SHIMADZU AUTOGRADH A6-IC Mekanik Test Cihaz kapasitesinin

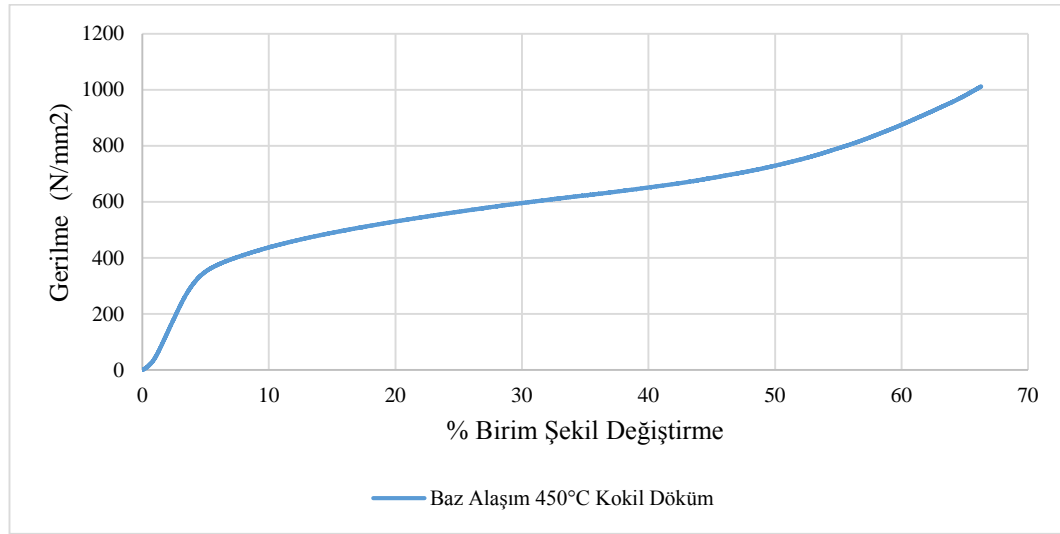
sonuna kadar gerçekleştirilmiştir. Akma dayanımının hesaplanması için gerekli olan deformasyon sağlanmıştır (Şekil 4.80.)



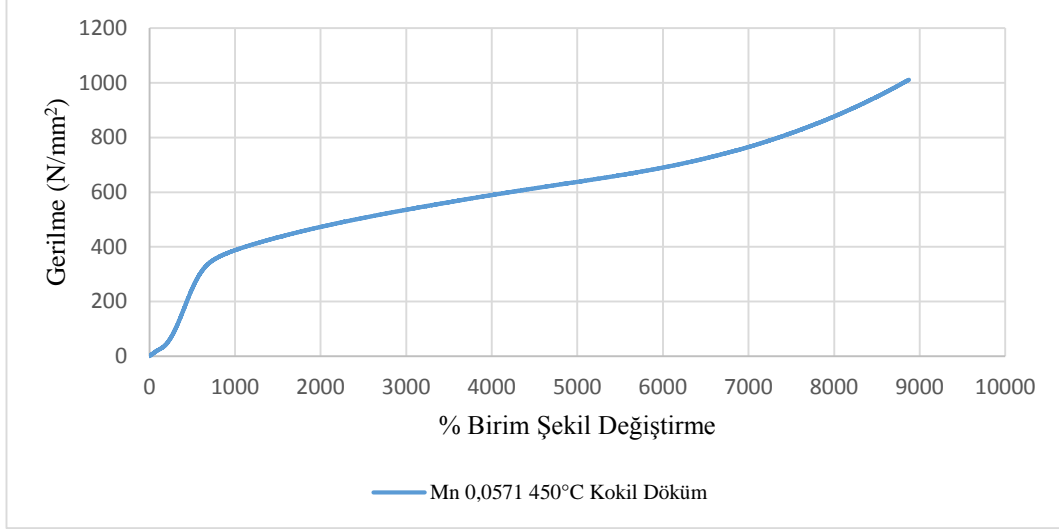
Şekil 4.80. Basma deneyi sonrası elde edilen numune örneği

4.5.1. 450 °C’de alaşımlandırılan numunelerin basma deneyi sonuçları

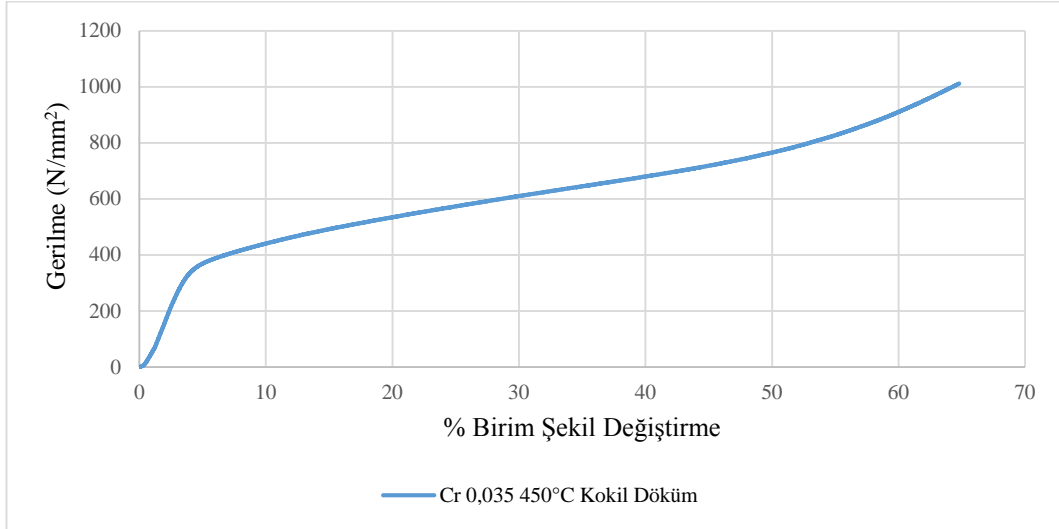
450°C’de alaşımlandırılan numuneler arasında en yüksek akma dayanımına % 0,057 Mn ilaveli numunede (295 MPa) sonrasında ise sırasıyla % 0,035 Cr ilaveli numune (290 MPa), % 0,028 Ti ilaveli numune (285 MPa) ve Baz alaşıma sahip numunede (280 MPa) gözlemlenmiştir (Çizelge 4.26.)



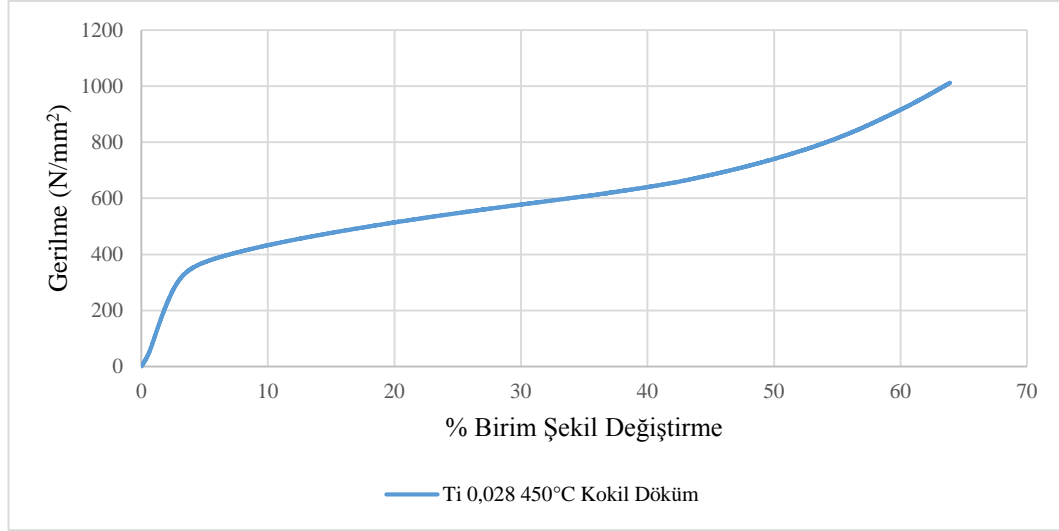
Şekil 4.81. Baz alaşım 450 450 kokil, basma deneyi sonuç grafiği



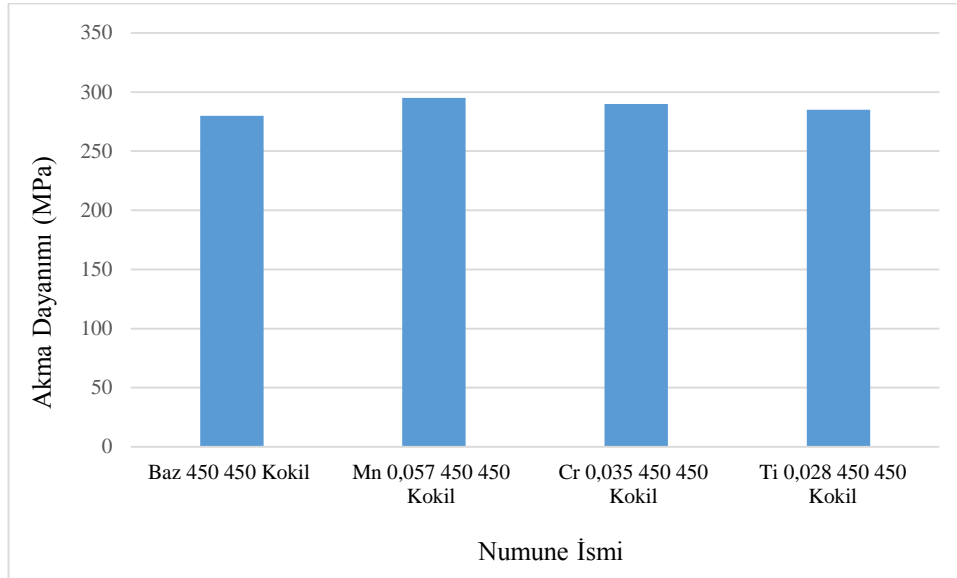
Şekil 4.82. Mn 0,057 450 450 kokil, basma deneyi sonuç grafiği



Şekil 4.83. Cr 0,035 450 450 kokil, basma deneyi sonuç grafiği



Şekil 4.84. Ti 0,028 450 450 kokil, basma deneyi sonuç grafiği



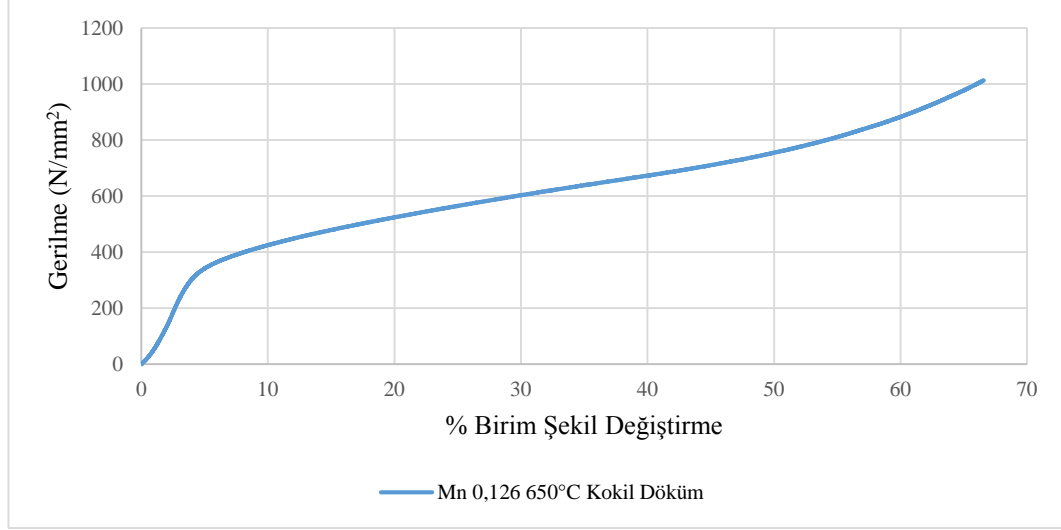
Şekil 4.85. 450 °C’de alaşımlanan numunelerin basma deneyi sonuçlarına göre akma dayanımları karşılaştırmalı sonuç grafiği

Çizelge 4.26. 450 °C’de alaşımlanan numunelerin basma deneyi sonuçlarına göre akma dayanımları

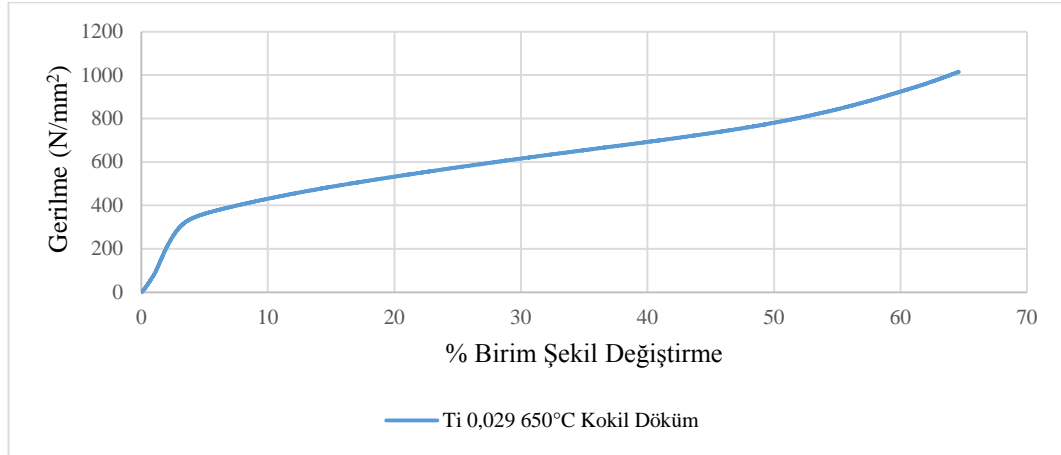
Numune İsmi	Akma Dayanımı (MPa)
Baz 450 450 Kokil	280 MPa
Mn 0,057 450 450 Kokil	295 MPa
Cr 0,035 450 450 Kokil	290 MPa
Ti 0,028 450 450 Kokil	285 MPa

4.5.2. 650°C’de alaşımlanan numunelerin basma deneyi sonuçları

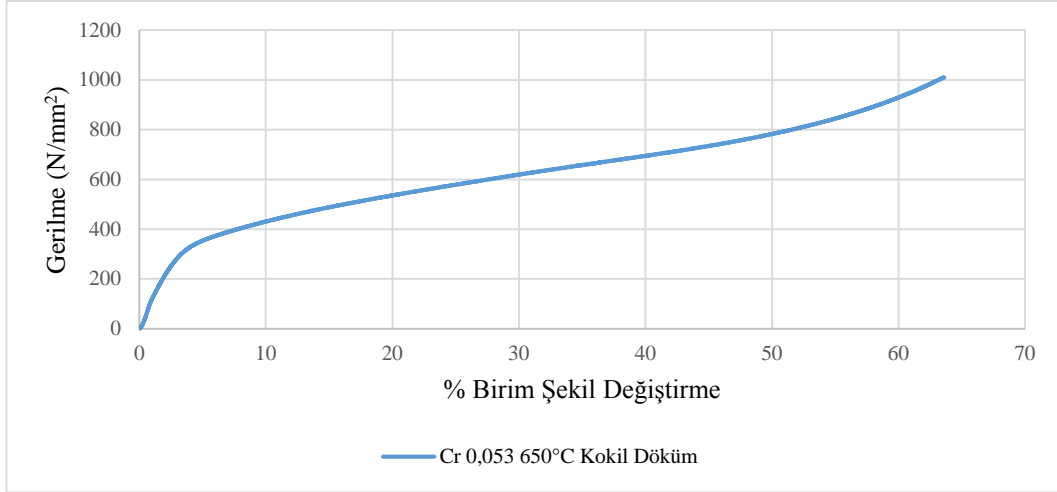
650°C’de alaşımlanan numuneler arasında en yüksek akma dayanımına Ti (%0,03) ve Mn (%0,126) numuneler sahipken %0,053 Cr içeren numunenin akma dayanımı 260 MPa olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.23)



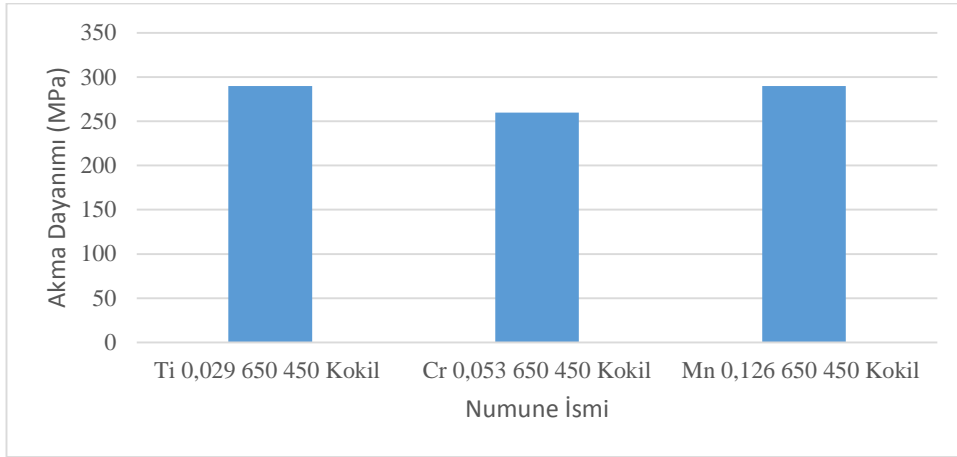
Şekil 4.86. Mn 0,126 650 450 kokil, basma deneyi sonuç grafiği



Şekil 4.87. Ti 0,03 650 450 kokil, basma deneyi sonuç grafiği



Şekil 4.88. Cr 0,053 650°C kokil, basma deneyi sonuç grafiği



Şekil 4.89. 650°C’de alaşımlanan numunelerin basma deneyi sonuçlarına göre akma dayanımları karşılaştırmaı sonuç grafiği

Çizelge 4.27. 650°C’de alaşımlanan numunelerin basma deneyi sonuçlarına göre akma dayanımları

Numune İsmi	Akma Dayanımı (MPa)
Ti 0,029 650 450 Kokil	290 MPa
Cr 0,053 650 450 Kokil	260 MPa
Mn 0,126 650 450 Kokil	290 MPa

5. SONUÇ

Bu çalışma kapsamında ZAMAK-5 baz alaşımına (% 3,5-4,3 Al, %0,75-1,25 Cu, %0,03-0,08 Mg, %95<Zn) döküm öncesinde % ağırlıkça %0,05 ve %0,1 Ti, %0,1 ve %0,2 Mn, %0,1 ve % 0,2 Cr ilave edilmiştir.

450 °C 'de 10 saat bekletilen ve dökümü yapılan numunelerin ICP-OES yöntemi ile kantitatif elemental analizleri gerçekleştirilmiştir. Buna göre % 0,05 Ti ilavesi % 0,01, %0,1 Ti ilavesi % 0,028, % 0,2 Cr ilavesi % 0,035 ve % 0,1 ve % 0,2 Mn ilavelerinin % 0,57 oranında yapıya karıştığı tespit edilmiştir.

Elemental analiz neticelerine göre ilave edilen alaşım elementlerinin tahmin edilenden daha az yapıya karıştığı gözlemlenmiştir. Bu durumun alaşımlama sıcaklığından kaynaklanabileceği varsayılarak yüksek oranlı ilaveler (%0,1 Ti, % 0,2 Cr, % 0,2 Mn) içeren döküm numuneleri tekrar hazırlanmış ve 650°C de minimum 6 saat bekletilip dökülmüştür. Sırasıyla % 0,126 Mn, % 0,053 Cr ve %0,03 Ti'nin yapıya karıştığı tespit edilmiştir. Eklenen miktardan daha az alaşım elementinin yapıya karışmasının sebebinin, ilave edilen alaşım elementlerinin bir kısmının cürufa karışması olduğu düşünülmektedir.

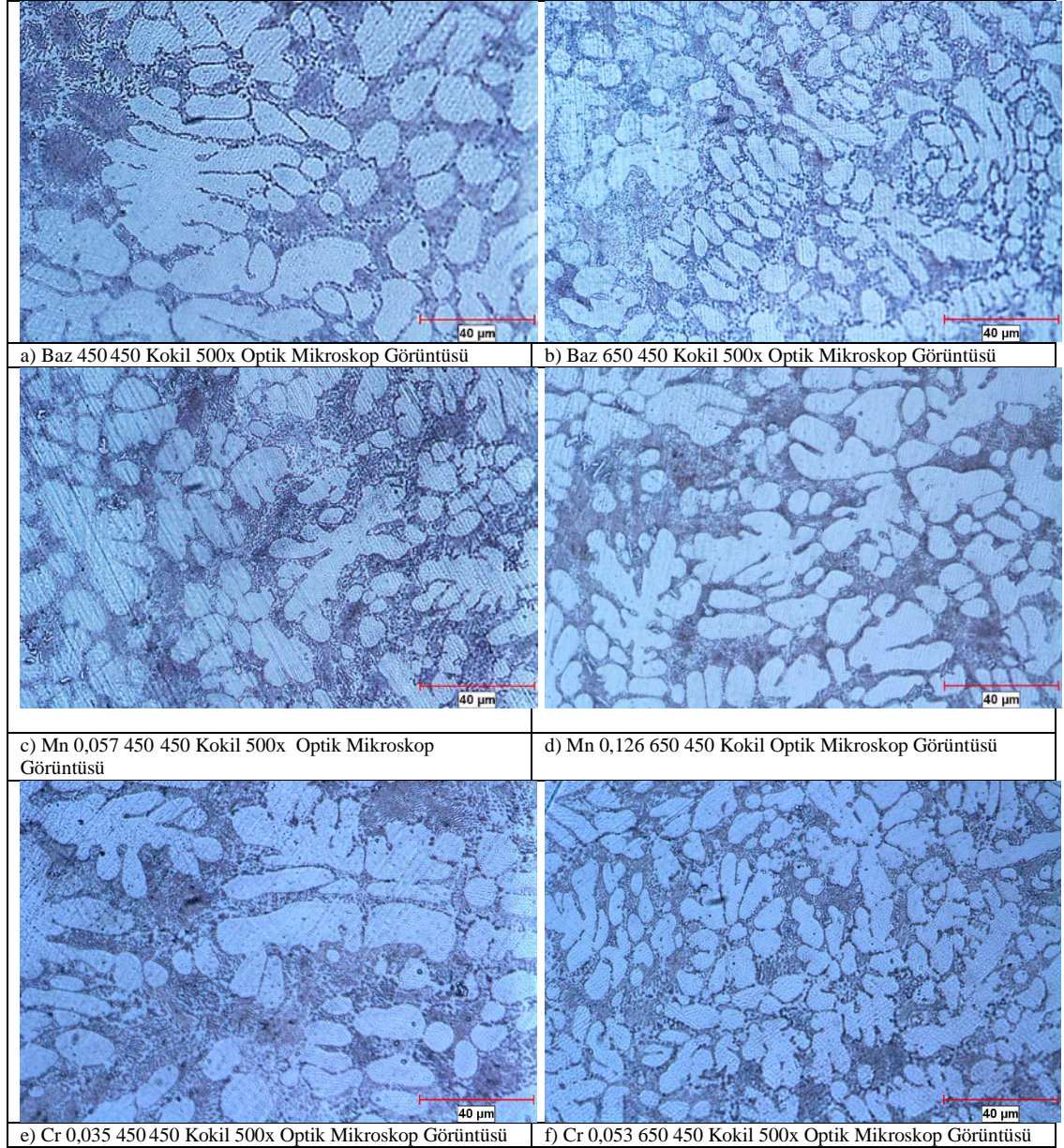
Numunelerin kokil ve kum kalıba dökümleri gerçekleştirilmiştir. Soğuma eğrisi incelemeleri, mikroyapı incelemeleri ve 3-nokta eğme testi, sertlik ölçümü, basma testi gibi mekanik testler uygulanmıştır.

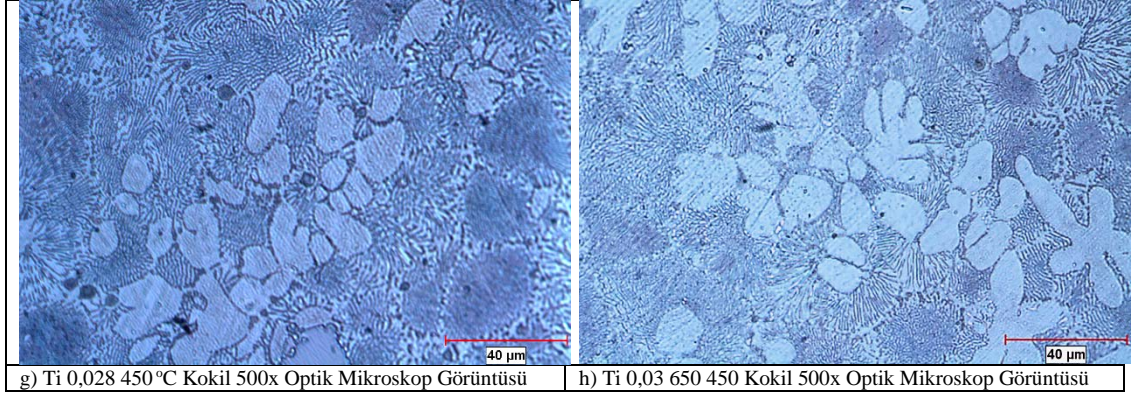
Buna göre;

- Mikroyapı incelemelerinden, eklenen miktardaki alaşım elementlerinin eta ve ötektik yapının boyutunu değiştirmediği görülmüştür.
- Cr ve Mn eklenmiş olan alaşımların mikroyapısında Cr'li ve Mn'li intermetalik bileşik parçacıkları bulunduğu görülmüştür. Bu parçacıkların, genelde ötektik yapı içinde bulunduğu ve yapıda homojen olarak dağılmadığı anlaşılmıştır.
- Kokil kalıba dökülen numunelerin sertlik değerleri 95-105 BSD aralığında olmuştur. Al ve Ti artışına bağlı olarak sertlik değerleri artmıştır. % 0,057 Mn ilaveli alaşım hariç alaşım elementi ilaveli olan numunelerin sertlik değeri baz alaşımdan yüksek olmuştur.
- Kum kalıba dökülen numunelerin sertlik değerleri 80 – 88 BSD aralığındadır.
- Mn ve Cr ilavesindeki artış eğme mukavemeti değerlerini düşürmüştür.
- Eğme dayanımı değerleri 570 – 700 MPa aralığında olmuştur.
- Sadece % 0,03 Ti ilaveli alaşım baz alaşımdan yüksek eğme mukavemeti değerine sahiptir.
- Ti ilaveli alaşımların katılma davranışları Ti ilavesi ile birlikte artan Al miktarı ile orantılı bir şekilde Zn-Al denge diyagramı ile uyum içerisindedir.
- Kum kalıba yapılan dökümlerde soğuma hızının yavaş olması sebebiyle eta ve ötektik yapıların büyüdüğü gözlemlenmiştir.

5.1. Mikroyapı İncelemelerinin Sonuçları

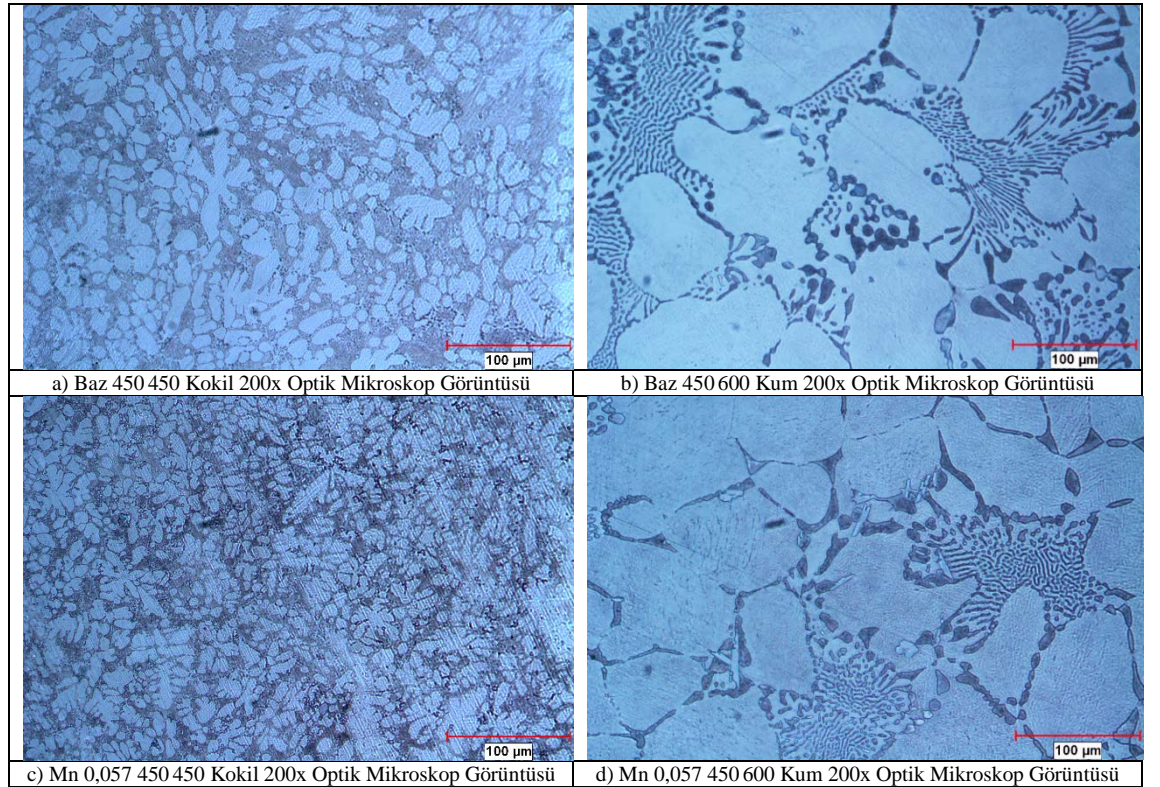
Yapılmış olan mikroyapı incelemelerinden, bu çalışmada belirtilen değerlerde eklenmiş olan alaşım elementlerinin eta ve ötektik yapıların boyutlarını etkilemediği belirlenmiştir. Bununla birlikte, Mn ve Cr içeren alaşımlarda, sırasıyla Mn, Al (ve muhtemelen Zn) içeren ve Cr, Al (ve muhtemelen Zn) içeren intermetalik bileşiklerin parçacıklarının varlığı belirlenmiştir. Ti ilavesi bir Al-Ti ön alaşımından parça kesilmek suretiyle yapıya ilave edilmiştir. İlave edilen alaşım % 90 Al ve %10 Ti'dan oluşmaktadır. Bu sebeple Ti ilaveli numunelerin elemental analiz sonuçlarında Al oranlarının da arttığı belirlenmiştir. Bu durum mekanik deneylerin değerlendirilmesinde göz önünde bulundurulmalıdır. Zira fazlardan gelen Al ilavesinden kaynaklı olarak alaşım içerisindeki Al seviyesinin ötektik bileşim oranına yaklaşması sebebiyle bu numunelerin mikroyapısında primer eta (η) tanelerinin azaldığı ve ötektik yapıların çoğunlukta olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 5.1.)

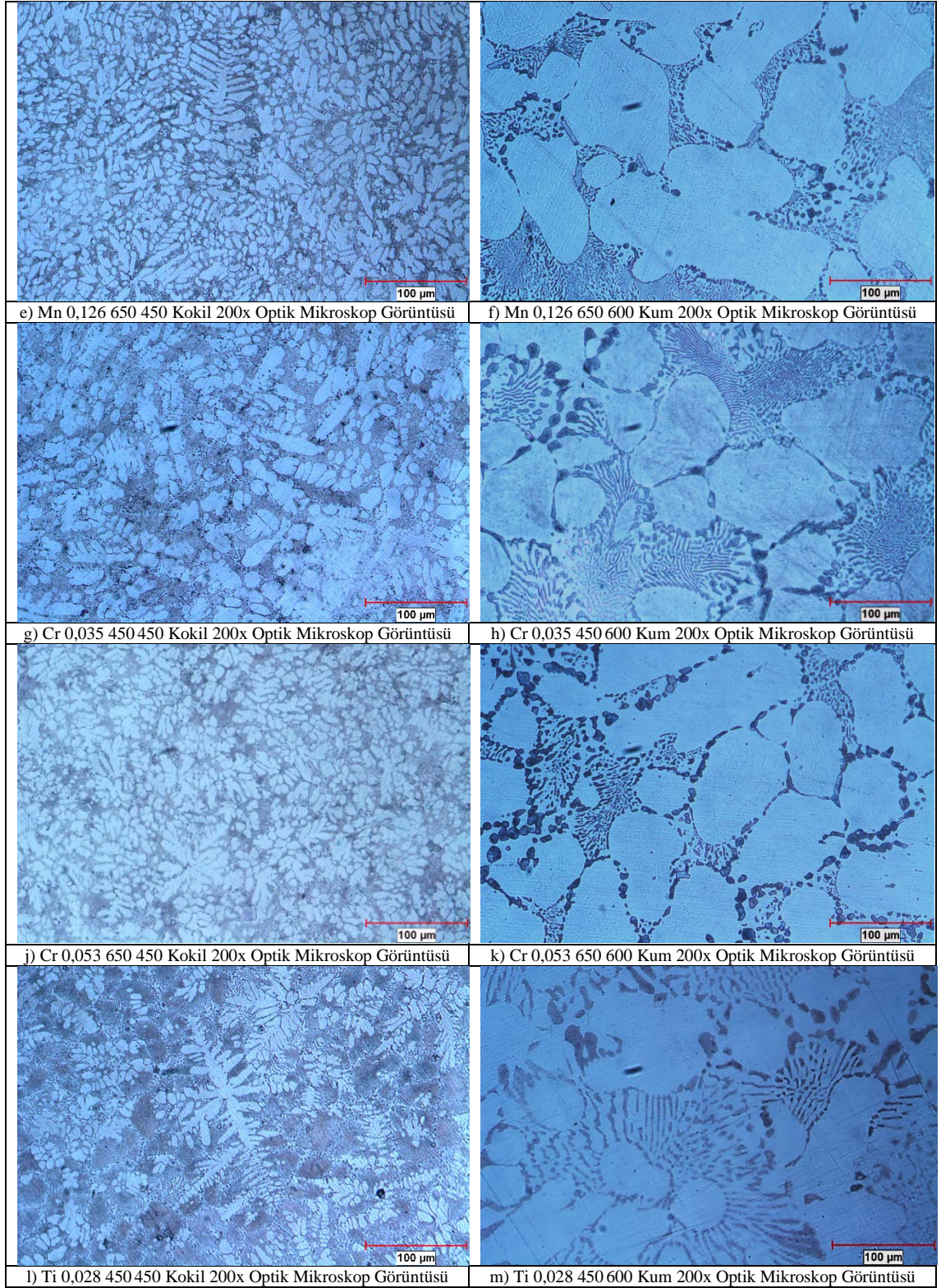


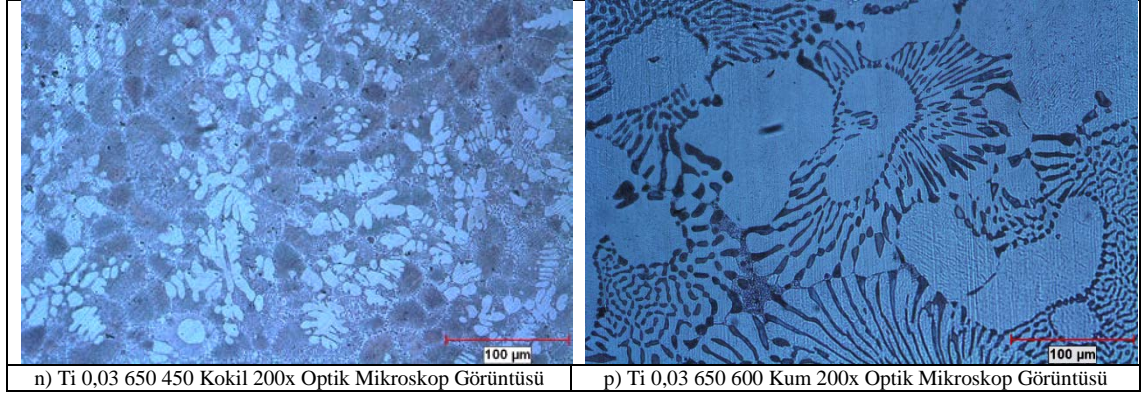


Şekil 5.1. 450 °C ve 650 °C dökümü yapılan alaşımların mikroyapı fotoğrafları (500x)

Çalışma kapsamında % 0,01 ve % 0,028 Ti, % 0,035 ve % 0,053 Cr, % 0,057 ve % 0,126 Mn içeren alaşımlar ve ZAMAK-5 baz alaşımı 600 °C de tekrar eritilip kum kalıba dökülmüş ve soğuma eğrileri incelenmiştir. Dökümün kum kalıba yapılması sebebiyle yavaş soğuyan numunelerin mikroyapısında primer eta (η) fazlarının ve ötektik yapının büyüdüğü gözlemlenmiştir (Şekil 5.2)







Şekil 5.2. 450 °C, 650 °C ve 600 °C’de kum ve kokil kalıba dökümü yapılan alaşımların karşılaştırmalı mikroyapı fotoğrafları (200x)

5.2. Katılma Sıcaklıkları ile İlgili Yapılan Çalışmaların Sonuçları

450 °C’de alaşımlanan numunelerin arasında ilave alaşım elementine bağlı olarak soğuma eğrileri ve katılma sıcaklıklarında farklılıklar gözlemlenmiştir. Buna göre ilk katı fazın (eta) oluşum sıcaklığı baz alaşım için 389 °C, % 0,057 Mn içeren numune için 395 °C, % 0,035 Cr içeren numune için 389 °C, % 0,01 Ti içeren alaşımda 387 °C ve % 0,028 Ti ilaveli alaşımda ise 385 °C’ye gerilemiştir. Ti ilaveli alaşımların soğuma davranışları Ti ilavesi ile birlikte artan Al miktarına orantılı bir şekilde Zn-Al denge diyagramı ile uyum içerisindedir.

% 0,126 Mn, % 0,053 Cr ve % 0,03 Ti içeren alaşımların soğuma eğrileri karşılaştırıldığında % 0,126 Mn içeren alaşımın ilk katı fazın (eta) oluşum sıcaklığı 394 °C, % 0,053 Cr içeren alaşımın 392 °C ve %0,03 Ti içeren alaşımın ise 385 °C’dir. Ti içeren numunelerde, Al miktarındaki artış nedeniyle eta dendritlerinin daha düşük sıcaklıklarda oluşmaya başlaması, denge diyagramı ile uyum içerisindedir.

5.3. Mekanik Testlerin Sonuçları

İlave alaşım elementi içeren alaşımların mekanik deney sonuçları incelendiğinde;

- % 0,126 Mn içeriğine sahip olan numunenin 650 °C alaşımlanan ve kum kalıba dökümü yapılan numunelerin arasında baz alaşım ve diğer ilave alaşım elementi içeren numunelerden daha düşük sertlik değerlerine sahip olduğu gözlemlenmiştir (Çizelge 5.1.)
- Kokil kalıba dökülen numunelerin sertlik değerleri 95-105 BSD aralığında olmuştur. Al ve Ti artışına bağlı olarak sertlik değerleri artmıştır. % 0,057 Mn ilaveli alaşım hariç alaşım elementi ilaveli olan numunelerin sertlik değeri baz alaşımdan yüksek olmuştur.
- Kum kalıba dökülen numunelerin sertlik değerleri 80 – 88 BSD aralığındadır. Mn içeren numunelerin sertliği baz alaşımdan düşük olurken, diğer tüm alaşımlı numunelerin sertlik değerleri baz alaşımdan yüksek olmuştur.
- 3 nokta eğme deneyi sonuçları incelendiğinde % 0,126 Mn içeren alaşımların (580,58 MPa) Baz alaşım (620,25 MPa) ve % 0,03 Ti içeren alaşımlardan (643,93 MPa) daha düşük eğme dayanımlarına sahip olduğu tespit edilmiştir. (Çizelge 5.2)

- İlave alaşım elementi miktarındaki % ağırlıkça artış eğme dayanımlarında belirgin bir değişiklik yaratmamıştır (Çizelge 5.2)
- Alaşım elementleri genelde birim şekil değişimi değerlerinde az oranda azalmaya neden olmuştur.
- İlave alaşım elementleri akma mukavemetini artırırken, Cr ve Mn ilaveleri arttıkça akma mukavemeti değerlerini azaltmış Ti ilavesinin artışına bağlı ise artış göstermiştir (Çizelge 5.3).

Çizelge 5.1. Alaşım grupları ortalama sertlik değerleri karşılaştırma tablosu

İlave alaşım Elementi	450 450 Numunesi Ort. Sertlik Değeri (BSD)	Std. Sapma	650 450 Numunesi Ort. Sertlik Değeri (BSD)	Std. Sapma	650 600 Kum Kalıp Numunesi Ort. Sertlik Değeri (BSD)	Std. Sapma	450 600 Kum Kalıp Numunesi Ort. Sertlik Değeri (BSD)	Std. Sapma
Baz Alaşım	97,05	0,98	96,92	2,41	-	-	85,73	1,15
%0,01 Ti	100,16	1,84	-	-	-	-	86,66	1,51
%0,028 Ti	98,26	0,86	-	-	-	-	86,26	1,66
%0,03 Ti	-	-	102,28	2,83	86,665	0,46	-	-
%0,035 Cr	98,03	0,25	-	-	-	-	85,46	1,83
%0,053 Cr	-	-	101,8	2,49	87,86	1,51	-	-
%0,057 Mn	95,61	0,35	-	-	-	-	84,8	2,44
%0,126 Mn	-	-	102,8	1,74	79,8	0,8		

Çizelge 5.2. 650 °C’de ve 450 °C’de alaşımlanan ve kokil kalıba dökülen numunelerin karşılaştırmalı 3 nokta eğme deneyi sonuçları

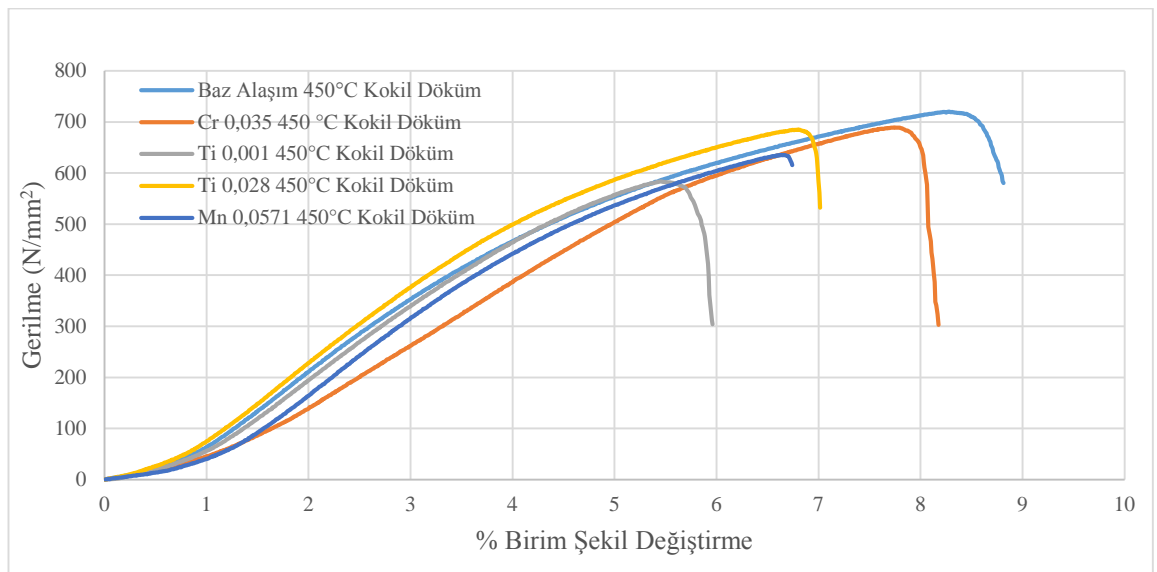
450 °C’de Alaşımlanan Numuneler					650 °C’de Alaşımlanan Numuneler				
Numune İsmi	Eğme Dayanımı Ort. (MPa)	Standart Sapma	% Birim Şekil Değişirme Ort.	Standart Sapma	Numune İsmi	Eğme Dayanımı Ort. (MPa)	Standart Sapma	% Birim Şekil Değişirme Ort.	Standart Sapma
Baz 450 450 Kokil	699,81	48,44	7,95	0,90	Baz 650 450 Kokil	620,25	31	7,22	0,85
Mn 0,057 450 450 Kokil	617,43	52,95	6,38	0,96	Mn 0,126 650 450 Kokil	580,58	1,10	5,49	0,4
Cr 0,035 450 450 Kokil	656,03	79,16	6,83	1,32	Cr 0,053 650 450 Kokil	595,76	81,66	5,62	1,36
Ti 0,028 450 450 Kokil	569,21	114,33	5,29	1,34	Ti 0,03 650 450 Kokil	643,93	30,52	6,18	0,59

Çizelge 5.3. 650 °C’de ve 450 °C’de alaşımlanan ve kokil kalıba dökülen numunelerin karşılaştırmalı basma testi sonuçları

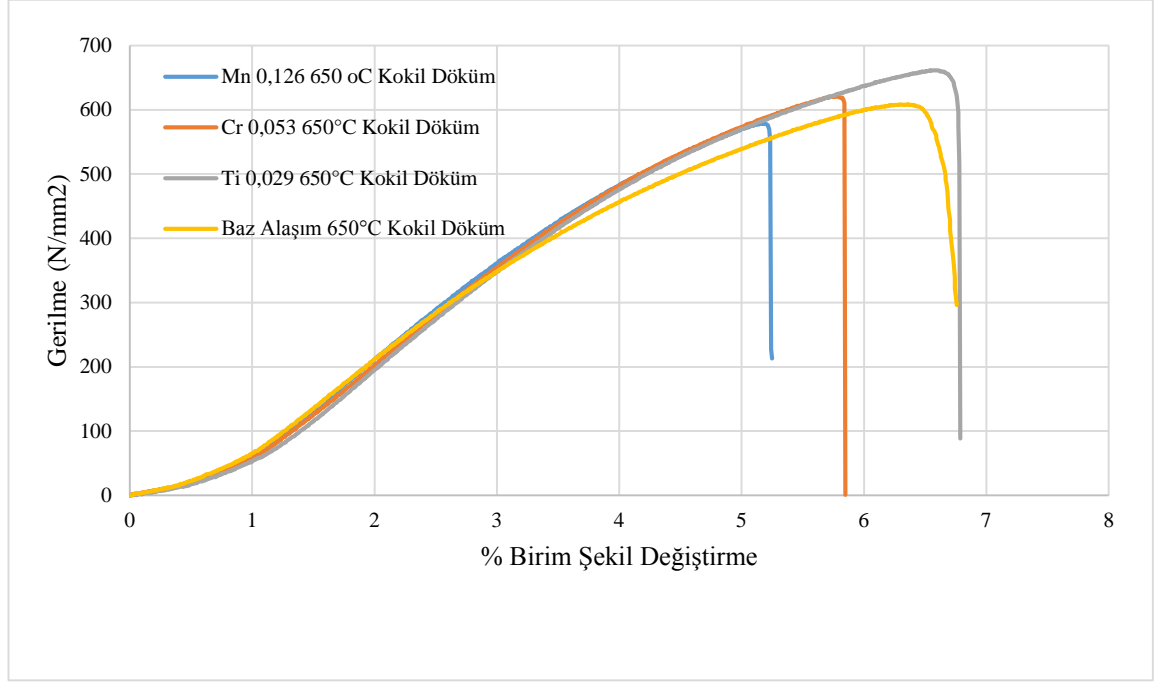
450°C’de Alaşımlanan Numuneler		650°C’de Alaşımlanan Numuneler	
Numune İsmi	Akma Dayanımı (MPa)	Numune İsmi	Akma Dayanımı (MPa)
Baz 450 450 Kokil	280 MPa		
Mn 0,057 450 450 Kokil	295 MPa	Mn 0,126 650 450 Kokil	290 MPa
Cr 0,035 450 450 Kokil	290 MPa	Cr 0,053 650 450 Kokil	260 MPa
Ti 0,028 450 450 Kokil	285 MPa	Ti 0,03 650 450 Kokil	290 MPa

Çizelge 5.4. Farklı alaşım elementleri içeren ve farklı sıcaklıklarda dökülmüş olan numunelerin mekanik özelliklerinin karşılaştırmalı tablosu

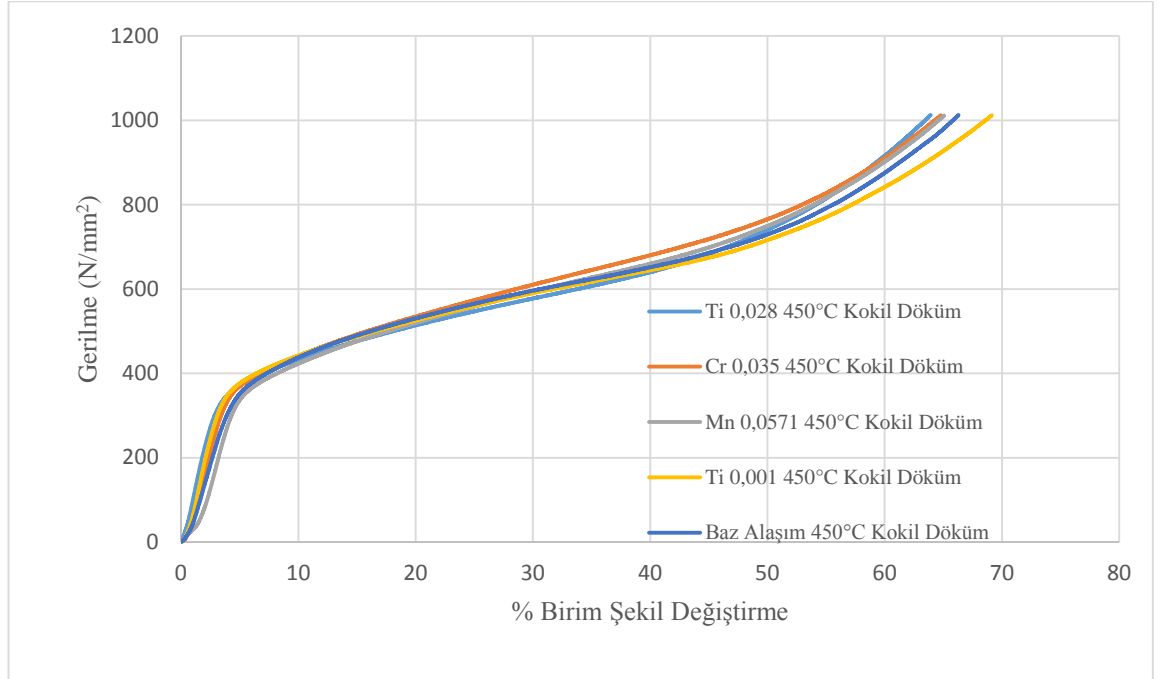
Numune Adı	Sertlik (HB10)	Sertlik Std. Sapma	3 Nokta Eğme Dayanımı (MPa)	3 Nokta Eğme Dayanımı Std. Sapma	% Birim Şekil Değişirme	Basma Akma Dayanımı (MPa)
Baz 450 450 Kokil	97,05	0,98	699,81	7,94	7,22	280
Baz 650 450 Kokil	96,92	2,41	620,25	31	7,94	
Baz 450 600 Kum	85,73	1,15				
Mn 0,057 450 450 Kokil	95,61	0,35	617,43	6,38	6,38	295
Mn 0,057 450 600 Kum	84,8	2,44				
Mn 0,126 650 450 Kokil	102,8	1,74	580,58	1,10	5,48	290
Mn 0,126 650 600 Kum	79,8	0,8				
Ti 0,028 450 450 Kokil	98,26	1,84	569,21	5,29	5,29	285
Ti 0,028 450 600 Kum	86,26	1,66				
Ti 0,03 650 450 Kokil	102,28	2,83	643,93	30,52	6,18	290
Ti 0,03 650 600 Kum	86,66	0,46				
Cr 0,035 450 450 Kokil	98,03	0,25	656,03	6,83	6,83	290
Cr 0,035 450 600 Kum	86,46	1,83				
Cr 0,053 650 450 Kokil	101,8	2,49	595,76	81,66	5,61	260
Cr 0,053 650 600 Kum	87,86	1,51				



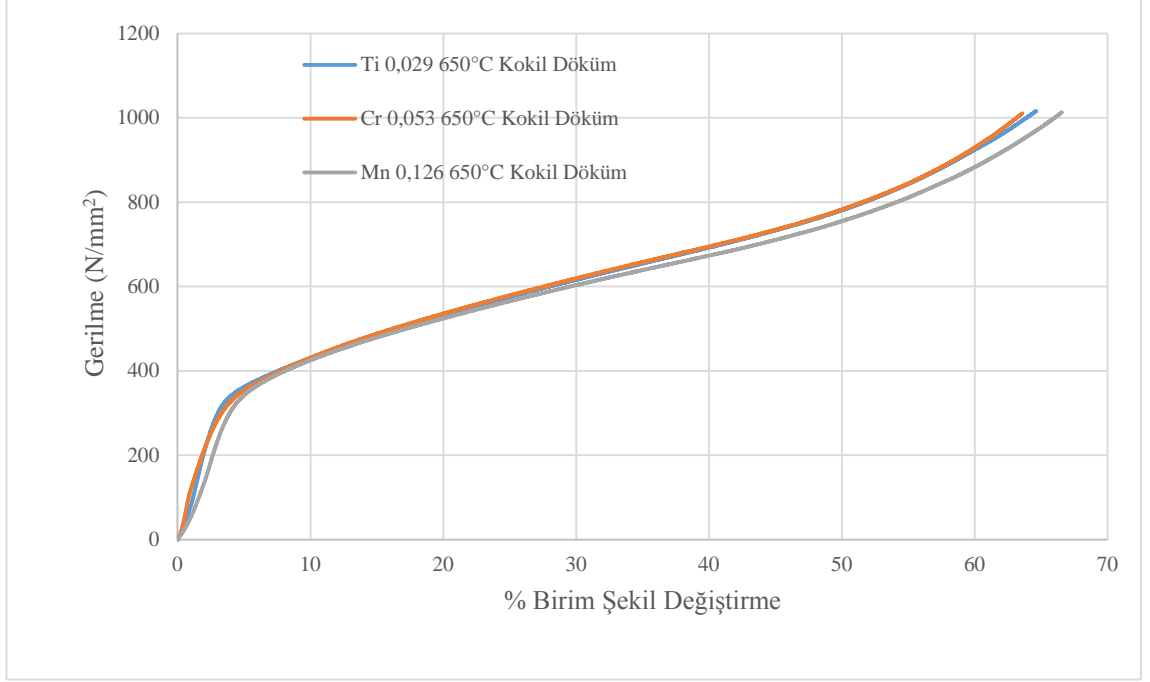
Şekil 5.3. 450 °C’de alaşımlandırılan numunelerin 3 nokta eğme deneyi sonuç grafikleri



Şekil 5.4. 650 °c’de alaşımlandırılan numunelerin 3 nokta eğme deneyi sonuç grafikleri



Şekil 5.5. 450 °C’de alaşımlandırılan numune örneklerinin karşılaştırmalı basma deneyi sonuç grafikleri



Şekil 5.6. 650 °C’de alaşımlandırılan numune örneklerinin karşılaştırmalı basma deneyi sonuç grafikleri

6. KAYNAKLAR

- AASHURI, H., RAZAVIMANESH, A., KOLAHI, A. and MOHIEDIN, M. 2002. Impact and tensile behaviour of fractional melting processed ZA-27 alloy. *Materials Science and Engineering: A*, 333 (1-2): 115–122.
- APELIAN, D. PALIWAL, M. HERRSCHAFT, D. 1981. Casting with zinc alloys. *The Journal of The Minerals, Metals & Materials Society*, 33 (11): 12-20.
- ASM HANDBOOK. 1990. Volume 02 - Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose. pp. 1118-1128, ASM International Handbook.
- ASTM INTERNATIONAL 2000. Standard Test Methods of Compression Testing of Metallic Materials at Room Temperature. ASTM International, U.S.A.
- ATAÇ, A. M., ÖZYÜREK, D. ve GÜREL, A. 2014. Mekanik alaşımlama ile üretilmiş çinko-alüminyum (Zn-Al) alaşımlarının kuru sürtünmeli aşınma davranışlarının incelenmesi. *Tasarım ve Teknoloji*, C2 (4): 309-313.
- ATAÇ, A.M. ve GÜRAL, A. 2013. Çinko-Alüminyum (ZA) alaşımlarının mekanik alaşımlama yöntemiyle üretilebilirliği üzerine bir çalışma. *Politeknik Dergisi*, 16 (4): 147-154.
- AYDIN, Y. 2008. Çinko-Alüminyum esaslı ZA–12 alaşımına Cr ilavesinin mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, 94 s.
- AYIK, O., GHORESHY, M., SAHOO, M. ve SMITH, R.W. 1987. Solidification and Foundry Studies of Zn/Al Alloys for use in cast - to -shape applications. Third. Ontar. Conf. Solidification Processing, Ramour House, Sheffield, U.K. pp. 285-287.
- AZIZI, A. and HAGHIGHI, G. 2015. Fabrication of ZAMAK 2 alloys by powder metallurgy process. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 77 (9-12): 2059-2065.
- BARNHURST, R. J. 1984. Guidelines for designing zinc alloy bearings – a technical manual. *Society of Automotive Engineers*, 88028 (151): 161.
- BOBIĆ, I., JOVANOVIĆ, M. T. and ILIĆ, N. 2003. Microstructure and strength of ZA-27-based composites reinforced with Al₂O₃ particles. *Materials Letters*, 57: 1683-1688.
- CAMPBELL, J. 2011. Casting alloys, In Complete Casting Handbook. Butterworth Heinemann, Oxford, 255-390 s.

- ÇAGLAR B. ve KURNAZ C. 2003. Sıkıştırma döküm yöntemi ile üretilen Ti-B ilaveli ZA-12 alaşımının özelliklerinin incelenmesi. *Sav Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7 (2).
- COWIE, G.O. 1983. The Emergence of zinc as an engineering material. *CIM Bulletin*, 76: 107-112
- DOMINGUEZ, C., MORENO., LOPEZ, M.V. and RIOS-JARA, D. 2002. The influence of manganese on the microstructure and the strength of a ZA-27 alloy. *Journal of Materials Science*, 37: 5123–5127.
- DURMAN, M. ve MURPHY, S. 1988. Development of an improved ZA - (Alloy Project Report. The University of Aston in Birmingham, ENGLAND.
- GERVAIS, E., LEVERT, H. and BESS, M. 1980. The development of a family of zinc-based foundry alloys. *Trans. Am. Foundrym. Soc*, 88: 183 – 194.
- GERVAIS, E., BARNHURST, R.J. and LOONG, C.A. 1985. An analysis of selected properties of ZA Alloys. *Journals of Metals*, 37: 43 - 47.
- GERVAIS, E. 1987. ZA alloys - a challenge to the metals industry. *CIM Bulletin*, 80: 67-72.
- GOODWIN, E.F. and PNIKVAR, A.L. 1989. Engineering Properties of Zinc Alloys. Third Edition-Revised. U.S.A.
- GOLDAK, G.R. and PARR, J. 1963-64. High temperature x-ray diffractometer study of the zinc-aluminium system in the region 40-75 wt% zinc. *Journal of the Institute of Metals*, 92: 230-233.
- HANNA, M.D., CARTER, J.T. and RASHID, M.S. 1997. Sliding wear and friction characteristics of six Zn-based die-casting alloys. *Wear*, 203/204: 11–21.
- HOUGHTON, M.E. ve MURRAY, M.T. 1984. An introduction to zinc alloys, *Metals Forum*, 6 (4): 211-255.
- KAMBEROĞLU, M. 2011. improvement of impact resistance of aluminum and zinc based die cast parts by means of tool steel inserts. Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, 82 s.
- KAYE, A. and STREET, A. 1982. Die Casting Metallurgy. Butterworth Scientific, England.
- LAMBERRIGHTS, M., WALMAG, G. ve COUTSOURADIS, D. 1987. Solidification Behaviour ZA-27. Thir. Inter. Conf. Solidification Processing. Ramour Hause Sheffield U.K. 281-284 s.

- LEE, P.P., SAVAŞKAN, T. and LAUFER E. 1987. Wear resistance and microstructure of Zn–Al–Si and Zn–Al–Cu alloys. *Wear*, 117: 79–89.
- L'ESPERANCE, G., HONG, D., GAGNE, M. and BARNHURST R. 1993. Microstructure characterization of a new Zn-based creep-resistant alloy. *AMter. Sci. And Eng*, 172: 1-14.
- MAYER, H., PAPAKYRIACOU, M., ZETTL, B., and STANZL-TSCHEGG, S. E. 2003. Influence of porosity on the fatigue limit of die cast magnesium and aluminium alloys. *International Journal of Fatigue*, 25: 245- 256.
- MORGAN, S.W.K. 1977. Zinc and Its Alloys and Compound. Industrial Metals Series Mcdonald and Evans Ltd., Plymouth.
- MORGUL, E. 2003. Effects of thermal conditions on the mechanical properties of squeeze cast Za-27 alloy. B.S., Mechanical Engineering, Istanbul Technical University, Istanbul, 128 s.
- MURPHY, S. ve SAVAŞKAN, T. 1984. Comparative wear behavior of Zn-Al Based alloys in an automotive engine application. *Wear*, 98: 151-161.
- ALTORFER, K.J. 1982. Zinc alloys compete with bronze in bearings and bushings. *MetalProgress*, 29-31.
- NILSSON, A., GABRIELSON, P. and STÅHL, J.E. 2002. 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 (9): 806-813.
- ÖZABDAL, S. 2014. Pirinç kaplamannın ZAMAK – 5 korozyonunua etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Hitit Üniversitesi, Çorum, 101 s.
- PRENSYAKOV, A. A., GORBAN, Y. A. and CHERVYAKOVA, V. V. 1961. The aluminium - zinc phase diagram. *Russian Journal of Physical Chemistry*, 35 (6): 632-633.
- PRASAD, B.K. 1996a. Influence of heat treatment on the physical, mechanical and tribological properties of a zinc-based alloy. *Z. Metallkd*, 87: 226–232.
- PRASAD, B.K., PATWARDHAN, A.K. and YEGNESWARAN, A.H. 1996b. Dry sliding wear characteristics of some zinc–aluminium alloys: a comparative study with a conventional bearing bronze at a slow speed. *Wear*, 199: 142 – 151.
- PRASAD, B.K., PATWARDHAN, A.K., YEGNESWARAN, A.H. 1997a. Dry sliding wear response of a modified zinc-based alloy. *Mater. Trans, JIM* 38 (3): 197 - 204.

- PRASAD, B.K. 1997b. Effect of silicon addition and deney parameters on the sliding wear characteristics of zinc-based alloy containing 37.5% aluminium. *Mater. Trans*, JIM 38 (8). 701–706.
- PRASAD, B.K. 1997c. Microstructure, mechanical properties and sliding wear characteristics of Zn-based alloys: effects of partially substituting Cu by Si, Z. *Metallkd*, 88: 929–933.
- PRASAD, B.K. 2000a. Effect of microstructure on the sliding wear performance of a Zn – Al – Ni alloy. *Wear*, 240: 100–112.
- PRASAD, B.K. 2000b. Effects of partially substituting copper by silicon on the physical, mechanical, and wear properties of a Zn–37.5% Al-based alloy. *Mater. Charact*, 44: 301–308.
- PROSEK, T., NAZAROV A., GOODWIN F., ŠERÁK, J. and THIERRY, D. 2016. Improving corrosion stability of ZnAlMg by alloying for protection of car bodies, *Surface and Coatings Technology*.
- PURCEK, G., ALTAN, B., MISKIOĞLU, I. and OOI, P. 2004. Processing of eutectic Zn 5% Al alloy by equal-channel angular pressing. *Journal of Materials Processing Technology*, 148 (3): 279-287.
- PURÇEK, G., SAVAŞKAN, T., KUÇUKOMEROĞLU, T. and MURPHY, S. 2002. Dry sliding friction and wear properties of zinc-based alloys. *Wear*, 252 (11): 894-901.
- PÜRÇEK, G. 1994. Çinko-Aliminyum esaslı alaşımlardan üretilen kaymalı yatakların tribolojik özelliklerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, 48 s.
- RACHEV, P., TERZİEV, L., LECOMTE-BECKERS, J. and WEGRIA, J. 1991. Electron microscopical investigations of hexagonal phase precipitation in Zn 12 wt% Al11 wt% Cu and Zn27 wt% Al2 wt% Cu alloys. *Acta Metallurgica et Materialia*, 39 (9): 2177-2182.
- SAHOO, M., WHITING, L.V. ve WHITE, D.W.G. 1985. Control of underside shrinkage in zinc-aluminium foundry alloys by the addition of traceelements. *AFS transactions*, 93: 475-480.
- SAHAR, F. 2007. Çelik Tel Takviyeli ZAMAK 5 alaşımının mekanik özelliklerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya, 89 s.
- SAVAŞKAN, T. and HEKİMOĞLU, A.P. 2014. Microstructure and mechanical properties of Zn–15Al-based ternary and quaternary alloys. *Materials Science and Engineering: A*, 603: 52-57.

- SAVAŞKAN, T. ve PÜRÇEK, G. 2000. Çinko-Alüminyum esaslı alaşımların ve bu alaşımlardan üretilen kaymalı yatakların aşınma özellikleri. *Environ Sci*, 24: 25-34.
- SAVAŞKAN, T., PURCEK, G. and MURPHY, S., 2002. Sliding wear of cast zinc based alloy bearings under static and dynamic loading conditions. *Wear*, 252 (9–10): 693-703.
- SANDLÖBES, S., WU Z., PRADEEP, K.G. and KORTE-KERZEL, S. 2016. Precipitation and decomposition phenomena in a Zn-Al-Cu-Mg alloy. *Materials Letters*, 175: 27-31.
- SRIRAM, P., SESHAN, S. and ROSHAN, H.Md. 1992. Effect of trace elements on casting characteristic and mechanical properties of cast ZA alloys. *AFS Transactions*, 100: 769-775.
- TÜRK, A. 1996. Yeni çinko-aluminyum esaslı alaşımların geliştirilmesi. TÜBİTAK ULAKBİM, Proje No: MİSAG-41, Türkiye, 170 s.
- TÜRK, A., KURNAZ, C. ve ŞEVİK, H. 2006. Comparison of the wear properties of modified ZA-8 alloys and conventional bearing bronze, *Materials and Design*, pp. 1–9.
- UĞUR, A. 2009. Basınçlı Döküm Yöntemi İle Üretilen Zn-Al Esaslı Alaşımlarının Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerine Alaşım Elementlerinin Etkisi. Doktora Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 120 s.
- WEHAUSEN, R. Comparison between thin-film xrf and icp-oes for the analysis of suspended particulate matter. Oldenburg. https://www.uni-oldenburg.de/fileadmin/user_upload/icbm/ag/mbgc/Rolf/tf_XRF.pdf. [Son Erişim Tarihi 09.09.2016]
- WU, Z., SANDLÖBES, S., WU, L., HU, W., GOTTSTEIN, G., KORTE-KERZEL, S. 2016. Mechanical behaviour of Zn–Al–Cu–Mg alloys: Deformation mechanisms of as-cast microstructures. *Materials Science and Engineering: A*, 651: 675-687.
- GAINES, P. R., Compare ICP-OES and XRF for determination of metal composition in catalyst powder samples. <https://www.inorganicventures.com/advice/compare-icp-oes-and-xrf-determination-metal-composition-catalyst-powder-samples>. [Son Erişim Tarihi 09.09.2016]
- <http://www.nyrstarturkiye.com/ZAMAK3.html>. [Son Erişim Tarihi 09.09.2016]
- <https://www.dynacast.com/ZAMAK-5>. [Son Erişim Tarihi 09.09.2016]

ÖZGEÇMİŞ



Melih Koçyiğit 1988 yılında İzmir’de doğdu. İlk orta ve lise öğrenimini Antalya’da tamamladı. 2008 yılında girdiği Mustafa Kemal Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü’nden 2012 yılında mezun oldu. Lisan mezuniyetinin ardından Antalya’da özel bir firmada üretim mühendisi olarak çalışmaya başladı. 2016 yılında Akdeniz Üniversitesinde İşletme alanında yüksek lisansını tamamladı. 2015 yılından beri Akdeniz Üniversitesi İş Dünyası ile İş Birliği ve Teknoloji Transferi Uygulama ve Araştırma Merkezi’nde Proje geliştirme ve Üniversite Sanayi İşbirliği Uzmanı olarak görevine devam etmektedir.