



**ETİAL 177 ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ
DÖKÜMÜNDE VANADYUM ELEMENTİ
İLAVESİNİN ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Merve ÇEKER
Yüksek Lisans Tezi
Makine Mühendisliği
Ana Bilim Dalı
Doç.Dr.Murat ÇOLAK
2024
(Her Hakkı Saklıdır)

T.C.
BAYBURT ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

ETİAL 177 ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ DÖKÜMÜNDE VANADYUM
ELEMENTİNİN İLAVESİNİN ETKİSİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Merve ÇEKER

Danışman: Doç. Dr. Murat ÇOLAK

BAYBURT -2024

KABUL VE ONAY

Doç. Dr. Murat ÇOLAK danışmanlığında, Merve ÇEKER tarafından hazırlanan “ETİAL 177 ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ DÖKÜMÜNDE VANADYUM ELEMENTİ İLAVESİNİN ETKİSİNİN İNCELENMESİ ” başlıklı bu çalışma, 25.01.2024 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda oy birliği / çokluğu ile başarılı bulunarak jürimiz tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Doç. Dr. Şükran EFE

.....

Üye : Doç. Dr. Murat ÇOLAK

.....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Emin USLU

.....

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

Doç. Dr. Murat KUL

Enstitü Müdürü

BEYANNAME

Bayburt Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre Doç. Dr. Murat ÇOLAK danışmanlığında hazırlamış olduğum “ETİAL 177 ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ DÖKÜMÜNDE VANADYUM ELEMENTİ İLAVESİNİN ETKİSİNİN İNCELENMESİ ” başlıklı yüksek lisans tezimin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

25.01.2024

Merve ÇEKER

ÖNSÖZ

Bilgi ve emekleriyle ışıık, yüreğıyle rehber olan yüksek lisans döneminde ve tez hazırlık sürecinde benden bilgi ve deneyimlerini esirgemeyen, meslek sevgisi ve sabrıyla bana örnek olan tez danışmanım Doç. Dr. Murat ÇOLAK' a,

Döküm ve analiz çalışmalarım boyunca imkanlarından faydalandığım Bayburt Üniversitesi'ne, çalışmalarında teknik desteğini esirgemeyen kıymetli hocam Dr. Öğr. Üyesi Emin USLU'ya,

Mühendislik hayatım boyunca her konuda desteğini hissettiren, bilgi ve tecrübeleriyle her daim yanımda olan, her zaman beni cesaretlendiren, birlikte çalışmaktan onur duyduğum kıymetli meslektaşım Erhan KIRAR' a,

Son olarak tüm hayatım boyunca yanımda olan, aldığım kararları her zaman destekleyen, sadece bu çalışma sürecinde değil tüm hayatım boyunca beni cesaretlendiren ve moral veren tüm aile bireylerime sonsuz şükranlarımı sunar ve teşekkür ederim

Merve ÇEKER

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ETİAL 177 ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ DÖKÜMÜNDE VANADYUM ELEMENTİ İLAVESİNİN ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Merve ÇEKER

Bayburt Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Murat ÇOLAK

Bayburt-2024, Sayfa: 94

Alüminyum döküm endüstrisinde akıcılık ve mekanik özelliklerin artırılması amacıyla alüminyum alaşımına vanadyum (V) ilavesi önem arz etmektedir. Bu kapsamda yapılan bu çalışmada, Etial 177 alaşımına vanadyum elementi ilave edilerek sıvı metal temizliği, akıcılık ve mekanik özelliklere etkisi deneysel çalışmalarla incelenmiştir. Döküm işlemlerinde kokil kalıba döküm yöntemi kullanılmıştır. Deneylerde Etial 177 standardı alüminyum alaşımına farklı oranlarda V ilavesinin alaşımın özelliklerine etkileri incelenmiştir. Çalışmada V ilave miktarı %0,03, %0,05 ve %0,1 V etki edecek şekilde ve numune döküm işlemlerinde farkın tespit edilebilmesi için ilave edilmeyen ETİAL 177 referans numuneler üretilmiştir. Dökümlerde vakum altında katılaştırma, K-mold kalıbı, mekanik test kalıbı, değişen kesitlere sahip 4 kanallı akıcılık kalıbı ve spiral akıcılık kalıbı kullanılmıştır. Deney alaşımlarının dökümlerinden alınan numunelerinde VAK numunelerinin yoğunluk ölçümlerinde %0,5'in altında gözenek ve K mold kalıplarında 1'in altında K değerine sahip olduğu tespit edilmiştir. İlavesiz ETİAL 177 dökümde %2,76 olan uzama miktarı, artan V miktarı ile artış göstermiş ve %1 V ilavesinde maksimum %7,61'lere varan değere ulaşmıştır. Çekme gerilmesi değerlerinin ilavesiz ETİAL 177 dökümlerde 137 MPa, %0,03 V ilavesinde 159 MPa, %0,05 V ilavesinde 168 MPa ve %0,1 V ilaveli dökümlerde de 185 MPa değerlerine kadar artış gösterdiği gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Akıcılık, Etial 177 Alüminyum Alaşımı, Mekanik Özellikler, Sıvı Metal Temizliği, Vanadyum

ABSTRACT

Master's Thesis

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF ADDED VANADIUM ELEMENT IN CASTING OF ETİAL 177 ALUMINUM ALLOYS

Merve ÇEKER

Bayburt University

Institute of Graduate Studies

Department of Mechanical Engineering

Thesis Advisor: Doç. Dr. Murat ÇOLAK

Bayburt-2024, Pages: 94

In the aluminum casting industry, the addition of vanadium (V) to the aluminum alloy is important in order to increase fluidity and mechanical properties. In this context, in this study, vanadium element was added to Etial 177 alloy and its effects on liquid metal cleanliness, fluidity and mechanical properties were examined through experimental studies. In the casting process, the permanent mold casting method was used. In the experiments, the effects of adding different amounts of V to the Etial 177 standard aluminum alloy on the properties of the alloy were examined. In the study, ETİAL 177 reference samples were produced with the V addition amount to be 0.03%, 0.05% and 0.1% V, and in order to detect the difference in the sample casting processes. Solidification under vacuum, K-mold mold, mechanical test mold, 4-channel flow mold with varying cross sections and spiral flow mold were used in the castings. In the samples taken from the castings of the test alloys, it was determined that VAK samples had pores below 0.5% in density measurements and K values below 1 in K molds. The elongation amount, which was 2.76% in ETİAL 177 casting without addition, increased with increasing V amount and reached a maximum value of 7.61% with 1% V addition. It was observed that the tensile stress values increased up to 137 MPa in ETİAL 177 castings without addition, 159 MPa with 0.03% V addition, 168 MPa with 0.05% V addition and 185 MPa in castings with 0.1% V addition.

Keywords: ETİAL 177 Aluminum Alloy, Fluidity, Liquid Metal Cleanlines, Mechanical Properties, Vanadium.

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	I
BEYANNAME	II
ÖN SÖZ	III
ÖZET	III
ABSTRACT	V
İÇİNDEKİLER	VI
TABLolar	XI
ŞEKİLLER	IIIX
KISALTMALAR	XI
SİMGELER	XI
GİRİŞ	1
Araştırmanın Konusu ve Problemi	4
Araştırmanın Amacı	4
Araştırmanın Önemi ve Gerekçesi	4
Araştırmanın Sınırlılıkları	5
Terim ve Tanımları	5
BİRİNCİ BÖLÜM	6
1. KURAMSAL ÇERÇEVE	6
1.1. ALÜMİNYUM	6
1.2. ALÜMİNYUMUN ÜRETİM YÖNTEMLERİ	9
1.2.1. Birincil Alüminyum Üretimi	11
1.2.2. İkincil Alüminyum Üretimi	13
1.3. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI	14
1.3.1. İşlem (Dövme) Alüminyum Alaşımları	15
1.3.2. Döküm Alüminyum Alaşımları	16
1.3.2.1. Alüminyum - Bakır Alaşımı (2xx.x)	17
1.3.2.2. Alüminyum- Silisyum- Bakır Alaşımı (3xx.x)	17
1.3.2.3. Alüminyum- Silisyum Alaşımı (4xx.x)	18
1.3.2.4. Alüminyum- Silisyum- Magnezyum Alaşımı (3xx.x)	18
1.3.2.5. Alüminyum- Magnezyum Alaşımı (5xx.x)	19
1.3.2.6. Alüminyum- Çinko- Magnezyum Alaşımı (7xx.x)	19
1.3.2.7. Alüminyum- Kalay Alaşımı (8xx.x)	20
1.4. ALAŞIM ELEMENTLERİNİN ALAŞIMA ETKİSİ	21
1.5. VANADYUM	25
1.6. ISIL İŞLEM	30
1.7. SIVI METAL KALİTESİ	33
İKİNCİ BÖLÜM	40
2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	40
2.1. DÖKÜM DENEYLERİNE HAZIRLIK İŞLEMLERİ	41
2.2. ERGİTME VE DÖKÜM İŞLEMLERİ	42
2.3. DÖKÜMLERİN İNCELENMESİ	43
2.3.1. VAK Numunelerinin İncelenmesi	43
2.3.2. K-Mold Numunelerinin İncelenmesi	45
2.3.3. Dört Kanallı Akıcılık Numunelerinin İncelenmesi	46

2.3.4. Spiral Akıcılık Kalıp Numunelerinin İncelenmesi	47
2.3.5. Mekanik Test Kalıp Numunelerinin İncelenmesi.....	48
2.3.6. Mikroyapı İncelemeleri.....	51
ÜÇÜNCÜ BÖLÜM	53
3. DENEYSEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRİLMESİ.....	53
3.1. KİMYASAL BİLEŞİM UYGUNLUĞUNUN KONTROLÜ	53
3.2. SIVI METALİN KALİTESİNİN TESPİTİ	53
3.3. AKICILIK TESTİ SONUÇLARI.....	58
3.4. MİKROYAPI İNCELEME SONUÇLARI.....	62
3.5. MEKANİK TEST SONUÇLARI.....	67
3.5.1. Çekme Test Sonuçları.....	67
3.5.2. Sertlik Test Sonuçları.....	71
SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER	73
KAYNAKÇA.....	75
ÖZ GEÇMİŞ	81

TABLÖLAR

Tablo 1: Alüminyumun Kronolojisi.....	1
Tablo 2: Alüminyum Ait Önemli Mekanik Özellikler.....	8
Tablo 3: Alüminyum Başlıca Özellikleri	8
Tablo 4: Boksit Cevheri İçeriği	12
Tablo 5: Birincil ve İkincil Alüminyum Endüstrilerinin Karşılaştırılması	14
Tablo 6: Dövme Alüminyum Alaşımlarının Sınıflandırılması.....	15
Tablo 7: Döküm Alüminyum Alaşımlarının Sınıflandırması.....	16
Tablo 8: Bifilm İndeks ile Sıvı Metal Kalitesi İlişkisi	37
Tablo 9: Deney Parametreleri.....	40
Tablo 10: Alaşımların Kimyasal Bileşim Değerleri (% ağı.)	41
Tablo 11: Döküm Deneyleri Kimyasal Bileşim Sonuçları (% Ağı.)	53
Tablo 12: VAK Döküm Numuneleri Yoğunluk ve Gözenek Sonuçları	55
Tablo 13: K- Mold İnküzyon, Parça Sayıları ve K Değerleri.....	58
Tablo 14: Sıvı Metal İlerleme Mesafesi Ölçüm Değerleri	60
Tablo 15: Sertlik Ölçüm Sonuçları	71

ŞEKİLLER

Şekil 1: Birincil Alüminyum Üretiminin Yıllara Göre Bölgesel Miktarı.....	3
Şekil 2: Alüminyumun Kullanım Alanlarına Ait Yüzdesi	3
Şekil 3: Dünya Alümina Üretimi, Milyon Ton	10
Şekil 4: Dünya Alüminyum Üretimi, Milyon Ton.....	10
Şekil 5: Hall-Héroult Hücresinin Şematik Gösterimi	13
Şekil 6: İkincil Alüminyum Üretim Şeması.....	314
Şekil 7: Çökelme Sertleşmesinin Gösterildiği A-B İkili Ötektik Faz Diyagramı	31
Şekil 8: Çözeltiye Alma Isıl İşlemi Sıcaklık Zaman Grafiği	31
Şekil 9: Ellingham Diyagramı.....	34
Şekil 10: Bifilm Oluşum Mekanizması	35
Şekil 11: a) Yüksek Döküm Yüksekliği, b) Alçak Döküm Yüksekliği	35
Şekil 12: Sıvı Metale Alaşım İlavesi ve Bifilm Oluşumu	36
Şekil 13: Bifilmelerin Katılma Sırasında Açılmasının Şematik Gösterimi.....	36
Şekil 14: Deneysel Çalışmalar İşlem Sürecinin Şematik Gösterimi	41
Şekil 15: Isıtıcı Tabla.....	42
Şekil 16: Elektrik Direnç Ocağı ve SiC Pota	42
Şekil 17: Döküm İşlemi ve Döküm Sonrası Kalıp Görüntüleri	43
Şekil 18: Azaltılmış Basınç Testi (VAK) Cihazı	44
Şekil 19: Yoğunluk Ölçüm Test Cihazı.....	44
Şekil 20: VAK Numunelerinin Dikey Olarak Kesilmesi	45
Şekil 21: K-Mold Test Kalıbı ve Katı Model Görüntüsü	46
Şekil 22: 4 Kanallı Akıcılık Kalıbı ve Numune Ölçüleri	47
Şekil 23: Sıvı Metal İlerleme Mesafelerinin Ölçülmesi	47
Şekil 24: Spiral Akıcılık Kalıbı.....	48
Şekil 25: Sıvı Metal İlerleme Mesafelerinin Ölçülmesi	48
Şekil 26: Mekanik Test Kalıbı Fotoğrafı	49
Şekil 27: Isıl İşlem Uygulama Şeması.....	49
Şekil 28: Çekme Testi Numunesi	50
Şekil 29: Çekme Testi Cihazı.....	50
Şekil 30: Sertlik Ölçüm Test Cihazı.....	51
Şekil 31: Mikroyapı Numunelerini Bakalite Alınması ve Numune Örnekleri	51
Şekil 32: Zımparalama ve Parlatma Cihazı	52
Şekil 33: VAK Test Numune Görüntüleri	54

Şekil 34: VAK Numune Kesit Görüntüleri.....	54
Şekil 35: K-Mold Kalıbına Yapılan Döküm Numune Görüntüleri.....	56
Şekil 36: K- Mold Numuneleri Kırık Yüzey Numune Görüntüleri	57
Şekil 37: Döküm Sıcaklığına Bağlı Akıcılık Döküm Numuneleri.....	59
Şekil 38: Spiral Akıcılık Kalıbından Elde Edilen Sıvı Metal İlerleme Mesafesi.....	60
Şekil 39: Dört Kanallı Akıcılık Kalıbından Elde Edilen Sıvı Metal İlerleme Mesafesi	61
Şekil 40: İlavesiz ETİAL 177 Dört Kanallı Akıcılık Kalıbı Döküm Mikroyapıları.	63
Şekil 41: %0,03 V İlaveli ETİAL 177 Akıcılık Kalıbı Döküm Mikroyapıları.	64
Şekil 42: %0,05 V İlaveli ETİAL 177 Akıcılık Kalıbı Döküm Mikroyapıları.	65
Şekil 43: %0,1 V İlaveli ETİAL 177 Akıcılık Kalıbı Döküm Mikroyapıları.	66
Şekil 44: Mekanik Test Kalıbı Döküm Numuneleri Görüntüleri.....	68
Şekil 45: V Oranına Göre ϵ - σ Değişimi	69
Şekil 46: Maksimum Gerilme Değerleri Değişimi.....	69
Şekil 47: % Uzama Değerleri Değişimi.....	70
Şekil 48: Statik Tokluk Değerleri Değişimi.....	70
Şekil 49: Sertlik Testi Sonuçlarının Grafik Gösterimi	72

KISALTMALAR

CTE	: Termal Genleşme Katsayısı (Coefficient of Termal Expansion)
VAK	: Vakum Altında Katılaştırma (RPT "Reduced Pressure Test - Düşürülmüş Basınç Testi")
SiC	: Silisyum Carbide (Silisyum Karbür)
ETİAL	: ETİ Alüminyum
LIMCA	: Liquid Metal Cleanliness Analyser
PoDFA	: Porous Disc Filtration Analysis
PREFIL	: Pressurized Filtration
HBN	: Brinell Hardness Number (Brinell Sertlik Değeri)

SİMGELER

Kgf	: Kilogramkuvvet
kW	: kilowatt
J	: Jolue
GPa	: Gigapascal
MJ	: Megajolue
°C	: Santigrad Derece
MPa	: Megapascal
mbar	: Milibar

GİRİŞ

Alüminyum (Al), tarihte ilk kullanımı 1800’lü yıllarında olduğu bilinmektedir. İmalatta en önemli malzemelerinden biri olup bu özelliğini yaklaşık iki yüz yıldır korumaktadır. Al kronolojisi Tablo 1’de gösterilmektedir (Töre, 2012).

Tablo 1: Alüminyumun Kronolojisi

Yıl	Gerçekleşen Olay
1821	LesBoux (Fransa) köyü içerisinde % 52 oranında Al oksit barındıran kıvılcıklı renkli toprak bulunmasıdır. Bu maden, adını yerleşim yerinden almıştır ve bu duruma istinaden “BAUXITE-boksit” olarak adlandırılmıştır.
1827	WOHLER, Almanya’da potasyum ve içeriğinde su bulunmayan Al klorürü tepkimeye sokarak toz Al eldesi sağlamıştır.
1845	WOHLER, Alın yoğunluk değeri 2,700 kg/m ³ olarak saptamıştır..
1854	H. SAINTE-C. DEVILLE Fransa’da ticari olarak ilk Al üretimini sağlamıştır. Bahsi geçen dönemde Al altın madenine kıyasla daha değerli görüldüğü bilinmektedir.
1855	Alüminyum elementinin daha geniş kitlelerle tanışması sağlanmıştır. (Paris Dünya Sergisi)
1886	Paul HEROULT ve Charles HALL birbirinden habersiz şekilde elektroliz yöntemini Al üretimini bulmuşlardır. Bu yöntem için buluşu yapan iki bilim insanının adını alarak Herolt-Hall yöntemi olmuştur. Ayrıca Al üretiminin temelini bu yöntem oluşturmaktadır..
1888	Tarihte ilk olarak Al endüstrisi, İsviçre, Fransa ve Amerika’da kurulmuştur.
1889	F. BAYER (Avusturya), büyük ölçekli Al üretimi için Bayer prosesinin keşfini gerçekleştirmiştir. Bu işlemle ise boksit madeni Alne dönüştürülmektedir.

Toplumların Al ile tanışması, 1855 yılı içerisinde Paris (Fransa) kentinde “Paris Dünya Sergisi” aracılığıyla gerçekleştirilmiştir (Yüksel, 2003).

Al içine ilave edilerek gerçekleştirilen döküm alaşımları; enerjiden tasarruf sağlama, malzemede hafiflik, geri dönüşüm sağlama ve çevre kirliliğine karşı üretimde tercih edilmektedir. Dünyada üretimin yapıldığı alanlar incelendiğinde Al döküm alaşımının grubunun ilk sıralarda yer aldığı görülmektedir. Çok farklı endüstri kollarında kullanımı olan Al

alaşımları otomotiv (yan ve ana sanayi), uçak tasarımı, havacılıkta ve uzay sendüstrisinde yaygın kullanımı bulunmaktadır. Endüstride Al alaşımlarının tercih edilmesinde; yüksek mukavemete sahip olması, sertlik mekavemeti, kırılmaya karşı mukavemeti ve yorulma ömrünün uzun olması gibi özellikleri barındırması önemli rol oynamaktadır.

Günümüzde Al ile gerçekleştirilen döküm endüstrisinde yaşanan gelişmeler ile malzemeninde aynı oranda gelişimi yaşanmıştır. Sektör çeşitliliği ve ihtiyaç duyulan ürünün çeşitliliğini alaşımların barındırdıkları özellikler ile sınırlanmıştır. Bu soruna yönelik birçok alanda çeşitli çalışmalar yapılmıştır.

Doğada saf halde bulunmayan Al, boksit mineralinde ($Al_2O_3 \cdot nH_2O$) olduğu için keşfedilmesi geç olmuştur. Al keşfi 1825 tarihine dayansa bile etkili bir üretim yöntemi saptandıktan sonra kullanılmaya başlanmıştır (Totten & MacKenzie, 2003; Yıldırım, 2006).

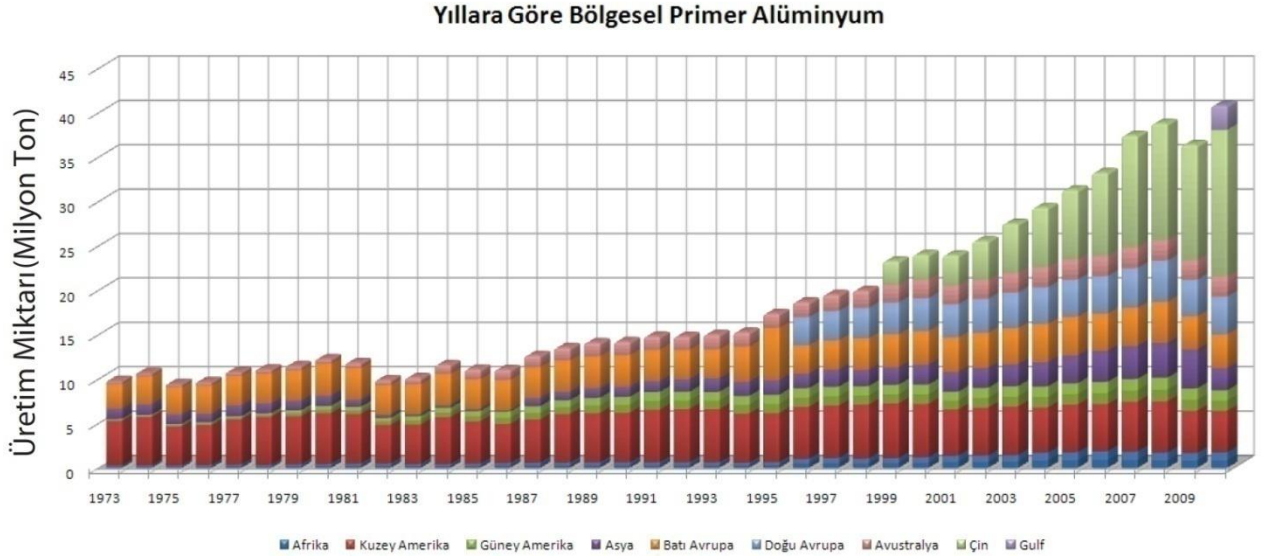
1886 yılında, Charles Hall (Oberlin Koleji) ve Paul Heroult (Fransız mühendis), aynı dönemde benzer temel prensip olarak alüminadan Al eldesine dayanan birincil Al üretimde kullanılmakta olan ve pahalı olmayan bir ergimiş tuz elektrolizi geliştirmişlerdir (Totten & MacKenzie, 2003; Yıldırım, 2006).

İki bilim insanının da aynı dönem içerisinde geliştirdiği elektroliz prosesi yöntemi günümüzde halen kullanımı devam eden Hall-Heroult işlemi olarak adlandırılmaktadır. Bu işleme, buluşu gerçekleştiren iki bilim insanı Sharles Martin Hall ve Paul Heroult'un isimleri verilmiştir (Totten & MacKenzie, 2003; Yıldırım, 2006).

1887 yılında Avusturyalı mühendis olan Karl Josef Bayer ise boksit mineralinden yararlanarak alümina elde edilmesini sağlayan kimyasal bir prosesin gelişimini sağlamıştır. Bayer prosesi yöntemi kullanılarak boksit mineralinden alümina (Al_2O_3) elde edilmesinden sonra saf Al elde etmek için Hall-Heroult prosesi uygulanmaktadır (Totten & MacKenzie, 2003; Yıldırım, 2006).

Adolf Hitler'in yönetim döneminde Almanya, Al üretimi bakımından dünya sıralamasında birinci sırada yer alırken, 1942 yılında ise Amerika Birleşik Devletler'inde hidroelektrik üretimi yapan santralleri kullanarak yeni projelerin tasarlanmasının gündeme gelmesiyle ABD, dünya Al üretiminde ilk sırada yer almıştır (Matweb, 2021; Binczewski, G. J. 1995; Demirci, K. M. 2012).

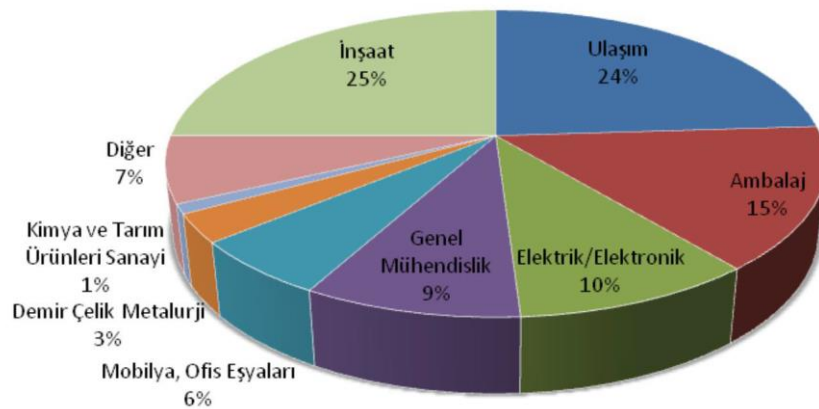
Ancak 2010 yılının verileri incelendiğinde sadece Çin birincil Al üretimi konusunda dünyada üretilen Al miktarının %41'ini karşılamaktadır. Şekil 1'de birincil Al üretimi oranı belirtilmiştir. Çin aynı zamanda üretim tesisi bakımından 71 tane tesis ile yine dünyada birinci sırada yer almaktadır (Matweb, 2021; Binczewski, G. J. 1995; Demirci, K. M. 2012).



Şekil 1: Birincil Alüminyum Üretiminin Yıllara Göre Bölgesel Miktarı

Birincil Al üretiminin uygulanmaya başladığı tarihten sonra üstün özellikleri sebebiyle Al kullanımı yaygınlaşmıştır. Günümüzde Al, global olarak en fazla tüketimi olan demir dışı bir metaldir (Totten & MacKenzie, 2003; Yıldırım, 2006).

Şekil 2’de göre, en fazla olarak %25 'lik pay ile inşaat sektörü yer almaktadır. Ardından ise %24 ulaşım sektörü, %15 ambalaj imalatı, %10 elektrik ve elektronik sektörü, %9 genel mühendislik, %6 ile mobilya ve ofis eşyaları, %3 ile demir çelik metalürjisi, %1 ile kimya sanayisinde ve tarıma dayalı ürünler endüstrisinde bulunmaktadır. Ayrıca %7 oran ile diğer sektörler gelmektedir (Akman, 2015).



Şekil 2: Alüminyumun Kullanım Alanlarına Ait Yüzdes

Araştırmanın Konusu ve Problemi

Al alaşımlarının fiziksel ve mekanik özelliklerini; alaşımın içerisinde bulunan, alaşım elementinin türü ve miktarı belirlemektedir. Çalışma kapsamında ETİAL 177 alaşımına farklı oranlarda vanadyum elementi ilave edilerek etkisi incelenmiştir. ETİAL 177 alaşımına farklı oranlarda vanadyum ilavesini ile gerçekleştirilen deneylerde sıvı metal temizliğinin etkisinin belirlenmesi için K-mold kalıbı ve VAK (vakum altında katılaştırma) numuneleri elde edilmiştir. Akıcılık etkisini belirlemek için özel olarak tasarlanmış farklı kesit kalınlıklarına sahip 4 kanallı akıcılık kalıbı ve spiral akıcılık kalıplarına dökümler yapılmıştır. Mikroyapı incelemeleri akıcılık deney numunelerinden elde edilmiştir. Mekanik test kalıbına yapılan dökümlerden elde edilen numunelere ısıtılma sonrası çekme ve sertlik testleri uygulanmıştır.

Araştırmanın Amacı

Literatür incelendiğinde Al alaşımlara çeşitli alaşım elementlerinin farklı oranlarda ilavesi yapılarak fiziksel ve mekanik özellikleri iyileştirmekle ilgili bilgiler bulunmaktadır. Bu çalışmanın genel amacı ise Al alaşımlarının dökümünde vanadyum alaşım elementi ilavesi ile mekanik özelliklerinin artırılmasıdır. Yapılan çalışma ile vanadyum ilavesinin etki ve vanadyum elementi ilave oranının akıcılık, sıvı metal temizliği ve mekanik özelliklere etkisini sayısal verilerle sunulması hedeflenmiştir. ETİAL 177 alaşımına farklı oranlarda ilave edilen V miktarına göre dökümde meydana gelen sıvı metal temizliği, sıvı metal ilerleme mesafesi ve mekanik özelliklerin artması tez kapsamında belirlenmiştir.

Araştırmanın Önemi ve Gerekçesi

ETİAL 177 alaşımına vanadyum ilavesi akışkanlığı, sıvı metal temizliğini ve mekanik özellikleri arttırmaktadır. Vanadyumun etkisinin ve hangi oranlarda hangi etkiyi sağladığını nicel olarak saptamak amacıyla çalışmanın önemini arz etmektedir. Al döküm endüstrisindeki teknolojik ilerlemelerin gerçekleşmesi ve kullanım alanlarının artması sebebiyle Al yaygın kullanılan bir element haline gelmiştir. Yaygın olarak kullanılan bu elementin akışkanlık ve mekanik özelliklerini artırma gerekçesiyle ETİAL 177 alaşımına farklı oranlarda vanadyum ilavesinin etkisini incelenmiştir.

Araştırmanın Sınırlılıkları

Literatür incelendiğinde ETİAL 177 alaşımına çeşitli elementlerin ilavesi yaygın olarak incelenmiş olmasına rağmen ETİAL 177 alaşımına vanadyum ilavesinin etkisinin incelenmesi oldukça sınırlı kalmıştır.

Terim ve Tanımları

Döküm: Endüstriyel üretimde yaygın kullanımı bulunan üretim yöntemidir. Sıvı metal ergiyik (genel olarak pota aracılığı ile) talep edilen şekle ait negatif izlenimini sahip bir kalıba döküm işleminin gerçekleştirilmediir.

Kokil Kalıp: Malzemesi çelik yada dökme demir olan ve içine birden çok döküm yapılabilen kalıplara denir.

Vanadyum: Korozyona karşı yüksek mukavemet gösteren gri renkli geçiş metalidir.

Mekanik Özellik: Zorlamaya maruz kalan parçada meydana gelen gelen şekil değişimidir.

Ayrıca bu zorlamaya malzemenin gösterdiği mukavemet özelliklerine denir

Akışkanlık: Sıvıları, gazları, plazmaları ve bazı durumlarda plastik katıları (eriyik) kapsayan, maddenin hallerinin bir altkümesidir.



BİRİNCİ BÖLÜM

1. KURAMSAL ÇERÇEVE

1.1. ALÜMİNYUM

Alüminyum (Al), bileşikler halinde yer kabuğunda yaklaşık olarak %8 oranında bulunmaktadır. Karbon (C) ve silisyum (Si) elementinden sonra en çok tercih edilmektedir (Tokatlı, 2022). Al, demir-çelik endüstrisinden sonra en yaygın kullanılan metaldir. Al günümüzde en çok kullanılan ikinci metal olmasının temel nedeni bir malzemeden beklenen birçok özelliği bir arada barındırmasıdır (Atik, 2023). Dünya üzerinde çelikten sonra en fazla üretimi olan alüminyum; üstün korozyon dayanımı, dökülebilirliği, işlenebilme kabiliyeti, ısı-elektrik iletkenliği, hafifliği ve yaşlanma işlemine tabi tutularak dayanımının artırılması vb. üstün özelliklere sahip olduğu için elektrik-elektronik, tarım, inşaat, gıda, otomotiv ve havacılık gibi sektörlerde geniş bir kullanım alanı bulunmaktadır (Bolton, 1993; Sharma vd., 2005).

Al, periyodik cetvel tablosunda 3A grubu, atom numarası 13 ve atom ağırlığı 26,981538 g/mol olarak bilinmektedir. Atom ve iyon çapı sırasıyla 1,43 Å ve 0,86 Å olan elementtir. Yüzey merkezli kübik (YMK) kristal yapıya sahip Al erime sıcaklığı 658 °C' ye kadar kararlıdır. Herhangi bir yapısal açıdan değişim gerçekleştirmez (Sarsılmaz, 2008).

Al esaslı hidroksitler ($AlOOH$ ve $Al(OH)_3$) temel Al kaynağı olarak bilinmektedir. Kostik soda ($NaOH$) çözeltisi ile zenginleştirilen ve Bayer yöntemiyle boksitin kimyasal formülü $Al_2O_3 \cdot 2H_2O$ 'dür. İçeriğinde hidrat suyu olan diyasporit ($Al_2O_3 \cdot 2H_2O$) ve jipsit ($Al_2O_3 \cdot 3H_2O$) diğer boksit türleri olmasının yanı sıra Al eksraktif metalürjisinde herhangi bir öneme sahip değildir. Al aktif bir metal olduğu için havada bulunan oksijenle kolayca tepkimeye girer ve yüzeyinde pasif Al_2O_3 (alümina) filmi oluşturur. Yüzeyde oluşan bu ince Alumina filmi, Al yüksek sıcaklık şartlarındaki korozyon etkilerden korumaktadır (Sarsılmaz, 2008).

Toz halinde havada hızlıca yanan Al, SO_2 ile SO_3 gazlarına karşı dayanıklıdır. Ayrıca, $NaOH$ ve KOH baz çözeltilerinde kolayca erimektedir. Saf Al saflık derecesi ve erime sıcaklığı değerleri doğru orantılı olması özelliğinden dolayı Al esaslı alaşımlara kıyasla çok daha yüksek sıcaklıklar şartlarında erimektedir. Al hacmi erime esnasında artmaktadır. %99,65 saflığa sahip olan Al hacim artış oranı yaklaşık olarak %6,25 iken; %99,75 oranında saflığa sahip olanın hacim artışı yaklaşık olarak %6,60 oranında olduğu bilinmektedir. Al yoğunluğu, katı ve sıvı halde saflığının artmasıyla ters orantılıdır. Örnek olarak, %99,25 oranında saflıkta olan Al 2,727 g/cm³ yoğunluğa sahip iken % 99,40 saflık oranına sahip Al

yoğunluğu $2,706 \text{ g/cm}^3$ 'tür. Ayrıca, Al saflık derecesi ile ısı ve elektrik iletkenliği doğru orantılıdır (Sarsılmaz, 2008).

Al yüksek saflığı, teknik saflığına göre daha esnek ve yumuşak bir malzeme elde edilmesini sağlar. Yüksek saflık derecesine sahip olan Al dayanımı da oldukça düşüktür. Örneğin, %99,2 saflık oranına sahip Al sertliği 24-54 HB iken % 99,8 saflık oranına sahip olan Al sertliği ise 19-41 HB arasındadır.

Al saflık derecesi arttıkça çekme dayanımında azalma olduğu yapılan deneyler ışığında saptanmıştır. Buna ek olarak, kopma anında meydana gelen kesit daralması, en yüksek saflığa sahip Al %99,9 ve daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Kısaca alaşım içeriğinde yer alan Al oranı ile süneklik doğru orantılı olarak artmaktadır. Yüksek saflık derecesine sahip olan Al soğuk haddeleme işlemine tabi tutulduktan sonra 110-130 MPa aralığında çekme dayanımına sahiptir. Tavlama işlemine tabi tutulduktan sonra ise bu değer 35-60 MPa aralığında değişmektedir. Yani bu değer tavlama işlemi sonrası azalmaktadır. Uzama miktarında değerleri ise %5,5 ile %40-%50 aralığında değişebilmektedir (Sarsılmaz, 2008).

Al mukavemeti yüksek bir malzemedir. Dinamik mukavemetinin, statik mukavemetine kıyasla 0,4-0,45 kat daha fazla olduğu bilinmektedir. Soğuk şekillendirilme ile üretilen Al parçalar için kaynak işlemi uygulaması yapıldığında geçiş bölgesindeki mukavemet değerlerinde düşme gözlemlenmiştir. Ancak Al, tavlama gibi ısı işlemlere tabi tutularak düşen mukavemetini tekrar elde eder (Kaufman & Rooy, 2004).

Al elastisite modülü çeliğe kıyasla 3 kat daha küçüktür. Al bundan dolayı, mühendislik tasarımı hesaplamalarında büyük salınlı yüklere karşı önemli avantajlıdır. Al, çeliğe kıyasla büyük salımına sahip yüklerin oluşturduğu maruziyete uygun sönümleme imkanı sunmaktadır (Al_Saadi & Tunay, 2017).

Al avantajları arasında kolay şekillendirme ve işlenebilirlik yer almaktadır. Saf halde bulunan Al yumuşak olma ve tel formuna kolay bir şekilde getirilebilme özelliği bulunmaktadır. Bu durum ise presleme işlemi, bükme işlemi, çekme işlemi ve kalıplama işlemlerine kolayca imkan sağlamaktadır. Al önemli bir kaç mekanik özelliği Tablo 2'de gösterilmiştir (Al_Saadi & Tunay, 2017).

Tablo 2: Alüminyum Ait Önemli Mekanik Özellikler

Mekanik Özellikler	Alüminyum
Gerilme, Elastikiyet Modül (Kg/cm^2) $\times 10^3$	703
Çekme Mukavemeti (Kg/cm^2)	914
Akma Mukavemeti (Kg/cm^2)	356
Uzama Miktarı (5 cm)(%)	40
Alanda Küçülme Yüzdesi (%)	38
Sertlik Değeri	23HBN
Büzülme Mukavemeti (100 Saatte %1 Uzama) (Kg/cm^2)(705 °C)	200

Al korozyon karşı direnci oldukça yüksektir. Al, oksijen ile teması halinde üzerinde Al_2O_3 kabuk şeklinde tabaka meydana gelir. Meydana gelen bu kabuk Al korozyona karşı direncini arttırarak Al korunmasına fayda sağlar. Bu duruma ek olarak Al saflığı arttıkça iletkenliği ve korozyon direnci de artma meydana gelir (Vargel, 2004). Al için başlıca önemli fiziksel ve kimyasal özellikleri ise Tablo 3'te gösterilmiştir (Yapıcı, 2012).

Tablo 3: Alüminyum Başlıca Özellikleri

Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	Alüminyum
Atom Numarası	13
Element Serisi	Metaller
Grup, Periyot, Blok	3A, 3, p
Görünüşü	Gümüşümsü
Atomsal Ağırlığı	26,9815386(8) g/mol
Elektron Dizilimi	$[\text{Ne}]3s^2 3p^1$
Enerji Seviyesi Başına Elektronlar	2,8,3
Genel Faz Hali	Katı
Yoğunluk Değeri (Katı)	2,70 g/cm^3
Yoğunluk Değeri (Sıvı)	2,375 g/cm^3
Ergime Sıcaklığı	660,32 °C
Kaynama Noktası	2519 °C
Ergime Isısı	10,71 kJ/mol
Buharlaşma Isısı	294,0 kJ/mol
Isıl Kapasitesi	24,2 (25 °C)J/(mol·K)
Kafes Yapısı	Yüzey merkezli kübik
Yükseltgenme Seviyeleri	(3+) (amfoter oksit)
Elektronegatifliği	1,61 Pauling ölçeği
İyonlaşma Enerjisi	577,5 kJ/mol
Atom Yarıçapı Değeri	125 pm
Atom Yarıçapı Değeri (Hes.)	118 pm

Kovalent Yarıçapı Değeri	118 pm
Elektriksel Özdirenci	26,50 $\Omega \cdot m$ (20 °C'de)
Isıl İletkenlik	237 W/(m·K)
Isıl Genleşme	23,1 $\mu m/(m \cdot K)$ (25 °C'de)
Ses Yayılma Hızı	5000 m/s (20 °C'de)

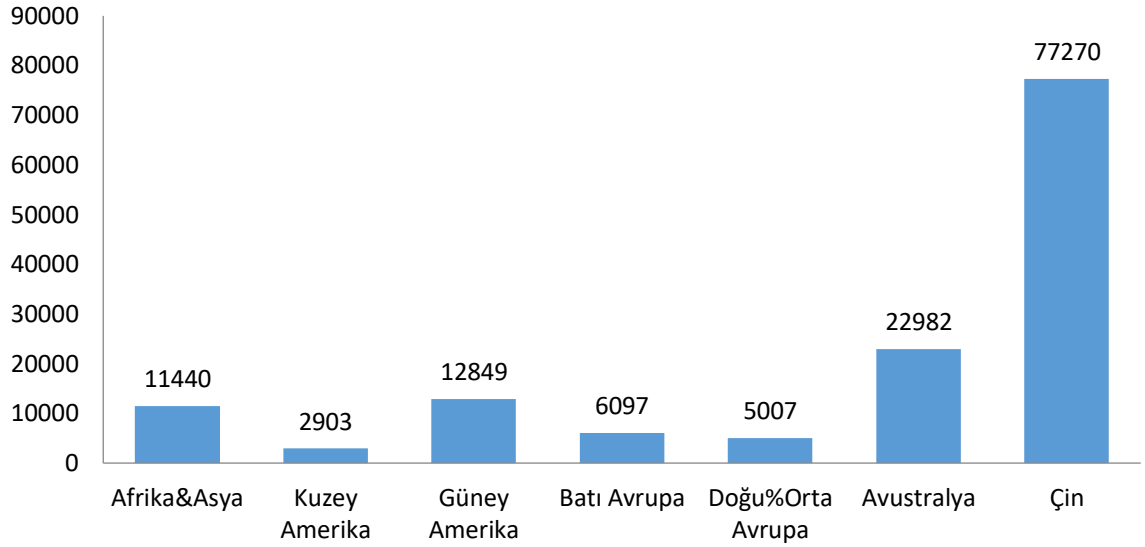
1.2.ALÜMİNYUMUN ÜRETİM YÖNTEMLERİ

Al doğada metalik halde bulunmamaktadır. Al, alumina ismindeki bir oksitten meydana geldiği bilinmektedir. Alumina ise boksit cevherinin içerisinde yer alan bir oksittir. Boksitin içeriğinde böhmit (α - $Al_2O_3 \cdot H_2O$, %85 alümina içerir.), gibbsit (α $Al_2O_3 \cdot 3H_2O$, %65.4 alümina içerir), diasporit (β - $Al_2O_3 \cdot H_2O$, böhmit ile kristal yapıları farklıdır) ve korundum (Al_2O) mineralleri yer almaktadır. Bu mineraller dışında boksit içerisinde bazı empüriteler de yer almaktadır. Bu empüriteler başlıca; silisyum, titanyum ve demirdir (Erman ,2016; Régnier, 2016).

Al üretimi birincil (cevherden) ve ikincil (geri dönüşüm) olarak iki ana başlık altında toplanmıştır. Birincil üretim yönteminde hammaddeden yani cevherden farklı metotlar kullanılarak Al eldesi sağlanırken, ikincil üretim yönteminde ise genel olarak çoğunluğu hurdadan oluşan hammaddeler ile Al üretimi gerçekleştirilir. İkincil üretim yöntemi bir nevi geri dönüşüm özelliğinin kullanılması olması sebebi ile doğa dostu bir üretim yöntemi olarak tanınmaktadır. Buna ek olarak ikincil Al üretim yöntemi kullanılması sonucunda hurda olmuş malzeme geri dönüştürüldüğü için ham madde ve maliyet ile birlikte üretim için harcanan enerji miktarını önemli ölçüde azaltmaktadır (Car, 2010).

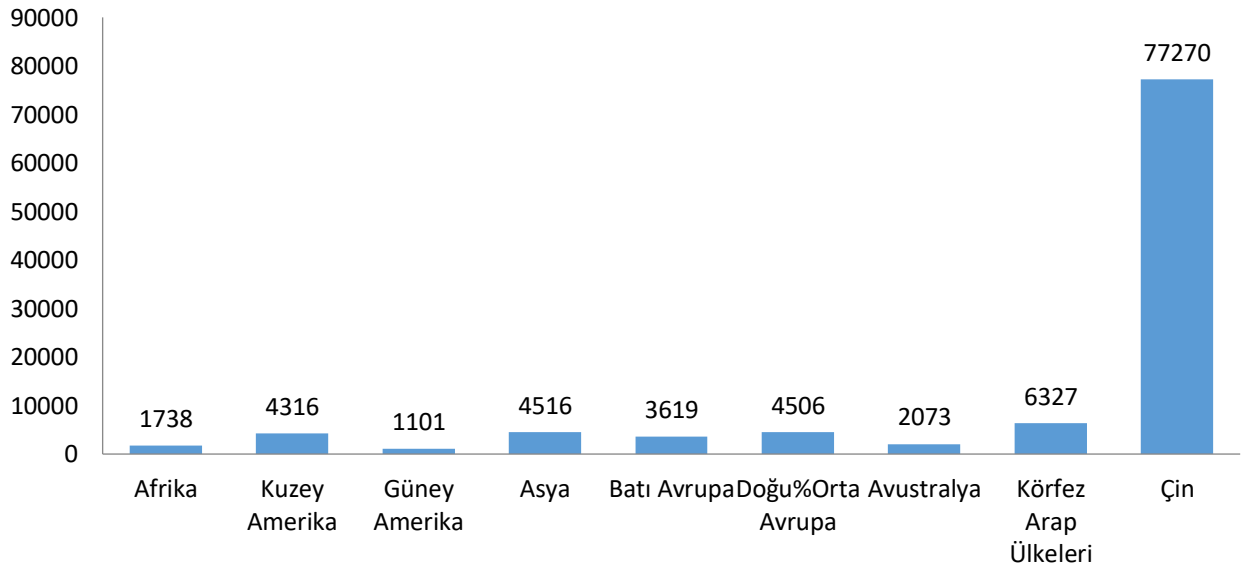
2020 yılında ocak ayı ve 2021 yılındaki ocak ayı zaman diliminde üretimi yapılan alümina miktarı milyon ton cinsinden Şekil 3'te gösterilmektedir. Dünya geneline bakıldığında 2020 yılında toplam alümina üretim miktarı 146179000 ton olduğu saptanmıştır. Çin, 77270000 ton alümina üretimi ile en çok alümina üretimi yapan ülke olmuştur. Türkiye ise alümina üretimi konusunda Afrika&Asya ülkeleri içerisinde Şekil 3'te verilmiştir (Word Aluminium, 2021).

2020 Ocak ayı ile 2021 Ocak ayı zaman diliminde gerçekleştirilen birincil Al üretimi milyon ton cinsinden Şekil 3'te görülmektedir.



Şekil 3: Dünya Alümina Üretimi, Milyon Ton

Çin yine birincil Al üretiminde de son bir yıl içerisinde 40657000 ton üretimi gerçekleştirerek en çok üretim yapan ülke olmuştur. Türkiye, Asya ülkeleri içerisinde yer alarak Şekil 4'te verilmiştir (Word Aluminium, 2021).



Şekil 4: Dünya Alüminyum Üretimi, Milyon Ton

Al yer kabuğunda saf olarak bulunmadığından yukarıda belirtilmişti. Farklı elementler ile bileşik halde bulunan Al bir takım ekstraktif işlemlerden tabi tutularak metalik Al eldesi gerçekleştirilmektedir. Boksit minerali, dünya üzerinde en önemli Al kaynağı olarak görülmektedir. Hidratlı bir oksit olan boksitten, saf Al oksit elde edebilmek için bayer prosesi kullanılmaktadır. Bayer prosesi sonucunda oluşan Al oksitten metalik Al üretimi ise Hall-Heroult prosesi ile yapılmaktadır. Boksit ve Al arasında ise 4:1 oranı bulunmaktadır. Yani proses içerisinde kullanılacak 4 ton boksitten, 1 ton metalik Al üretimi gerçekleşecektir

(Habashi, 2003). Hall-Heroult prosesi esnasında kullanılan karbon anotlar CO_2 açığa çıkmasına sebep olmaktadır. Alcoa firması ise son yıllarda bu konu ilişkin yaptıkları çalışmalar ve bu çalışmalar neticesinde 2009 yılında aldıkları patent ile çevreci bir yaklaşım sergileyerek metalik Al üretimi sürecine katkı sağlanmıştır. Alcoa firması, Hall-Heroult prosesi içerisinde yer alan karbon anot yerine inert anot kullanımı ile CO_2 salınımını sıfıra indirmeyi başarmışlardır (Alcoa, 2021).

Metalik Al üretimi, pirometalurjik olarak ise maalesef sınırlara sahiptir. Ellingham diyagramı göz önüne alınacak olursa Al ile karbon çizgilerinin kesiştiği nokta 1 atmosfer basınç altında $2000\text{ }^\circ\text{C}$ 'de bulunmaktadır. Dolayısıyla vakum altına alınmadan metalik Al üretimi oldukça yüksek sıcaklıklar gerektirmektedir. Bu durum ise maliyeti artırmaktadır. Bu sebeple metalik Al üretimi için pirometalurjik yöntemler çok tercih edilmemektedir (Totten vd, 2003).

1.2.1. Birincil Alüminyum Üretimi

Birincil Al üretimi için boksit cevherinden metalik Al elde etme işlemine olarak tanımlanmaktadır. Genel olarak beş adımdan oluşmaktadır;

- Boksit madeninden boksit cevheri eldesi,
- Boksit cevheri kullanılarak alümina elde edilmesi,
- Alüminaya elektroliz yöntemi kullanılarak sıvı Al elde edilmesi,
- Sıvı Al alaşımlandırmanın dökümü,
- Dökümden elde edilen numunenin nihai ürüne haline dönüştürülmesi (Car, 2011).

Metalik Al üretimin yapılırken kullanılan en temel mineral için boksit cevheridir. Ortama olarak 1 ton metalik Al elde etmek için 2 ton alümina (Al_2O_3) gerekirken, 2 ton alümina elde etmek için ise 4 ton boksit cevherine ihtiyaç duyulmaktadır (Erman, 2016). Boksit cevheri için genel olarak yüzeyin 0-2 m altında bulunan içeriği böhmit, gibbsit ve diasporit haricinde bazı genellikle demir (Fe), silisyum (Si) ve titanyum (Ti) empüriteler içeren mineral olarak bilinmektedir (Car, 2011).

Bayer prosesi yönteminde, boksit cevheri kullanılarak susuz alüminyumoksit yani (Al_2O_3) üretiminin yapıldığı proses olarak tanımlanır. Bayer prosesi ile 1 ton Al_2O_3 elde etmek için 2 ton boksit cevherine ihtiyaç duyulmaktadır. Bayer prosesinde üç farklı adım bulunmaktadır. Bunlar; çözündürme, çöktürme ve kalsinasyon adımlarıdır (Car, 2011).

Tablo 4: Boksit Cevheri İçeriği

Bileşen	% (Ağırlıkça)
Al ₂ O ₃	30-60
Fe ₂ O ₃	1-30
SiO ₂	<0.5-10
TiO ₂	<0.5-10
Organik karbon	0.02-0.40
P ₂ O ₅	0.02-1.0
CaO	0.1-2.0
V ₂ O ₅	0.01-0.10
ZnO	0.002-0.10
Ga ₂ O ₃	0.004-0.013
Cr ₂ O ₃	0.003-0.30
S	0.02-0.10
F	0.01-0.10
Hg (ppb)	50

özömlendirme İşlemi; boksit cevheri ile kostik soda adı verilen sodyum (Na) hidroksit (NaOH) özeltisi reaksiyona girer ve reaksiyon sonucunda alümina, sodyum alüminata (NaAlO₂) haline dönüşür. Bu işlem neticesinde çözelti içerisinde çözünmeden kalan maddeler filtrasyon yolu ile çözeltiden kırmızı çamur adı ile bilinen çözelti artığı olarak atılır (Car, 2011).

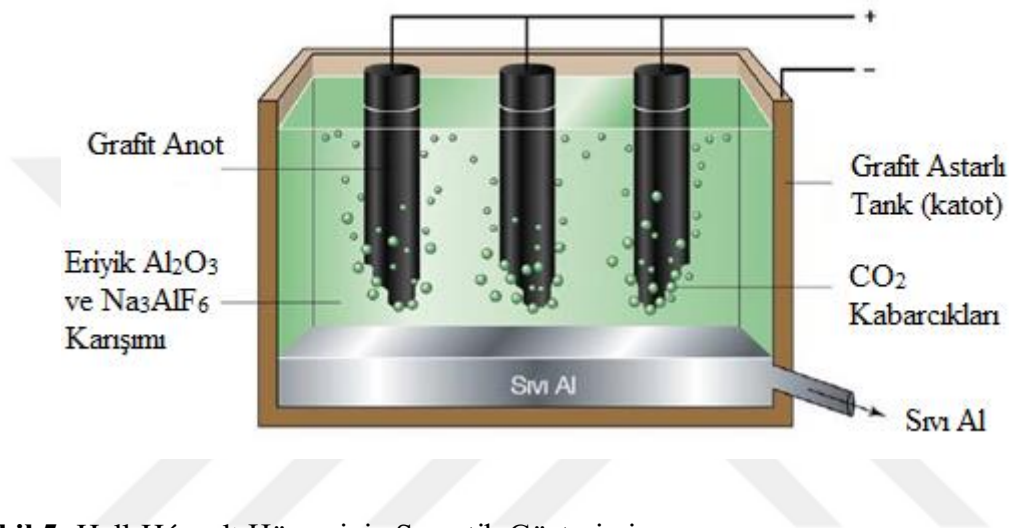
öktürme İşlemi; özömlendirme işlemi neticesinde elde edilen sodyum alüminatı kostik çözeltiden öktürölür ve yıkanıp kuruma işlemi gerçekleştirildikten sonra Al hidroksit ve kostik çözelti halinde ayrılır. Al hidroksit ise; bayer prosesindeki son basamak olan kalsinasyon adımına gönderilirken, kostik çözelti tekrar kullanılmak için özömlendirme adımına geri gönderilir (Car, 2011).

Kalsinasyon Adımı; 1100-1200°C sıcaklıkta yapılan Al hidroksitin, kalsinasyon işlemi neticesinde beyaz renkli alümina elde edilme işlemidir (Car, 2011).

Hall-Héroultprosesi, bayer prosesi neticesinde eldesi sağlanan alüminanın, Al dönüştüğü ve ergimiş tuz elektrolizi olarak adlandırılan işlem adımı olarak tanımlanır. Ergimiş tuz elektrolizinde elektroliz hücresi; kriyolit özeltisi (Na₃AlF₆), Al florür (AlF₃), kalsiyum florür (CaF₂) ve alüminadan oluşmaktadır. Ergimiş tuz elektrolizinde, elektroliz

hücrelerine giren Al_2O_3 elektrik akımı yardımı ile hücre içerisinde çözünmesiyle metalik Al eldesi sağlanır (Car, 2011; Çetin, 2017). Şekil 5'te Hall-Héroult hücrelerinin gösterimi verilmektedir.

Hall-Héroult hücrelerinde bulunan karbon anotlar sistemin CO_2 salınımı yapmasına olanak sağlamaktadır. Bu salınımın engellenerek, sistemin çevreye verdiği zararları ortadan kaldırmasını sağlamak amacıyla Alcoa firmasının geliştirdiği ve 2009 yılında da patentini aldıkları inert anot teknolojisi kullanılarak doğaya sıfır CO_2 salınımı gerçekleştirilmiştir. Bu sayede sistemin çevreyi koruma politikasını desteklemiş olur (Matweb, 2021).

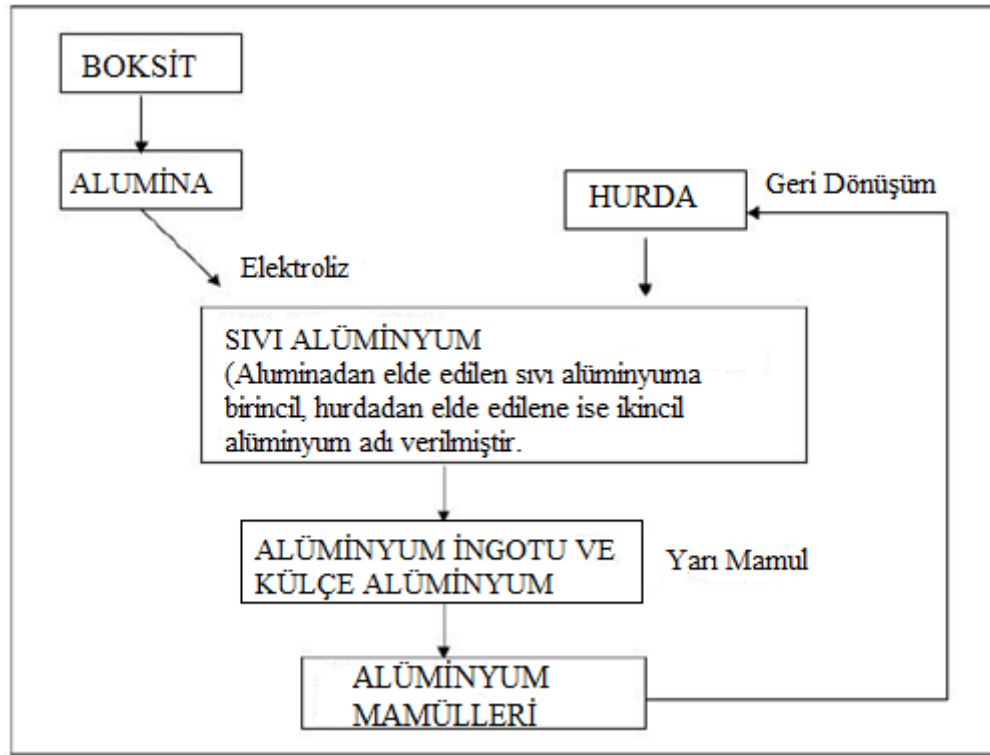


Şekil 5: Hall-Héroult Hücrelerinin Şematik Gösterimi

1.2.2. İkincil Alüminyum Üretimi

İkincil Al üretimi yönteminde; birincil yöntemle eldesi sağlanan veya ikincil yöntem ile üretimi yapılmış olan Al ya da alaşımlarından oluşan malzemelerin farklı gerekçeler ile kullanımına ihtiyacının kalmamasının veya kullanım özelliğini kaybetmesine bağlı olarak malzemenin deforme hali ise hurda adını almaktadır. Hurda olan malzemelerin bu aşamada kullanımı yapılamaz ya da kullanımı önerilemez. İkincil üretim yöntemi için hammadde ihtiyacını bu şekilde hurdaya ayrılan Al ya da alaşım karşılamaktadır. Bu hammadde Şekil 6'da gösterildiği gibi işlemlere tabi tutularak yeni mamulleri oluşturur (Car, 2019).

İkincil üretim yönteminde Al hurdalardan geri dönüştürme özelliği kullanılarak Al elde edilir. Bu işlem aynı zamanda birincil üretim yöntemi ile kıyaslandığında hem doğa dostu hem de daha az enerji kullanılarak yapılan bir işlemdir (Car, 2019).



Şekil 6: İkincil Alüminyum Üretim Şeması

Birincil üretim yöntemi kullanılarak Al eldesi sağlanması işlemi ile ikincil üretim yöntem karşılaştırılmıştır. Karşılaşma sonucunda, özellikle yatırım ve yanı sıra işlem maliyetleri açısından daha uygun olduğu için ikincil Al üretim yöntemi daha çok tercih edilme sebebi olmaktadır. Maliyetine ek olarak birincil üretim yöntemi için hammadde olarak doğal kaynaklar tercih edilirken, ikincil üretimde ise hurda olarak tabir edilen kullanım ömrünü ve özelliğini kaybeden malzemelerin hammadde olarak kullanılması sebebi ile geri dönüşüm sağlanmaktadır. Bu özelliği açısından doğa dostu üretim yöntemidir (Car, 2019).

Tablo 5: Birincil ve İkincil Alüminyum Endüstrilerinin Karşılaştırılması

Birincil Alüminyum Endüstrisi	İkincil Alüminyum Endüstrisi
Yüksek yatırım ve maliyeti	Düşük yatırım
Uzun üretime geçme süreci	Kısa üretime geçme süreci
Yüksek enerji tüketimi	Enerji tasarrufu
Doğal boksit kaynakların hammadde olarak kullanılması	Boksit kaynaklarının kullanımında tasarruf
Yüksek oranda kirli gaz salınımı	Düşük oranda kirli gaz salınımı

1.3.ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI

Alaşım, metal özelliği gösteren iki veya daha fazla maddenin belirli oranlarda karışımı yapılarak oluşturulan maddeler olarak tanımlanır. Alaşım, metale bir ya da daha fazla element ilavesi yapılarak veya birden fazla elementin karışımının ergimesi sağlanarak elde edilen saf haldeki bulunan maddeye üstün özellikler sağlayan ürün olarak bilinmektedir.

Saf haldeki metaller belirli özelliklere sahiptir fakat bu özellikleri sınırlı durumdadır. Bundan dolayı metallerin mevcut olan bazı özelliklerini değiştirmek, geliştirmek ve üstün özellikler elde etme için alaşım meydana getirilir (Alım, 2017).

Al alaşımlarını imalat yöntemi çerçevesinde iki başlıkta toplamak mümkündür. Bu yöntemler; döküm alaşımları ve dövme alaşımlarıdır. Bileşimleri açısından bu alaşımlar paralellik göstermektedir. Alaşım elementleri veya farklı alaşım yapıları eklenerek çeşitli ısı işlemlere tabi tutulan Al alaşımında, sertleşme veya istenilen özelliklere taşınması sağlanmış olur. Döküm özelliklerine, deformasyon sertleşmesi hatırı sayılır ölçüde etki etmediği içinfarklı alaşım element ilavesinin yapılması döküm alaşımlarında ve dövme alaşımlarında çeşitlilik göstermektedir (Kaufman & Rooy, 2004).

1.3.1. İşlem (Dövme) Alüminyum Alaşımları

Sürekli döküm yönteminde, işlem (dövme) Al alaşımları yaygın olarak tercih edilir. Isıl işlem sonrasında ise haddeleme işlemine ya da ekstrüzyon kullanılarak şekil verme işlemine tabi tutulur. Alaşımlar içerik bakımından bakır (Cu), mangan (Mn), magnezyum (Mg), çinko (Zn), nikel (Ni), Si, kalay (Sn) gibi elementler içermektedir (Savaş, 2005).

Al işlem alaşımlarının isimlendirilmesi dört basamaklı bir sistem ile numarası ile yapılmaktadır. Verilen sistematikte dört basamaktan oluşan sayının ilk numarası, alaşımda bulunan temel elementi simgelemektedir. Bahsi geçen adlandırma işlemi Tablo 6'da verilmiştir. Bu alaşımlar içinden 1XXX, 3XXX, 4XXX ve 5XXX alaşımları için plastik şekil değiştirme yöntemi ile sertleştirilebilirler. Ayrıca ısı işleme tabi tutularak 2XXX, 6XXX, 7XXX ve 8XXX alaşım serileri sertleştirilir (Savaş, 2005).

Tablo 6: Dövme Alüminyum Alaşımlarının Sınıflandırılması

Sayısal Gösterim	İçerdiği Elementler
1XXX	Saf Alüminyum
2XXX	Ana Alaşım Elementi ve Bakır
3XXX	Ana Alaşım Elementi ve Mangan
4XXX	Ana Alaşım Elementi ve Silisyum
5XXX	Ana Alaşım Elementi ve Magnezyum
6XXX	Alaşım Elementi, Silisyum ve Magnezyum
7XXX	Ana Alaşım Elementi ve Çinko
8XXX	Ana Alaşım Elementi ve Kalay

1.3.2. Döküm Alüminyum Alaşımları

Döküm Al alaşımları, döküm yöntemi ile elde edilir. Genellikle döküm yöntemi için Si içeren alaşımlar kullanılır. Bunun nedeni ise Si döküm kabiliyetini arttırmasıdır. Si dışında döküm alaşımlarında Cu, Mn, Mg, Zn, Ni, Sn gibi elementlerde kullanılır (Al-Saadi & Tunay, 2017).

Bu döküm alaşımları ise üç basamaktan oluşan bir sistemden oluşmaktadır. Bu üç basamağın sonunda ise ek olarak ondalık bir ekleme yapılarak totalde dört basamaklı bir kod sistemi ile gösterilmektedir (Al-Saadi & Tunay, 2017).

Tablo 7: Döküm Alüminyum Alaşımlarının Sınıflandırması

Sayısal Yazımı	İçerdiği Elementler
1XX.X	Saf Alüminyum
2XX.X	Ana Alaşım Elementi Bakır
3XX.X	Silisyum, Bakır ve Magnezyum
4XX.X	Ana Alaşım Elementi Silisyum
5XX.X	Ana Alaşım Elementi Magnezyum
7XX.X	Ana Alaşım Elementi Çinko
8XX.X	Ana Alaşım Elementi Kalay

Bu alaşım elementlerinden 2XX.X, 3XX.X, 4XX.X ve 7XX.X serilerine ise ısıtıl işlem yöntemi ile sertleştirme yapılırken 5XX.X serisine yalnız çökeltme sertleştirme işlemi ile sertleştirme yapılır (Al-Saadi & Tunay, 2017).

Al alaşımı çok sayıda geliştirilmiş olsa bile 7 temel aile bulunmaktadır. Bunlar:

- Alüminyum - Bakır Alaşımı (2xx.x)
- Alüminyum - Silisyum-Bakır Alaşımı (3xx.x)
- Alüminyum - Silisyum Alaşımı (4xx.x)
- Alüminyum - Silisyum-Magnezyum Alaşımı (3xx.x)
- Alüminyum - Magnezyum Alaşımı (5xx.x)
- Alüminyum - Çinko-Magnezyum Alaşımı (7xx.x)
- Alüminyum - Kalay Alaşımı (8xx.x)

1.3.2.1. Alüminyum - Bakır Alaşımı (2XX.X)

Al ve Cu alaşımları, yüksek mukavemetin ve buna ek olarak tokluğun talep edildiği durumlarda tercih edilmektedir. Dökme ve dövme işlemine tabi tutularak şekillendirilmesi mümkün olduğu için çok yaygın kullanımı bulunmaktadır. Bu alaşım için oda sıcaklığında ve daha yüksek sıcaklık şartlarında yüksek mukavemet sergiler ve sertlik gösterirler (Kaufman, 2004).

Tarihte Al döküm alaşımının ilk kullanımında alaşımın ağırlıkça %10 oranındaki konsantrasyonlarında Cu içermektedir. Bu alaşımların kullanıldığı o ilk dönemde ısıtma işlem uygulamalarına dair bilgi bulunmuyordu. O dönemlerde bu alaşımların gelişimi dökme halinde yapılmıştı. Ayrıca bu alaşımlar sertlik ve yüksek mukavemet özellikleri sergilemekteydi. Ağırlıkça %4-%5 oranında Cu içeren alaşımlar geliştirilmiştir. Bu alaşımların elde edilmesi ise Mg ilave miktarlarının değişimi ile yapılmıştır (Kaufman, 2004).

Yaşlanma tepkisini hızlanmasını sağlayarak gerilme korozyon riskinin azalmasını gümüş sağlamaktadır. Ticari amaç taşıyan döküm alaşımı için en iyi mukavemet şartlarını temsil eden ısıtma işlem bileşimleridir. Kontrollü empürite ile en iyi süneklik meydana gelirken, çekme özelliği ve sünekliğin kombinasyonu çok iyi tokluk elde etmesini sağlamaktadır (Kaufman, 2004).

Bu alaşımlar dendritler arası büzülmeye oldukça duyarlıdır. Ayrıca katılaşma çatlak oluşuma karşı hassasiyet gösterirler. Bu olumsuz şartlardan korunmak eksiksiz olarak döküm teknik uygulamalarının olması gerekmektedir. Bütün katı kalıp döküm uygulamalarında çok iyi tane inceltmenin olması ve seçici soğutma temeli olmalıdır. Al alaşımlarında korozyona karşı direnci ise Cu düşürmektedir. Bu duruma ek olarak bazı bileşimler gerilim korozyonuna karşı duyarlıdır. Cu, yüksek sıcaklık şartlarında genel olarak Ni ilave edilerek mekanik özelliklerin geliştirilmesi sağlanabilir (Kaufman, 2004).

1.3.2.2. Alüminyum - Silisyum - Bakır Alaşımı (3XX.X)

Al döküm alaşımları kıyasla en çok tercih edilen alaşımdır. Bu alaşımlarda iki elementinde ilave edilme miktarı değişkenlik göstermektedir. Yani bazı alaşımlarda Si ilave edilme miktarı fazla olurken, bazı alaşımlarda ise Cu ilave edilme miktarı fazla tutulmaktadır. Bu durum ise kullanım alanına göre tercih edilmektedir. Döküm alaşımından beklenti işlenebilirlik ve güçlendirme ise Cu ilave edilme miktarı fazla olmasıdır. Döküm alaşımından beklenti sıcak gevrekliğin indirgenmesi ve dökülebilirlik özelliğinin gelişmesi ise Si ilave miktarının fazla olmasıdır (Kaufman, 2004).

Alaşımda ağırlıkça %5,6 oranından daha az Cu bulunduran Al-Si-Cu alaşımları ısıtıl işlem için uygundur. Bu grubun en önemli alaşımları ise magnezyum (Mg) içeren alaşımlardır. Ayrıca ısıtıl işleme karşı tepkisi gelişmiş alaşımlardır. Bu alaşımlar için yüksek kapasitede çok daha fazla nitelik yelpazesi olan alaşımların üretiminin yapılmasına ışık tutmuştur (Kaufman, 2004).

Birçok ötektiküstü silisyum alaşımının içinde Cu bulunmaktadır. Olağanüstü aşınma direnci elde etmek için birincil Si fazı ile mümkündür. Cu, matris sertleşmesine katkıda bulunmaktadır. Yüksek sıcaklık şartlarında mukavemete de olumlu yönde etki etmektedir (Kaufman, 2004).

1.3.2.3. Alüminyum - Silisyum Alaşımı (4XX.X)

Al alaşımına Si ilave edilerek meydana gelen alaşımların sergiledikleri bazı mükemmel özellikleri bulunmaktadır. Bu mükemmel özellikler ise akışkanlığı, korozyona karşı gösterdikleri direnç ve dökülebilirlik kabiliyetini saymak mümkündür. Ayrıca bahsi geçen bu alaşımlar mukavemet olarak düşük ve işlenebilirlik açısından zayıf özellik sergilemektedir. Bu alaşımlar bazı istisnai durumlarda süneklik özellik göstermektedir. Bu durum alaşımın mikro yapısına ait özelliklerden kaynaklanmaktadır. Kum kalıba döküm uygulamasında modifikasyon avantajlı bir durumdur. Bu durum Na veya stronsiyum (Sr) kontrollü bir şekilde ilave edilmesiyle meydana getirilmektedir. Kalsiyum (Ca) ötektikmodifikatör açısından zayıf bir elementtir. Daha fazla lamel yapıya sahip ötektik elde etmek için antimon (Sb) eklenmesi önerilebilir (Kaufman, 2004).

Katılma hızları arttıkça ince ve modifiye edilmemiş ötektik mikro yapıya olumlu yönde etki etmektedir. Bu alaşımlar için özgül ağırlığının düşük olduğunu söylemek mümkündür. Ayrıca termal genleşme katsayıları bulunmaktadır (Kaufman, 2004).

1.3.2.4. Alüminyum - Silisyum - Magnezyum Alaşımı (3XX.X)

Mg, Al-Si alaşımlarına ilave edildikten sonra ısıtıl işleme tabi tutulması mükemmel özellikler kazandırmaktadır. Ayrıca bir çok üstün döküm özelliğini bir arada toplayan önemli bir kompozisyon grubunun temelini oluşturur. Elde edilen alaşımın korozyon direnci yüksektir. Ayrıca termal genleşme seviyesinin korunması sağlanmıştır (Kaufman, 2004).

Mukavemet açısından Al-Cu ve Al-Si-Cu alaşımına kıyasla güçlü değildir. Fakat birçok Al-Si-Mg alaşımı mekanik özellik olarak üstün dayanım sergilemektedir. Berilyum (Be) ilave edilerek, Fe barındıran intermetaliklerin morfolojisini ve kimyasına etki etmektedir. Bu durum mukavemeti ve sünekliğe katkı sağlamaktadır. Ötektik modifikasyon kalıntıları

önemli yer tutmaktadır. Bunun sebebi bu kalınlar ile mukavemette artış, uzama miktarında artış ve döküm neticesinde iyileşmenin olmasıdır (Kaufman, 2004).

1.3.2.5. Alüminyum - Magnezyum Alaşımı (5XX.X)

Al ve Mg alaşımları için temel olarak, orta düzey ve yüksek düzey mukavemet özellikleri taşımaktadır. Ayrıca tokluğu yüksek tek fazlı ve ikili alaşımlar olarak tanımlanır. Karakteristik olarak bu alaşımların en önemli özelliği korozyona karşı direnç göstermesidir. Deniz suyu etkisine ve deniz atmosfer şartlarına maruz kalmaya karşı bile korozyon direnci göstermektedir. Ayrıca bu özelliği yiyecek ve içecek proseslerinde de kullanımının detaylarını kapsamaktadır. Bu alaşımlar için ayrıca çok mükemmel kaynak kabiliyeti sergilemektedir. Genel olarak mimari de ve diğer dekoratif tasarımlar uygulamalarında tercih edilmektedir. Bu alaşımlara uygulanan işlemlere alaşımın cazip görünümü ve kaynak kabiliyetini etkilememektedir. Görünüm için yapılan bu işlemlere dökme, işleme ve parlatma örnek olarak verilebilir (Kaufman, 2004).

Al-Mg alaşımları ile Al-Si alaşımları ile karşılaştırılmıştır. Buna kıyas neticesinde bütün Al-Mg alaşımlarının daha geniş besleyicisinin olduğu ve sıcaklık gradyan kontrolünün daha özenli olması gerektiği saptanmıştır (Kaufman, 2004).

Mg, Al alaşımlarına ilave edilmesi oksidasyon hızında artışa sebep olmaktadır. Ergimiş Al alaşımında Mg kayıpları önemli tutulmaktadır. Döküm kalitesine lüminyum oksitleri ve magnezyum oksitleri etki etmektedir. Ergimiş metal için yüksek sıcaklık şartlarında korunmasız bırakma işleme ile Al-Mg oksitlere ait spineller meydana getirilmektedir (Kaufman, 2004).

Mg, Al alaşımlarına ilave edilerek hazırlanan alaşımların ağırlıkça %7 ve daha büyük oranlara sahip konsantrasyonları ısıtma işleme tabi tutulabilir. Isıtma işlemin uygulanma amacı ise tipik özelliklerin stabilize edilmesini sağlamaktır (Kaufman, 2004).

1.3.2.6. Alüminyum- Çinko- Magnezyum Alaşımı (7XX.X)

Al-Zn-Mg alaşımı doğal yaşlandırmaya tabi tutularak, döküm işleminden sonra oda sıcaklığı şartlarında 20-30 gün bekletilir. Bu durumun sebebi tam mukavemeti sağlamaktır. Ayrıca bu alaşımlarda meydana gelen hızlı katılaşma bazı sonuçlara sebep olmaktadır. Bu sonuçlar ise sertleşme potansiyelinin düşmesine sebep olan Mg-Zn fazlarında açığa çıkan mikro segregasyon olarak söylenebilir. Doğal yaşlama uygulaması yöntemiyle yeteri derecede özellik geliştirme yapılmalıdır. Bu durum haricinde geleneksel yöntem olan çözeltiye alma ısıtma işlem yöntemi de kullanılabilir (Kaufman, 2004).

Yüksek sıcaklık şartlarında çözeltiye alma ısı işlem uygulaması ve su verme uygulamasına normalde gerek duyulmaz. Bu yüzden ısı işlem uygulama maliyeti önlenmiş olur. Bu duruma ek olarak artık gerilme seviyesi ve çarpılma durumu da bu yöntemle önlenmiş olur (Kaufman, 2004).

Sertleşme uygulamasını hızlandırmak amacıyla yapay yaşlandırma yöntemi de kullanılabilir. Ayrıca tavlama işlemi geliştirilmiş olan boyutsal ve yapısal kararlılıkla beraber ortak amacı gerçekleştirirler (Kaufman, 2004).

Dökme haliyle bu alaşımlar genel olarak orta ila iyi çekme derecesine sahiptirler. Bu grupta bulunan alaşımların ergime sıcaklıkları yüksektir. Bu durum lehimlenecek dökümler için avantaj sağlamaktadır. Genel olarak işlenebilirliği ve korozyona karşı direnci yüksektir. Genellikle alaşımların kimyası kontrol edilmektedir. Bu durumun sebebi, gerilme korozyon hassasiyetine katkı sağlamak ve kontrol altında tutmaktır (Kaufman, 2004).

Al-Zn-Mg alaşımlarının dökülebilirlik özelliği zayıftır. Sıcak yırtılmadan kaynaklı kusurları ve büzülme kusurlarını azaltmak için döküm uygulamasının iyi olması gerekmektedir (Kaufman, 2004).

1.3.2.7. Alüminyum- Kalay Alaşımı (8XX.X)

Sn, rulman uygulamaları sebebiyle gelişimi sağlanan bileşimlerin temel alaşım elementi olarak bilinmektedir. Bunun yanı sıra düşük konsantrasyonlarda bizmut (Bi) ile birlikte serbest işleme özelliklerini iyileştirme amacıyla kullanılmaktadır. Bu duruma ek olarak kurşun (Pb) ve kadmiyum (Cd) ile birlikte düşük konsantrasyonlarda serbest işleme özelliğine katkı sağlamaktadır. 850 serisine tabi olan alaşımlar genel olarak 660 veya buna benzer bronzların yerine tercih edilebilir. Hafif olması nedeniyle karşıt uygulamalarda mevcut yükleri minimize ederek ısı dağılımını sağlar. Bu durum rulmanın ömrünü uzatmaya yardımcı olmaktadır (Kaufman, 2004).

Ağırlıkça %5-%7 oranında Sn içeren alaşımlar, düşük sürtünme, basınca karşı dayanım ve korozyona karşı direnci talep edildiği uygulamalarda yaygın kullanılır. Bu yüzden rulmanlar ve burçlarda sıklıkla tercih edilmektedir. Cu, Ni ve Mg ilave edilerek mukavemeti artırır ve sertliğe olumlu yönde etki eder. Bu alaşıma Si ilavesi ise sıvı Al döküm kabiliyetine katkı sağlar. Buna ek olarak sıcak gevrekliği azaltırken basınca karşı dayanımı arttırmak amacıyla ilave edilmektedir (Kaufman, 2004).

Rulmanlar genel olarak kalıcı kalıp prosesine tabi tutularak üretimi yapılmaktadır. Yüksek katılma hızına sahip olması bazı uygulamalara katkı sağlamaktadır. Bu duruma bağlı olarak kalayın elementinin daha ince ve daha homojen dağılımına olumlu yönde etki

etmektedir. Kum kalıba döküm yöntemi kullanılarak özel tasarıma sahip düşük hacimli rulmanların başarıyla dökümü yapılmaktadır. Bir çok rulman katı içi boş silindir şeklindedir. Bu sebeple doğrudan soğutma uygulaması (Direct Chill), üretim sebebiyle kullanılmıştır (Kaufman, 2004).

Önemli bileşimler içinde Al-Sn alaşımı benzersiz olarak nitelendirilmektedir. Al ve Sn aslında homojen olarak karışım oluşturmaz. Katılma öncesi ve sonrasında Sn dağınık olarak bulunmaktadır. Başlangıç olarak Sn süspansiyon eldesi sağlamak amacıyla mekanik bir uyarıcıya gereksinim bulunmaktadır. Yoğunluk farklarından dolayı zaman içinde yer çekimi ayrımı ve ergime olmaktadır (Kaufman, 2004).

Cu içeren Al-Sn alaşımları, geleneksel yöntem olan çökeltme işlemine tabi tutularak sertleşmesi sağlanır. Bu işlem sonrası elde edilen numune ısıtma işlemi uygulamalarına tabi tutulabilmektedir. Eksenel sıkıştırma yöntemi uygulanarak katılma ve termal stresleri rahatlatmaktadır. Bu durum %4 oranında kalıcı şekil değişimini sağlamaktadır (Kaufman, 2004).

1.4. ALAŞIM ELEMENTLERİNİN ALÜMİNYUMA ETKİSİ

Sb, Al alaşımlarına ilave edilerek hazırlanan alaşımların ağırlıkça %0,1 ve daha büyük oranlardaki konsantrasyonlarında, Al-Si ötektiği arttırmaktadır. Sb, Al alaşımına ilave edilmesinin temel sebebi modifikasyondur. Ayrıca belirgin hatlara sahip lamel ötektiği formuna sahiptir. Sb ötektik yapıyı belirli şartlara bağlı olarak değiştirmektedir. Bu şartlar ise; fosfor (P) eksikliği ve yeterli derecede hızlı katılma miktarına bağlıdır. Bunun yanı sıra dökülebilirlik kabiliyeti ve metalurjik yapı üzerinde negatif etkileri barındıran kaba intermetalikleri merdana getirmek için Na ve Sr ile birlikte reaksiyona girmektedir (Kaufman & Rooy, 2004).

Cu, sıvı Al alaşımlarında ve yanı sıra ısıtma işlemi tabi tutulmuş şartlarda mukavemeti yükseltir ve sertliğe de önemli ölçüde katkı sağlamaktadır. Al alaşımına Cu ilave eldesi ile elde edilen alaşımın ağırlıkça %4-%5,5 oranında Cu içeren alaşımları için ısıtma işlem koşullarına en iyi şekilde cevap verir. Bu durum nispeten geliştirilmiş sıvı Al döküm özellikleri sağlamaktadır. Cu genellikle korozyona karşı direnci düşürmektedir. Ayrıca özel bileşimlerde ve özel malzeme şartlarında gerilme korozyonuna karşı duyarlılığı olumlu yönde etkilemektedir. Bazı alaşımlarda ise Cu miktarının düşük seviye olması talep dilmektedir. Bu durum Al ve Zn alaşımlarında Cu konsantrasyonlarını düşük tutarak stres korozyonunu engellemek amaçlanmıştır (Kaufman & Rooy, 2004).

Be, Al alaşımlarında Mg içeren bileşimlerinin içindeki oksidasyon kayıtlarının azaltılmasına katkı sağlamaktadır. Ayrıca İlgili inklüzyonların en aza indirgenmesinde etkili olmaktadır. Al alaşımının içerinde ysek konsantrasyonlarda yani %0,04 'den fazla oranda Be ilave edilerek, Fe ihtiva eden intermetaliklerin şeklini ve aynı zamanda bileşimini de etkilemektedir. Bu duruma ek olarak önemli ölçüde mukavemet artışına ve sünekliğin gelişimine olumlu yönde etki etmektedir. Be sağladığı tüm bu faydaların yanı sıra bileşime de etki ederek Al-Fe-Si bileşiği içinde yer alan Mg uzaklaşmasına katkı sağlamaktadır. Ayrıca Al alaşımlarında sertleşmenin istendiği durumlarda da Be ilavesi yapılmaktadır (Kaufman & Rooy, 2004).

Bi, Al alaşımlarına ilave edilerek hazırlanan alaşımların ağırlıkça %0,1 miktarından daha büyük oranlara sahip konsantrasyonlarında işlenebilirlik kabiliyetin arttırmaktadır (Kaufman & Rooy, 2004).

Bor (B), AlB_2 ve TiB_2 vb. halinde boritler meydana getirmek amacıyla diğer metaller ile birleşim oluşturmaktadır. Bu duruma ek olarak titanyum borid gibi alaşımlarda tane inceltme amacıyla $TiAl_3$ gibi aktif bir tane inceltme fazı ile etkileşim oluşturur. Bunun sebebi ise kararlı bir çekirdekle alanı oluşturmaadır. İşleme uygulamalarında metalik boritler olumsuz yönde etki etmektedir. Bu olumsuz durum takım ömrünü azaltmaktadır. Bu duruma ek olarak süneklik açısından olumsuz etkileri olan kaba inklüzyonlar açığa çıkarmaktadır. Ayrıca boritler çamurlaşmaya ve intermatilikler için fırınlarda sıvı çökelti içinde çökelmesine katkı sağlamaktadır (Kaufman & Rooy, 2004).

Civa (Hg), katodik koruma için yapılan Al alaşımlarında geçici anotlar olarak gelişimi yapılmıştır. Hg kullanımı çevreye zarar vermesi nedeniyle yasaklanmıştır (Kaufman & Rooy, 2004).

Zn, Al alaşımının özelliklerinde çok etkisi bulunmamaktadır. Buna ek olarak Zn, Mg ve Cu ilave edilerek ısıl işlem uygulanabilen ya da tabii olarak yaşlanan bileşimin meydana gelmesini neden olur (Kaufman & Rooy, 2004).

Fe, Al alaşımlarına ilave edilmesi sıcak yırtılma direncini arttırmaktadır. Bu duruma bağlı olarak lehimlemeye eğilimi önemli ölçüde azalmaktadır. Alaşımda bulunan Fe oranının artışı hatırı sayılır ölçüde esnekliği azaltmaktadır. Fe, en fazla $FeAl_3$, $FeMnAl_6$, $AlFeSi$ olan bazı alaşımlarla intermetalik faz oluşturmak amacıyla reaksiyona girmektedir. Al alaşımında çözünmeyen faz grubu mikro yapıda önemli ölçüde rol oynamaktadır. Bu durum özellikle ysek sıcaklık şartlarında mikro yapıda gevrekleşmenin olması için katkı sağlamaktadır. Alaşım içindeki çözünmez faz grubunun oranı, Fe miktarı ile döküm esnasında besleme ve akışkanlığı olumsuz olarak etkilemektedir (Kaufman & Rooy, 2004).

P, hiperötektik Al ve Si oluşturduğu alaşımlarda birincil (primer) faz oluşumunda çekirdeklenmesine neden olmaktadır. Alaşımda çekirdeklenmeyi oluşturduktan sonra rafine etmektedir. P, bu alaşımlarda ötektik yapıyı güçlendirir (Kaufman & Rooy, 2004).

Gümüş (Ag), Al alaşımında çökeltme sertleşmesine katkı sağlamaktadır. Ayrıca Al alaşımına ilave edilen Ag gerilme korozyon direnci için de olumlu yönde etkisi bulunmaktadır (Kaufman & Rooy, 2004).

Hidrojen (H), Al alaşımlarında olumsuz etkilere sahiptir. Likit yapıda bulunan alaşım içinde havanın barındırdığı nem kaynaklı çözünmesi gerçekleşerek, katılaşma sırasında gaz baloncukları meydana getirmektedir. Buna ek olarak tane sınırlarında korozyonun açığa çıkmasına sebep olmaktadır. Bu yüzden Al alaşımlarında H istenmemektedir. H verdiği bu olumsuzlukları ortadan kaldırmak amacıyla alaşıma farklı elementler ilave edilir. Cu, Si, Sn bunlara örnek olarak verilebilir (Töre, 2012).

Cd, Al alaşımlarına ilave edilerek hazırlanan alaşımların ağırlıkça %0,1 miktarından daha büyük oranlara sahip konsantrasyonlarında işlenebilirlik kabiliyetin arttırmaktadır. Cd, 1413°F (767°C) sıcaklık şartlarında uçuculuk özellikleri sergilemektedir. Bu durum için önlemler alınmalıdır (Kaufman & Rooy, 2004).

Sn, Al alaşımını sürtünme özellikleri açısından büyük katkı sağlamaktadır. Al alaşımlarının %25'i Sn içermektedir. Al alaşımına Sn ilave edilmesi işlenebilirliği arttırmaktadır (Kaufman & Rooy, 2004).

Ca, Al alaşımına Si ilave ederek hazırlanan alaşımda zayıf bir ötektik değiştiricidir. Ca, H çözünürlüğüne artmasına neden olur. Al alaşımlarına ilave edilerek hazırlanan alaşımın ağırlıkça %0,005'den daha fazla miktarda bulunmaktadır. Bu durumun yanı sıra Al ve Mg alaşımlarında ise sünekliği olumsuz olarak etkilemektedir (Kaufman & Rooy, 2004).

Krom (Cr), Al alaşımına ilave edilmesi genel olarak düşük konsantrasyonlarda ve oda sıcaklığında yapılmaktadır. Bu uygulama genel olarak termal açıdan dengesiz olan kompozisyonlarda yapılır. Bunun sebebi ise yaşlanma ve tane büyümesinin oluşmasını engellemektir. Cr, sınırlı katı hal çözünürlüğü meydana getiren ve bu durumun sebep olduğu tane büyümesine olan eğilimi azaltmakta yardımcı olan $CrAl_7$ bileşimini açığa çıkarmaktadır. Cr, genel olarak korozyon direncini arttırmaktadır. Bununla birlikte bazı alaşımlarda yüksek konsantrasyonlarda ise su verme hassasiyetine katkı sağlamaktadır (Kaufman & Rooy, 2004).

Pb, Al alaşımlarında işlenebilirliğin artmasında rol oynamaktadır. Al alaşımına Pb ilavesi ile talep edilen işlenebilirliğe ulaşmak için elde edilen bileşimde ağırlıkça %1 'den fazla ilave edilmektedir (Kaufman & Rooy, 2004).

Lityum (Li), Al alaşımının mukavemetinin arttırmasına yardımcı olur. Ağırlıktan kazanç sağlamak için Al alaşımının yoğunluğunu azaltır. Soğutma için yapılan uygulamalarda tokluk niteliğı ilerletme eğilimi göstermektedir (Töre, 2012).

Mg, için ısııl işleme tabi tutulmuş Al ve Si alaşımlarının dayanımının ve sertliğınin temelini oluşturmaktadır. Bu duruma ek olarak Cu, Ni ve farklı elementleri içeren daha kompleks alaşım olan Al ve Si oluşturduğı alaşımlarda çok yaygın kullanımı bulunmaktadır. Ayrıca yüksek mukavemete sahip bu Al ve Si oluşturduğı bileşimlerde %0,40-%0,070 civarında Mg içermektedir (Kaufman & Rooy, 2004). Al alaşımlarına Mg ilavesi ile elde edilen bileşim parlak yüzey kaplaması istenen işlemlerde kullanılmaktadır. Bu duruma ek olarak Al alaşımına Mg ilave edilerek korozyon direnci yüksek ve sünekliğı talep edildiğı uygulamalarda sıklıkla kullanılır. Mg genel olarak bileşimlerde ağırlıkça %4-%10 Mg aralığında bulunmaktadır. Bileşimde ağırlıkça %7 'den fazla miktarda Mg içeren bileşimler ısııl işleme tabi tutulmaktadır (Kaufman & Rooy, 2004).

Mn, Al alaşımında çekme mukavemetini artmasına katkı sağlamaktadır. Al alaşımında korozyon direncine olumsuz bir etkiye bulunmadan yeniden kristalleşme sıcaklığına etki ederek 50-60°C arttırmaktadır. Buna ek olarak Al alaşımının dökülebilirlik kabiliyetini katkı sağlamaktadır. Alaşımdaki tane yapısı kontrol altında tutar ve tane büyümesini ortadan kaldırmaktadır (Töre, 2012).

Mn, Al alaşımlarında kirlilik neden olduğı düşünölmektedir. Bu sebeple birçok döküm alaşımlarında düşük miktarlarda olması istenilmektedir. Mn, Al alaşımlarında pekleşmenin istenilen derecede olması gerekmektedir. Aksi takdirde manganez elementi Al döküm alaşımlarına olumlu yönde katkı sağlayamaz (Kaufman & Rooy, 2004).

Ni, Al alaşımlarında yüksek sıcaklık özelliklerine katkı sağlaması için Cu ile beraber yaygın kullanımı bulunmaktadır. Buna ek olarak Al alaşımına ilave edilen Ni termal genleşme katsayısını ise azaltmaktadır (Kaufman & Rooy, 2004).

Si, Al alaşımlarına en önemli katkısı döküm özelliklerini olumlu yönde etkilemesidir. Al alaşımlarına Si ilave edilmesi alaşımdaki akışkanlığı artmasına büyük ölçüde fayda sağlamış olur. Ayrıca Si ilavesi sıcak yırtılma direncine de olumlu yönde katkı sağlamaktadır. Buna ek olarak Si ilavesinin Al alaşımlarının besleme özelliklerini de katkı sağlamaktadır. Bütün sıvı Al döküm işlerinde en fazla tercih edilen bileşimleri Si yer aldığı bileşimler oluşturmaktadır. Karmaşık yapıya sahip çözünmez fazlar elde etmek kullanılır. Bu durum için Fe ve farklı diğeri elementlerle bileşim oluşturur. Si, Al alaşımında özgül ağırlığı azalmaktadır. Buna ek olarak Al alaşımlarında ısııl genleşme katsayısını da azaltmaktadır (Kaufman & Rooy, 2004).

Na, Al ve Si oluşturduğu ötektiği modifiye etmektedir. Al alaşımında yüzey gerilimini arttırmaktadır. Ayrıca ilave etme metoduna göre de H ilave miktarı artırılabilir. Na ile P bileşim oluşturur. Oluşan bileşim ötektik modifikasyonun etkisini düşürmektedir. Buna ek olarak oluşan bileşim için P ve Si fazında da etkisini azaltmaktadır (Kaufman & Rooy, 2004).

Sr, Al ve Si oluşturduğu ötektiği değiştirmek amacıyla kullanılır. Sr modifikasyon işleminde az miktarda kullanılması önerilir. Genel olarak geri kazanılan Sr miktarı ağırlıkça %0,008-0,04 aralığında değişmektedir. Sr, az oranlarda ilavesi Al alaşımının katılma oranını iyi yönde etkilemektedir. Buna ek olarak Al alaşımına fazla miktarda Sr ilave edilmesi gaz giderme verimini olumsuz etkilemektedir (Kaufman & Rooy, 2004).

Ti, Al alaşımlarında genel olarak bor elementinin ilavesiyle beraber kullanılır. Bunun sebebi ise Al alaşımındaki tane yapısının olumsuz etkilerinden kurtarmaktır. Çatlamaya meyilli olan sıcak kompozisyonlarda tane yapısını incelterek bu olumsuz etkiden korur (Kaufman & Rooy, 2004).

V, eklendiği Al alaşıma yüksek sıcaklık şartlarında dayanımı artırmaktadır. Alaşımın tane büyümesini önlemesine ek olarak tanelerinin ince kalmasına yardımcı olmaktadır (Töre, 2012).

Zirkonyum (Zr), Al alaşımının tanelerindeki yapıyı kontrol etmek amacıyla eklenmektedir. Bunun yanı sıra yeniden kristalleşmesini önleyici özelliği bulunmaktadır. Ayrıca büyük kalınlıklara sahip plakaların yüksek mukavemet göstermesine katkı sağlamaktadır (Töre, 2012).

1.5.VANADYUM

V cevherlerinden karbonat, kireç tozu elde edilmektedir. Açığa çıkan sodyum vanadat su ile özütlenir. Dönüşüm gerçekleştirmeyen V bileşikleri ise sülfürik asitle özütlenir. Gerekli olduğunda her iki yöntem kullanılarak eldesi sağlanan V içeren çözeltiler bir arada toplanır. Ortamın asitliği kontrol edilir ve ticari ismi vanadyumpentoksit olarak bilinen (Na veya Ca) heksavanadat çözeltileri meydana getirilir (Heybeli Ulutaş, 2007).

Vanadyum pentaoksit (V_2O_5) denk olarak sayılabilecek çeşitli tuzlara ise vanadat denir. Na ile verdiği ortovanadat, pirovanadat ve metavanadat formülleri açısından fosfatları andırmaktadır. Metalik V ise V_2O_5 , Al ilave edilerek indirgenmesi sonucu elde edilmektedir (Heybeli Ulutaş, 2007).

V, tarihte ilk olarak 1801 senesinde Andres Manuel Del Rio tarafından keşfi yapılmıştır. V, çelik parlaklığına sahip ve gri renkte olan değerli bir metaldir. Metal V, havada

kararlı yapıda bulunmaktadır. Ayrıca seyreltik asit bazlardan genellikle etkilenmemektedir (Heybeli Ulutaş, 2007).

Saf metal soğuk hava şartlarında işlenebilecek kadar yumuşaktır. Ayrıca işlendikten sonra gerilme direncinde artma görülmektedir. Düşük konsantrasyonlarda O₂, C ve N içeriğinde metalde sertleşme görülür (Heybeli Ulutaş, 2007).

Toz halindeki vanadyum pentaoksidin renk olarak sarı ile taba rengi arasında değişmektedir. Amonyum vanadatın kalsinasyonu sonucunda eldesi yapılmaktadır. Ayrıca V üç oksidi daha literatürde yer almaktadır. Bu oksitler sırasıyla, gri renkli olan divanadyum dioksit (V₂O₂), siyah renkli olan vanadyumtrioksit (V₂O₃) ve mavi-siyah renk karışımında olan vanadyum tetraoksittir (V₂O₄) (Heybeli Ulutaş, 2007).

V, yaklaşık olarak 1960 yılına kadar en değerli cevheri patronit olarak bilinmektedir. Patronit ise kükürt(S) açısından doygun bir vanadyum sülfürdür. V, Ti ve Nb kıyasla daha az sıcaklık şartlarında çökme yapan nitrür ve karbür oluşturmaktadır. V, haddeleme işlemine tabi tutulmuş çelikler için tane boyutunu kontrol amaçlı kullanılmaktadır. Bu özelliği ile Ti ve Nb kadar fazla kullanımı bulunmaktadır. Bu durumun yanı sıra yüksek karbonlu (ağırlıkça %0,4 oranında karbon elementi içeren) olarak adlandırılan çeliklerde N oranı fazla ise mevcut özellikleri değişerek kendi özelliğini kaybetmektedir. V için kullanım alanları aşağıda verilmiştir;

- V, ağırlıkça %50 oranında Fe ilavesi ile birlikte oluşturduğu ferro vanadyum alaşımı eldesinin özel çeliklerin imalatında kullanılması,
- V₂O₅ bileşiği ise sülfürik asitin elde edilmesinde ve yaygın olarak üretimlerde katalizör olarak kullanımı,
- V₂O₅ bileşiği ise seramik üretiminde ve boya imalatında kullanımı,
- V ve galyum (Ga) oluşturduğu alaşım için süper iletken mıknatısların üretiminde kullanımı,
- Nükleer uygulamalarda kullanımı,
- Gözlük ve binaların camları için ultraviyole ışıkların filtrasyonunda kullanılmaktadır.
- Biyomedikal uygulamalar ise 1938-1960 yılları arasında biyomalzeme olması amacıyla tercih edilmiştir (Heybeli Ulutaş, 2007).

V, % 90 ve daha fazlası Fe ve çelik alaşımlarında tercih edilir. Yapı çelikleri ise ağırlıkça %0,03-%0,2 oranında V ihtiva etmektedir. Ağırlıkça % 0,03-%0,2 gibi düşük oranlarda bulunan V ilave edilmesi çelikler için mekanik özelliklerinin iyileşmesine katkıda bulunur. Bu duruma ek olarak elde edilen bu V çelikleri birçok alanda kullanımı bulunmaktadır. Buna örnek olarak lokomotif üretiminde, uçak motorunun parçasının

retiminde, yay ve dişli gibi üretimlerde kullanılmaktadır. Ağırlıkça %4 ve daha düşük oranlarda V ihtiva eden çelikler ise aşınmaya karşı dayanıklı aletlerin üretiminde kullanılmaktadır. Bunlar için sertlik, yüksek dayanım ve sağlamlık açısından mükemmeldir (Heybeli Ulutaş, 2007).

V, en yaygın olarak elik endüstrisinde tercih edilmektedir. V eliği için ağırlıkça %0,7-%1,4 oranında Cr ve %1,5-%2,5 oranında V ihtiva etmektedir. Bu elikler için en önemli avantajı göstermiş olduğu dayanım ve elastikliğini kaybetmemesidir (Heybeli Ulutaş, 2007).

V, çok az oranlarda kullanımı sağlandığında elik için artan sıcaklık şartlarında dayanımı sağlamaktadır. Ayrıca elikten üretilen kesici uçlar için keskinliğin korunmasını sağlar (Heybeli Ulutaş, 2007).

Genel olarak makine parçalarının üretiminde tercih edilen çeliklerde ise V miktarı %0,03-%0,25 oranlarında değişmektedir. V, eliğin çekme işlemine karşı dayanımını arttırmaktadır (Heybeli Ulutaş, 2007).

V, Cr ile birlikte makine imalat ve sıcak işlemlerde kullanımı tercih edilmektedir. V, wolfram (W) ile birlikte ise hava ve makine yapım imalatında tercih edilmektedir. Ayrıca elde edilen çelikler otomobil akslarının imalatında kullanılmaktadır. V, Ti ile birlikte kullanımı ise otomobil endüstrisinde uzay araçları ve uçak sanayisinde tercih edilmektedir (Heybeli Ulutaş, 2007).

Sülfirik asit imalatında katalizör olarak görev almaktadır. Seramik ve diğer kimya sanayisinde düşük seviyede tkemi yapılmaktadır. Vanadyum pentoksit bileşiği, seramik üretiminde boya sabitleyici ve katalizör olarak kullanılmaktadır. Buna ek olarak süper iletken mıknatıs üretiminde, yüksek mukavemete sahip ve uzun ömürlü olarak kullanılabilecek alaşımları elde etmek için kullanılmaktadır (Heybeli Ulutaş, 2007).

V içeren alaşımlar, deniz içinde petrol çıkarmak için gereken sondaj borularının imalatında kullanılmaktadır. Gözlük ve binaların camları için ultraviyole ışıkların filtrasyonunda kullanılmaktadır. Fotoğrafçılık ve seramik işlerinde ise vanadyum tuzları kullanılmaktadır. Mürekkebe hızlı kuruma sağladığı için mürekkep üretiminde az miktarda V kullanılmaktadır (Heybeli Ulutaş, 2007).

İnsan vücudunda bulunan dokuların ve organların görevlerine icra etmesi ya da desteklenmesini amaçlayan bazı malzemeler bulunmaktadır. Bu malzemeler, biyomalzemeler olarak adlandırılmaktadır. İnsan vücudunda kullanılmak için gelişim çalışmaları yapılan ilk metal vanadyum çeliğidir. Vanadyum eliği ise 1938 yılında üretilmiştir. Ayrıca bu elik

kemik kırıklarının için plaka ve vida olarak kullanılmıştır (Park, 2000). Yaklaşık olarak 1960 yılına kadar tercih edilen bu protezler için korozyon direncinin düşük olması sebebiyle ciddi tehlikeler meydana getirmiştir (Heybeli Ulutaş, 2007).

V, alaşımların mikro yapısını ve mekanik özelliklerini etkileme yeteneğine sahip olduğundan, Al alaşımları V ilavesinden faydalanabilir (Zhu vd., 2019). Al alaşımlarına V eklenmesi onların mikro yapılarını ve mekanik özelliklerini geliştirebilir (Meng vd., 2013). Özellikle Al alaşımlarına V eklenmesi sertliklerini artırabilir ve ısıtılma işlemi sırasında davranışlarını etkileyebilir (Lv vd., 2021). Bu, alaşımların yüksek sıcaklık performansını ve genel mekanik özelliklerini geliştirebilir (Voron vd., 2021). Ek olarak, Al alaşımlarına V ilavesi, ısıtılma işlemi sırasında oluşan fazların morfolojisini etkileyerek alaşımların genel performansını daha da artırabilir.

Al alaşımlarına V ilavesinin mekanik özelliklerine etkisi oldukça önemlidir. Literatürde yapılan çalışmalar; V, Al alaşımlarının mekanik özelliklerini geliştirdiğini göstermektedir (Kawalec & Fraś, 2008). Özellikle V, alaşımların sertliğini artırdığı ve aşınma direncini artırdığı belirtilmektedir (Kawalec, 2014). Ayrıca, V-Al alaşımlarının mikroyapısını olumlu yönde etkilediği ve bu sayede mekanik dayanıklılığı artırdığı gözlemlenmiştir (Wang vd., 2010). Bu durum, Al alaşımlarının yüksek sıcaklıklarda kullanım ömrünü artırabilir (Voron vd., 2021).

V ilavesinin Al alaşımlarının mekanik özelliklerine etkisi, özellikle alaşımların yaşlandırma işlemi sonrası davranışı üzerinde de incelenmiştir (Wang vd., 2013). Bu çalışmalar, V ilavesinin alaşımların yaşlandırma sonrası korozyon direncini artırdığını ve mekanik dayanıklılığını artırdığını göstermektedir. Ayrıca, V-Al alaşımlarının sıcaklık dayanımını artırdığına dair bulgular da mevcuttur (Shaha vd., 2015).

Bu bağlamda, V ilavesinin Al alaşımlarının mekanik özelliklerine olumlu yönde etki ettiği ve özellikle sertlik, aşınma direnci, korozyon direnci ve sıcaklık dayanımı gibi önemli özellikleri artırdığı sonucuna varılabilir.

Al alaşımlarına V eklemenin akışkanlık özellikleri üzerindeki etkisini araştırmak için vV alaşımların mikro yapısı ve mekanik özellikleri üzerindeki etkisini dikkate almak önemlidir. V, Al alaşımlarının mikro yapılarını ve özelliklerini etkilediği bulunmuştur (Zhu vd., 2019). β -stabilizatör elemanı olarak görev yaparak alaşımların mikro yapısında ve mekanik özelliklerinde değişikliklere yol açar (An vd., 2021). Ek olarak, Al-Si alaşımlarına V uygulamasının mekanik özellikler üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğu, çekme mukavemetini, sünekliği ve sertliği artırdığı rapor edilmiştir (Švecová vd., 2017). Ayrıca, Al-

Mg-Si-Cu-Cr-Ti alaşımlarına V eklenmesinin, bunların mikro yapılarını ve mekanik özelliklerini etkilediği gösterilmiştir (Meng vd., 2013).

Ayrıca V olası olumsuz etkilerini dikkate almak önemlidir. Çalışmalar V insan dokularında alerjik reaksiyonlara neden olabileceğini ve enzimatik bozukluklarla ilişkili olduğunu göstermiştir (Júnior vd., 2017). Ayrıca V kanserojen etkileri olan toksik bir element olarak sınıflandırılmaktadır (Vizureanu vd., 2017). Bu nedenle V, Al alaşımlarının mekanik özelliklerini olumlu yönde etkileyebilirken, sağlık açısından potansiyel olumsuz etkileri de dikkate alınmalıdır.

Sonuç olarak, Al alaşımlarına V eklenmesi, bunların mikroyapısını ve mekanik özelliklerini önemli ölçüde etkileyebilir ve akışkanlık özelliklerinde değişikliklere yol açabilir. Ancak V ilişkili potansiyel olumsuz sağlık etkilerini dikkate almak çok önemlidir.

Al alaşımları arzu edilen özelliklerinden dolayı çeşitli endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. V, Al alaşımlarına eklenmesi, sıvı metalin temizliği üzerindeki potansiyel etkisinden dolayı ilgi konusu olmuştur. V, yüksek sürünme mukavemeti, mükemmel mukavemet-ağırlık oranı ve korozyona karşı direnci ile bilinir ve bu da onu Al alaşımlarının özelliklerini geliştirmek için çekici bir katkı maddesi haline getirir (Polovov vd., 2017). Ek olarak V, yüksek erime noktasına ve iyi yapısal dayanıklılığa sahip, refrakter bir metaldir ve bu da Al alaşımları üzerindeki potansiyel olumlu etkilerine daha da katkıda bulunur (Chan vd., 2010).

Ayrıca, V ilavesinin Al alaşımlarının yeniden kristalleşme direnci üzerindeki etkisi araştırılmıştır; bu, V sıcak deformasyondan sonra Al alaşımlarının mekanik özelliklerini potansiyel olarak geliştirebileceğini göstermektedir (Lai vd., 2014). Bununla birlikte, Al-V alaşımlarının sıvı metal temizliği üzerindeki etkilerini tam olarak anlamak için özel bileşimlerini ve işleme koşullarını dikkate almak önemlidir.

Sıvı metal aktivasyonu bağlamında literatür, Al alaşımlarına vanadyum ilavesinin, alaşımlar suya maruz kaldığında hidrojen üretim sürecini etkileyebileceğini öne sürmektedir. Çalışmalar, V da dahil olmak üzere alaşım elementlerinin sudaki Al alaşımlarının indirgenmesi yoluyla H üretimi üzerindeki etkilerini araştırmış ve bu alaşımların farklı ortamlardaki davranışlarını anlamamanın önemini vurgulamıştır (Meroueh vd., 2020).

Al alaşımlarına V eklenmesinin sıvı metal temizliği üzerindeki doğrudan etkisi mevcut referanslarda açıkça ele alınmasa da V çeşitli alaşım sistemlerindeki özellikleri ve davranışı, bunun potansiyel etkilerine ilişkin değerli bilgiler sağlar. Özellikle V içeren Al alaşımları ve

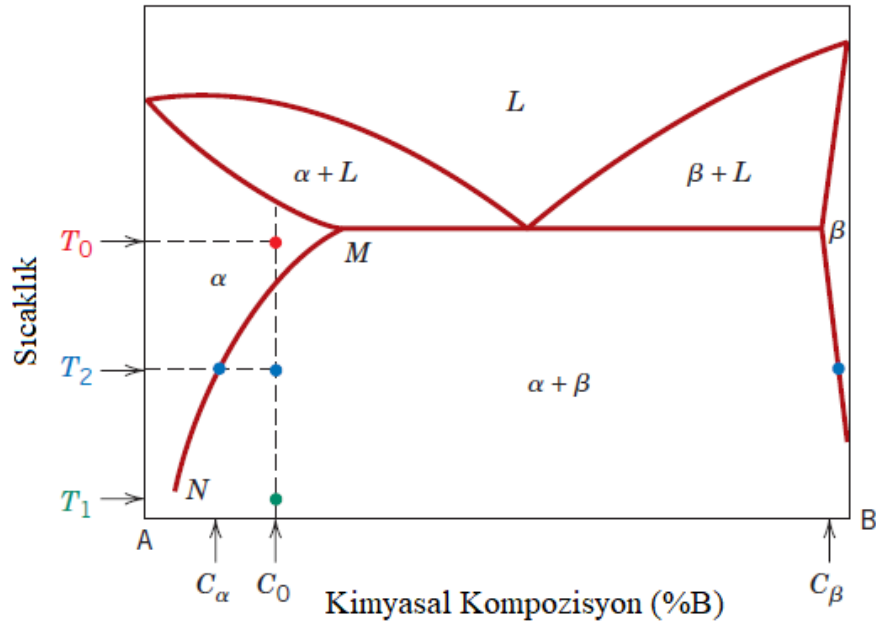
sıvı metaller arasındaki etkileşime odaklanan daha fazla araştırma, V ilavesinin sıvı metal temizliği üzerindeki etkisini kapsamlı bir şekilde değerlendirmek için faydalı olacaktır.

1.6. ISIL İŞLEM

Isıl işlem ise malzemede mukavemeti artırmak amacıyla uygulanan diğer bir yöntemdir. Kavramsal olarak ele alındığında ise malzemeden talep edilen mekanik özelliklere ulaşılması için kontrol altında gerçekleştirilen ısıtma ve soğutma işlemine tabi tutma yöntemine ısıl işlem denir. Isıl işlem koşullarını etkileyen bazı parametreler bulunmaktadır. Bu parametreler ise malzemenin yapısı, ilave edilen alaşım elementi ve bu alaşım elementinin miktarıdır. Malzemenin mikroyapısını, kimyasal ve mekanik özelliği ise ısıl işlemdeki sıcaklığa, işlemin süresine ve soğutma yöntemine bağlı olarak değişmektedir (Shackelford, 2018).

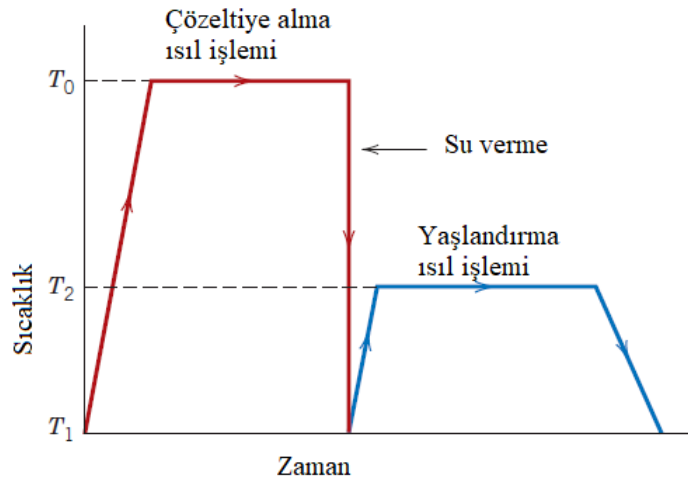
Çökelme sertleşmesi yani diğer bir ifadeyle çözeltiye alma ısıl işlem yöntemi, Al alaşımlarında en çok tercih edilen ısıl işlem yöntemidir. Bu yöntem, iki bileşenden meydana gelen bir sistem içinde ana matrisine uygun olan ısıl işlem sıcaklığını belirlemektir. Ayrıca ikincil faz içinde küçük parçacıklar halinde homojen şekilde dağıtılmasını sağlama işlemidir. Al alaşımlarında çok fazla tercih edilen ikincil elementler ise Cu ve Mg'dir. Cu, Al ile oluşturduğu Al_2Cu ve Mg, Si ile meydana getirdiği Mg_2Si bileşiklerinde ise çökelme sertleşmesi ve Al matrisine homojen dağılmasını sağlayarak mukavemet değerlerinde ve sertlik değerinde artma sağlanmaktadır (Callister & Rethwisch, 2013).

Uygulanan çökelme sertleşmesini başlıca üç basamaktan oluşmaktadır. Birinci basamak ise çözeltiye alarak ısıl işlem uygulamasıdır. Bu basamakta tabi tutulduğu sıcaklık ve tabi tutulduğu uygulama süresidir. Çözünen atomlar ise tek fazdan meydana gelen kararlı yapıya gulaştırılmaya çalışılır. Bu işlem Şekil 7'de gösterilen A ve B elementlerine ait ikili faz diyagramında ve oda sıcaklığında bulunmaktadır. ikili faz diyagramlarında ve tek faz bölgesinin bulunması durumunda bu işlemin uygulanması yapılabilir. Alaşımın içeriğine göre T_0 sıcaklığı ile bekleme süresi değişmektedir. İkinci basamak ise su verme işlemidir. T_0 sıcaklığında gerçekleştirilen çözeltiye alma ısıl işleminin ardından yapıda α tek fazı eldesi sağlanıncaya kadar bekletilir. Ardından β fazı için tekrar açığa çıkmasını engel olacak şekilde T_1 sıcaklığına kadar ve hızlı bir şekilde ani soğutmaya tabi tutulur ve su verme uygulanır. Alaşıma göre T_1 sıcaklığı, oda sıcaklığında ya da daha yüksek sıcaklık şartlarında gerçekleşebilir. Su verme tabi tutulduktan sonra T_1 sıcaklığına soğuması sağlanarak alaşımda β atomlarınca çok fazla doymuş, kararsız α fazı oluşmaktadır. Bu aşamada malzemedeki sertlik değeri ve mukavemeti değeri çok düşüktür (Callister & Rethwisch, 2013).



Şekil 7: Çökeltme Sertleşmesinin Gösterildiği A-B İkili Ötektik Faz Diyagramı

Üçüncü basamak ise yaşlandırma işlemine tabi tutulmasıdır. Yaşlandırma işlemi iki farklı şekilde uygulaması yapılabilir. Bunlar doğal yaşlandırma veya yapay yaşlandırma olarak adlandırılır. Yapay yaşlandırmada; β 'ca aşırı doymuş bir α kararsız fazının T_2 sıcaklıklarına kadar ısıtılmasıdır. Bu sıcaklıkta ise belirli sürede bekletilmesinin sonucunda ikincil β fazının α fazı içinde ve ince parçalar şeklinde çökmeye sürecine girmesidir. Bu sürede bekletilerek β fazı için α fazında çöktürülmesi sağlanmaktadır. Ardından oda sıcaklığına gelinceye kadar soğutulması gerçekleştirilir. Böylece çökeltilmeye alma ısıl işlemi tamamlanmış olmaktadır. Şekil 8'de ise çözeltiyeye alma ısıl işleminde uygulanan sıcaklık-süre eğrisi verilmektedir. Diğer bir yöntem olan doğal yaşlandırma işlemi ise T_2 sıcaklığına kadar ısıtılma işlemi yapılmadan oda sıcaklığında değerinde bekletilmesi ile gerçekleştirilmektedir (Shackelford, 2018; Callister & Rethwisch, 2013).



Şekil 8: Çözeltiyeye Alma Isıl İşlemi Sıcaklık Zaman Grafiği

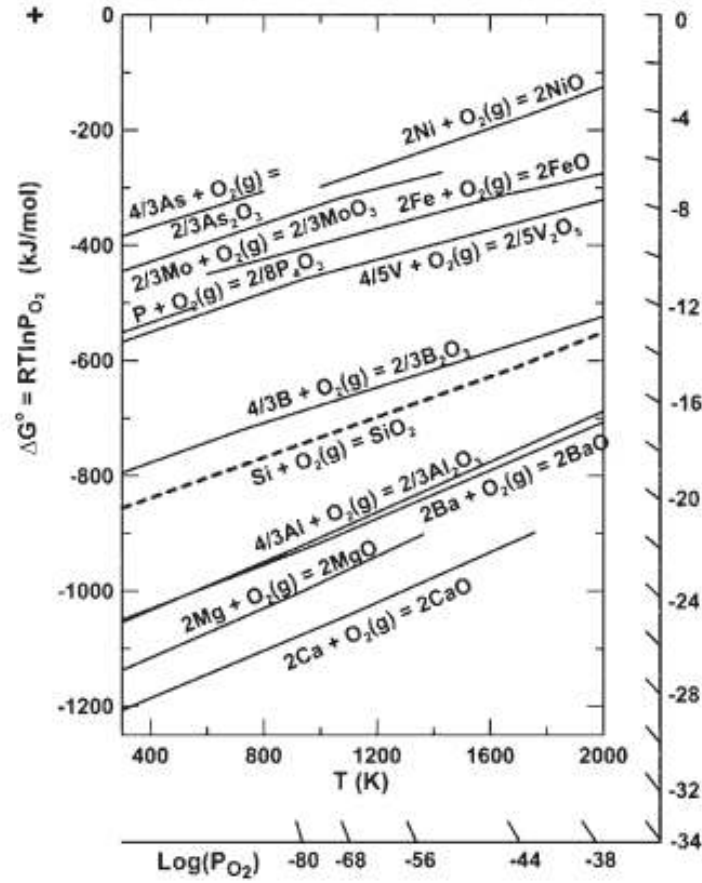
160 °C sıcaklıkta ve 6 saat uygulama neticesinde sertlikte en fazla değeri vermiştir. 180 °C sıcaklıkta 1 saat uygulama sonrasında ise maksimum sertlik mukavemet değerinde olduğu görülmüştür. Diğer uygulamalarda ise; 20 saat doğal yaşlandırma işleminden sonra 160 °C sıcaklıkta ve 25 saat yapay yaşlandırma işleminde maksimum sertlik değerini vermiştir. 180 °C sıcaklıkta ve 4 saat yapay yaşlandırma işleminde maksimum sertlik mukavemet değeri olduğu gözlemlenmiştir. Tabi tutulan çekme işlemi testi neticesinde ise maksimum çekme mukavemeti değeri, akma mukavemeti ve totaldeki uzama miktarı en fazla Mg ilave edilen %0,45 Mg oranında ve 540 °C sıcaklıkta 1 saat çözeltiye alma işleminde saptanmıştır. Uygulanan çalışmalar neticesinde Mg ilave edilmesinin ETİAL 177 alaşımında mukavemet değerinde artışa neden olduğu görülmüştür. Ayrıca uygulanan ısıtma işlemi denemeleri neticesinde ise yaşlandırma süresi için sıcaklık değerindeki artış ile birlikte azaltılabileceği saptanmıştır (Möller vd., 2007).

Ran vd., 2008, ETİAL 177 Al alaşımında T6 ısıtma işlemine tabi tutulmadan önce ve sonra mikroyapı incelemeleri yapmışlardır. Yapılan incelemeler ile yapı içinde bulunan intermetaliklerin, mekanik özellikler açısından etkilerine ulaşmak amaçlanmıştır. Bu çalışmada 538 °C sıcaklıkta ve 5 saat boyunca çözeltiye alma işlemi uygulanmıştır. Ardından 70 °C sıcaklıkta suda soğutma işlemi uygulanmıştır. Daha sonra ise 25 °C sıcaklıkta 1 saat suda bekleme işlemi uygulanmıştır. Son olarak ise 160 °C sıcaklıkta ve 4 saat boyunca yaşlandırma işlemine tabi tutularak çözeltiye alma ısıtma işlemi tamamlanmıştır. Uygulanan ısıtma işleminden önce ve sonra olmak üzere mikroyapı ayrıca TEM incelemeleri yapılmıştır. İncelemeler neticesinde ısıtma işleminden önceki yapı içerisinde yer alan iğnemsel morfolojideki Mg₂Si için 538 °C sıcaklıkta ve 1 saat boyunca çözeltiye alma işlemi tabi tutulduktan sonra α -Al içinde tamamen çözündüğü görülmüştür. β -Al₅FeSi intermetaliklerinde iğnemsel ayrıca α -Al₅FeSi intermetaliklerinde ise chinese script morfoloji yapısında olduğu gözlemlenmiştir (Ran vd., 2008).

Möller vd., 2007, uygulanan mekanik testlerden sonra, kırık yüzey incelemeleri yapılmıştır. Ardından kırılmanın iğnemsel morfoloji yapısında olduğu görülmüştür. Si fazla miktarda bulunduğu bölgelerde oluştuğu belirtilmiştir (Möller vd., 2007).

1.7.SIVI METAL KALİTESİ

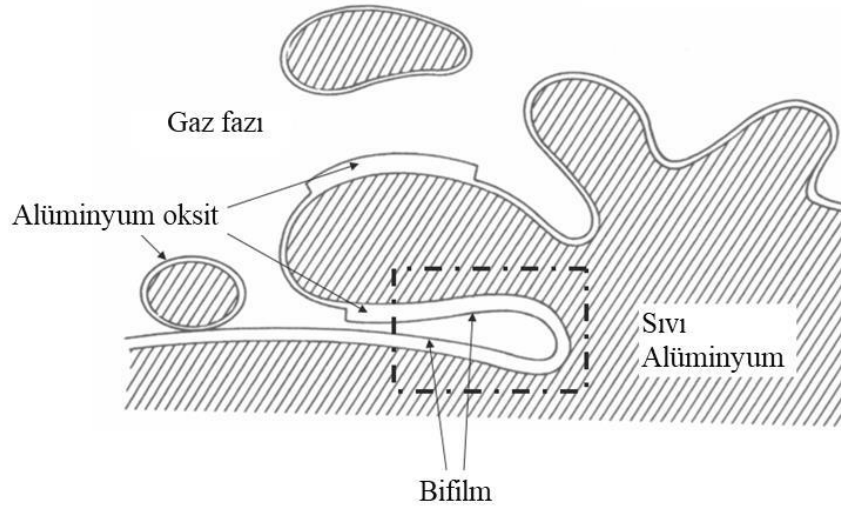
Al alaşımlarını üstün kılan durum, içinde barındırdığı koruyucu oksit tabakasıdır. Aynı zamanda döküm endüstrisinde açığa çıkacak hatadaki kök sebeptir. Şekil 9'daki verilen Ellingham diyagramı incelenerek Al'un O₂'ye olan afinitesi için doğada fazla olan elementler içinde yer almaktadır (Gopalan & Prabhu, 2011).



Şekil 9: Ellingham Diyagramı

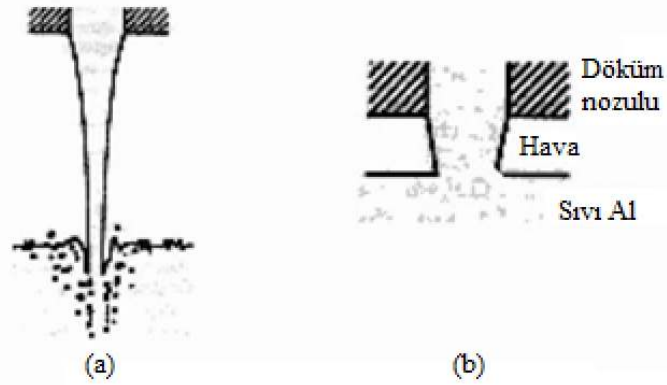
Çalışmalar incelendiğinde sıvı metal içeriğinde yer alan çözünmemiş H'in meydana getirdiği poroziteler temel sorunlardan bir tanesi olduğu düşünülmektedir. Al oksitin ve kendisinin arasındaki yoğunluk birbirine yakındır. Bu sebeple açığa çıkan oksit, sıvı metalin içinde askıda bulunmaktadır. O₂'ye karşı yüksek afinitesi sebebiyle Al döküm esnasında, sıvı metalin yüzeyinde yer alan koruyucu olarak nitelendirilen Al oksit tabakasında türbülans meydana gelir. Türbülans sebebiyle katlanan Al oksit tabakası “bifilm” olarak isimlendirilir. Şekil 10’da ise sıvı Al döküm esnasında, Al oksit tabakasında katlanma meydana gelerek bifilmelerin açığa çıkma mekanizması gösterilmiştir (Gopalan & Prabhu, 2011; Uludag & Dispınar, 2017).

Gösterilen mekanizma incelendiğinde, Döküm esnasında sıvı metalde oluşan bifilmeler bulundukları bölgede tutsak kalırlar. Ürün kalitesini, döküm numunede nihai parçada boşluk ile meydana getirerek doğrudan etki etmektedir (Gopalan & Prabhu, 2011; Uludag & Dispınar, 2017).



Şekil 10: Bifilm Oluşum Mekanizması

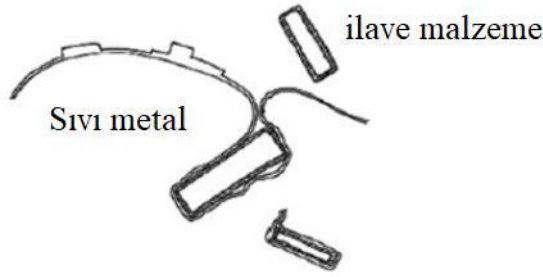
Bifilmelerin oluşumu birçok nedene bağlıdır. Bu nedenlerin en başında döküm esnasında türbülansa sebebiyet veren döküm yüksekliğidir. Buna ek olarak kalıbın uygunluğu ve yolluk tasarımı da türbülans oluşumuna neden olmaktadır. Sıvı metalin içinde bulunduğu potanın ağız kısmı ile dökümün yapıldığı kalıbın yolluğu arasındaki mesafe döküm yüksekliği olarak tanımlanır. Döküm esnasında sıvı metalin yolluğa ilk temasında metalde sıçramaya bağlı katlanma meydana gelmektedir. Döküm yüksekliğinin etkisinin saptanması amacıyla Şekil 11’de yüksek döküm yüksekliği ve alçak döküm yüksekliği verilmiştir (Dispınar & Campbell, 2006).



Şekil 11: a) Yüksek Döküm Yüksekliği, b) Alçak Döküm Yüksekliği

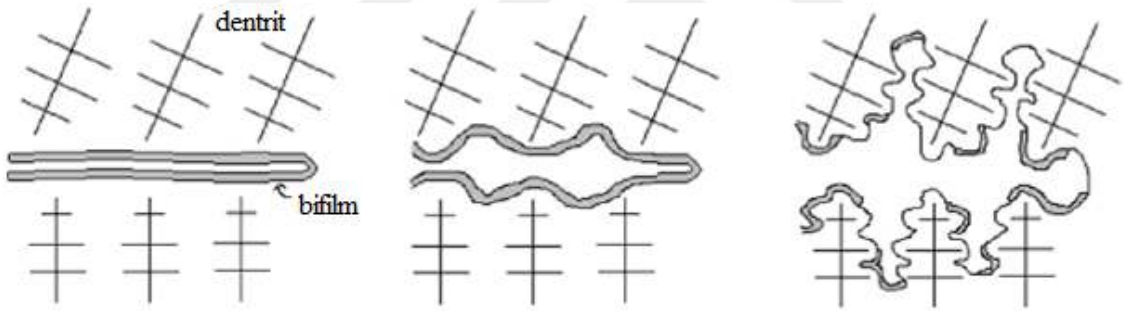
Sıvı metalin kalıbı türbülansa uğramadan tam doldurması için kalıp ve yolluk dizaynının uygunluğu önemlidir. Döküm esnasında sıvı metalin yolluğa ilk çarpması ile sıvı metalde katlanma engellenerek bifilm oluşumunu engellemek amaçlanır. Ergitme işlemi yapılırken pota içinde bulunan sıvı metale ilavesi yapılan alaşım elementleri de döküm yüzeyinde oksit tabakasını sıvı metalin içine iterek katlanmasına yani bifilm oluşmasına neden olmaktadır.

Sıvı metal içerisinde alaşım elementi ilavesi esnasında oksit tabakasının hapsolması Şekil 12’de gösterilmektedir (Gopalan & Prabhu, 2011).



Şekil 12: Sıvı Metale Alaşım İlavesi ve Bifilm Oluşumu

Kalıp içine dökümü gerçekleştirilirken oluşan türbülans veya alaşım elementi kaynaklı sıvı metal içinde hapsolan bifilm, katılaşma esnasında bazı bölgeler oluşturur. Yani, sıvı metalde açığa çıkan genel çekintiler sebebiyle katlanan oksit tabakasının açığa çıkardığı bifilm, yapı içerisinde çatlak oluşumuna neden olan potansiyel porozite bölgelerini meydana getirir. Sıvı metal içinde katılaşma esnasında bifilmelerin açılması Şekil 13’te gösterilmiştir (Dispınar & Campbell, 2004).



Şekil 13: Bifilmelerin Katılaşma Sırasında Açılmasının Şematik Gösterimi

Genç oksit olarak tanımlanan bifilm, sıvı metal yüzeyde oluşan oksit tabakasının türbülansı ile oluşmaktadır. Bu durum ise sıvı metal kalitesine etki etmektedir. Kalıp dizaynı ve döküm işleminin gerçekleştirildiği yükseklik türbülansa sebep olarak doğrudan sıvı metal kalitesinde etki ettiği belirtilmiştir. Yapılan çalışma ile sıvı metal kalitesini belirlemek için birçok test yapılmıştır. Bu testler ise LIMCA (Liquid Metal Cleanliness Analyser), PoDFA (Porous Disc Filtration Analysis), PREFIL (Pressurized Filtration), ve VAK (vakum altında katılaşma) testleridir. Testler yapıldıktan sonra alınan sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Uygulanan testler içinden bifilm sayısının ve boyutunun saptanması ayrıca bifilm sayı boyut ilişkisinin belirlenmesi gerektiğini söylemişlerdir. Talep edilen bu verileri ise VAK testine tabi tutularak gerçekleştirileceğini anlatmışlardır. Belirtilen VAK testi ise döküm işlemi gerçekleşmeden önce sıvı metal ergiyikten alınan numunenin 80-100

mbar'lık vakum altında katılaştırması işlemidir. Elde edilen VAK numunelerine testere aracılığıyla ortadan kesme işlemi uygulanır. Ardından kesik yüzeyde gözel muayene edilecek düzeyde olan poroziteler saptanır. Bu poroziteler, sıvı metal içerisinde katlanma ile meydana gelen bifilmli nitelemektedir. Kesit yüzeyde saptanan porozitelere sığan doğru boyları toplanır. Ardından ise sıvı metal kalitesini belirlemek amacıyla “bifilm indeks” değeri elde edilmektedir (Dispınar & Campbell, 2007).

Yapılan çalışmalar neticesinde bifilm indeks yönteminden yararlanarak elde edilen sıvı metal kaliteleri Tablo 8'deki gibi ilişkilendirmişlerdir (Uludağ vd., 2018).

Tablo 8: Bifilm İndeks ile Sıvı Metal Kalitesi İlişkisi

Bifilm İndeks (mm)	Sıvı Metal Kalitesi
$0 \leq BI \leq 10$ mm	Yüksek kalite
$10 < BI \leq 25$ mm	İyi kalite
$25 < BI \leq 50$ mm	Ortalama kalite
$50 < BI \leq 100$ mm	Kabul edilemez kalite
$BI \geq 100$ mm	Kaçınılması gereken kötü kalite

Kalıba döküm işlemi gerçekleştirilmeden önce Vak testi aracılığıyla sıvı metalin kalitesi saptanmaktadır. Bifilm indeks değeri uygun seviyelerde olması ise bazı nedenlere bağlıdır. Bunlar, uygun kalıp ve yolluk dizaynı ile döküm işleminin yapıldığı yükseklik olarak belirtilir. Bifilm indeks değerinin uygun olmadığı döküm işleminde bifilm temizleme işlemlerinin yapılması gerekmektedir. Endüstride yaygın kullanılan temizleme yöntemi ise, gaz giderme ve flaks kullanımı gösterilmektedir. Gaz giderme yapılırken sıvı metal içerisinde gaz giderme çanı dardırılmaktadır. Daha sonra bu çanın içinden aktarılan inert gaz yarımı ile çan yüzeyindeki boşluklar çıkarılmaktadır. Ardından metalin içine hapsolmuş halde bulunan bifimlerin, sıvı metal yüzeyinde bulunan bir bölgeye itilmesi sağlanmaktadır. Son olarak tekrar bifilm indeks değerlerine bakılır ve döküm için uygun işlem tamamlanmaktadır (Yüksel vd., 2019).

Bifilm indeks, gaz giderme işlemi ve sıvı metal temizleme prosesleri ile ilgili yapılan bazı literatür çalışmaları;

Nihai ürün kalitesini, döküm esnasındaki sıvı metal kalitesi doğrudan etkilediği belirtilmiştir. Döküm işleminin yapıldığı esnada kalıp tasarımındaki hata türbülansa sebep olmaktadır. Türbülans sebebiyle meydana gelen Al oksit tabakasının katlanmasına “bifilm”

olarak adlandırılmaktadır. Bu durum ise porozitelerin açığa çıkmasına neden olduğu belirtilmiştir (Dışpınar & Campbell, 2004).

Bifilm index yöntemi aracılığıyla sıvı metal kalitesinin ölçülebileceğini belirtilmiştir. VAK testi neticesinde numunenin yüzey tabakasında açığa çıkan porozitelere sıgıan doğrunun boyları toplanarak bifilm indeks elde edilmektedir. Mekanik özellikleri ise bifilmelerin şekli doğrudan etki etmektedir. Benzer hacimde bulunan yuvarlak şekilde ve ince uzun şekline sahip bifilm karıştırılmıştır. İnce uzun bifilmelere sahip olan morfolojinin daha düşük mekanik özelliğe sahip olduğu belirtilmiştir (Dışpınar & Campbell, 2004).

Al alaşımlarına farklı elementler ilave ederek porozite boyutunu ve bifilm indeks değerini ekilediği belirtilmiştir. Bu duruma örnek olarak alaşıma Mg veya Sr ilave edilmesi porozite boyutunu ve bifilm indeks değerini arttırmaktadır (Dışpınar & Campbell, 2006)

Al döküm işlemlerinde nihai ürün kalitesine etki eden bazı faktörler bulunmaktadır. En önemli faktör ise sıvı metal içinde yer alan çözünmemiş yapıdaki H'nin açığa çıkardığı poroziteden çok daha fazla, sıvı metal yüzeyinde oluşan oksit tabakasının döküm işlemi esnasında oluşan türbülans ile sıvı metal içinde hapsolmasıdır. Bu durumu “bifilm” olarak adlandırılan katlanmış oksit tabakasının sebep olduğunu söylemişlerdir. Yapılan çalışmada, ETİAL 177 Al alaşımında sıvı metal kalitesi tespiti için gaz giderme işleminde önce ve sonra VAK testi ardından mikroyapı incelemelerini gerçekleştirmişlerdir. Gaz giderme işlemi öncesi ve sonrasında gerçekleştirilen bifilm indeks değerleri karşılaştırılmıştır. Bu durum neticesinde gaz giderme işlemine tabi tutulanda bifilm indeks değerinde ve porozite miktarda azalma olduğu saptanmıştır (Dışpınar & Campbell, 2017).

Alaşımanın mukavemeti ile sıvı metale ait katılma hızının doğrudan birbirine bağlı olduğu belirtilmiştir. Katılma esnasında meydana gelen dendrit morfolojileri ile katılma hızı arasında etkileşim olduğunu belirtmişlerdir (Dışpınar & Campbell, 2017).

Gaz giderme işlemlerinde farklı gazla kullanılmaktadır. Yapılan bu çalışmada ise bu gazlar içinden hava seçilmiştir. Hava kullanıldığında sıvı metale etki eden reaksiyonlar üzerinde durulmuştur. Deney yapılırken sıvı ergiyeğin içine bırakılacağı pota X-ray cihazı aracılığıyla görüntülenmiştir. Görülen anlık değişimler not edilmiştir.

Gaz giderme işlemi 700°C sıcaklıkta ve 15-240 dk zaman aralığında gerçekleştirilmiştir. Ayrıca sıvı metal 8-10 saat aralığında bekletilmiş ve daha sonra deneyler gerçekleştirilmiştir. Gaz gidermeye başladıktan 15 dk sonrasında ise havanın içeriğinde %21 oranında bulunan O₂'nin metal ile reaksiyona girmesidir. Reaksiyona giren O₂ oksitlenmelere sebep olmaktadır. Ayrıca 1 saat sonucunda oksitlenme durumunun tamamladığı

gözlemlenmiştir. Havanın içerisinde barındırdığı O_2 tükenmesinden sonra ise 5-6 saat aralığında N gazının davranışı gözlemlenmiştir. Gözlem sonucunda N gazında azalmalar olduğu saptanmış ve yapıda AlN oluşumları meydana gelmiştir (Raiszadeh & Griffiths, 2006).

Gaz giderme yöntemini, sıvı metal temizliğine etkisini araştırmak amaçlanmıştır. Çalışmalarında ise sıvı metal temizliğinin etkisini belirtmek için farklı yöntemler kullanmışlardır. Bu yöntemler K-mold, X-Ray görüntüsü alma, VAK numunesi ve yoğunluk indeksi ölçümü yapmışlardır. Sonuçlar analiz edildiğinde; yapı içerisinde açığa çıkan boşlukların bazı kısıtlamalara neden olmuştur. Bu kısıtlamalar ise bifilmelerin interdendritik akışı engelleyerek, gözenekleri meydana getirmeye başlaması ile başlamaktadır. Gaz gidermenin sıvı metal kalitesini olumlu yönde etkilediği ve gaz giderme esnasında kullanılan N gazının Al ile AlN oluşumunun ise 13. dakikada gerçekleştiği tespit edilmiştir (Gyarmati vd., 2021).

ETİAL 177 Al alaşımlarında H içeriği ve sıvı metal temizliği işelminin yapılması mekanik özellikler açısından etkisi saptanmak amaçlanmıştır. Yapılan deneylerde kokil basamak kalıbı kullanılmıştır. Dökümler, filtreli ve filtresiz olarak gerçekleştirmiştir. Sonuçlara incelendiğinde ise filtre kullanımının inklüzyon oluşumunu ve oksit tabakası oluşumunu azaltmıştır. Ayrıca mekanik özellikler açısından etki etmediği saptanmıştır. Basamak kalıbından elde edilen numuneler incelendiğinde, mukavemet değerleri için basamaklar arasında meydana gelen ve katılma hızına bağlı olduğunu söylemişlerdir. Çünkü en inceden kalınlıkta en büyük kalına doğru gidildikçe azaldığı saptanmıştır (Akhtar vd., 2009).

İKİNCİ BÖLÜM

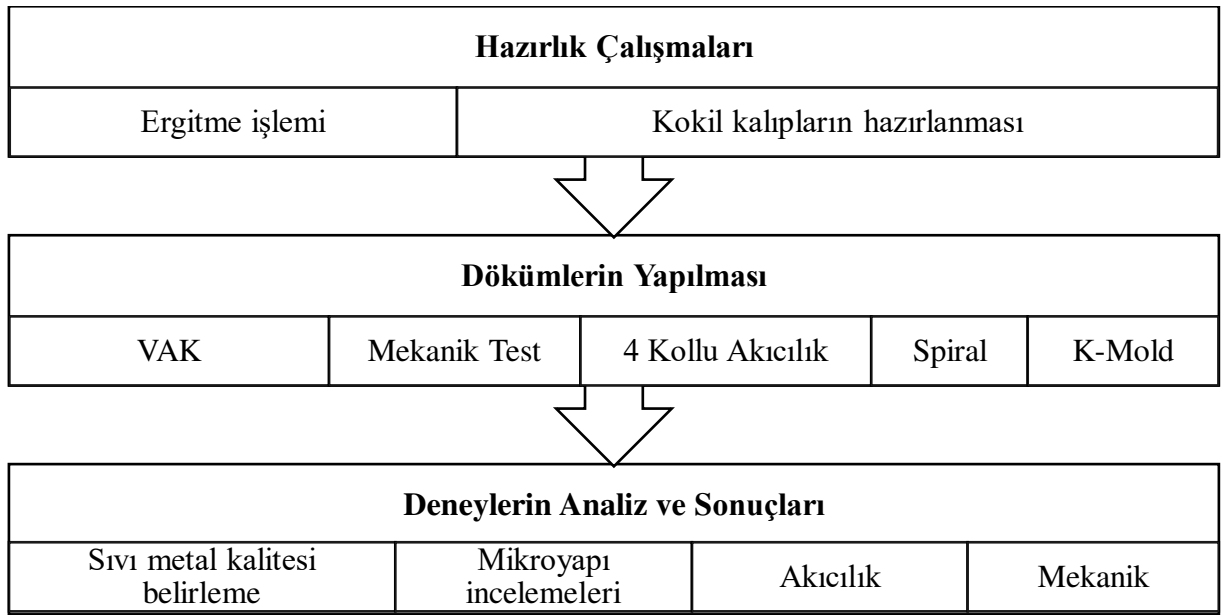
2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu bölümde tez kapsamında yapılan deneysel çalışmalar anlatılmıştır. Deneylerde ETİAL 177 standardı Al alaşımına farklı oranlarda V ilavesinin alaşımın özelliklerine etkileri incelenecektir. Çalışmada ETİAL177 alaşımına %0,03, %0,05 ve %0,1 V ilave edilen alaşımların kokil kalıp içindeki özellikleri incelenmiş, elde edilen dğerler ilave edilmemiş ETİAL177 referans numuneler kokil kalıba döküm yöntemi ile üretilmiştir. Dökümlerde değişen oranlarda V ilavesinin etkisinin belirlenmesi için, ilk olarak VAK numune dökümü, K-mold kalıbı, mekanik test kalıbı, değişen kesit kalınlığına sahip 4 kanallı akıcılık kalıbı ve spiral akıcılık kalıbı kullanılmıştır. Dökümler kalıp ön ısıtma sıcaklığı 250 °C ve döküm sıcaklığı 720 °C olarak uygulanmıştır. Tablo 9’da deney parametreleri ve dökümü yapılan kalıplar verilmiştir.

Tablo 9: Deney Parametreleri

ALAŞIMLAR	Döküm Sıcaklığı	Kalıp Sıcaklığı	VAK	Kalıp Tipleri			
				K- Mold	Spiral Akıcılık	4 Kollu Akıcılık	Mekanik Test Kalıbı
ETİAL 177	720°C	250°C	1	1	1	1	1
ETİAL 177+%0,03V	720°C	250°C	1	1	1	1	1
ETİAL 177+%0,05V	720°C	250°C	1	1	1	1	1
ETİAL 177+%0,1 V	720°C	250°C	1	1	1	1	1

Deneylerde sıvı metal temizliğinin etkisinin belirlenmesi için K-mold kalıbı ve VAK numuneleri elde edilmiştir. Akıcılık etkisini belirlemek için özel olarak tasarlanmış farklı kesit kalınlıklarına sahip 4 kanallı akıcılık kalıbı ve spiral akıcılık kalıplarına dökümler yapılmıştır. Mikroyapı incelemeleri akıcılık deney numunelerinden elde edilmiştir. Mekanik test kalıbına yapılan dökümlerden elde edilen numunelere ısıtma işlemi sonrası çekme ve sertlik testleri uygulanmıştır. Gerçekleştirilen çalışmalar ve işlem basamakları Şekil 14’te şematik olarak verilmiştir.



Şekil 14: Deneysel Çalışmalar İşlem Sürecinin Şematik Gösterimi

2.1. DÖKÜM DENEYLERİNE HAZIRLIK İŞLEMLERİ

Deneylelerde ETİAL 177 piyasada bilinen ismi ile Etial 177 (ETİ Alüminyum A.Ş. isim kodu / E-177) Al döküm alaşıımı kullanılmıştır. Vanadyum ilavesi için ticari olarak piyasada kullanım bulan Al5V master alaşıımı kullanılmıştır. ETİAL 177 Al standart kimyasal bileşimi ve Al5V master alaşıımına ait kimyasal bileşim Tablo 10’da verilmiştir (Eti Alüminyum, 2023).

Tablo 10: Alaşıımların Kimyasal Bileşim Değerleri (% ağı.)

Alaşıımlar	Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Zn	Ni	Ti	V	Al
ETİAL 177	0,20	6,60-7,40	0.02	0.03	0,30-0,45	0.04	0,02	0,08-0,14	-	kalan
Al5V	-	-	-	-	-	-	-	-	5	kalan

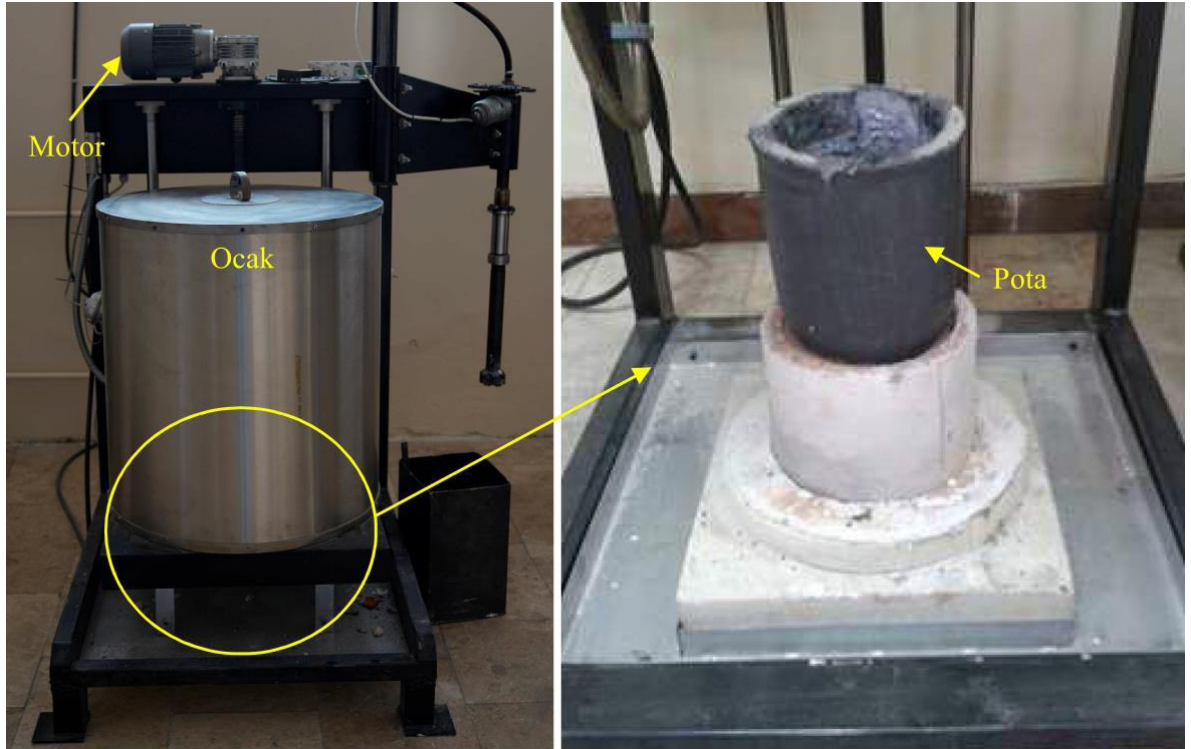
Döküm öncesi kalıplara uygulanan ön ısıtma işlemi Şekil 15’te verilen 40x60 cm ebatlarında ve 50-300 °C 'ye kadar ısı kontrolü sağlayan Elektromag M 4060 marka ısıtıcı tabla (Hotplate) ile gerçekleştirilmiştir. Döküm öncesi kokil kalıplar ısıtıcı tabla ile 300 °C olacak şekilde ısıtılıp döküme hazır hale getirilmiştir. Kalıplar 250 °C ısıtılmıştır.



Şekil 15: Isıtıcı Tabla

2.2.ERGİTME VE DÖKÜM İŞLEMLERİ

Ergitme işlemleri 8 kg sıvı Al kapasitesine ve 10 kW gücüne sahip elektrik direnç ocağında, SiC pota içerisinde gerçekleştirilmiştir. Ergitme işleminde birincil ETİAL 177 külçeye sırasıyla %0,03, %0,05 ve %0,1 V etki edecek şekilde ve ilave edilmeyen ETİAL177 olarak dökümler yapılmıştır. Ergitme işlemi esnasında şarj malzemesinin ağırlığı sürekli 4000 g olacak şekilde hazırlanmıştır. Fırında şarj malzemesi dilimlenmiş külçelerin 720 °C’de ergitme işlemi gerçekleştirildikten sonra deney parametrelerinde belirtilen oranlarda V ilavesi yapılmıştır. V ilavesi sonrası sıvı metal sıcaklığı 720 °C’ye çıktığında fırından sıvı metal yüklü pota döküm işlemi için çıkartılmıştır. Şekil 16’da ergitme işlemlerinin gerçekleştirildiği ocak ve pota resmi verilmiştir.



Şekil 16: Elektrik Direnç Ocağı ve SiC Pota

Döküm işlemi sonrasında ise numune kokil kalıplardan kolay ve zarar almadan çıkarılması istenmektedir. Kalıptan çıkarılmak istenen döküm parçasına uygulanacak kuvvetin hem kalıp hem de eldesi sağlanan döküm numunesine zarar vermektedir. Bu sebeple kalıp ömrünü, ayrıca elde edilen ürünün kalitesini korumak amacıyla döküm işlemi öncesi kokil kalıplara bor nitrür kalıp ayırıcı olarak uygulanmıştır. Şekil 17’de döküm işlemi ve döküm sonrası kalıpların görüntüleri verilmiştir.



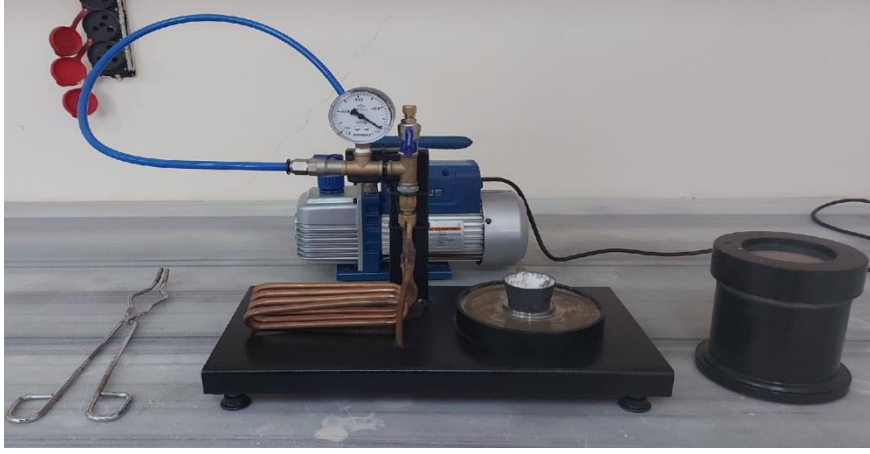
Şekil 17: Döküm İşlemi ve Döküm Sonrası Kalıp Görüntüleri

2.3. DÖKÜMLERİN İNCELENMESİ

Döküm sonrası katılaşma ve soğuma gerçekleştirildikten sonra kalıplar açılarak deney numuneleri alınmıştır. Deneylerde VAK, K-mold, dört kollu akıcılık kalıbı, spiral akıcılık kalıbı ve mekanik test numuneleri elde edilmiştir. Numunelerin incelenmesine dair açıklamalar ilgili bölümlerde verilmiştir. Dökümler ilk olarak makro incelemeye tabi tutulmuş ve fotoğrafları çekilmiştir.

2.3.1. VAK Numunelerinin İncelenmesi

Döküm endüstrisinde yaygın kullanımı olan VAK testinin birçok avantajı bulunmaktadır. Bu avantajlar ise basit uygulanması, ucuz yani maliyeti düşük bir yöntem olması, kolay tekrarlanabilir olması ve çok çabuk sonuç almamız avantajları arasında yer almaktadır. Bu teknikte ana prensibi ise; sıvı Al'un indirgenmiş basınç altındaki şartlarda soğutulması esnasında oluşan gaz gözenekliliğine dayanmaktadır. Gözenek oluşumuna neden olan gaz ve inklüzyonlar ise katılaşma esnasında daha kolay tane büyümesine yardımcı olur. Bu amaç ile sıvı metal, indirgenmiş basınç altında Şekil 18’de gösterilen test cihazında bulunan kaba yaklaşık olarak 125 g sıvı metal dökülme işlemi yapılmıştır. Ergitilmiş halde bulunan Al alaşımı temizleme işleminin öncesinde ve sonrasında VAK test cihazı aracılığıyla basıncı 80 mbar’a düşürülmüştür. Ardından ergiyik tamamen katılaşana kadar bekletilmiştir.



Şekil 18: Azaltılmış Basınç Testi (VAK) Cihazı

VAK cihazından eldesi sağlanan numunelerin için yoğunluk ölçümleri, Arşimet prensibine göre gerçekleştirilmiştir. Bu prensip doğrultusunda her bir numune için önce havada ve ardından sıcaklığı 20°C ölçülen, yoğunluğu $d_s=0,99821 \text{ g/cm}^3$ olarak belirlenen saf su içinde ağırlıklarının tartılması yapılmıştır. Tartma işlemi ise Şekil 19’da gösterilen hassas terazi ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 19: Yoğunluk Ölçüm Test Cihazı

Elde edilen ağırlık ölçümleri Eşitlik 1’deki formüle göre hesaplanmıştır.

$$d_n = \frac{m_h}{m_h - m_s} \times d_s$$

(Eşitlik 1)

d_n -döküm numunenin yoğunluğu,
 m_s - numunenin saf sudaki ağırlığı,
 d_s - oda sıcaklığında suyun yoğunluğu
 m_h –numunenin havadaki ağırlığı

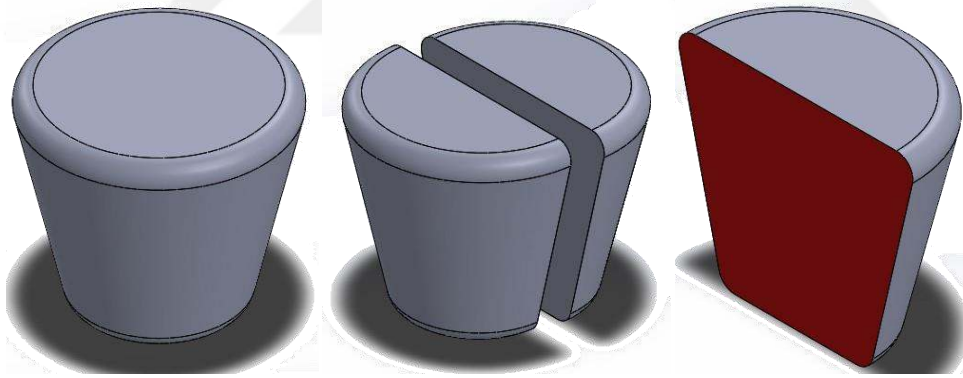
Ayrıca numunelerin içerisinde bulunan gözenek miktarı da Eşitlik 2’de verilen formül ile hesaplanmıştır.

$$\% \text{ Gözenek} = [(\rho_{\text{teorik}} - \rho_{\text{deneysel}}) / \rho_{\text{teorik}}] * 100 \quad (\text{Eşitlik 2})$$

ρ_{teorik} - teorik yoğunluk

ρ_{deneysel} - deneysel yoğunluk

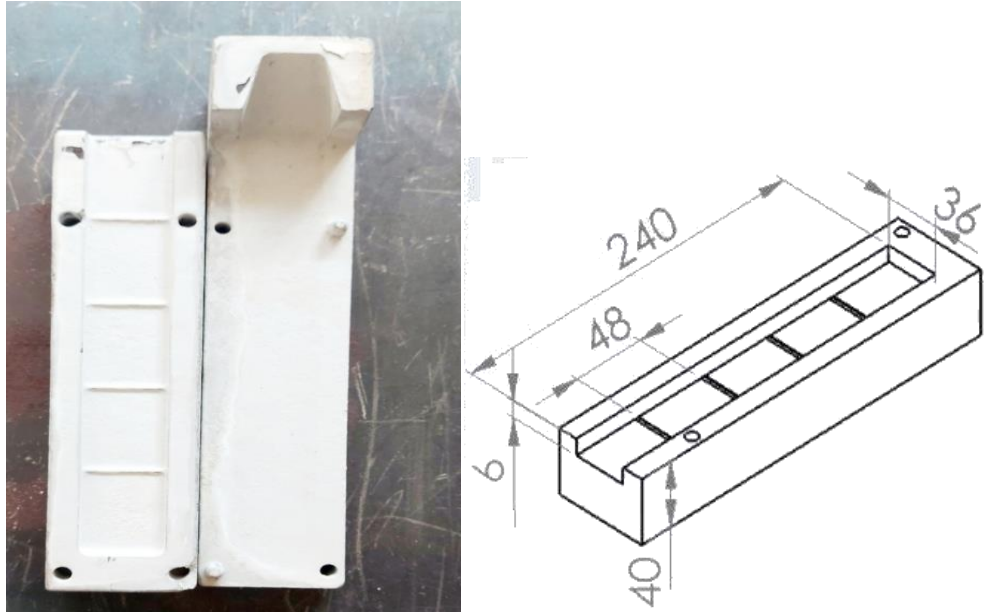
Ayrıca VAK numunelerindeki gözenekleri görmek için numune Şekil 20’de gösterildiği gibi dikey olarak ortadan ikiye kesilmiş ve kesilen yüzeyler zımparalama işlemine tabi tutulup, tarayıcıda görüntüler elde edilmiştir.



Şekil 20: VAK Numunelerinin Dikey Olarak Kesilmesi

2.3.2. K-Mold Numunelerinin İncelenmesi

Şekil 21’de gösterilen K-mold kalıbı kullanılarak sıvı metal temizlik miktarı tespit edilmiştir. K-mold test kalıbına yapılan deney dökümlerinde yaklaşık 400 g ergiyik dökülmüştür. K-mold kalıplarından 240x36x6 mm boyutlarında dört eşit kesit kalınlığına sahip test numuneleri elde edilmiştir. Katılaşmanın tamamlanmasından sonra kesitler ortadan kırılarak, yüzeylerde oluşan kirlilik (oksit kalıntısı) adetleri sayılmıştır.



Şekil 21: K-Mold Test Kalıbı ve Katı Model Görüntüsü

Ergiğin temizliği K-kalıp değeri Eşitlik 3'te görüldüğü gibi ifade edilir. Bu değer, ergiyik temizliğinin değerlendirilmesi için test parçalarının yüzeyinin görsel olarak incelenmesine ve yüzeydeki kapanımların sayısına dayanmaktadır.

$$K=s/n$$

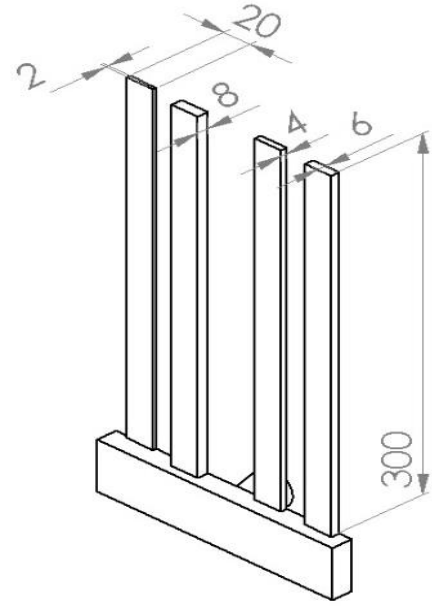
(Eşitlik 3)

Eşitlikteki K; kırık yüzeyinde bir numunenin bir parçasında bulunan inklüzyonların sayısını, s; küçük probunun parçasında bulunan toplam kapanım sayısını, n; incelenen örnek sayısını ifade etmektedir.

Hesaplamalar sonucu K değeri 0,5'in altında olduğunda sıvı metalin temiz olduğunu, 0,5 ile 1 arasında olduğunda kabul edilebilir seviyede sıvı metal temizliğine sahip olduğuna işaret eder. K değeri 1'in üzerinde ise sıvı metalin temizlenmesi gerektiğini gösterir (Balaban vd., 2006).

2.3.3. Dört Kanallı Akıcılık Numunelerinin İncelenmesi

Alaşımların akıcılık özelliklerinin belirlenmesi için farklı kesit kalınlıklarında sıvı metalin ilerleme mesafesini ölçebilecek şartlarda model tasarımı yapılmıştır. Bu amaçla kullanılan akıcılık kalıbı görüntüsü ve numune ölçüleri Şekil 22'de verilmiştir. Sıvı metal kanal uzunluğu, bütün kanallarda sıvı metal tam olarak yürümenin gerçekleşmemesi için bilinçli olarak 300 mm şeklinde gereğinden uzun tutulmuş ve böylece sıvı metalin ilerleme mesafesinin ölçülebilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca kesit kalınlıklarının farklı olması sayesinde ilgili döküm şartlarında hangi kalınlıkta dökümler yapılabileceği tespit edilebilecektir.



Şekil 22: 4 Kanallı Akıcılık Kalıbı ve Numune Ölçüleri

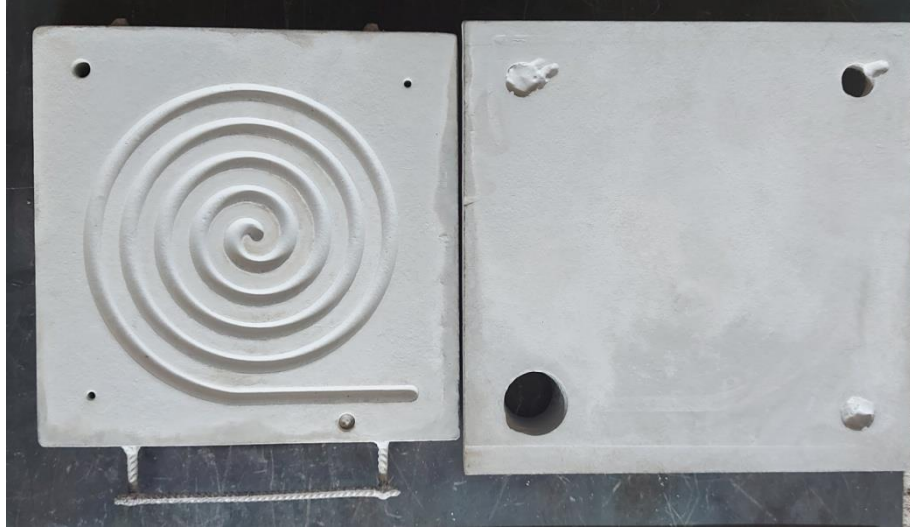
Dökümler sonrası değişen kesitlerde (2 mm, 4 mm, 6 mm ve 8 mm) sıvı metal ilerleme mesafesi Şekil 23'te görüldüğü gibi ölçülerek belirlenmiştir. Ayrıca kesitlerin en uç kısımlarından alınan numunelerden mikroyapı incelemeleri yapılmıştır.



Şekil 23: Sıvı Metal İlerleme Mesafelerinin Ölçülmesi

2.3.4. Spiral Akıcılık Kalıp Numunelerinin İncelenmesi

Akıcılık testlerinde ayrıca literatürde genişçe yer alan Şekil 24'te görüntüsü verilen spiral akıcılık test modeli kullanılmıştır. Tasarımı verilen kalıbın kokil kalıba imalatı gerçekleştirilecek ve değişen sıvı metal kalitesine ait sıvı metal ilerleme mesafelerinin ölçümü ve mikroyapı numunesini alınmıştır.



Şekil 24: Spiral Akıcılık Kalıbı

4 kanallı akıcılık kalıbına benzer şekilde spiral akıcılık kalıbından da sıvı metal ilerleme mesafesi Şekil 25'te görüldüğü gibi ölçülerek belirlenmiştir.



Şekil 25: Sıvı Metal İlerleme Mesafelerinin Ölçülmesi

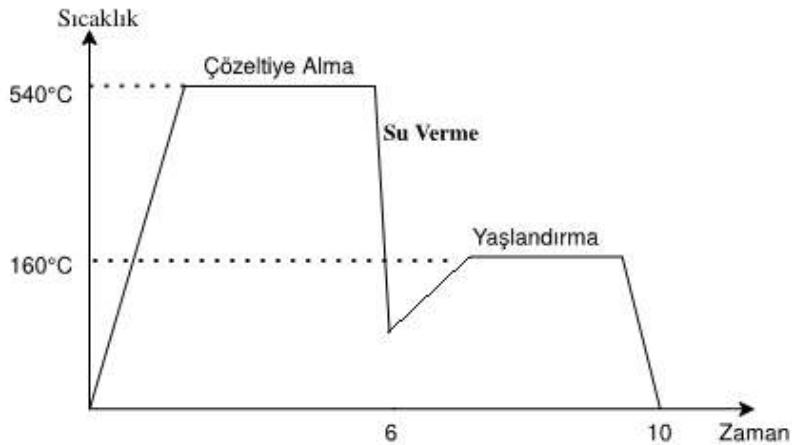
2.3.5. Mekanik Test Kalıp Numunelerinin İncelenmesi

ETİAL 177 alaşımına V ilavelerinin mekanik özelliklere etkilerinin incelenmesi amacıyla 4 farklı (ilavesiz, %0,03, %0,05 ve %0,1 V ilaveli) kimyasal kompozisyonda toplam 24 adet çekme çubuğu numunesi dökümü yapılmıştır. Mekanik testlerin gerçekleştirilmesi için kullanılan 6 çubuklu mekanik test kalıbı Şekil 26'da verilmiştir.



Şekil 26: Mekanik Test Kalıbı Fotoğrafi

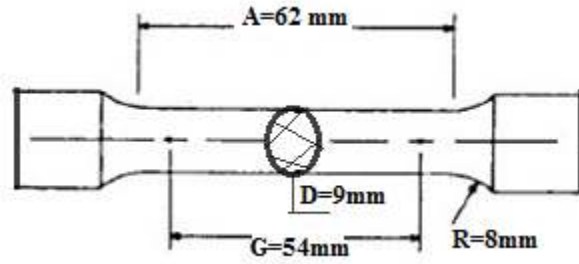
Üç farklı oranda V eklenerek elde edilen numuneler yolluklarından ayrılarak çekme çubukları elde edilmiştir. Testlere geçmeden önce çubukları T6 ısıtıl işlemine tabi tutulmuştur. Bu yöntem yumuşak ve sünek bir matriste ince ve sert uyumlu bir çökeltinin uniform dağılımını sağlamak ve bu suretle mukavemeti arttırmak için uygulanan bir ısıtıl işlemdir. Yaşlandırma işlemi, çözeltiye alma, su verme ve yaşlandırma safhalarından oluşur. Dökülen numuneler ısıtıl işlem fırınında önce 540 °C'ye ısıtılıp, bu sıcaklıkta 6 saat boyunca bekletilmiştir. Sonrasında fırından alınarak 80 °C'deki suyun içine atılmıştır. Numunelere su verme işlemi sonrası yaşlandırma işlemi için 160 °C'de 4 saat bekletilmiştir. Yaşlandırma sonrası fırından alınan numuneler havada soğumaya bırakılmıştır. Şekil 27'de ısıtıl işleme dair uygulanan işlemler grafik olarak verilmiştir.



Şekil 27: Isıl İşlem Uygulama Şeması

Isıl işlem sonrası numuneler çekme testleri için işlemeye tabi tutulmuştur. Şekil 28'de E8/E8M-13a standardına göre hazırlanan çekme test çubuğu ölçüleri verilmiştir. Şekil 28'de

görüldüğü gibi A: 62 mm uzunlukta D: 9mm çapında R: 8mm çapında ve G: 54 mm ölçülerine göre çekme test çubuğu ölçüleri verilmiştir.



Şekil 28: Çekme Testi Numunesi

Çekme test numuneleri Şekil 28’de gösterilen formda hazırlanarak 1 mm/dk’lık çekme hızı altında 100 kN’luk kapasiteli Şekil 29’da gösterilen MTS Hydraulic Wedge Grip marka 370.10 model cihaz ile gerçekleştirilmiştir. Çekme testi hazırlanmış numunenin görüntüsü ve test sonrası alınan örnek bir fotoğraf görüntüsü verilmiştir. Çekme testiyle akma mukavemeti, çekme mukavemeti ve % uzama değerleri tespit edilmiştir.



Şekil 29: Çekme Testi Cihazı

Deney dökümlerinden elde edilen numunelerin mekaniksel özelliklerin önemli bir parametresi olan sertlik ölçümünü Brinell sertlik ölçümleri, oda sıcaklığında Şekilde görülen BMS makine DIGIROCK-RBOV marka cihazda gerçekleştirilmiştir. Ölçümde HRB test metodu 1,6 mm çaplı bilye ile 2,5 kgf ön yük ve 62,5 kgf toplam yük altında her bir numuneden en az 10 adet alınan sertlik değerlerinin ortalaması alınmıştır. Şekil 30’da sertlik test cihazı gösterilmektedir.



Şekil 30: Sertlik Ölçüm Test Cihazı

2.3.6. Mikroyapı İncelemeleri

Mikroyapı incelemeleri için spiral akıcılık döküm numunesi ve dört kollu akıcılık döküm numunesinin en uç kısımlarından numuneler alınmıştır. Numuneler hazırlık süreçlerinde kolaylık olması açısından ve tek seferde daha fazla sayıda numunenin hazırlanabilmesi açısından bakalite alınmak suretiyle kalıplanmıştır. Şekil 31’de numunelerin bakalite alınması süreci ve bakalite alınmış numunelere ait görüntüler verilmiştir.



Şekil 31: Mikroyapı Numunelerini Bakalite Alınması ve Numune Örnekleri

Bakalite alınmış numuneler sırasıyla 180, 400, 800, 1200 ve 2500 numaralı zımpara ile zımparalama işlemi uygulanmıştır. Uygulanan zımparalama işleminin ardından $3\mu\text{m}$, $1\mu\text{m}$ alümina süspansiyonu ve son olarak $0,05\mu\text{m}$ ’lik kolodial silika ile parlatılmıştır. Parlatma sonrası numuneler Keller çözeltisi (95 ml saf su, 2,5 ml HNO_3 , 1,5 ml HCl , 1,0 ml HF) ile dağlama işlemi yapılmıştır. Uygulanan dağlama işlemi sonrası NMM-800/820 serisi metalürjik optik mikroskopta mikroyapı incelemelerine tabi tutulmuştur. Şekil 32’de metalografik muayenede kullanılan zımparalama-parlatma cihazı görüntüsü verilmiştir.



Şekil 32: Zımparalama ve Parlatma Cihazı

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

3. DENEYSEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu bölümde tez kapsamında yapılan deneysel çalışmalarından elde edilen verilerin sonuçların değerlendirilmesi verilecektir. ETİAL 177 Al alaşımını ilk olarak ilavesiz ETİAL177, daha sonra değişen oranlarda V ilavesi ile kokil kalıplara döküm deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneylerde; VAK ve K-mold kalıba yapılan dökümlerden sıvı metal kalitesi, spiral ve 4 kanallı akıcılık kalıbında sıvı metal ilerleme mesafeleri, mikroyapı incelemeleri ve mekanik test kalıbı numunelerinden çekme ve sertlik testleri gerçekleştirilmiştir.

3.1. KİMYASAL BİLEŞİM UYGUNLUĞUNUN KONTROLÜ

Döküm işlemlerinde kullanılan alaşım ve alaşıma katılan V ilave seviyelerinin uygunluğunun kontrolü için alınan numunelere ait kimyasal bileşim analiz sonuçları Tablo11’de verilmiştir.

Tablo 11: Döküm Deneyleri Kimyasal Bileşim Sonuçları (% Ağ.)

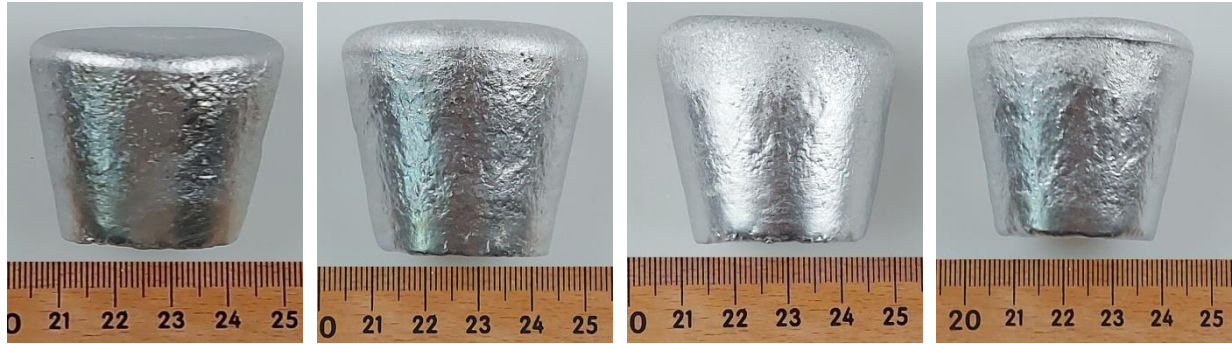
ALAŞIMLAR	Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Zn	Ni	Ti	V	Al
ETİAL 177	0,185	6,62	0,122	0,0158	0,261	0,0276	0,0367	0,116	0,009	Kalan
ETİAL 177+%0,03V	0,192	6,71	0,141	0,0159	0,277	0,0295	0,035	0,109	0,0384	Kalan
ETİAL 177+%0,05 V	0,145	6,68	0,164	0,0277	0,312	0,0595	0,029	0,112	0,0777	Kalan
ETİAL 177+%0,1V	0,177	6,54	0,148	0,0203	0,293	0,0393	0,0295	0,123	0,141	Kalan

Tablo 11 incelendiğinde alaşımların ETİAL 177 standart bileşim aralığında olduğu anlaşılmaktadır. Tez kapsamında yapılan V ilavesi uygunluğunun kontrolünde ilave edilen miktarlara yakın oranda alaşımda V değeri görüldüğü tespit edilmiştir. Önemli olan bu aşamada farklı V değerlerinde döküm özelliklerinin incelenmesi olduğunda %0,03 V ilave edilmesi planlanan deneyde %0,0384, %0,5 V ilaveli deneyde %0,0777 ve %0,1 V ilaveli deneyde %0,141 V değerleri ölçülmüştür. Buradaki farkların kimyasal analiz yapılan cihazın V elementine yönelik kalibresinden kaynaklanabileceği de düşünülmektedir. Ancak nihai olarak artan bir V ilavesinin alaşımlarda mevcut olduğu tespit edilmiştir.

3.2. SIVI METAL KALİTESİNİN TESPİTİ

Çalışma kapsamında hedef değişen oranlarda V ilavesinin alaşım özelliklerine etkisini incelenmesidir. Dolayısıyla sıvı metal temizliğinden kaynaklı hataların sonuçları etkilenmesinin önüne geçilmesi için sıvı metal döküm öncesi azotla temizleme işlemine tabi tutulmuştur. Temizleme işlemi sonucu sıvı metal kalitesinin kontrolü için sıvı metale VAK

cihazında vakum altında katılaşma uygulanmıştır. Döküm deneylerinden elde edilen VAK numunelerine ait fotoğraf görüntüleri Şekil 33'te verilmiştir.



ETİAL 177

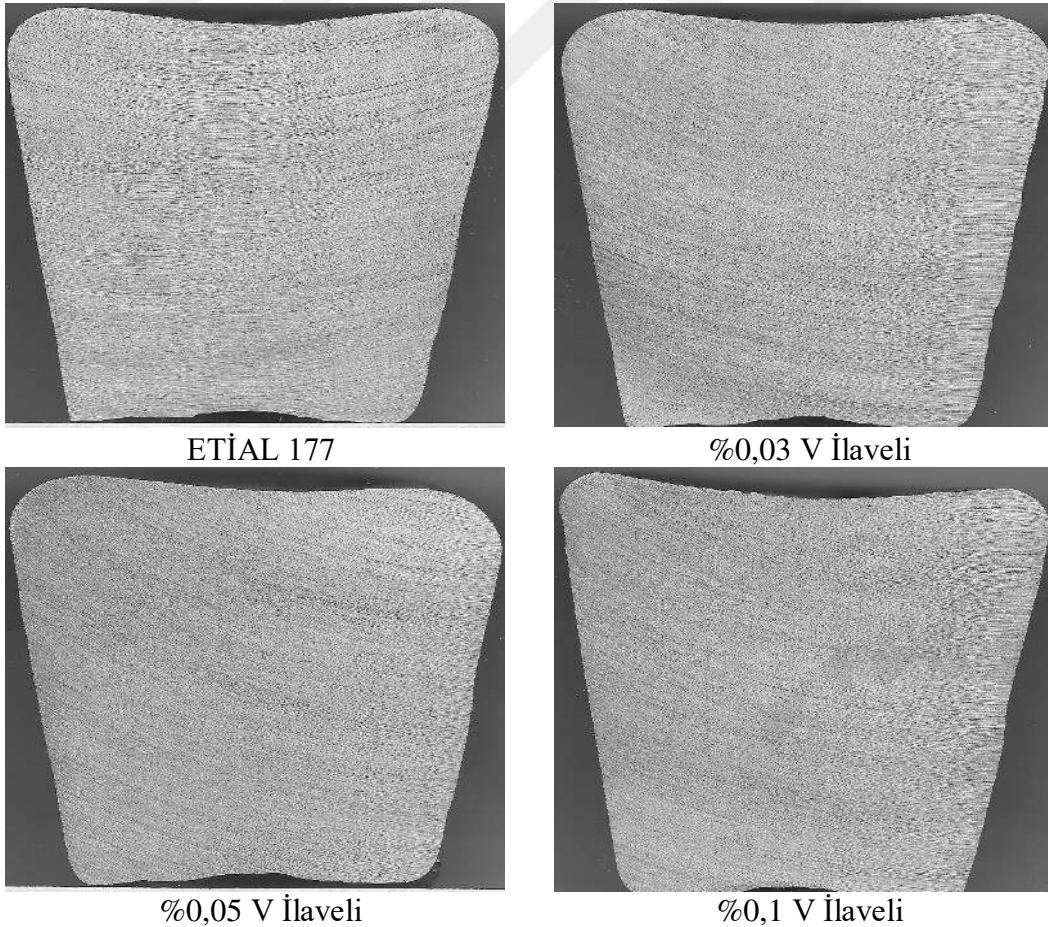
% 0,03 V İlaveli

% 0,05 V İlaveli

% 0,1 V İlaveli

Şekil 33: VAK Test Numune Görüntüleri

Şekil 33'te verilen fotoğraf görüntülerinde de görüldüğü gibi numunelerin üst kısmında çöküntü olduğu anlaşılmaktadır. Bu durum sıvı metal temizliğinin uygun olduğuna bir işaret olarak bilinmektedir. VAK numuneleri kesilerek zımparalanmış ve kesit yüzeylerindeki taranarak gözenek durumları incelenmiştir. Şekil 34'te VAK numune kesit yüzey görüntüleri verilmiştir.



ETİAL 177

%0,03 V İlaveli

%0,05 V İlaveli

%0,1 V İlaveli

Şekil 34: VAK Numune Kesit Görüntüleri

Şekil 34'te verilen kesit yüzey görüntüleri incelendiğinde her bir dökümde kabul edilebilir seviyede sıvı metal temizliğine ulaşıldığı anlaşılmaktadır. Numune yüzey çöküntüsü ve yüzeyde gözeneklerin minimum seviyede olması bu durumu göstermektedir.

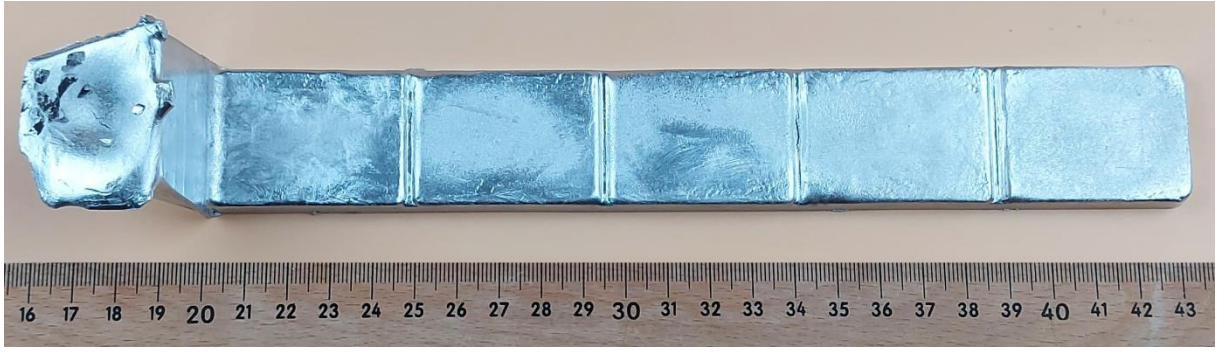
VAK numuneleri ayrıca yoğunluk ölçümlerine tabi tutularak gözenek durumları belirlenmiştir. Yoğunluk ölçümleri Arşimet prensibine göre yapılmıştır. Tablo 12'de yoğunluk ölçüm sonuçları ve hesaplanan gözenek değerleri verilmiştir.

Tablo 12: VAK Döküm Numuneleri Yoğunluk ve Gözenek Sonuçları

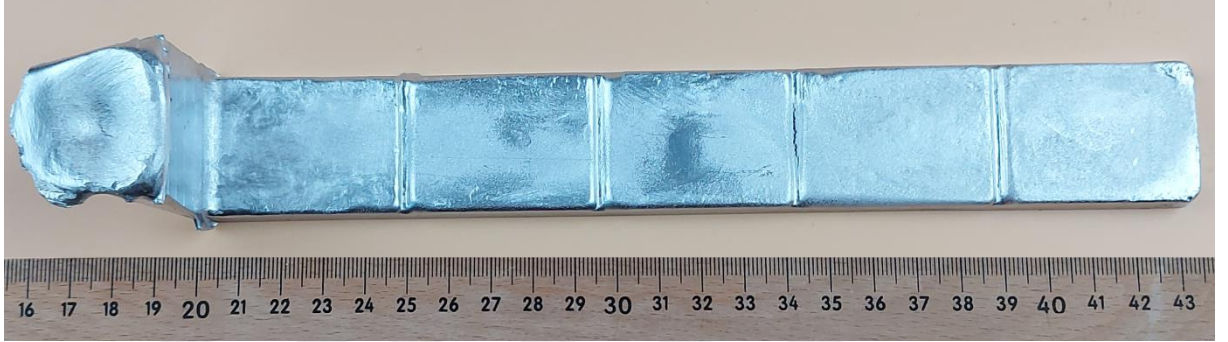
ALAŞIMLAR	Havada Ağırlık (g)	Suda Ağırlık (g)	Deneysel Yoğunluk (g/cm ³)	Referans Yoğunluk (g/cm ³)	Hesaplanan Gözenek %
ETİAL 177	131,03	81,76	2,654	2,67	0,574
ETİAL 177 +%0,03 V	130,55	81,63	2,663	2,67	0,229
ETİAL 177 +%0,05V	119,47	74,68	2,662	2,67	0,278
ETİAL 177 +%0,1 V	130,94	81,92	2,666	2,67	0,135

Tablo 12'de VAK döküm numunelerden verilen yoğunluk ölçüm sonuçları incelendiğinde elde edilen deneysel yoğunluk ve teorik yoğunluğa bağlı gözenek değer hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. Teorik yoğunluk değerinin belirlenmesinde alaşımın kimyasal bileşimi ve standart değerler göz önüne alınmıştır. Tüm deney numunelerinde hesaplanan gözenek değerleri Tablo 12'de de görüldüğü gibi %0 kabul edilebilir seviyelerdedir. İlgili değerler numune kesit yüzey incelemeleri sonucu VAK testine göre sıvı metal kalitesinin uygun olduğu tespit edilmiştir.

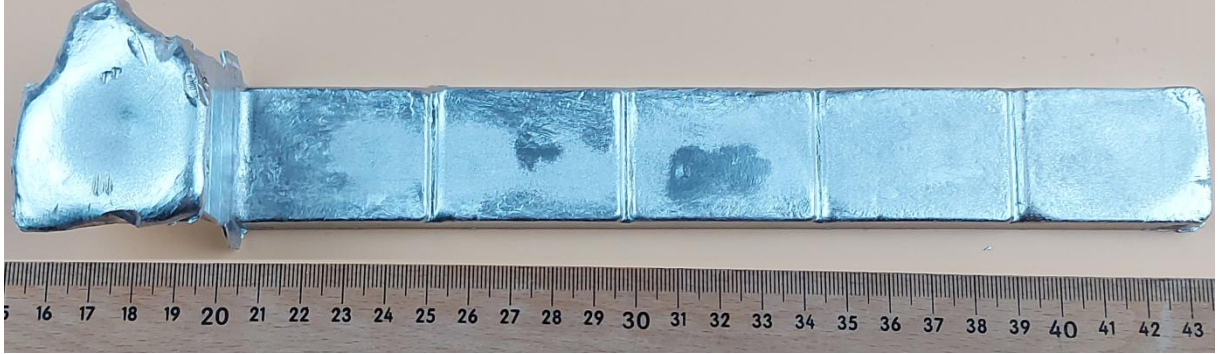
Tez kapsamında sıvı metal temizliğinin kontrolü açısından bir diğer test yöntemimiz K-mold kalıba döküm numuneleridir. Şekil 35'te K-mold döküm numune fotoğraf görüntüleri verilmiştir.



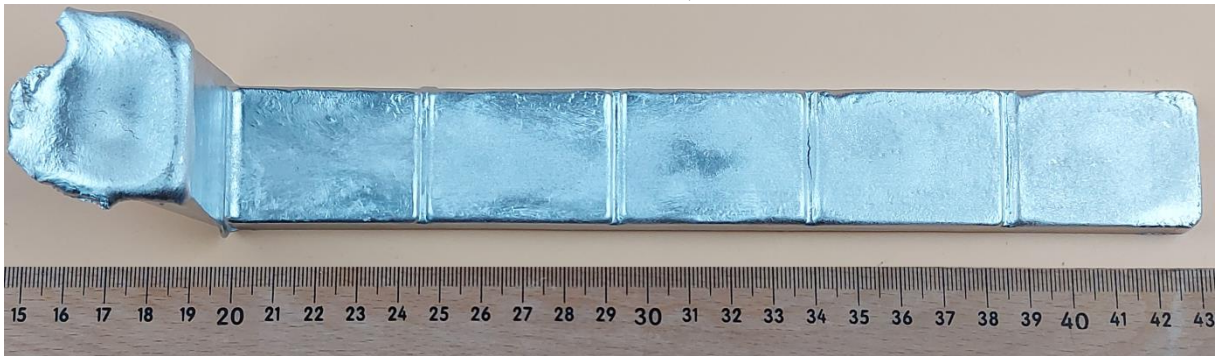
ETİAL 177



ETİAL 177 + %0,03 V



ETİAL 177 + %0,05 V



ETİAL 177 + %0,1 V

Şekil 35: K-Mold Kalıbına Yapılan Döküm Numune Görüntüleri

K-Mold kalıbına döküm sonucu elde edilen numuneler kırık yüzeyleri incelenmiştir. Numuneler çentikli kısımlardan kırılarak kırık yüzey resimleri elde edilmiştir. Şekil 36'da K-mold numune kırık yüzey görüntüleri verilmiştir.



ETİAL 177



ETİAL 177 + %0,03 V



ETİAL 177 + %0,05 V



ETİAL 177 + %0,1 V

Şekil 36: K- Mold Numuneleri Kırık Yüzey Numune Görüntüleri

K-mold döküm numunelerinin hızlı katılaşması çok ince bir matris oluşturur ve bu nedenle kırık yüzeyinde inklüzyonlar açıkça tespit edilmektedir. Şekil 37’de değişen oranlarında V elementi ilavesi ile K- mold parçalarından en uç kademesinden başlayarak sıralı bir şekilde dizilerek çekilen resim görülmektedir. K-mold numune kırık yüzeylerinde görülen inklüzyon sayıları sayılarak Tablo 13’te elde edilen değerler verilmiştir.

Tablo 13: K- Mold İnküzyon, Parça Sayıları ve K Değerleri

Numune adı	İnküzyon sayısı	K- mold parça sayısı	K değeri
ETİAL 177	1	5	0,2
ETİAL 177+%0,03V	2	5	0,4
ETİAL 177+%0,05 V	2	5	0,4
ETİAL 177+%0,1 V	1	5	0,2

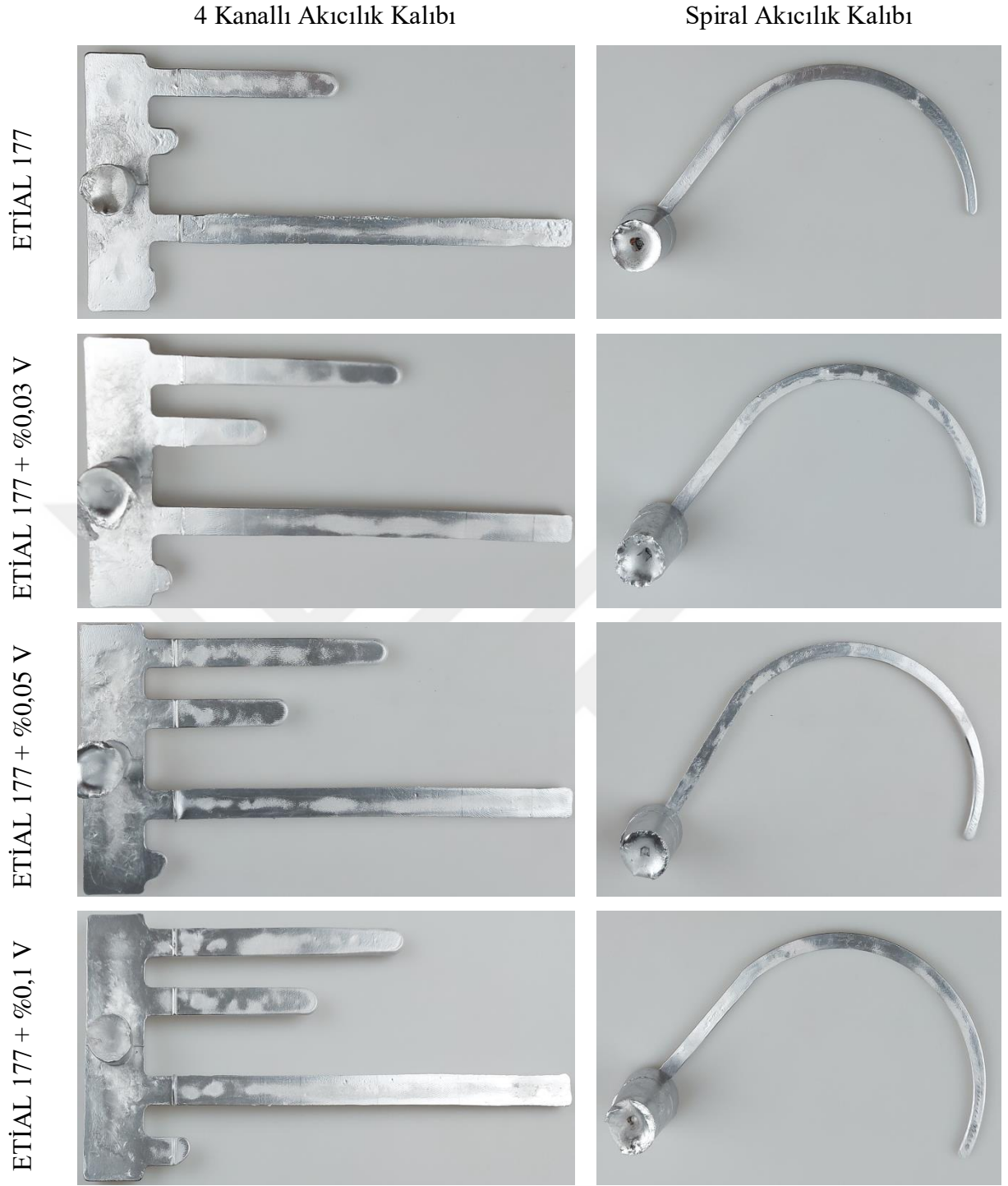
Şekil 36’da verilen K-Mold kırık yüzey görüntüleri ve Tablo 13’Te verilen K-Mold ölçüm sonuçlarına bağlı olarak K değerleri incelendiğinde tüm döküm deneylerinde elde edilen K değerleri birbirine yakın ve 1 değerinin altında olduğu görülmektedir.

Balaban ve Ark. yaptıkları çalışmada K-Mold değeri 0,5’in altında olduğunda sıvı metalin temiz olduğunu, $0,5 < \text{K-Mold değeri} < 1,0$ aralığında kabul edilebilir değerlerde olduğunu ve K-Mold değeri $> 1,0$ üzerinde olduğunda mutlaka sıvı metalin temizlenmesi gerekmektedir. Elde edilen K değerleri incelendiğinde tüm deneylerde 0,5’in altındaki değerlerde sıvı metal kalitesinin kabul edilebilir seviyelerde olduğu ve bu durum temizleme işleminin uygunluğunu teyit etmektedir (Eti Alüminyum, 2023).

Sıvı metal temizliğine yönelik K-mold değerleri ve VAK sonuçları incelendiğinde döküm içerisinde gaz kaynaklı gözenek oluşumunu engellemek adına sıvı metal temizleme işleminin yeterli oranda sağlandığı anlaşılmaktadır. Böylece dökümlerde oluşması muhtemel gözeneklerin gaz kaynaklı olmayacağı ve olması halinde yetersiz beslemeye dayalı çekinti gözenekleşmesi nedeni ile olabileceği düşünülmektedir.

3.3.AKICILIK TESTİ SONUÇLARI

ETİAL 177 Al alaşımına V ilavesinin akıcılık üzerine etkisini incelenmesine yönelik yapılan çalışmalarda spiral akıcılık ve değişen kesit kalınlıklarına sahip 4 kanallı akıcılık kalıbı kullanılmıştır. Döküm numunelere ait resimler Şekil 37’de verilmiştir.



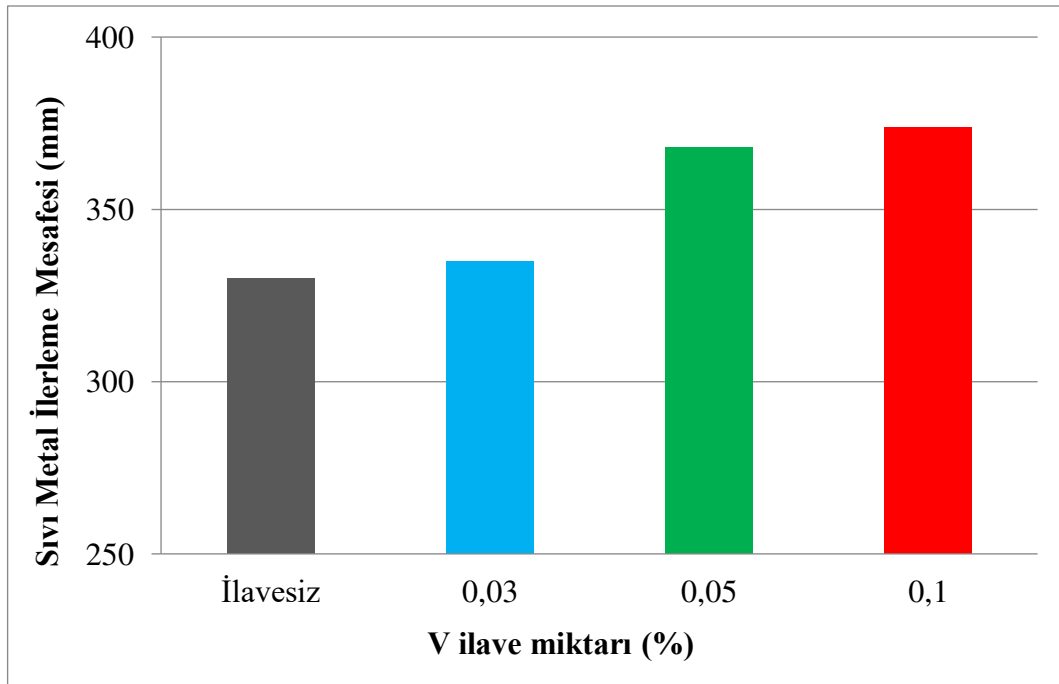
Şekil 37: Döküm Sıcaklığına Bağlı Akıcılık Döküm Numuneleri

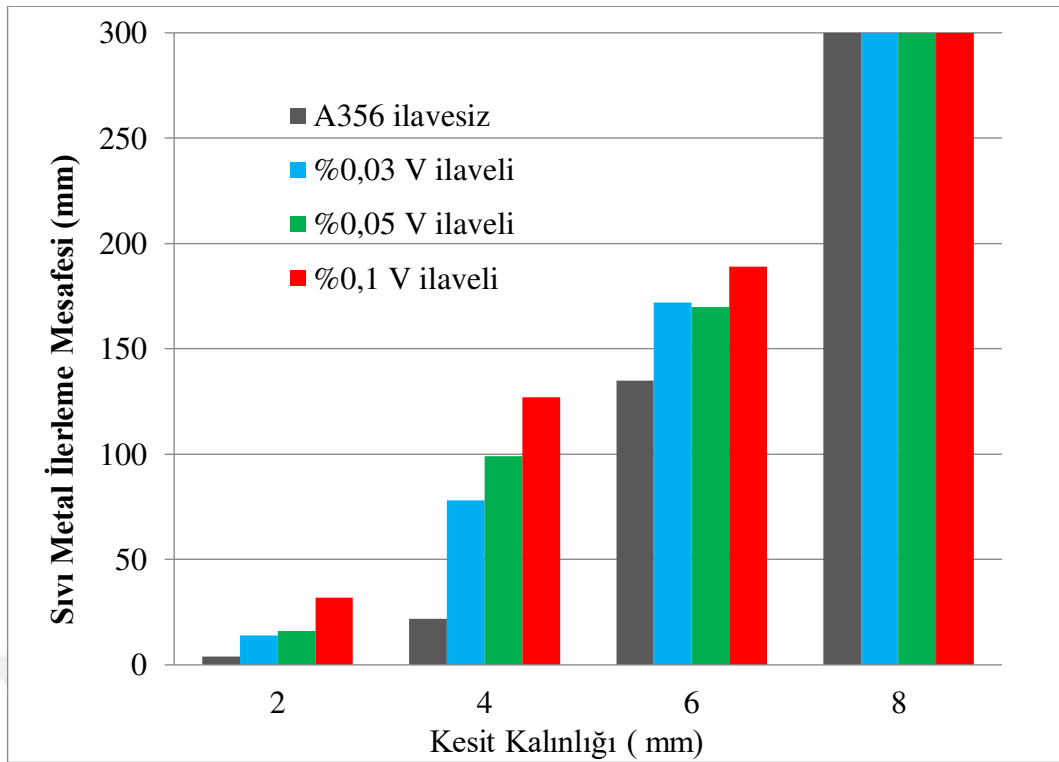
Şekil 38’de verilen resimlerden de görüldüğü gibi ETİAL 177 alaşıma V ilavesi ile akıcılık özelliklerinin değişkenlik gösterdiği anlaşılmaktadır. Deney numunelerinin sıvı metal ilerleme mesafeleri ölçümüne dair değerler Tablo 14’te verilmiştir.

Tablo 14: Sıvı Metal İlerleme Mesafesi Ölçüm Değerleri

Alaşım İlavesi	Döküm Sıcaklığı (°C)	4 Kanallı				Spiral (mm)
		(2 mm)	(8 mm)	(4 mm)	(6 mm)	
ETİAL 177	720	4	300	22	135	330
ETİAL177+%0,03 V	720	14	300	78	172	335
ETİAL177+%0,05 V	720	16	300	99	170	368
ETİAL177+%0,1 V	720	32	300	127	189	374

Tablo 14’te verilen sonuçlar incelendiğinde değişen döküm şartlarının akıcılık üzerinde etki ettiği tespit edilmiştir. Sonuçlardan da görüleceği gibi V ilavesi ile alaşımın akıcılık özelliklerinde artış tespit edilmiştir. Spiral akıcılık kalıbında sıvı metal ilerleme mesafeleri 330 mm’den V ilavesi ile birlikte 374 mm’ye kadar artış göstermiştir. 4 kanallı akıcılık kalıbında ise değişen kesitlerde farklı sıvı metal ilerleme mesafeleri mevcuttur. En ince kesitli 2 mm kalınlığındaki kanallarda ilerleme mesafesi 4 mm ile 32 mm arasında değiştiği tespit edilmiştir. 8 mm kesitli kanalda ise tüm deneylerde kanalın tam olarak dolduğu anlaşılmaktadır. Şekil 38’de spiral kalıp ile yapılan kalıplara dökümden elde edilen sıvı metal ilerleme mesafeleri, Şekil 39’da dört kanallı akıcılık kalıbında elde edilen sonuçlardan hazırlanan grafikler verilmiştir.

**Şekil 38:** Spiral Akıcılık Kalıbından Elde Edilen Sıvı Metal İlerleme Mesafesi



Şekil 39: Dört Kanallı Akıcılık Kalıbından Elde Edilen Sıvı Metal İlerleme Mesafesi

Sıvı metal ilerleme mesafesi ve akıcılık ile ilgili yapılan bazı literatür çalışmaları;

Akıcılık özelliklerine dair döküm numune sonuçları incelendiğinde V ilavesine bağlı olarak değişen sıvı metal ilerleme mesafeleri ortaya çıktığı görülmektedir. Kesit kalınlık değişimini etkisi incelenecek olursa kesit kalınlığının artması ile birlikte sıvı metal ilerlemede mesafelerinde V artışı ile birlikte artış tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde V ilavesi olmayan 2 mm kesitli kanalda sıvı metal ilerleme mesafesi 4 mm iken, %0,03 V ilavesinde 14 mm, %0,05 V ilaveli dökümde 16 mm ve %0,1 V ilaveli dökümde 32 mm olarak ölçülmüştür. 4 mm kesitli kanalda diğer kesit kalınlıklarında olduğu gibi V miktarındaki artışla birlikte sıvı metal ilerleme mesafeleri artmıştır. 4 mm kesitli kanalda sıvı metal ilerleme mesafeleri sırasıyla 22 mm, 78 mm, 99 mm ve 127 mm olarak tespit edilmiştir. 6 mm kesitli kanalda ilgili değerler sırasıyla 135 mm, 172 mm, 170 mm ve 189 mm olarak belirlenmiştir. Burada %0,03 V ve %0,05 V ilaveli dökümlerde ilerleme mesafelerinin birbirine çok yakın olduğu tespit edilmiştir. Ancak diğer kesitler açısından değerlendirildiğinde sıvı metal ilerleme mesafeleri V oranı ilavesi ile artış olduğu görülmektedir. 8 mm kesitli kanalda tüm dökümlerde kanalın tam olarak dolduğu tespit edilmiştir. Bu durum ETİAL 177 Al alaşımı için 8 mm ve üstü kesit kalınlıklarından akıcılık açısından bir problem olmadan kalıbın dolabileceği düşünülmektedir.

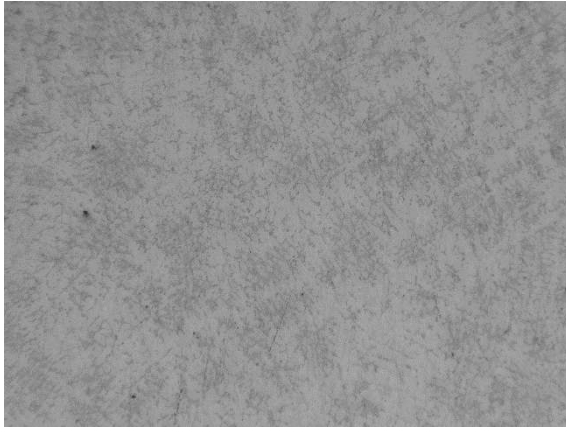
Elde edilen sonuçlar literatürde bulunan sonuçlar ile paralellik göstermektedir. Al alaşımlarının akıcılığı çeşitli faktörlerden etkilenen çok yönlü bir olgudur. ETİAL 177 Al

alaşımına çeşitli element ilaveleri yapmak yeniden kristalleşme sıcaklığını arttırdığından alaşımın akışkanlığı etkilemektedir (Prukkanon vd., 2009).

Belirli aralıklarla alaşım sıcaklığı artırıldığında alaşım akışkanlığında artış gözlemlenmiş ve alaşımın en yüksek döküm sıcaklıklarında akışkanlığının arttığı görülmüştür (Timelli & Bonollo, 2007). Yapılan çalışmalarda genel olarak, Al döküm alaşımlarının akışkanlığını etkilemede sıcaklığın çok önemli bir rol oynadığını ve farklı alaşımların sıcaklık değişikliklerine farklı tepkiler sergilediğini göstermektedir. Al döküm alaşımlarına sıvı metal temizliğinin akışkanlık üzerinde önemli etkileri olduğu yapılan birçok çalışma ile vurgulanmıştır. Al alaşımlarının akışkanlığı katılaşma aralığı, katılaşma sıcaklığı, alaşımın kayma hızı ve takviye parçacıklarının varlığı gibi çeşitli faktörlerden etkilenmektedir (Ravi vd., 2008). Al döküm alaşımlarında alaşım içinde bulunan takviye parçacıklarının, farklı elementlerin varlığının sıvı metalin akışkanlığını azalttığı ve katılaşma oranını etkilediği gösterilmiştir (Behera vd., 2012). Çelik ve Al döküm alaşımları arasındaki bimetal bağ kalitesini iyileştirmek için döküm yapıldığında kullanılan malzemelerin kirliliklerinin temizlenmesi önerilmiştir. Bu da döküm kalitesinin sağlanmasında temizliğin kritik rolünü göstermektedir (Suryadarma vd., 2021). Al-silisyum döküm alaşımlarında bulunan demir safsızlık elementidir ve intermetalik bileşiklerin oluşumuna katkıda bulunmaktadır (Song vd., 2019).

3.4.MİKROYAPI İNCELEME SONUÇLARI

ETİAL 177 ve değişen oranlarda V ilavesi ile yapılan dökümlerin mikro yapılarını incelemek için dört kanallı akıcılık ve spiral akıcılık dökümlerinden numuneler alınmıştır. Mikroyapı incelemelerinde farklı kesit kalınlıklarında iç yapı incelemeleri ve alaşım ilavesinin etkisi değerlendirilmiştir. Şekil 40'ta ETİAL 177, Şekil 41'de %0,03 V ilaveli, Şekil 42'de %0,05 V ilaveli ve Şekil 43'te %0,1 V ilaveli döküm numunesinden alınan değişen kesitlerdeki 100X büyütmede çekilen mikroyapı resimleri verilmiştir.



2mm



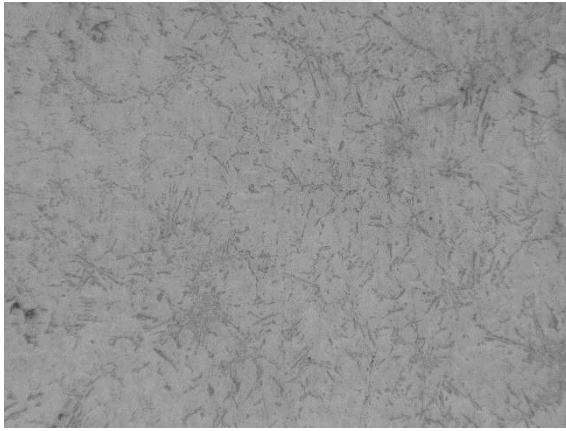
4mm



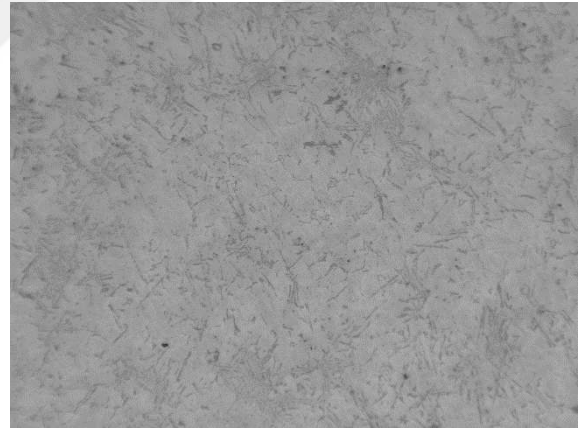
6mm



8mm

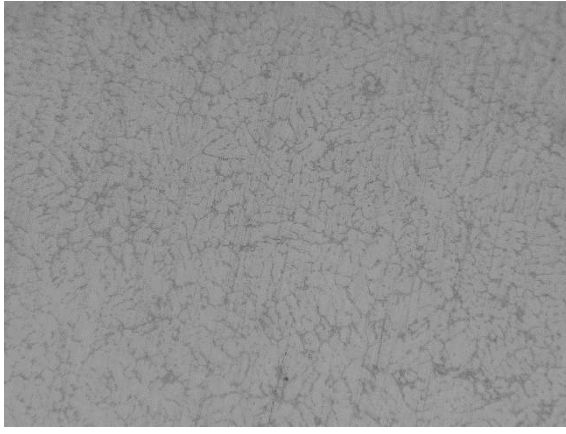


Spiral Akıcılık Kalıbı Numuneleri

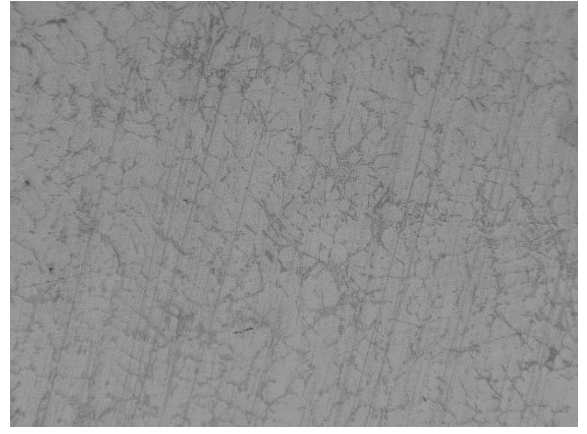


Spiral Akıcılık Kalıbı Numuneleri

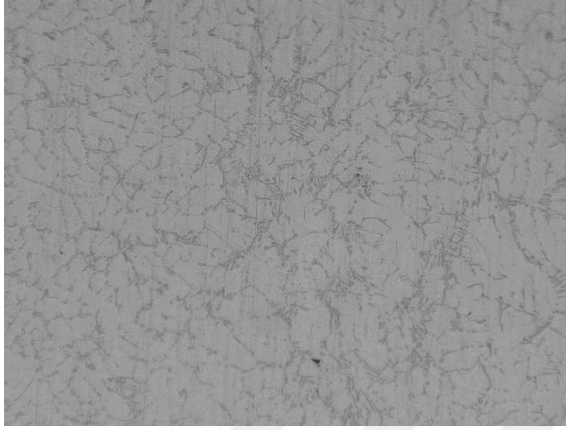
Şekil 40: İlavesiz ETİAL 177 Dört Kanallı Akıcılık Kalıbı Döküm Mikroyapıları



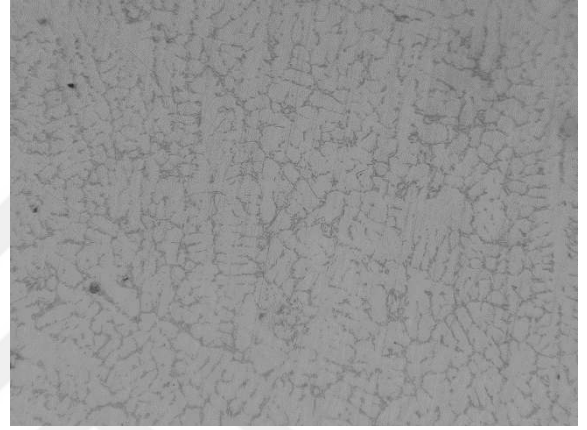
2mm



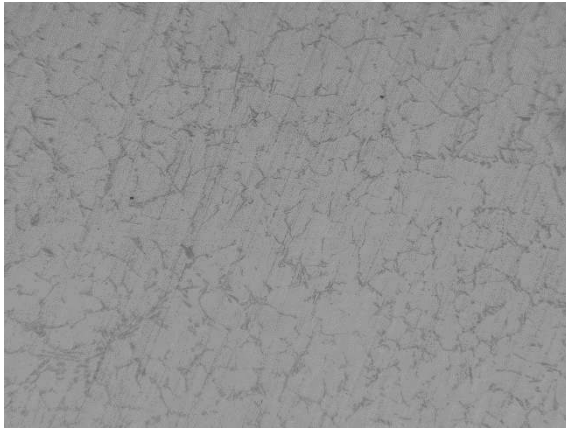
4mm



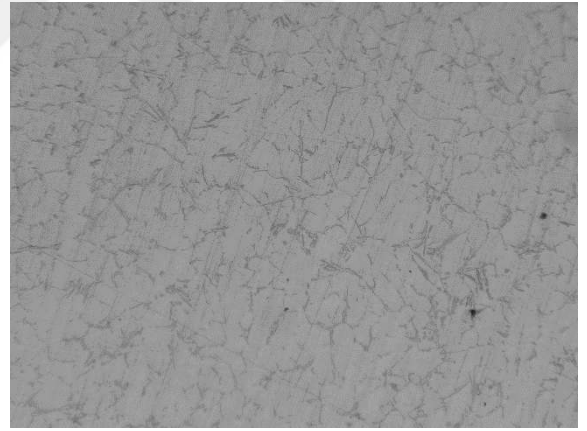
6mm



8mm

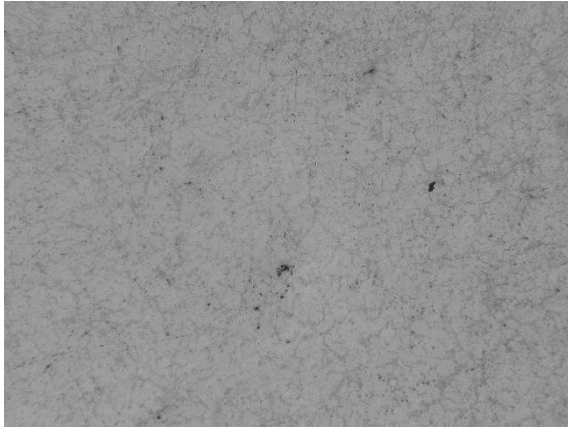


Spiral Akıcılık Kalıbı Numuneleri

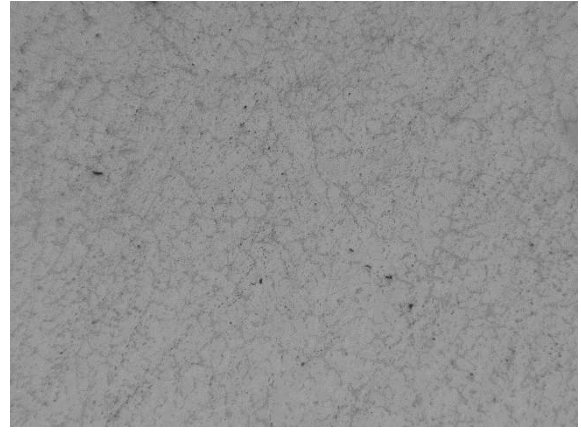


Spiral Akıcılık Kalıbı Numuneleri

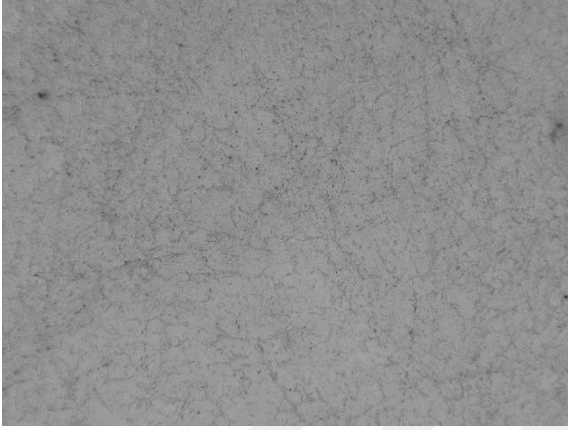
Şekil 41: %0,03 V İlaveli ETİAL 177 Akıcılık Kalıbı Döküm Mikroyapıları



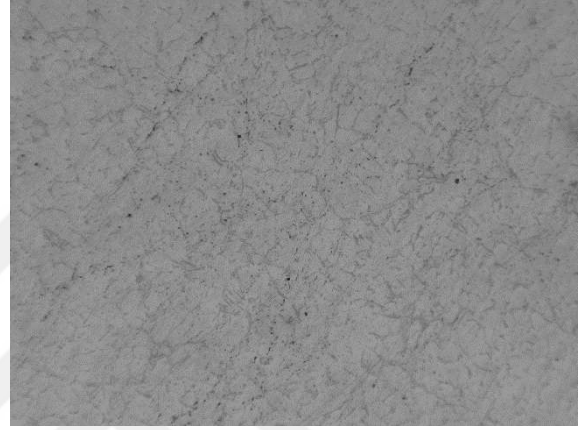
2mm



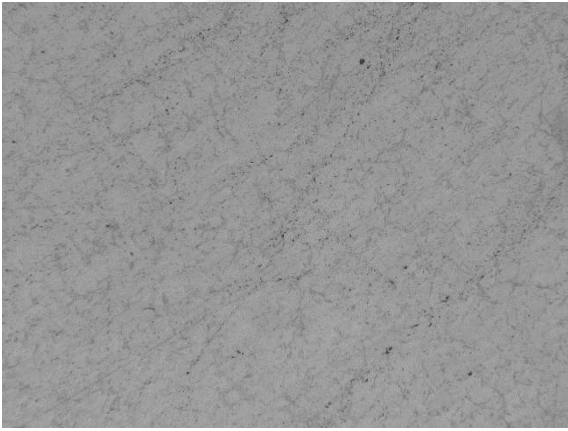
4mm



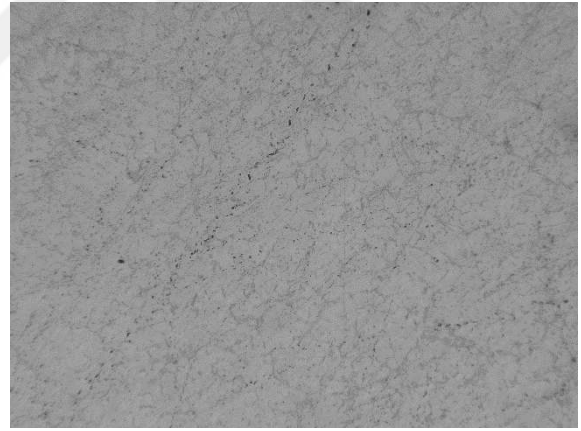
6mm



8mm

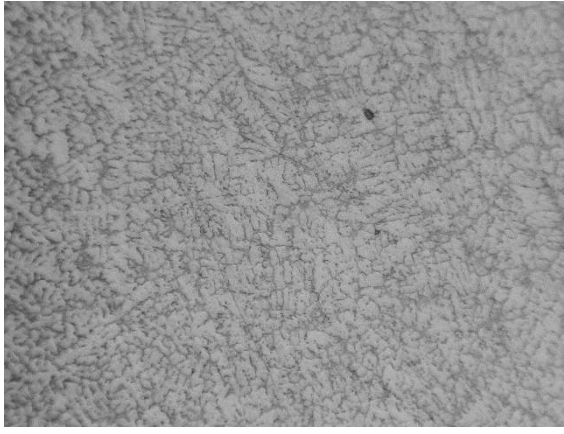


Spiral Akıcılık kalıbı numuneleri

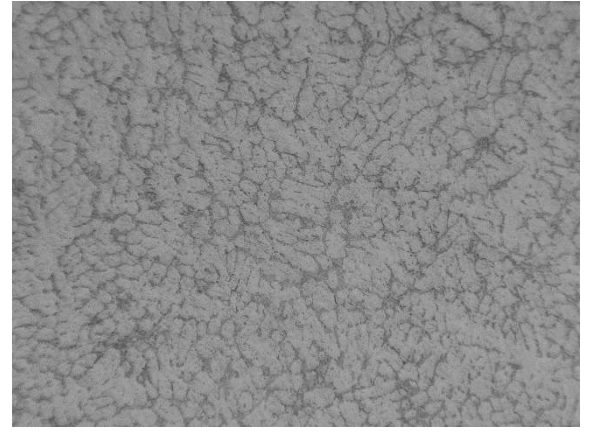


Spiral Akıcılık kalıbı numuneleri

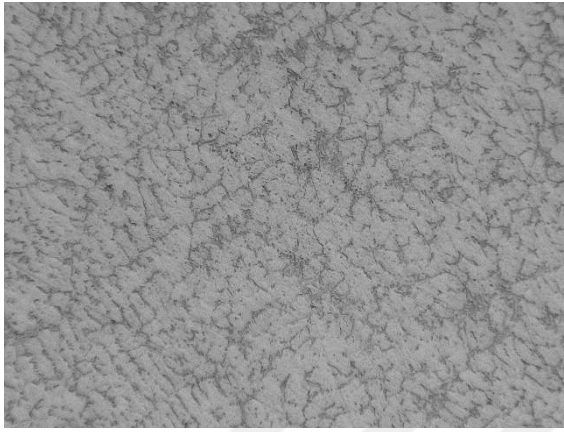
Şekil 42: %0,05 V İlaveli ETİAL 177 Akıcılık Kalıbı Döküm Mikroyapıları



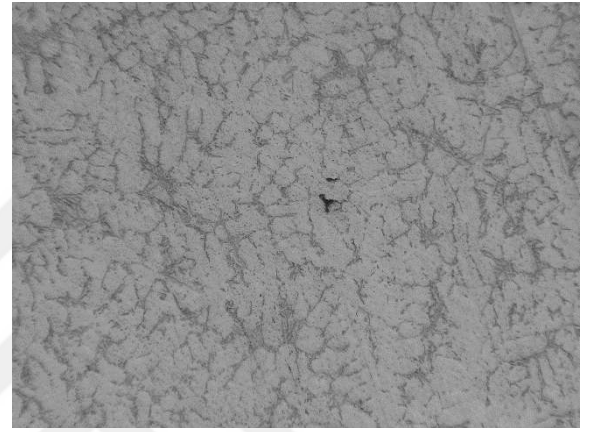
2mm



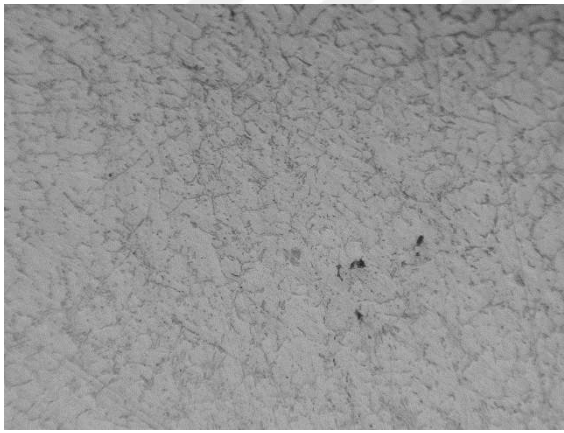
4mm



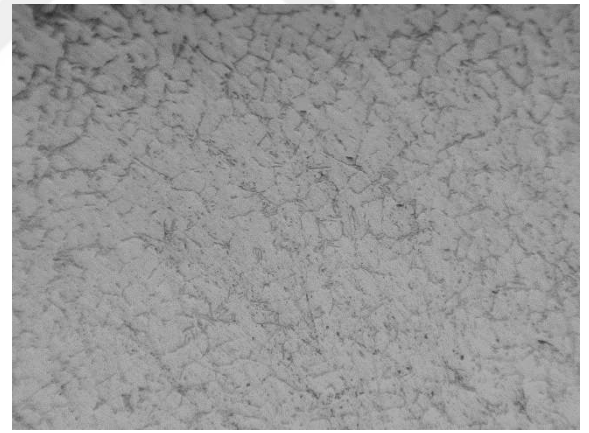
6mm



8mm



Spiral Akıcılık kalıbı numuneleri



Spiral Akıcılık kalıbı numuneleri

Şekil 43: %0,1 V İlaveli ETİAL 177 Akıcılık Kalıbı Döküm Mikroyapıları

Mikroyapı resimlerinin verildiği şekillerde ETİAL 177 Al alaşımının farklı kesit kalınlıklarına sahip bölgelerinden ve değişen V ilavelerine göre elde edilen resimleri görülmektedir. Şekillerde verilen mikroyapı resimleri incelendiğinde kesit kalınlığının artmasına bağlı olarak tane yapılarının ve yapıda ortaya çıkan Si kristallerinin daha da büyük olduğu gözlenmektedir. Yapıda kalınlık arttıkça mikro yapıdaki soğumaya bağlı olarak tanelerin büyüdüğü ve değişen oranlarda % V ilavesi ile mikro yapıların küçüldüğü gözlenmiştir. İlgili durum tüm dökümler için tespit edilmiştir. Ayrıca yapıda V ilavesine bağlı

olarak yapıda değişimler tespit edilmiştir. V miktarının artmasına bağlı olarak yapıda değişimlerde artış olduğu gözlenmiştir.

Elde edilen bulgular daha önce yapılan ETİAL 177 ve farklı Al alaşımları kullanılarak yapılan döküm çalışmaları ile uyum içindedir.

ETİAL 177 mikroyapısı üzerinde soğuma hızının etkisini incelemek amacıyla basamak kalıp kullanarak çalışmışlardır. 5, 10, 15 ve 20 mm kalınlığındaki basamaklar için elde edilen soğuma hızları sırasıyla 24, 13, 5 ve 4 K/saniye olarak belirlenmiştir (Shabani & Mazahery, 2011).

5, 10, 15 ve 20 mm kalınlıklarında döküm yapmak için kum kalıp kullanmışlardır ve böylelikle soğuma hızının mikroyapı üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Bu kalınlıklara karşılık gelen soğuma hızları sırasıyla 1,9, 0,8, 0,5 ve 0,3 K/saniye olarak ölçülmüştür (Jeon & Bae, 2019).

Soğuma hızının ETİAL 177 mikroyapısı üzerindeki etkisi araştırmıştır. Yaptıkları çalışmada, 1,8, 0,12 ve 0,08 K/saniye soğuma hızına karşılık gelen SDAS değerleri sırasıyla 43, 90 ve 124 μm olarak belirlenmiştir (Sheykh-jaberi, 2019).

4 farklı kalınlığa sahip basamak kalıplara ETİAL 177 dökümü gerçekleştirmişlerdir ve değişen kesitlerde mikroyapıda değişimler gözlemlemişlerdir (Khakzadshahandashti, 2019).

3.5. MEKANİK TEST SONUÇLARI

3.5.1. Çekme Test Sonuçları

Deney dökümlerinden ETİAL 177 ve değişen oranlarda % V ilavesi ile yapılan mekanik test kalıbı dökümlerinden çekme test ve sertlik sonuçlarını incelemeleri için numuneler alınmıştır. Şekil 44'te çekme kalıbı döküm resimleri verilmiştir.



ETİAL177



% 0,03V İlaveli



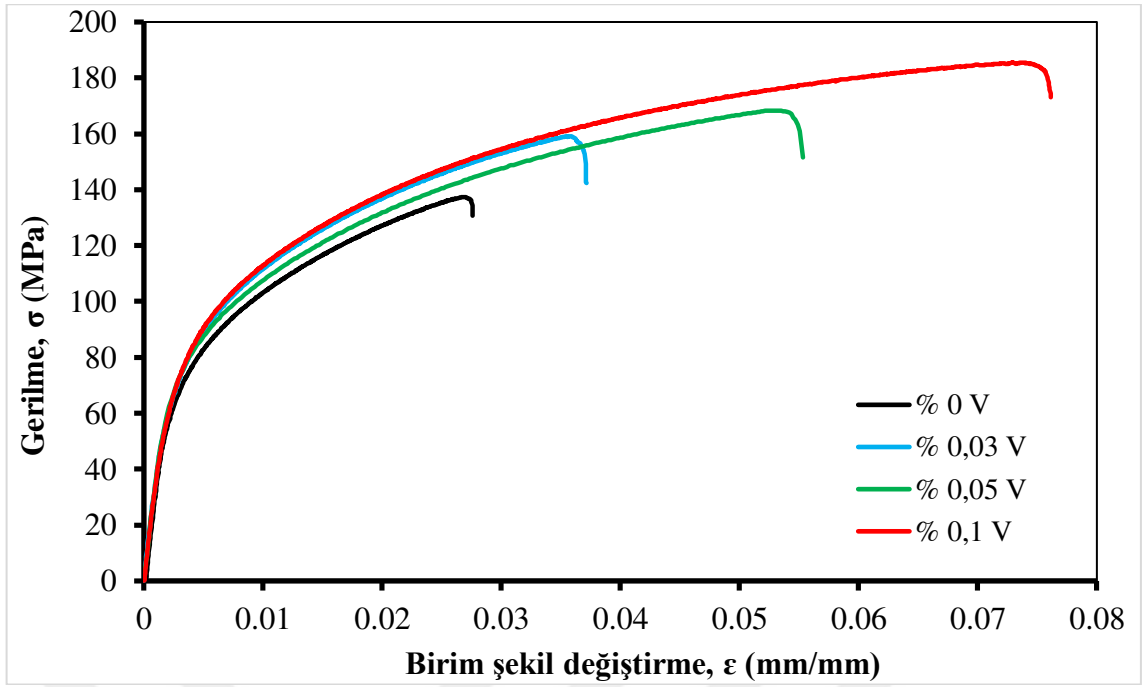
% 0,05 V İlaveli



% 0,1 V İlaveli

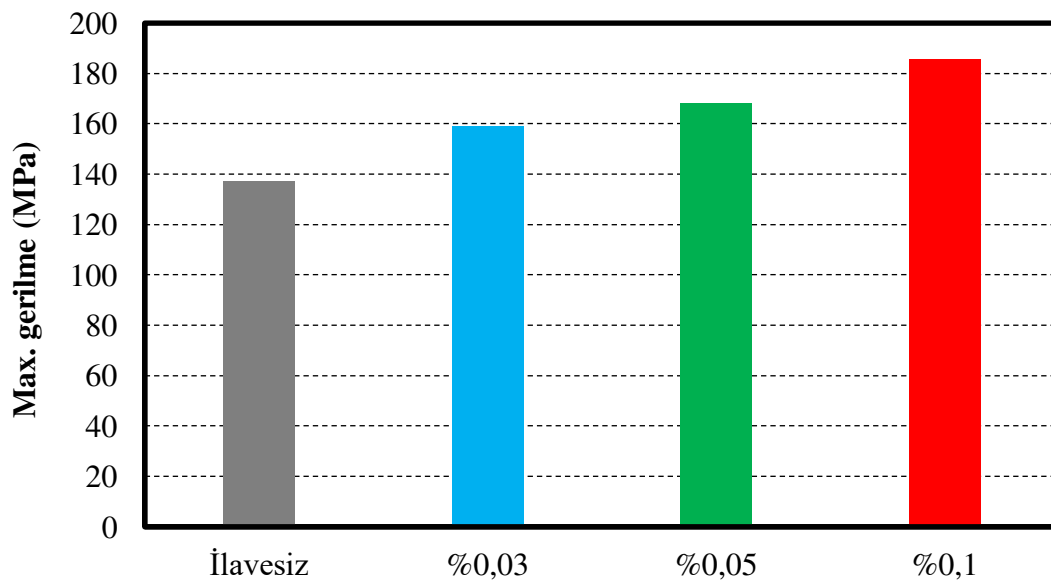
Şekil 44: Mekanik Test Kalıbı Döküm Numuneleri Görüntüleri

Çalışma kapsamında döküm numunelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesine yönelik çekme testleri ve sertlik testleri yapılmıştır. Al alaşımına ilave edilen her bir V oranı için en az 3 numune olacak şekilde testler gerçekleştirilmiştir ve ortalaması alınmıştır. Döküm deneylerine ait gerilme birim şekil değiştirme grafiği Şekil 45'te verilmiştir.

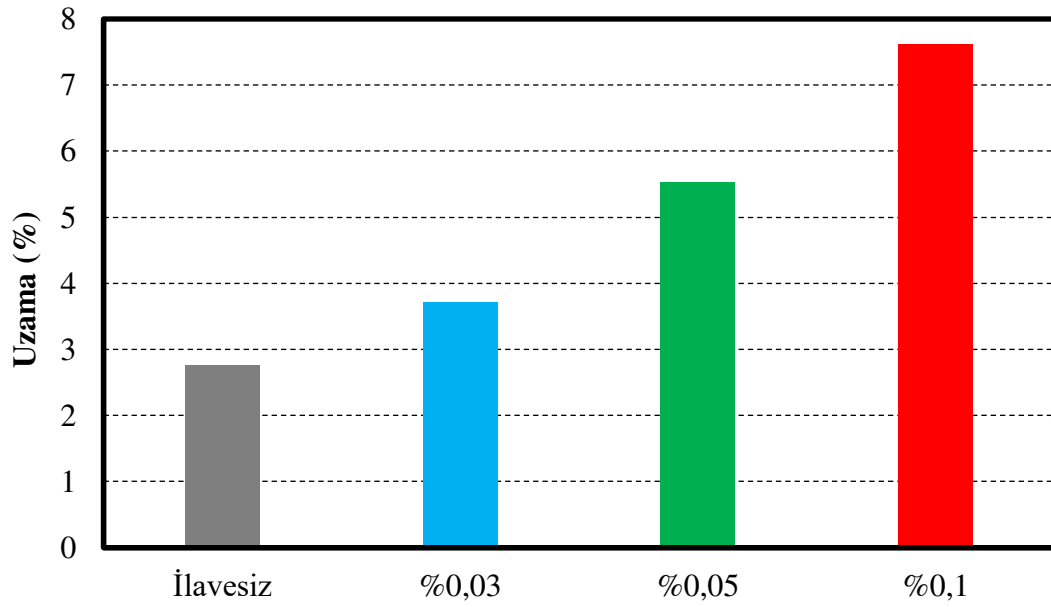


Şekil 45: V Oranına Göre ϵ - σ Değişimi

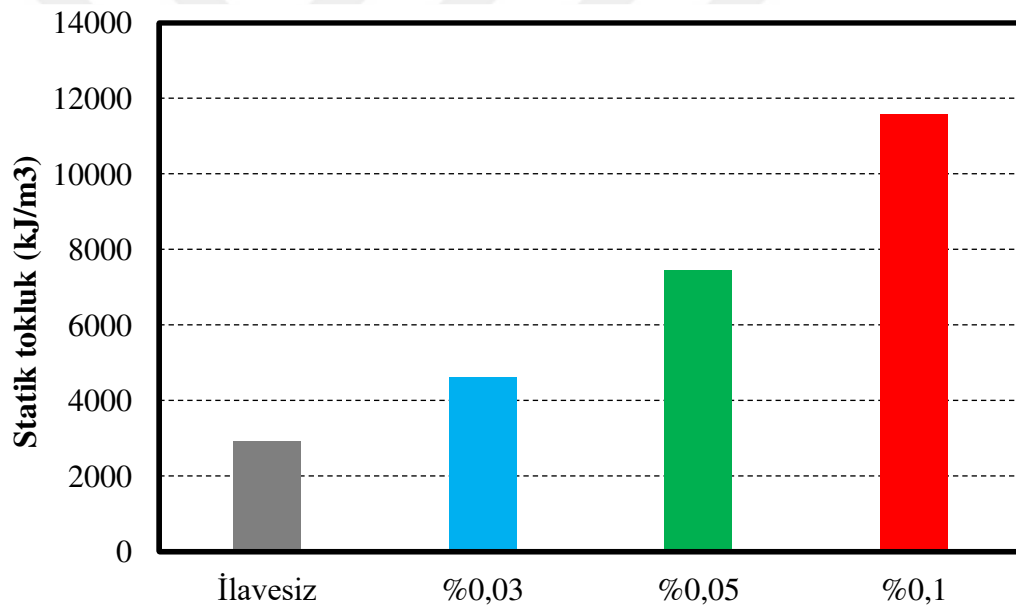
Şekil 45'te verilen grafik sonuçları incelendiğinde V ilavesi ile gerilme ve şekil değiştirme üzerindeki etkiler bariz bir şekilde gözlenmektedir. Çekme dayanımı değerleri V ilaveli dökümlerde V ilave edilmeden yapılan ETİAL 177 döküme nazaran artış göstermiştir. V ilave oranının artması ile birlikte de gerilme değerlerinde artış olduğu tespit edilmiştir. V alaşım elementi ilavesinin alaşım özelliklerine olumlu yönde etki ettiği tespit edilmiştir. Şekil 46'da çekme testinden elde edilen maksimum gerilme, Şekil 47'de % uzama, Şekil 48'de tokluk değerlerinin V ilavesi ile değişimi grafik olarak verilmiştir.



Şekil 46: Maksimum Gerilme Değerleri Değişimi



Şekil 47: % Uzama Değerleri Değişimi



Şekil 48: Statik Tokluk Değerleri Değişimi

Şekillerde verilen değerler incelendiğinde çekme gerilmesi değerlerinin V ilave edilmeyen dökümlerde ortalama 137 MPa, %0,03 V ilavesinde 159 MPa, %0,05 V ilavesinde 168 MPa ve %0,1 V ilaveli dökümlerde de 185 MPa değerlerine kadar artış gösterdiği gözlenmiştir. % uzama değerleri incelemelerinde de V ilavesinin olumlu yönde etkisi olduğu anlaşılmaktadır. Sonuçlar V ilavesiz dökümde %2,76 iken V ilavesine bağlı olarak artış göstererek sırasıyla %3,71, %5,53 ve %7,61 şeklindedir. Tokluk değerleri değerlendirildiğinde V ilavesinin alaşıma olumlu yönde etki ettiği tespit edilmiştir. İlavesiz ETİAL 177 alaşımı dökümlerinde tokluk değeri 2919 kJ/m³ iken V ilavesi ile artış göstererek,

%0,3 V ilavesinde 4629 kJ/m³, %0,05 V ilavesinde 7451 kJ/m³, %0,1 V ilaveli dökümde 11581 kJ/m³ değerine kadar yükseldiği tespit edilmiştir. Konu ile ilgili yapılan çalışmalarda ETİAL 177 Al döküm içerisine alaşım elementi ilavelerinin mekanik özellikleri geliştirdiği bilinmektedir. Bu kapsamda farklı alaşım elementi ilaveleri de söz konusudur.

Bir çalışmada ağırlıkça 0,03, 0,06 ve 0,1 Al-3Nb-0,55B master alaşımı ilavesinin mekanik özellikleri üzerindeki etkisini incelemiştir. Mekanik değerleri üzerine elde ettiği sonuçlar değerlendirildiğinde V ilavesinin tane inceltici bir etkiye sahip olduğu ve buna bağlı olarak katılaşma hızının artması ile birlikte mekanik değerlerde de artış olduğunu belirtmiştir (Aydoğan vd., 2022).

Yapmış oldukları çalışmada ETİAL 177 Al alaşımına Eu elementi ilavesinin etkisini incelemişlerdir. Elde edilen sonuçlarda ilgili elementin ilavesi ile tane inceltici etki göstermesine bağlı olarak mekanik değerlerde artış olduğunu belirtmişlerdir (Şahin & Dışınar, 2023).

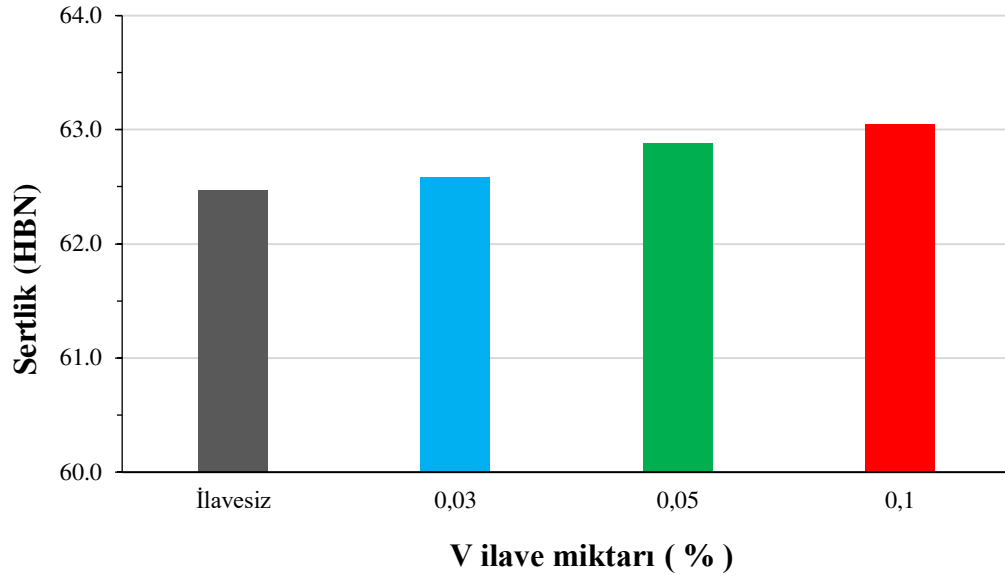
3.5.2. Sertlik Test Sonuçları

İlavesiz ETİAL 177 ve değişen oranlarda V ilaveli olarak hazırlanan sıvı metal dökümlerden elde edilen numunelere ait sertlik ölçümleri oda sıcaklığında Brinellyöntemi ile gerçekleştirilmiştir. HRB test metodu 1,6 mm çaplı bilye ile 2,5 kgf ön yük ve 62,5 kgf toplam yük altında her bir numuneden en az 5'er adet alınarak sertlik değerlerinin ortalaması alınmıştır. Tablo 15 'te döküm deney numunelerinden elde edilen sertlik ölçüm sonuçları verilmiştir. Ölçümler esnasında çok düşük ya da çok yüksek çıkan bazı değerler ortalamalara dahil edilmemiştir.

Tablo 15: Sertlik Ölçüm Sonuçları

Numune adı	Sertlik (HRB) değerleri					
ETİAL 177	62,3	62,4	65,1	58,4	63,2	63,4
ETİAL 177+% 0,03V	63,1	61,8	64,4	62,1	60,6	63,5
ETİAL 177+% 0,05 V	61,3	60,7	62,5	65,4	63,6	63,8
ETİAL 177+% 0,1V	59,8	64,1	61,9	63,2	65,1	64,2

Tablo 15'te verilen değerlerin ilgili alaşım için belirlenen değer limitleri içerisinde olduğu anlaşılmaktadır. V ilavesi ile elde edilen sonuçların birbirine çok yakın olduğu tespit edilmiştir. V ilavesi ile alaşım sertlik özelliklerinde bariz somut bir değişim tespit edilmemiştir. Çok az da olsa artış gözlenirse de ilgili sonuçların anlamlı olmadığı düşünülmektedir. Şekil 49'da elde edilen sonuçların değişen V oranına bağlı olarak grafik gösterimi verilmiştir.



Şekil 49: Sertlik Testi Sonuçlarının Grafik Gösterimi

Şekil 49’da verilen sonuçlar incelendiğinde ortalama sertlik değerlerinin ETİAL 177 dökümde 62,47 HRB, %0,03 V ilaveli dökümde 62,58 HRB, %0,05 V ilaveli dökümde 62,88 HRB, %0,1 V ilaveli dökümde 63,05 HRB olduğu tespit edilmiştir. Sonuçlar V artışı ile çok az miktarda artış tespit edilmiş olsa da ilgili artışın anlamlı alaşım elementi ilavesi ile ilgili olmadığı düşünülmektedir.

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında ETİAL 177 Al alaşımının kokil kalıba dökümünde V ilave edilmeyen ve değişen oranlarda (%0,03-%0,05-%0,1) V ilavesi ile döküm deneyleri yapılarak V ilavesinin akıcılık, mikroyapı ve mekanik özellikleri üzerinde etkisi araştırılmıştır. Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde sunulmuştur.

- Dökümlerde nihai amaç V ilavesinin etkisinin incelenmesi olduğundan yapıda muhtemel gazdan kaynaklı hataların minimize edilmesi için uygulanan sıvı metal kalitesi VAK ve K-mold kalıpları ile test edilmiştir. Deney alaşımlarının dökümlerinden alınan numunelerinde VAK numunelerinin yoğunluk ölçümlerinde %0,5'in altında gözenek ve K-mold kalıplarında 1'in altında K değerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu değerlere göre gazdan kaynaklı hataların ortadan kaldırılması amacıyla azot gazı ile lans yardımıyla 5 dk sıvı metal temizliği işlemleri sonucu sıvı metal kalitesinin uygun olduğu tespit edilmiştir.
- V ilavesinin akıcılık döküm numune sonuçları incelendiğinde hem spiral hem de dört kanallı akıcılık kalıbında değişen sıvı metal ilerleme mesafeleri ortaya çıktığı görülmüştür. Kesit kalınlığı değişiminin akıcılık değerlerine etki ettiği ve kesit kalınlık artışı ile birlikte sıvı metal ilerleme mesafelerinin arttığı gözlenmiştir.
- ETİAL 177 alaşımı V ilavesi yapılmayan dökümünde 2 mm kalınlığındaki kanal 4 mm, 4 mm kanalda 22 mm, 6 mm kanalda 135 mm, 8 mm kanalda sıvı metal kalıp boşluğu kadar ilerleyerek 300 mm ilerleme mesafesi ölçülmüştür. %0,03 V ilaveli dökümde sırasıyla 14 mm, 78 mm, 132 mm ve 300 mm sıvı metal ilerlemesi tespit edilmiştir. %0,05 V ilaveli dökümde elde edilen değerler ise 16 mm, 99 mm, 170 mm ve 300 mm olarak ölçülmüştür. %0,1 V ilaveli döküm deneyinde ise 32 mm, 127 mm, 189 mm ve 300 mm olduğu ölçülmüştür.
- Spiral kalıba dökümde sıvı metal ilerleme mesafeleri incelendiğinde V ilavesiz dökümde 330 mm, %0,03 V ilaveli dökümde 335 mm, %0,05 V ilaveli dökümde 368 mm ve %0,1 V ilaveli dökümde 374 mm olduğu tespit edilmiştir. Etial 177 alaşıma ilave edilen vanadyum miktarı arttıkça, sıvı metal ilerleme mesafesi %13,33 artmıştır.
- Akıcılık testine ait yapılan çalışmalar sonucunda V ilavesi ile sıvı metal ilerleme mesafelerinde artış ve akıcılık özelliklerinde olumlu yönde gelişme tespit edilmiştir.

- ETİAL 177 Al alaşımının farklı kesit kalınlıklarına sahip bölgelerinden ve değişen V ilavelerine göre mikroyapı incelemeleri yapılmıştır. Mikroyapı resimleri incelendiğinde kesit kalınlığının artmasına bağlı olarak tane yapılarının ve yapıda ortaya çıkan Si kristallerinin daha da büyük olduğu gözlenmektedir. Yapıda kalınlık arttıkça mikro yapıdaki soğumaya bağlı olarak tanelerin büyüdüğü ve değişen oranlarda % V ilavesi ile mikro yapıların küçüldüğü gözlenmiştir. Ayrıca yapıda V ilavesine bağlı olarak yapıda değişimler tespit edilmiştir.
- Döküm numunelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesine yönelik çekme testi sonuçlarına göre çekme gerilmesi değerlerinin V ilave edilmeyen dökümlerde 146 MPa, %0,03 V ilavesinde 177 MPa, %0,05 V ilavesinde 187 MPa ve %0,1 V ilaveli dökümlerde de 206 MPa değerlerine kadar artış gösterdiği gözlenmiştir. Etial 177 alaşıma ilave edilen vanadyum miktarı arttıkça, çekme gerilmesi %41,09 artmıştır.
- Çekme testlerinden elde edilen bir diğer sonuç olarak % uzaman değerleri incelendiğinde V ilavesi ile alaşımın uzama değerlerinde artış tespit edilmiştir. İlavesiz dökümde %2,3 olan uzama miktarı, artan V miktarı ile artış göstermiş ve %1 V ilavesinde maksimum % 7'lere varan değere ulaşmıştır.
- Tokluk değerleri değerlendirildiğinde V ilavesinin alaşıma olumlu yönde etki ettiği tespit edilmiştir. V ilavesiz ETİAL 177 alaşımı dökümlerinde tokluk değeri 2626 kJ/m³ iken V ilavesi ile artış göstererek, %0,3 V ilavesinde 5536 kJ/m³, %0,05 V ilavesinde 7665 kJ/m³, %0,1 V ilaveli dökümde 11654 kJ/m³ değerine kadar yükseldiği tespit edilmiştir.
- Ortalama sertlik değerlerinin V ilavesiz dökümde 62,47 HRB, %0,03 V ilaveli dökümde 62,58 HRB, %0,05 V ilaveli dökümde 62,88 HRB, %0,1 V ilaveli dökümde 63,05 HRB olduğu görülmektedir. Sonuçların birbirine çok yakın olduğu tespit edilmiş ve anlamlı bir değişim tespit edilememiştir. Vanadyum ilavesinin sertlik üzerinde etkisi olmadığı tespit edilmiştir.

KAYNAKÇA

- Akhtar, S., Dispınar, D., Arnberg, L. and Di Sabatino, M. (2009). Effect of hydrogen content, melt cleanliness and solidification conditions on tensile properties of A356 alloy, *International Journal of Cast Metals Research*, 22(1-4), pp.22-25.
- Akman, Ö., Atasever, S., Güçlü, E., & Gümüş, G. (2015). Alüminyum ve İnsan.
- Alcoa, 2021. <http://www.alcoa.com/sustainability/en/elysis>, (Erişim Tarihi: 15.04.2021)
- Alim, B. (2017) . Tavlama sıcaklığı, basınç ve dış manyetik alanın şekil hafızalı nanoalaşımların x-ışını şiddet oranları ve valens elektron yapıları üzerine etkilerinin incelenmesi.
- AL-SAADI, H. I. A., & TUNAY, R. F. (2017). Suni Yaşlandırma İşleminin Alüminyum Alaşımının Sertliği Üzerine Etkisi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 5(3), 525-532.
- An, F., Zhang, B., Yan, Y., & Wang, L. (2021). Effect of vanadium contents on microstructure and mechanical properties of ti–6al–xv components produced by wire + arc additive manufacturing. *Materials Transactions*, 62(8), 1071-1078. <https://doi.org/10.2320/matertrans.mt-m2021031>
- Askeland, D. R., Fulay, P. P., Wright, W. J. (1998) The Science and Engineering of Materials. (Vol. 4, pp. 80-107). United Kingdom. Nelson Thornes Ltd.
- Atik, M. (2023). *A356 Alaşımına Molibden İlavesinin Etkileri* (Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 776838)
- Aydoğan, F., Dizdar, K. C., Sahin, H., Mentese, E., & Dispınar, D. (2022). Mechanical Property Comparison of Al11Si Wheels Grain Refined by Ti, Nb and MTS. *Archives of Foundry Engineering*, 22.
- Balaban, C., Şen, Ö., Özer, G., & Güler, K. A. 380 Alaşımının Soğuma Eğrisinde Ve Akışkanlığında Tane İnceltmenin Etkisi.
- Binczewski, G. J. (1995). The point of a monument: A history of the aluminum cap of the Washington Monument. *JOM*, 47(11), 20-25.
- Birinci M., 2018 Birinci M, Gök R. Bilimsel madencilik dergisi, 2018 yılı 57. sayı 199 sf.
- Bolton, W., 1993, Engineering Materials Technology 2nd. Edition, *B.H Newness*, Oxford, 271-280.
- Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2013). Materials science and engineering. Ankara. Nobel Akademik Yayıncılık.

- Canbaz, E. (2021). *Zr ve/veya V ilavesinin Al-Si alaşımlarının yapısal ve mekanik özelliklerine etkisinin incelenmesi* (Master's thesis, Konya Teknik Üniversitesi).
- Car, E., (2010). Birincil alüminyum üretim teknolojilerine genel bir bakış. *Metalurji Dergisi* 156, 37-48.
- Car, E. (2011). Alüminyum Üretim Süreçleri, TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası, (pp.6-52), İstanbul
- Car, E. (2019). Sürdürülebilir kalkınma ve alüminyum. *Metalurji*, 187, 25-37.
- Car, E., (2019). İkincil alüminyum üretimine genel bir bakış. *Metalurji*, 187, 25-37.
- Chan, W., Gao, M., Doğan, Ö., & King, P. (2010). Thermodynamic assessment of v-rare earth systems. *Journal of Phase Equilibria and Diffusion*, 31(5), 425-432.
<https://doi.org/10.1007/s11669-010-9779-4>
- Çetin, A. (2017). Alüminyum Döküm Alaşımları, El Kitabı Dökümhane Eğitim Projesi Özel Sayı Serisi, İstanbul
- Demirci, K. M. (2012). Dünya alüminyum ticaretinde Türkiye'nin yeri. *Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği Metalürji Mühendisleri Odası*, 17-29.
- Dispınar, D. and Campbell, J. (2004) Critical assessment of reduced pressure test. Part 1: Porosity phenomena, *International Journal of Cast Metals Research*, 17(5), pp.280-286.
- Dispınar, D. and Campbell, J. (2004). Critical assessment of reduced pressure test. Part 2: Quantification, *International Journal of Cast Metals Research*, 17(5), pp.287-294.
- Dispınar, D. and Campbell, J. (2006) Use of bifilm index as an assessment of liquid metal quality, *International Journal of Cast Metals Research*, 19(1), pp.5-17.
- Dispınar, D. and Campbell, J. (2007) A comparison of methods used to assess aluminium melt quality, *In Shape Casting: TMS, The Second International Symposium*.
- Dispınar, D. and Campbell, J. (2007). Supercooling of metal in fine filters, *Journal of materials science*, 42(24), pp.10296-10298
- Erman, C. A. R. (2016). Boksit Madenciliği *TMMOB dergisi*, AZERBAYCAN.
- Erman, C. A. R. Det. Al Alüminyum LTD. AZERBAYCAN.
- Eti Alüminyum, 2023. <http://www.etialuminyum.com/>, (Erişim Tarihi: 01.12.2023).
- Gopalan, R. and Prabhu, N.K. (2011) Oxide bifilms in aluminium alloy castings—a review, *Materials science and Technology*, 27(12), pp.1757-1769.
- Gyarmati, G., Fegyverneki, G., Tokár, M. and Mende, T. (2021). The effects of rotary degassing treatments on the melt quality of an Al–Si casting alloy, *International Journal of Metalcasting*, 15(1), pp.141-151.

- Habashi, F. (2003). *Extractive metallurgy of aluminum*. In *Handbook of aluminum* (pp. 1-45). CRC Press.
- Heybeli Ulutaş, G. (2007). *Çeşitli numunelerde vanadyum tayini* (Master's thesis, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Hu, X.P., Zhao, Y., Wang, Q., Zhang, X.Z., Li, R.X. and Zhang, B.R. (2019). Effect of pouring and cooling temperatures on microstructures and mechanical properties of as-cast and T6 treated A356 alloy, *China Foundry*, 16(6), pp.380-385.
- Inert Anode Technology, 2021. Inert Anode Technology - The Aluminum Smelting Process (aluminum-production.com), (Erişim Tarihi: 17.04.2021)
- İzgi, N. (2011). *Alüminyumun geri dönüştürülmesi ve özelliklerinin geliştirilmesi* (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Jeon, J. H., & Bae, D. H. (2019). Effect of cooling rate on the thermal and electrical conductivities of an A356 sand cast alloy. *Journal of Alloys and Compounds*, 808, 151756.
- Júnior, J., Matos, A., Oliveira, R., Buzalaf, M., Costa, I., Rocha, L., ... & Grandini, C. (2017). Preparation and characterization of alloys of the ti–15mo–nb system for biomedical applications. *Journal of Biomedical Materials Research Part B Applied Biomaterials*, 106(2), 639-648. <https://doi.org/10.1002/jbm.b.33868>
- Kaufman J.G. and Rooy E.L. (2004). *Aluminum Alloy Castings: Properties, Processes, and Applications*, ASM International, 1-65.
- Kaufman, J. G., ve Rooy, E. L. (2004). *Aluminum Alloy Properties , Processes , and Applications*. *Aluminum Alloy Castings: Properties, Processes, and Applications* (ss. 1–65).
- Kawalec, M. and Fraś, E. (2008). Structure, mechanical properties and wear resistance of high-vanadium cast iron. *Isij International*, 48(4), 518-524. <https://doi.org/10.2355/isijinternational.48.518>
- Kawalec, M. (2014). Microstructure control of high-alloyed white cast iron. *Archives of Foundry Engineering*, 14(1), 49-54. <https://doi.org/10.2478/afe-2014-0012>
- Khakzadshahandashti, A., Varahram, N., Davami, P., & Pirmohammadi, M. (2019). Evaluation of simultaneous effect of melt filtration and cooling rate on tensile properties of A356 cast alloy. *Iranian Journal of Materials Science & Engineering*, 16(3).
- Lai, J., Shi, C., & Chen, X. (2014). Effects of v addition on recrystallization resistance of 7150 aluminum alloy after simulative hot deformation. *Materials Characterization*, 96, 126-134. <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2014.07.028>

- Lv, H., Li, Z., Xu-dong, L., Yang, K., Li, F., & Xie, H. (2021). Effect of vanadium content on the microstructure and mechanical properties of in718 alloy by laser cladding. *Materials*, 14(9), 2362. <https://doi.org/10.3390/ma14092362>
- Matweb, 2021. <http://www.matweb.com/>, (Erişim Tarihi: 22.03.2021)
- Meng, Y., Chen, J., Zhao, Z., & Zuo, Y. (2013). Effect of vanadium on the microstructures and mechanical properties of an al–mg–si–cu–cr–ti alloy of 6xxx series. *Journal of Alloys and Compounds*, 573, 102-111. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2013.03.239>
- Meroueh, L., Eagar, T., & Hart, D. (2020). Effects of mg and si doping on hydrogen generation via reduction of aluminum alloys in water. *Acs Applied Energy Materials*, 3(2), 1860-1868. <https://doi.org/10.1021/acsaem.9b02300>
- Möller, H., Govender, G. and Stumpf, W.E. (2007). Natural and artificial aging response of semisolid metal processed Al–Si–Mg alloy A356, *International Journal of Cast Metals Research*, 20(6), pp.340-346.
- Park, J. B., & Kim, Y. K. (2000). *Metallic Biomaterials, The Biomedikal engineering Handbook*
- Polovov, I., Chernyshov, M., Volkovich, V., Vasin, B., & Griffiths, T. (2017). Vanadium speciation in fused alkali chlorides. *Journal of the Electrochemical Society*, 164(8), H5139-H5144. <https://doi.org/10.1149/2.0201708jes>
- Raiszadeh, R. and Griffiths, W.D. (2006). A method to study the history of a double oxide film defect in liquid aluminum alloys, *Metallurgical and Materials Transactions B*, 37(6), pp.865-871.
- Ran, G., Zhou, J.E. and Wang, Q.G. (2008). Precipitates and tensile fracture mechanism in a sand cast A356 aluminum alloy, *Journal of Materials Processing Technology*, 207(1-3), pp.46-52.
- Régnier, J. (2016). Bauxite—its technical and economical history during the last hundred years. In *Essential Readings in Light Metals: Volume 1 Alumina and Bauxite* (pp. 3-20). Cham: Springer International Publishing.
- Sahin, H., & Dispinar, D. (2023). Effect of Rare Earth Elements Erbium and Europium Addition on Microstructure and Mechanical Properties of A356 (Al–7Si–0.3 Mg) Alloy. *International Journal of Metalcasting*, 1-10.
- Sarsılmaz, F., 2008, Sürtünme Karıştırma Kaynak Yöntemi İle Birleştirilmiş AA7075/AA6061 Kaynaklı Bağlantıların Mikroyapı Ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 4-16.
- Savaş, Ö. (2005). *Alüminyum-silisyum döküm alaşımlarında mikro porozite oluşumuna etki eden faktörlerin incelenmesi* (Doctoral dissertation, Sakarya Üniversitesi (Turkey)).

- Shabani, M. O., Mazahery, A., Bahmani, A., Davami, P., & Varahram, N. (2011). Solidification of A356 Al alloy: experimental study and modeling. *Kovove Mater*, 49, 253-258.
- Shackelford, J. F. (2018). *Materials science for engineers*. (Vol. 4, pp. 104-126). İstanbul. Literatür Yayıncılık.
- Shaha, S., Czerwiński, F., Kasprzak, W., Friedman, J., & Chen, D. (2015). Microstructure and mechanical properties of al–si cast alloy with additions of zr–v–ti. *Materials & Design*, 83, 801-812. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2015.05.057>
- Sharma, R. Anesh. And Dwivedi, D. K., 2005, Influence of silicon (wt %) and heat treatment on abrasive wear behaviour of cast Al–Si–Mg alloys, *Materials Science and Engineering A* 408, 274-280.
- Sheykh-Jaberi, F., Cockcroft, S. L., Maijer, D. M., & Phillion, A. B. (2019). Comparison of the semi-solid constitutive behaviour of A356 and B206 aluminum foundry alloys. *Journal of Materials Processing Technology*, 266, 37-45.
- Švecová, I., Tillová, E., & Kuchariková, L. (2017). Structural analysis of iron based intermetallic phases in secondary alsiccu4 cast alloy. *Production Engineering Archives*, 15(15), 3-6. <https://doi.org/10.30657/pea.2017.15.01>
- Tokatlı, M. (2022). *Sıvı Metal Kalitesinin K-Mold Tekniği ile Tayini ve Çekinti Üzerine Etkisi* (Yüksek Lisans Tezi, Bayburt Üniversitesi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi'nden edinilmiştir. (Tez No. 710628)
- Totten, G. E., & MacKenzie, D. S. (Eds.). (2003). *Handbook of aluminum: vol. 1: physical metallurgy and processes* (Vol. 1). CRC press.
- Totten, G. E., & MacKenzie, D. S. (Eds.). (2003). *Handbook of Aluminum: Volume 2: Alloy production and materials manufacturing*. CRC press.
- Töre, C. (2012). Mekanik Tasarımda Alüminyum ve Özellikleri, *Makine Mühendisleri Odası*, Ankara.
- Uludag, M. and Dispınar, D. (2017) Assessment of mechanism of pore formation in directionally solidified A356 alloy, *Archives of Foundry Engineering*, 17.
- Uludağ, M., Cetin, R., Dişpinar, D. and Tiryakioğlu, M. (2018) On the interpretation of melt quality assessment of A356 aluminum alloy by the reduced pressure test: the Bifilm index and its physical meaningü *International Journal of Metalcasting*, 12(4), pp.853-860.
- Vargel, C. (2004). *Corrosion of Aluminium*. Corrosion of Aluminium (ss. 85–81). Elsevier.

- Vizureanu, P., Minciună, M., Iovan, G., & Stoleriu, S. (2017). Synthesis, processing, and characterization of the cobalt alloys with silicon addition.. <https://doi.org/10.5772/intechopen.70886>
- Voron, M., Pruss, M., & Byba, O. (2021). Microalloying and modification of cast aluminum alloys for increasing their level of exploitation properties at elevated temperatures. a review. *Casting Processes*, 145(3), 61-68. <https://doi.org/10.15407/plit2021.03.061>
- Wang, W., Zhang, X., Gao, Z., Yang, J., Ye, L., Zheng, D., ... & Liu, L. (2010). Influences of ce addition on the microstructures and mechanical properties of 2519a aluminum alloy plate. *Journal of Alloys and Compounds*, 491(1-2), 366-371. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2009.10.185>
- Wang, H., Li, C., Li, J., Wei, X., & Mei, R. (2013). Effect of deformation and aging on properties of al-4.1%cu-1.4%mg aluminum alloy. *Isrn Materials Science*, 2013, 1-8. <https://doi.org/10.1155/2013/902970>
- Word Aluminium, 2021. <http://www.world-aluminium.org/>, (Erişim Tarihi: 01.04.2021)
- Yapıcı, C. (2012). *AlTi5B1 Master Alaşımının Alüminyum Basınçlı Döküm Yönteminde Tane İnceltici Olarak Kullanımının İncelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi’nden edinilmiştir. (Tez No. 323818)
- Yıldırım, H., 2006, *Alüminyum malzemenin otomotiv sektöründeki uygulamaları*, (Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi’nden edinilmiştir. (Tez No. 172165)
- Yüksel, M. (2003). *Malzeme Bilimlerine Genel Bir Bakış*, 1, Özkan Matbaacılık
- Yüksel, Ç., Aybarç, U., Erzi, E., Dispinar, D. and Cigdem, M. (2019) Melt cleaning efficiency of various fluxes for A356 alloy, *In Shape Casting* (pp. 273-280). Springer, Cham.
- Zhu, Q., Meng, Y., Kang, Y., Kong, S., Ou, Y., & Zuo, Y. (2019). Effect of cooling rate on morphology and type of vanadium-containing phases in al-10v master alloy. *China Foundry*, 16(5), 300-306. <https://doi.org/10.1007/s41230-019-9017-6>

ÖZ GEÇMİŞ

Merve ÇEKER; tarihinde ~~XXXXXX~~ doğdu. İlköğrenimini Şehit Recep Eşiyok İlköğretim Okulunda, ortaöğrenimini Hoca Ahmet Yesevi Ortaokulunda ve lise öğrenimini 2011 yılında Bayburt Anadolu Lisesinde tamamladı. yılında Bayburt Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünü kazandı. yılında Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Termodinamik Anabilim Dalında Yüksek Lisans programını kazandı. Daha sonra yılında Bayburt Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünde Tezli Yüksek Lisans programını kazandı. yılında Türk Standartları Enstitüsü'nde (TSE) uzman mühendis olarak göreve başlamış ve halen bu görevine devam etmektedir.

