

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

A713 ALAŞIMININ DÖKÜM VE KARAKTERİZASYONU

YEŞİM BAŞTÜRK

KOCAELİ 2019

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ



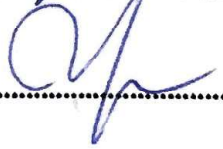
A713 ALAŞIMININ DÖKÜM VE KARAKTERİZASYONU

YEŞİM BAŞTÜRK

Prof.Dr. Muzaffer ZEREN
Danışman, Kocaeli Üniv.

Prof.Dr. Muharrem YILMAZ
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.

Prof.Dr. Kenan YILDIZ
Jüri Üyesi, Sakarya Üniv.


.....

.....

.....

Tezin Savunulduğu Tarih: 16.07.2019

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Tez çalışmamda desteğini esirgemeyen, bana ışık tutan ve güvenen danışman hocam Prof.Dr. Muzaffer ZEREN'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans öğrenimim boyunca görüşleri ile çalışmalarına katkıda bulunan, karşılaştığım her zorlukta yurtdışında olduğu süreç içerisinde dahi destek olan ve zamanını ayıran değerli hocam Yrd.Doç.Dr. Erdem KARABULAK'a teşekkürü bir borç bilirim.

Deneysel çalışmalarında İstanbul Üniversitesi Döküm laboratuvarını kullanma imkanı sağlayıp bilgileri ile yol gösteren değerli hocam Doç.Dr. Derya DIŞPINAR'a içtenlikle teşekkür ediyorum.

Akademik çalışmamda, birçok aşamada bana yardımcı olan Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü araştırma görevlilerine ve özellikle Dr. Fulya KAHRIMAN'a teşekkür ederim.

Hayatım boyunca bana güç veren, maddi ve manevi en büyük destekçilerim canım babam, annem, kardeşlerim, engin bilgisiyle yön gösterici olan kutup yıldızım ablam Oya ÖZDEMİR'e ve kardeş gibi gördüğüm Burçak KILIÇ'a teşekkür ederim.

Bu tezi sizlere sunmamda büyük katkısı olan beni her zorlukta cesaretlendiren, desteklerini esirgemeyen hayat arkadaşım, eşim İbrahim BAŞTÜRK'e teşekkür ederim.

Haziran – 2019

Yeşim BAŞTÜRK

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLolar DİZİNİ	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ÖZET.....	viii
ABSTRACT	ix
GİRİŞ	1
1. ALÜMİNYUM VE ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI	2
1.2. Alüminyum ve Alüminyum Alaşımlarının Özellikleri	2
1.2. Alüminyum Alaşımlarının Sınıflandırılması.....	4
1.2.1. Dövme alüminyum ve alaşımları	4
1.2.1.1. 1xxx serisi	5
1.2.1.2. 2xxx serisi	6
1.2.1.3. 3xxx serisi	6
1.2.1.4. 4xxx Serisi	6
1.2.1.5. 5xxx serisi	7
1.2.1.6. 6xxx serisi	7
1.2.1.7. 7xxx serisi	7
1.2.1.8. 8xxx serisi	8
1.2.2. Döküm alüminyum alaşımları.....	8
1.2.2.1. Al-Cu alaşımları (2xx.x serisi)	10
1.2.2.2. Al-Si-Mg veya Al-Si-Cu alaşımları (3xx.x serisi).....	10
1.2.2.3. Al-Si alaşımları (4xx.x serisi).....	10
1.2.2.4. Al-Mg alaşımları (5xx.x serisi).....	11
1.2.2.5. Al-Sn alaşımları (8xx.x serisi).....	11
1.2.3. AA713 Alüminyum alaşımı	11
2. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ DÖKÜMÜ	13
2.1. Kum Kalıba Döküm	13
2.2. Metal Kalıba Döküm	14
2.3. Basınçlı Döküm	15
2.4. Yarı Katı Döküm	16
3. TANE İNCELTME	17
3.1. Alüminyum Alaşımlarında Kullanılan Tane İncelticiler.....	18
3.2. Alüminyum Dökümlerinde Tane İnceltme Mekanizmaları	21
4. SICAK YIRTILMA	27
5. MALZEME VE YÖNTEM.....	31
5.1. Çalışma Programı	31
5.2. A713 Alaşımının Üretimi	31
5.3. Sıcak Yırtılma Testi	32
5.4. Numunelerin Metalografik İşlemlerle Hazırlanması.....	33
5.5. Sertlik Ölçümü	34
5.6. Aşınma Testi	34

5.7. SEM ve EDX ile Karakterizasyon	36
5.8. Optik Mikroskop ile Karakterizasyon	37
6. BULGULAR	38
6.1. Sıcak Yırtılma Sonuçları	38
6.2. Aşınma sonuçları	39
6.3. Mikroyapı Sonuçları	39
6.4. Sertlik Sonuçları	41
6.5. SEM Sonuçları	41
7. TARTIŞMA	42
KAYNAKLAR	43
KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER	46
ÖZGEÇMİŞ	47



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Al-Zn denge diyagramı	8
Şekil 2.1. Kum kalıp.....	14
Şekil 2.2. Metal Kalıp.....	15
Şekil 3.1. Filmaşın (rod) ve tablet şeklinde tane incelticiler	18
Şekil 3.2. a) Tane inceltilmemiş, b) Al5Ti1B bileşiminde 10 ppm bor ilave edilmiş 3004 alaşımının tane yapıları.	20
Şekil 3.3. Ti-B bileşimine bağlı olarak tane boyutunun değişimi.....	21
Şekil 3.4. Al-Ti faz diyagramı.....	22
Şekil 3.5. a) Alüminyum TiAl ₃ partikülleri üzerinde çekirdeklenerek büyümesi sırasında geçirdiği aşamaların şematik gösterimi, b) Tane inceltilmemiş ve tane inceltilmiş sıvı alüminyum soğuma eğrilerinin gösterimi	23
Şekil 3.6. ETİAL 160 primer alaşımına katılan Al-5Ti-1B master alaşımının bekletme zamanına göre tane boyutu değişimi	24
Şekil 3.7. %99.7 safiyette alüminyumda titanyum ilavesi ile tane inceltme sonuçları	25
Şekil 3.8. A356 alaşımında üç farklı master alaşımı ile tane	25
Şekil 3.9. A319 alaşımında tane inceltme sonuçları	26
Şekil 4.1. a) Kol uzunluğunun yırtılma hassasiyetine etkisi b) Çatlak pozisyonunun hassasiyete etkisi.....	28
Şekil 4.2. Sıcak yırtılma test numunesi	30
Şekil 4.3. a) Çatlaksız oluşum b) Kılcal çatlak c) Hafif çatlak oluşumu d) Orta dereceli çatlak oluşumu e)Kopma hasarı	30
Şekil 5.1. INDUCTOTHERM indüksiyon ocağı	31
Şekil 5.2. N-Tec kalıbı.	32
Şekil 5.3. N-Tec kalıbında şiddet faktörü gösterimi.	32
Şekil 5.4. Sıcak yırtılma döküm parçası numunesinden	33
Şekil 5.5. a) Şerit testere b) METKON GRIPO 2V zımparalama cihazı	34
Şekil 5.6. Future-Tech FV-700 vikers sertlik ölçüm cihazı.	34
Şekil 5.7. Micro Photonics PIN ON DISK aşınma cihazı.....	35
Şekil 5.8. RADWAG AS 220/C/2 hassas analitik terazi.....	35
Şekil 5.9. JSM-6060 marka taramalı elektron mikroskop.....	36
Şekil 5.10. Olympus BX41M-LED marka optik mikroskop.....	37
Şekil 6.1. a) 750°C tane inceltme yapılmamış A713 alaşımı b) 750°C Al5TiB master alaşımında %0,3 titanyum ilave edilmiş A713 alaşımı c) 750°C Al5TiB master alaşımında %0,9 titanyum ilave edilmiş A713 alaşımı.....	38
Şekil 6.2. Sıcak yırtılma duyarlılığı (HTS)	38
Şekil 6.3. 700°C Sıcak yırtılma testi sonucu.	39
Şekil 6.4. Aşınma oranının Ti ilavesi ile değişimi.	39
Şekil 6.5. a) Tane inceltilmemiş sırasıyla 100µm, 25µm, 10 µm mikroyapıları b) %0,3 Ti ilavesi ile tane inceltilmiş sırasıyla	

	100 μ m, 25 μ m, 10 μ m mikroyapıları c) %0,9 Ti ilavesi ile tane inceltmiş sırasıyla 100 μ m, 25 μ m, 10 μ m mikroyapıları.....	40
Şekil 6.6.	İkincil dentrit kolları arası mesafe.....	40
Şekil 6.7.	Titanyum ilavesi ile numunelerin sertlik değişimi.....	41
Şekil 6.8.	a) Tane inceltilmemiş 100 μ m ve 50 μ m SEM görüntüleri. b) %0.3 Ti tane inceltilmiş SEM görüntüleri c) %0.9 Ti tane inceltilmiş SEM görüntüleri.....	41



TABLULAR DİZİNİ

Tablo 1.1. Saf alüminyumun özellikleri	2
Tablo 1.2. Alaşım elementlerinin alüminyumun mekanik ve fiziksel özellikleri üzerine etkisi	3
Tablo 1.3. Dövme alüminyum alaşımlarının sınıflandırılması.....	4
Tablo 1.4. Dövme alüminyum alaşımlarının genel kullanım alanları	5
Tablo 1.5. Döküm alüminyum alaşımlarının sınıflandırılması	8
Tablo 1.6. Bazı döküm alaşımlarının kimyasal bileşimleri.....	9
Tablo 3.1. Endüstriyel uygulamalarda kullanılan tane incelticilerin kimyasal bileşimleri	19
Tablo 4.1. Sıcak yırtılma hassasiyeti hesabı için gerekli parametre katsayıları	29
Tablo 5.1. A713 alaşımının kimyasal bileşimi (%).	31
Tablo 5.2. Sıcak yırtılma hesaplama gösterimi.	33

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Al	: Hot Tearing Susceptibility (Sıcak Yırtılma Hassasiyeti)
°C	: Celsius, Sıcaklık ölçme birimi
Cu	: Bakır
Mg	: Magnezyum
Mg ₂ Si	: Magnezyum Silisit
MPa	: Megapascal
N/mm ²	: Newton/Milimetreküp
µm	: Mikrometre
Si	: Silisyum
Ti2B	: Titanyum borür
Zn	: Çinko

Kısaltmalar

Dk	: Dakika
EDX	: Energy Dispersive X-Ray (Enerji Açılımlı X-Işını Spektrometresi)
Gr	: Gram
HTS	: Hot Tearing Susceptibility (Sıcak Yırtılma Hassasiyeti)
SEM	: Scanning Electron Microscope (Taramalı Elektron Mikroskobu)
YMK	: Yüzey Merkezli Kübik

A713 ALAŞIMININ DÖKÜM VE KARAKTERİZASYONU

ÖZET

7xxx serisi alüminyum alaşımlarının temel alaşım elementleri çinko, magnezyum ve bakırdır. Bu serideki alüminyum alaşımları yüksek mekanik özelliklere sahiptir. Yüksek sıcaklık ve iyi korozyon direnci özelliğinin yanında hafif oluşu, birçok havacılık ve savunma sanayi uygulamalarında tercih sebebi olmaktadır. Bu çalışmada A713 serisi alaşımının döküm ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Tane inceltme işlemi Al5Ti1B master alaşımı ile gerçekleştirilmiştir. Döküm sıcaklıkları 700°C ve 750°C olarak seçilmiştir. Sıvı alüminyumun tane inceltmesi için %0,3 ve %0,9 olmak üzere iki farklı titanyum içeriği kullanılmıştır. Tane inceltme ile mekanik özelliklerde önemli gelişmeler elde edilmiştir. Deneysel sonuçlar mikroyapı analizi ile tane boyutunun incelendiğini göstermektedir. Sıcak yırtılmanın 750°C'de yapılan iki farklı tane inceltici oranıyla en aza indirildiği ve aşınma deneyi sonucunda aşınma dirençlerinin arttığı gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: A713 Alaşımı, Al5Ti1B, Sıcak Yırtılma, Tane İnceltme.

CASTING AND CHARACTERIZATION OF A713 ALLOY

ABSTRACT

The principal alloying elements for the 7xxx series aluminum are zinc, magnesium and copper. This series aluminum alloys have high mechanical properties. It is preferred in many aviation and defense industry applications due to its high temperature and good corrosion resistance beside its light weight is property. In this study, casting and mechanical properties of A713 series alloys were investigated. Grain refinement was achieved by adding Al5Ti1B master alloy. The pouring temperatures were selected as 700°C and 750°C. Two different level of 0,3% and 0,9% Ti were used for grain refinement of molten aluminum. Significant improvements in mechanical properties have been obtained by grain refinement. The experimental results showed that the grain size was reduced by microstructure analysis and the hot tear was minimized by two different grain refineries at 750°C.

Keywords: A713 Alloy, Al5Ti1B, Hot Tearing, Grain Refinement.

GİRİŞ

Alüminyum ve alüminyum alaşımları, mühendislik yapılarında en çok kullanılmakta olan metalik malzemelerden biri olmuştur. Yer kabuğunda, diğer metallerle bileşik halinde yaklaşık %8 oranında alüminyum bulunmaktadır. 19. yüzyılın ikinci yarısından itibaren endüstriyel çapta üretilmeye başlayan alüminyum çok yeni bir metal olmasına karşın, günümüzde bakır ve bakır alaşımları, kalay, kurşun ve çinko gibi diğer demir dışı metallerin toplamından daha fazla kullanılır [1,2].

Alüminyum ağırlıkça hafiftir ve buna karşın alaşımlandırıldığında iyi mukavvemetle sahip olmaktadır. Alüminyumun ısı ve elektrik iletkenliğinin yüksek olmasının yanında ısıl işlemlerle dayanımı artırılabilir. Pek çok şartta oldukça iyi korozyon direncine sahiptir. Alüminyuma döküm yöntemiyle şekil verilebilir, kolay işlenebilir ve kolay dövülebilir olması gibi birçok özelliğe sahip olması sebebiyle endüstriyel alanda tercih edilme sebebi olmuştur. Uzay ve havacılık, uçak, otomotiv, silah, inşaat, eşya, ısıtma-soğutma gibi birçok sektörde kullanılmaktadır. En büyük kullanım sektörü olan taşımacılık için otomobiller, hava taşıtları ve gemi sektörü en önemlileri olarak söylenebilir. Ambalaj sektörü ise taşımacılık sektörünü büyük bir hızla takip etmektedir.

Mekanik özellikleri geliştirme üzerine yapılan çalışmalarda saf alüminyuma, çinko, bakır, magnezyum ve silisyum gibi başka elementler eklenerek alaşımlandırma yapılmaktadır. Bu sayede yüksek mukavemetli alüminyum alaşımları elde edilerek çok daha geniş uygulama alanlarına ulaşmak hedeflenmiştir. Temel alaşım elementi çinko, magnezyum ve bakır olan 7xxx alüminyum alaşımları yüksek mekanik özelliklere sahiptir. Yüksek sıcaklık ve iyi korozyon direnci özelliği yanında hafif oluşu birçok havacılık ve savunma sanayi uygulamalarında tercih sebebi olmaktadır. [3-5]. A713 alaşımı ile ilgili literatürde açıklar olması sebebi ile bu konu üzerinde çalışma tercih edilmiştir.

1. ALÜMİNYUM VE ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI

1.2. Alüminyum ve Alüminyum Alaşımlarının Özellikleri

Alüminyum iki önemli özelliği ile bilinir. Bunlar; hafiflik ve korozyon direncidir. Saf alüminyumun yoğunluğu $2,7 \text{ g/cm}^3$ olup, yüzey merkezli kübik (YMK) kristal kafes yapısına sahiptir. Bu değer alüminyumun oldukça hafif olduğunu ve yaklaşık olarak bakır ve çeliğin üçte bir oranında özgül ağırlığa sahip olduğunu gösterir. Atom numarası 13 olan ve periyodik cetvelin IIIA grubunda yer alan alüminyum, görüntü olarak gümüş rengine benzemektedir.

Alüminyumun çekme dayanımı $70-100 \text{ N/mm}^2$ aralığındadır. Atmosfere, suya, tuzlu suya, yağa ve birçok kimyasallara karşı iyi korozyon direncine sahiptir. Alüminyum yumuşak ve sünek olduğundan tel ve levha haline getirilebilir. Saf alüminyumun özellikleri Tablo 1.1'de gösterilmektedir [6,7].

Tablo 1.1.Saf alüminyumun özellikleri [6]

Atom numarası	13
Atom ağırlığı	26,97 gr/mol
Kristal yapısı	Yüzey Merkezli Kübik (YMK)
Yoğunluğu	$2,7 \text{ gr/cm}^3$
Ergime noktası	658 °C
Yeniden kristalleşme sıcaklığı	150-300 °C
Özgül ısı	0,224 cal/gr(100°C)
Elastisite modülü	$72 \times 10^3 \text{ MPa}$
Kayma modülü	$27 \times 10^3 \text{ MPa}$
Çekme mukavemeti	40-90 MPa
Akma mukavemeti	10-30 MPa
Kopma uzaması	%30-40

Feldspatlar, mikalar ve killer doğada en fazla bulunan alüminyum bileşikleridir. Alüminyumun alev almama ve ferromanyetik olmama özelliği, elektrik elektronik endüstrisinde önemlidir. Alüminyum zehirli olmadığı için yiyecek ve içeceklerin

korunmasında kullanılabilir. Alüminyuma katılan elementler mekanik ve fiziksel özelliklerin gelişmesinde katkıda bulunur. Bununla ilgili olarak Tablo 1.2’de gösterilmiştir [8].

Tablo 1.2. Alaşım elementlerinin alüminyumun mekanik ve fiziksel özellikleri üzerine etkisi [8].

Nitelikler	Cu	Si	Mg	Zn	Ni	Co	Ti	Mn	Fe	Cr
Kopma mukavemeti	++	+	+	++	+	+	+			-
Elastiki sınır	++	+	-	+	-					
Sertlik	++		-	-	+			+	+	
Isıya dayanıklılık	++		++		+				+	
Kaynak kabiliyeti	-	++	+	-	-		+	+		+
Talaş kaldırma ile işlenebilirlik	++	-	+	+	+		++	+	++	+
Elastikiyet modülü	+	++	-	+	+	++		+	-	
Döküm kabiliyeti	+	++	-	+			+	-	-	
Süneklik	-	--	+				+		--	
Korozyon direnci	-	+	++	+				-	--	++
Anodizasyona elverişsizlik	-	+	++	+				-		

*++ : çok iyi + : iyi - : ortanın altında

Alüminyumun saflığı, bileşen olarak katılan alaşım elementleri ve üretim yöntemi alüminyumun mikroyapısını, mekanik ve fiziksel özelliklerini etkilemektedir [6].

Alüminyum, otomobilin dizayn edilmesinde kullanılacak önemli konstrüksiyon malzemesidir. Otomobillerin hareket sistemi ve motor bloğu kutusu gibi ürünlerin üretiminde alüminyum ve alaşımları çoğunlukla döküm alaşımı olarak kullanılır.

Levha, profil gibi farklı üretim teknikleriyle üretilmiş parçalar ise kasa ve soğutma sistemi aksamlarında tercih edilir. Taşıt araçları hafif olsalar dahi, hareket etmeleri için çok daha az enerjiye ihtiyaç vardır. Bu sayede aracın ağırlığı azaltılmış olup yakıt tüketimi düşürülür.

Alüminyum alaşımları hafifliği ve sağlamlığı ile havacılık sektörünün gelişmesinde önemli bir malzemedir. Öyle ki bir uçağın yaklaşık olarak dörtte üçü alüminyumdan oluşmaktadır [8].

1.2. Alüminyum Alaşımlarının Sınıflandırılması

Alüminyum alaşımları, üretim yöntemleri esas alınarak iki gruba ayrılmaktadır. Dövme alaşımlarının plastik deformasyon kabiliyeti oldukça iyi olup, kolayca şekillendirilebilir. Dövme alüminyum alaşımlarının mikroyapısı ve kimyasal içeriği döküm alaşımlarından farklıdır. Her iki alaşım grubu da ısıl işlem yapılabilen ve ısıl işlem yapılamayan iki gruba ayrılmaktadır. Isıl işlem yapılabilen alaşımlar, belirli sıcaklıklarda belirli zaman bekletilerek mukavemetleri artırılabilir. Bu yapılan mukavemet iyileştirme işlemine, ayrışma sertleşmesi ve bekletme işlemine ise yaşlandırma adı verilir. Yaşlandırma işlemi oda sıcaklığında olursa tabii (doğal) yaşlandırma eğer farklı sıcaklıkta olursa da suni (yapay) yaşlandırma adı verilir [6,9].

1.2.1. Dövme alüminyum ve alaşımları

Dövme alüminyum alaşımları dört basamaklı rakamlar ile ifade edilirler. İlk rakam asıl alaşım elementini, ikinci basamak alaşım değişikliklerini, üçüncü ve dördüncü basamaklar ise alüminyumun saflığını göstermektedir. Dövme alüminyum alaşımlarının sınıflandırılması ve yaşlandırılabilirliği Tablo 1.3'de gösterilmektedir.

Tablo 1.3. Dövme alüminyum alaşımlarının sınıflandırılması [3].

Dövme Alaşımlar		Isıl İşlem
1XXX	Ticari saflıkta Al (>%99Al)	Yaşlandırılmaz
2XXX	Al-Cu	Yaşlandırılabilir
3XXX	Al-Mn	Yaşlandırılmaz
4XXX	Al-Si veya Al-Mg-Si	Eğer magnezyum varsa yaşlandırılabilir
5XXX	Al-Mg	Yaşlandırılmaz
6XXX	Al-Mg-Si	Yaşlandırılabilir
7XXX	Al-Mg-Zn	Yaşlandırılabilir
8XXX	Al-Li, Sn, Zr veya B	Yaşlandırılabilir

Isıl işlem uygulanmasına elverişli olmayan 1xxx, 3xxx ve 5xxx serisi dövme alüminyum alaşımlarının mukavemetleri şekil değiştirme (deformasyonla) artırılabilir. Isıl işlem uygulamasına elverişli olan dövme alüminyum alaşımları ise

2xxx, 6xxx ve 7xxx serisidir. 4xxx serisi alüminyum alaşımlarının ısıtılma işlem özelliği ise magnezyum elementinin varlığına bağlıdır. Magnezyum elementi eklenirse ısıtılma işlemine uygun olup, eklenmediğinde ise ısıtılma işlemine uygun olmamaktadır. Isıtılma işlemi uygulanmayan alaşımlar soğuk şekillendirme yoluyla, sertleştirme ve mukavemeti artırma yöntemi olan şekil değiştirme sertleşmesi ile yüksek mekanik özelliklerini kazanırlar.

Alüminyuma ilave edilen alaşım elementleri iki şekilde mukavemeti arttırmaktadır;

- 1- Katı eriyik olarak çözünüp deformasyon ile sertlik artırılır. (deformasyon ile sertleşen alaşımlar)
- 2- Yüksek sıcaklıkta katı eriyik çözünerek ve düşük sıcaklıkta ince parçacık halinde çökerler (yaşlanma ile sertleşen alaşımlar) [3].

Tablo 1.4. Dövme alüminyum alaşımlarının genel kullanım alanları [6].

Seri Numara	Kullanım Alanları
1XXX	Elektrik ve kimya sanayi parçalarının imalatında.
2XXX	Yüksek mukavemet istenen havacılık ve savunma sanayi parçalarının imalatında.
3XXX	Boru, sıvı tankları ve mimari uygulamalarda.
4XXX	Kaynak işlemi yapılacak parçaların imalatında.
5XXX	Korozyon direnci yüksek olduğundan korozyon direnci yüksek olması gereken parçaların imalatında.
6XXX	Şekillendirilebilirlik kabiliyeti yüksek olduğundan özellikle ekstrüzyon ile üretilen otomotiv, havacılık, savunma ve birçok alandaki parçaların imalatında.
7XXX	Yüksek dayanım gerektiren havacılık, savunma sanayi parçalarının imalatında.
8XXX	Havacılık ve uzay sanayi parçalarının imalatında.

1.2.1.1. 1xxx serisi

Bu grup %99 veya daha yüksek saflıkta alüminyum içermektedir. Bu grup içerisinde 1xxx serisi alaşımsız grup olup, son iki rakam %99'dan sonraki virgülden itibaren minimum oranı göstermektedir. Örnek olarak 1060 da alüminyum oranı en

az %99,60 olması gerekmektedir. Bu grupta 1 rakamından sonra gelen ikinci rakam empürite atomlarının oranını gösterir. Bu alışımda bulunan temel empürite atomları ise demir ve silisyumdur.

1xxx grubunun yüksek ısı ve elektrik ile yüksek korozyon direncine sahip olmasından dolayı elektrik ve kimyasal alanda daha fazla kullanılmaktadır. Kimyasal ekipman, ısı eşanjörü, reflektörler ve dekoratif amaçlı uygulamalarda tercih edilirler [10].

1.2.1.2. 2xxx serisi

Bu seride temel alaşım elementi bakırdır. En uygun özelliklerini çökelme sertleşmesi ısıl işlemi ile almaktadır. İşlenme özelliğinin iyi olmasının istenildiği yerlerde, bağıl olarak artan sıcaklıklarda iyi sürünme dayanımıyla birlikte oda sıcaklığında yüksek çekme mukavemetine ve çok düşük sıcaklıklarda yüksek sağlamlığa sahip olması istenen yerlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Kaynak kabiliyeti sınırlı olup, korozyon direnci diğer alaşım grupları kadar yüksek değildir. En fazla araç ve uçak tekerlerinde, uçak gövdelerinde, araçların süspansiyon parçalarında ve 150°C'ye kadar olan sıcaklıklarda dayanım gerektiren parçalarda kullanımı tercih edilmektedir [11].

1.2.1.3. 3xxx serisi

Bu seride temel alaşım elementi mangandır ve orta derecede dayanıma sahiptir. 3xxx serisi alüminyum alaşımlarından en meşhur olan 3003 alaşımıdır. Bu alaşım yüksek korozyon direnci ve yüksek yumuşaklık istenen yerlerde kullanılır. Bu serideki alaşımlar mutfak gereçleri, mobilya, ısı değiştirgeçleri, gıda kutuları, anayol işaretleri, çatı ve kenar kaplamaları, depolama tankları gibi amaçlar için kullanılmaktadırlar [11]

1.2.1.4. 4xxx Serisi

Bu seride temel alaşım elementi silisyumdur. Alüminyuma yeterli miktarda eklenen silisyum, ergime derecesinin azalmasına ve dökülebilme kabiliyetinin artmasına sebep olur. Bu serideki alaşımların çoğuna ısıl işlem uygulanamaz. 4032 alaşımı düşük termal genleşme katsayısı, yüksek korozyon direnci ve yüksek aşınma

direncine sahiptir. Bu özellikler sebebiyle dövme motor pistonları üretimine elverişlidir [10,11].

1.2.1.5. 5xxx serisi

Bu seride temel alaşım elementleri magnezyumdur. Magnezyumun alüminyum içindeki oranı %0,8'den %5'e kadar değişmektedir. %0,8 magnezyum içeren Al 5005 alaşımının tavlama ısıl işlemi uygulanmamış durumundaki dayanım değerleri 40 MPa akma ve 125 MPa çekme dayanımı, Al 5456 alaşımı için ise 160 MPa akma dayanımı ve 310 MPa çekme arasında değişim göstermektedir. Bağlı olarak yüksek olan uzamalar genellikle %25'i geçmektedir. 5xxx serisi alaşımların kaynak kabiliyeti ve deniz korozyonuna direnci yüksetir. Bu seri alaşımlar damperli kamyon gövdeleri, petrol, süt ve tahıl taşıma amaçlı büyük tanklar ve özellikle düşük sıcaklıklarda depolamaya ihtiyaç duyulan basınçlı tanklarda yaygın olarak kullanılmaktadır [11].

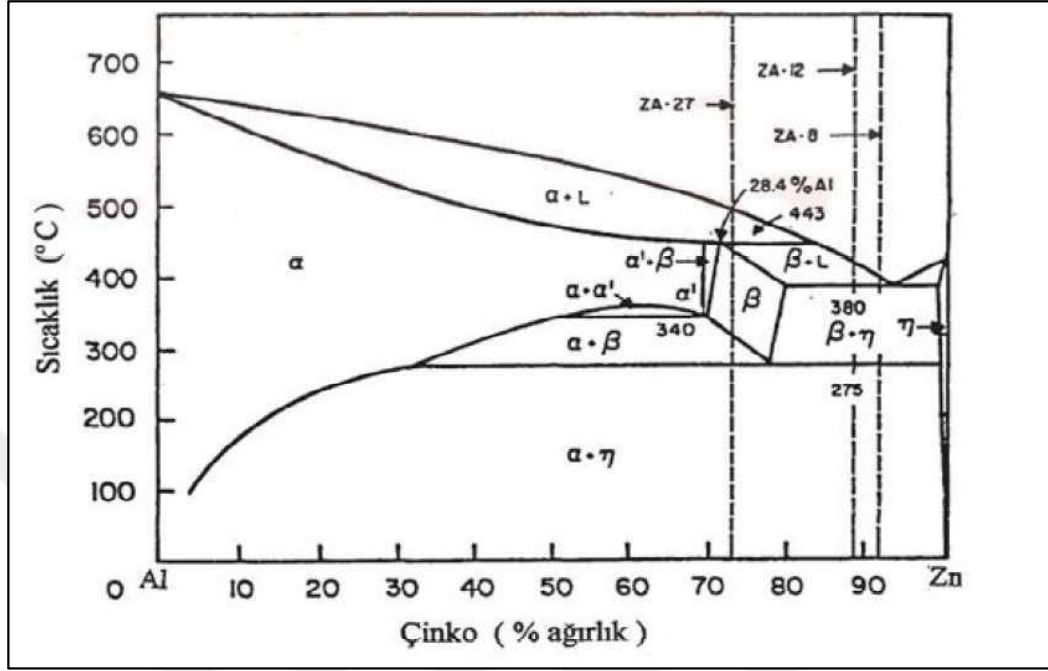
1.2.1.6. 6xxx serisi

Bu seride temel alaşım elementleri olan Mg ve Si birleşerek Mg_2Si bileşimini oluşturmaktadır. 6xxx serisi alaşımlar şekillendirilebilir, kaynaklanabilir ve korozyon direnci orta dayanımlı alaşımlar olmasına karşın 2xxx ve 7xxx serisi alaşımlar kadar dayanıklı değildirler. Uygulama alanları ise ulaşım endüstrisi, köprüler, kaynaklı yapılar ve mimari uygulamalar olmuştur [8].

1.2.1.7. 7xxx serisi

7xxx serisi alüminyum alaşımlarında % 1-8 arasında olan çinko, önemli bir alaşım elementidir. Magnezyum ile birlikte kullanıldığında yüksek mukavemete sahip, ısıl işlem uygulanabilen alaşım elde edilmiş olur. Genellikle az miktarda bakır ve krom gibi elementler ilave edilerek alaşımlar geliştirilir. En yüksek mukavemet elde edilen alaşım 7178 alaşımıdır. Bu alaşımların gerilmeli korozyon direnci düşük olduğundan gerilim korozyonunun olduğu yerde çalışacak mekanik parçalarda çatlak oluşmaması için parça biraz daha aşırı yaşlandırılabilir. Bu sayede mukavemet - kırılma tokluğu - korozyon direnci kombinasyonu elde edilmiş olur. Bu serideki alaşımlar

çoğunlukla uçak gövde yapılarında, yüksek gerilme altında çalışan parçalarda kullanılmaktadır [10].



Şekil 1.1. Al-Zn denge diyagramı [3].

1.2.1.8. 8xxx serisi

Bu seri alaşımlar alüminyum ve silisyum içeriğine sahiptir ve yaşlandırılabilirler [8].

1.2.2. Döküm alüminyum alaşımları

Alüminyum döküm alaşımları kumlama, kalıp veya basınçlı kalıp döküm yöntemleri ile üretilmektedir. Döküm yoluyla şekillendirilen alaşımlar üç haneli rakamlar ile gösterilmektedir. İlk numara dövme alaşımlarında olduğu gibi asıl alaşım elementini ifade etmektedir. Döküm alüminyum alaşımlarının sınıflandırılması Tablo 1.5'de gösterilmektedir [3,10]

Tablo 1.5. Döküm alüminyum alaşımlarının sınıflandırılması [3].

Döküm Alaşımlar		Isıl İşlem
1XX.X	Ticari saflıkta Al (>%99Al)	Yaşlandırılmaz
2XX.X	Al-Cu	Yaşlandırılabilir
3XX.X	Al-Si-Cu veya Al-Si-Mg	Biraz yaşlandırılabilir

Tablo 1.5. Döküm alüminyum alaşımlarının sınıflandırılması [3].

4XX.X	Al-Si	Yaşlandırılmaz
5XX.X	Al-Mg	Yaşlandırılmaz
7XX.X	Al-Mg-Zn	Yaşlandırılabilir
8XX.X	Al-Sn	Yaşlandırılabilir

1xxx serisi en az %99 alüminyum oranına sahiptir. 3xxx serisinde temel alaşım elementi silisyumdur ve bu seride bakır ve magnezyum gibi alaşım elementleri de bulunmaktadır. İlk üç haneden sonra nokta konur ve noktadan sonraki rakam bizlere döküm veya ingot olduğunu ifade etmektedir. Bu rakam eğer 1 veya 2 ise ingot olduğunu, 0 ise döküm olduğunu gösterir. İngot yapıları 356.1 ve 356.2'yi, kum veya kokil kalıba dökülmüş parça olarak da 356.0'ı örnek olarak verebiliriz. Tablo 1.6'de bazı döküm alaşımlarının kimyasal bileşimleri gösterilmektedir [10].

Tablo 1.6. Bazı döküm alaşımlarının kimyasal bileşimleri [10].

Bileşim	%Si	%Fe	%Cu	%Mg	%Zn	Diğerleri %
201.0	<0,10	<0,15	4,6	0,35	–	0,7 Ag, 0,35 Mn
208.0	3,0	<1,2	4,0	<0,10	<	–
222.0	<2,0	<1,5	10,0	0,25	<	–
242.0	<0,7	<1,0	4,0	1,5	<	2,0 Ni
319.0	6,0	<1,0	3,5	<0,10	<	–
355.0	5,0	<0,6	1,25	0,5	<	–
357.0	7,0	<0,15	<0,05	0,55	<	–
444.0	7,0	<0,6	<0,25	<0,10	<	–
512.0	1,8	<0,6	<0,35	4,0	<	–
713.0	<0,25	<1,1	0,7	0,35	7,5	–
851.0	2,5	<0,7	1,0	<0,10	–	6,25 Sn, 0,5 Ni

Döküm alüminyum alaşımlarından bir kısmına yaşlandırma sertleşmesi uygulaması yapılarak mekanik özellikleri artırılır iken bir kısmına ise sadece tavlama ısıl işlemi yapılarak sünekliği artırma işlemleri yapılır [10].

1.2.2.1. Al-Cu alaşımları (2xx.x serisi)

Bakır oranı %4-5 seviyesinde olan bu alaşımlar, demir ve silisyum empüriteleri ve bazen de az miktarda magnezyum içermektedir. Çok yüksek dayanım ve sünekliliklere ulaşabilmek için %0,15'ten daha az demir içeren ingotlar üretilmelidir. Ayrıca minimum miktarda mangan ilave edildiği zaman demir ve silisyum ile birleşerek bu elementlerin gevrekleştirici özelliğini azaltmaktadır. Bu serideki alaşımlar çoğunlukla kum döküm yöntemi ile üretilmektedir. Metal kalıplara dökülecekleri zaman akışkanlığı sağlamak için silisyum eklenmelidir.

Yapılan silisyum ilavesi ile süneklilik önemli derecede azaltılmış olur. Kaynak kabiliyeti sınırlı olup, diğer alaşım gruplarına göre korozyon direnci düşükür [11].

1.2.2.2. Al-Si-Mg veya Al-Si-Cu alaşımları (3xx.x serisi)

En fazla tercih edilen döküm alaşımları Si ve Cu elementlerini birlikte içeren alaşımlar olmuştur. Bu iki elementinde miktarları yüksek oranda değişebilmektedir. Bazı alaşımlarda Si yoğunlukta iken bazılarında ise Cu yoğunlukta olabilir. Bakır ilavesi ile dayanım arttırılırken, silisyum ilavesi ile de dökülebilirlik arttırılmaktadır. Karmaşık şekilli parçaların dökümünde daha çok Si alaşımları tercih edilmektedir.

Al-Si-Mg alaşımları, mikro yapılarında %1,3'e kadar aynı miktarlarda Si ve Mg içermektedir. Yaşlandırma işlemi yapılacağı zaman korozyon direncini ve dayanımı arttırmak amacıyla az oranda Cu, Cr veya Pb eklenir. Makine parçaları, mobilya ve köprü taşıma elemanlarının üretiminde tercih edilmektedir [11].

1.2.2.3. Al-Si alaşımları (4xx.x serisi)

Dökülebilirlik ve korozyon direncinin istenildiği yerlerde Cu ilavesi içermeyen Al-Si alaşımları tercih edilmektedir. Korozyon direncinin yüksek olması sebebiyle deniz ulaşımında kullanılan taşıtların üretiminde kullanılmaktadır. Yüksek dayanım istenildiği zaman ise Mg eklenir. Bu sayede ısıl işlem uygunabilir duruma gelmiş olur. Bu serideki döküm alüminyum alaşımlarına Al 413.0 ve Al 443.0 alaşımlarını örnek olarak verilebilir [11].

1.2.2.4. Al-Mg alaşımları (5xx.x serisi)

Bu serideki döküm alüminyum alaşımları mikro yapılarında %10'a kadar Mg içermektedir. Al 512.0 alaşımını örnek olarak verebiliriz. 5xx.x serisi döküm alüminyum alaşımlarının korozyon dirençleri çok yüksektir. Bu özelliği sebebiyle otomotiv ve uçak üretim sektöründe kullanılmaktadır [3.]Al-Mg-Zn alaşımları (7xx.x serisi)

7xx.x serisindeki alaşımlar oda sıcaklığında yaşlandırıldığında maksimum dayanıma sahip olurlar. Dayanımı artırma işlemini yapay yaşlandırma ile hızlandırmak mümkündür.

Al-Mg-Zn alaşımlarının mikro yapılarında %1-7,5 Zn ve %3,3 Mg bulunmaktadır. Bu alaşımların dayanımlarını arttırmak için krom (Cr) ve bakır (Cu) elementleri eklenir. Aynı zamanda son eklenen iki element kaynak kabiliyetini negatif olarak etkiler. 7xx.x serisi alüminyum döküm alaşımları yüksek dayanıma sahip oldukları için uçak yapımında yapısal malzeme olarak kullanılmaktadır [11].

1.2.2.5. Al-Sn alaşımları (8xx.x serisi)

8xx.x serisindeki alaşımlar %6 oranında kalay (Sn) içermektedir. Bu alaşımlar minimum miktarlarda bakır ve nikel ile alaşlandırılarak dayanımları artırılmaktadır. Kalay (Sn) elementinin yüksek yağlama özelliği sebebiyle bu serideki alaşımlar döküm yataklarında tercih edilirler [8].

1.2.3. AA713 Alüminyum alaşımı

A713 alüminyum alaşımı diğer adıyla Tenzaloy, kimyasal yapısında kütlece (7,0-8,0%) Zn, (0,1-1,0%) Cu, (0,2-0,5%) Mg içeren, 7xxx serisi dökme alüminyum alaşımıdır. Yoğunluğu 2,81 g/cm³, ergime sıcaklığı 638°C, döküm halinde akma mukavveti 152 MPa, çekme mukavveti 221 MPa, sertliği ise 60-90 HB aralığındadır. Genel olarak T5 ısıl işlemleri uygulanmaktadır. Uygulanan ısıl işlemler sonrası akma mukavveti, 175 MPa, çekme mukavveti 235 MPa civarlarında olmaktadır. A713 alaşımının genel özellikleri Tablo1.7'de gösterilmektedir [12].

Tablo 1.7. A713 döküm alüminyum alaşımının genel özellikleri [12].

A713 DÖKME ALÜMİNYUM ALAŞIMI		
Kimyasal Kompozisyon	Cu=0.7%, Mg=0.35%, Zn=7.5%, Al balance	
Özellikler	Metrik Değerler	Amerikan Değerleri
Yoğunluk	2,81	175 lb/
Elastik Modül	71 Gpa	10300 ksi
Termal Genleşme	24,1	13,4
Spesifik Isı Kapasitesi	963 J/(kgK)	0.230 BTU/lb
Termal İletkenlik	121 W/(mK)	841BTUin/hr
Elektrik Direnci	5,7	5,7
Füzyon Isısı	3,89	167 BTU/lb
Ergime Sıcaklığı	638	1180
Katılma Sıcaklığı	593	1100
Çekme Dayanımı (F), min	221 MPa	32000 psi
Akma Dayanımı (F), min	152 MPa	22000 psi
Uzama (F), min	3%	3%
Kayma Gerilmesi (F)	180 MPa	26100 psi
Yorulma Direnci (F)	60 MPa	8700 psi
Sertlik (F)	60-90 HB	60-90 HB
Çekme Dayanımı (T5)	235 MPa	34100 psi
Akma Dayanımı (T5)	175 MPa	25400 psi
Uzama (T5)	4%	4%

2. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ DÖKÜMÜ

Üretilecek olan bir parçanın döküm aşaması, pek çok faktörden etkilenmektedir. Alaşımların özellikleri, işlem tercihlerinden etkilendiklerinden dolayı işlem tercihinin belirlenmesinde etkili olmaktadır. Akıcılık, sıcak yırtılmaya karşı direnç ve hacimsel daralma eğilimlerini en aza indirmek gibi konularda döküm işlemlerinde dikkat edilmelidir.

Döküm alüminyum alaşımları farklı yöntemlerle üretilebilmektedir. Üretim yöntemi seçimlerinde boyutlar, tasarım özellikleri ve mekanik özellikler etken olmaktadır. Ayrıca soğuma oranları ve katılaşma koşulları da döküm yönteminin seçiminde önemli etkindir. Bütün özellikler düşünülerek en uygun yöntem tercih edilmelidir [13].

2.1. Kum Kalıba Döküm

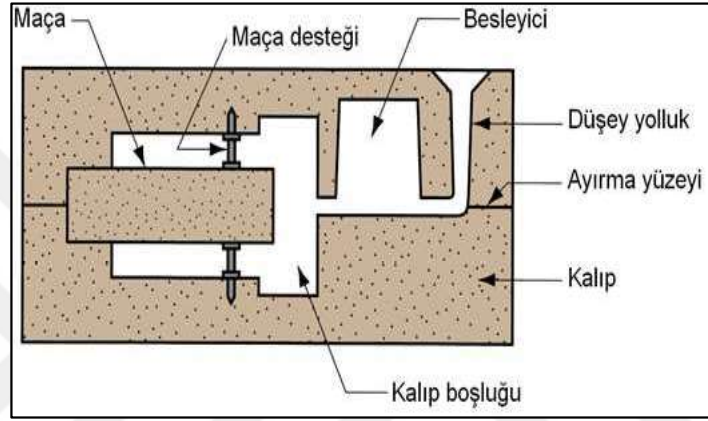
En fazla tercih edilen döküm yönteminden biridir. Bu yöntemin tercih edilmesinin sebebi, çok büyük ve karmaşık şekilli parçaların kolaylıkla üretilebilir olması ve kalıplama maliyetlerinin az olmasıdır. Bu döküm yöntemi, üretilecek olan parçaya şekil, boyut ve kalite açısından tasarım kolaylığı sağlar [14].

Kalıplama işleminde döküm kalitesini model, kum, maça ve mekanik teçhizat seçimi etkilemektedir. Bu işlemde kalıp kumu sıkıştırılarak model boşluğu oluşturulur ve bu boşluğa sıvı metal veya alaşım doldurularak katılaşması sağlanır. Katılaşma bittikten sonra parça kalıptan çıkarılır ve fazla kısımlar (çapak, yolluk, besleyici gibi) temizleme işlemi yapılmaktadır [14].

Sıvı metal veya alaşım yolluklardan geçerek kalıp boşluğunu doldururken, kalıp gazları sıkışır ve bir basınç oluşturur. Gazlar, döküm hatalarına neden olmadan çıkıcılar aracılığıyla dışarı atılır. Bu çıkıcılar, kalıp boşluğunun dolmasının takibini kolaylaştırmaktadır. Sıvı metal veya alaşım kalıp boşluğunu doldurup, soğuyup katılaşırken hacimde küçülme olur ve bunun sonucu olarak da çekinti (çekme) denilen boşluklar oluşur. Oluşan bu çekintiyi önlemek için döküm parçanın uygun

yerlerine sıvı metal kütleleri (besleyici) konulmalıdır. Bu sayede çekintiler besleyiciye taşınmış olur [14].

Kum kalıba döküm yönteminde kalıp kumları silis, kil, su ve yabancı maddelerden oluşmaktadır. Kalıp kumunun ana maddesi silistir ve %50-95 oranında kullanılmaktadır. Silis yüksek sıcaklıklara dayanıklıdır ve çok serttir. Kalıp kumu içerisine %2-50 oranında katılan kil, su aldığı zaman yapışarak kum tanelerini birbirine bağlar. Şekil 2.1’de basit bir kum kalıp gösterilmiştir [14].



Şekil 2.1. Kum kalıp [14].

2.2. Metal Kalıba Döküm

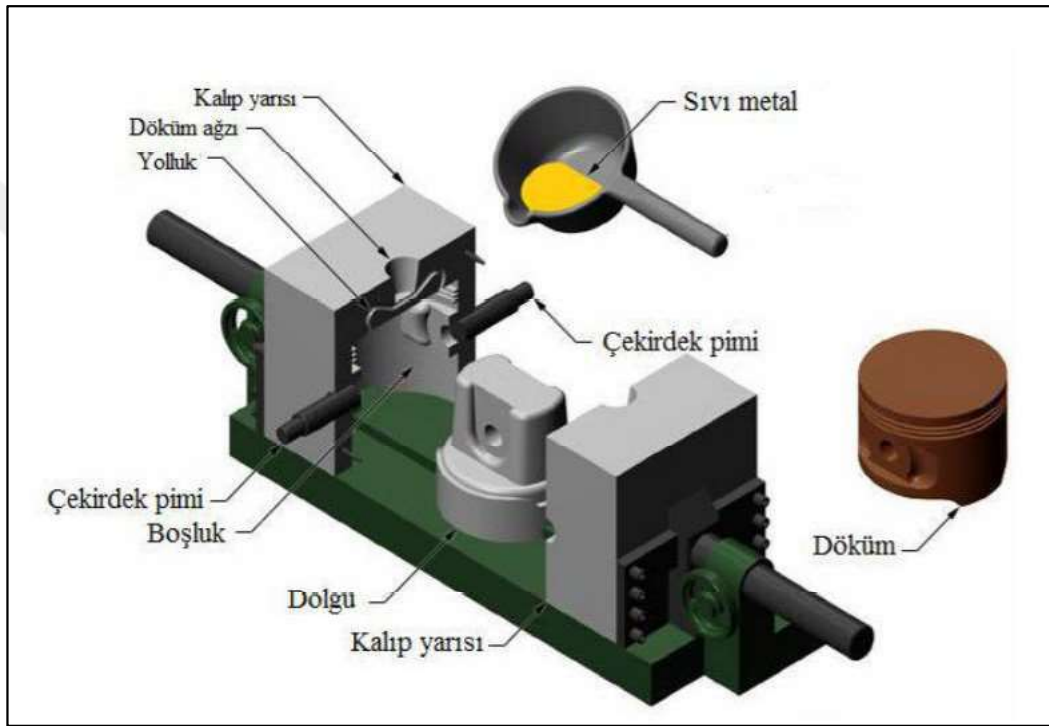
Bu döküm yöntemi, kalıpların hazırlanmasının yüksek maliyetli olması ve işleme zorluğundan tercih edilmektedir. Aynı zamanda karmaşık şekilli çok sayıda parçanın üretimi için de uygundur. Ekonomik bir işlem yapılabilmesi için, üretimin belli bir sayının üzerinde tutulması gerekmektedir. Yüksek boyut hassasiyeti, ince taneli döküm parçaları ve daha çok temiz yüzeyler metal kalıba döküm yöntemi ile yapılabilmektedir [15].

Metal kalıbın içerisine dökülecek olan sıvı metalin akışı yerçekiminin etkisiyle sağlanacak olup, üretilecek parçanın şekli kalıp boşluğu ile sağlanmaktadır. Besleyici sistemle döküm parçanın beslemesi yapılır. Sıvı metalin kalıp boşluğunu doldurması ve kalıp boşluğundaki havanın tahliyesi yolluk sistemi ile yapılmaktadır [15].

Kalıba dökülen sıvı metalde katılaşma anında hacimsel küçülme olur ve bu hacimsel küçülme kalıba sıvı metal ilavesi ile karşılanır. Katılaşması tamamlanmış olan parça

dışarı alınır ve maçalar atılır. Kalıp ile temas eden bölgeler eğimli olarak tasarlanırsa, döküm parça kalıptan kolayca çıkmaktadır [15].

Isının kolayca uzaklaştırılması, çok sayıda döküme olanak sağlaması, metali hızla soğutup tane boyutuna etki ederek mekanik özellikleri iyileştirmesi bu döküm yönteminin önemli avantajlarıdır [15]. Şekil 2.2’de basit bir metal kalıp gösterilmiştir [14].



Şekil 2.2. Metal Kalıp [14].

2.3. Basınçlı Döküm

Basınçlı döküm yöntemi yüksek ve düşük basınçlı olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Düşük basınç döküm yöntemi çoğunlukla Mg ve Al alaşımlarının dökümünde kullanılırken, yüksek basınçlı döküm kalıpları otomobil, elektronik cihaz ve makine parçalarının üretiminde kullanılmaktadır [17].

Karmaşık parçaların üretiminde kullanılan yüksek basınçlı dökümde, sıvı metale yüksek basınç uygulanarak metal kalıba döküm yapılır. Metal kalıp doldurulmadan önce kalıp boşluğuna sıvı yağlayıcı püskürtme işlemi yapılır. Bu sayede yağlayıcı hem kalıp sıcaklığının kontrol edilmesine hem de dökümün kalıp duvarına yapışmasını önleyerek döküme yardımcı olur. Yağlama işleminden sonra kalıplar

kapatılır ve ergimiş metal yüksek basınç altında kalıplara enjekte edilir. Kalıp dolduktan sonra da yüksek basınç döküm katılaşana kadar korunur. Son olarak kalıplar açılır ve döküm, pimler tarafından kalıptan çıkarılır [17].

2.4. Yarı Katı Döküm

Çok düşük gözenekliliğe sahip parçalar bu döküm yöntemi ile üretilmektedir. Otomotiv, havacılık endüstrisi olmak üzere birçok endüstriyel sektöre parça üretimi yarı katı döküm yöntemi ile yapılabilmektedir. Ayrıca yarı katı döküm yöntemi ile yüksek performanslı parçalar üretilmektedir [17].



3. TANE İNCELTME

Alüminyum alaşımlarında tane inceltme işlemleri uzun yıllardır bilinmektedir. Sıvı metale bir miktar titanyum ilavesi yapılmasıyla tane yapısında önemli ölçüde küçülme sağlanmakta ve alaşımın dökülebilirliğini arttırmaktadır [18].

Düşük yoğunluk, yüksek ısı iletkenliği, yüksek plastisite ve yeryüzünde bulunabilirliği ile saf alüminyum, endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Fakat saf alüminyumun kaba taneli yapısı ve nispeten düşük mekanik özellikleri modern endüstride daha çok tercih edilmesini kısıtlamaktadır. Bu sebeple alüminyumun mekanik özelliklerini alaşımlama ve tane inceltme işlemleri ile artırılması gerekmektedir [19].

Alüminyum alaşımlarında tane inceltme işlemi, mekanik özelliklerin iyileştirilmesinde 20. yüzyılın yarısından itibaren ticari olarak kullanılmaya başlamıştır. Mekanik özelliklerin artırılması, daha gözeneksiz bir yapı elde edilmesi, sıcak yırtılmalara karşı direnç, makro porozitede azalma ve mikro yapının homojenliği olarak sayılabilir [20].

Sıvı metalin kimyasal bileşiminin hidrojen içeriği ve temizliğinin kontrol edilmesi, dökümü yapılacak olan alaşımın en ideal mekanik ve fiziksel özelliklere sahip olabilmesi açısından önem taşımaktadır. Alüminyum dökümlerinde soğuma hızı ve döküm sıcaklığı gibi diğer üretim parametrelerinin çeşitliliği ile tane inceltmenin verimliliği arttırılabilir [20].

Alüminyum döküm alaşımlarında tane boyutu ile orantılı olan çekme ve gaz boşluklarının minimum seviyede olması istenir. Sıvı alaşım içerisindeki tane incelticiler heterojen çekirdeklenme noktaları oluşturur ve yapının ince taneli olmasını sağlar. Mukavemet, ince taneli dökümlerde daha yüksek olmaktadır. Bunun sebebi ise ince taneli dökümlerde tane arasındaki boşluklar daha küçüktür. Ayrıca ince taneli yapıda sıcak yırtılma ve çekme hataları daha düşüktür [20].

Alüminyum döküm alaşımlarında kaliteli ve nitelikli dökümler için tane inceltme işlemi çok önemli ve gerekli bir işlemdir [21].

3.1. Alüminyum Alaşımlarında Kullanılan Tane İncelticiler

Alüminyum alaşımlarında tane inceltici olarak Al-Ti, Al-Ti-B ve Al-B gibi master alaşımları kullanılabilir. Al-Ti-B türü master alaşımları içerisinde en çok tercih edilen Al₅TiB master alaşımıdır.

AlTiB tane inceltici %99,7 saflıkta birincil alüminyumdan ve farklı bileşimlerdeki florür tuzlarından üretilmektedir. Alüminyum sanayisinin %80'i tel şeklinde AlTiB tane incelticisi kullanmaktadır. Şekil 3.1'de tel ve tablet şeklinde tane incelticiler gösterilmiştir .



Şekil 3.1. Filmaşın (rod) ve tablet şeklinde tane incelticiler .

Araştırmacılar, tane inceltici olarak kullanılan AlTiB'un alüminyum alaşımlarında en etkili Ti/B oranı için büyük çapta araştırmalar yapmışlardır. %3-10 oranında titanyum ve %0,1-1 oranında bor ihtiva eden çeşitli ürünler üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda 5/1 Ti-B oranı en çok kullanılan oran olmuştur .

Endüstriyel uygulamalarda en çok tercih edilen tane incelticiler Tablo 3.1'de gösterilmiştir .

Tablo 3.1. Endüstriyel uygulamalarda kullanılan tane incelticilerin kimyasal bileşimleri .

Tane İncelticiler		
AlTiB 5/1	Al %5 Titanyum	%1 Bor
AlTiB 5/0,6	Al %5 Titanyum	%0,6 Bor
AlTiB 5/0,2	Al %5 Titanyum	%0,2 Bor
AlTiB 3/1	Al %3 Titanyum	%1 Bor
AlTi 6	Al %6 Titanyum	
AlTi 10	Al %10 Titanyum	

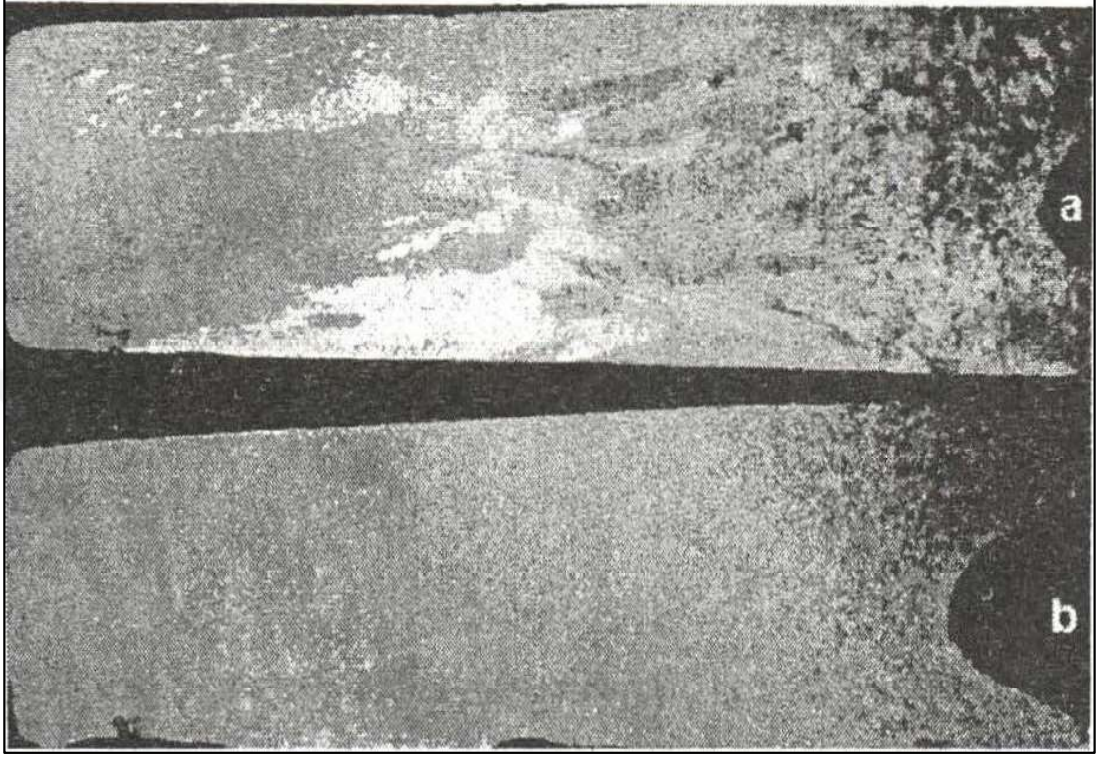
Al-Ti tane inceltme alaşımı çoğunlukla tercih edilmez. Bunun nedeni oluşturduğu $TiAl_3$ çekirdekletiricileri $700^\circ C$ 'de metal içerisinde kolayca erir ve alüminyum içerisinde büyük ve gevrek tanelerin olma eğilimini artırır .

Al-Ti alaşımlarına bor'un eklenmesiyle oluşan Al-Ti-B master alaşımının tane inceltme etkisini arttırdığı tespit edilmiştir. Al-Ti-B üçlü alaşım sistemi kaba olan $TiAl_3$ kristalleri ve $TiAl_3$ 'ün etkisini arttıran çok ince TiB_2 kristallerini içermektedir [20].

Tane inceltici olarak kabul gören titanyum (Ti) ve bor (B) elementleri %0.01 gibi çok az miktarda dahi birlikte alüminyuma eklendiğinde hızlı bir şekilde ve önemli derecede tane inceltme etkisi göstermektedir. Bu etki herhangi bir şekilde Ti ve B ilave edilmemiş ve bir miktar Ti ve B ilave edilmiş iki alüminyum külçenin kesilmesi ve yüzeylerinin parlatılmasından sonra uygun şekilde dağlanması ile ortaya çıkan tane yapısında net olarak gösterebilmektedir. Bir alüminyum alaşımının Ti ve B ilavesi ile tane yapısında ortaya çıkan değişime bir örnek Şekil 3.2' de gösterilmektedir [18].

Tane inceltme özellikle, ikinci faz patiküllerin dağılımını değiştirdiğinden döküm parçaların mekanik özellikleri üzerinde önemli etkiye sahiptir. Bu durum Şekil 3.2'de gösterilen tane inceltmemiş ve tane inceltmiş yapıların karşılaştırılması ile daha net görülmektedir. Şekil 3.2.a'da görülen tane inceltmemiş yapıda uzun kanat

şeklinde alüminyum tanelerinin oluştuğunu görebiliriz. Şekil 3.2.b'deki yapı ise tane inceltmiş bir yapı olup küçük, düzenli ve eşksenli bir tane yapısına sahiptir. Bu nedenle mekanik özellikler daha izotropiktir ve alaşım daha kuvvetlidir [18].



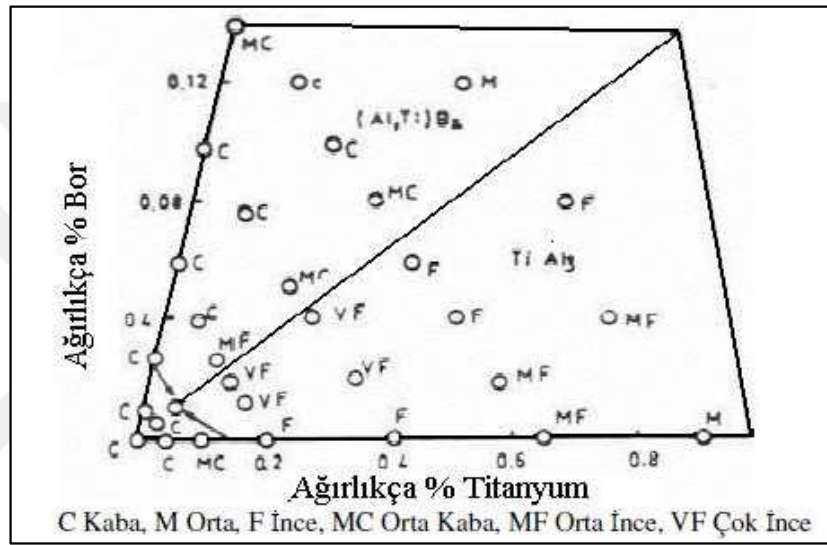
Şekil 3.2. a) Tane inceltilmemiş, b) Al5Ti1B bileşiminde 10 ppm bor ilave edilmiş 3004 alaşımının tane yapıları [18].

Pek çok uygulamada tane boyutunun taşıdığı önem karşımıza çıkmaktadır. Mekanik özellikler, yapısal uygulamalarda üniform tane yapısı elde edilemediğinde azalmaktadır.

İkiz kolonsol tanelerin oluşumu, akma dayanımını ve işlenebilirliği düşürürken, çatlak oluşumuna sebebiyet vermektedir. Ayrıca tane yapısı eşksenli olmadığına sıcak çatlama riski artmaktadır [22].

Tane inceltme, ikinci faz partiküllerin dağılımını homojen hale getirdiğinden dolayı döküm parçaların mekanik özellikleri üzerinde önemli etkiye sahip olmaktadır. Tane incelticilerin kullanımı ile birlikte, düşük porozite miktarı, yüksek işlenebilirlik, beslenebilirliğin artırılması, iyi yüzey görünümü, ingot çatlama riskinin engellenmesi üniform mekanik özellik dağılımı, yüksek tokluk ve yüksek akma dayanımı ve yüksek yorulma dayanımı gibi pozitif katkılar sağlamıştır [23].

Genel olarak az alaşım elementleri içeren alüminyum alaşımlarının AlTiB master alaşımı ile tane inceltme işlemi daha zordur. Alüminyum alaşımlarının tane inceltme işlemini olumlu şekilde etkileyen demir, silisyum, mangan, titanyum ve bor gibi elementler içeren alüminyum alaşımlarında tane inceltme işlemleri daha kolaydır. Buna karşılık krom ve zirkonyum tane inceltme işlemlerini olumsuz yönde etkilediği için master alaşımlarının ilavesinde tane inceltme çok daha zorlaşmakta ve yüksek miktarlarda ilaveler gerekmektedir. Şekil 3.3'de Ti-B bileşimine bağlı olarak tane boyutu değişimi gösterilmektedir [24].



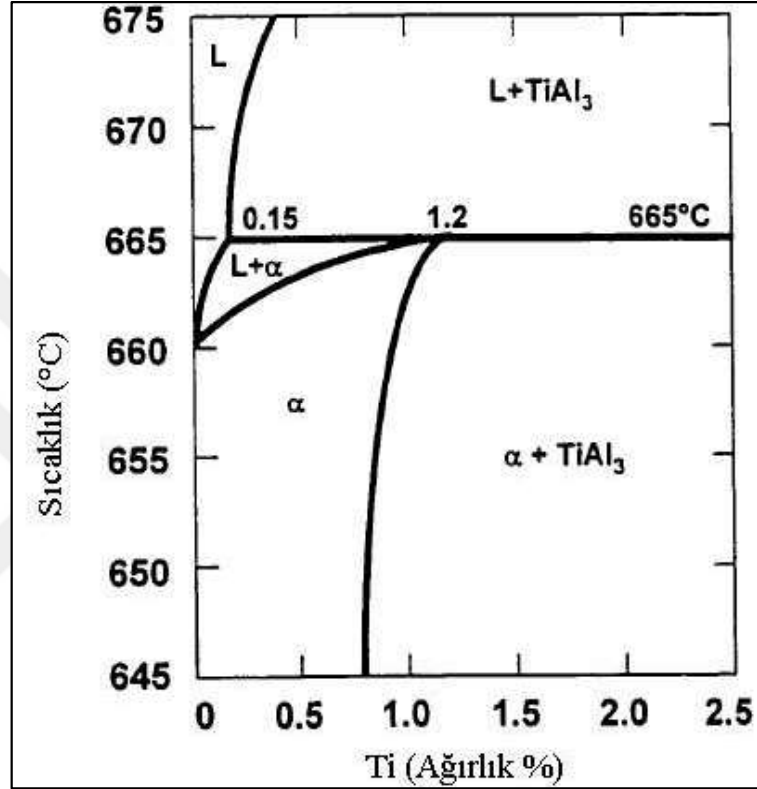
Şekil 3.3. Ti-B bileşimine bağlı olarak tane boyutunun değişimi [24].

Alüminyum alaşımının bileşiminin yanı sıra tane inceltme işlemini etkileyen diğer faktörler ise döküm kesit kalınlığı ve döküm yöntemidir. Sıcak halde ingot dökümleri, kalın kesitler ve düşük katılma hızlarında gerçekleştiğinden dolayı tane inceltme işlemi daha ince kesitlerde gerçekleştirilen ekstrüzyon takoz dökümüne göre daha zor olmaktadır. Sürekli levha döküm işlemlerinde ise kesitin ince ve katılmanın hızlı olmasına karşın kenar çatlama sorunu ile AlTiB tane küçültücünün yüksek miktarlarda ilave edilmesi gerekmektedir .

3.2. Alüminyum Dökümlerinde Tane İnceltme Mekanizmaları

Alüminyum dökümlerinde titanyum ilavesinin tane inceltme etkisi bilinmektedir. Bu etkiyi titanyumun nasıl gösterdiğine dair en yaygın görüş, titanyumun alüminyum ile $TiAl_3$ bileşiği oluşturarak bu bileşiklerin sıvı alüminyumda heterojen çekirdeklenme

noktaları oluşturduğu şeklindedir. Şekil 3.4'de faz diyagramından da görüldüğü üzere titanyum ilavesi alüminyumun ergime sıcaklığını 660°C'den 665°C'ye çıkarmıştır. Başka bir önemli durum ise alüminyum içerisinde titanyum miktarı %0,15'i geçtiği anda sıvı içerisinde heterojen çekirdeklenme altlıklarını oluşturduğu varsayılan katı $TiAl_3$ bileşiği kendiliğinden oluşmaktadır [25].

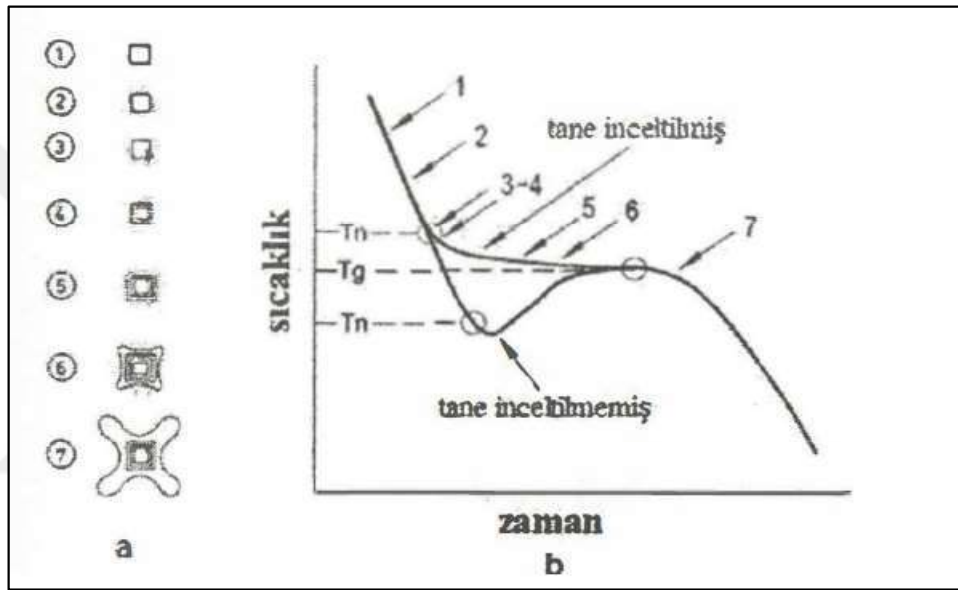


Şekil 3.4. Al-Ti faz diyagramı [24].

Alüminyumun katı $TiAl_3$ partikülleri üzerinde çekirdeklenecek büyümesini ve bu sayede tane inceltme mekanizması Şekil 3.5.a'da gösterilen şema ile açıklanmış olup, Şekil 3.5.b'de gösterilen başka bir soğuma eğrisi ile ilişkilendirilerek açıklanmıştır. Tane inceltici olarak ilave edilen titanyum içeren master alaşımı içerisinde çok sayıda $TiAl_3$ intermetalik bileşiği bulunmaktadır. Tane inceltici master alaşım dökümden birkaç dakika önce alaşıma ilave edildiği zaman milyonlarca mikroskobik $TiAl_3$ partikül sıvı metal içerisine dağılmaktadır [18].

Şekil 3.5.a'da şematik olarak 1 ile gösterilen parçacığı $TiAl_3$ olarak varsayabiliriz. $TiAl_3$ sıvı alüminyum ile temas ettikten sonra çözünmeye başlar ve bunun neticesinde partikül etrafında partikül ile temas eden alüminyum titanyumca zenginleşmeye başlayacaktır. Bu durum Şekil 3.5.a'da 2 numara ile gösterilmektedir.

Şekil 3.4’de verilen faz diyagramından görüldüğü üzere titanyumca zengin olan sıvı ana metale göre daha yüksek likidüs sıcaklığına sahip olması sebebiyle katılaşmaya başlayacaktır. Bu sayede Şekil 5.3a’da 3 numara ile gösterildiği üzere partikül yüzeylerinde ilk katı çekirdeklenme başlayacaktır. Aynı şekilde 4 ve 5 numara ile gösterildiği gibi partikül etrafında çözülmüş titanyumca zengin alüminyum tüketerek büyümeye devam edecek ve sıvı tükenince büyüme duracaktır. Metal soğumaya devam ederken çekirdek etrafında dentritik büyüme başlayıp 6 ve 7 numaralarda görüldüğü gibi devam edecektir [18].

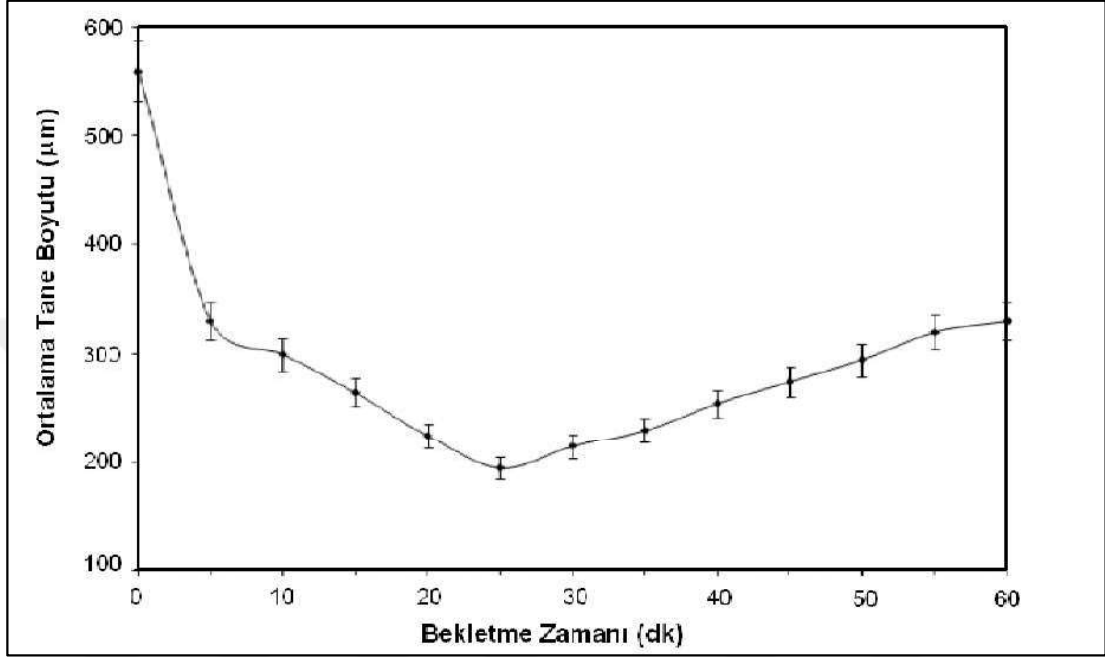


Şekil 3.5. a) Alüminyum TiAl₃ partikülleri üzerinde çekirdeklenerek büyümesi sırasında geçirdiği aşamaların şematik gösterimi, b) Tane inceltilmemiş ve tane inceltirmiş sıvı alüminyum soğuma eğrilerinin gösterimi [18].

TiAl₃ partiküllerinin tane inceltme etkisinin soğuma eğrisine yansıtılması bakımından Şekil 5.3.b önem arz etmektedir. Soğuma eğrisi incelendiği zaman tane inceltici eklenmemiş dökümde çekirdeklenmenin kendiliğinden oluşabilmesi için sıvının T_g (büyüme) sıcaklığı altında bir T_n (çekirdekleşme) sıcaklığına kadar birkaç derecelik alt soğuma gerçekleştirmesi gerekmektedir. Tane inceltici eklenmiş bir dökümün soğuma eğrisi ise T_g sıcaklığının hemen üzerinde 3-4 noktalarında alüminyumun çekirdeklenebildiği göstermektedir [18].

Etkili bir tane inceltme sağlamak için tane inceltici ilavesinden döküm işlemine kadar geçen sürenin iyi belirlenmesi önemli bir parametredir. Tane incelticinin sıvı

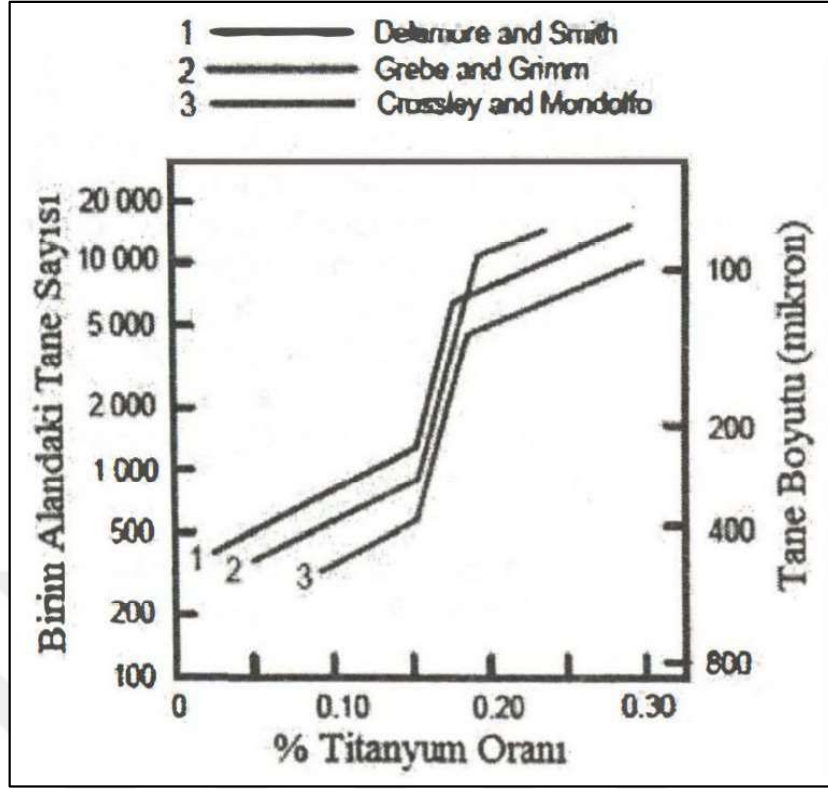
metal içerisinde iyi şekilde dağılabilmesini ve tane küçülmesini sağlamak için uygun zaman gerekliliği, bu konu üzerinde çalışan tüm araştırmacılar tarafından kabul edilmiştir. Şekil 3.6'da tane incelticinin tane boyutunu küçültme etkisinin zamanla arttığı ve bir maksimumdan sonra azaldığı öne sürülmektedir [26].



Şekil 3.6.ETİAL 160 primer alaşımına katılan Al-5Ti-1B master alaşımının bekletme zamanına göre tane boyutu değişimi [27].

Şekil 3.6'da görüldüğü üzere ETİAL 160 alaşımına eklenen tane incelticinin ergiyikte 25 dakika bekletilmesi, tane inceltme performansını maksimum seviyeye getirmiştir. Ancak bu süreden sonra performansı giderek azalma göstermiştir. Bekleme süresinin uzamasıyla tane boyutunun artmasının sebebi olarak; Al-5Ti-1B ilavesiyle alaşım içerisinde oluşan ve çekirdeklenme etkisi sağlayan TiB_2 ve $TiAl_3$ gibi intermetalik bileşiklerin zamanla çözünmeye başlaması veya kümeleşerek boyutlarının büyümesi ve heterojen çekirdeklenme noktalarının azalması ile ilişkilendirilmektedir [27].

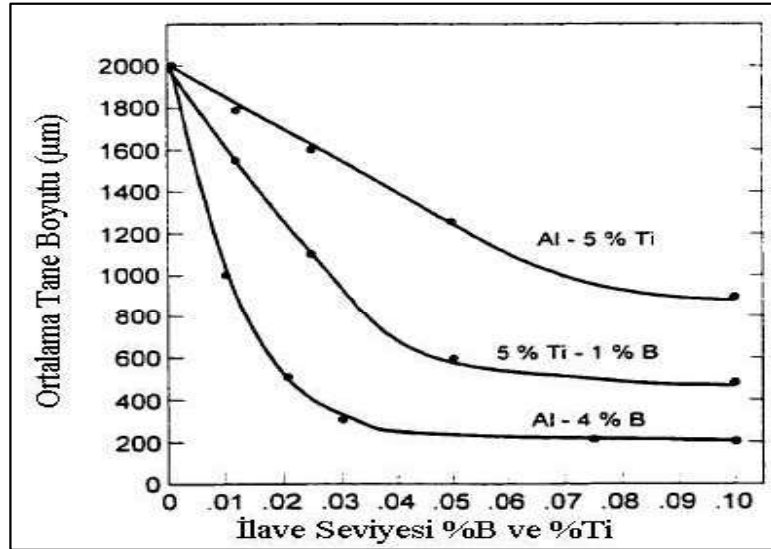
Üç farklı çalışmadan alınan ve bir araya getirilen sonuçlar Şekil 3.7'de verilmektedir. Deneysel sonuçlardan görüldüğü üzere %0,15 ten daha az oranlarda Ti ilavesi ile düzgün bir tane inceltmenin mümkün olmadığı ve tutarlı bir tane inceltme yapılabilmesi için Ti miktarının mutlaka %0,15'in üzerinde olması gerektiği anlaşılmaktadır [18].



Şekil 3.7.%99.7 safiyette alüminyumda titanyum ilavesi ile tane inceltme sonuçları [18].

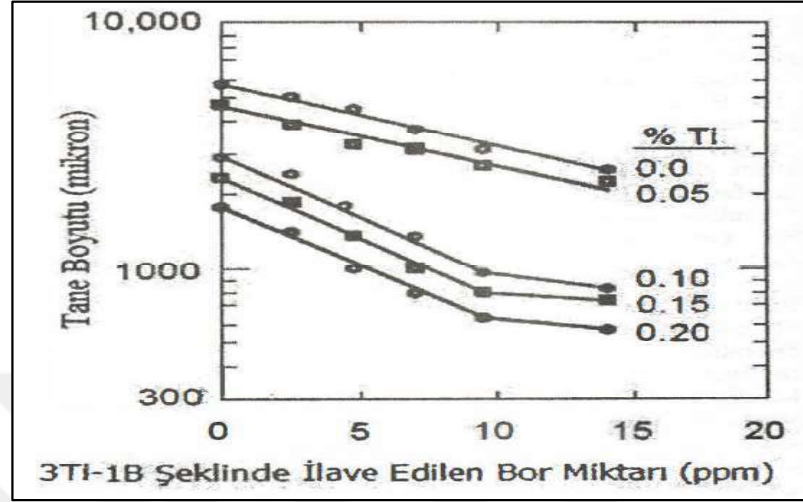
3.3. Alüminyum Alaşımlarında Tane İnceltmede Borun Etkisi

A356 alaşımında Al-%5Ti, Al-%5Ti-%1B ve Al-%4B olmak üzere üç farklı tane inceltici master alaşımı ile yapılan tane inceltme sonuçları Şekil 3.8’de verilmiştir. Tane inceltici olarak borun titanyumdan daha etkili olduğu görülmektedir [25].



Şekil 3.8. A356 alaşımında üç farklı master alaşımı ile tane

A319 alaşımı ile yapılan tane inceltme alışmaları Şekil 3.9’da verilmiştir. Bu çalışmaya göre tane iceltici olarak bor miktarı arttırılrsa dahi titanyum ilavesi olmadan etkili bir tane inceltme yapmak mümkün görülmemektedir [18].



Şekil 3.9. A319 alaşımında tane inceltme sonuçları [18].

4. SICAK YIRTIILMA

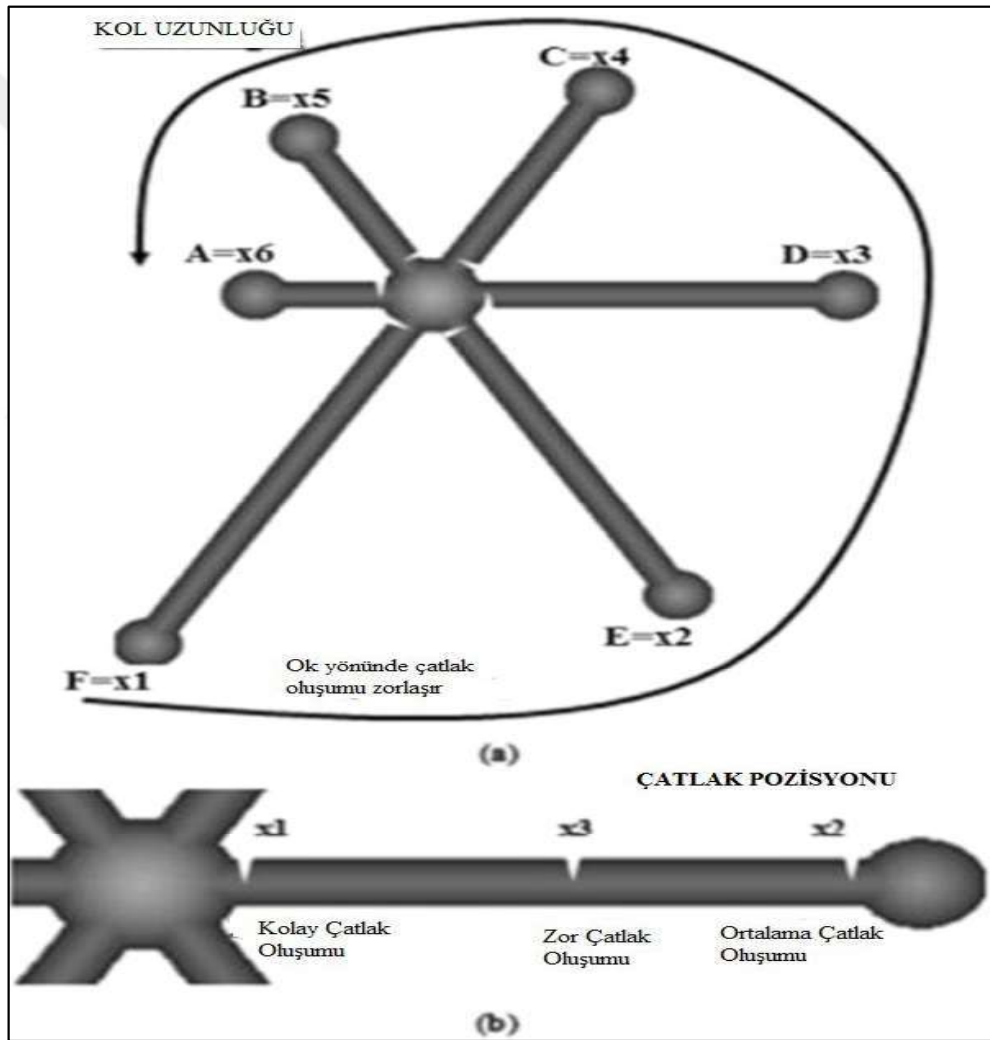
Her üretimde olduğu gibi dökümde de hatalı parçaların ortaya çıkması kaçınılmazdır. Hata oranı, parça boyut ve biçimi malzeme uygulamalarına bağlı olarak yaklaşık %30'a kadar çıkabilmektedir. Üretimin farklı süreçlerinden kaynaklanabilen döküm hataları, parça, model, kalıp tasarımında, döküm sırasında ve bitirme işlemlerinde hatalar, yanlış malzeme seçimi gibi farklı sebeplerle ortaya çıkabilmektedir [28].

Katılaşması tamamlanmış, fakat hala sıcak olması nedeniyle yeterli dayanıma sahip olmayan döküm parçaları kalıp içerisinde soğuma gerçekleşirken büzülme serbestçe gerçekleşemez. Bu sebeple iç gerilmeler ortaya çıkar ise, kritik kesitlerde sıcak yırtılmalar oluşur. Yırtılma yüzeyi pürüzlü ve oksitlenmiş bir görünüme sahiptir. İç gerilmeler, daha düşük sıcaklıklarda soğuk çatlaklara veya çarpılmalara da sebep olabilmektedir. Çarpılmaların başka bir sebebi de, farklı kalınlıklara sahip olan kesitlerin soğuma hızları arasındaki farklılıklardır [28].

Sıcak yırtılmanın metalurjik nedeni, katılaşmanın son aşamasında (yani sıvı metalin % 80 katı içerdiği durumlarda) ilk ve son oluşan dendritler arasındaki uyum durumudur. Sıcak yırtılma, geriye kalan %20 sıvının metalurjik sıcaklık aralığının uzunluğuna bağlı olmaktadır. Eğer bu %20 sıvı sabit sıcaklıkta katılaşır, sıcak yırtılmaya eğilim de büyük miktarda azalır. Sıcak yırtılmalar, katılaşma aralığı gösteren metallerde görülmektedir. Yani saf ve ötektik alaşımlar sıcak yırtılma pek göstermezler. Bunun sebebi, katılaşmanın sabit sıcaklıkta olmasıdır [28].

Sıcak yırtılmayı 2 ana faktör etkilemektedir. Bunlardan ilki, döküm dizaynı faktörüdür. Katılaşma anında sıcaklık dağılımı büyük ölçüde dizayna, sıvı metalin döküm hızına ve sıcaklığına bağlı olmaktadır. Sıcaklık farklılıklarından oluşan termal gerilmeler malzemenin dayanımını aşarak yırtılmalara sebebiyet vermektedir. Buna ek olarak dizayn, metalin büzülmesini bazı bölgelerde engelleyerek aynı tip yırtılmaları oluşturmaktadır [28].

Sıcak yırtılmayı etkileyen ikinci faktör ise alaşım faktörüdür. Malzemenin sünekliliği, çekinti hassasiyeti, katılma aralığının büyüklüğü, yüksek sıcaklıklardaki dayanımı ve katılma mekanizması gibi özellikler bu faktör içerisinde toplanabilir. Sıcak yırtılma bölgesinde eğer malzeme büzülmesi az ise gerek termal gerekse dizayndan doğan gerilmeler azalacağı için yırtılma ihtimali azalma gösterecektir. Eğer malzeme bu bölgede yeterli plastisiteye ve mukavemete sahip ise oluşan gerilmeleri yırtılmadan taşıyabilecektir. Ayrıca likidüs ve solidüs sıcaklıkları arasındaki fark da önem arz etmektedir. Bu fark artış gösterdikçe sıcak yırtılmaya olan hassasiyet artmaktadır [28].



Şekil 4.1.a) Kol uzunluğunun yırtılma hassasiyetine etkisi b) Çatlak pozisyonunun hassasiyete etkisi [29].

Deneylede numuneler sıcak yırtılma testleri için farklı kalıp teknikleriyle yapılan dökümlerle incelenebilmektedir. Testte nihai bir sonuç elde etmek, sıcak yırtılma

hassasiyetinin belirli parametrelerle belirlenip ölçülmesine bağlıdır. Bu parametreler ölçüm kolunun uzunluğu, yırtılmanın gerçekleştiği yerin konumu, ve yırtılmanın hafif yırtılma, çatlak oluşumu ve kopma gibi özelliklerine bakılarak belirlenmektedir [29].

Tablo 4.1. Sıcak yırtılma hassasiyeti hesabı için gerekli parametre katsayıları [29].

Kol Uzunluğu mm	L_i	Kategori	C_i	Pozisyon	P_i
51.0	6	Çatlak yok	0	Yolluk Sonu	1
73.8	5	Hairline	1	Kol Ortası	3
96.6	4	Hafif Çatlak	2	Top Sonu	2
119.4	3	Orta Dereceli	3		
142.2	2	Kopma	4		
165.0	1				

C: Sıcak yırtılma kategorisini gösterir. 5 kategoride incelenir;

- 1) Çatlaksız olma durumu
- 2) Kılcal Çatlak: Yüzey çatlağıdır. Çok ince, gözle seçilmesi zordur. Maksimum uzunluğu çubuk çevresinin yarısı kadar olmalıdır.
- 3) Hafif Çatlak: Çubuk boyunca uzanan hairline çatlağı yapısıdır.
- 4) Orta Dereceli Çatlak: Belirli bir derinliğe kadar inen büyük çatlaklardır.
- 5) Kopma: Numune dökümde aşırı hasarlandığı için test kolunun tamamen kopması ile gerçekleşir.

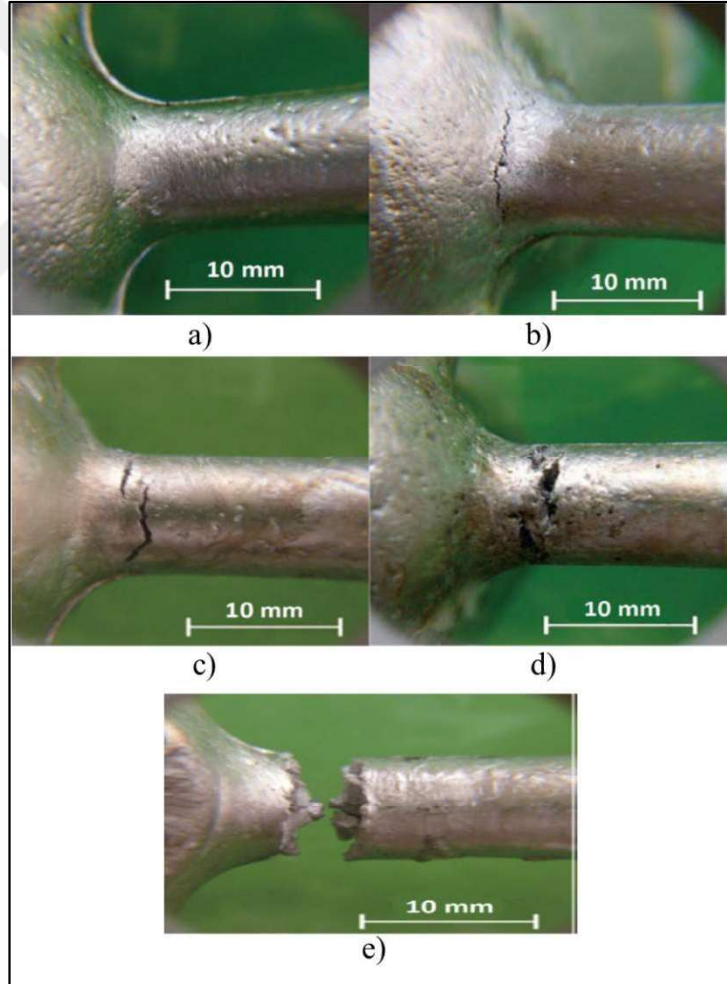
L: Çatlağın Test kolunda oluşum mesafesidir. Milimetre ile ölçülür. Çatlak döküm merkezinden ne kadar uzaksa hassasiyet o kadar az olmaktadır.

P: Sıcak yırtılma pozisyonuna göre hassasiyet katsayısıdır. Şekil (4.1 b)' de gösterildiği gibi çatlağın kalıp döküm noktasının hemen yanında, kol üzerinde veya yuvarlak uç kısım ile birleşen radiuslu bölgede olmasına bağlı olarak verilen katsayıdır.

Sıcak Yırtılma Hassasiyeti (HTS) = $\sum (C_i \cdot P_i \cdot L_i)$ şeklinde hesaplanmaktadır.



Şekil 4.2. Sıcak yırtılma test numunesi [29].



Şekil 4.3. a) Çatlaksız oluşum b) Kılcal çatlak c) Hafif çatlak oluşumu d) Orta dereceli çatlak oluşumu e)Kopma hasarı

5. MALZEME VE YÖNTEM

5.1. Çalışma Programı

Bu çalışmada A713 alaşımı elde edip, bu alaşıma Al5Ti1B master alaşımında %0, %0,3 ve %0,9 olmak üzere 3 farklı Ti oranında ile tane inceltici eklenmiştir. 700°C ve 750°C olmak üzere 2 farklı sıcaklık baz alınmıştır. Tane inceltme, sıcak yırtılma, aşınma ve sertlik deneyleri yapılmıştır. Numunelerin mikroyapıları SEM ve optik mikroskopla incelenmiştir.

5.2. A713 Alaşımının Üretimi

A713 alaşımını üretmek için malzemelere yapılan ergitme ve döküm işlemi Kocaeli Üniversitesi'nde INDUCTOTHERM 35 kW gücünde, 3 kg Al ergitme kapasitesine sahip grafit pota içerisinde yapılmıştır. A713 alaşımının kimyasal bileşimi Tablo 5.1' verilmiştir. Şekil 5.1'de indüksiyon ocağının resmi gösterilmektedir.

Tablo 5.1. A713 alaşımının kimyasal bileşimi (%).

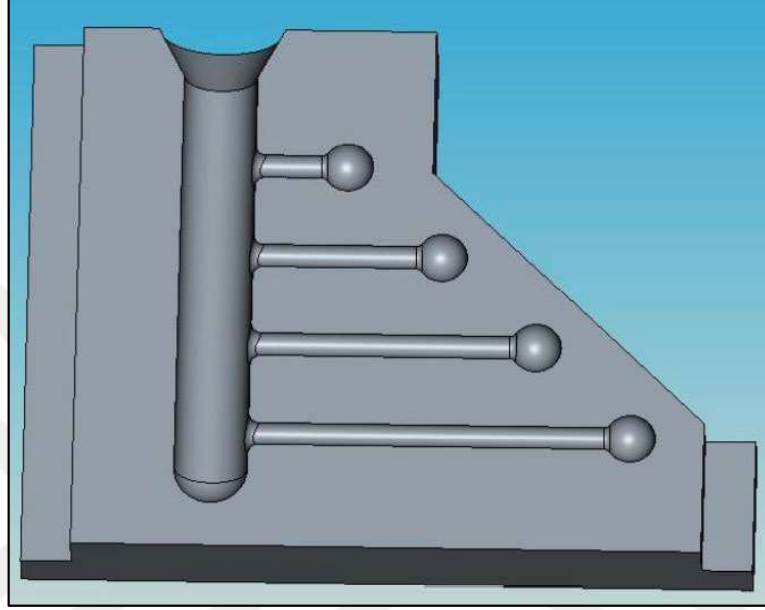
Alaşım	Al	Cu	Mg	Zn
A713	91.3	0.7	0.5	7.5



Şekil 5.1. INDUCTOTHERM indüksiyon ocağı

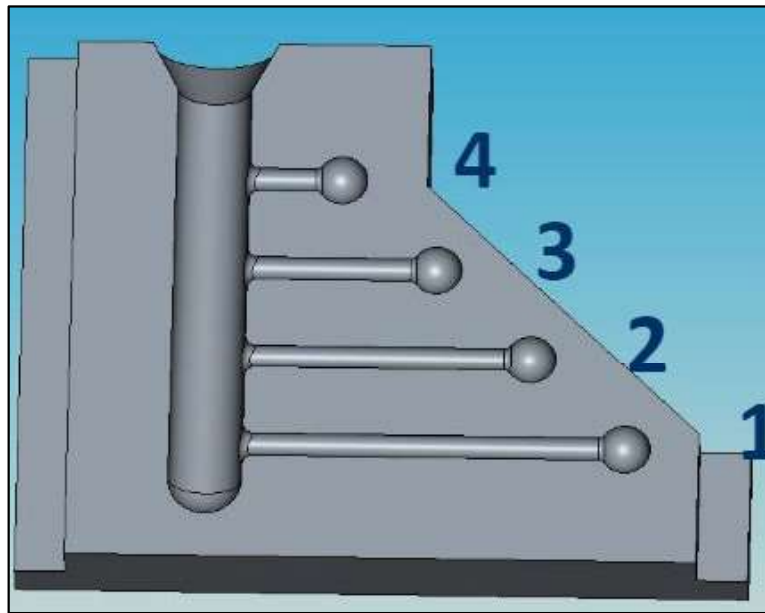
5.3. Sıcak Yırılma Testi

Hazırlamış olduğumuz A713 alaşımını İstanbul Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümünün döküm laboratuvarında 180°C kalıp sıcaklığında deneyler yapılmıştır. Şekil 5.2’de gösterilen N-Tec kalıbı kullanılmıştır.



Şekil 5.2. N-Tec kalıbı.

Sıcak yırılma duyarlılığı (HTS) hesaplamak için önce aşağıdaki Şekil 5.3’de görüldüğü gibi numaralandırılır.



Şekil 5.3. N-Tec kalıbında şiddet faktörü gösterimi.

L : Çatlağın test kolunda oluşum mesafesi ile ifade edilmektedir.

C : Sıcak yırtılma kategorisini gösterir. 4 katagoride incelenir.

1 : Çatlak yok

2 : Hafif çatlak

3 : Orta Dereceli Çatlak

4 : Tamamen Kopma

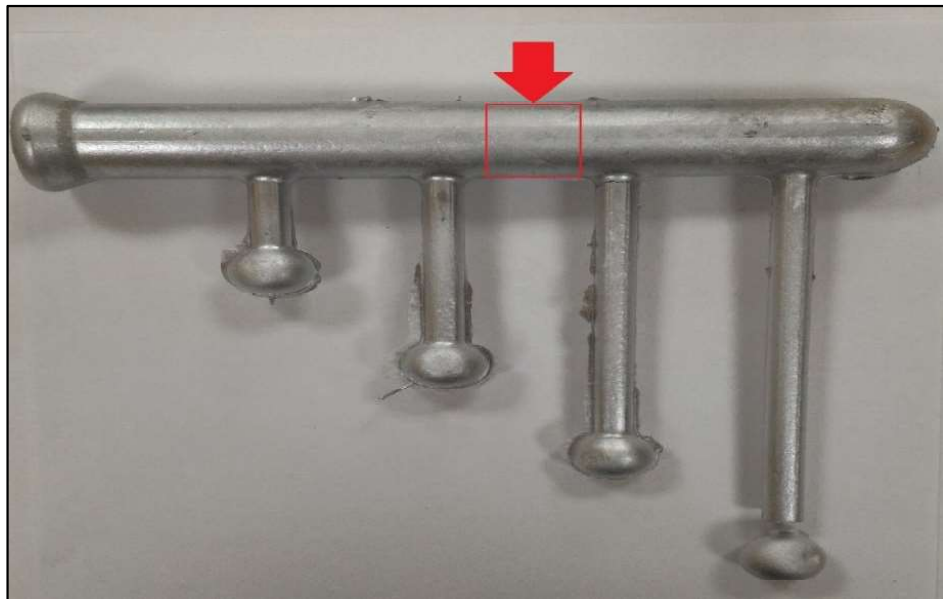
Kullanılan formül Tablo 5.2’de gösterilmiştir.

Tablo 5.2. Sıcak yırtılma hesaplama gösterimi.

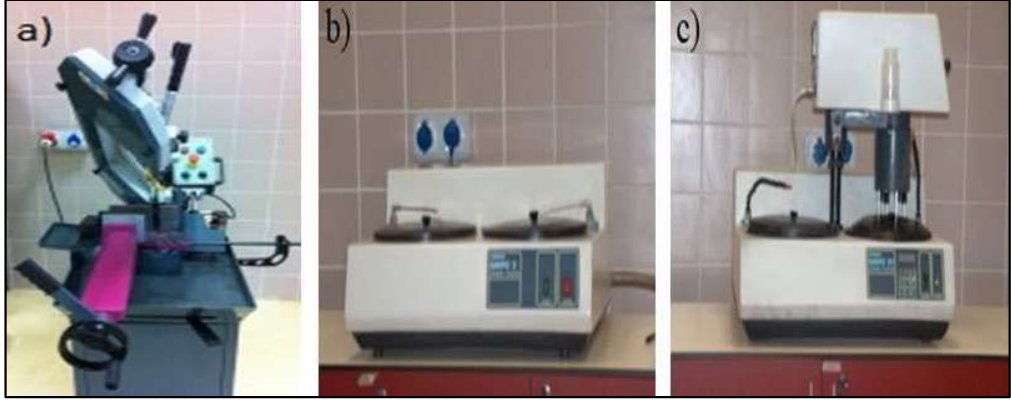
Test No.	$C_A \times L_A$	$C_B \times L_B$	$C_C \times L_C$	$C_D \times L_D$	$HTS = \sum (C_i \times L_i)$
----------	------------------	------------------	------------------	------------------	-------------------------------

5.4. Numunelerin Metalografik İşlemlerle Hazırlanması

Sıcak yırtılma testleri için yapılan dökümlerden Şekil 5.4’de verildiği gibi 1 cm’lik kesit alınmıştır. Bu işlem Şekil 5.5.a’da gösterilen şerit testere ile yapılmıştır. Zımparalama işleminde 300, 600, 1000, 2000 ve 4000 gridlik zımparalar kullanılmıştır. Numunelerde parlartma işlemi 4µm’lik elmas pasta ile yapılmış ve her bir numune yaklaşık 20 dk kadar sürmüştür.



Şekil 5.4. Sıcak yırtılma döküm parçası numunesinden



Şekil 5.5. a) Şerit testere b) METKON GRIPO 2V zımparalama cihazı

5.5. Sertlik Ölçümü

Numuneler üzerinde yapılan sertlik ölçümleri için Future-Tech FV-700 vikers sertlik ölçüm cihazı kullanılmıştır. 3 kg yük altında 10 saniye süre ile uygulanmıştır. Her numuneden 5 ölçüm alınmış ortalama sertlik değerleri ve standart sapma ile hesaplanarak sonuçlar kısmında sunulmuştur. Kullanılan cihaz Şekil 5.6'da gösterilmiştir.



Şekil 5.6. Future-Tech FV-700 vikers sertlik ölçüm cihazı.

5.6. Aşınma Testi

Numuneler Şekil 5.7'de gösterilen aşınma testi için Micro Photonics PIN ON DISK Aşınma Cihazı kullanılmıştır. Aşınma deneylerinin hepsinde karşı yüzey olarak AISI

52100 çelik (6mm) bilyaları kullanılarak 10 N yük altında gerçekleştirilmiştir. Tüm testler için iz genişliği 12mm, dönme hızı 150 ipm ve mesafe 250 m olarak sabit tutulmuştur.

Aşınma testi öncesi numuneler tartılıp kayıt altına alınmıştır. Aşınma testinden sonra alkolle temizlenip, sıcak hava üfleyicisi ile kurutulan numuneler tekrar tartılmış ve kayıt altına alınmıştır.



Şekil 5.7. Micro Photonics PIN ON DISK aşınma cihazı

Aşınma kaybının ölçülmesi Şekil 5.8’ de görülen RADWAG AS 220/C/2 hassas analitik terazisi ile ölçülmüştür.



Şekil 5.8. RADWAG AS 220/C/2 hassas analitik terazi.

Aşınma miktarı gram veya miligram cinsinden ifade edilirse, metre veya kilometre olarak tespit edilen sürtünme yoluna göre, birim sürtünme yoluna karşılık gelen ağırlık kaybı miktarı, (gr/km), (mg/m) ile ifade edilebilir. Ağırlık kaybı birim alan için hesap edilecekse, (gr/cm²) gibi bir birim kullanılabilir. Ağırlık kaybı, hacimsel

aşınma miktarı olarak belirtilmek istendiğinde, yine ağırlık kaybından hareketle kullanılan malzemenin yoğunluğu ve deney numunesi üzerine etki eden yükleme ağırlığı hesaba katılmak suretiyle birim yol ve birim yükleme ağırlığına karşılık gelen hacim kaybından gidilerek de bulunabilir

$$W_s = \frac{\Delta V}{F_n L} = \frac{\Delta m}{\rho F_n L}$$

Burada;

W_s : Özgül aşınma miktarı

ΔV : Hacimsel malzeme kaybı

Δm : Ağırlık Kaybı

P : Yoğunluk

F_n : Uygulanan normal kuvvet

L : Kat edilen toplam yol uzunluğudur.

5.7. SEM ve EDX ile Karakterizasyon

Numuneler Şekil 5.9' da gösterilen JEOL JSM-6060 marka taramalı elektron mikroskopunda SEM görüntüleri ve EDX analizi yapılmıştır.



Şekil 5.9. JSM-6060 marka taramalı elektron mikroskop.

5.8. Optik Mikroskop ile Karakterizasyon

Metalografik olarak hazırlanan numuneler Şekil 5.10'da gösterilen Olympus BX41M-LED marka optik mikroskopta çekilmiştir.

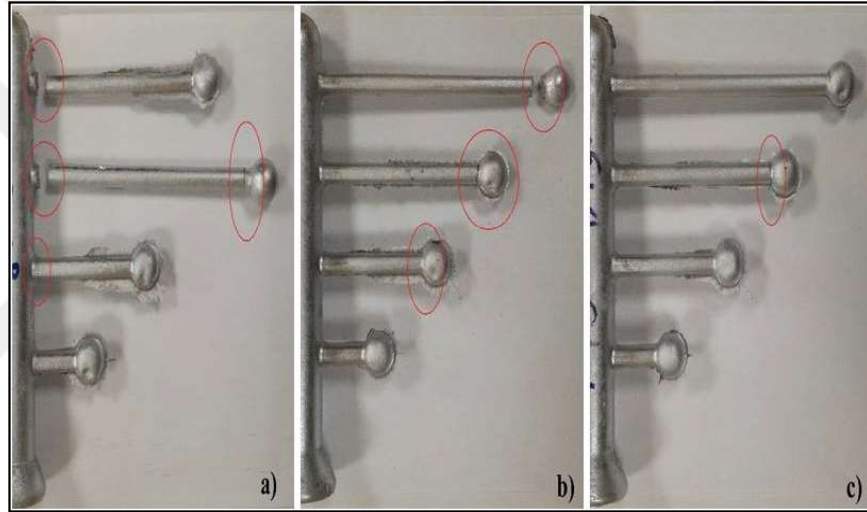


Şekil 5.10. Olympus BX41M-LED marka optik mikroskop

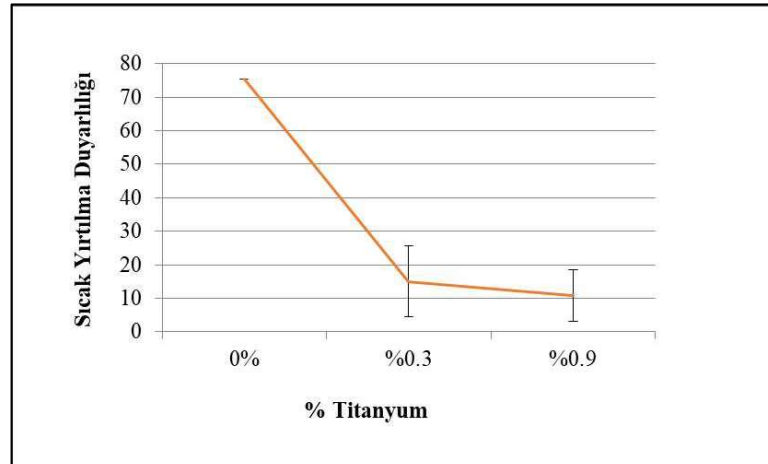
6. BULGULAR

6.1. Sıcak Yırtılma Sonuçları

Al5Ti1B master alaşımında 750°C’de %0 , %0,3 ve %0,9 olarak 3 farklı Titanyum oranında tane inceltici eklenmiştir. Şekil 6.1’ de sıcak yırtılmalar döküm üzerinde gösterilmektedir. Buna ek olarak yapılan dökümlerin sıcak yırtılma (HTS) sonuçları Şekil 6.2’ de gösterilmiştir. Tane inceltme etkisi ile sıcak yırtılma azalmıştır.



Şekil 6.1. a) 750°C tane inceltme yapılmamış A713 alaşımı b) 750°C Al5TiB master alaşımında %0,3 titanyum ilave edilmiş A713 alaşımı c) 750°C Al5TiB master alaşımında %0,9 titanyum ilave edilmiş A713 alaşımı.



Şekil 6.2. Sıcak yırtılma duyarlılığı (HTS)

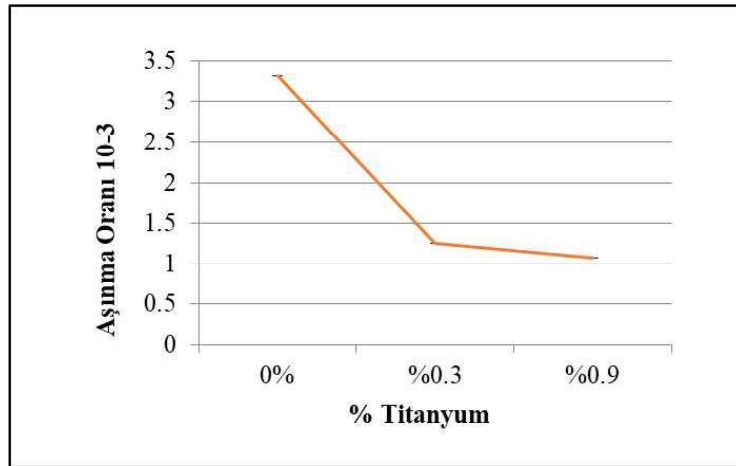
Şekil 6.1.'de daire içerisine alınmış bölgelerde sıcak yırtılmadan kaynaklanan çatlaklar gözlemlenmektedir. 700°C'de yapılan dökümlerin hepsi sıcak yırtılma kalıbında ilerlemediği için bu sıcaklıktaki çalışmalar yapılamamıştır. Bu durum Şekil 6.3'de gösterilmiştir.



Şekil 6.3. 700°C Sıcak yırtılma testi sonucu.

6.2. Aşınma sonuçları

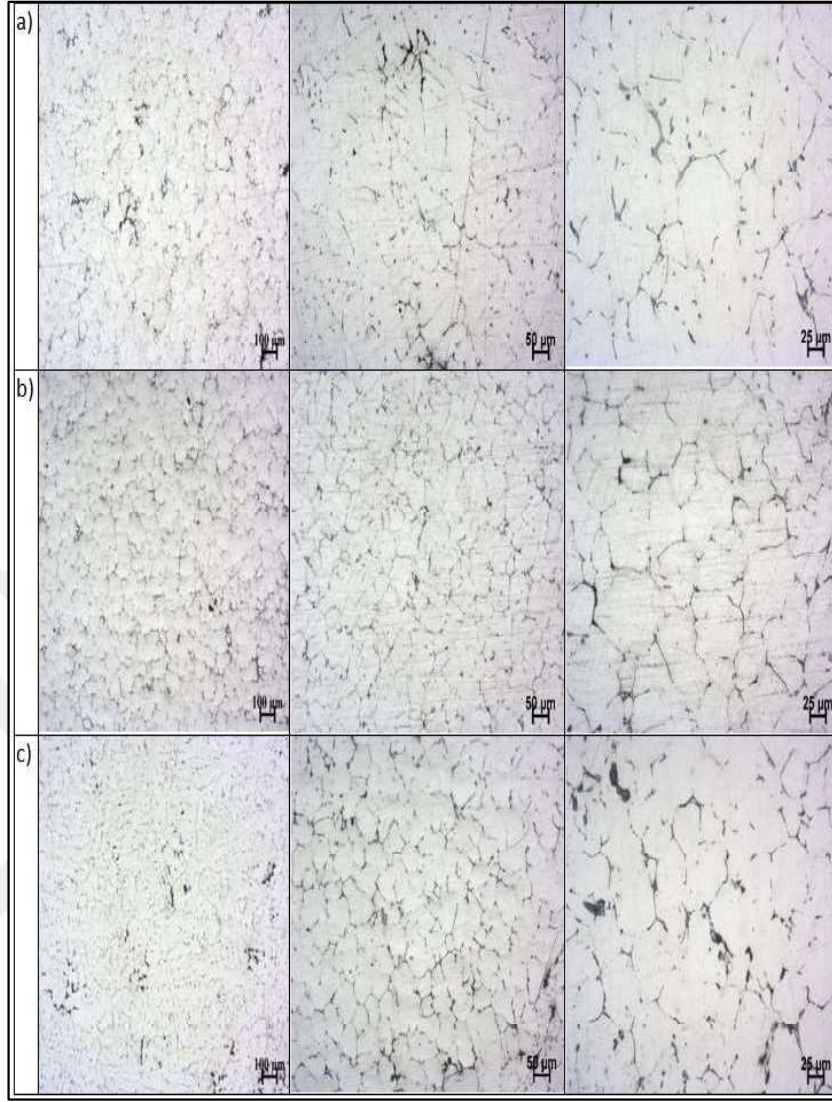
A713 alaşımına Al5Ti1B master alaşımına %0 , %0,3 , %0,9 Ti eklenmesiyle oluşan aşınma testi sonuçları Şekil 6.4'de gösterilmiştir. Titanyum ilavesi ile aşınma oranında belirgin şekilde azalma gerçekleşmiştir.



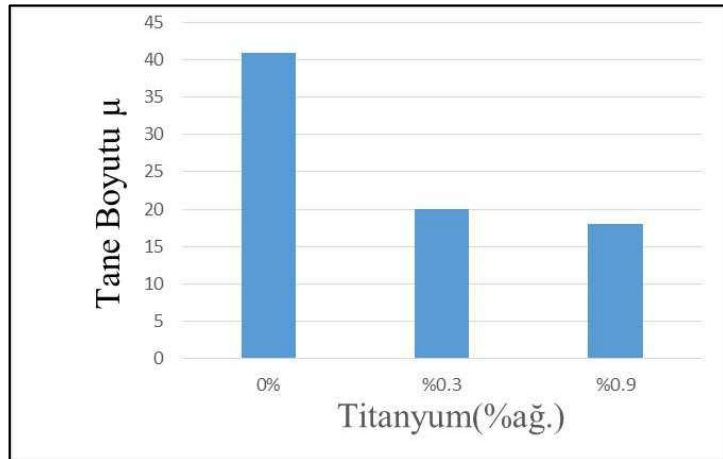
Şekil 6.4. Aşınma oranının Ti ilavesi ile değişimi.

6.3. Mikroyapı Sonuçları

A713 alaşımında Al5Ti1B master alaşımı ile %0,3 ve %0,9 oranında titanyum ilavesi ile tane inceltmiştir. Tane boyutu tane inceltici ilavesi ile azaltılmıştır. Numunelerin mikroyapı Şekil 6.5'de gösterilmiştir.



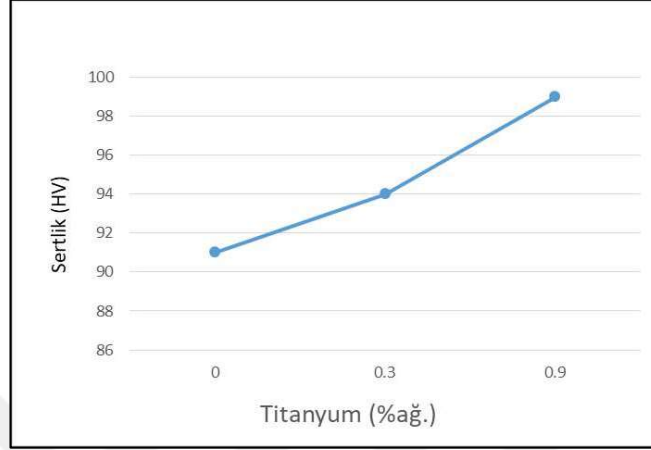
Şekil 6.5. a) Tane inceltilmemiş sırasıyla 100µm, 25µm, 10 µm mikroyapıları b) %0,3 Ti ilavesi ile tane inceltilmiş sırasıyla 100µm, 25µm, 10 µm mikroyapıları c) %0,9 Ti ilavesi ile tane inceltmiş sırasıyla 100µm, 25µm, 10 µm mikroyapıları.



Şekil 6.6. İkincil dentrit kolları arası mesafe.

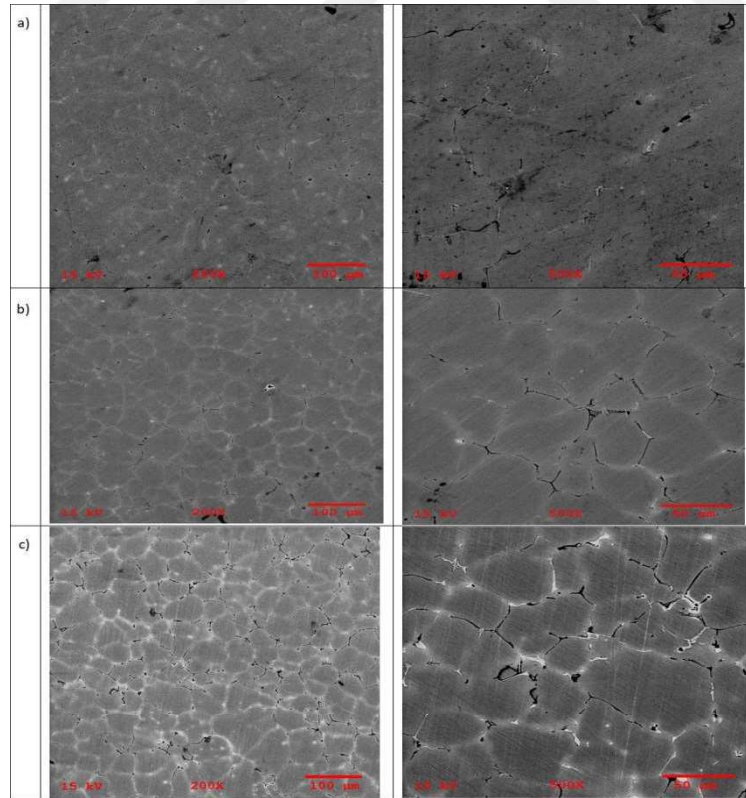
6.4. Sertlik Sonuçları

Şekil 6.7' de görüldüğü üzere sertlikte tane inceltme ile belirgin bir değişim gözlenmemiştir.



Şekil 6.7. Titanyum ilavesi ile numunelerin sertlik değişimi.

6.5. SEM Sonuçları



Şekil 6.8. a) Tane inceltilmemiş 100µm ve 50µm SEM görüntüleri. b) %0.3 Ti tane inceltilmiş SEM görüntüleri c) %0.9 Ti tane inceltilmiş SEM görüntüleri.

7. TARTIŞMA

A713 alaşımında Al5Ti1B master alaşımı ile 750°C de %0,3 ve %0,9 oranlarında titanyum ilavesi ile tane boyutunda başarılı şekilde küçülme sağlandı. Sıgworth G.K ve Kuhn T'nin yapmış oldukları çalışmada Al5Ti1B alaşımında 10 ppm bor ilavesi ile tane inceltme yapılmıştır. Titanyum ve borun az miktarda ilavesiyle başarılı bir şekilde tane inceltme yapılmıştır. Delamure and Smith, Grebe and Grim, Crossley and Mondolfo' nun yaptıkları 3 farklı çalışma da %0,15 'in üzerinde Ti ilavesi ile tane inceltmenin başarılı bir şekilde gerçekleştirildiği gözlemlenmiştir [18].

A713 alaşımında Al5Ti1B master alaşımında %0,3 ve %0,9 Ti ilavesi ile yapılan tane inceltme ile sıcak yırtılma hassasiyetinin azaldığı gözlemlenmiştir. Tane inceltme yapılmış numunelerin aşınma oranında da belirgin azalmalar gözlemlenmiştir. Sertlik değerlerinde belirgin bir değişim gözlemlenmemiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Er M., Yüksek Frekanslı, Genlik Ayarlı Eğilme Yorulması Test Cihazı Tasarımı ve 1100-H14 Alüminyum Levhasının Eğilme Yorulması Davranışının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir, 2006, 180128 .
- [2] Burgucu S., 7075 Alüminyum Alaşımların Üretimi ve Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2011, 295875.
- [3] Fakıoğlu A., “Yaşlandırılan AA7075 Alüminyum Alaşımlarının Yorulma Davranışlarını İncelenmesi“, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 2012, 301806.
- [4] Ayvaz M., Çetinel H., Farklı Alüminyum Alaşımlarının TIG Kaynak Yöntemi ile Kaynatılması ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, *C.B.Ü. Fen Bilimleri Dergisi*, 2011, 7(1), 39-46.
- [5] Eker İ., Sevim İ., 6061 Alüminyum Alaşımının Sürtünme Karıştırma Kaynak Yöntemi ile Kaynak Edilebilirliğinin İncelenmesi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 2009, 15(2), 137-141
- [6] Batuk Ç., AA7075 Alüminyum Alaşımların Konik Şekillendirilebilirliğine İşlem Parametrelerinin Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 2018, 515134.
- [7] Uludağ M., Farklı Şartlarda Dökülmüş Modifiyeli Al-12Si Alaşımlarında Yapı ve Özellikler, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2011, 302503.
- [8] Yalçın E.D., AA7075 ve AA5754 Alüminyum Alaşımların Sürtünme ve Karıştırma Kaynak Yöntemi ile Kaynak Edilebilirliğinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2010, 276131.
- [9] Akdoğan Eker A., Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları Ders Notları, Yıldız Teknik Üniversitesi, http://www.yildiz.edu.tr/~akdogan/lessons/malzeme2/Aluminyum_ve_Aluminyum_Alasimlari.pdf (18 Nisan 2019).
- [10] Akça H., TIG Yöntemi ile Kaynak Edilen Alüminyum ve Alaşımlarının Mikro Yapı ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul 2006 , 185190
- [11] Kumru N., Etial-141, 145 ve 160 tipi döküm alüminyum ile plaka tipi Alüminyum malzemeler için yorulma makinası tasarımı ve eğilmeli yorulma

- Davranışlarının incelenmesi, Doktora tezi, Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007, 213666.
- [12] Campbell J., An Overview of the Effects of Bifilms on the Structure and Properties of Cast Alloys, *Metallurgical And Materials Transactions B*, 2006, **37**(6), 857-863.
- [13] Kaufman J.G., Rooy E. L., *Aluminum alloy castings: properties, processes, and applications*, 1st .ed , ASM International, Ohio, 2004.
- [14] Topaloğlu V., “*The Effect of High Velocity Stirred Molten Aluminum on The Castability and Microstructure*”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2012, 322618.
- [15] Odabaşı A., Kokil ve kum kalıba döküm yöntemleriyle üretilen yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin X-ışınları ve tarama elektron mikroskobu çalışmalarıyla karakterize edilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2004, 152319.
- [16] Çetin A., Alüminyum Döküm Alaşımları” Dökümhane El Kitapları, Mühendishane, <https://muhendishane143950393.files.wordpress.com/2018/09/ffe79-el-kitabi-04.pdf> (28 Nisan 2019).
- [17] Dahle A.K., Nogita K., McDonald S.D., Eutectic modification of Al-Si alloys with rare earth metals, *Materials Transactions*, 2004, **45** (2), 323-326.
- [18] Çolak M., Kayıkçı R., Alüminyum Dökümlerinde Tane İnceltme, *SAÜ. Fen Bilimleri Dergisi*, 2009, **13**(1), 11-17.
- [19] Henghua Z., Xuan T., Guanjie S., Luoping X., Refining Mechanism of Salts Containing Ti and B Elements in Purity Aluminum, *Jornal of Materials Processing Technology*, 2006, **180**(1-3), 60-65.
- [20] Öksüzoğlu S., Al-Si-Mg Alaşımlarında Tane İnceltme İşleminin Mekanik Özellik ve Mikro Yapı Üzerine Etkisi Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2018, 507576.
- [21] Baypınar F., Alüminyum döküm alaşımlarında Al5Ti1B ile tane inceltme işlemi uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2005, 196612.
- [22] Kashyap K.T. ve Chandrashekar T., Effects and Mechanisms of Grain Refinement in Aluminium Alloys, *Materials Science*, 2001, **24**(4), 345-353.
- [23] Haydar H., Alüminyum Alaşımlarının Dökümünde Kullanılan Tane Küçültücüler, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2012, 302599.
- [24] Uygun G., Bozkurt N., Geçkinli E., Alüminyum Bor ile Tane Küçültme ve Bor Dağılımının Otoradyografi ile Tespiti, *4. Ulusal Metalurji Kongre ve Sergisi*, Konya, 22-25Ekim 1986.

- [25] Ibarra D. G., Control of Grain Refinement of Al-Si Alloys by Thermal Analysis, 1st ed., *Department of Mining and Metallurgical Engineering McGill University*, Montreal, 1999.
- [26] Erdoğan R., Otektik Altı Alüminyum Silisyum Alaşımlarında 5/1 TiBor On Alaşımı ile Tane İnceltme İşleminin Sertlik ve Mikroyapı Üzerindeki Etkisinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 1993, 39385.
- [27] Colak M., Kayıkcı R., AlTiB Master Alaşımı İlavesinin Etial 160 Döküm Alaşımı Üzerinde Tane İnceltme Etkisinin İncelenmesi, *5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu*, Karabük, 13-15 Mayıs 2009.
- [28] Ertuğ B., Odabaşı A., Eruslu N., Addemir O., Döküm Parçalarında Distorsiyon, İstanbul Teknik Üniversitesi, https://www.metalurji.org.tr/dergi/dergi134/d134_106111.pdf (19 Mayıs 2019).
- [29] Akhyar H., Malau V., Suyitno , Iswanto P.T., Hot tearing susceptibility of aluminum alloys using CRCM-Horizontal mold., *Results in Physics*, 2017, 7(1), 1030-1039.

KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER

- [1] **BAŞTÜRK Y.**, A713 Serisi Alüminyum Alaşımının Döküm ve Karakterizasyonu, *6 th International Symposium on Academic Studies in Science, Engineering and Architecture Sciences*, Ankara, June 13-15 2019.



ÖZGEÇMİŞ

Yeşim Baştürk 1992’de İstanbul’da doğdu. Lise öğrenimini Osmangazi Lisesi’nde tamamladı. 2010 yılında girdiği Afyon Kocatepe Üniversitesi Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü’nden 2015 yılında mezun oldu. Aynı yıl içinde erasmus programı ile Darmstadt Teknik Üniversitesi’nde 6 ay eğitim aldı. 2016 yılında Kocaeli Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans eğitimine başladı. Yüksek lisans eğitiminde A713 alaşımının döküm ve karakterizasyonu konusunda çalışmaları bulunmaktadır.

