



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



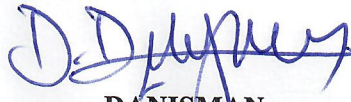
YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Al-Si ALAŞIMLARINDA Ti İLAVESİNİN SIVI METAL
TEMİZLİĞİNE ETKİSİ**

Özen GÜRSOY

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Programı

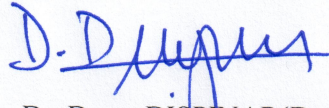

DANIŞMAN
Doç. Dr. Derya DIŞPINAR

Aralık, 2017

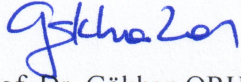
İSTANBUL

Bu çalışma, 28.12.2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Programında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

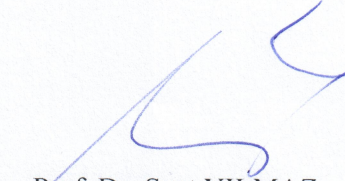
Tez Jürisi



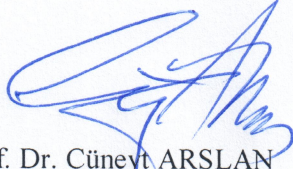
Doç. Dr. Derya DİSPİNAR(Danışman)
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi



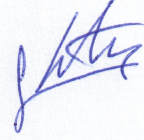
Prof. Dr. Gökhan ORHAN
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi



Prof. Dr. Suat YILMAZ
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi



Prof. Dr. Cüneyt ARSLAN
İstanbul Teknik Üniversitesi
Kimya-Metalurji Fakültesi



Yrd. Doç. Dr. Sebahattin KIRTAY
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi



20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi’nin aboneli olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

ÖNSÖZ

Bu çalışmada, Ti ilavesinin sıvı metal kalitesi, yani doğrudan mekanik özellikler üzerindeki etkisi incelenmiştir. Ti ilavesinin yanı sıra, kalıp türlerinin porozite oluşumuna ve mikroyapıya etkisi; porozite geometrisinin mekanik özelliklere etkisi gözlemlenmiştir. Çalışmada az değinilmiş ya da hiç değinilmemiş konular ele alınmış; doğruluğu neredeyse kesin yargılar çürütölmeye çalışılmıştır.

Sonuçlarının oldukça özgün olduğunu düşündüğüm bu çalışmanın endüstriyel uygulamalarda etkili rol oynayabileceğinden hiç şüphem yoktur.

Deneysel çalışmalarıma verdikleri büyük destekten dolayı başta Ali Osman KÜÇÜK ve ekibi olmak üzere Alcast Metal San. ve Tic. Ltd. Şti'ye çok teşekkür ederim.

Tüm eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi tüm desteklerini her zaman yanımda hissettiren aileme sonsuz teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Yalnız bu çalışmada değil, yüksek lisans eğitimimin ilk gününden bu yan her türlü yardımları, hoşgöröleri ve sabırları ile desteklerini gördüğüm hocalarım Sayın Prof. Dr. Gökhan ORHAN ve Sayın Dr. Eray ERZİ 'ye teşekkür ederim.

Hiç farkında olmadan beni bu yola sokan, tüm engellere rağmen pes etmeden adım adım ilerlememi sağlayan, gece ya da gündüz, hafta içi ya da hafta sonu, tatil ya da değil her an her konuda yardımını esirgemeyen, her konuda tüm bilgi birikimini benimle paylaşmaktan çekinmeyen, 3 ülke ve 12 şehirde geçen her anımda yanımda olan, hayat koçum, abim, danışman hocam Sayın Doç. Dr. Derya DIŞPINAR 'a çok teşekkür ederim.

Aralık 2017

Özen GÜRSOY

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
TABLO LİSTESİ.....	viii
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	ix
ÖZET	x
SUMMARY	xi
1. GİRİŞ	1
2. GENEL KISIMLAR.....	5
2.1. GEÇMİŞTEN GÜNÜMÜZE ALÜMİNYUM.....	6
2.2. ALÜMİNYUM ÜRETİM SÜREÇLERİ	8
2.2.1. Bayer Prosesi	9
2.2.2. Hall – Heroult Prosesi	10
2.3. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI.....	11
2.3.1. Alüminyum – Silisyum Alaşımları.....	12
2.6. HALL-PETCH TEOREMİ	14
2.7. ALÜMİNYUMDA TANE İNCELTME İŞLEMİ	16
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	19
4. BULGULAR.....	24
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	51
KAYNAKLAR.....	54
ÖZGEÇMİŞ	57

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1: Alstom Transport'un ürettiği alüminyum gövdeli yüksek hızlı tren (a), 2015'teki Paris Air Show'da uçan gövdesi ve kanatları alüminyumdan imal edilmiş Airbus A380 (b), parçalarının yüksek çoğunluğu alüminyumdan üretilmiş Jaguar JK30 (c) [4].....	1
Şekil 1.2: Geri dönüştürülmek için hazırlanmış meşrubat kutusu (a) ve otomobil jantı (b) hurdaları [7].	2
Şekil 1.3: Alüminyum ürünlerin kullanım ömrü ve geri dönüştürülme oranları [3].....	3
Şekil 1.4: Ülkelerin yıllık birincil alüminyum üretim miktarları [8].	4
Şekil 2.1: Yıllara bağlı olarak dünyadaki birincil alüminyum üretimi miktarının değişimi [2,3].....	5
Şekil 2.2: 1900-2007 yıllarında 1 ton alüminyumun fiyatının değişimi [3].	6
Şekil 2.3: Washington Anıtı'na yerleştirilen alüminyum başlık (a), Londra'daki alüminyum Eros Heykeli (b), Wright Kardeşler 'in Flyer'da kullandığı Al-Cu alaşımı motor (c) [12-14].....	7
Şekil 2.4: Yıllara bağlı olarak dünyadaki alümina üretimi miktarının değişimi [2].	9
Şekil 2.5: Al-Si faz diyagramı [15].	13
Şekil 2.6: Tane sınırında yön değiştiren bir kayma düzlemi [11].	15
Şekil 2.7: Pirinç alaşımında tane boyutu ile akma mukavemeti arasındaki ilişki [11].	16
Şekil 3.1: Her bir deneyde dökülen numunelerin sayısı ve dökülme sırası.	20
Şekil 3.2: RPT test cihazı ve çalışma sırasındaki vakum değeri (sağ üst).	21
Şekil 3.3: Çalışmada kullanılan kalıpların teknik çizimleri: dörtgen prizma kalıbı (a), RPT kalıbı (b), basamak kalıbı (c), çekme çubuğu kalıbı (d).	22
Şekil 3.4: Torna sonrası çekme çubuklarına ait teknik çizim.	23
Şekil 4.1: Ti oranının zamana bağlı değişimi.....	24
Şekil 4.2: Ti oranının potadaki bölgelere bağlı değişimi.	25
Şekil 4.3: Tane inceltici master alaşımı ilavesiz deneye ait RPT numunelerinin kesit görüntüleri.	26

Şekil 4.4: Al-5Ti-1B tane inceltici master alaşımı ilaveli deneye ait RPT numunelerinin kesit görüntüleri.....	27
Şekil 4.5: Bifilm indeksin zamana bağlı değişimi.	28
Şekil 4.6: Bifilm sayısının zamana bağlı değişimi.....	29
Şekil 4.7: Bifilm indeksinin weibull analizi ile değerlendirilmesi.....	30
Şekil 4.8: Bifilm sayısının Weibull analizi ile değerlendirilmesi.	31
Şekil 4.9: Sıvı metal üst bölgesinin mikroyapısına ait DAL analizi.	36
Şekil 4.10: Sıvı metal orta bölgesinin mikroyapısına ait DAL analizi.	37
Şekil 4.11: Sıvı metal alt bölgesinin mikroyapısına ait DAL analizi.....	38
Şekil 4.12: Sıvı metal üst bölgesinin mikroyapısına ait SDAS analizi.	39
Şekil 4.13: Sıvı metal orta bölgesinin mikroyapısına ait SDAS analizi.	40
Şekil 4.14: Sıvı metal alt bölgesinin mikroyapısına ait SDAS analizi.....	41
Şekil 4.15: Sıvı metal üst bölgesinin mikroyapısına ait SDAL analizi.....	42
Şekil 4.16: Sıvı metal orta bölgesinin mikroyapısına ait SDAL analizi.	43
Şekil 4.17: Sıvı metal alt bölgesinin mikroyapısına ait SDAL analizi.	44
Şekil 4.18: Çekme testinde çekme mukavemeti değerlerinin zamana bağlı değişimi.	45
Şekil 4.19: Çekme testinde uzama değerlerinin zamana bağlı değişimi.	46
Şekil 4.20: Çekme mukavemet değerlerinin Weibull analizi ile değerlendirilmesi.....	47
Şekil 4.21: Uzama değerlerinin Weibull analizi ile değerlendirilmesi.	48
Şekil 4.22: Kalıp türü ve tane incelticiye bağlı olarak çekme mukavemetindeki değişim.	49
Şekil 4.23: Kalıp türü ve tane incelticiye bağlı olarak uzamadaki değişim.	50
Şekil 5.1: Temsili kompakt ve karmaşık geometriye sahip bifilm.....	52
Şekil 5.2: Bifilm formları: karmaşık geometrili bifilm (a), küresel bifilm (b) [36].....	53

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1: Alüminyum Birliği'ne (The Aluminum Association) göre alaşım sınıflandırma sistemi [3, 5].....	11
Tablo 3.1: Çalışmada kullanılan 356 alaşımlarının kimyasal analizleri (ağırlıkça %).....	19
Tablo 4.1: Tane inceltici master alaşımı ilavesiz kokil kalıba yapılan dökümlerde sıvı metal bölgesine ve numune kesit kalınlığına bağlı mikroyapı değişimi.	32
Tablo 4.2: Tane inceltici master alaşımı ilavesiz kum kalıba yapılan dökümlerde sıvı metal bölgesine ve numune kesit kalınlığına bağlı mikroyapı değişimi.	33
Tablo 4.3: Al-5Ti-1B tane inceltici master alaşımı ilaveli kokil kalıba yapılan dökümlerde sıvı metal bölgesine ve numune kesit kalınlığına bağlı mikroyapı değişimi.	34
Tablo 4.4: Al-5Ti-1B tane inceltici master alaşımı ilaveli kum kalıba yapılan dökümlerde sıvı metal bölgesine ve numune kesit kalınlığına bağlı mikroyapı değişimi.	35

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler

Açıklama

d	: Ortalama tane çapı
k_y	: Malzeme için sabit değer
σ_0	: Malzeme için sabit değer
σ_y	: Akma mukavemeti

Kısaltmalar

Açıklama

BI	: Bifilm İndeks
DAL	: Dentrit Kol Uzunluğu (Dentrit Arm Length)
NB	: Bifilm Sayısı
RPT	: Vakum Altında Katılaştırma Testi (Reduced Pressure Test)
SDAL	: İkincil Dentrit Kol Uzunluğu (Secondary Dentrit Arm Length)
SDAS	: İkincil Dentrit Kol Mesafesi (Secondary Dentrit Arm Spacing)

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Al-Si ALAŞIMLARINDA Ti İLAVESİNİN SIVI METAL TEMİZLİĞİNE ETKİSİ

Özen GÜRSOY

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Doç. Dr. Derya DIŞPINAR

Al-Si alaşımlarında, temelde mekanik özellikleri arttırmak olmak üzere, akışkanlık, beslenebilirlik, korozyon direnci özelliklerini iyileştirmek için tane incelticiler ve modifikatörler döküm uygulamalarında sıklıkla kullanılmaktadır. Ti içeren Al-5Ti-1B master alaşımı, en yaygın kullanılan tane inceltici master alaşımıdır. Al-5Ti-1B ilavesi ile incelen taneler sayesinde mekanik özelliklerin arttığı düşünülmektedir. Tane incelticilerin yanı sıra, kalitesi yüksek (bifilm indeksi düşük) bir sıvı ile çalışmanın da mekanik özellikleri olumlu etkilediği artık bilinen bir gerçektir. Bugüne kadar yapılan çalışmalarda Ti içeren master alaşımlarının sıvı metal kalitesine etkisi göz ardı edilmiştir. Bu çalışmada Al-5Ti-1B ‘nin sıvı metal kalitesine ve mekanik özelliklere etkisi kum ve kokil kalıp kullanılarak belirlenmiştir. Mikroyapı ile mekanik özellikler arasında bir ilişki yakalanmaya çalışılmıştır. Literatür verilerinin aksine, yavaş soğuma ve kaba taneli dendritik yapıda daha yüksek mekanik özellikler elde edilmiştir.

Aralık 2017, 70 sayfa.

Anahtar kelimeler: Sıvı Metal Kalitesi, Bifilm, Porozite, Ti, Mikroyapı, Mekanik Özellikler

SUMMARY

M.Sc. THESIS

EFFECT OF Ti ADDITION ON LIQUID METAL CLEANLINESS IN Al-Si ALLOYS

Özen GÜRSOY

İstanbul University

Institute of Graduate Studies in Science and Engineering

Department of Metallurgical and Materials Engineering

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Derya DIŞPINAR

Grain refiners and modifiers are widely used in casting applications of Al-Si alloys to improve mechanical properties, fluidity, feedability and corrosion resistance. The Ti-containing Al-5Ti-1B master alloy is the most commonly used grain refiner master alloy. It is considered that the mechanical properties are increased by decreasing of grain size via the addition of Al-5Ti-1B. Besides the grain refiners, it is well known that working with a high quality (low bifilm index) melt will also provide enhanced mechanical properties. Up to now, the effects of Ti-containing master alloys on melt quality have not been observed. In this study, the effect of Al-5Ti-1B master alloy on melt quality and mechanical properties was determined using die and sand mold. The relationship between microstructure and mechanical properties were investigated. In contrast to the literature survey, it was found that high mechanical properties were obtained in coarse dendritic structure.

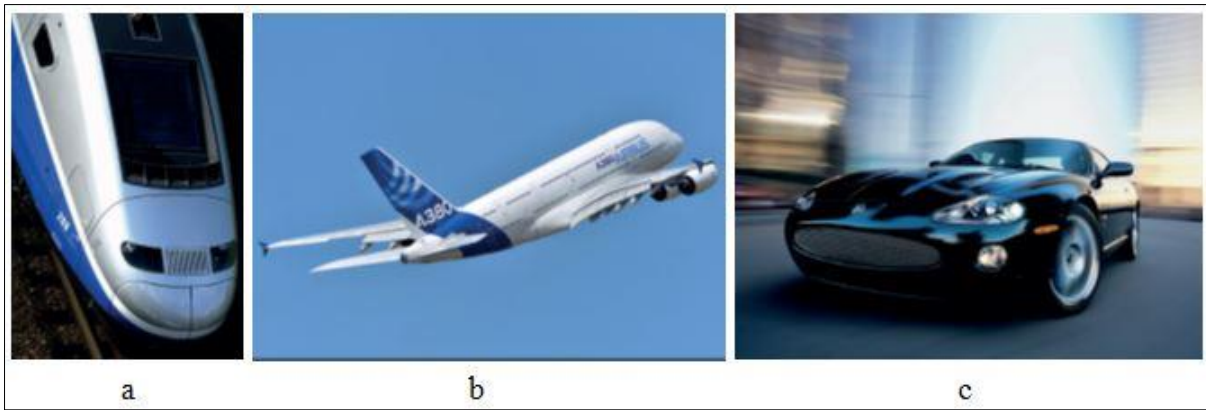
December 2017, 70 pages.

Keywords: Melt Quality, Bifilm, Porosity, Ti, Microstructure, Mechanical Properties

1. GİRİŞ

Alüminyum, yüksek mukavemet, yüksek esneklik, hafiflik, iyi termal ve elektriksel iletkenlik, kolay şekillendirilebilirlik, yüksek korozyon direnci, biyouyumluluk, geri dönüştürülebilirlik gibi özelliklerinden dolayı pek çok alanda tercih edilen mühendislik malzemesi haline gelmiştir. Bugün, üretilen alüminyumun %25'i ulaşım sektöründe, %25'i meşrubat kutusu ve diğer benzer gıda paketlemelerinde, %15'i yapı sektöründe, %15'i elektrik uygulamalarında, %20'si de diğer uygulamalarda kullanılmaktadır. Diğer uygulamaların büyük bölümünü silah üretimi kapsamaktadır.

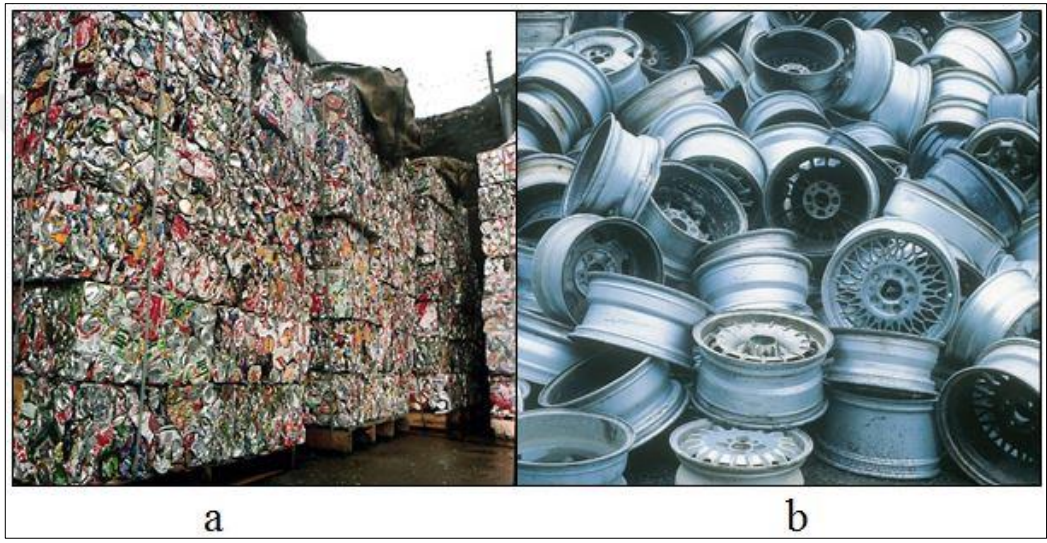
Enerji tüketiminin %80'inden fazlası otomobilin kullanım aşamasıyla ilgilidir. Bu nedenle bir aracın ömrü boyunca enerji tüketimini azaltmaya yönelik önlemlerin odağı kullanım aşamasına yöneliktir. Şu anda kullanımda olan tüm nakliye araçları (karayolu taşıtları, trenler ve uçaklar) yeni tasarım ve malzeme seçimleri ile üretilmiş hafif araçlara dönüştürüldüğü takdirde 870 milyon ton sera gazı salınımı engellenmiş olacaktır. Taşımacılıkta kullanılan her 20 milyon ton alüminyum, araçların ömrü boyunca 400 milyon ton CO₂ ve 400 milyar litreden fazla yakıt tasarrufu sağlamaktadır. Bir otomobilde ve ya kamyonette çelik gibi daha ağır malzemelerin yerini alan her 1 kg alüminyum, aracın ömrü boyunca 20 kg CO₂ tasarruf etmesini sağlamaktadır. Trenlerde bu durum 80 kg CO₂ seviyesine kadar yükselmektedir [1-3].



Şekil 1.1: Alstom Transport'un ürettiği alüminyum gövdeli yüksek hızlı tren (a), 2015'teki Paris Air Show'da uçan gövdesi ve kanatları alüminyumdan imal edilmiş Airbus A380 (b), parçalarının yüksek çoğunluğu alüminyumdan üretilmiş Jaguar JK30 (c) [4].

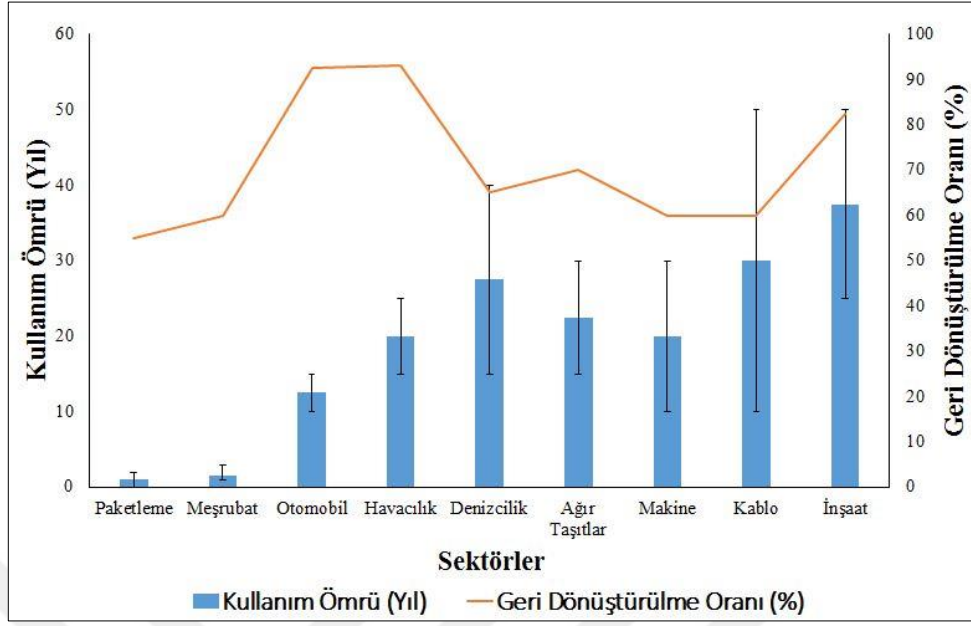
Otomobil yapılarında alüminyum kullanımı daha fazla rijitlik sağlar, genel güvenlik performansını artırır ve ağırlık eklemekten verimli bir çarpma enerjisi emilimi kazandırır. Alüminyum kullanımıyla hafiflemiş araçlarda fren mesafeleri kısalmış, böylece güvenlik artar. Ayrıca, hafifletilmiş araçların artışıyla yollardaki aşınma da azalmaktadır.

Alüminyum neredeyse sınırsız geri dönüştürülebilen bir metaldir ve alüminyum geri dönüştürmek için gerekli enerji birincil alüminyum üretimi için harcanan enerjinin sadece %5'i kadardır [1-3, 5, 6].



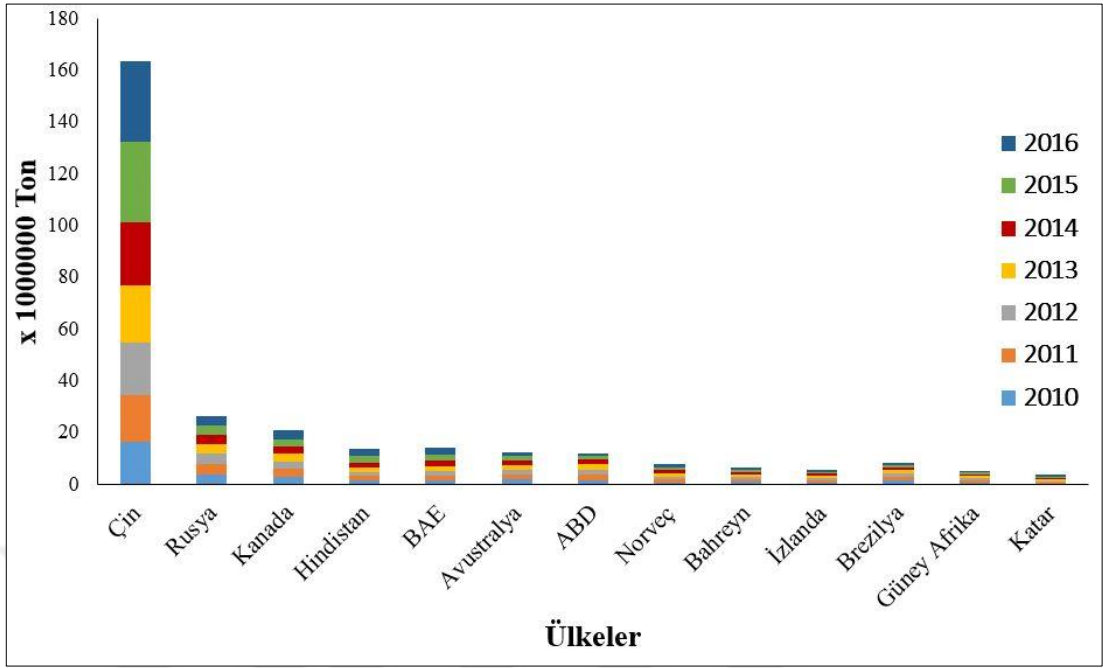
Şekil 1.2: Geri dönüştürülmek için hazırlanmış meşrubat kutusu (a) ve otomobil jantı (b) hurdaları [7].

Korozyon dayanımından dolayı alüminyumdan üretilen ürünler uzun ömre sahiptir. Düşük mukavemetleri nedeniyle paketlenme uygulamaları dışında, üretilen ürünler geri dönüşüme gerek duyulmadan on yıllarca kullanılabilir. Paketlenme ürünlerinin geri dönüşümü dünya genelinde %55 gibi nispeten düşük bir orana sahipken; otomotiv ve inşaat sektörlerinde bu oran oldukça yüksektir (Şekil 1.3) [3].



Şekil 1.3: Alüminyum ürünlerin kullanım ömrü ve geri dönüştürülme oranları [3].

Araçların hafifletilmesi kullanım miktarını da arttırmaktadır. 2000 yılında her bir otomobilde 100-120 kg alüminyum kullanılmaktayken bu değer 2012’de 158 kg’ çıkmıştır. 2025’de ise bir otomobilde kullanılan alüminyum miktarının 250 kg’ı aşması öngörülmektedir. Kullanım miktarının artması yıllık alüminyum üretim miktarına doğrudan yansımaktadır. 2010 yılında 42 milyon ton olan dünya birincil alüminyum üretimi 2016 yılında 59 milyon tona yükselmiştir. Bu yükselişin başını pek çok durumda olduğu gibi Çin çekmektedir. Şekil 1.4’te de görülebildiği gibi, 2010’da 16,2 milyon ton birincil alüminyum üretimi yapan Çin, bu kapasitesini 2016’da neredeyse iki katına, 31 milyon tona çıkartmıştır.

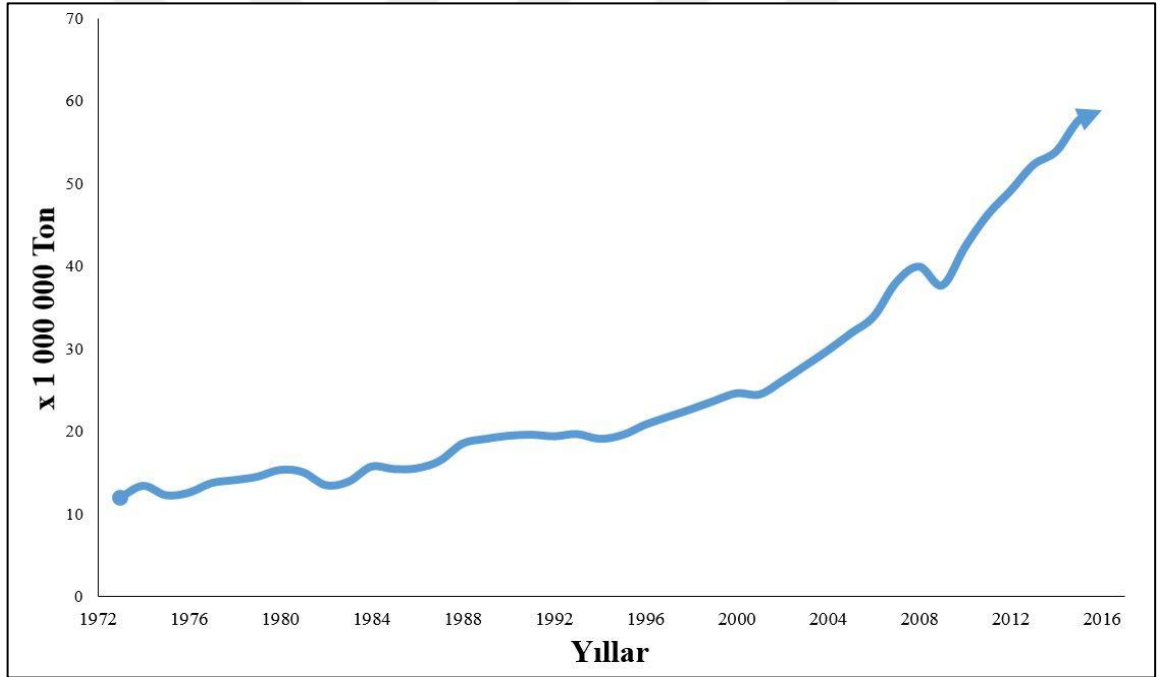


Şekil 1.4: Ülkelerin yıllık birincil alüminyum üretim miktarları [8].

Alüminyum üretiminde keşfinden bu güne dek gerçekleşen bu denli hızlı yükselişin arkasında yeni ve talebi karşılayan özelliklerde alaşımların geliştirilmesi ve yeni üretim yöntemlerinin ortaya çıkması gibi sebepler yatmaktadır. Üretildiği ilk yıllarda %95 safiyetin üzerine çıkılamayan alüminyum bugün %99,9999 saflıkta üretilmektedir [9,10]. Geliştirilen alaşımlarla motor bloğu, piston kafası, vites kutusu, jant, volan dişlisi gibi yüksek sıcaklık mukavemeti, yüksek korozyon direnci, aşınma dayanımı ve tokluk gerektiren otomotiv parçaları dökme demir ve ya çelik yerine alüminyumdan üretilmektedir. Bahsi geçen alüminyum alaşımlı parçalarının üretimi çoğunlukla döküm yöntemi ile gerçekleşmektedir ve döküm sırasında sıvı metale yapılan sıvı metal temizliği, modifikasyon ve tane inceltme işlemleri alaşımın özelliklerini etkili bir şekilde geliştirmektedir. Özellikle Al-Si alaşımlarında uygulanan bu işlemler alaşımın dökülebilirlik, akışkanlık, mukavemet, katılaşma çekmesi, porozite gibi özelliklerini iyileştirdiği bilinmektedir. Ancak bu işlemler uygulanarak yapılan iyileşmelerin gerçekleşme mekanizması halen tartışma konusudur. Bu tartışmaların başını da Al-Ti-B master alaşımı ile tane inceltme işlemi çekmektedir. Al-Ti-B master alaşımı ile yapılan tane inceltme işlemiyle gerçekleşen iyileşmeler Hall-Petch Denkleminde ve tane boyu küçülmesine dayandırılmaktadır [11]. Yapılan çalışmalarda sıvı metal kalitesinin tane inceltme işlemiyle ve mekanik özelliklerde gelişmeyle olan ilgisi genellikle göz ardı edilmiştir.

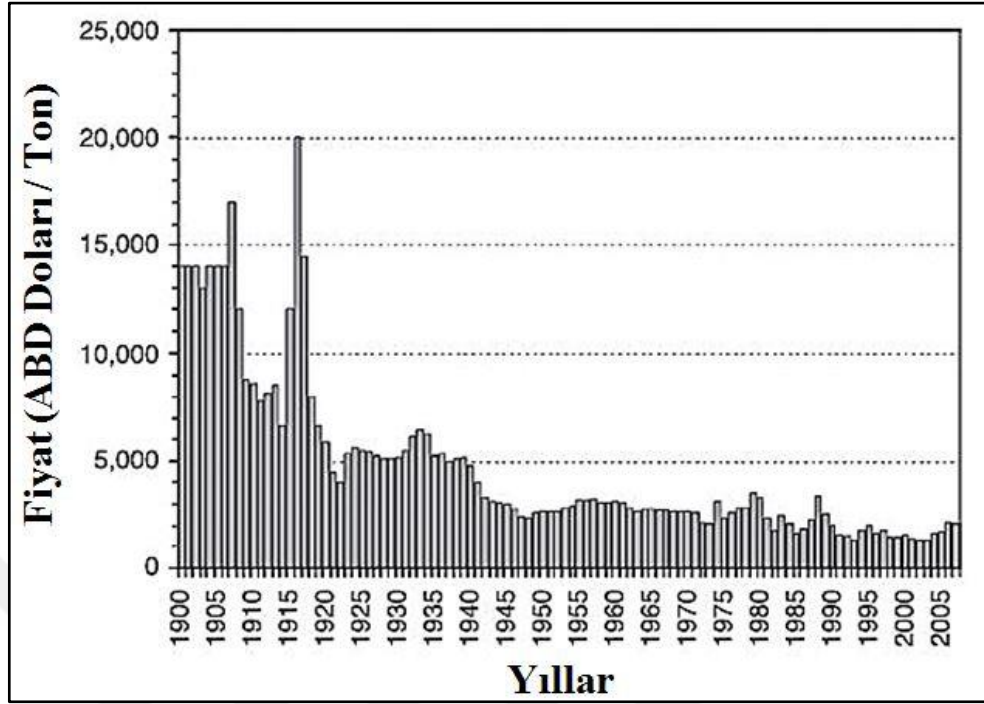
2. GENEL KISIMLAR

Alüminyum, demir ile birlikte endüstride en çok kullanılan iki metalden biridir ve üretimi dünyada her geçen yıl artış göstermektedir (Şekil 2.1). 1900 yılında dünya genelinde 6800 ton birincil alüminyum üretilmiştir. 1910’da bu üretim miktarı 45000 tona, 1920’de 125000 tona yükselmiştir. 1941’e gelindiğinde yıllık birincil alüminyum üretimi 1 milyon tona ulaşmıştır ve 1970 yılına kadar toplam 10 milyon ton birincil alüminyum üretilmiştir [2, 3]. Uluslararası Alüminyum Enstitüsü’nün verilerine göre, 1973’de dünyadaki yıllık birincil alüminyum üretim miktarı 12 milyon ton iken bu miktar 2000 yılında 25 milyon tona, 2016’da ise 59 milyon tona ulaşmıştır. Özellikle milenyumdan sonra dünya birincil alüminyum üretiminde yaşanan katlanarak artış dikkat çekicidir [2].



Şekil 2.1: Yıllara bağlı olarak dünyadaki birincil alüminyum üretimi miktarının değişimi [2,3].

Üretildiği ilk günden bu güne alüminyumun fiyatı bazı yıllarda artış gösterse de genel olarak giderek azalmıştır (Şekil 2.2) [3].



Şekil 2.2: 1900-2007 yıllarında 1 ton alüminyumun fiyatının değişimi [3].

Yoğunluğu demirin yoğunluğundan yaklaşık 3 kat daha az olmasına rağmen mukavemet/ağırlık oranı demirinkine oranla oldukça yüksektir. Artık klasikleşmiş bahsi geçen özelliklerinin yanı sıra alüminyum, düşük sıcaklıklarda sünek-gevrek geçişi de göstermemektedir. Alüminyumun bu avantajı onu otomotiv ve havacılık sektörlerinin gözde malzemesi haline getirmiştir [1-3, 5, 6].

2.1. GEÇMİŞTEN GÜNÜMÜZE ALÜMİNYUM

Alüminyum oksijen ve silisyumdan sonra yerkabuğunda en çok bulunan üçüncü elementtir. Ancak 1800'lerin sonuna kadar oldukça pahalıdır ve üretimi çok zordur.

18. yüzyılın ortalarında Alman kimyacı Andreas Sigmund Margraff, keşfettiği alüminayı oksijen ile bağ kuran daha önce görülmemiş bir metal olarak tanımlamıştır. 1825'te Danimarkalı fizikçi ve kimyacı Hans Chirtian Oersted alüminyumunu ilk kez saf olmayan bir formda elde etmeyi başarmıştır ve bu nedenle Danimarkalı araştırmacının adı alüminyum bulan kişi olarak tarih sayfalarında yerini almıştır [1, 2, 5, 6].

1852'de Fransa'da H. Sainte-Claire Deville sodyum ile alüminyum kloridi indirgeyerek ilk ticari alüminyumunu hazırlamıştır. Pek çok zaman olduğu gibi askeri uygulamalar ile ilgili potansiyel teşkil etmesi nedeniyle bu yeni metali ilk destekleyen Fransa hükümeti olmuştur. III. Napoleon, alüminyumun hafif zırh yapımında çığır açacağını öngörebilmiştir. Sainte-Claire Deville'nin alüminyum üretim prosesi ile üretilen alüminyumun saflığı %95'in altında olmasına rağmen o dönemde alüminyum altından daha pahalıdır. 1855'de kilosu 500 \$ olan alüminyum giderek ucuzlamış; 1859'da fiyatı 40 \$/kg'a kadar düşmüştür [1, 2, 5, 6].

1886'da birbirinden bağımsız iki araştırmacı, Amerika'daki Charles Martin Hall ve Fransa'daki Paul Heroult daha ekonomik bir elektrolitik yöntem geliştirerek daha yüksek safiyette alüminyum üretmeyi başarmışlardır. Bu yöntemin kullanılmaya başlanmasıyla 1888'de 1 kilo alüminyumun fiyatı 4 \$'ın altına düşmüştür. Günümüzde alüminyum ekstraksiyonunda halen Hall ve Heroult'un geliştirdiği Hall-Heroult Prosesi kullanılmaktadır ve alüminyumun fiyatı yaklaşık olarak 2\$/kg'dır [6].



Şekil 2.3: Washington Anıtı'na yerleştirilen alüminyum başlık (a), Londra'daki alüminyum Eros Heykeli (b), Wright Kardeşler'in Flyer'da kullandığı Al-Cu alaşımı motor (c) [12-14].

1884'de Washington Anıtı'nın tepesine yerleştirilen 2718 g ağırlıklı başlık, dönemin üretilen en büyük alüminyum parçalarından biridir. Londra'da bulunan Eros Heykeli 1893'te yapılmıştır ve alüminyumdan yapılan ilk heykellerdendir [12, 13].

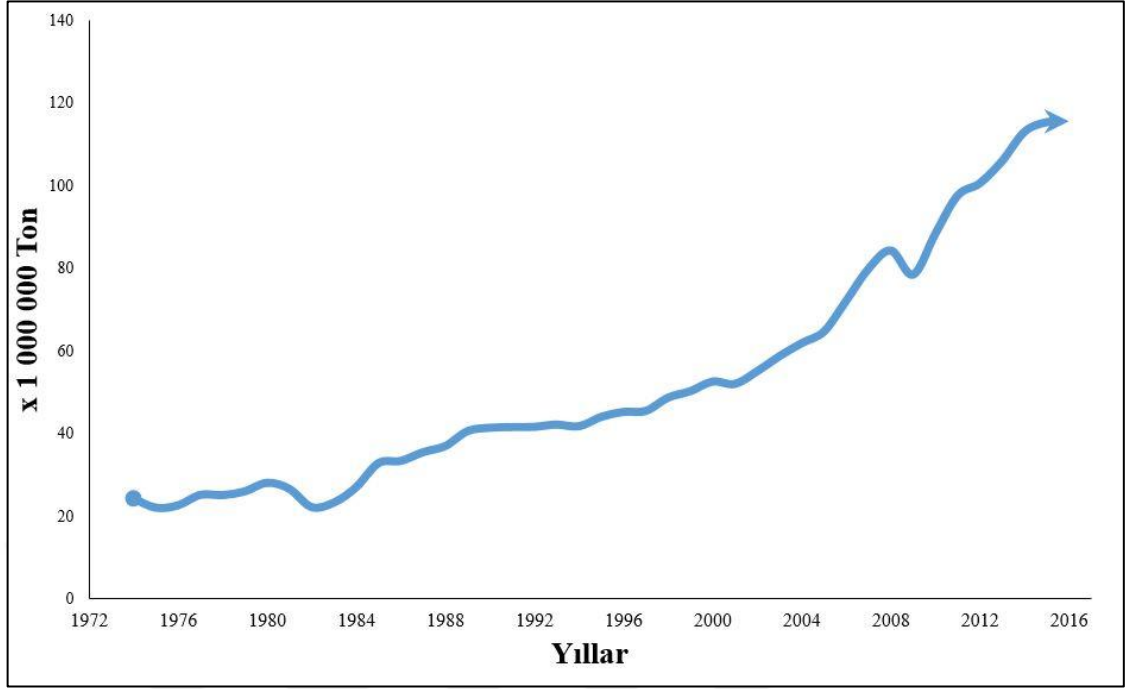
1903'de Wright Kardeşler Al-Cu alaşımından ürettirdikleri motoru yine kendi tasarımları olan Flyer isimli uçakta kullanmışlardır. Bu motor 82 kg ağırlığındadır ve 12 beygir güç üretmektedir. Flyer, tarihin ilk motorlu ve başarılı uçuş yapmış uçağıdır [14].

Elektrik enerjisinin ve Hall-Heroult Prosesi'nin gelişimi elektrolitik yolla alüminayı (Al_2O_3) sıvı alüminyuma ayırmayı sağlamıştır. Böylece alüminyum giderek ucuzlayan ve kullanımı yaygınlaşan bir mühendislik malzemesi haline gelmiştir.

2.2. ALÜMİNYUM ÜRETİM SÜREÇLERİ

Saf alüminyuma giden süreç boksit cevheri ile başlar. Boksitten Bayer Prosesi ile alümina, alüminadan da Hall-Heroult Prosesi ile saf alüminyum elde edilir. 1 ton saf alüminyum üretimi için 1,9 ton alümina, 5,5 ton boksit gereklidir. Ancak alüminyum üretiminde en kritik faktör elektrik tüketimidir. Alüminadan 1 ton alüminyum üretimi 13000-15000 kWh güç gerektirir.

Alüminyum, boksit adı verilen cevherden elde edilir ve genellikle alüminyum hidratlar demir oksitler, silika ve titanyum oksit empüriteleriyle birlikte bulunur. Boksit, adını ilk boksitin çıkarıldığı Fransa'nın Provence bölgesindeki Les Baux'dan alır. Tropik koşullar altında granit ve bazalt gibi alüminyum taşıyan kayaların yüzeyde aşınma ve sızıntısı ile oluşmaktadır. Bilinen en büyük rezervler Avustralya, Guyana, Jamaika ve Brezilya'da bulunmuştur. Dünyanın boksit talebinin %80'ini %47 ile Avustralya, %21 ile Guyana ve %12 ile Jamaika karşılamaktadır [6]. Şekil 2.2'de 1973'den bu yana dünyadaki alümina üretim miktarındaki değişim görülmektedir.

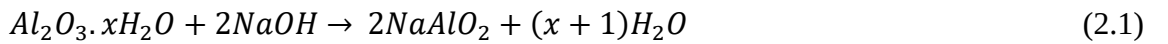


Şekil 2.4: Yıllara bağlı olarak dünyadaki alümina üretimi miktarının değişimi [2].

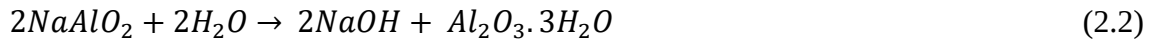
2.2.1. Bayer Prosesi

Bayer prosesi 1887’de Avusturyalı bilim adamı Karl Josef Bayer tarafından bulunmuş ve patentlenmiştir.

Bayer prosesi esas olarak 240 °C’a kadar sıcaklıklarda sodyum hidroksit çözeltilerinde öğütülmüş boksitin parçalanmasını içerir. Alüminanın çoğu kırmızı çamur olarak bilinen, esas olarak demir oksit ve silika içeren çözünmeyen bir kalıntı bırakarak çözünür. Belirli sodyum hidroksit derişiminin yanı sıra prosesin sıcaklığı ve basıncı, boksit cevherinin niteliğine; özellikle de farklı alümina formlarının oranlarına göre optimize edilir. Prosesin ilk aşaması 2.1 denklemi ile ifade edilebilir:



Ardından ikinci aşamada, koşullar reaksiyonu tersine çevirecek şekilde ayarlanır. Buna ayırıştırma aşaması denir:



Ters reaksiyon, banyoyu soğutarak ve trihidrat ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) kristalleri ile geri besleyerek elde edilir. Bu reaksiyon ile alüminanın jelatinimsi bir formdan ziyade küçük partiküller halinde çökmesi ve empüritelerinden arındırılması da sağlanmış olur. Ayrıştırma aşaması genellikle yavaşça karıştırılan kaplarda yaklaşık $50\text{ }^\circ\text{C}$ 'de yapılır ve tamamlanması 30 saat kadar sürebilir. Trihidrat uzaklaştırılır ve geri dönüştürülen sodyum hidroksit banyosu ile yıkanır.

Daha sonra, alümina döner fırında ve ya akışkan yataklarda trihidratın kavrulmasıyla elde edilir. Kalsinasyon, kristalizasyon suyunun çoğu uzaklaşmış durumda $400\text{-}600\text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklık aralığında iki aşamada gerçekleştirilir. Bu alümina kimyasal olarak daha aktif olan γ formundadır. $1200\text{ }^\circ\text{C}$ 'ye kadar çıkan yüksek sıcaklıklarda ısıtılarak inert α formu elde edilir [2, 5, 6].

2.2.2. Hall – Heroult Prosesi

Bu proseste alümina sıvı kriyolit (Na_3AlF_6) içinde dönüşüme uğrar. Ardından elektrolitik hücrede aşağıdaki birbirini takip eden reaksiyonlar gerçekleşir:



Elektrolitik hücrede gerçekleşen (2.3) reaksiyonu negatif yüklü katotta, (2.4) reaksiyonu ise pozitif yüklü anotta meydana gelmektedir [5].

Alümina yüksek ergime sıcaklığına ($2040\text{ }^\circ\text{C}$) sahiptir ve elektrik iletkenliği oldukça kötüdür. Başarılı bir alüminyum üretiminin sırrı alüminyum oksidin ergimiş kriyolit (Na_3AlF_6) içerisinde çözünmesinde yatmaktadır. Tipik bir elektrolit içeriği 80-90% kriyolit, 2-8% alümina ve AlF_3 ve CaF_2 gibi katkılardan oluşmaktadır. Bu katkılar elektrolit hücresindeki reaksiyonları gerçekleştiren Na^+ , AlF_4^- , AlF_6^{3-} , AlOF_3^{2-} vb. akım taşıyıcı iyon kaynaklarıdır. Bir elektrolitik indirgeme hücresinde karbon anotlar, erimiş kriyolit-alümina elektroliti, sıvı alüminyum havuzu, metal ve elektroliti tutan karbon astarlı kap, alümina besleyiciler ve hücreden atmosfere kaçan gazları önleyen gaz toplama sistemi bulunmaktadır. Tipik modern bir hücre $950\text{ }^\circ\text{C}$ civarında ve $0,7\text{ A/cm}^2$ anot akım yoğunluğunda 250 kA akım değerinde çalışmaktadır. Hücre, karbon yan astarları donmuş kriyolit tabakasıyla korunarak ve banyonun yüzeyi bir alümina tabakası ile kaplanarak çalışmaktadır. Bir hücrenin günlük yaklaşık 1800 kg alüminyum üretim kapasitesi vardır. Sıvı alüminyum düzenli olarak çekilir ve külçe halinde katılaştırılır.

2.3. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI

Alüminyum alaşımları üretim yöntemlerine göre iki temel grupta sınıflandırılmaktadır: dövme alüminyum alaşımları ve döküm alüminyum alaşımları. Bu iki sınıfın her biri de içerdikleri majör ve minör elementlere bağlı olarak sınıflandırılabilmektedir. Genellikle plastik deformasyonla şekillendirilen dövme alaşımları, göreceği proseslerin gerektirdikleri nedeniyle, döküm alaşımlarından oldukça farklı kimyasal bileşene ve mikroyapıya sahiptir.

Tablo 2.1: Alüminyum Birliği'ne (The Aluminum Association) göre alaşım sınıflandırma sistemi [3, 5].

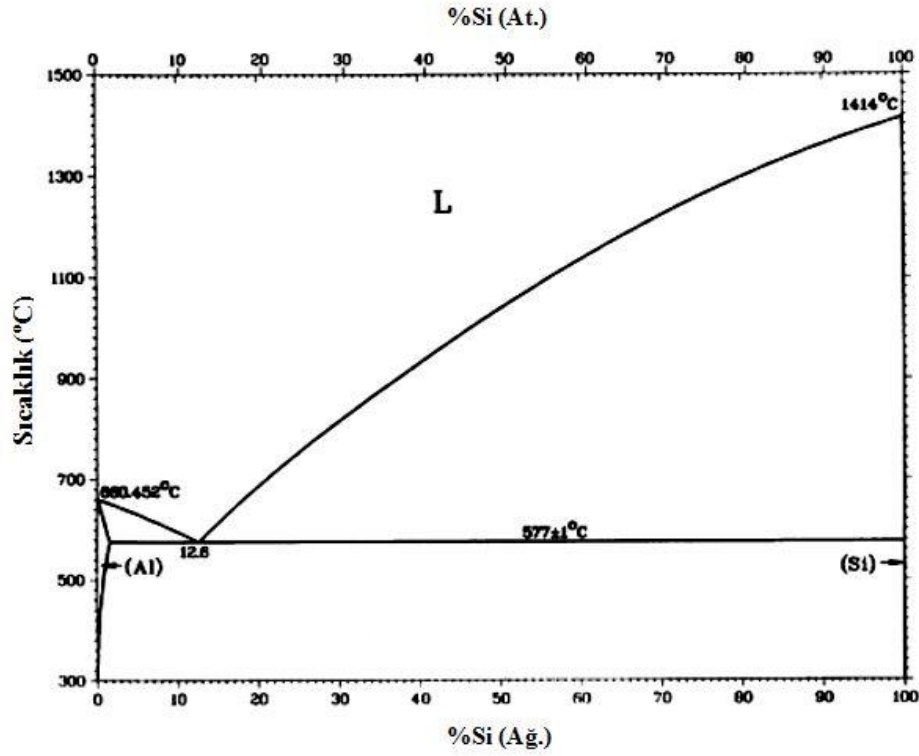
			Isıl İşlem Uygulanabilirliği
Dövme Alüminyum Alaşımları	1xxx	Ticari saf Al ($\geq 99\%$ Al)	Hayır
	2xxx	Al-Cu ve Al-Cu-Li	Evet
	3xxx	Al-Mn	Hayır
	4xxx	Al-Si ve Al-Mg-Si	Evet (Mg varsa)
	5xxx	Al-Mg	Hayır
	6xxx	Al-Mg-Si	Evet
	7xxx	Al-Mg-Zn	Evet
	8xxx	Al-Li, Sn, Zr ve ya B	Evet
	9xxx	Yaygın kullanılmayan	
Döküm Alüminyum Alaşımları	1xx.x	Ticari saf Al ($\geq 99\%$ Al)	Hayır
	2xx.x	Al-Cu	Evet
	3xx.x	Al-Si-Cu ve ya Al-Mg-Si	Evet
	4xx.x	Al-Si	Hayır
	5xx.x	Al-Mg	Hayır
	6xx.x	Kullanılmayan seri.	
	7xx.x	Al-Mg-Zn	Evet
	8xx.x	Al-Sn	Evet
	9xx.x	Yaygın kullanılmayan	

Alüminyumun ilk uygulamalarında metalin yüksek işlenilebilirliği nedeniyle hem saf hem de alaşımlı halde dövme alaşımları tercih edilmiştir. Günümüzde üretilen alüminyumun 60%'ı dövme alaşımı olarak üretilir. Plaka, folyo, ekstrüzyon, dövme, derin çekme ve tel formlarında üretilen alüminyum dövme alaşımı ürünler gıda paketlemede (Örneğin: meşrubat kutusu.), otomotiv endüstrisinde (Örneğin: radyatör.), inşaat sektöründe (Örneğin: dış cephe kaplama panelleri.), safa yakın alüminyumdan üretim yapan kablo sektöründe sıklıkla kullanılmaktadır.

Motor bloğu, silindir kafası, piston, süspansiyon, jant vb. otomotiv parçaları çoğunlukla alüminyum alaşımlarından döküm ile üretilmektedir. Döküm yöntemi tipik olarak parçanın boyutuna, tasarımına ve üretim sayısına bağlı olarak seçilir. Bu yöntemlerden yüksek basınçlı döküm yöntemi ile üretim tüm üretimin 50%'sini oluşturmaktadır. Bir otomobilin parçalarının yaklaşık %57'si yüksek basınçlı döküm ile üretilmektedir. Kokil kalıp ve kum kalıp ile döküm yöntemleri et kalınlığı fazla olan ve içinde boşluklar içeren, karmaşık geometriye sahip parçaların dökümünde tercih edilir. Kum kalıp mukavemeti nedeniyle yüksek basınçlı dökümde kullanılamazken; karmaşık geometriye sahip ve içinde boşluklar içeren parçaların dökümü için ideal bir tercihtir. Ayrıca kokil kalıp ile yapılan dökümün soğuma hızı kum kalıp ile yapılan dökümün soğuma hızından çok daha yüksektir. Bu fark üretilen parçanın tüm özelliklerini etkilemektedir.

2.3.1. Alüminyum – Silisyum Alaşımları

Alüminyum – silisyum (Al-Si) ikili faz diyagramı tam ötektik oluşturan bir sistemdir. 577°C'de %12,5 Si oranında, α katı çözeltisi ve saf silisyum bulunan ötektik faz oluşturmaktadır. Ötektikte bulunan bu fazlardan α katı çözeltisi daha sünek, saf silisyum ise daha gevrek bir yapıdadır ve yapının yaklaşık %90'ını α katı çözeltisi, kalan %10'unu ise saf silisyum oluşturmaktadır. Buradan da anlaşılacağı gibi ötektik yapının özelliklerini belirlemede α katı çözeltisi baskındır.



Şekil 2.5: Al-Si faz diyagramı [15].

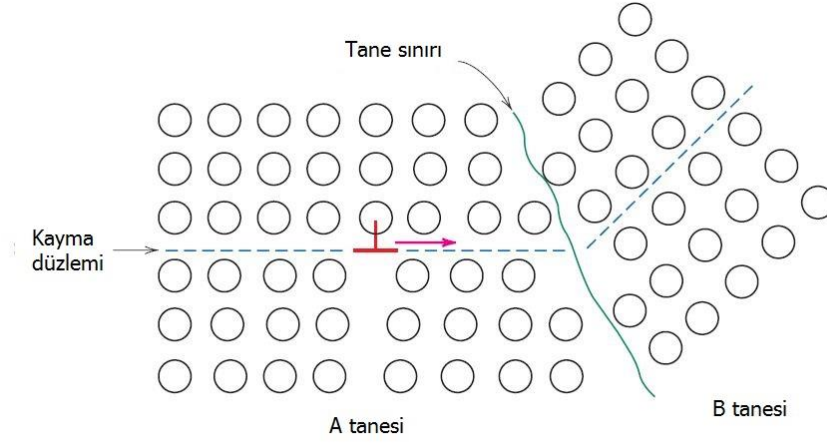
Şekil 2.5'ten de anlaşılacağı gibi, ötektik sıcaklıkta α alüminyum kristalleri en fazla %1,65'e kadar Si çözebilmektedir ve Si katı eriyikten çökelemez. Bu çözebilirlik sıcaklıkla birlikte azalma göstermektedir. Örnek vermek gerekirse, α alüminyum kristallerinin 250°C'de Si çözebilirliği %0,05' kadardır. Al-Si alaşımlarına (4xx serisi) bu özelliğinden dolayı ısıtıl işlem uygulanamaz (Mg ve ya Cu içermiyorsa) Yapılacak küçük miktarlardaki Mg ve ya Cu ilavesi (yaklaşık %0,3 Mg ve ya Cu) ile alaşım (3xx serisi) ısıtıl işlem uygulanabilir hale getirilebilir. Hem magnezyum ve ya bakır ilavesi hem de ısıtıl işlem yapının mukavemet ve süneklik değerlerinin olumlu etkilenmesine neden olur [16, 17]. Mg ve Cu ilavesi ile gerçekleşen mekanik özelliklerin artışı uygulanabilen ısıtıl işlemin yanı sıra, artık yapıya dahil olan Mg_2Si ve $CuAl_2$ bileşiklerine atfedilir. Ancak her iki durum da halen tartışma konusudur.

Al-Si alaşımlarında katılaşma hızının artması ile birlikte alt soğuma oluşmakta ve ötektik nokta ötelenerek ötektik bileşimin değişmesine neden olmaktadır. Böylece ötektik yapı daha ince taneli bir hal almaktadır.

Al-Si alaşımlarının ergiyik haldeki akışkanlıkları oldukça yüksektir. Bu nedenle en çok tercih edilen döküm alaşımı grubudur. 356 alaşımının endüstride en çok kullanılan Al-Si alaşımı olmasının nedenlerinden biri de akışkanlığının yüksek olmasındandır. Silisyumun yanı sıra yapısına çeşitli oranlarda dahil edilebilen magnezyum, bakır, titanyum, bor, stronsiyum vb. elementler ile mukavemet, süneklik, korozyon, aşınma, yorulma, tokluk gibi özelliklerinde arzu edilen gelişmeler kaydedilebilmektedir.

2.6. HALL-PETCH TEOREMİ

Yapılan araştırmalar bir polikristalin metalinin mikroyapısındaki tane boyutları ile mekanik özellikleri arasında doğrudan bir ilişki olduğunu göstermektedir. Komşu taneler, farklı kristalografik yönlere ve plastik deformasyon sırasında kayma ve dislokasyon hareketlerinin gerçekleştiği ortak tane sınırına sahiptir. Kristalografik yönleri farklı olan iki tanenin birinden diğerine geçen dislokasyon hareketi yönünü değiştirmek zorunda kalacaktır. Tanelerin kristalografik yönlenmesi arttıkça bu dislokasyon hareketi zorlaşmaktadır. Ayrıca, tane sınırında var olan atomik düzensizlik, kayma düzleminin bir taneden diğerine geçişi sırasında süreksiz davranmasına neden olmaktadır. Bu iki nedenden dolayı tane sınırları dislokasyon hareketine bariyer görevi görür. Deformasyon sırasında her durumda, dislokasyon tane sınırını aşamayabilir, tane sınırını aşamayan dislokasyonlar tane sınırında birikir. Tane sınırında biriken bu dislokasyonlar komşu tanelerde yeni dislokasyon oluşturan kayma düzlemlerinde gerilim birikmesini tetikler.

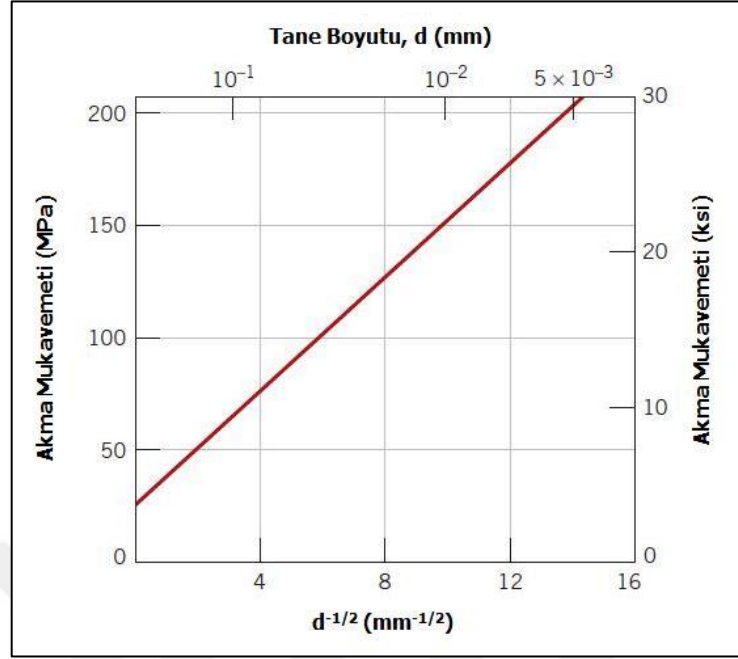


Şekil 2.6: Tane sınırında yön değiştiren bir kayma düzlemi [11].

İnce taneli malzeme, kaba taneli malzemeye göre dislokasyon hareketini engelleyecek daha fazla tane sınırı yoğunluğuna sahip olduğundan daha mukavemetlidir, serttir. Birçok malzeme için akma mukavemeti (σ_y) tane boyutuna göre değişir. Denklem 2.5'deki Hall-Petch Denklemi bu durumu basit bir şekilde formülize etmektedir.

$$\sigma_y = \sigma_0 + k_y d^{-1/2} \quad (2.5)$$

Bu denklemde d ortalama tane çapı, σ_0 ve k_y malzeme için sabitlerdir. Bu eşitlik çok büyük ve çok küçük taneli polikristalin malzemeler için geçerli değildir. Şekil 2.7'de pirinç alaşımında tane boyutunun mukavemet ile ilişkisini gösterilmiştir [11].



Şekil 2.7: Pirinç alaşımında tane boyutu ile akma mukavemeti arasındaki ilişki [11].

2.7. ALÜMİNYUMDA TANE İNCELTME İŞLEMİ

Porozite içermeyen, yüksek mekanik özelliklere sahip döküm parçaları üretmek döküm endüstrisinin temel hedeflerindendir. Bu amaç için sıvı metale yapılan işlemlerden biri de tane inceltici master alaşımı kullanmaktır. Hall-Petch eşitliğinin, peritektik reaksiyonun ve heterojen katılaşmanın temel alındığı bu işlemde amaç yapının ortalama tane boyutunu küçülterek ve/veya kolonsal tane yapısını eş eksenli tane yapısına dönüştürerek mekanik özellikleri arttırmaktır. Tane incelticilerin, mekanik özelliklerin yanı sıra beslenebilirlik, korozyon, porozite boyutu, dağılımı, şekli ve sayısı üzerinde de etkileri vardır. Yapılan araştırmalar [18, 19], ince taneli yapının dövme alaşımlarında da deformasyon sırasında akış stresi yarattığını göstermiştir.

TiB₂ sıvı alüminyum içerisinde kararlı bir fazdır ve oldukça düşük çözünürlüğe sahiptir. Bilinmektedir ki, α -Al'yi çekirdeklettiği düşünülen TiB₂ kristalleri, taneleri tek başına çekirdekletmez; TiB₂ çekirdekleşmede dolaylı olarak görev yapar. Çözünmüş Ti varlığında peritektik reaksiyonun altında dahi Ti atomlarının TiB₂/sıvı arayüzeyine segrege olmasına öncülük eder. Böylece peritektik reaksiyonu gerçekleştiren ve katıyı çekirdekletiren borid üzerinde ince bir TiAl₃ tabakasının çökmesi meydana gelir [22, 23, 29].

Al-5Ti-1B master alaşımının alüminyum döküm alaşımlarının mikroyapısında etkili tane inceltici görevi gördüğünü belirten pek çok çalışma literatürde mevcut olduğu gibi [20-25]; yapılan etkili tane inceltme ile birlikte başta akma mukavemeti, çekme mukavemeti ve % uzama değerleri olmak üzere mekanik özelliklerde iyileşmeler yaşandığı da belirtilmiştir [18, 26, 27]. Ancak Ti ilavesinin sıvı metal kalitesine olan etkisi her zaman göz ardı edilmiştir. Sıvı metal kalitesinin artması ile birlikte başta uzama değerleri, mekanik özelliklerin arttığı bilinmektedir.

Sofyan ve diğ. [24] yaptıkları çalışmada DAS boyutlarının özellikle ince kesitlerde daha önemli bir değışim gösterdiğini kaydetmişlerdir.

Yüksel ve diğ. [28], mekanik özellikler ile sıvı metal kalitesi arasında doğrudan bir ilişki olduğunu belirlemişlerdir.

Dışpınar ve Campbell [29], farklı bifilm indekslere sahip A319 alüminyum alaşımları ile yaptıkları çalışmada bifilm indeks azaldıkça süneklikte artış olacağını öngörmüşlerdir.

Dışpınar ve diğ. [30], A356 alaşımına uyguladıkları çeşitli şartlardaki gaz giderme işlemi ile sıvı metalin kalitesini farklı seviyelere yükseltmişlerdir ve sıvı metal kalitesi arttıkça mekanik özelliklerde artış olduğunu belirlemişlerdir.

Dışpınar ve Campbell [31], Al-11Si alaşımı ile yaptıkları çalışmada sıvı metalin bifilm indeksine bakılarak mekanik mukavemetinden ziyade uzama değerleri hakkında öngörüde bulunulabileceğini belirtmişlerdir. Dışpınar ve arkadaşları [32], benzer bir sonuca A356 alaşımı kullanarak alçak basınçlı döküm ve gravite döküm yöntemlerini kıyasladıkları çalışmada da ulaşmışlardır.

Eisaabadi ve diğ. [33], 356 alaşımı ile yaptıkları çalışmada yeniden ergitme ile bifilm indeks, porozite sayısı ve boyutu azaldığını; uzama değerlerinin arttığını belirlemişlerdir.

İlginçtir ki, tane inceltici master alaşımları etkilerini ilavelerinden sonraki ilk dakikalarda göstermektedir. Stock Kanunu ve yapılan çalışmalar bu fikre paralel sonuçlar vermektedir.

Limmaneevichitr ve Eidhed [34], 356 alaşımına yüksek oranda (%2 ve %4) Al-Ti-B master alaşımı katarak yaptıkları çalışmada tüm tane inceltici etkinin master ilavesinden sonraki ilk 20 dakikada gerçekleştiğini gözlemlemiştir. Li ve diğ. [25] da yaptıkları çalışmada aynı etkinin 30 dakika sürdüğünü belirlemiştir.

Belirli oranlarda hazırlanan Ti ve B içerikli tuzların tane inceltme amacıyla kullanıldığında etki süresinin 10 saat gibi uzun sürelere uzatılabileceğini iddia eden araştırmacılar olduğu gibi [35], bu yöntemle yapılan tane inceltme işleminin de etkisinin oldukça kısa olduğunu ileri süren araştırmacılar da vardır [24].



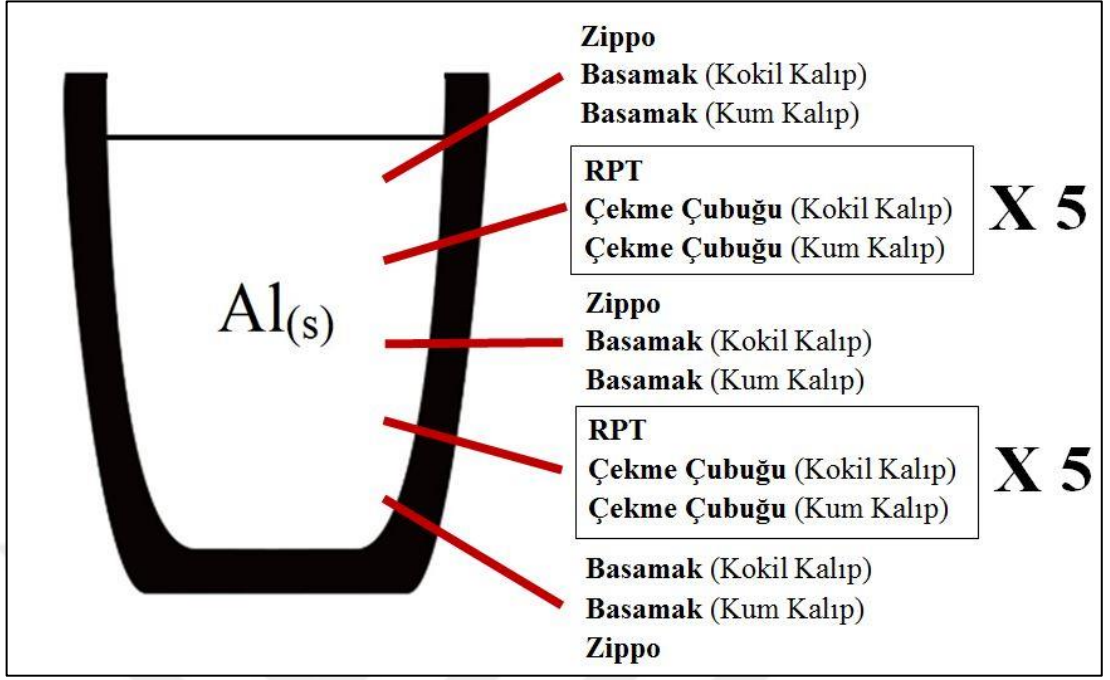
3. MALZEME VE YÖNTEM

Yapılan bu çalışmada, Al-Ti-B master alaşımlarının sıvı metal kalitesi üzerindeki etkisi incelenmiştir; çekme testi ile mekanik özelliklerdeki, vakum altında katılaştırma testi ile de bifilm indeks analizi yapılarak sıvı metal kalitesindeki değişim gözlemlenmiştir. Çalışmada ağırlıkça %7 Si içeren 356 alüminyum alaşımı hurdaları kullanılmıştır. Bahsi geçen hurdaların tamamı geri dönüşüm için ayrılmış otomotiv parçalarından hazırlanmıştır.

Tablo 3.1: Çalışmada kullanılan 356 alaşımlarının kimyasal analizleri (ağırlıkça %).

Deney	Si	Fe	Cu	Mg	Ti	Mn	B	Sr	Al
(i)	7,313	0,136	0,040	0,269	0,117	0,027	0,001	0,008	Kalan
(ii)	7,540	0,135	0,073	0,266	0,112	0,024	0,005	0,007	Kalan

Çalışmada iki deney yapılmıştır: (i) ilk deneyde tane inceltici ilavesi yapılmazken; (ii) ikinci deneyde tane inceltici master alaşımı olarak Al-5Ti-1B master alaşımı ilave edilmiştir. Master alaşım ağırlıkça %0,1 Ti içerecek şekilde ilave edilmiştir. 8 kg hazırlanan hurdalar ergitmeden önce açık rezistanslı fırında 400°C’de 1 saat boyunca ön ısıtmaya tabi tutulmuştur. Ergitme işlemleri yine aynı fırında 725°C’de gerçekleştirilmiştir. İlavesiz olan ilk deneyde 3 saatin sonunda parçalar dökülmeye başlanmıştır. Al-5Ti-1B master alaşımı ilave edilen ikinci deneyde ise 3 saatin sonunda master alaşımı ilave edilmiş, 10 dakikalık beklemeden sonra parçalar dökülmeye başlanmıştır. Tablo 3.1 ‘de her iki deneyin başlangıç kimyasal analizleri görülmektedir. İkinci deneyin kimyasal analizi tane inceltici master alaşımı atılmadan önceki başlangıç analizidir. Dökülen numunelere herhangi bir ısıtma işlemi uygulanmamıştır.



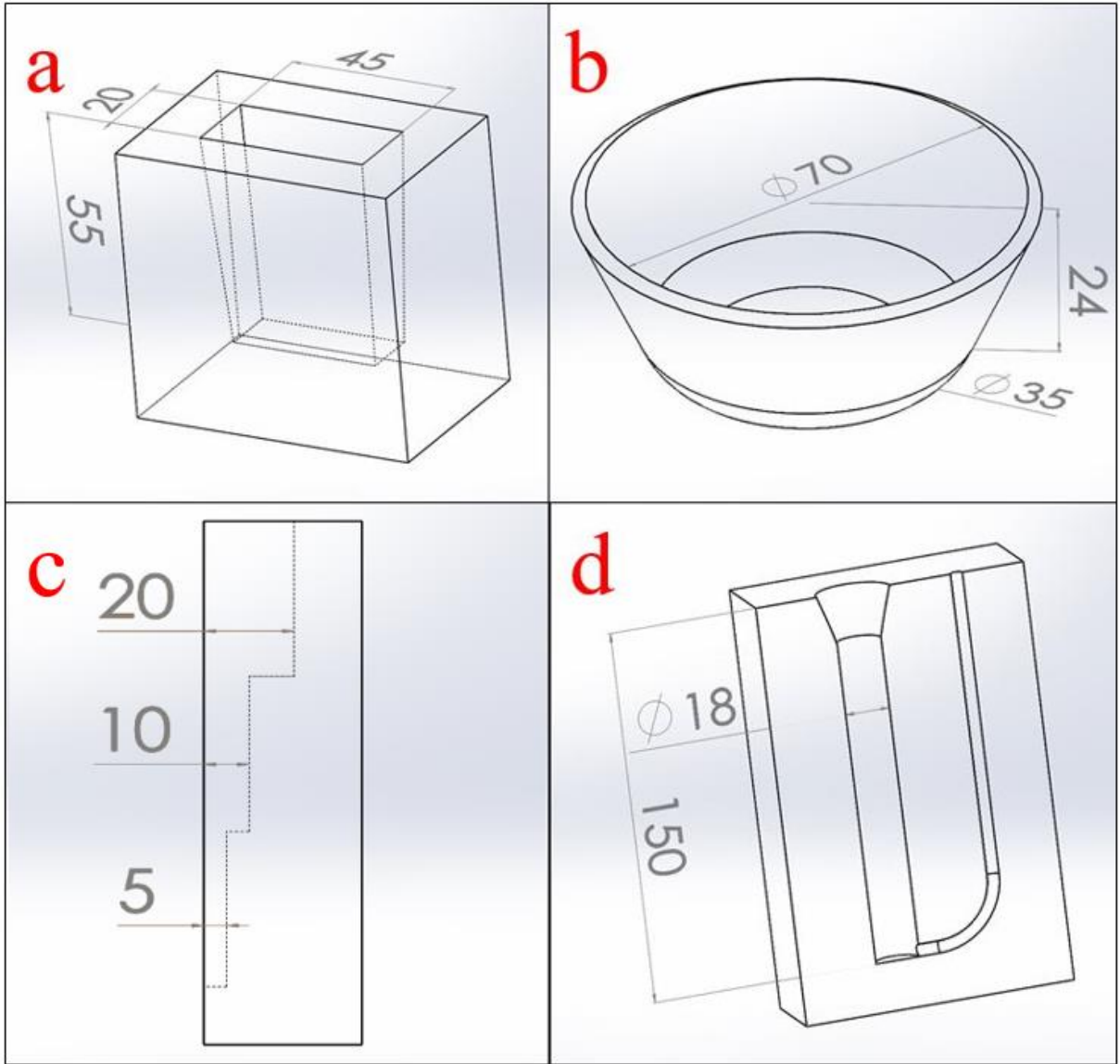
Şekil 3.1: Her bir deneyde dökülen numunelerin sayısı ve dökülme sırası.

Çalışmada kimyasal analiz için dörtgen prizma, mikroyapı muayenesi için hem kokil hem kum kalıpta basamak, sıvı metal kalitesinin tayini için RPT, mekanik özelliklerin irdelenmesi için hem kokil hem kum kalıpta çekme çubuğu parçaları üretilmiştir. Kokil kalıba yapılan dökümlerde kalıp önceden 200 °C'ye ısıtılmıştır. Dökülen numunelerin sırası ve sayıları Şekil 3.1 'deki gibidir. Her bir deney için toplamda 3 dörtgen prizma, 6 basamak, 10 RPT, 20 çekme çubuğu dökülmüştür. Al-5Ti-1B master alaşımı ilave edilen ikinci deneyde ilkinden farklı olarak master alaşımı ilavesinden önce de kimyasal analiz için dörtgen prizma numunesi hazırlanmıştır.



Şekil 3.2: RPT test cihazı ve çalışma sırasındaki vakum değeri (sağ üst).

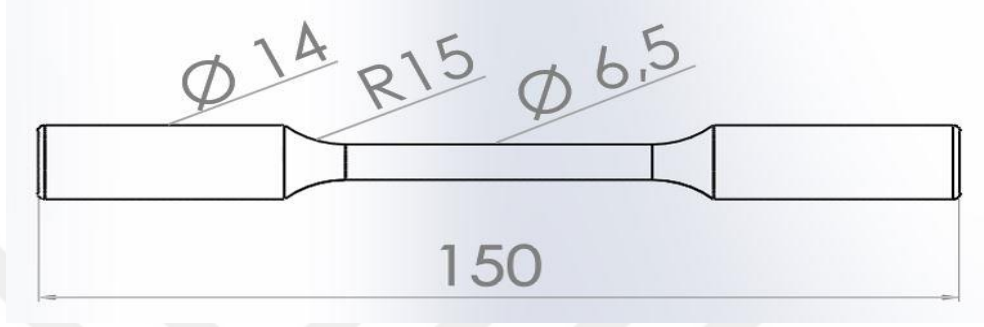
Dörtgen prizma numunesi, geometrisinin dörtgen prizma çakmağa olan benzerliğinden dolayı bu adı almaktadır. Dörtgen prizma, yoğunluk indeksi ve bifilm indeksi tespitinde kullanılabilir. Bu çalışmada kimyasal analizde kullanılmıştır. RPT testinde (Şekil 3.2), kalıp diğer tüm kokil kalıplar gibi önceden 200 °C'ye ısıtılmıştır ve katılaşma 4 dakika boyunca -700 mbar basınç altında gerçekleşmiştir. Basamak ve çekme çubuğu için kokil ve kum kalıplarda üretilen numunelerin geometrileri birbirinin aynısıdır. Çalışmada kullanılan kalıpların teknik çizimleri Şekil 3.3'deki gibidir.



Şekil 3.3: Çalışmada kullanılan kalıpların teknik çizimleri: dörtgen prizma kalıbı (a), RPT kalıbı (b), basamak kalıbı (c), çekme çubuğu kalıbı (d).

Parçaların dökülerek üretimlerinin ardından dörtgen prizma ve RPT numuneleri kimyasal analize tabi tutulmuştur. Basamak numunelerinin 3 farklı kesitine de mikroyapı muayenesi uygulanmıştır. Yapılan mikroyapı muayenesinde numunelerin DAL (Dentrit Kolu Uzunluğu – Dentrit Arm Length), SDAS (İkincil Dentrit Kol Mesafesi – Secondary Dentrit Arm Spacing) ve SDAL (İkincil Dentrit Kol Uzunluğu – Secondary Dentrit Arm Length) verileri hesaplanmıştır. Metalografi analizleri, Olympus GX41 marka optik mikroskopta “Kameram” adlı yazılımla gerçekleştirilmiştir. RPT numuneleri dikey olarak tam ortasından kesilmiş;

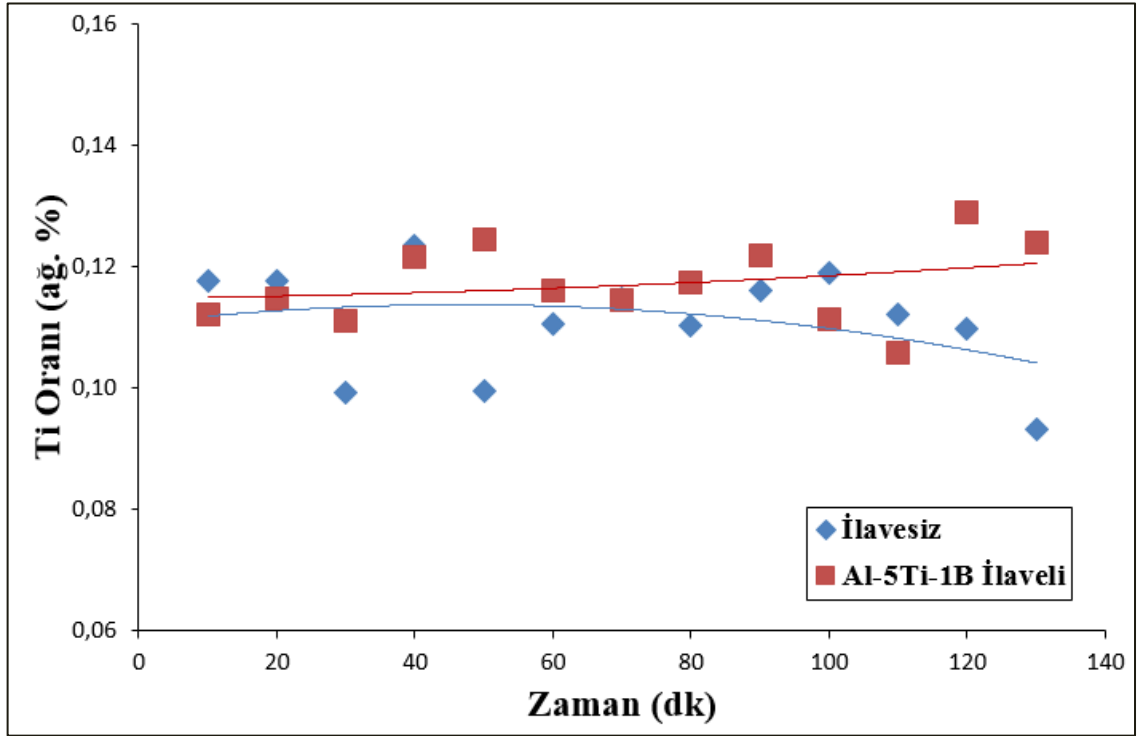
kesitleri görüntü analizine hazırlanarak SigmaScan Pro 5 yazılımı ile bifilm indeks ve bifilm sayısı değerleri belirlenmiştir. Çekme çubukları tornada işlenerek nihai çekme numunesi haline getirilmiştir (Şekil 3.4). Hazırlanan numunelere çekme testi yapılarak çekme mukavemetleri ve % uzama değerleri belirlenmiştir. Çekme testinden ve bifilm indeks analizinden elde edilen veriler Weibull analizi⁷ ile incelenmiştir.



Şekil 3.4: Torna sonrası çekme çubuklarına ait teknik çizim.

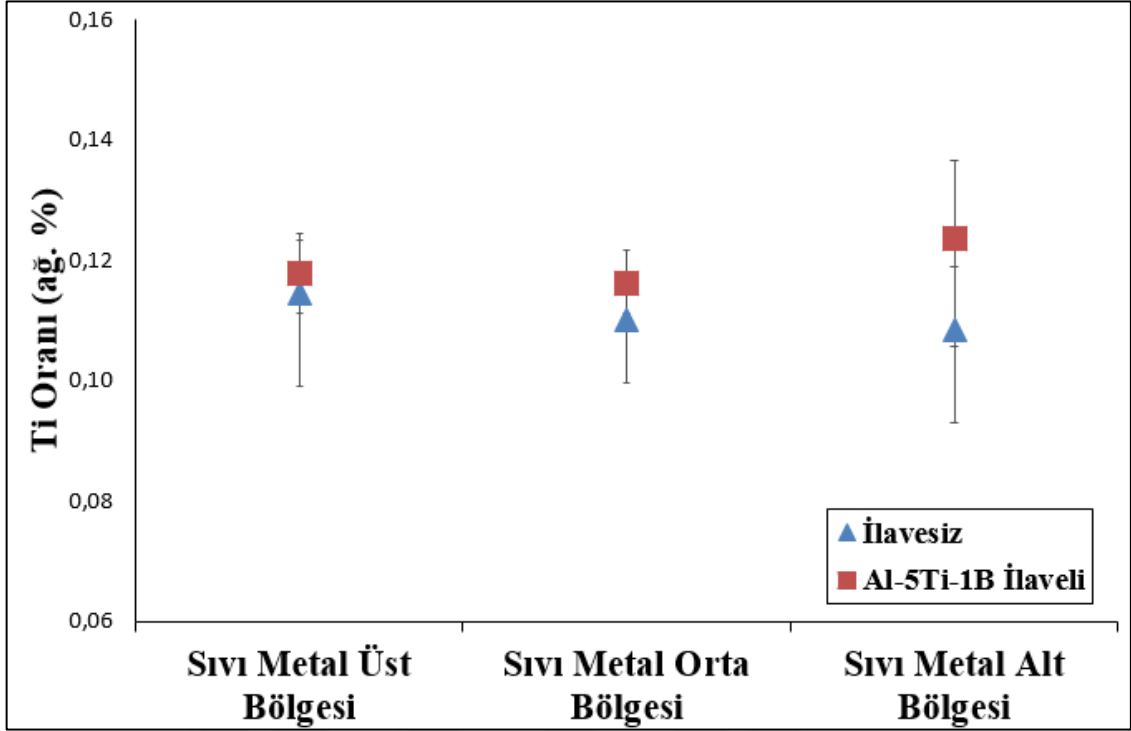
4. BULGULAR

Yapılan kimyasal analizlerde tane inceltici ilave edilmeyen deneyde (i) zamana bağılı olarak Ti oranında bir azalma yaşandığı Şekil 4.1 incelendiğinde görülmektedir. Bu azalma özellikle potadaki sıvı metal seviyesi %50'nin altına indiğinde meydana gelmiştir. Al-5Ti-1B tane inceltici master alaşımı ilaveli deney (ii) boyunca ise değişken bir Ti oranı gözlenmiştir. Genel itibariyle incelendiğinde, eğilim özellikle deneyin ikinci yarısında artış yönündedir.



Şekil 4.1: Ti oranının zamana bağlı değişimi.

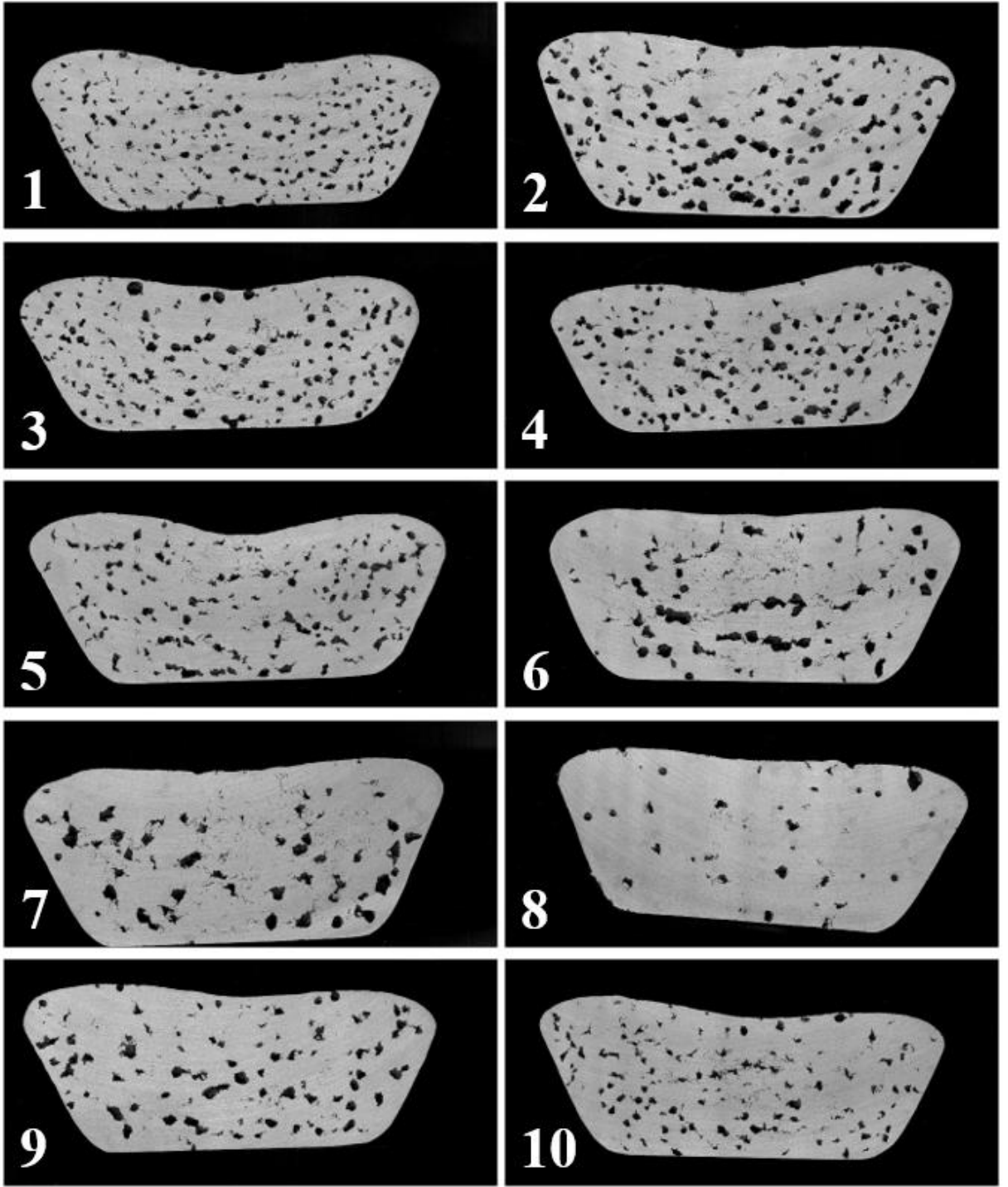
Değerlendirme Şekil 4.2'deki gibi, pota sıvı metal üst bölgesi, sıvı metal orta bölgesi ve sıvı metal alt bölgesi olmak üzere üç temel bölgeye ayrılarak yapıldığı takdirde de benzer sonuçlara ulaşılmıştır. Her aşamada Ti oranlarında birbirine yakın olmakla birlikte; bu oranlarda master ilavesiz deney için azalış, master ilaveli deney için artış yaşanan bölge, sıvı metal alt bölgesidir.



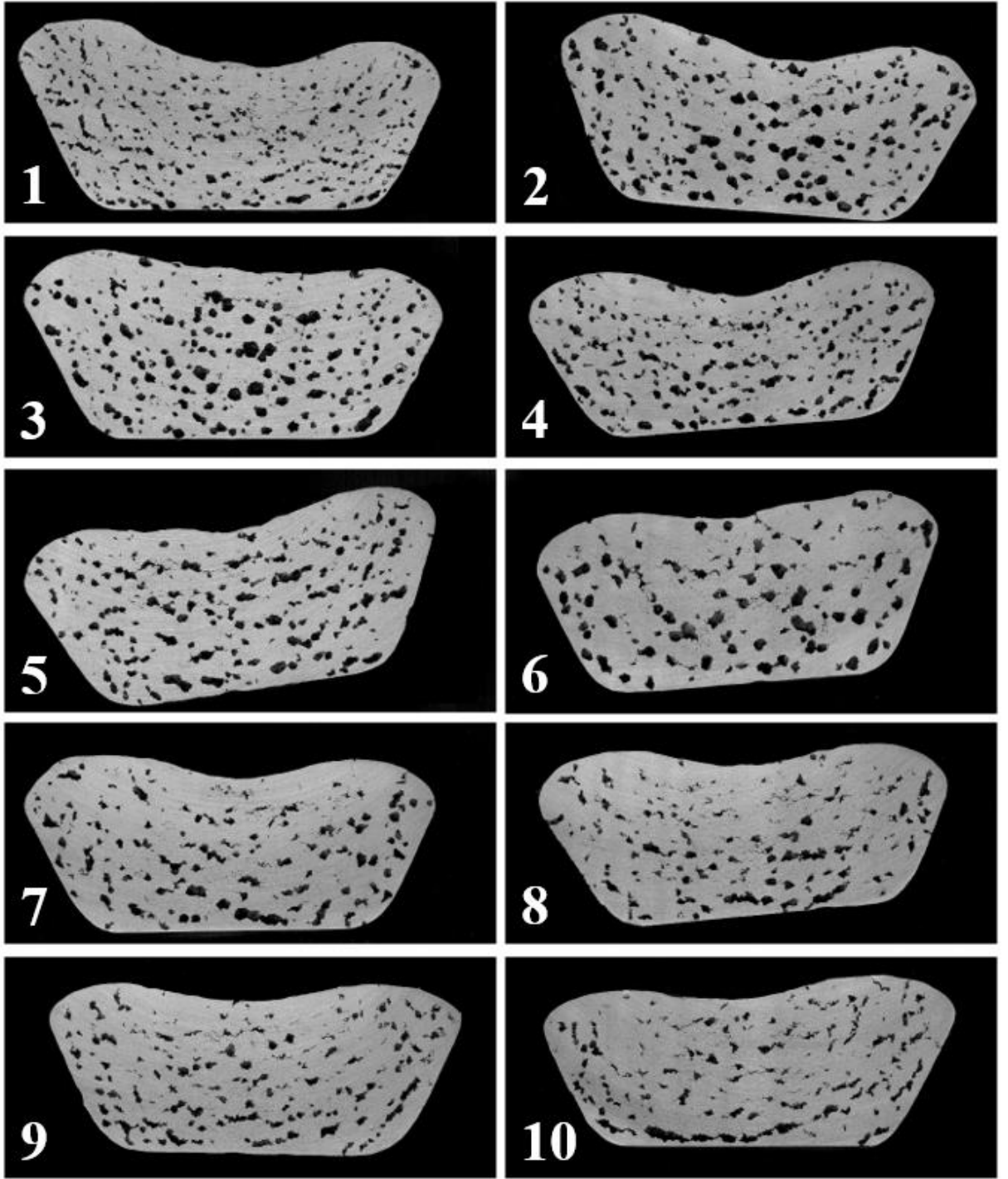
Şekil 4.2: Ti oranının potadaki bölgelere bağlı değişimi.

Yapılan çalışmada yaklaşık 10 dakika aralıklarla RPT numunesi dökülmüştür. Böylece sıvı metalin en üst seviyesinden en alt seviyesine kadar eşit aralıklarla örnekler alınmıştır. Sıvı metalin kalitesi ile doğrudan ilişkili bifilm indeks ve bifilm sayısı değerlerinin değişimi zamana bağlı olarak incelenmiştir. Al-5Ti-1B master alaşımı ilave edilen deneydeki BI ve NB değerlerinin master alaşımı ilavesiz ilk deneye kıyasla daha yüksek olduğu görülmüştür.

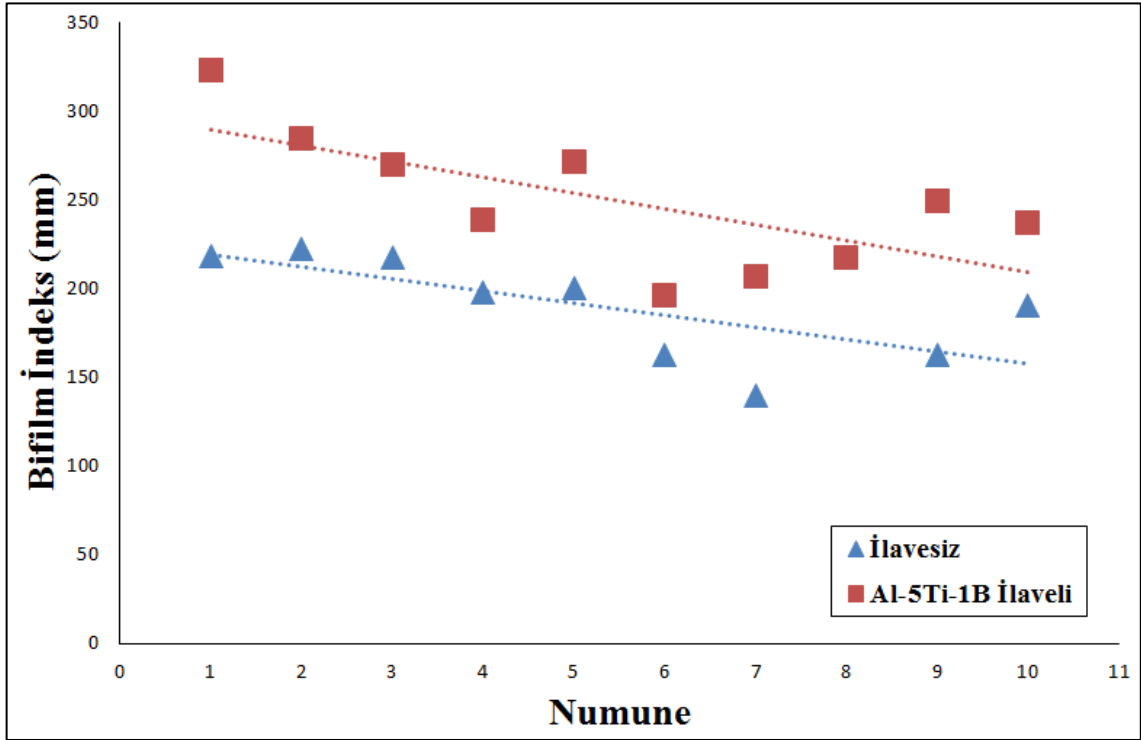
Çalışmada şartlara bağlı olarak değişen bifilm indeksi (BI) ve bifilm sayısını (BN) belirlemek için RPT numunelerinin kesitleri incelenmiştir. Tane inceltici master alaşımı ilavesiz deneye ait RPT numunelerinin kesitleri Şekil 4.3'te; Al-5Ti-1B tane inceltici master alaşımı ilaveli deneye ait RPT numunelerinin kesitleri Şekil 4.4'te verilmiştir.



Şekil 4.3: Tane inceltici master alaşımı ilavesiz deneye ait RPT numunelerinin kesit görüntüleri.

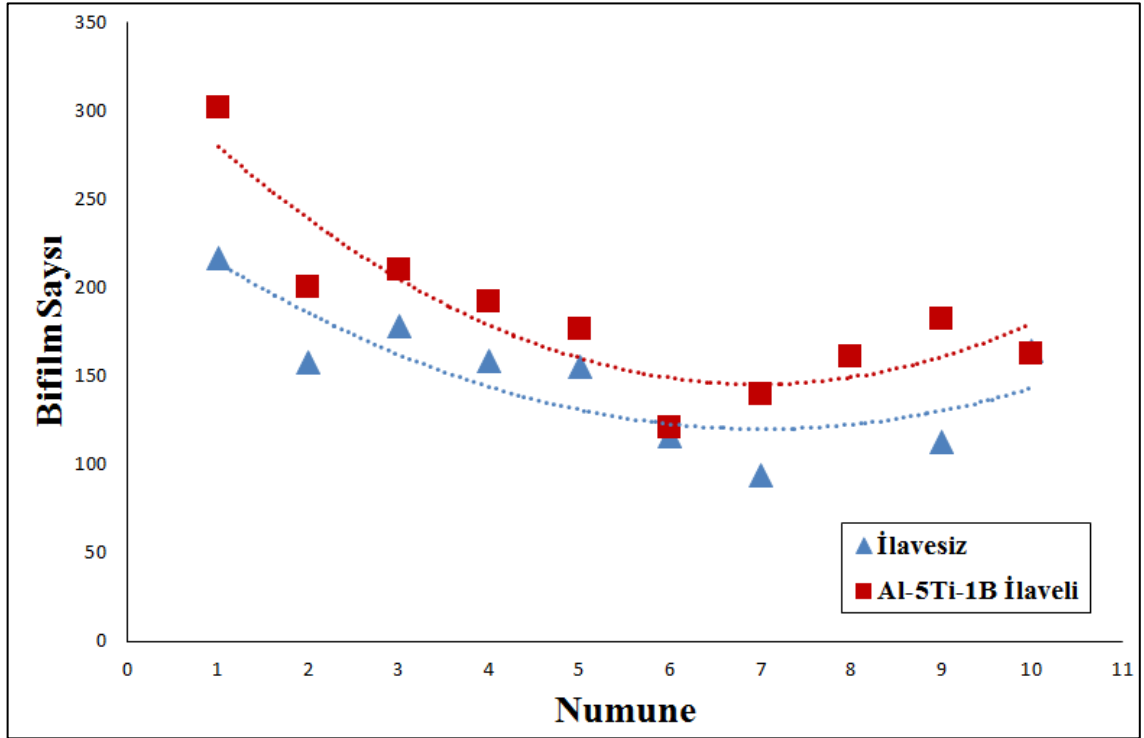


Şekil 4.4: Al-5Ti-1B tane inceltici master alaşımı ilaveli deneye ait RPT numunelerinin kesit görüntüleri.



Şekil 4.5: Bifilm indeksin zamana bağlı değişimi.

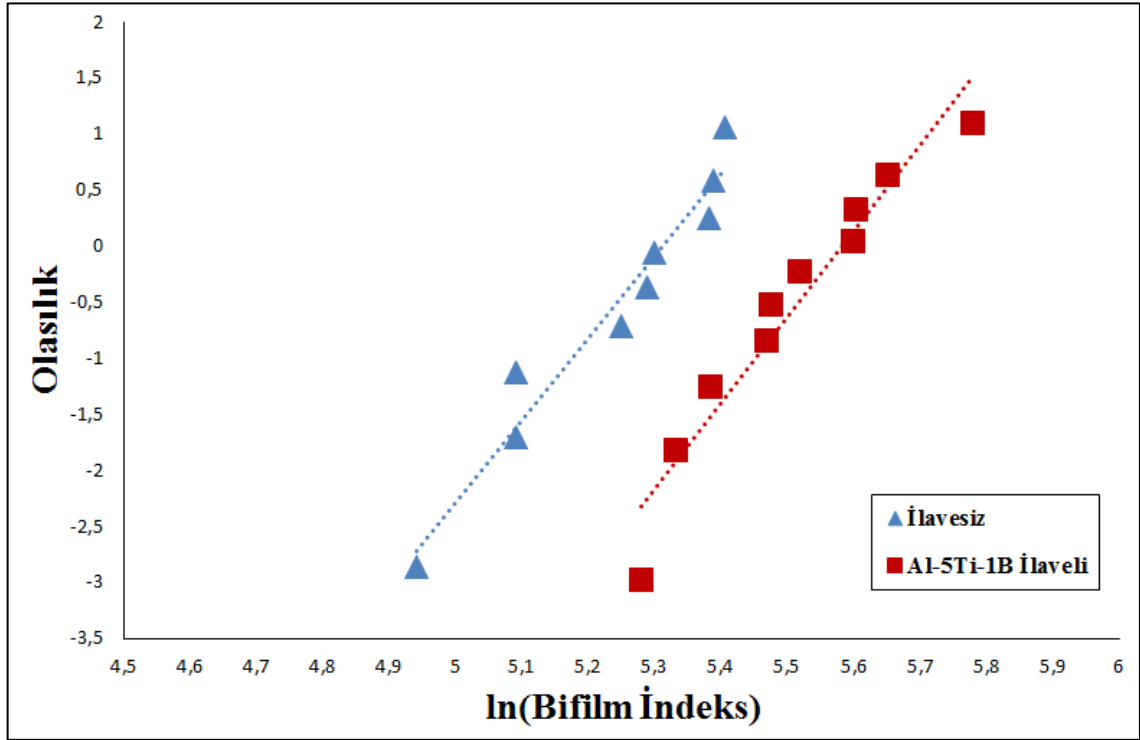
Zamana bağlı olarak değişen BI ve NB değerleri her iki deneyde de benzer bir eğilim sergilemiştir. Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'de de görülebileceği gibi bu genel eğilim azalma yönündedir. Ancak BI eğiliminden ortaya çıkarılan doğrular incelendiğinde, tane inceltici master alaşımı ilaveli deneyde ilavesiz deneye göre daha büyük bir düşüş olduğu görülmektedir. İlaveli deneyde BI değerleri toplamda %28 azalırken; ilavesiz deneyde BI değerleri toplamda %24 azalmıştır.



Şekil 4.6: Bifilm sayısının zamana bağlı değişimi.

BI verilerinde olduğu gibi, Şekil 4.6’da verilen NB verilerinde de doğruların eğimleri incelenmiştir. Tane inceltici master alaşımı ilaveli deneyde NB değerleri toplamda %36 azalırken; ilavesiz deneyde BI değerleri toplamda %33 azalmıştır.

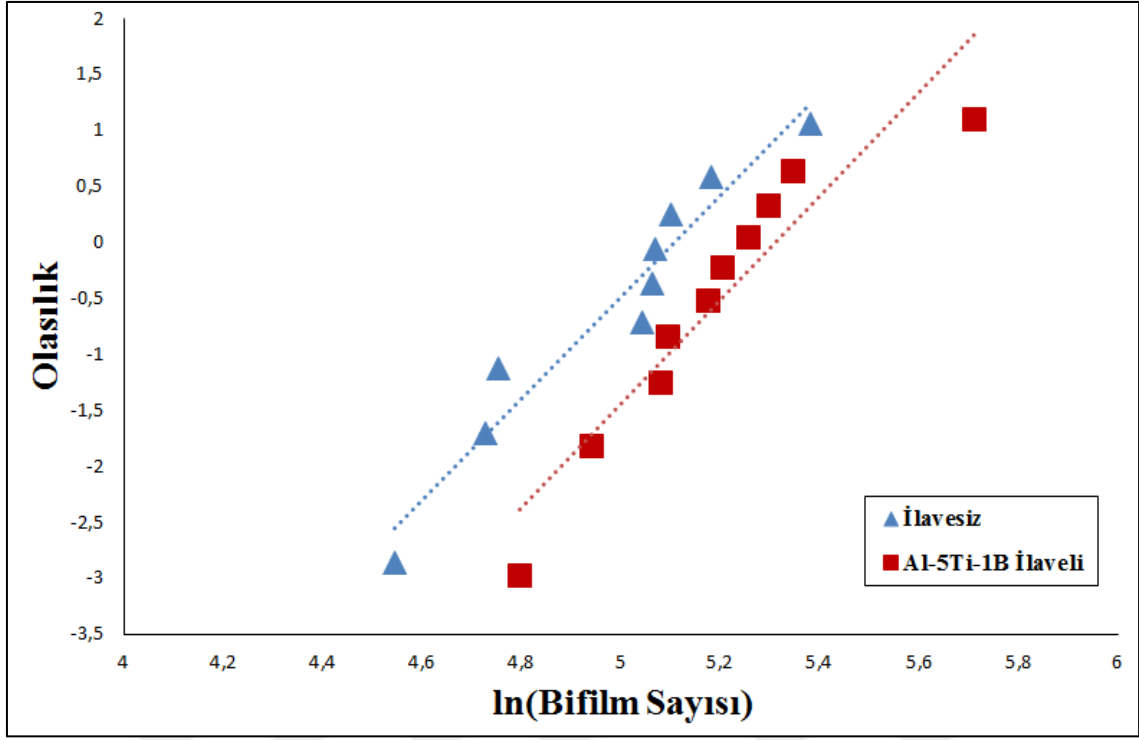
Diğer yandan, her iki deneyde ve her iki şart için de görülebildiği gibi, sıvı metal alt bölgesine karşılık gelen son 4 numunenin hem BI hem de NB değerleri artış eğilimine geçmiştir.



Şekil 4.7: Bifilm indeksinin weibull analizi ile değerlendirilmesi.

İki deney sonucu elde edilen BI ve NB değerleri weibull istatistiksel dağılım analizi ile değerlendirilmiştir. Weibull analizi ile elde edilen grafikte verilerin +x yönünde yer alması x eksenindeki değerde artış yaşandığının göstergesidir. Veriler kümesinin dik bir doğru oluşturması ise x eksenindeki değerlerin son derece istikrarlı sonuçlar verdiğini ifade etmektedir.

Şekil 4.7'deki bifilm indekse ait Weibull analizi incelendiğinde tane inceltici ilave edilen deneyde bifilm indeksin arttığı görülmüştür. Tane inceltici ilavesiz ve ilaveli verilerin weibull doğrularının eğimleri neredeyse birbirine eşit olduğundan (sırasıyla: 7,31 ve 7,67) istikrarlılıkları da neredeyse aynıdır.

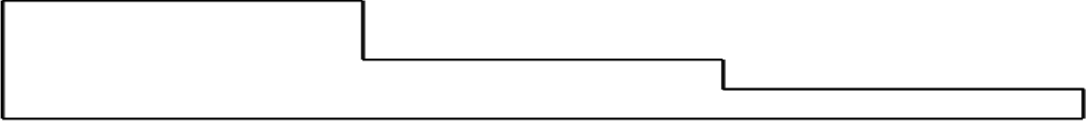
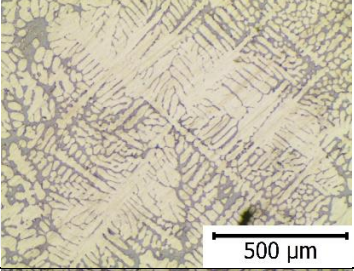
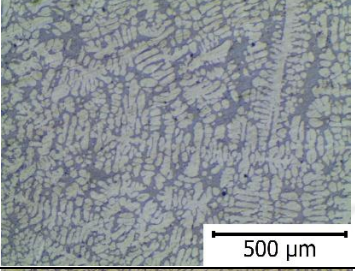
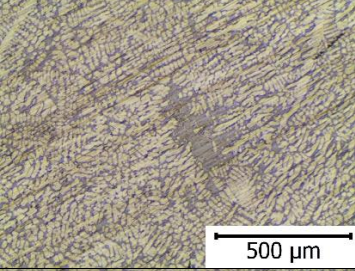
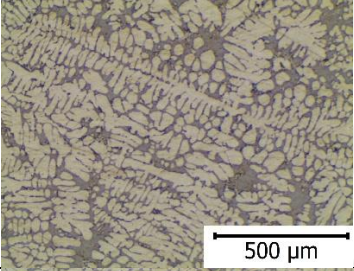
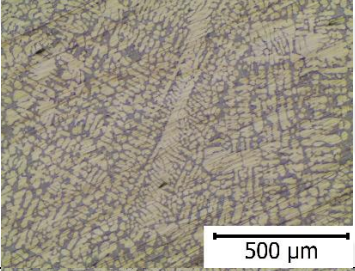
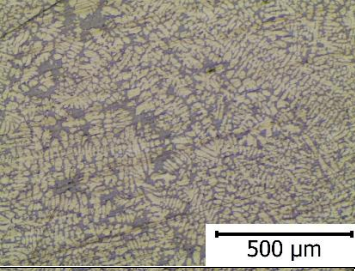
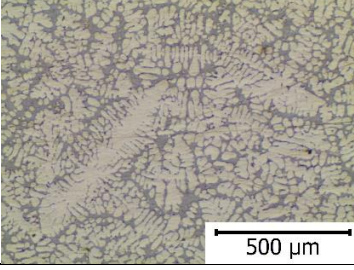
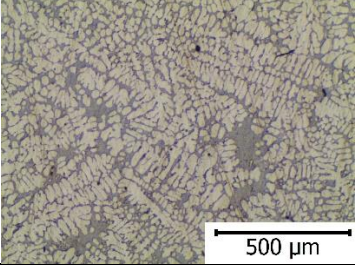
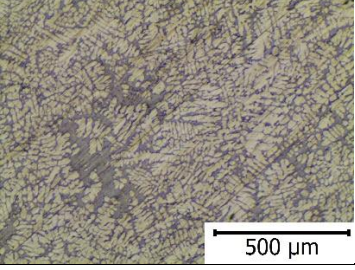


Şekil 4.8: Bifilm sayısının Weibull analizi ile değerlendirilmesi.

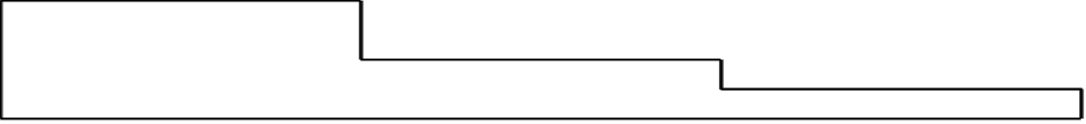
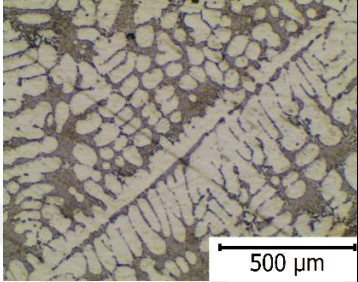
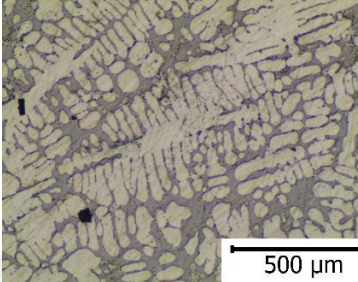
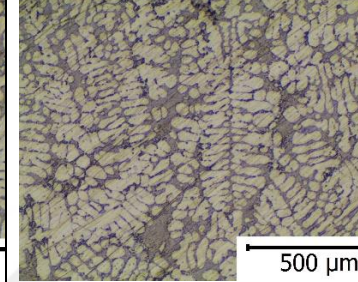
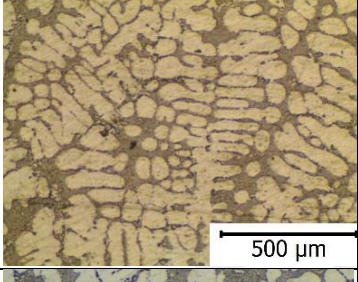
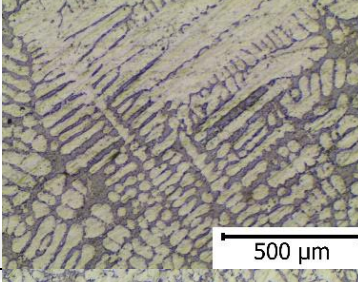
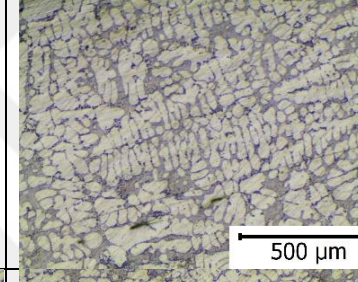
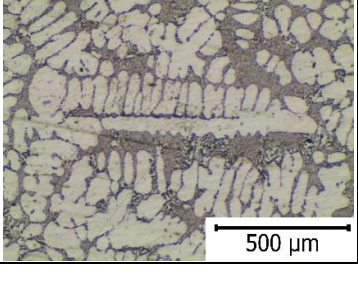
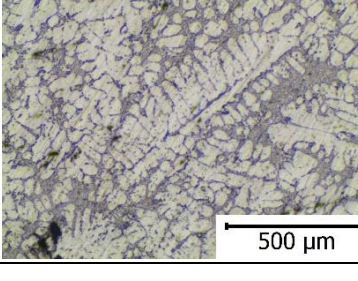
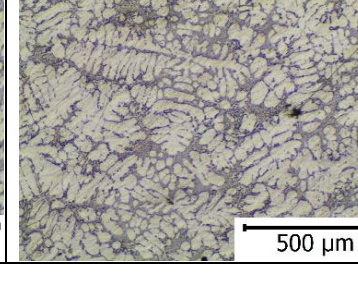
Şekil 4.8'deki bifilm sayısına ait Weibull analizi incelendiğinde tane inceltici ilave edilen deneyde bifilm sayısının arttığı görülmüştür. Tane inceltici ilavesiz ve ilaveli verilerin weibull doğrularının eğimleri neredeyse birbirine eşit olduğundan (sırasıyla:4,64 ve 4,54) istikrarlılıkları da neredeyse aynıdır. BI ve NB verilerinin weibull analizi sonuçları benzerlik göstermektedir.

Yapılan çalışmada hem kum hem kokil kalıba sıvı metalin 3 farklı seviyesinden (sıvı metal üst bölgesi, sıvı metal orta bölgesi, sıvı metal alt bölgesi) alınan sıvı ile döküm yapılarak basamak parçaları üretilmiştir. 3 farklı kesit kalınlığına, dolayısıyla 3 farklı soğuma hızına sahip basamak parçaları mikroyapı muayenesine tabi tutulmuştur. Elde edilen mikroyapı görüntüleri Tablo 4.1, Tablo 4.2, Tablo 4.3 ve Tablo 4.4'te sunulmuştur.

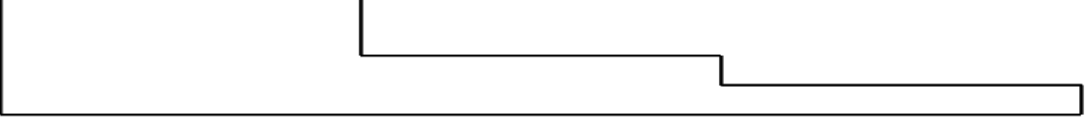
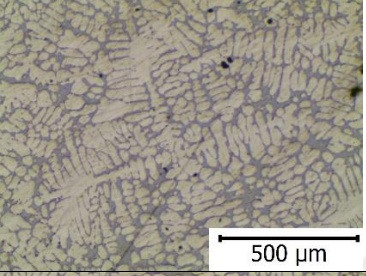
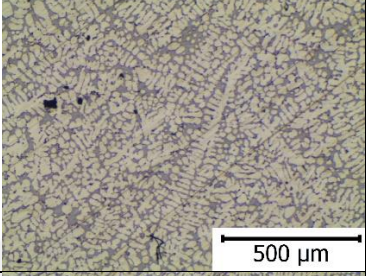
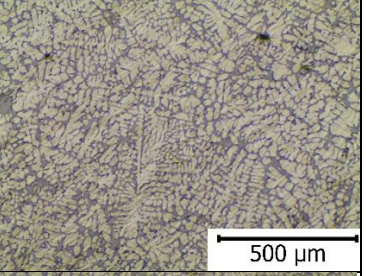
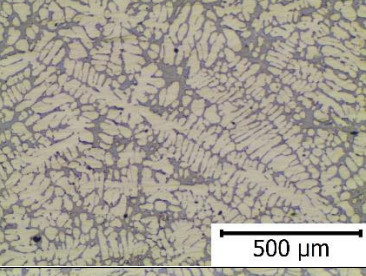
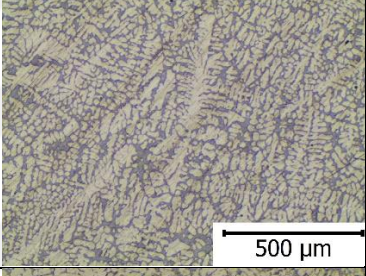
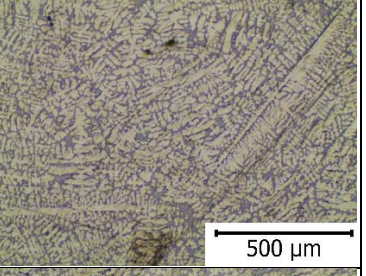
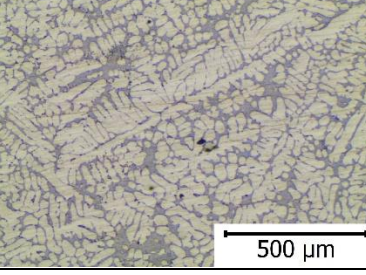
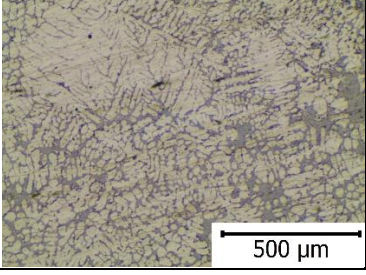
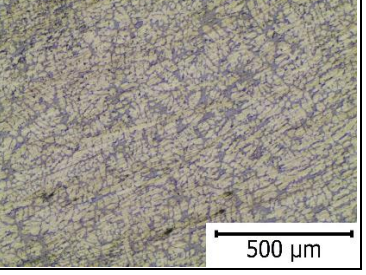
Tablo 4.1: Tane inceltici master alaşımı ilavesiz kokil kalıba yapılan dökümlerde sıvı metal bölgesine ve numune kesit kalınlığına bağlı mikroyapı değişimi.

			
	Kalın Kesit (20 mm)	Orta Kesit (10 mm)	İnce Kesit (5 mm)
Üst Bölge			
Orta Bölge			
Alt Bölge			

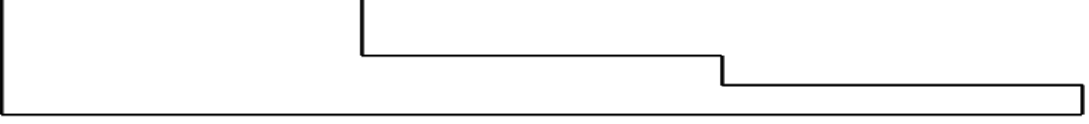
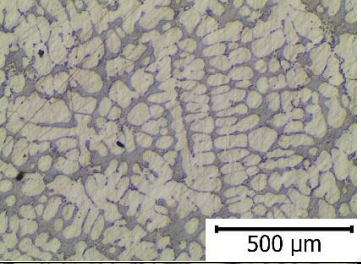
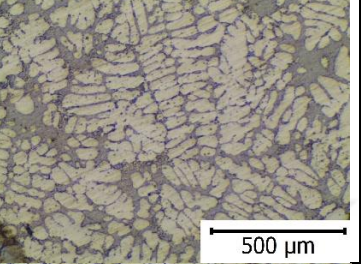
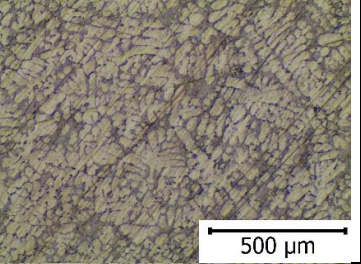
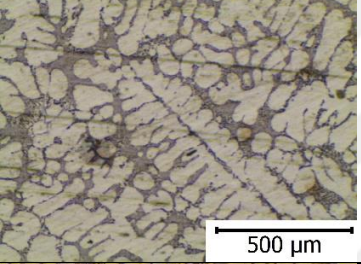
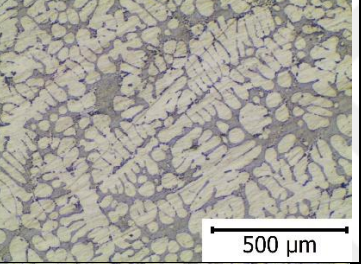
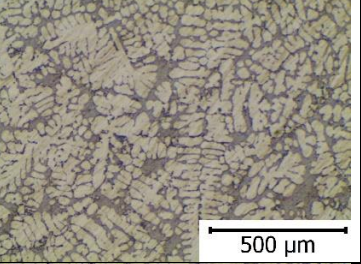
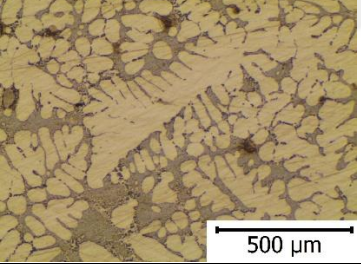
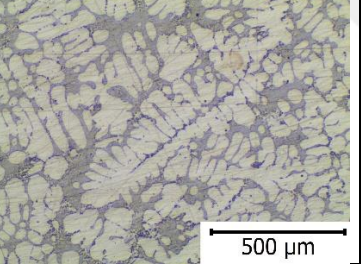
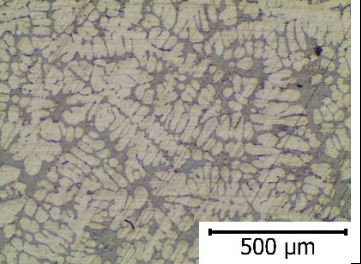
Tablo 4.2: Tane inceltici master alaşımı ilavesiz kum kalıba yapılan dökümlerde sıvı metal bölgesine ve numune kesit kalınlığına bağlı mikroyapı değişimi.

			
	Kalın Kesit (20 mm)	Orta Kesit (10 mm)	İnce Kesit (5 mm)
Üst Bölge			
Orta Bölge			
Alt Bölge			

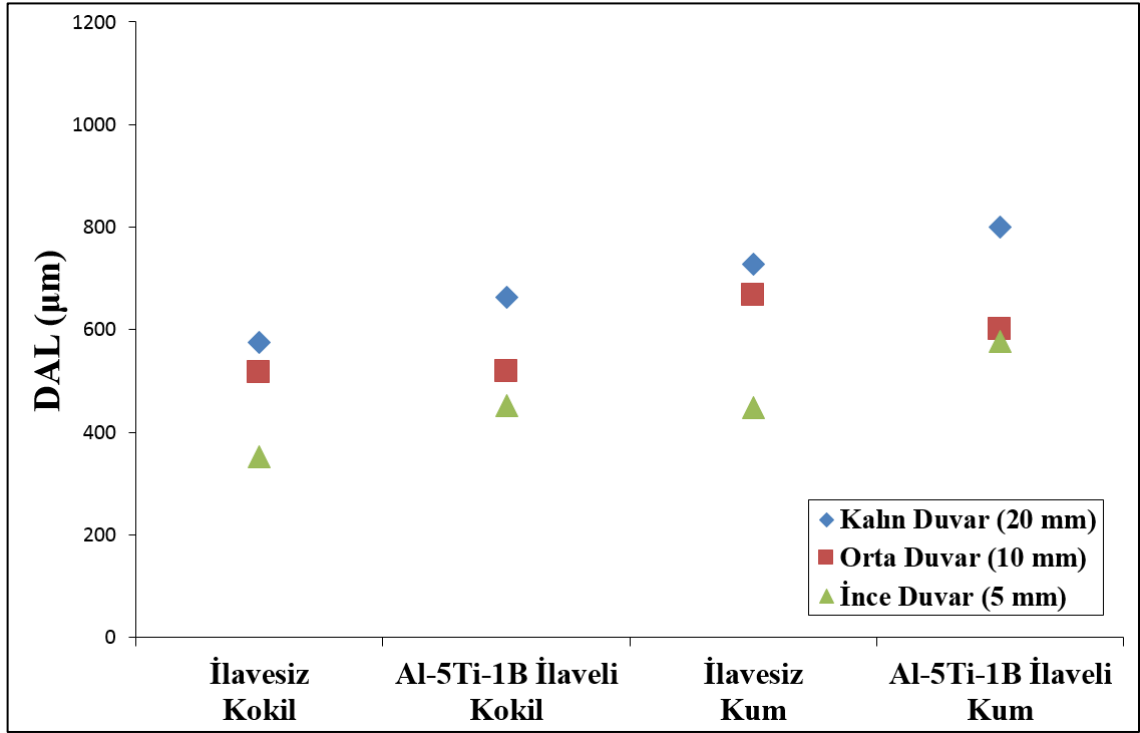
Tablo 4.3: Al-5Ti-1B tane inceltici master alaşımı ilaveli kokil kalıba yapılan dökümlerde sıvı metal bölgesine ve numune kesit kalınlığına bağlı mikroyapı değişimi.

			
	Kalın Kesit (20 mm)	Orta Kesit (10 mm)	İnce Kesit (5 mm)
Üst Bölge			
Orta Bölge			
Alt Bölge			

Tablo 4.4: Al-5Ti-1B tane inceltici master alaşıımı ilaveli kum kalıba yapılan dökümlerde sıvı metal bölgesine ve numune kesit kalınlığına bağlı mikroyapı değişimi.

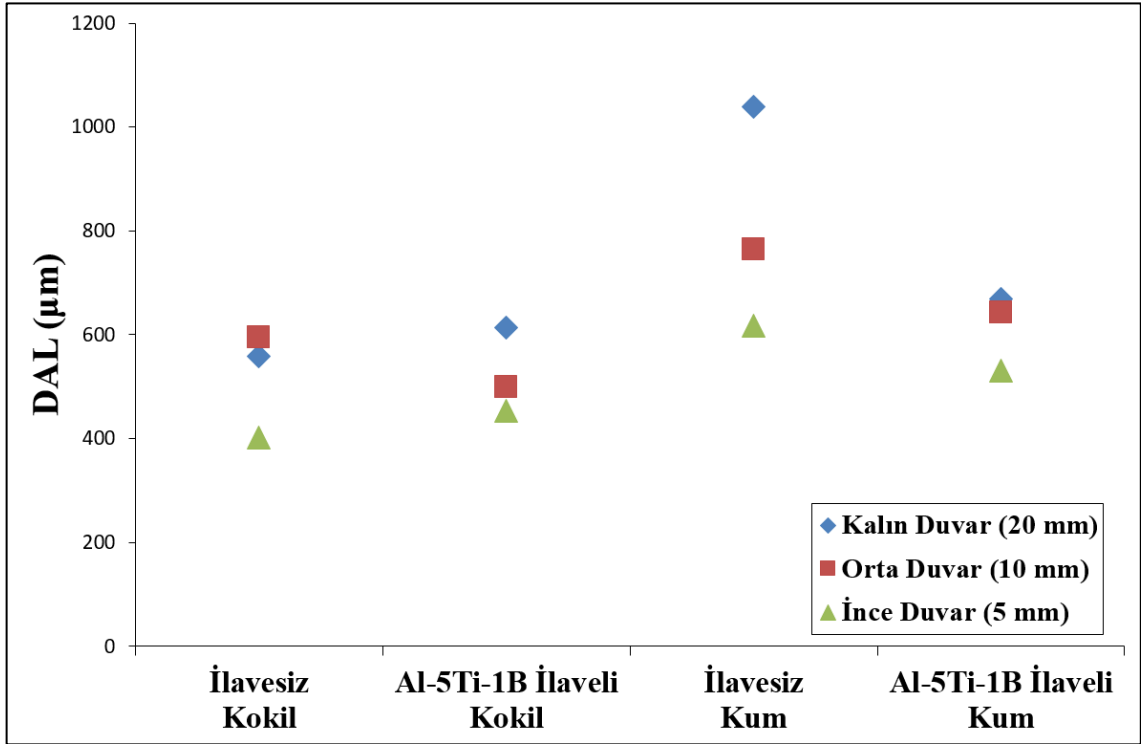
			
	Kalın Kesit (20 mm)	Orta Kesit (10 mm)	İnce Kesit (5 mm)
Üst Bölge			
Orta Bölge			
Alt Bölge			

Elde edilen mikroyapı görüntülerinden şartlara bağlı olarak değişen DAL, SDAS ve SDAL analizleri yapılmıştır.



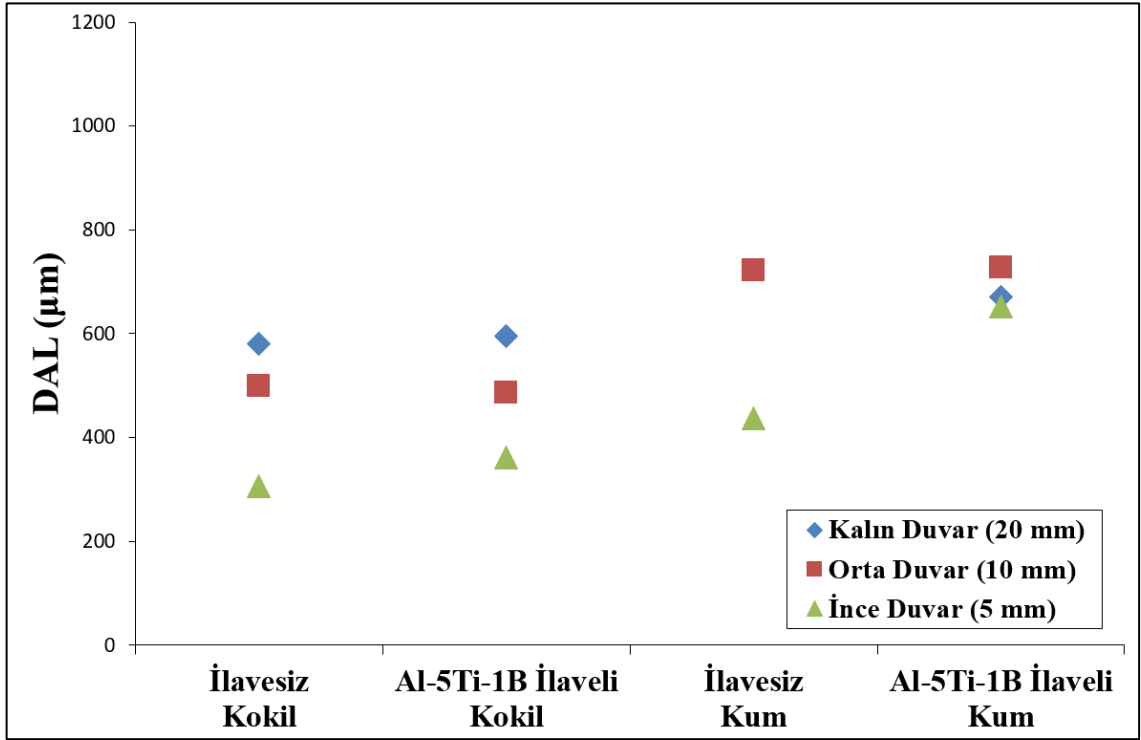
Şekil 4.9: Sıvı metal üst bölgesinin mikroyapısına ait DAL analizi.

Şekil 4.9’da görüldüğü gibi, kokil kalıba dökülen numunelerin DAL boyutları olağan şekilde kum kalıba dökülenlerden daha küçüktür. Bu farkı iki kalıbın soğuma hızı yaratmıştır. Aynı faktör, numune kesit kalınlığına bağlı olarak da etkisini göstermiştir. En yavaş soğuyan en kalın bölge en yüksek DAL sonuçlarını vermiştir. Her kalınlıktaki numunede, yani her soğuma hızında ortalama DAL boyutlarının tane inceltici master alaşımı ilavesi ile artışı gözlenmektedir.



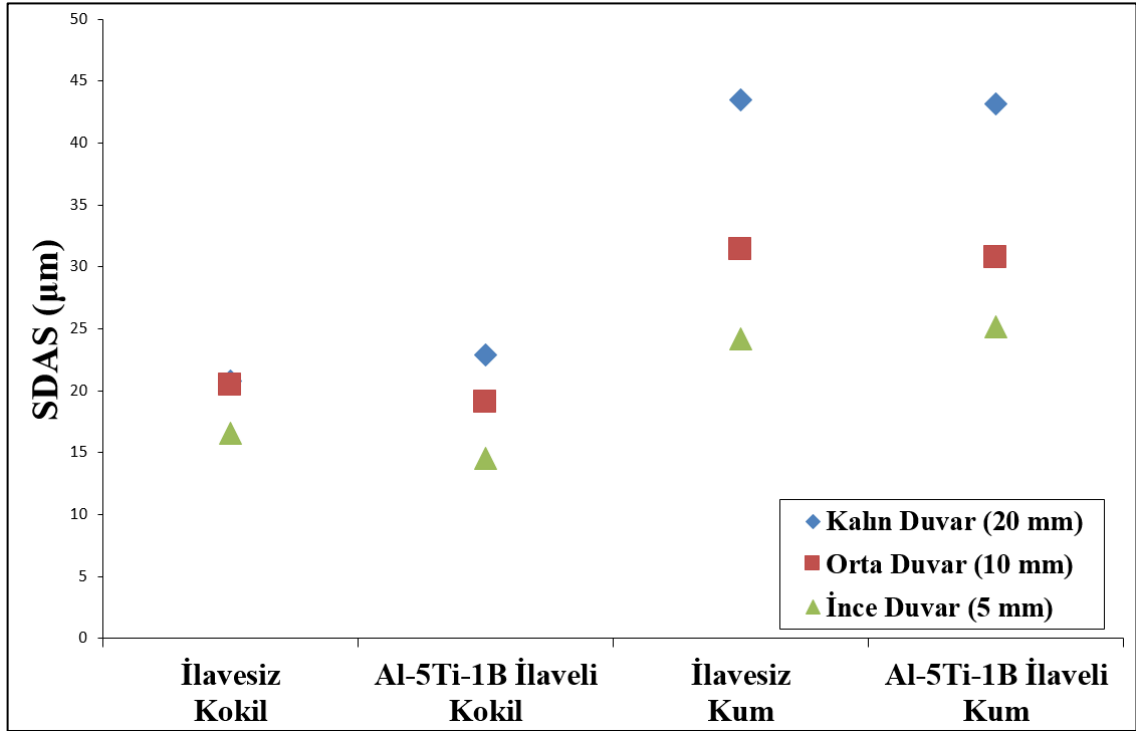
Şekil 4.10: Sıvı metal orta bölgesinin mikroyapısına ait DAL analizi.

Sıvı metal orta bölgesinin Şekil 4.10'daki DAL analizi incelendiğinde master alaşımının kum kalıptaki her kesit kalınlığında ve kokil kalıpta sadece 10 mm kalınlıktaki numunede etkisini gösterdiği belirlenmiştir.



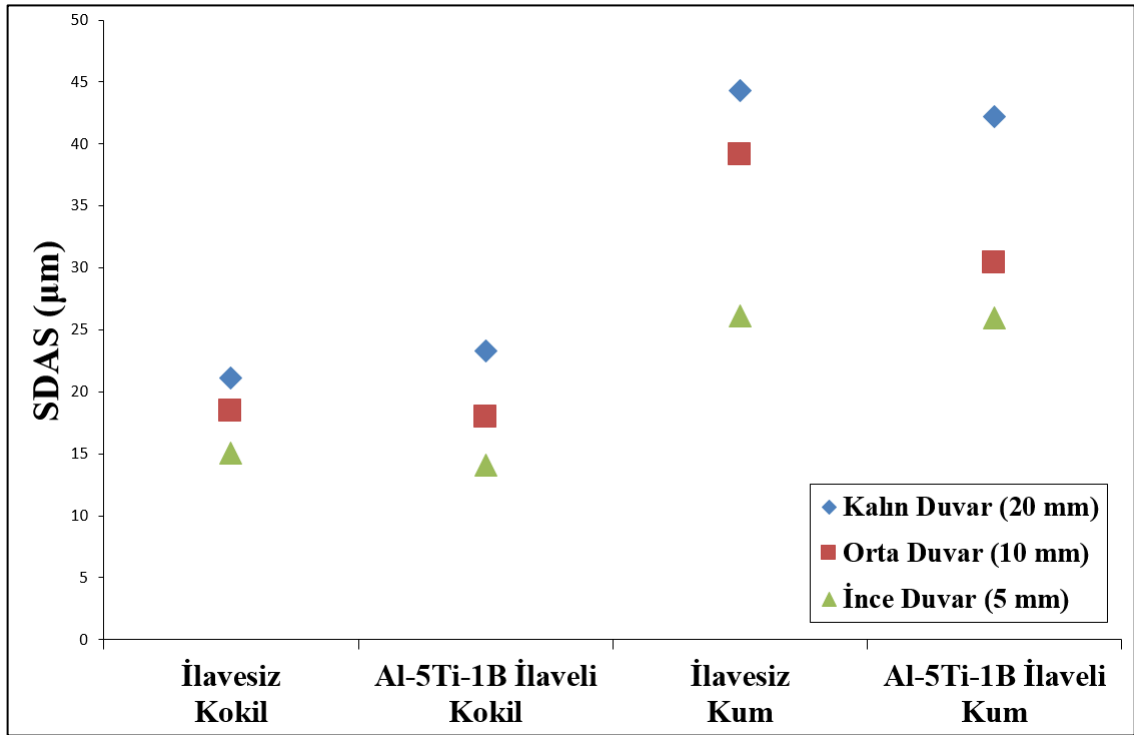
Şekil 4.11: Sıvı metal alt bölgesinin mikroyapısına ait DAL analizi.

Şekil 4.11’de görülebileceği gibi, master alaşımı ilavesinin sıvı metal alt bölgesinde DAL değerlerini hem kokil hem de kum kalıpta sadece 10 mm kalınlıktaki numunelerde sabit bıraktığı; diğer tüm şartlarda DAL değerlerinin artışına neden olduğu gözlenmiştir.



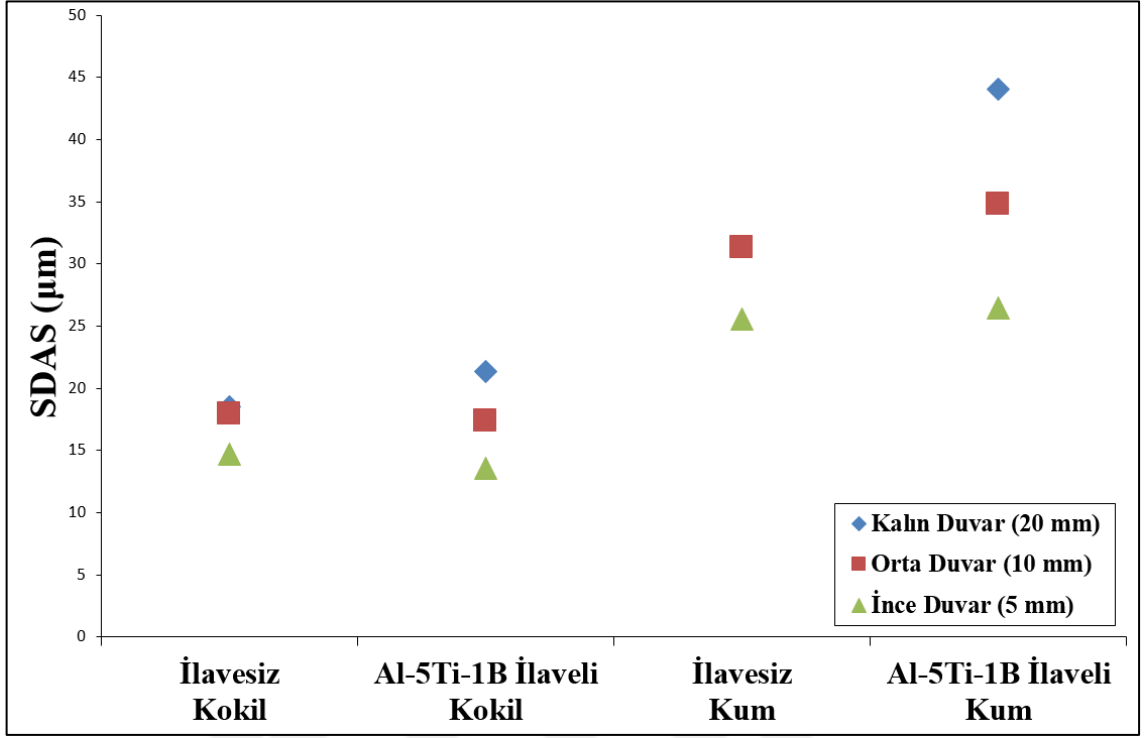
Şekil 4.12: Sıvı metal üst bölgesinin mikroyapısına ait SDAS analizi.

Sıvı metal üst bölgesinden kokil ve kum kalıba dökülerek alınan farklı kesit kalınlıklarına sahip numunelerin mikroyapılarında SDAS incelemesi yapılmıştır. Şekil 4.12’de de görülebileceği gibi, kokil kalıpta en kalın kesitte (20 mm) tane inceltici ilavesi ile SDAS değerlerinde artış görülmüştür. Kum kalıpta tüm kesitlerdeki numunelerde tane inceltici master alaşımı ilavesi ile kayda değer bir değişim yaşanmamıştır. Sadece kokil kalıbın 10 mm ve 5 mm kesitlerinde SDAS değerlerinin azaldığı gözlenmiştir.



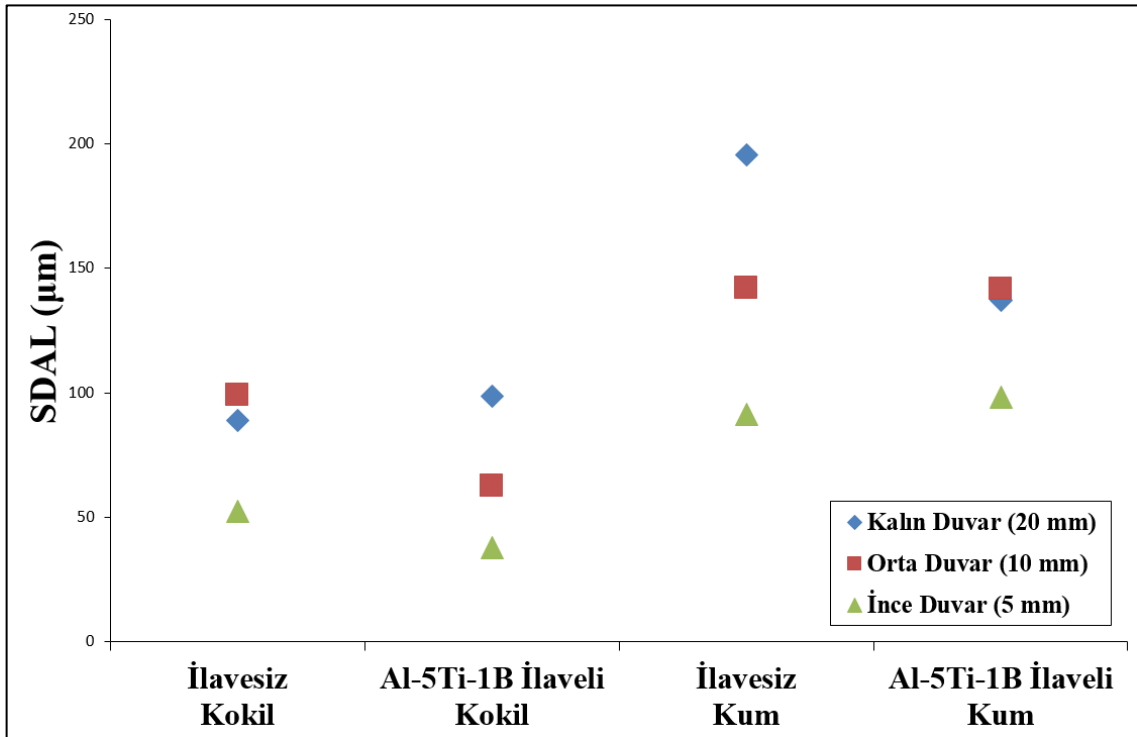
Şekil 4.13: Sıvı metal orta bölgesinin mikroyapısına ait SDAS analizi.

Sıvı metal orta bölgesinde, tane inceltici ilavesi ile kokil kalıbın 20 mm kesitli numunelerindeki SDAS değerlerinde bir artış yaşandığı ancak diğer iki kesitte az da olsa bir düşüş gerçekleştiği Şekil 4.1 incelendiğinde tespit edilmiştir. Kum kalıpta tane inceltici SDAS değerlerine 5 mm kesitte etki edemezken; 20 mm ve 10 mm kesitlerde SDAS değerlerini sırasıyla %8 ve %24 azaltmayı başarmıştır.



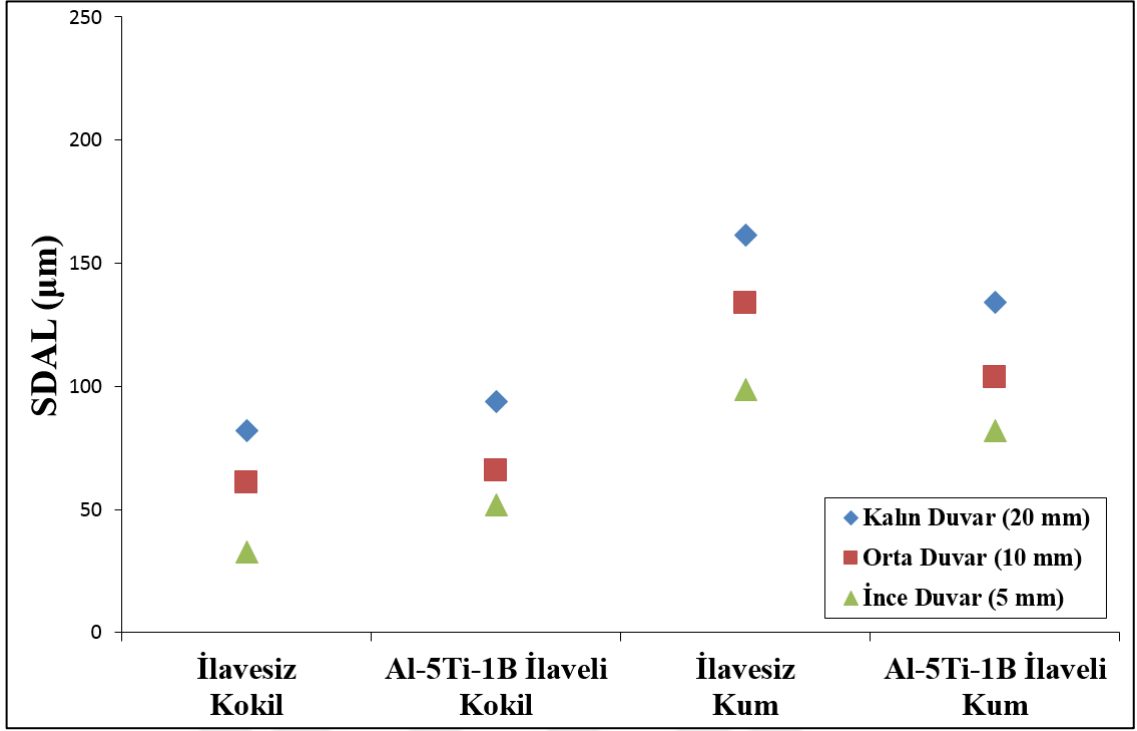
Şekil 4.14: Sıvı metal alt bölgesinin mikroyapısına ait SDAS analizi.

Sıvı metal alt bölgesinde, yani pota dibinde tane inceltici ilavesinin SDAS üzerindeki etkisi Şekil 4.14'den incelendiğinde master alaşımın etkisini sadece kokil kalıptaki 5 mm ve 10 mm kesitli numunelerde gösterdiği belirlenmiştir. 5 mm kesitte kum kalıpta ise SDAS değerlerinde kayda değer bir değişim yaşanmazken; 10 mm kesitte artış tespit edilmiştir.



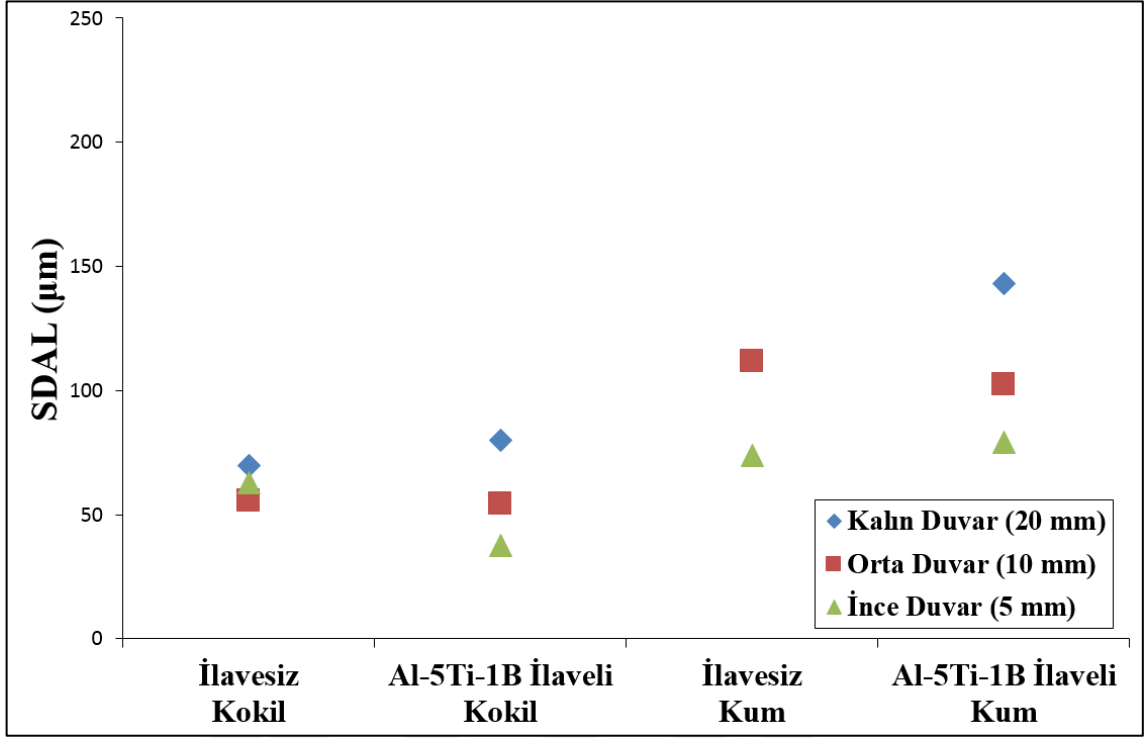
Şekil 4.15: Sıvı metal üst bölgesinin mikroyapısına ait SDAL analizi.

Sıvı metal üst bölgesinden hem kokil hem de kum kalıba dökülen 3 farklı kesite sahip numuneler incelenerek SDAL analizi yapılmıştır. Şekil 4.15'te de görülebileceği gibi, tane inceltici ilavesi kokil kalıbın 10 mm ve 5 mm kesitlerinde etkisini göstermesine rağmen en kalın kesitinde etkisini göstermeyip SDAL değerlerini arttırmıştır. Tersine, kum kalıpta tane inceltici sadece en kalın kesit olan 20 mm kesitte etkili olarak SDAL değerlerini %37 düşürmüştür. 10 mm kesitte etkisiz kalıp bir değişim yaşatmazken; 5 mm kesitte az da olsa SDAL değerlerini arttırmıştır.



Şekil 4.16: Sıvı metal orta bölgesinin mikroyapısına ait SDAL analizi.

Sıvı metal orta bölgesinin mikroyapısı kokil ve kum kalıpların etkileri göz önüne alınarak incelendiğinde tüm kesit kalınlıklarında benzer eğilimler olduğu Şekil 4.16 incelendiğinde tespit edilmiştir. Kokil kalıpta yapılan tane inceltme işlemi ile SDAL değerlerinin arttığı görülmüştür. Bu artışlar arasında en düşük artış eğiliminin 10 mm kesitte yaşandığı belirlenmiştir. Kum kalıpta ise tane inceltici master alaşımının etkisini göstererek tüm kesitlerdeki ortalama SDAL değerlerini düşürdüğü gözlenmiştir.



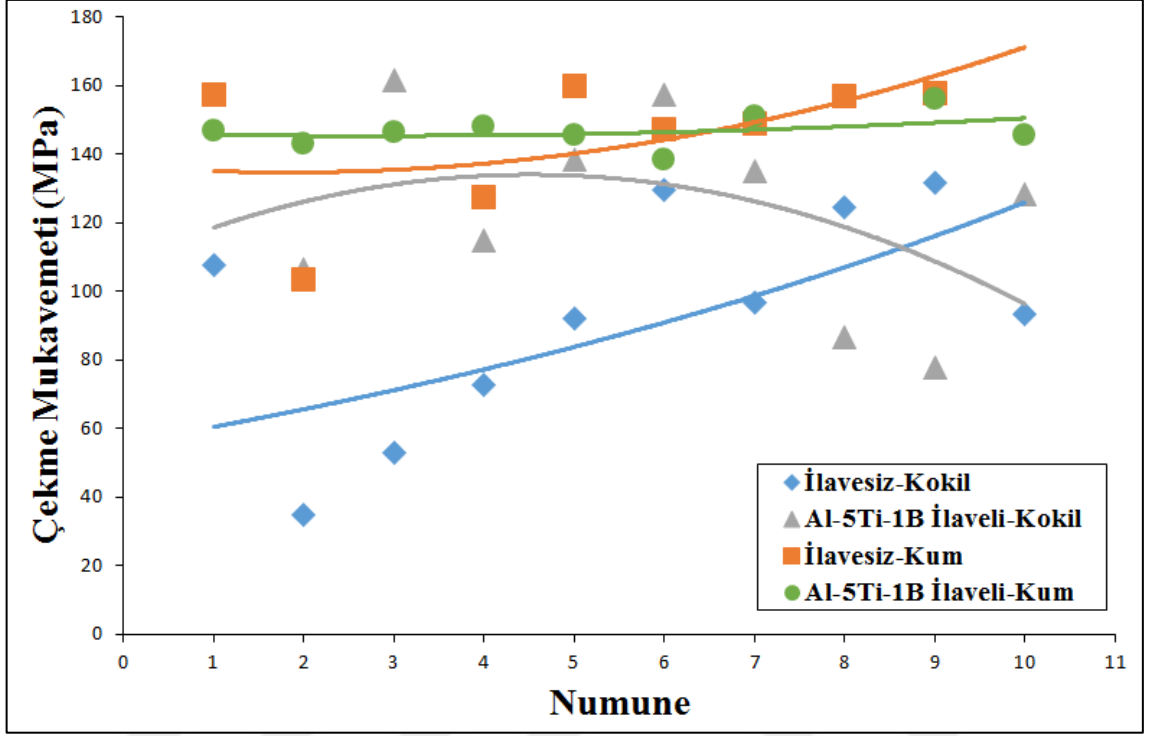
Şekil 4.17: Sıvı metal alt bölgesinin mikroyapısına ait SDAL analizi.

Sıvı metal alt bölgesinden alınan numunelerin Şekil 4.17'deki SDAL analizinde ilk dikkat çeken bulgular, tane inceltici ilavesiz deneyde kokil kalıp ile hazırlanan numunelerin SDAL analizinde tüm kesit kalınlıklarında birbirine oldukça yakın değerler vermesidir. Master alaşımı ilavesi en ince kesitte etkili olup SDAL değerlerini düşürürken, en kalın kesitte etkisiz kalıp arttırmıştır. 10 mm kesitte ise SDAL değerleri sabit kalmıştır. Kum kalıpta ise 5 mm kesitte SDAL değerleri kayda değer bir artış yaşamazken; 10 mm kesitte %7 oranında azalmıştır.

Yapılan çalışmada, yaklaşık 10 dakika aralıklarla kokil ve kum kalıba çekme numuneleri dökülmüştür. Çekme numuneleri her iki deneyde de sıvı metalin eşit aralıklardaki seviyelerinden alınan sıvı ile üretilmiştir. Torna işleminin ardından çekme testine tabi tutulan numunelerin çekme mukavemetleri ve uzama değerleri belirlenmiştir.

Yüksel ve arkadaşları [28], farklı 356 alaşımı şarjlarla kum kalıba yaptıkları dökümlerde 390 mm bifilm indekse sahip dökümde 120 MPa çekme mukavemeti ve % 1,5 uzama elde ederlerken, 6 mm bifilm indekse sahip dökümde 180 MPa çekme mukavemeti ve %3,4 uzama

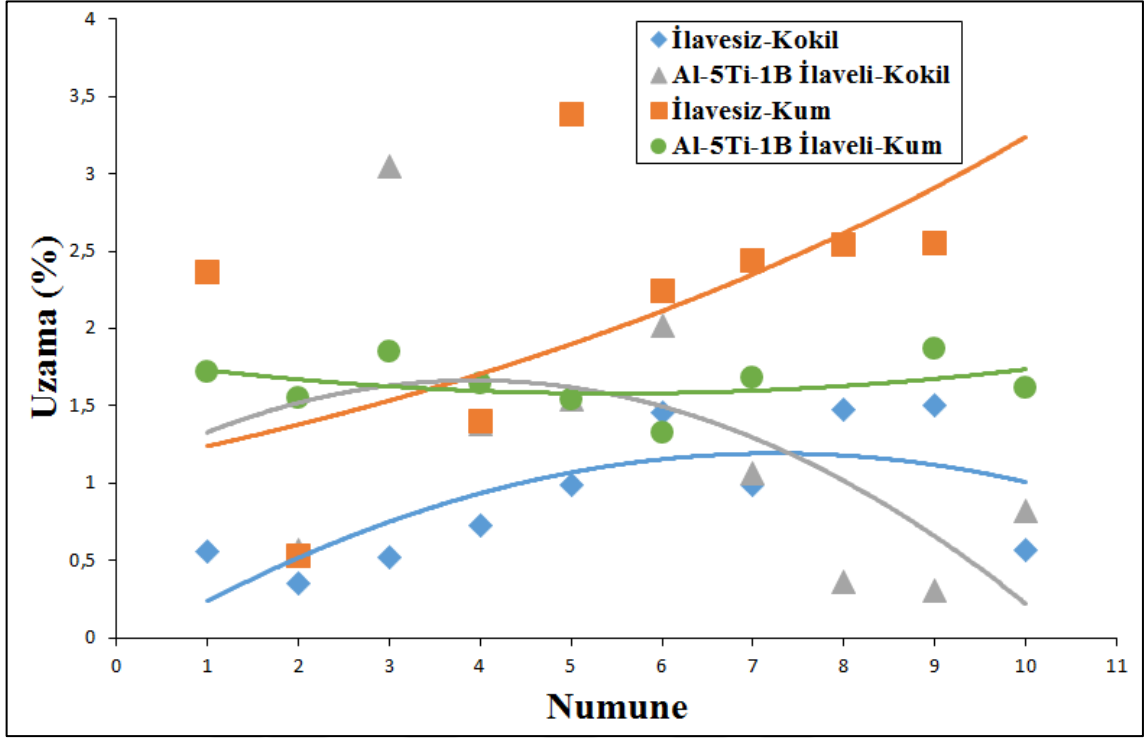
elde etmişlerdir. Yaptıkları çalışmada sıvı metal kalitesinin artışı ile çekme mukavemetinin arttığını belirlemişlerdir.



Şekil 4.18: Çekme testinde çekme mukavemeti değerlerinin zamana bağlı değişimi.

Şekil 4.18 incelendiğinde bu çalışmada, kokil kalıp ile tane inceltici ilavesiz üretilen çekme çubuklarına yapılan çekme testinde çekme mukavemeti değerlerinin zamana bağlı olarak artış eğilimi gösterdiği belirlenmiştir. Bu durum tane inceltici master alaşımın ilavesi ile birlikte tersine dönmüş, çekme mukavemeti değerlerinde zamanla azalma görülmüştür.

Kum kalıp ile tane inceltici ilavesiz üretilen çekme çubuklarına yapılan çekme testinde, tıpkı kokil kalıp ile üretilende olduğu gibi, çekme mukavemeti değerlerinin zamana bağlı olarak artış eğilimi gösterdiği belirlenmiştir. Bu artış eğilimi tane inceltici master alaşımı ilavesi ile son bulmuştur. Kum kalıp ile üretilen tane inceltici ilaveli çekme çubuklarının çekme mukavemeti değerleri zamanla kayda değer bir değişim göstermemiştir.

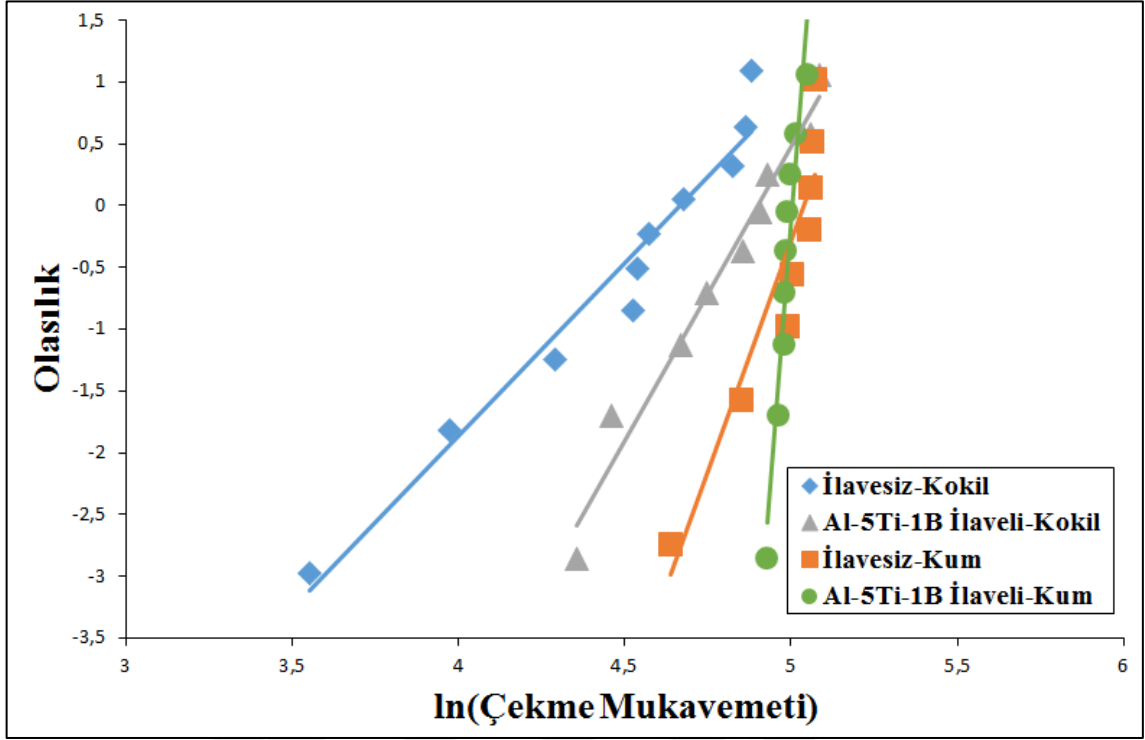


Şekil 4.19: Çekme testinde uzama değerlerinin zamana bağlı değişimi.

Öte yandan Şekil 4.19 incelendiğinde, kokil kalıp ile tane inceltici ilavesiz üretilen çekme çubuklarına yapılan çekme testinde uzama değerlerinin zamana bağlı olarak artış eğilimi gösterdiği, sıvı metal alt bölgesine karşılık gelen son 2 numunenin artış eğilimini azalışa sürüklediği görülmektedir. Bu durum tane inceltici master alaşımın ilavesi ile birlikte daha da şiddetlenerek, uzama değerlerinin tüm eğilim boyunca azalma göstermiştir.

Kum kalıp ile tane inceltici ilavesiz üretilen çekme çubuklarına yapılan çekme testinde, aynı kokil kalıp ile üretilenin aksine, uzama değerlerinin zamana bağlı olarak artış eğilimi gösterdiği belirlenmiştir. Bu artış eğilimi tane inceltici master alaşımı ilavesi ile son bulmuştur. Kum kalıp ile üretilen tane inceltici ilaveli çekme çubuklarının uzama değerleri zamanla bir miktar azalsa da sıvı metal orta bölgesi ve devamında tekrar artarak başlangıç seviyesine gelmiştir.

Campbell, Dışpınar ve Yüksel'in çalışmalarında olduğu gibi yapılan çalışmada da sıvı metal kalitesinin artması ile mekanik özelliklerde artış yaşanmıştır.

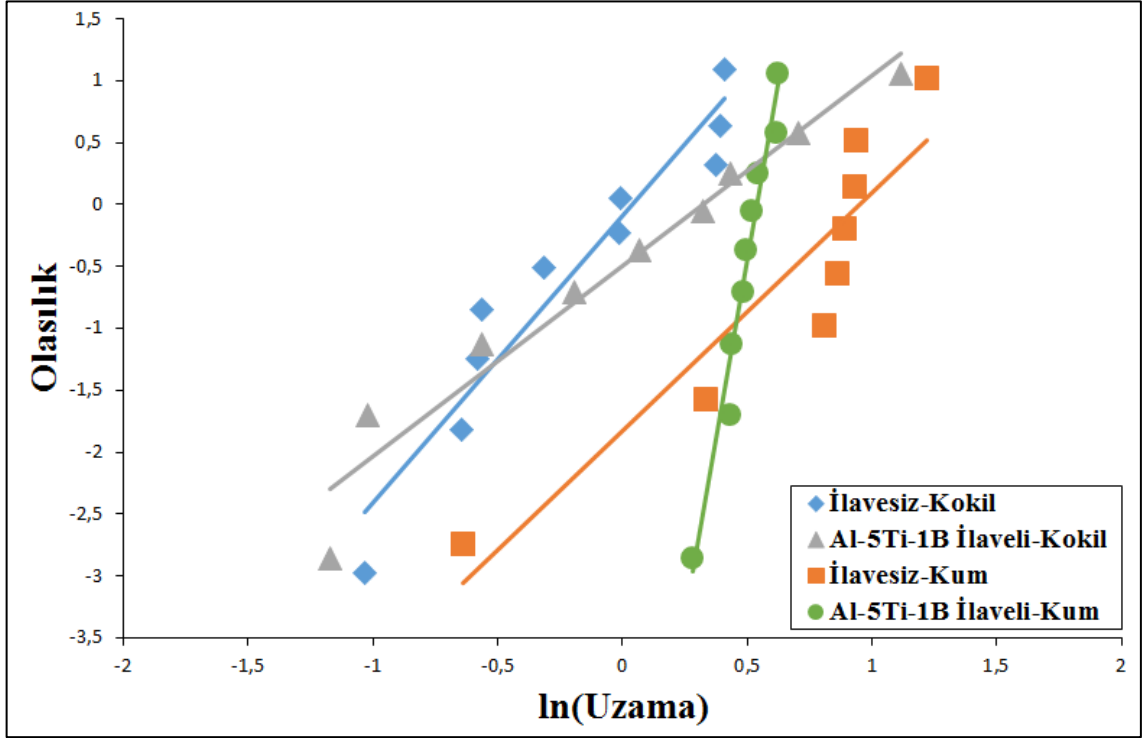


Şekil 4.20: Çekme mukavemet değerlerinin Weibull analizi ile değerlendirilmesi.

Kokil kalıp-kum kalıp ve tane inceltici ilaveli-ilavesiz parametreleri ile üretilen çekme çubuklarının çekme mukavemeti ve uzama değerleri Weibull analizi ile istatistiksel olarak değerlendirilmiştir.

Dört farklı numune grubunun zamana ya da sıvı metal seviyesine bağlı çekme mukavemeti değerleri Şekil 4.20'deki gibi Weibull analizi ile değerlendirildiğinde kum kalıp ile yapılan dökümler dikkat çekmektedir. Tane inceltici master alaşımı ilavesiz ve ilaveli numunelerin çekme mukavemeti değerleri birbirine oldukça yakındır. Ancak tane inceltici ilavesi ile kum kalıpta son derece istikrarlı sonuçlar alındığı weibull doğrusunun eğiminden anlaşılmaktadır.

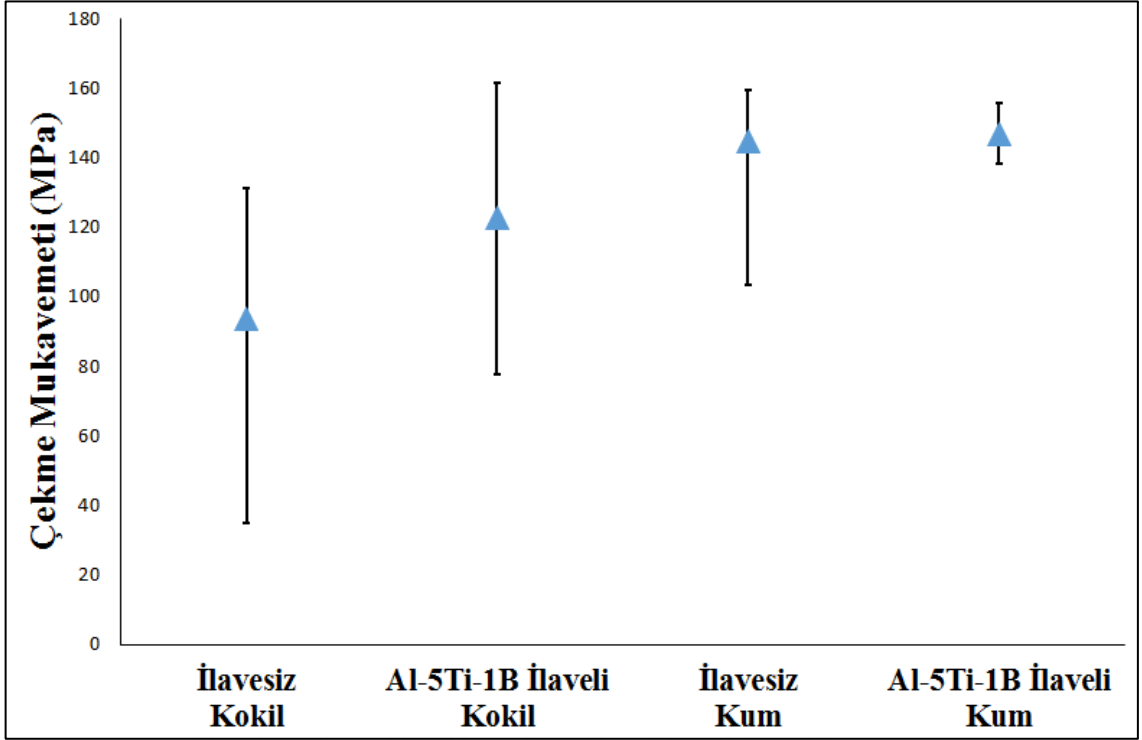
Kokil kalıba yapılan dökümlerin çekme mukavemeti verileri kum kalıba yapılanlara göre çok daha düşük olduğu görülmektedir. En düşük çekme mukavemeti sonuçlarını ortaya koyan kokil kalıba tane incelticisi ilavesiz dökülen numuneler aynı zamanda en istikrarsız sonuçları da vermiştir. Tane incelticisi ilavesi ile çekme mukavemeti değerlerinde artış sağlanırken, serinin weibull doğrusunun eğimi de 2,81'den 4,76'ya artış göstermiştir.



Şekil 4.21: Uzama değerlerinin Weibull analizi ile değerlendirilmesi.

Dört farklı numune grubunun zamana ya da sıvı metal seviyesine bağlı uzama değerleri Şekil 4.21'deki gibi Weibull analizi ile değerlendirildiğinde kum kalıp ile yapılan dökümler yine dikkat çekmektedir. Tane inceltici master alaşımı ilavesiz numunelerin uzama verileri her ne kadar ilaveliye göre nispeten daha yüksek değerler verse de; tane inceltici ilavesinin istikrarlı sonuçlar alınmasını sağladığı görülmektedir.

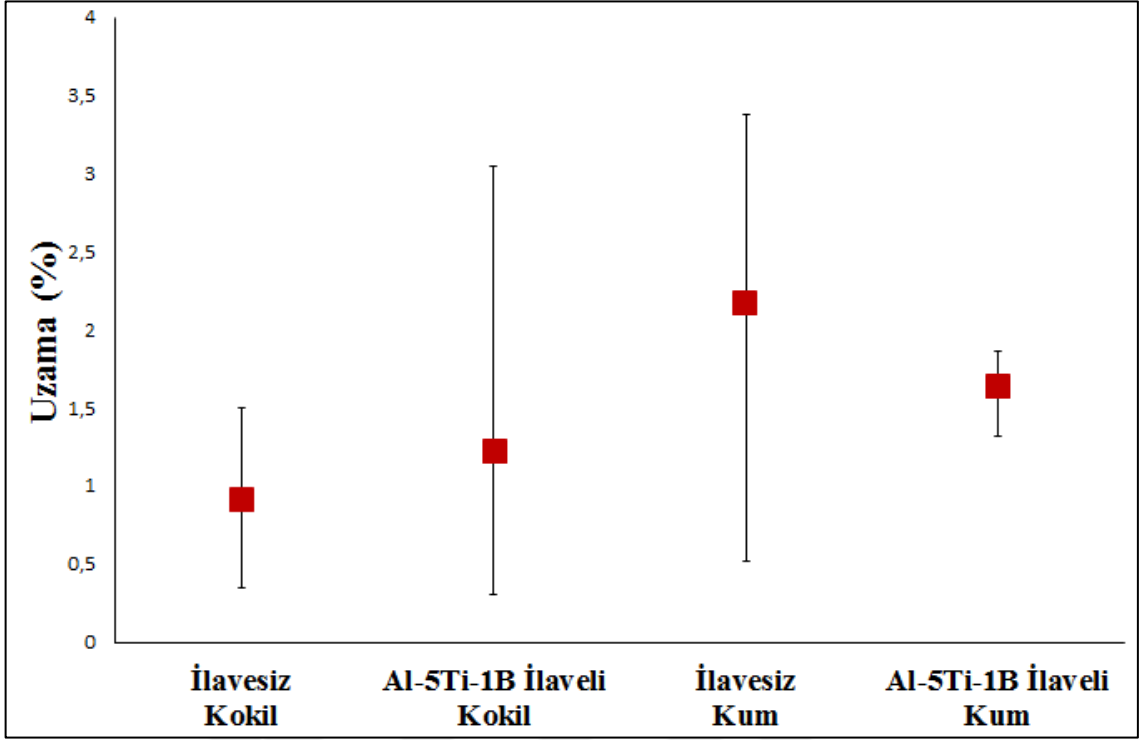
Kokil kalıba yapılan dökümlerin uzama verileri incelendiğinde değerlerin birbirine oldukça yakın olduğu belirlenmiştir. Weibull doğrusunun eğrileri incelendiğinde kokil kalıp ile yapılan dökümde tane incelticisi ilavesinin uzama değerlerini arttırdığı ancak istikrarı kötü yönde etkilediği görülmektedir.



Şekil 4.22: Kalıp türü ve tane incelticiye bağlı olarak çekme mukavemetindeki değişim.

Li ve arkadaşları [25] primer A356 alaşımını kokil kalıba dökerek yaptıkları çalışmada, 270 Mpa değerindeki çekme mukavemetini %0,2 oranında Al-5Ti-1B master alaşımı ilavesi ile 280 Mpa değerine çıkartmışlardır. Samuel ve arkadaşları [26] ise primer A356 alaşımını kokil kalıba dökerek yaptıkları çalışmada, 360 Mpa değerindeki çekme mukavemetini %0,1 oranında Al-5Ti-1B master alaşımı ilavesi ile 372 Mpa değerine çıkartmışlardır.

Yapılan bu çalışmada, tane inceltici master alaşımı ilavesinin çekme mukavemetine etkisi Şekil 4.22'deki gibi incelendiğinde, kokil kalıp ile üretilen çekme numunelerinde tane inceltici master alaşımının çekme mukavemetini arttırdığı görülmektedir. Kokil kalıpta ve ilavesiz dökümde ortalama çekme mukavemeti 94 MPa iken; tane inceltici master alaşımının ilavesi ile bu değer 123 MPa'a çıkarak %30'luk bir artış kaydetmiştir. Kum kalıpta ise çekme mukavemeti 145 MPa'dan 147 MPa çıkarak sadece %1 artmıştır. Kokil ve kum kalıp karşılaştırıldığında ise kum kalıbın çekme mukavemetinde daha yüksek değerler ortaya koyduğu görülmüştür.



Şekil 4.23: Kalıp türü ve tane incelticiye bağlı olarak uzamadaki değişim.

Li ve arkadaşları [25] primer A356 alaşımını kokil kalıba dökerek yaptıkları çalışmada, tane inceltici ilavesiz koşulda % 4 uzama elde edilmişken; %0,2 oranında Al-5Ti-1B master alaşımı ilavesi ile % 7 uzama değeri elde edilmiştir. Samuel ve arkadaşları [26] ise primer A356 alaşımını kokil kalıba dökerek yaptıkları çalışmada, % 7,5 uzama değerini %0,1 oranında Al-5Ti-1B master alaşımı ilavesi ile % 8 uzama değerine çıkartabilmişlerdir.

Yapılan bu çalışmada tane inceltici master alaşımı ilavesinin uzama etkisi Şekil 4.23'deki gibi incelendiğinde, kokil kalıp ile üretilen çekme numunelerinde tane inceltici master alaşımının uzamasını arttırdığı görülmektedir. Kokil kalıpta ve ilavesiz dökümde ortalama uzama %0,92 iken; tane inceltici master alaşımının ilavesi ile bu değer %1,24'e çıkarak %35'lik bir artış kaydetmiştir. Kum kalıpta ise uzama %2,18'den tane inceltici ilavesi ile %1,64'e düşerek %25 azalmıştır. Buna rağmen, kokil ve kum kalıp karşılaştırıldığında kum kalıbın uzamada daha yüksek değerler ortaya koyduğu görülmüştür.

Campbell, Dışpınar ve Yüksel'in çalışmalarında olduğu gibi yapılan çalışmada da sıvı metal kalitesinin artması ile mekanik özelliklerde artış yaşanmıştır.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Yapılan Al-5Ti-1B master alaşımı ilavesi ile bifilm indeks (BI) ve bifilm sayısı (NB) değerlerinde artış yaşanmıştır. Master alaşımı çubuklarının sıvı metale ilavesi sırasında her ne kadar yüzeyde oluşan cüruf alınsa da tekrar hızla oluşan cüruf tabakası master çubukları ile birlikte sıvı metal içerisine gönderilmiştir. Yeni oksit anlamına gelen bu cürufun sıvı metal içerisine katılması BI ve NB değerlerinin artmasına sebep olmuştur. Bu artıştaki etkenlerden biri de master alaşımı çubuklarının yüzey/hacim oranlarının yüksek olmasıdır.

Master alaşımı ilavesi olsun ya da olmasın, BI ve NB değerlerinde genel olarak bir azalış, sıvı metal alt bölgesinde ise bir artış tespit edilmiştir. Bu durum temelde 2 sebeple açıklanabilir:

- Alüminyum oksidin yoğunluğu sıvı alüminyumun yoğunluğuna ($2,365 \text{ g/cm}^3$) oldukça yakın olmakla birlikte geometrik karmaşasına bağlı olarak daha düşük yoğunlukta olabilmektedir. Zamanın ilerlemesiyle katlanan çift oksit tabakası (bifilm) içerisinde hapsolan hava ile alüminyum rekasiyon vermeye devam eder, oksit tabakası kalınlaşır. Hava oranı hacimsel olarak azalmaya başlar ve havanın yüzdürme etkisi azalır. Ek olarak amorf yapıdan kristalin yapıya dönüşüm de bifilm yapısının yoğunluğunu etkiler. Bu sebeplerden dolayı değişime uğrayan bifilm yoğunluğu, zamana bağlı olarak bifilmelerin pota dibine, yani sıvı metal alt bölgesine doğru çökmesine neden olur.
- Yoğunluğu sıvı alüminyumunkinden daha yüksek olan TiAl_3 ve TiB_2 bileşikler zamana bağlı olarak sıvı metal alt bölgesine doğru hareket eder. Bu sırada temas ettiği bifilmeleri de sürükler ve onları da sıvı metal alt bölgesine (potanın dibine doğru) taşır.

Yapılan çalışmada master alaşımı ilavesiz döküm ve master alaşımı ilaveli dökümün her ikisinde de zaman bağlı olarak BI ve NB değerlerinde genel olarak bir azalma görülmektedir. Ancak iki deneyin BI ve NB değerlerinin azalış eğilimleri arasındaki fark beklenenin aksine oldukça azdır. Yukarıda bahsi geçen sürüklenme etkisinin gözlenebilmesi için iki deneyden birinde Al-5Ti-1B master alaşımı ilave edilmiştir. Ancak alaşımın bünyesinde var olan kalıntı Ti ve oluşturduğu bileşikler sürüklenme etkisini oluşturmuştur. Böylelikle eğilimdeki farkın

gözlenebilmesi güçleşmiştir. Sıvı metal alt bölgesine karşılık gelen son 4 RPT numunesinin BI ve NB değerlerinde yaşanan artış, bifilmilerin potanın dibine sürüklendiğinin bir göstergesidir.

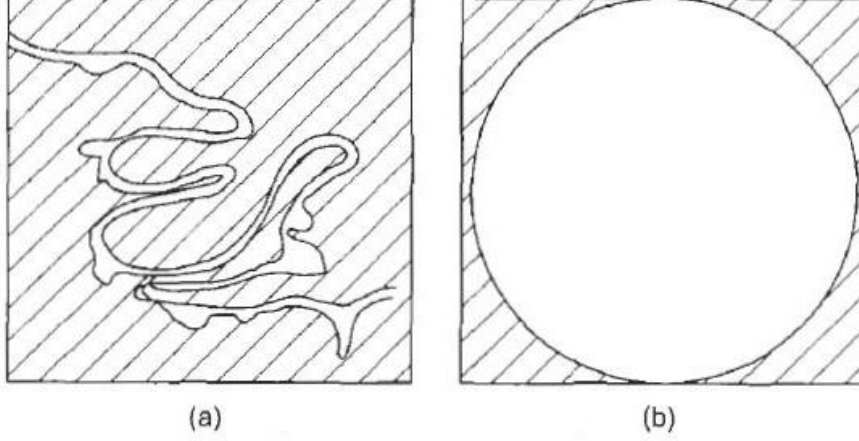
Yapılan çalışmada soğuma hızının, tane inceltici master alaşımının ve bifilm indeksin mekanik özelliklere etkisi incelenmiştir. Kokil kalıp kullanımıyla gerçekleşen hızlı soğuma sonucu yapı heterojen bir mikroyapı kazanır. Açılarak küresel form kazanma fırsatı bulamayan bifilmier katılaşmanın sonunda kompakt ve karmaşık bir geometriyle kalır; bu nedenle yük altında kopmayı başlatan çentik etkisi oluşturur (Şekil 5.1). Ayrıca bifilmier katılaşma sırasında yapı içerisindeki konumlanmaları çeşitlilik gösterir. Bu ayrıntı yük altındaki numunenin % uzama değerlerini etkiler. Uygulanan yüke dik konumlanan bifilmier % uzama değerlerinin düşüşünü tetikler.



Şekil 5.1: Temsili kompakt ve karmaşık geometriye sahip bifilm.

Kum kalıpta soğuma hızının daha yavaş olması nedeniyle yapı daha homojen bir hal alır. Açılarak küresel ya da küresele yakın form kazanan bifilmier çentik etkisi yaratmaktan çok uzaktır. Küresel şekil alan bifilmierin iç bölgeleri oksitçe fakirdir ve ya hiç oksit tabakası yoktur. Bu bölge yük altında elastikiyet gösterir. Yapılan çekme testinde bu durum açıkça görülebilmektedir. Master alaşımı ilavesiz ya da ilaveli, her iki deneyde de kum kalıba dökülerek üretilen çekme numunelerinde, hem çekme mukavemeti hem de % uzama değerlerinde daha yüksek sonuçlar kaydedilmiştir. Kum kalıba yapılan dökümlerin daha kaba

mikroyapıya rağmen daha yüksek mekanik özellikler göstermesi Şekil 5.2 ile açıklanan bifilm geometrisidir. Mekanik özellikleri bifilm geometrisi doğrudan etkilemektedir.



Şekil 5.2: Bifilm formları: karmaşık geometrili bifilm (a), küresel bifilm (b) [36].

Yapılan çalışma boyunca mikroyapı analizinde elde edilen DAL, SDAS ve SDAL değerleri ile mekanik özellikler arasında bir ilişki yakalanmaya çalışılsa da yapılan tane incelticisi ilavesine rağmen bu ilişki gözlemlenememiştir. Tüm mikroyapı verileri oldukça kaotiktir. Söz konusu şartlar altında mikroyapı ile mekanik özellikler arasında istikrarlı bir ilişki belirlenememiştir. Buna rağmen Al-5Ti-1B master alaşımı ilavesi mekanik özellikleri olumlu etkilemiştir. Ti intermetaliklerinin bifilmli dökümleri çöktürmesi ile ortaya çıktığı düşünülen bu etki hem kokil hem de kum kalıba yapılan dökümlerde gözlemlenebilmiştir.

Aynı sebepler elde edilen sonuçların istikrarına da yansımıştır. Kokil kalıp ile üretilen çekme numunelerinin hem çekme mukavemeti hem de % uzama değerlerinin dağılımı oldukça yüksektir. Kum kalıp ile üretilen çekme numunelerinin mekanik sonuçlarının dağılımı ise oldukça dardır; sonuçlar istikrar göstermektedir.

KAYNAKLAR

- [1]. Onat, N., 2011, *Alüminyum, Üretimi ve Kullanım Trendleri*, Alüminyum Döküm Teknolojisi, In: Dal, K., Sağat, Ö., Şen, A. (ed), Chapter 1, TÜDÖKSAD, İstanbul, Türkiye, ISBN:978-605-62246-0-7, 5 – 7.
- [2]. 2017, *Primary Aluminium Production*, <http://www.world-aluminium.org/statistics/#data>, [Ziyaret Tarihi: 10 Ekim 2017].
- [3]. Lumley, R., 2011, *Fundamentals of aluminium metallurgy*, Woodhead Publishing, UK, ISBN: 978-1-84569-654-2.
- [4]. 2017, *Publications*, <http://www.world-aluminium.org/publications>, [Ziyaret Tarihi: 11 Ekim 2017].
- [5]. Askeland, D., R. and Phule, P., P., *Nonferrous Alloys*, The Science and Engineering of Materials, In: Kerman, R. (ed), Chapter 13, Thomson Learning, USA, ISBN: 0-534-95373-5, 591-623.
- [6]. Polmear, I., J., 1995, *Light Alloys*, 3th ed, Arnold, London, ISBN: 0 340 63207 0.
- [7]. 2017, *Image Gallery*, <http://www.world-aluminium.org/images/>, [Ziyaret Tarihi: 15 Ekim 2017].
- [8]. 2017, *Statistics*, <https://www.statista.com/statistics/264624/global-production-of-aluminum-by-country/>, [Ziyaret Tarihi: 14 Ekim 2017].
- [9]. Suter, T., Müller, Y., Schmutz, P., Trzebiatowski, O. V., 2005, Microelectrochemical studies of pit initiation on high purity and ultra high purity aluminum, *Advanced Engineering Materials*, 7 (5), 339-348.
- [10]. Ito, Y., Edalati, K., Horita, Z., 2017, High-pressure torsion of aluminum with ultrahigh purity (99.9999%) and occurrence of inverse Hall-Petch relationship, *Materials Science & Engineering A*, 679, 428-434.
- [11]. Callister, W., D., J. ve Rethwisch, D., G., *Dislocations and Strengthening Mechanisms*, Material Science and Engineering an Introduction, Chapter 7, John Wiley & Sons, USA, ISBN: 978-0-470-41997-7, 197-233.
- [12]. 2017, *Publication* , <http://www.tms.org/pubs/journals/jom/9511/binzewski-9511.html>, [Ziyaret Tarihi: 12 Ekim 2017].
- [13]. 2017, *Hotels*, <http://www.londontown.com/NearByHotels/Hotels/32325/Directory/Hotels-near-Statue+of+Eros>, [Ziyaret Tarihi: 12 Ekim 2017].
- [14]. Wikipedia, 2017, *Wright Brothers*, https://en.wikipedia.org/wiki/Wright_brothers, [Ziyaret Tarihi: 12 Ekim 2017].

- [15]. *Binary Phase Diagrams*, Volume 3: Alloy Phase Diagrams, In: Baker, H. (ed), ASM International, USA, ISBN: 0-87170-381-5.
- [16]. Karaaslan, A., *Demirdışı Mühendislik Alaşımları*, Mühendislik Alaşımları İçin Faz Diyagramları, Bölüm 8, Literatür Yayıncılık, İstanbul, ISBN: 978-975-04-0545-7.
- [17]. Smith, W., F., *Alüminyum Alaşımları*, Mühendislik Alaşımlarının Yapı ve Özellikleri, Bölüm 9, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, ISBN: 975-591-297-5.
- [18]. Yang, Y., Zhang, Z., Li, X., Wang, Q., Zhang, Y., 2013, The effects of grain size on the hot deformation and processing map for aluminum alloy, *Materials & Design*, 51, 592-597.
- [19]. Ashtiani, R., R., H., Parsa, M. H., Bisadi, H., 2012, Effect of initial grain size on hot deformation behavior of commercial pure aluminum, *Materials & Design*, 42, 478-485.
- [20]. Skin, J., Kim, T., Kim, D., Kim, D., Kim, K., 2017, Castability and mechanical properties of new 7xxx aluminum alloys for automotive chassis/body applications, *Journal of Alloys and Compounds*, 698, 577-590.
- [21]. Mohanty, P., S. ve Gruzleski, J., E., 1995, Mechanism of grain refinement in aluminium, *Acta Metallurgica et Materialia*, 43 (5), 2001-2012.
- [22]. Mohanty, P., S. ve Gruzleski, J., E., 1997, Grain refinement mechanism of hypoeutectic Al-Si alloys, *Acta Metallurgica et Materialia*, 44 (9), 3749-3760.
- [23]. Wang, C., Wang, M., Yu, B., Chen, D., Qin, P., Feng, M., Dai, Q., 2007, The grain refinement behavior of TiB₂ particles prepared with in situ technology, *Materials Science & Engineering A*, 459, 238-243.
- [24]. Sofyan, T., B., Kharistal, D., J., Trijati, L., Purba, K., Susanto, E., R., 2010, Grain refinement of AA333 aluminium cast alloy by Al-Ti granulated flux, *Materials & Design*, 31, S36-S43.
- [25]. Li, P., Liu, S., Zhang, L., Liu, X., 2013, Grain refinement of A356 alloy by Al-Ti-B-C master alloy and its effect on mechanical properties, *Material & Design*, 47, 522-528.
- [26]. Samuel, E., Golbahar, B., Samuel, A., M., Doty, H., W., Valtierra, S., S., Samuel, F., H., 2014, Effect of grain refiner on the tensile and impact properties of Al-Si-Mg cast alloy, *Material & Design*, 56, 468-479.
- [27]. Ebrahimi, S., S., H., Aghazadeh, J., Dehghani, K., Emamy, M., Zangeneh, S., 2015, The effect of Al-5Ti-1B on the microstructure, hardness and tensile properties of a new Zn rich aluminium alloy, *Materials Science & Engineering A*, 636, 421-429.
- [28]. Yuksel, C., Tamer, O., Erzi, E., Aybar, U., Cubuklu, E., Topcuoglu, O., Cigdem, M., Dispinar, D., 2016, Quality evaluation of remelted A346 scraps, *Archives of Foundry Engineering*, 16 (3), 151-156.

- [29]. Dispinar, D. ve Campbell, J., 2011, Porosity hydrogen and bifilm content in Al alloy casting, *Materials Science & Engineering A*, 528, 3860-3865.
- [30]. Dispinar, D., Akhtar, S., Nordmark, A., Sabatino, M., D., Arnberg, L., 2010, Degassing, hydrogen and porosity phenomena in A356, *Materials Science & Engineering A*, 527, 3719-3725.
- [31]. Dispinar, D. ve Campbell, J., 2006, Use of bifilm index as an assessment of liquid metal quality, *International Journal of Cast Metals Research*, 19 (1), 1-17.
- [32]. Dispinar, D., Akhtar, S., Nordmark, A., Syvertsen, F., Sabatino, M., D., Arnberg, A., 2012, Correlation between mechanical properties and porosity distribution of A356 in gravity die casting and low pressure die casting, *Advanced Materials Research*, 445, 283-288.
- [33]. Eisaabadi, G., B., Tiryakioglu, M., Davami, P., Kim, S., K., Yoon, Y., O., Yeom, G., Y., Kim, N., S., 2014, The effect of remelting on the melt and casting quality in Al-7%Si-Mg casting, *Materials Science & Engineering A*, 605, 203-209.
- [34]. Limmaneevichitr, C. ve Eidhed, W., 2003, Fading mechanism of grain refinement of aluminum-silicon alloy with Al-Ti-B grain refiners, *Materials Science & Engineering A*, 349, 197-206.
- [35]. Henghua, Z., Xuan, T., Guangjie, S., Luoping, X., 2006, Refining mechanism of salts containing Ti and B elements in purity aluminum, *Journal of Materials Processing Technology*, 180, 60-65.
- [36]. Campbell, J., *Entrainment, Castings*, Butterworth-Heinemann, Oxford, ISBN: 0 7506 4790 6.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Özen Gürsoy
Doğum Yeri	Bandırma
Doğum Tarihi	20.04.1993
Uyruğu	☒ T.C. ☐ Diğer:
Telefon	05548168680
E-Posta Adresi	ozen.gursoy@gmail.com
Web Adresi	



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Fakülte	Mühendislik Fakültesi
Bölümü	Metalurji ve Malzeme Mühendisliği
Mezuniyet Yılı	18.08.2015

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Metalurji ve Malzeme Mühendisliği
Programı	Metalurji ve Malzeme Mühendisliği
Mezuniyet Tarihi	28.12.2017

Makale ve Bildiriler
Makaleler: [1]. Yıldırım K., Helvacı M., Gürsoy Ö., Erzi E., Kahruman C., Dışpınar D., “Fluidity characteristics of A201 and A206 Al-Cu alloy”, <i>Archives of Foundry Engineering</i>, vol. 1, pp. 1-10, 2018. Bildiriler: [1]. Alten A., Gürsoy Ö., Erzi E., Ağaoğlu G. H., Dışpınar D., Orhan G., “Karbon Fiber Takviyeli 6063 Al Kompozit Üretimi”, <i>8. Alüminyum Sempozyumu</i>, İstanbul, Türkiye, 5-6 Ekim 2017. [2]. Gürsoy Ö., Erzi E., Dışpınar D., “Change in Melt Quality of Grain Refined A356 by Duration”, <i>Euromat 2017</i>, Selanik, Yunanistan, 17-22 Eylül 2017. [3]. Muşdal E., Gürsoy Ö., Erzi E., Dışpınar D., “Evaluation of Fe-Intermetallic Formation in Al Alloys”, <i>Euromat 2017</i>, Selanik, Yunanistan, 17-22 Eylül 2017.

- [4]. Erzi E., Gürsoy Ö., Dışpınar D., “Uncertainty in Use of Density Index as Melt Quality Assessment in Aluminium Castings” *Euromat 2017*, Selanik, Yunanistan, 17-22 Eylül 2017.
- [5]. Erzi E., Yüksel Ç., Gürsoy Ö., Dışpınar D., “Fluidity Characterization of Aluminum Alloy for Engine Blocks”, *Euromat 2017*, Selanik, Yunanistan, 17-22 Eylül 2017.
- [6]. Ekici H., Gürsoy Ö., Erzi E., Dışpınar D., “Fe-Base Glassy Composite Production by Arc Melting”, *Euromat 2017*, Selanik, Yunanistan, 17-22 Eylül 2017.
- [7]. Görel G., Gürsoy Ö., Erzi E., Dışpınar D., “Feedability Characteristics of Sr-Modified A356 Alloy”, *Euromat 2017*, Selanik, Yunanistan, 17-22 Eylül 2017.
- [8]. Demirkese S., Gürsoy Ö., Erzi E., Dışpınar D., “Effect of Ti and Si on The Microstructural Changes of Eutectic Al-Si Alloy”, *Euromat 2017*, Selanik, Yunanistan, 17-22 Eylül 2017.
- [9]. Doğan E., Kara O., Gürsoy Ö., Erzi E., Kırtay S., Dışpınar D., “Heat Treatment Parameters for H12 Condition for Mg and Sr Added 1050 Alloy”, *Euromat 2017*, Selanik, Yunanistan, 17-22 Eylül 2017.
- [10]. Erzi E., Yüksel Ç., Gürsoy Ö., Kırtay S., Dışpınar D., “Mould Filling Ability and Mechanical Properties of SIMA Produced 7075” *Euromat 2017*, Selanik, Yunanistan, 17-22 Eylül 2017.
- [11]. Erzi E., Gürsoy Ö., Dışpınar D., Yüksel Ç., Küçük A. O., “Effect of V and Sr Addition In High Pressure Die Casting of A380 Alloy”, *8th International Foundry Congress*, İstanbul, Türkiye, 29 Eylül-1 Ekim 2016.
- [12]. Yorulmaz A., Gürsoy Ö., Erzi E., Dışpınar D., “Importance of Molten Metal Conditions on Defects in Direct Cooling Casting System”, *8th International Foundry Congress*, İstanbul, Türkiye, 29 Eylül-1 Ekim 2016.
- [13]. Şaşmaz A., Gürsoy Ö., Erzi E., Dışpınar D., “Evolution of Aluminium Melt Quality of A356 After Several Recycling”, *18th International Metallurgy and Materials Congress*, İstanbul, Türkiye, 29 Eylül-1 Ekim 2016.
- [14]. Atakav B., Gürsoy Ö., Yüksel Ç., Erzi E., Dışpınar D., “Excess Sr Addition and Its Effect on Porosity of A356”, *18th International Metallurgy and Materials Congress*, İstanbul, Türkiye, 29 Eylül-1 Ekim 2016.
- [15]. Özgür A., Yüksel Ç., Gürsoy Ö., Songül E. E., Erzi E., Dışpınar D., “İnsansız Hava Araçları Motor Bloğu Olarak Kullanılabilecek Alüminyum Alaşımın Tercih”, *6. Ulusal Havacılık ve Uzay Konferansı*, Kocaeli, Türkiye, 28-30 Eylül 2016.
- [16]. Küçük A. O., Gürsoy Ö., Erzi E., Dışpınar D., “Characterisation of Properties of V, B, Mo, Sr Addition on HPDC of A380 Alloy”, *High Tech Die Casting*, Venedik, İtalya, 22-23 Haziran 2016.
- [17]. Yüksel Ç., Gürsoy Ö., Erzi E., Dışpınar D., “2xx Serisi Alüminyum Alaşımlarında Ag İlavesinin Mukavemete Etkisi”, *5. Isıl İşlem Sempozyumu*, İstanbul, Türkiye, 2-3 Haziran 2016.
- [18]. Erzi E., Yüksel Ç., Gürsoy Ö., Dışpınar D., “Mould Filling Ability and Mechanical Properties of SIMA Produced 7075”, *6th International Advances in Applied Physics and Materials Science Congress & Exhibition*, İstanbul, Türkiye, 1-3 Haziran 2016.
- [19]. Doğan E., Kara O., Gürsoy Ö., Erzi E., Kırtay S., Dışpınar D., “Modelling of Heat Treatment Parameters for H12 Condition for Mg and Sr Added AA1050 Alloy”,

- 6th International Advances in Applied Physics and Materials Science Congress & Exhibition*, İstanbul, Türkiye, 1-3 Haziran 2016.
- [20]. Demirkesen S., Gürsoy Ö., Yüksel Ç., Erzi E., Dışpınar D., “Effect of Ti and Si on the Microstructural Changes of Eutectic Al-Si Alloy”, *6th International Advances in Applied Physics and Materials Science Congress & Exhibition*, İstanbul, Türkiye, 1-3 Haziran 2016.
- [21]. Gürsoy Ö., Yüksel Ç., Erzi E., Dışpınar D., “Titanium Grain Refinement Myth and Tensile Properties of A356”, *6th International Advances in Applied Physics and Materials Science Congress & Exhibition*, İstanbul, Türkiye, 1-3 Haziran 2016.
- [22]. Gürsoy Ö., Erzi E., Yüksel Ç., Dışpınar D., “Effect of Duration on Ti Grain Refinement of A356 and Melt Quality”, *TMS 2016: 145th Annual Meeting & Exhibition, Shape Casting: 6th International Symposium*, Nashville, ABD, 14-18 Şubat 2016.
- [23]. Gürsoy Ö., Erzi E., Dışpınar D., Yüksel Ç., “A356 Alüminyum Döküm Alaşımına Al 5Ti-1B Tane İnceltici İlavesinin Süreye Bağlı Etkisi”, *7. Alüminyum Sempozyumu*, İstanbul, Türkiye, 8-9 Ekim 2015.