

T. C.
CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**Al-Ti ALAŞIMLARINA B-C-N İLAVESİ İLE
KOMPOZİT TOZLARIN İN-SITU ÜRETİMİ VE Al
ALAŞIMLARINA TANE İNCELTİCİ OLARAK
UYGULANMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mesut ARIKOĞLU
(201592061021)

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Ali ÖZER

SİVAS

MAYIS 2017

Mesut ARIKOĞLU'nun hazırladığı ve “Al-Ti Alaşımlarına B-C-N İlavesi İle Kompozit Tozların İn-Situ Üretimi Ve Al Alaşımlarına Tane İnceltici Olarak Uygulanması” adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı: **Yrd. Doç. Dr. Ali ÖZER**
Cumhuriyet Üniversitesi

Jüri Üyeleri: **Doç.Dr. Levent Cenk Kumruoğlu**
Cumhuriyet Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Fatih APAYDIN
Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi

Bu tez, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak onaylanmıştır.

Prof. Dr. İdris ZORLUTUNA
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

Bu tez, Cumhuriyet Üniversitesi Senatosu'nun 20.08.2014 tarihli ve 7 sayılı kararı ile kabul edilen Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Tez Yazım Kılavuzu (Yönerge)'nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırlanmıştır.



*Bu tez, Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (CÜBAP) Komisyonu tarafından **M-625** Nolu proje kapsamında desteklenmiştir.*



Bütün hakları saklıdır.

Kaynak göstermek koşuluyla alıntı ve gönderme yapılabilir.

© Mesut ARIKOĞLU, 2017

ETİK

Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tez Yazım Kılavuzu (Yönerge)'nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- ✓ Bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- ✓ Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- ✓ Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere, bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu ve atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- ✓ Bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- ✓ Tezin herhangi bir bölümünü, Cumhuriyet Üniversitesi veya bir başka üniversitede, bir başka tez çalışması olarak sunmadığımı; beyan ederim.

26.05.2017

Mesut Arıkoğlu

TEŞEKKÜR

Lisans, yüksek lisans ve tez çalışmam sırasında yardım, bilgi ve tecrübeleri ile bana gerek akademik çalışmalarında gerek hayatımda sürekli destek olan, bilimin ve pozitif düşüncenin hayatımızda bir yol olması ve yaptığımız herşeyde ardımızda iyi izler bırakmamız için uğraşan, bilim adamı kimliği ile insani yönünü birleştirmeyi başaran değerli danışman hocam sayın Yrd. Doç. Dr. **Ali ÖZER**'e, tezimin deneysel kısımlarındaki işlemlerde benden yardımlarını esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. **Fatih APAYDIN**'a, laboratuvar olanaklarından faydanlanmamı sağlayan değerli hocalarım Araş. Gör. **Kerim Emre ÖKSÜZ** ve Araş. Gör. **Kürşad Oğuz OSKAY**'a, tezimin başlangıcından bitimine kadar bana inanan, benden yardımlarını esirgemeyen, her zaman yanımda olan arkadaşlarıma, tüm hayatım boyunca maddi ve manevi olarak yanımda bulunan, iyi bir insan olmam ve iyi bir eğitim almam için sürekli çabalayan, hayatım boyunca keşke dememek için hayallerimin peşinden gitmemi söyleyen sevgili babam **Hasan Ziya ARIKOĞLU**, annem **Emine ARIKOĞLU**, ablam **Hatice ARIKOĞLU**'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.



ÖZET

Al-Ti ALAŞIMLARINA B-C-N İLAVESİ İLE KOMPOZİT TOZLARIN İN-SİTU ÜRETİMİ VE AL ALAŞIMLARINA TANE İNCELTİCİ OLARAK UYGULANMASI

Mesut Arıkoğlu

Yüksek Lisans Tezi

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Ali ÖZER

2017, 77+ xv sayfa

Bu çalışmada toz metalürjisi yöntemi tercih edilerek uygun molar oranlarda Al-Ti-B, Al-Ti-C, Al-Ti-N ve Al-Ti-B-C-N tozlarının gezegensel değirmende yaş ve kuru ortamlarda öğütülerek sentezlenmesi, toz boyut dağılımı, faz oluşumu ve tane morfolojisi incelemesi ile tane inceltmede kullanılan aşılama yöntemlerinin üretilebilirliği ve bu tozların alüminyum alaşımlarının dökümünde tane inceltici özelliklerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bunun için tozlar gerek metalik gerek bileşik formda gezegensel değirmende beslenerek 180 dakika süre 600 devir/dk değirmenleme hızında öğütülmüştür. Her bir öğütmeden sonra alınan tozlar kurutularak XRD ve SEM incelemesi için analize gönderildi. XRD’de faz analizleri, SEM’de ise yüzey ve elementel analizleri yapılmıştır. Alüminyum dökümlerine 800 C°’de ağırlıkça %0,3, %0,5 ve %0,7 ‘de katılarak seriyi bozmayacak ince taneli alaşımlar üretilmiştir. Daha sonra metalografik işlemlere tabi tutulan numunelerin yüzey fotoğrafları incelenmiştir. Mekanik özellik olarak da sertlikleri alınarak incelenmiş ve sanayide kullanılabilirliği tartışılmıştır.

Anahtar kelimeler: Toz Metalürjisi, Tane İncelticiler, AlTiB tane incelticiler, AlTiC tane incelticiler, AlTiN tane incelticiler, in-situ, Al dökümü tane incelticiler, XRD, SEM,

ABSTRACT

İN-SİTU SYNTHESIS OF Al-Ti ALLOYS COMPOSITE POWDERS WITH B-C-N ADDITION AND APPLICATION OF GRAIN REFINEMENT FOR Al ALLOYS

Mesut Arıkoğlu

**Master of Science Thesis, Department of Metallurgical and
Materials Engineering**

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Ali ÖZER

2017, 78+ xv pages

In this experimental study, Al-Ti-B, Al-Ti-C, Al-Ti-N and Al-Ti-B-C-N powders were ground in planetary ball mill to produce $Al_xTi_yB_z$, $Al_xTi_yC_z$, $Al_xTi_yN_z$ and where x, y and z stands for the relative molar ratios of elements for the compilation of grain refiner compound. Powder size distribution, phase formation (XRD) and particle morphology was investigated by means of SEM and XRD. The fabrication of AlTiB, AlTiC, AlTiN phases and the grain refinement of Al alloys by adding this phase were aimed. For this purpose, the powders were fed to planetary ball mill to be milled at a speed of 600 rpm. The powders were also milled at different milling times as 180 min either in metallic form or compound form of Al, Ti, B, C and N powders. The powders were dried after each milling to be characterized by SEM and XRD. The phases and morphology-elemental analysis were also conducted by XRD and SEM, respectively. Moreover, the powders were added to Al alloy castings avoiding the breaking through alloy series which are mainly used in aluminum industry. The Al alloy series were examined for grain refinement by Brinell hardness and SEM for mechanical properties and grain formation as well as by SEM (EDS) for grain formation, morphology and elemental distribution analysis.

Keywords: Powder metallurgy, Grain refinement, AlTiB grain refinement, AlTiC grain refinement, AlTiN grain refinement, in-situ, Al casting grain refinement, XRD, SEM,

İÇİNDEKİLER

Sayfa

TEŞEKKÜR	vi
ÖZET.....	vii
ABSTRACT	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiv
SİMGELER DİZİNİ.....	xv
1. GİRİŞ	1
1.1 Amaç ve Kapsam.....	1
1.2 Alüminyum.....	2
1.3 Alüminyum Ve Alaşımlarının Genel Özellikleri	3
1.3.1 Saf Alüminyum.....	3
1.3.2 Alüminyum Alaşımları	3
1.4 Alaşım Elementlerinin Alüminyuma Etkileri.....	5
1.4.1 İşlem Alüminyum Alaşımları	6
1.4.2 Döküm Alüminyum Alaşımları	7
1.4.3 Genel Olarak Alaşım Elementlerinin Etkileri.....	9
1.5 Alüminyum 'un Dünya Ekonomisi ve Ülkemizdeki Yeri.....	11
1.5.3 Dünyadaki Alüminyum Tüketimi.....	13
1.5.4 Türkiye Alüminyum Akademik Çalışmalar	14
1.5.5 Tane İncelticilerin Alüminyum Sektöründeki Yeri ve Etkisi	15
1.6 Çalışma Motivasyonu.....	15
2.LİTERATÜR TARAMASI	17
2.1 Alüminyumda Tane İnceltme	17
2.2 Kimyasal Tane İnceltme.....	19
2.3 Titanyum ve Bor İlavesiyle Tane İnceltme	20
2.4 Titanyum İlavesiyle Tane İnceltme	21
2.5 Karbonla Tane İnceltme	22
2.6 Azot ile Tane İnceltme	22
2.7.Tane İnceltme Teorileri	22
2.7.1 Borür Teorisi	23
2.7.2 Peritektik Teori.....	23
2.7.3 Hiper Çekirdeklenme teorisi	24
2.8 Dökümlerde Besleme Mekanizmaları	25
2.8.1 Sıvı Besleme.....	25
2.8.2 Kütle Besleme	26

2.8.3 İnterdendritik Besleme	26
2.8.4 Tane İnceltmenin Besleme Üzerine Etkisi	26
3. DENEYSEL YÖNTEM	27
3.1 Numunelerin Hazırlanması.....	28
3.2 Öğütme İşlemi	29
3.3 Gezegenel Değirmen.....	30
3.4 Karakterizasyon Teknikleri	30
3.5 Sertlik Ölçümü	31
3.6 Tane Sayma Metodu.....	31
3.7 X Işınları Kırınımı Analizi	32
3.8 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile Görüntüleme	33
4. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	34
4.1 Borlu Aşılایıcıların Etkisi.....	34
4.1.1 XRD Sonuçları.....	34
4.1.2 SEM Sonuçları.....	35
4.1.3 Mikro Yapı Analizleri ve Sonuçları	37
4.1.4 Sertlik Sonuçları	42
4.2 Karbonlu Aşılایıcıların Etkisi.....	43
4.2.1 XRD Sonuçları.....	43
4.2.2 SEM Sonuçları.....	47
4.2.3 Mikro Yapı Analizleri ve Sonuçları	50
4.2.4 Sertlik Sonuçları	55
4.3 N'lu Aşılایıcıların Etkisi.....	56
4.3.1 XRD Sonuçları.....	56
4.3.2 SEM Sonuçları.....	59
4.3.3 Mikro Yapı Analizleri ve Sonuçları	61
4.3.4 Sertlik Sonuçları	66
4.4 Çalışmanın Diğer Aşamaları:	67
4.4.1 Al-Ti-B-C-N Aşılایıcıların Etkisi:	67
4.4.2 XRD Sonuçları.....	67
4.4.3 SEM Sonuçları.....	68
4.4.4 Mikroyapı Analizi ve Sonuçları	69
4.4.5 Sertlik Sonuçları	72
5. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER	73
KAYNAKLAR	75
ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1	Dünyada Alüminyum Tüketiminde Türkiye .	12
Şekil 1.2	Türkiye’de Alüminyum Sektörü.	12
Şekil 1.3	Türkiye de Alüminyum Tüketimi.	13
Şekil 1.4	Dünyadaki Alüminyum Tüketimi.	13
Şekil 2.1	Al-Ti Faz Diyagramı	17
Şekil 2.2	Alüminyumun $TiAl_3$ partiküllerinin büyümesi şematik gösterimi, b) Aşılama yapılmış ve yapılmamış sıvı alüminyumun soğuma eğrileri gösterimi.	18
Şekil 2.3	Al-Ti sistemlerinde peritektik reaksiyonla α -Al’un çekirdeklenmesi.	21
Şekil 2.4	A356 alüminyum alaşımında üç farklı master alaşımı ile tane inceltme sonuçları.	23
Şekil 2.5	Peritektik teorisinin modeli; a) $TiAl_3$ ’ün kısmı çözünmesi ve $TiAl_3$ difüzyonu; b) TiB_2 ’nin partiküller halinde birikmesi; c) $TiAl_3$ üzerinde TiB_2 ’nin koruyucu tabaka oluşturmaya; d) Al ve Ti’nin koruyucu tabaka boyunca eş zamanlı büyümesi; e) Çeki Çekirdek ve α -Al ‘un büyümesi .	24
Şekil 2.6	Hiper Çekirdeklenme teorisinin modeli; a) Eriyikte yoğun Ti miktarı($Ti/B>2.21$); b) TiB_2 -Sıvı metal yüzeyinde ayrılan serbest Ti; c) TiB_2 üzerinde $TiAl_3$ tabakasının oluşumu; d) Peritektik reaksiyonla α -Al çekirdeklenmesi.	25
Şekil 3.1	Bilyalı Dönerli Değirmen.	29
Şekil 3.2	Retsch PM 100 Gezegenel Değirmen.	30
Şekil 3.3	Lineer Intercept için kullanılan örnek tablo.	31
Şekil 3.4	Rigaku D-max XRD cihazı.	32
Şekil 3.5	Mira3XMU FE-SEM (Tescan®, Çekya) marka taramalı elektron mikroskobu.	33
Şekil 4.1	$A1(Al1Ti1B0.5)$, $A2(Al1B1)$, $A3(Al1Ti1B1)$ tozunun; Gezegenel değirmende öğütülmüş tozun kalsine sonrası XRD sonuçları.	34
Şekil 4.2	$A1(Al1Ti1B0.5)$ mol oranına sahip değirmenlenmiş tozun SEM a) İkincil Elektron; b) Geri Saçınımli Elektron görüntüleme fotoğrafı; c) EDS analizi.	35
Şekil 4.3	$A2(Al1B1)$ mol oranına sahip değirmenlenmiş tozun SEM a) İkincil Elektron; b) Geri Saçınımli Elektron görüntüleme fotoğrafı.	35
Şekil 4.4	$A3(Al1Ti1B1)$ mol oranına sahip değirmenlenmiş tozun SEM a) İkincil Elektron; b) Geri Saçınımli Elektron görüntüleme fotoğrafı; c) EDS analizi.	36
Şekil 4.5	Saf Döküm Fotoğrafı.	37
Şekil 4.6	7075 Al alaşımına $A1(Al-Ti-B0,5)$ tozunun ağırlıkça %0,3 ilaveli döküm mikroyapısı.	38
Şekil 4.7	7075 Al alaşımına $A2(Al-B)$ tozunun ağırlıkça%0,3 ilaveli döküm mikroyapısı.	38
Şekil 4.8	7075 Al alaşımına $A3(Al-Ti-B)$ tozunun ağırlıkça %0,3 ilaveli döküm mikroyapısı.	38
Şekil 4.9	7075 Al alaşımına $A1(Al-Ti-B)$ tozunun ağırlıkça %0,5 ilaveli döküm mikroyapısı.	39
Şekil 4.10	7075 Al alaşımına $A2 (Al-B)$ tozunun ağırlıkça %0,5 ilaveli döküm mikroyapısı.	39
Şekil 4.11	7075 Al alaşımına $A3(Al-Ti-B)$ tozunun ağırlıkça %0,5 ilaveli döküm mikroyapısı.	39
Şekil 4.12	7075 Al alaşımına $A1(Al-Ti-B0,5)$ tozunun ağırlıkça %0,7 ilaveli döküm mikroyapısı.	40

Şekil 4.13	7075 Al alaşımına A2(Al-B) tozunun ağırlıkça %0,7 ilaveli döküm mikroyapısı.	40
Şekil 4.14	7075 Al alaşımına A3(Al-Ti-B) tozunun ağırlıkça %0,7 ilaveli döküm mikroyapısı.	40
Şekil 4.15	B'lu aşılایıcıların ağırlıkça farklı yüzdelerde tatbiki ile oluşan sertlik değerleri.	42
Şekil 4.16	A4(AlTiC0,5) tozunun; (a) Bilyalı değirmen Sonrası; (b) Gezegensel değirmenleme yapılmış tozun Kalsine öncesi; (c) Gezegensel değirmende öğütölmüş tozun kalsine sonrası XRD sonuçları.	43
Şekil 4.17	A5(AlC) tozunun; (a) Gezegensel değirmenleme yapılmış tozun Kalsine öncesi; (b) Gezegensel değirmende öğütölmüş tozun kalsine sonrası XRD sonuçları.	44
Şekil 4.18	Rombohedral ve hekzagonal kristal yapısı.	45
Şekil 4.19	A6(AlTiC) tozunun ;(a) Bilyalı değirmen Sonrası; (b) Gezegensel değirmenleme yapılmış tozun Kalsine öncesi; (c) Gezegensel değirmende öğütölmüş tozun kalsine sonrası XRD sonuçları.	46
Şekil 4.20	A4(Al1Ti1C0.5) mol oranına sahip değirmenlenmiş tozun SEM a) İkincil Elektron; b) Geri Saçınımlı Elektron görüntöleme fotoğrafı; c) EDS analizi.	47
Şekil 4.21	A5(AlC0.5) mol oranına sahip değirmenlenmiş tozun SEM a) İkincil Elektron; b) Geri Saçınımlı Elektron görüntöleme fotoğrafı.	47
Şekil 4.22	A6(Al1Ti1C1) mol oranına sahip değirmenlenmiş tozun SEM a) İkincil Elektron; b) Geri Saçınımlı Elektron görüntöleme fotoğrafı.	48
Şekil 4.23	Saf Döküm Fotoğrafı.	50
Şekil 4.24	7075 Al alaşımına A4(AlTiC0,5) tozunun ağırlıkça %0,3 ilaveli döküm mikroyapısı.	51
Şekil 4.25	7075 Al alaşımına A5(AlC) tozunun ağırlıkça %0,3 ilaveli döküm mikroyapısı.	51
Şekil 4.26	7075 Al alaşımına A6(AlTiC) tozunun ağırlıkça %0,3 ilaveli döküm mikroyapısı.	51
Şekil 4.27	7075 Al alaşımına A4(AlTiC0,5) tozunun ağırlıkça %0,5 ilaveli döküm mikroyapısı.	52
Şekil 4.28	7075 Al alaşımına A5(AlC) tozunun ağırlıkça %0,5 ilaveli döküm mikroyapısı.	52
Şekil 4.29	7075 Al alaşımına A6(AlTiC) tozunun ağırlıkça %0,5 ilaveli döküm mikroyapısı.	52
Şekil 4.30	7075 Al alaşımına A4(AlTiC0,5) tozunun ağırlıkça %0,7 ilaveli döküm mikroyapısı.	53
Şekil 4.31	7075 Al alaşımına A5(AlC) tozunun ağırlıkça %0,7 ilaveli döküm mikroyapısı.	53
Şekil 4.32	7075 Al alaşımına A6(AlTiC) tozunun ağırlıkça %0,7 ilaveli döküm mikroyapısı.	53
Şekil 4.33	C'lu aşılایıcıların ağırlıkça farklı yüzdelerde tatbiki ile oluşan sertlik değerleri.	55
Şekil 4.34	A7(Al-Ti-N0,5) tozunun; (a)Bilyalı değirmen Sonrası; (b)Gezegensel değirmenleme yapılmış tozun Kalsinasyon öncesi; (c)Gezegensel değirmende öğütölmüş tozun kalsine sonrası XRD sonuçları.	56
Şekil 4.35	A8(Al-N) tozunun; (a)Bilyalı değirmen Sonrası; (b)Gezegensel değirmenleme yapılmış tozun Kalsinasyon öncesi; (c)Gezegensel değirmende öğütölmüş tozun kalsine sonrası XRD sonuçları.	57

Şekil 4.36	A9(Al-Ti-N) tozunun; (a)Bilyalı değirmen Sonrası; (b)Gezegensel değirmenleme yapılmış tozun Kalsinasyon öncesi; (c)Gezegensel değirmende öğütülmüş tozun kalsine sonrası XRD sonuçları.....	58
Şekil 4.37	A7(Al ₁ Ti ₁ N _{0.5}) mol oranına sahip değirmenlenmiş tozun SEM a) İkincil Elektron; b) Geri Saçınımlı Elektron görüntüleme fotoğrafı; c) EDS analizi.	59
Şekil 4.38	A8 (AlN _{0.5}) mol oranına sahip değirmenlenmiş tozun SEM a) İkincil Elektron; b) Geri Saçınımlı Elektron görüntüleme fotoğrafı.....	59
Şekil 4.39	A9(AlTiN) mol oranına sahip değirmenlenmiş tozun SEM a) İkincil Elektron; b) Geri Saçınımlı Elektron görüntüleme fotoğrafı.....	60
Şekil 4.40	Saf Döküm Fotoğrafı.	61
Şekil 4.41	7075 Al alaşımına A7(AlTiN _{0.5}) tozunun ağırlıkça %0,3 ilaveli döküm mikroyapısı.	62
Şekil 4.42	7075 Al alaşımına A8(AlN) tozunun ağırlıkça %0,3 ilaveli döküm mikroyapısı.	62
Şekil 4.43	7075 Al alaşımına A9(AlTiN) tozunun ağırlıkça %0,3 ilaveli döküm mikroyapısı.	62
Şekil 4.44	7075 Al alaşımına A7(AlTiN _{0.5}) tozunun ağırlıkça %0,5 ilaveli döküm mikroyapısı.	63
Şekil 4.45	7075 Al alaşımına A8(AlN) tozunun ağırlıkça %0,5 ilaveli döküm mikroyapısı.	63
Şekil 4.46	7075 Al alaşımına A9(AlTiN) tozunun ağırlıkça %0,5 ilaveli döküm mikroyapısı.	63
Şekil 4.47	7075 Al alaşımına A7(AlTiN _{0.5}) tozunun ağırlıkça %0,7 ilaveli döküm mikroyapısı.	64
Şekil 4.48	7075 Al alaşımına A8(AlN) tozunun ağırlıkça %0,7 ilaveli döküm mikroyapısı.	64
Şekil 4.49	7075 Al alaşımına A9(AlTiN) tozunun %0,7 ilaveli döküm mikroyapısı.	64
Şekil 4.50	N’lu aşılایıcıların ağırlıkça farklı yüzdelerde tatbiki ile oluşan sertlik değerleri.	66
Şekil 4.51	A10(AlTiBCN) tozunun gezegensel değirmende öğütülmüş tozun kalsine sonrası XRD sonuçları.	67
Şekil 4.52	A10(AlTiBCN) tozu SEM Fotoğrafı.	68
Şekil 4.53	Saf Döküm Fotoğrafı.	69
Şekil 4.54	7075 Al alaşımına A10(AlTiBCN) tozunun ağırlıkça %0,3 ilaveli döküm mikroyapısı.	70
Şekil 4.55	7075 Al alaşımına A10(AlTiBCN) tozunun ağırlıkça %0,5 ilaveli döküm mikroyapısı.	70
Şekil 4.56	7075 Al alaşımına A10(AlTiBCN) tozunun ağırlıkça %0,7 ilaveli döküm mikroyapısı.	70
Şekil 4.57	B-C-N’lu aşılایıcıların ağırlıkça farklı yüzdelerde tatbiki ile oluşan sertlik değerleri.	72

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 1.1 Alüminyumun bazı fiziksel ve mekanik özellikleri	3
Çizelge 1.2 Alüminyum Birliği'nin dövme alüminyum alaşımlarını sınıflandırma sistemi.....	4
Çizelge 1.3 İşlem alüminyum alaşımları.	6
Çizelge 1.4 Döküm alüminyum alaşımları.	7
Çizelge 1.5 Dünyada alüminyum kullanımı	11
Çizelge 1.6 Alüminyum sempozyumları kurumsal dağılım listesi.	14
Çizelge 2.1 Tane İnceltici türleri.	19
Çizelge 3.1 Tozların molar oran tablosu.	28



SİMGELER DİZİNİ

Al	Alüminyum
C	Karbon
E	Elastik modül
gr	Gram
GPa	Giga pascal
m	Metre
mg	Miligram
mm	Milimetre
m²	Metre kare – Alan birimi
µm	Mikrometre
MPa	Mega pascal
nm	Nano metre
N	Azot
P	Yük, N
Pa	Pascal
s	Saniye
Ti	Titanyum

1. GİRİŞ

1.1 Amaç ve Kapsam

Metalürji sektöründe alüminyum metali yapı taşı olma görevini ve önemini artarak devam ettirmektedir. Alüminyum, ismini Yunanca alum mineraline verilen isim olan "Alumen" den almıştır. İlk olarak 1825'de Hans Christian Örsted tarafından saf olmayan bir halde elde edilmiştir. Wöhler tarafından 1827'de saf olarak izole edilmiştir [1]. Alüminyumun üretimi ise, 1886 yılında ABD'de Charles Martin Hall ve Fransa'da Paul T. Heroult'un yaptıkları elektroliz yöntemi ile başlamıştır. 1886 yılında Werner von Siemens'in dinamoyu keşfi ve 1892 yılında K.J.Bayer'in, boksitten alümina sağlayan Bayer prosesini bulması ile alüminyumun endüstriyel çapta üretimi çok kolaylaşmıştır [2]. Bu metal, demir çelikten sonra en çok kullanılan metal olmuştur [3]. Artan üretim, taşıma sektörünün gelişmesi, savunma sanayinde gerçekleşen ilerlemeler ve farklı malzemelere duyulan ihtiyaç, enerji kaynaklarının etkin kullanımı gibi nedenlerden ötürü döküm sektöründe alüminyumun önemini artırmıştır. Otomotiv ve havacılık sektörü enerji kaynaklarının etkin kullanımı konusunda doğrudan hafif metal kullanımı, araçlar üzerindeki temel bileşenlerin ağırlıklarının azaltılması ve aynı zamanda yüksek mukavemetli malzemelerin kullanımı ile yani alüminyum alaşımlarının kullanımı ile mümkündür [3]. Alüminyumun mukavemet, minimum porozite, yüksek yüzey kalitesi gibi özellikleri kullanımına etki yapmış ve alüminyumun sektördeki önemi artmıştır. Gümüş renkli, oldukça dirençli bu metal, dünya ekonomisinde vazgeçilmez bir yere sahiptir. İnsanoğlunun binlerce yıl boyunca kullandığı bakır, kalay ve kurşunun bugünkü toplam üretimlerinden çok daha fazla bir miktarda alüminyum üretilmektedir [4]. Döküm ile üretilen alüminyum mamuller sanayinin her alanında kullanılmaktadır. Alüminyuma günümüzde milyonlarca endüstriyel ve gündelik üründe rastlamak mümkündür. Modern standartlardaki bir evdeki 400 kg'dan fazla döküm malzemenin %12 ila %15'inin alüminyumdan oluştuğu bilinmektedir [4]. Gelişmiş ülkelerde, 1980'lerde doruğa ulaşan, bugünlerde kendini yeniden hissettiren çevreci taleplerin baskısı, alüminyumu alternatif malzemelere göre avantajlı hale getirmektedir. Dekoratifliği, hafifliği, mukavemeti, tasarruf sağlanabilirliği, yeni alaşımlarla ihtiyaçlara cevap vermesi alüminyuma büyük bir pazar payı sağlamaktadır. Yeni üretim teknolojileri kullanılarak elde edilen ürünler alüminyumun gelecekte daha geniş uygulama sahaları bulacağını göstermektedir.

Döküm alaşımlarında iri tanelerin oluşmasını engellemek için yüksek döküm sıcaklığından sakınılmaktadır. Çünkü iri taneli bir döküm yapısı sebebiyle tane sınırı sayısı azaldığı için bölgesel enerji bölgeleri azalmaktadır buda işlenebilirlik özelliklerini, iri taneli yapısından kaynaklı sızdırmazlık ve yüzey kalitesi, mukavemet gibi spesifik parametreleri negatif yönde etkilemektedir. Bu yüzden ergime sıcaklıklarının 0,2 katı sıcaklıklarda döküm işlemi gerçekleştirilir. Dökümlerdeki büyük tanelerin boyutunu değiştirmek, mikro-yapıyı değiştirmek için uygulanan aşılama işlemine tane inceltme denilmektedir. Aşılama daha küçük ve eş eksenel tane elde etmek için yapılan bir işlemdir. İnce taneli yapılar döküm sıcaklığını azalttığı gibi, döküm parçasına da besleme kolaylığı sağlar. Bu çalışmanın amacı; peritektik Al-Ti oluşumuna, katılaşma merkezi oluşturması için içine ilave edilen bor, karbon ve azot toz alaşımları ile birlikte dökümün mekanik özelliklerinde yüksek oranda artma beklemektedir. Al-Ti-B, C, N alaşımları, sıvı alüminyuma ilave edilerek tane inceltme işlemi gerçekleştirilecektir. Bu sayede alüminyum malzemelerin dökümünde kullanılan tane incelticilere çeşitlilik kazandırılarak farklı elementlerle mekanik alaşımlama ile oluşturulan tozların alüminyum dökümlerde kullanılabilirliği, üretilebilirliği incelenerek ülke ekonomisine katkı sağlanması amaçlanmıştır.

1.2 Alüminyum

Alüminyum, yeryüzünde oksijen ve silisyumdan sonra en çok bulunan üçüncü elementtir. Yerkabuğunda bol miktarda (%7,5- 8,1) bulunmasına rağmen saf halde çok nadir bulunmaktadır ve bu nedenle eski çağlarda altından bile daha değerli görülmüştür [1]. Alüminyum, yumuşak ve hafif bir metal olup mat gümüşümsü renktedir. Bu renk, açık atmosferde üzerinde oluşan ince oksit tabakasından ileri gelmektedir. Alüminyum, ısıya ve yanmaya dirençlidir kıvılcım çıkarmaz, zehirleyici ve manyetik değildir [2]. Alüminyumun yoğunluğu 2,70 g/cm³'dür ve çeliğin ve bakırın yaklaşık üçte biri kadardır. Kolaylıkla dövülebilir, şekil verilebilir, makinede işlenebilir ve dökülebilir. Çok üstün korozyon direncine sahip olması, üzerinde oluşan oksit tabakasının koruyucu özellikte olmasından kaynaklanmaktadır [4]. Alüminyum aynı zamanda bir süper iletkendir. Alüminyumdan üretilmiş yapısal bileşenler uzay ve havacılık sanayii için vazgeçilmezdir. Alüminyum ferro manyetik değildir, bu özellik elektrik ve elektronik endüstrisinde önemli bir rol oynar. Hafiflik ve yüksek dayanım özellikleri gerektiren taşımacılık ve inşaat sanayiinde geniş kullanım alanı

bulunmaktadır [9]. Hijyen, geri dönüşüm kolaylığı ve toksik özelliği açısından gıda sektöründe de yaygın olarak kullanılmaktadır.

1.3 Alüminyum Ve Alaşımlarının Genel Özellikleri

1.3.1 Saf Alüminyum

Alüminyum hafif metaller grubuna giren ve teknik alanda çok kullanılan bir metaldir. Hafif metal terimi, özgül ağırlığı $3,8 \text{ g/cm}^3$ 'den küçük olan metaller için kullanılmaktadır ve bu sınıfın içinde, alüminyum, magnezyum, potasyum, lityum ve berilyum bulunmaktadır. Bunlar arasında özellikle alüminyum ve magnezyum en yaygın kullanılan metallerdir. Alüminyum, düşük özgül ağırlığının ($2,7 \text{ g/cm}^3$) yanı sıra, yüksek elektrik ve ısı iletkenlik, atmosferik korozyona direnç, kolay üretilbilirlik ve diğer metallerle çekme dayanımı yüksek alaşım oluşturabilme gibi özelliklere sahiptir [7]. Çizelge 1.1'de alüminyumun bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri gösterilmiştir.

Çizelge 1.1 Alüminyumun bazı fiziksel ve mekanik özellikleri [8-9].

Çekme Dayanımı, MPa	40-80*
Akma Dayanımı, MPa	10-30*
Sertlik, HB 2.5	12-20
Elastiklik Modülü, GPa	71
Kayma Modülü, GPa	27
Kopma Uzaması, %	30-38*
Ergime Noktası, °C	660
Dövülme Sıcaklığı, °C	300-500
Yeniden Kristalleşme Sıcaklığı, °C	250-300
Yoğunluk, g/cm ³	2.7
Kristal Yapısı	YMK

*Alüminyum Saflık Derecesine Göre Değişmektedir.

1.3.2 Alüminyum Alaşımları

Alüminyum alaşımları döküm ve dövme olmak üzere iki grupta sınıflandırılmaktadır. Dövme alüminyum alaşımları, Çizelge 1.2'de görüldüğü gibi, Alüminyum Birliği'nin

(Aluminum Association) sınıflandırmasına göre dört rakamlı bir simgeyle tanımlanmaktadır. Burada ilk rakam bileşimdeki ana elementi, ikinci rakam ise orijinal alaşımdaki oranından daha farklı bir oranda bulunan element sayısını belirtmektedir. Dolayısıyla, ikinci rakamın 0 olması, serinin orijinal alaşımını göstermektedir. Son iki rakamın ise 1XXX serisinin dışındaki alaşımlarda özel bir önemi olmayıp, alaşımı o dizinin diğer alaşımlardan ayırmak için kullanılmaktadır. 1XXX serisi ise, saf alüminyumı temsil ettiğinden, son iki rakam, alüminyumun saflık derecesinin bir ölçüsü olarak, %99'dan sonraki rakamları göstermektedir [7].

Çizelge 1.2 Alüminyum Birliği'nin dövme alüminyum alaşımlarını sınıflandırma sistemi [7].

Simge	Alaşım Elementi
1XXX	%99.00 veya daha fazla alüminyum
2XXX	Cu
3XXX	Mn
4XXX	Si ve Cu ve/veya Mg
5XXX	Mg
6XXX	Mg ve Si
7XXX	Zn
8XXX	Sn
9XXX	Yaygın olarak kullanılmayan seriler (Li...)

Alüminyum döküm alaşımları daha yaygın olarak 3 rakamlı bir simge ile tanımlanır. Bu sınıflandırma sisteminde de ilk harf dövme alaşımlardakine benzer şekilde, malzeme içindeki ana alaşım elementini göstermektedir. Örneğin, 356.1 gibi. Bu noktada bu yaklaşımın sadece döküm alaşımlar için geçerlidir. Dövülmüş (wrought) alaşımlar için farklı bir sınıflandırma sistemi kullanılmaktadır. Ayrıca, bu alaşımların her biri de kendi içinde bazı ufak varyasyonlar gösterebilmektedir. Bu varyasyonları belirtmek için, alaşımın kodunun başına A, B gibi harfler eklenmektedir. Örneğin çok yaygın bir alüminyum alaşımı olan 356 alaşımını ele alırsak, bu alaşımın A356, B356

ya da F356 gibi varyasyonları vardır. Bu alaşımlar arasında, minör alaşım elementleri açısından bazı ufak farklar bulunuyor. Bir örnek vermek gerekirse, 356 alaşımında maksimum %0,6 oranında demire müsaade edilirken, A356 alaşımında bu sınır %0,2'ye, B356 alaşımında ise %0,05'e geriliyor. Bu alaşımlarda, 3 basamaklı sayının sonuna zaman zaman bir de ondalık bir basamak eklendiğini görüyoruz; 356.1 alaşımı gibi. Bu ondalık basamaktaki değerler:

- XXX.0: Döküm parça
- XXX.1: Dökümde kullanılacak ingot
- XXX.2: Dökümde kullanılacak ve daha dar kompozisyon aralığına sahip ingot.

Genel olarak XXX.1 ile gösterilen alaşımların hurdadan elde edilmiş alüminyum ingotları gösterdiğini, XXX.2 ile gösterilen alaşımların ise birincil alüminyumdan elde edilen ingotları gösterdiğini söyleyebiliriz. Alüminyum alaşımlarından, 2XXX, 6XXX ve 7XXX grubu alaşımlara çökeltme sertleşmesi adı verilen bir ısıtma işlemi uygulanabilir ve bu yolla alaşımın sertlik ve dayanımı önemli ölçüde artırılabilir. Alüminyum alaşımlarındaki alaşım elementlerinin en önemli işlevlerinden biri, saf alüminyumun süneklik ve korozyon direncini olumsuz yönde etkilemeden saf alüminyumun düşük akma sınırını 5 kat kadar yükseltmektir. Bu özelliği kazandıran elementler manganez, magnezyum, silisyum, bakır ve çinko olup, düşük miktarlarda bile kaymaya karşı direnci artırarak akma dayanımını yükseltirler; şekil değiştirme kabiliyeti ise etkilenmez. Bu elementlerin oranlarının daha yüksek olması halinde, sert, kırılgan intermetalik bileşikler oluşur. Böylelikle dayanım daha da yükselir ancak şekil değiştirme kabiliyeti kaybolur. Bu nedenlerle dövme alaşımları, az alaşım ihtiva ederler.

1.4 Alaşım Elementlerinin Alüminyuma Etkileri

Alüminyum alaşımları üretim metotları esas alınarak işlem ve döküm olmak üzere iki ana alt gruba ayrılabilir. Plastik deformasyonla şekillendirilen işlem alaşımlar, döküm alaşımlardan oldukça farklı mikro yapı ve kompozisyona sahiptir. Her ana grup içindeki alaşımlar, ısıtma işlemi yapılabilir ve yapılamaz alaşımlar olmak üzere, iki alt gruba ayrılabilir. Isıtma işlemi yapılabilir alaşımlarda, yaşlandırma ile dayanım artışı sağlanabilirken, ısıtma işlemi yapılamayan alaşımlar ise katı eriyik, pekleşme, dağılım mukavemetlenmesi ile mukavemetlendirilir.

1.4.1 İşlem Alüminyum Alaşımları

İşlem alüminyum ve alaşımları için dünyada en yaygın kullanılan simgeleme dizgesi, Amerikan Standartlar Birliği tarafından belirlenen dizgedir. Dört rakamlı sayısal simgenin ilk rakamı, hangi temel alaşım elementini içeren alüminyum alaşımı olduğunu belirtmektedir.

Çizelge 1.3 İşlem Alüminyum Alaşımları.

Simge	Temel Alaşım Elementi	Yapısı
1xxx	Arı Alüminyum	Tek fazlı
2xxx	Bakır	İki fazlı
3xxx	Mangan	Tek fazlı
4xxx	Silisyum	İki fazlı
5xxx	Magnezyum	Tek fazlı
6xxx	Magnezyum – Silisyum	İki fazlı
7xxx	Çinko	İki fazlı
8xxx	Diğer elementler	
9xxx	Kullanılmayan dizi	

1.4.2 Döküm Alüminyum Alaşımları

Alüminyum dökümler ile döküm alaşımları için kullanılan simgeleme dizgesi de işlem alüminyum ve alaşımlarına benzer. Bunlarda da dört rakamlı bir sayı simge vardır fakat dördüncü rakam bir nokta ile ayrılmıştır.

Çizelge 1.4 Döküm Alüminyum Alaşımları.

Simge	Temel Alaşım Elementleri
1XX.X	Alüminyum – en az % 99
2XX.X	Bakır
3XX.X	Silisyum – Bakır ve/veya Magnezyum
4XX.X	Silisyum
5XX.X	Magnezyum
6XX.X	Kullanılmayan dizi
7XX.X	Çinko
8XX.X	Kalay
9XX.X	Diğer elementler

1.4.2.1 Isıl işlem Uygulanamayan İşlem Alüminyum Alaşımları

A.1xxx Serisi Alaşımlar:

Bu alaşımlar minimum %99 alüminyum, empürite olarak da silisyum ve demir içerirler. Bu alaşımlar yüksek oranda haddelenerek levha veya folyo haline getirilerek kullanılırlar. 1100 alaşımının tavllanmış durumda çekme mukavemeti 90 MPa dır.

✓ 1xxx Ticari saflıkta Al (>%99Al) –Yaşlandırılmaz

B.3xxx Serisi Alaşımlar:

Bu serinin en önemli alaşımı 3003 tür. Bu alaşım 1100 alaşımına %1,25 mangan ilavesi ile oluşturulur. 3003 alaşımının tavllanmış durumda çekme dayanımı 110 MPa'dır. Bu serinin alaşımları iyi işlenebilirliğin gerektiği yerlerde kullanılabilen genel amaçlı alaşımlardır.

✓ 3xxx Al-Mn alaşımları –Yaşlandırılmaz

C.5xxx Serisi Alaşımlar:

Bu serinin ana alaşım elementi olan magnezyum katı eriyik mukavemetlenmesi sağlar ve miktarı %5 e kadar çıkabilir. Bu serinin endüstride kullanılan en önemli alaşımı

5052'dir. Bu alaşım %2,5 Mg, %0,2 Cr içerir ve tavlannış durumdaki çekme dayanımı 193 MPa'dır.

✓ 5xxx Al-Mg alaşımları –Yaşlandırılmaz

1.4.2.2 Isıl işlem Uygulanabilen İşlem Alüminyum Alaşımları:

A.2xxx Serisi Alaşımlar:

Bu seri alaşımlarının birçoğuna bakırın yanında magnezyum ve dūřuk miktarlarda diğeri elementler eklenir. 2xxx serisi alaşımları birim ağırlık dayanımının yüksek olması gereken uçak sanayi gibi alanlarda kullanılır. Bu alaşımlar katı eriyik mukavetlenmesi ve çökelti sertleşmesiyle dayanım kazanırlar. Endüstriyel uygulama alanı bulabilmiş en önemli alaşım 2024 alaşımıdır. 2024-T6 alaşımı %4,5 bakır, %1,5 magnezyum ve %0,6 mangan bulundurur ve çekme dayanımı 442 MPa'dır.

✓ 2xxx Al-Cu alaşımları –Yaşlandırılabilir

B.6xxx Serisi Alaşımları:

Mg₂Si intermetalik bileşikleri, çökelti sertleştirilmesi ile dayanım artışı sağlar. En yaygın kullanılan alaşım 6061 alaşımıdır ve bu alaşım %1,0 magnezyum, %0,6 silisyum, %0,3 bakır içerir. 6061-T6 alaşımının çekme mukavemeti 290 MPa'dır. Bu seri, otomotiv sektöründe genel amaçlı yapı elemanı olarak kullanılır.

✓ 6xxx Al-Mg-Si alaşımları –Yaşlandırılabilir

C.7xxx Serisi Alaşımlar:

Temel ökelti MgZn₂ intermetalik bileşiğinden oluşur. Çinkonun ve magnezyumun alüminyum içerisinde yüksek özünebilirliğı yüksek yoğunluklu ökeltielerin oluşmasını, bu da dayanımın oldukça yükselmesini sağlar. Bu serinin en önemli alaşımı 7075 tir ve bu alaşım %5,6 çinko, %2,5 magnezyum, &1,6 bakır ve %0,25 krom ihtiva eder. 7075-T6 alaşımının çekme dayanımı 504 MPa'dır. Bu seri yüksek dayanımın gerekli olduğı yerlerde kullanılır.

✓ 7xxx Al-Mg-Zn alaşımları –Yaşlandırılabilir

1.4.2.3 Isıl işlem Uygulanamayan Döküm Alüminyum Alaşımları:

✓ 1xx.x Ticari saflıkta Al –Yaşlandırılmaz

✓ 4xx.x Al-Si alaşımları –Yaşlandırılmaz

✓ 5xx.x Al-Mg alaşımları –Yaşlandırılmaz

1.4.2.4 Isıl işlem Uygulanabilen Döküm Alüminyum Alaşımları:

- ✓ 2xx.x Al-Cu alaşımları –Yaşlandırılabilir
- ✓ 3xx.x Al-Si-Cu veya Al-Mg-Si alaşımları –Biraz yaşlandırılabilir
- ✓ 7xx.x Al-Mg-Zn alaşımları –Yaşlandırılabilir
- ✓ 8xx.x Al-Sn alaşımları –Yaşlandırılabilir

1.4.3 Genel Olarak Alaşım Elementlerinin Etkileri

1.4.3.1 Bakır (Cu)

Bakır alüminyuma %12 oranına kadar katıldığında dayancı artırır, daha fazlası gevreklik yaratır. Genellikle yüksek sıcaklık özellikleriyle işlenebilirliği artırır. %4 – 6 arasında katıldığında yaşlandırılabilir alaşımlar oluşturur. Dökümü zorlaştırır ve gerilim yenimini azaltır.

1.4.3.2 Çinko (Zn)

Yüksek çinkolu alaşımlar sıcak çatlama ve soğuma çekmesi gösterirler, Çinko diğer alaşım elementleriyle birlikte dayanımı çok artırır, buna karşı dökülebilirliği düşürür. %3 çinkodan daha az çinko içeren ikili alüminyum alaşımlarında belirgin bir etkisi görülmez.

1.4.3.3 Demir (Fe)

Az oranlarda bazı alaşımların sertlik ve dayancını artırır, dökümlerin sıcak çatlama eğilimlerini azaltır. Demir alüminyum alaşımlarında mümkün olduğunca kullanılmamasının nedeni meydana getirdiği gevrekliktir.

1.4.3.4 Magnezyum (Mg)

Katı çözelti sertleşmesi meydana getirir. %6'dan fazla Mg içeren alaşımlarda çökeltme sertleşmesi olur, dökümleri zordur. Mg_2Si alaşımını oluşturup Al – Si alaşımlarının dayancını artırır. Yüksek yenim direncine sahiptir.

1.4.3.5 Mangan (Mn)

Dökülebilirliği arttırmak için demir ile birlikte kullanılır. Metaller arası bileşiklerin özelliğini değiştirir, çekmeyi azaltır, alaşımların süneklik ve tokluk özelliklerini artırır.

1.4.3.6 Silisyum (Si)

Akışkanlığı ve yenim direncini artırır, sıcak çatlama eğilimini azaltır. %13'den fazla silisyum içeren alaşımların işlenmesi çok zordur.

1.4.3.7 Krom (Cr)

CrAl_7 şeklinde metaller arası bileşik oluşturur. Tane küçültücü etkisi vardır, yenim direncini artırır.

1.4.3.8 Fosfor (P)

Ötektik altı Al – Si alaşımlarında ötektik silisyum parçacıklarını irileştirir, ötektik üstü alaşımlarda ise küçültür.

1.4.3.9 Titanyum (Ti)

Bor ile birlikte tane küçültücü etkisi vardır, dayanımı artırır.

1.4.3.10 Nikel (Ni)

Yüksek sıcaklıklarda sürünme dayancını artırır.



1.5 Alüminyum 'un Dünya Ekonomisi ve Ülkemizdeki Yeri

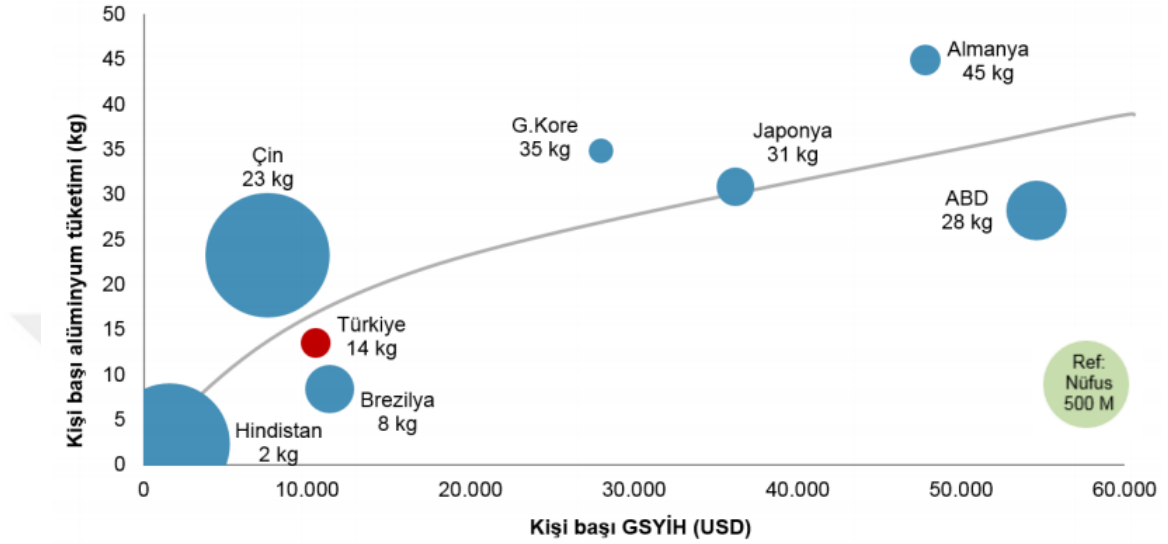
Dünyada toplam alüminyum tüketimi, 2015 yılında bir önceki yıla göre %5,1 artış çizelge 1.5’de göstermiştir. Türkiye alüminyum sektörü, yaklaşık 4 milyar dolarlık iş hacmiyle en önemli sektörlerinden biridir. Son yıllarda özellikle hadde ve ekstrüzyon odaklı yatırımlar sayesinde küresel pazarlarda rekabet edilebilir ölçekte kapasitelere ulaşılmış ve Türkiye alüminyum yarı mamül üretimi, 2015 yılında bir önceki yıla göre % 6 artış göstermiştir. Çizelgede değerler ton olarak ifade edilmiştir.

Çizelge 1.5 Dünyada Alüminyum kullanım sektör çeşitleri [13].

Sektör	2014	2015
Ulaşım	18.992	20.129
Yapı & İnşaat	15.463	16.445
Ambalaj	10.075	10.620
Elektrik Elektronik	9.667	9.997
Endüstriyel	6.037	6.330
Dayanıklı Tüketim	2.744	2.882
Savunma & Diğer	6.872	7.007
Dünya Toplamı	69.850	73.410

1.5.1 Dünyada Alüminyum Tüketiminde Türkiye

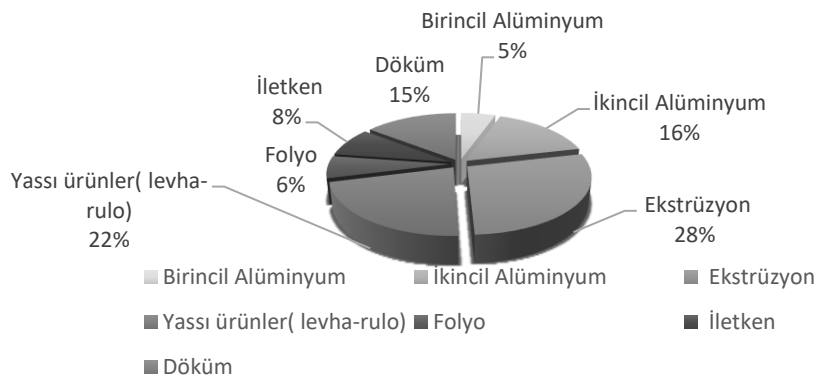
Almanya gibi gelişmiş ülkelerde kişi başına düşen alüminyum tüketimi yaklaşık senede 45 kg iken, Türkiye için bu rakam 13 kg seviyelerindedir. Bu karşılaştırmadan da Türkiye'nin önemli bir potansiyeli olduğu sonucunu çıkarabiliriz.



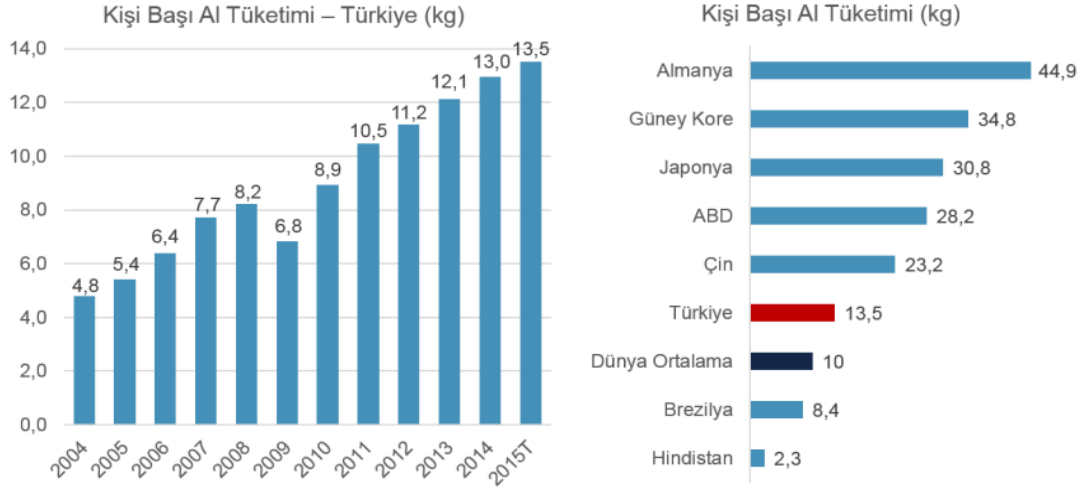
Şekil 1.1 Dünyada Alüminyum Tüketiminde Türkiye [13].

1.5.2 Türkiye de Alüminyum Sektörü ve Tüketimi

10 yıl içinde alüminyum sektörü ortalama %10 büyüme göstermiştir. Türkiye'nin en hızlı gelişen sektörlerinden biridir. Avrupa'da kişi başına tüketim 25-30 kg iken ülkemizde bu değerin 10-15 kg arasında olduğu düşünülürse ülkemizde bu sektörün büyüme potansiyelinin yüksek olduğu görülmektedir.



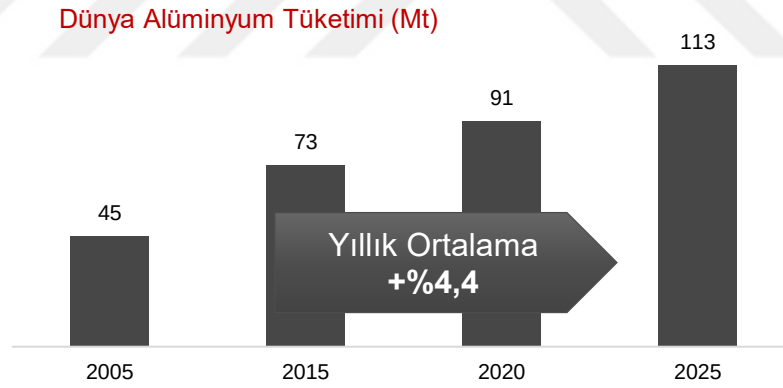
Şekil 1.2 Türkiye'de Alüminyum Sektörü [14].



Şekil 1.3 Türkiye de Alüminyum Tüketimi [13].

1.5.3 Dünyadaki Alüminyum Tüketimi

Dünyadaki alüminyum tüketiminin her geçen gün artacağı ve 2020 yılında 91 milyon ton 2025 yılında ise 113 milyon ton olacağı öngörülmektedir. Bu öngörü ön plana alındığında alüminyum sektörünün ileriki dönemlerde dahada öne çıkacağı görülmektedir.



Şekil 1.4 Dünyadaki Alüminyum Tüketimi [13].

1.5.4 Türkiye Alüminyum Akademik Çalışmalar

Çizelge 1.6 Alüminyum Sempozyumları Kurumsal Dağılım Listesi.

ALÜMİNYUM SEMPOZYUMLARI KURUMSAL DAĞILIM LİSTESİ				
	2009	2011	2013	2015
Sanayi	17	27	22	27
Sanayi-Üniversite	7	4	7	24
Sanayi-Araştırma Kurumu	3	1	5	-
Üniversite	21	9	17	26
Araştırma Kurumu	2	5	-	-

Web of Science da 1979 yılından 2017 yılına kadar Materials science, engineering, metallurgy, metallurgical engineering, chemistry, physics, crystallography alt alanlarında Türkiye’de alüminyum içeriği ile yazılan article sayısı 1160’dır.

1.5.5 Tane İncelticilerin Alüminyum Sektöründeki Yeri ve Etkisi

Ülkemizdeki alüminyum sektörünün dağılımına baktığımızda tane inceltici olarak kullanılan alüminyum aşılایıcıları direkt olarak %36'sına etki etmektedir. Aşılایıcıların çeşitlendirilmesi ile %50'sine etki edeceği düşünülmektedir. Ülkemizdeki alüminyum hammadde ihtiyacının neredeyse tamamında dışarıya bağımlılık söz konusuysen katma değeri yüksek son ürünler konusunda yetersiz kalmakta ve bununla birlikte sınırlı sayıda alüminyum alaşımı ile çalışılmaktadır. Bu duruma nitelikli son ürün imalatı, üretilen alaşım çeşitliliği artırılarak sektörün ekonomik yelpazesi genişletilebilir ve ülke ekonomimize daha çok katkı sağlayabilir. Bu adımların atılması için gerekli olan alüminyum üretimindeki kalitenin ve alaşım çeşitlerinin artırılması yolunda tane incelticilerin ya da aşılایıcıların çeşitliliği ve kullanımının artırılması sağlanmalıdır. Aşılایıcılar için yurt dışına çıkan paranın ülke içinde kalması alüminyum sektörü için pozitif etki sağlayacağı düşünülmektedir.

1.6 Çalışma Motivasyonu

Alüminyumun yüksek mukavemet özellikleri göstermesinde mekanik alaşımlama yöntemleri ile üretilmiş tane incelticiler yani aşılایıcılar, alüminyuma ergitme sırasında eklenerek eriyik içerisinde katı heterojen çekirdeklenme merkezleri oluşturarak yapının daha ince taneli olmasında etkilidirler. Titanyum (Ti) ve bor (B) elementlerinin ağırlıkça %0,01 gibi çok az bir oranda ilave edilmesi sonucunda alüminyum alaşımlarında hızlı bir şekilde ve önemli derecede tane inceltme etkisi gösterdiği uzun yıllardır bilinmektedir [2,3]. Ti ve B oranının ağırlıkça farklı çeşitleri mevcut olmasına rağmen, yapılan araştırmalarda genel kanı en etkili oranın ağırlıkça 5/1 Ti/B kullanılmasıyla elde edildiği yönündedir [2]. Yapısal hataları azaltmak ve mikro özellikleri iyileştirmek amacıyla α -Al tanelerine Ti içeren (Al-Ti ve Al-Ti-B) ve Ti içermeyen (Al₃B) master alaşımlarıyla da tane inceltme işlemi uygulanmaktadır [4,5,6]. Tane inceltme işlemleri ile α -Al tanelerinin boyutu küçültülerek döküm kalitesi iyileştirilir ve ince eş eksenli tane yapısı elde edilir. Bu sayede yüksek akma dayanımı, yüksek tokluk, geliştirilmiş işlenebilirlik ve ürünlerin mükemmel derin çekilebilirlik gibi çeşitli özelliklere sahip olması sağlanır [6,7]. Bu çalışmanın amacı; peritektik Al-Ti oluşumuna, katılaşma merkezi oluşturması için içine ilave edilen bor, karbon ve azot alaşımı ile birlikte dökümün mekanik özelliklerinde yüksek oranda artma beklemektedir. Al-Ti-B, C, N alaşımları, sıvı alüminyuma ilave edilerek tane inceltme işlemi gerçekleştirilecektir. Al-Ti-B, C, N alüminyum alaşımlarında tanelerin koordinasyon sayısını yani komşu tane sayısını 6'ya yaklaştırarak tane boyutunun

büyümesini engellemeye yardımcı olacaktır. Bu sayede Al tanelerin anormal büyümesini durdurulacaktır. Tane sınırlarında ve içinde tutulan AlTiB, AlTiC, AlTiN intermetalikleri tane sınırı enerjisini etkileyerek büyümeyi engelleyecektir.

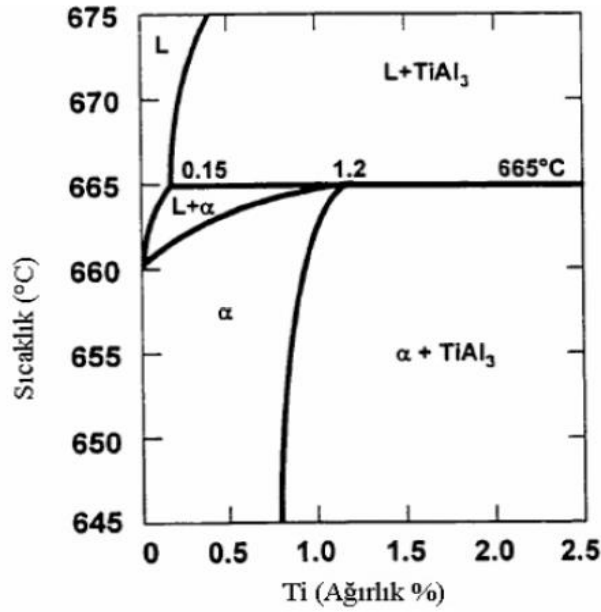
Bu sayede alüminyum malzemelerin dökümünde kullanılan tane incelticilere çeşitlilik kazandırılarak farklı elementlerle mekanik alaşımlama ile oluşturulan tozların alüminyum dökümlerde kullanılabilirliği, üretilebilirliği incelenerek ülke ekonomisine katkı sağlanması amaçlanmıştır.



2.LİTERATÜR TARAMASI

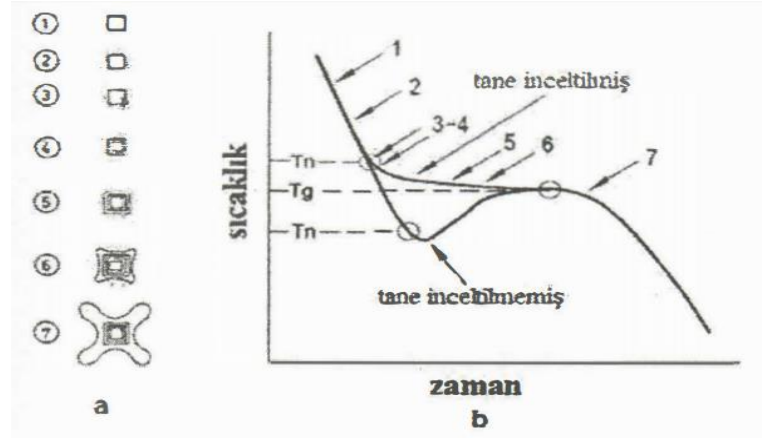
2.1 Alüminyumda Tane İnceltme

Alüminyumda tane inceltme işlemlerinde titanyumun etkisi 1930'lu yıllardan beri bilinmektedir. Titanyumun tane inceltme etkisini nasıl oluşturduğu konusundaki bilinen en yaygın kanı $TiAl_3$ fazı oluşturmaları ve sıvı içerisinde heterojen çekirdeklenme oluşturduğudur [18]. Şekil 2.1'de Al-Ti Faz diyagramının alüminyum tarafı incelendiğinde Ti ilavesi ergime derecesini $660^{\circ}C$ 'dan $665^{\circ}C$ 'ye yükseltmekte ve içerisinde Ti oranı %0,15'i geçtiğinde sıvı içerisinde heterojen çekirdeklenme ile katı $TiAl_3$ intermetaliklerinin oluşmasıdır. Soğuma sırasında aşırı soğumaya (ΔT) gerek kalmaksızın alüminyum $TiAl_3$ bileşiği üzerinde heterojen çekirdeklenme gerçekleşmesiyle ince taneli yapı kendiliğinden oluşmaktadır. Aşılabilir ve aşılabilirsiz gerçekleşen dökümlerin soğuma eğrileri Şekil 2.2'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Al-Ti Faz Diyagramı [18].

Alüminyumda tane inceltici olarak kullanılan titanyum ve bor içeren flaks K_2TiF_6 ve KBF_4 tuzlarının tane inceltici olarak verimliliklerine karşın, birçok dezavantaja sahiptirler. Kullanılan tuz flakslar sıvı metalin hidrojen çözünürlüğünü arttırmaya, korozyon gazları üretmesi ve inceltici elementlerin performansını tam olarak gösterememesine neden olmaktadır [16].



Şekil 2.2 a) Alüminyumun $TiAl_3$ partiküllerinin büyümesi şematik gösterimi [24], b) Aşılama yapılmış ve yapılmamış sıvı alüminyumun soğuma eğrileri gösterimi [18].

Alüminyum dökümünde uzun süredir kullanılan tane inceltici master alaşımlar Al-Ti, Al-Ti-B ve son yıllarda üzerinde daha çok durulan Al-Ti-C, Al-Ti-N, Al-B içeren master alaşımlardır. Farklı oranlarda kullanılan ticari tane inceltici master alaşımlar aşağıdaki çizelge 2.1’de gösterilmiştir. Tane inceltme, alüminyum alaşımlarında heterojen çekirdeklenme merkezleri ile çekirdek oluşumu ve büyümesi ile gerçekleşmekte ve kimyasal tane inceltme olarak da adlandırılmaktadır [16].

Çizelge 2.1 Tane İnceltici türleri [18].

	Tane İncelticiler	
AlTiB 5/1	Al %5 Titanyum	%1 Bor
AlTiB 5/0,2	Al %5 Titanyum	%0,2 Bor
AlTiB 5/0,6	Al %5 Titanyum	%0,6 Bor
AlTiB 3/1	Al %3 Titanyum	%1 Bor
AlTiB 3/0,2	Al %3 Titanyum	%0,2 Bor
AlTi6	Al %6 Titanyum	-
AlTi8	Al %8 Titanyum	-
AlTi10	Al %10 Titanyum	-
AlB3	-	Al %3 Bor
AlB4	-	Al %4 Bor

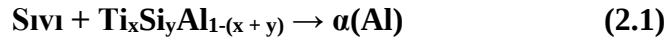
2.2 Kimyasal Tane İnceltme

Katılaşma hızı yüksek olduğunda kullanılan bir tane inceltme yöntemidir. Döküm sektöründe tane inceltici olarak %0,02 – 0,15 titanyumun alaşıma eklenmesi ve %0,01 bor içeren çubuk, tablet formundaki alaşım ya da tuz karışımları kullanılmaktadır. Titanyumun tane inceltici olarak kullanılması, kristal yapılarının benzer olması ve çekirdeklenme sırasında $TiAl_3$ intermetalikleri oluşturması nedeniyle araştırılmış olmasına rağmen, bor ile birlikte kullanımında borun etkisinin sebepleri üzerine farklı görüşler mevcuttur [16]. Alüminyum alaşımlarından tane boyutu büyük ve $TiAl_3$ intermetaliklerinin az olduğu, daha ince taneli ve çok $TiAl_3$ fazı içeren alaşımlara göre daha az mekanik özellikler gösterdiği bilinmektedir [30]. Alüminyum dökümünde kullanılan Al – Ti – B alaşımları da önemli yer tutmaktadır. Pratik kullanımdaki tercihin sebebi, Al – Ti faz diyagramında tane incelticiden gelen $TiAl_3$ partiküllerinin sıvı alüminyum içerisinde çözündüğü ve dolayısıyla inceltme etkisinin zamanla

azaldığı gözlemlenmektedir bu durum yanma kaybı (fading) veya solma olarak ifade edilmektedir [17]. Alaşım bileşiminin yanında kesit kalınlığı ve döküm yöntemi tane inceltme işlemini etkilemektedir [16]. Aşırı ısıtılmış ingotlar, kalın kesitler düşük katılma hızlarında gerçekleştirildiği için ince kesitli dökümlere göre daha zordur. Sürekli levha döküm işlemlerinde ise kenar çatlama problemi sebebi ile AlTiB tel incelticinin yüksek oranlarda ilave edilmesi gerekmektedir [16].

2.3 Titanyum ve Bor İlavesiyle Tane İnceltme

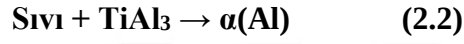
Tane inceltme işlemlerinde alüminyum dökümhanelerinde en yaygın olarak Al-Ti-B tipi mastır alaşımları kullanılmaktadır. Bunların arasında da Al_5Ti_1B , Al_3Ti_1B ve Al_1Ti_1B oranlarındaki tane incelticiler daha çok tercih edilmektedir [31]. Sıvı alüminyuma ergitme potasında katılan tane incelticiler ergiyik içerisinde TiB_2 ve Al_3Ti intermetalik bileşikler ile heterojen çekirdeklenme merkezleri oluşturarak yapının daha ince taneli olmasını sağlamaktadırlar. Al-Ti-B bazlı tane incelticilerin Al-Si döküm alaşımlarında en iyi sonuçları sağladığı ve tane incelticilerin performanslarındaki farkların, sıvı metalde kalan titanyumun miktarıyla ilgili olduğu bilinmekte olup Eşitlik 2.1’de gösterilmiştir [19]. Yüksek silisyum içerikli döküm alaşımlarında Al-Ti sistemi aşağıdaki reaksiyonda gösterildiği gibi yeni alüminyum fazları içererek peritektik bir sistem olan Al-Ti-Si sistemi haline geldiği bilinmektedir [19].



Al- 3Ti-3B master alaşımının $(Al, Ti)B_2$ parçacıkları (AlB_2 ’ye yakın kompozisyona sahip) üzerinde alüminyum çekirdeklenmesinin güçlü bir inceltme etkisi oluşturduğu keşfedilmiş olup bazı araştırmacılarda $659,7^\circ C$ ’de gerçekleşen ötektik reaksiyonda TiB_2 parçacıkları ve $\alpha(Al)$ çekirdekleri üzerinde yoğun bir bor tabakası oluşturduğunu öne sürmüşlerdir [16]. Al-Ti-B üçlü tane inceltici sistemleri, eriyik alüminyum içerisindeki $TiAl_3$ partiküllerinin zamanla çözünmesini engellemek ve yine aynı anda eriyik içerisindeki TiB_2 partiküllerinin zamanla topaklanmasını en az düzeye indirmesidir [19]. $TiAl_3$ intermetalikleri alüminyum içerisinde çözünürlüğü yüksek, 30-40 μm boyutunda bulunmaktadır. TiB_2 intermetalik bileşikler ise sıvı alüminyum içerisinde çözünürlüğü çok az ve 1-2 μm büyüklüğünde bulunmaktadır [19]. Bu intermetalikleri farklı davranış ve boyutsal farklılıklarından kaynaklı tane inceltme teorileri ortaya çıkmıştır.

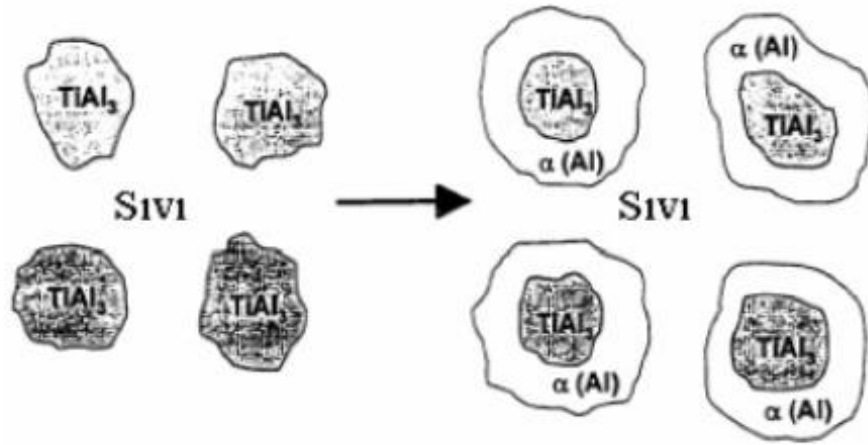
2.4 Titanyum İlavesiyle Tane İnceltme

Al-Ti tane inceltme alaşımları oluşan $TiAl_3$ çekirdekleyicilerin $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de alarım içerisinde çözünmesi ve parçalanması negatif izlenim göstermektedir. Bu tür alaşımlarla çalışıldığında alüminyum içerisinde kırılğan tanelerin oluşumu artmaktadır [19]. Titanyum ilavesi ile tane inceltmeyi açıklamada kullanılan teoriye Peritektik teori denmektedir. Mondolfo tarafından ileri sürülen bu teoriye göre Al-Ti faz diyagramı %1,2 titanyum bileşimi ve $665\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de peritektik reaksiyon gösterir [32]. Yeterli oranda ($>0,15$) titanyum varsa peritektik olarak hareket eden $TiAl_3$, sıvı metal de oluşan birincil $\alpha\text{-Al}$ 'un ilk kristallerini oluşturur. Bileşim genellikle peritektik altı sıcaklıkta olup dönüşüm eşitlik 2.2 reaksiyonda gösterilmiştir.



Teoriye göre alüminyumda tane incelmesi yukarıdaki denkleme göre gerçekleşmektedir.

$\alpha\text{-Al}$ parçacıkları kalan sıvı metal ve oluşan ilk kristallerin sayısına bağlı olarak inceltme derecesi için çekirdek gibi hareket eder.İlgili ekirdeklenme şekil 2.3'de temsilen gösterilmiştir.



şekil 2.3 Al-Ti sistemlerinde peritektik reaksiyonla $\alpha\text{-Al}$ 'un çekirdeklenmesi [18].

Al-Ti master alaşımları alüminyum matriste $TiAl_3$ parçacıkları oluşturur ve sıvı alüminyum içerisinde $TiAl_3$ parçacıklarını dağıtarak çekirdeklenme için heterojen bölgeler oluşturur. Alüminyum döküm alaşımlarında $<0,15$ titanyum içeren

bileşimlerde de tane inceltme elde edilebilir. Fakat bu etki $TiAl_3$ parçacıklarının sıvı metal içerisinde çözünmesine bağlı olarak kısa sürede kaybolur [19]. Sekil 2.3’de görüldüğü gibi %0,15’den fazla %1,2’den az miktarda titanyum $665^{\circ}C$ da bir peritektik reaksiyon vermektedir. Al-Ti sisteminde $TiAl_3$ metaller arası bileşiği çekirdeklenmede etken yapılardır. Peritektik teoriye göre, alüminyum tanelerinin merkezinde $TiAl_3$ partiküllerinin yönelmesini çıkarabiliriz [19].

2.5 Karbonla Tane İnceltme

Borun aglomerasyonu ile ilgili problemler ve Zr içeren alaşımlardaki Zr zehirlenmesi etkisi, bor içermeyen tane incelticiler konusunda bir talep yaratmıştır [33]. Sanayi gereksinimlerinin artması ve bu gerekliliğe uygun tane incelticilerin geliştirilme çabası hızla artmaktadır. TiC kristal kafes yapısı Al ’un kristal kafes yapısına benzemektedir [34-35]. Kristalografik açıdan YMK yapıya yakınlık, TiC ’ün üzerindeki Al ’un konfigürasyonunu mümkün kılmaktadır [33]. Al-Ti-C tane incelticiler karbür parçalarının üzerinde Al çekirdeklenmesi deneysel olarak sağlanmıştır [36]. Günümüzde kullanılan Al-Ti-C tane incelticiler TiC partikülleri Al_3Ti partikülleri ile birlikte eriyik içerisinde katılırlar [33]. TiC miktarının artması ve dolayısıyla C miktarının da artması tane inceltme üzerine bir etkisinin olup olmadığı yönünde artan bir araştırma alanı olmuştur. Bu konudaki bilimsel araştırmalar göz önünde bulundurulduğunda piyasada kullanılabilecek en uygun tane inceltici türünün Al-3Ti-0.15C olduğu yapılan çalışmalarda görülmüştür [33].

2.6 Azot ile Tane İnceltme

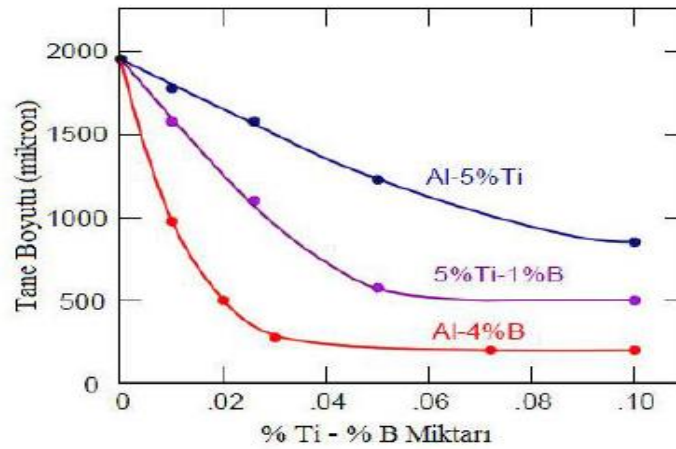
Alüminyum endüstrisinde tane incelticilerin yeri sürekli gelişmektedir Al-Ti-N master alaşımları hakkında yayın sayısı kısıtlı olup Wang ve Chen yapmış oldukları çalışmada toz karışımlarının oranları %77,75 Al, %12 Ti ve %10,25AlN molar oranlara sahip tozların tozları bilyalı değirmende 3 saat karıştırılmış, $1250^{\circ}C$ ’de argon atmosferi altında DTA yapılmış ve oda sıcaklığında doğal olarak soğutmuşlardır.İlgili çalışmada Al-9Ti-1,6N master alaşımı hazırlanmış ve alüminyum dökümlerine tane inceltici olabilirliği incelenmiştir. [38].

2.7. Tane İnceltme Teorileri

Alüminyum dökümünde tane inceltme konusunda bilinen ve ön plana çıkan üç ana teori vardır. Bunlar borür teorisi, peritektik teori ve hiperçekirdeklenme teorisidir.

2.7.1 Borür Teorisi

Cibula [39], titanyum aşılması yapılmış alüminyum alaşımlarına bor eklendiğinde TiB_2 'nin çözünmeyen parçacıklarının düşük titanyum oranlarında tane inceltme etkisi olduğunu söylemiştir. Çözünmeyen borür parçalarının bir bölgede yoğunlaşması ve o bölgede kalmasına bağlı olarak çekirdeklenme meydana gelmiştir. Cibulanın bu düşüncesine karşı Mondolfo [40] erimiş alüminyuma bor eklenmesinin titanyumun çözünürlüğünü azalttığını söylemiştir. Düşük titanyum miktarlarında $TiAl_3$ kristalleri, Al-Ti peritektik reaksiyonunu sağladığını söylemiştir. Cibulanın borür teorisinin aksine araştırmacılar, bor intermetalikleri tane merkezinde değil tane sınırında bulunduklarını iddia etmişlerdir. Tane inceltici ilave edilmiş sıvı metallerde $TiAl_3$, TiB_2 , AlB_2 , $(AlTi)B_2$ ve karışımlarından oluşan intermetalikleri ifade etmişlerdir. Ötektik altı Al-Si alaşımı yani A356 alaşımında üç farklı tane inceltici master alaşımı ile yapılan tane inceltme çalışmasına ait bir sonuç şekil 2.4'de verilmiştir. Borun tane inceltici olarak titanyumdan daha etkili olduğu görülmektedir. Benzer bir çalışmada Sigworth ve Guzowski, AlB_2 partikülleri içeren Al-B mastır alaşımlarının çok daha mükemmel tane inceltme etkisi gösterdiğini rapor etmişlerdir. [20,21]



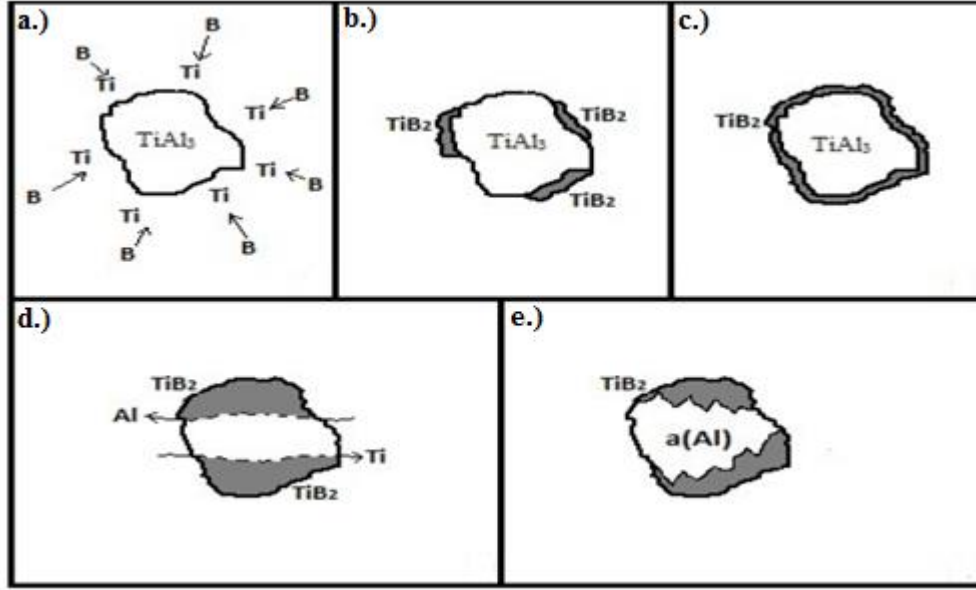
Şekil 2.4 A356 alüminyum alaşımında üç farklı mastır alaşımı ile tane inceltme sonuçları [14].

Birçok teori olmasına rağmen araştırma ve tartışma yapılan çalışmalar Peritektik Hülk teorisi ve Hiper Çekirdeklenme teorileridir ve bu çalışmalar halen tartışılmaktadır [18].

2.7.2 Peritektik Teori

Bu teoriye göre sıvı metalde $(AlTi)B_2$ çözünür ve çözünen tanelerin etrafı titanyum ile kaplanarak $TiAl_3$ parçacıklarını kısmen çözerler. Alüminyum tanelerinin etrafında titanyum konsantrasyonu artar. TiB_2 partikülleri, $TiAl_3$ parçacığı üzerine birikirler.

TiB_2 , $TiAl_3$ parçacıklarının erimesine karşı koruyucu tabaka oluşturarak alüminyum fazına çökelirler. Sıvı alüminyum titanyumla doldurulur ve kokil kalıp boyunca eş zamanlı difüzyon gerçekleştirir. Sıcaklık $665^\circ C$ ulaştığında yani peritektik sıcaklığa ulaştığında peritektik taneler heterojen çekirdeklenmeyi tetikler. Bu durum meydana geldiğinde α (Al) tarafından sıvı metal içerisinde büyümeye devam eder [16]. Bu teori şekil 2.5’de şematize edilmiştir.



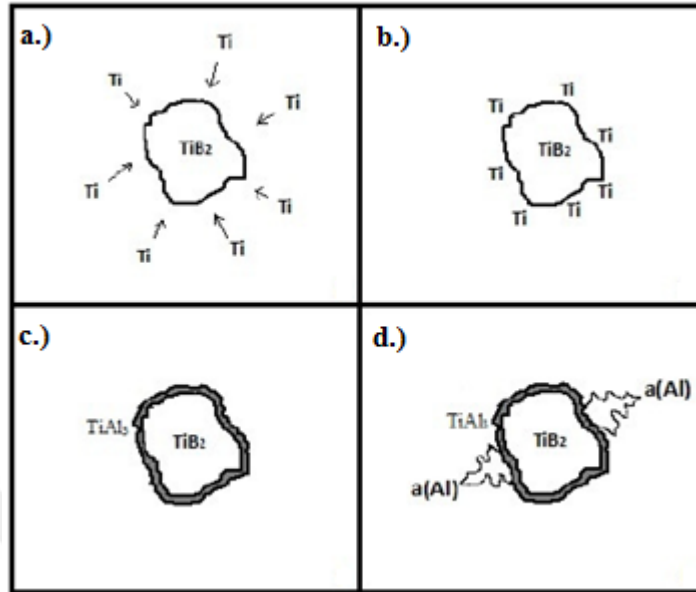
Şekil 2.5 Peritektik teorisinin modeli; a) $TiAl_3$ 'ün kısmi çözünmesi ve $TiAl_3$ difüzyonu; b) TiB_2 'nin partiküller halinde birikmesi; c) $TiAl_3$ üzerinde TiB_2 'nin koruyucu tabaka oluşturmaları; d) Al ve Ti'nin koruyucu tabaka boyunca eş zamanlı büyümesi; e) Çeki Çekirdek ve α -Al 'un büyümesi [16].

Al-Ti-B alaşımları alüminyum fazını çevreleyen borürleri içermekte olup, bu $TiAl_3$ fazının çözünmesine karşı korunmasını geliştirmektedir. Bu ikili partiküllerin tane inceltme etkisinin, alüminyumun tamamen çözünmesi nedeniyle zamanla sönüme uğradığı görülmektedir.

2.7.3 Hiper Çekirdeklenme teorisi

Ti/B oranı 1/2 üzerinde olduğunda serbest haldeki eriyik titanyum sıvıdan, TiB_2 -Sıvı ara yüzeyine birikir ve $TiAl_3$ katmanı oluşturmaktadır. Soğuma sonucu α -Al 'un çekirdeklenmesi peritektik olarak gerçekleşir. Bu mekanizmaya göre büzülme, borür partiküllerinin toplanması ve çökmesi şeklindedir. Ancak bu teorisinin

termodinamik ispatı ortaya konulmamıştır. [16] Bu teorinin gerçekleşme adımları şekil 2.6’da şematize edilmiştir.



Şekil 2.6 Hiper Çekirdeklenme teorisi modeli; a) Eriyikte yoğun Ti miktarı($Ti/B > 2.21$); b) TiB_2 -Sıvı metal yüzeyinde ayrılan serbest Ti; c) TiB_2 üzerinde $TiAl_3$ tabakasının oluşumu; d) Peritektik reaksiyonla α -Al çekirdeklenmesi [16].

2.8 Dökümlerde Besleme Mekanizmaları

Metal ve alaşımlarının birçoğu katılaşma sırasında negatif hacim değişimine uğramaktadır. Alüminyum alaşımlarda termal iletkenliğin yüksek olması düşük termal gradyana neden olmakta ve özellikle geniş sıvı-katı aralığına sahip alaşımlarda katı kabuk oluşumu gecikmektedir [24,25,26]. Alaşımların dökümünde katılaşmanın sonuna kadar sıvı ve sıvı içerisinde oluşmuş katı dendritlerin bulunduğu yarı katı soğumaktadırlar. Porozite veya yüzey çökmesi gibi kusurlardan arındırılmış bir döküm istenmesi halinde sıvının beslenmesi bu yarı katı ortamda dendritler arasında olmalıdır [24,25]. Saf alüminyum katı-sıvı ara yüzeyi düzlemsel bir şekilde ilerleyerek katılaşmaktadır. Katı-sıvı ara yüzündeki sıvı doğrudan sıvı besleme ile beslenebilir. Buna karşılık alüminyuma alaşım elementi ilave edildiğinde katılaşma genellikle belirli bir aralıkta gerçekleşmekte ara yüzey dentritik bir ara yüzeye sahip olmaktadır [26].

2.8.1 Sıvı Besleme

Kabuk yaparak katılaşan veya ötektik katılaşabilen bir besleme türüdür [27].

2.8.2 Kütle Besleme

Sıvı ile katı kütlenin de besleme sıvısı ile birlikte dendritik bölgede beslenmesidir. Çekirdeklenme sıcaklığı altında dentritler büyümeye başlarlar ve beslenen bölgeye hareket eder [23].

2.8.3 İnterdendritik Besleme

Katı kristaller dendritik formda büyürlerken, sıvı ile besleme bölgesine hareket ederler. İki fazlı akışa katkıda bulunurlar. Dentrit blokajı tabir edilen kritik bir katı oranına erişildiğinde dendritler birbirine tutunarak rijit bir ağ oluşturur [23]. Bu noktada dendrit blokajı daha fazla kütle beslemeye izin vermez. Bunun yerine beslenmesi gereken sıvı katılaşma çekmesini hala telafi edebilmek için dendrit örgüsü aralarından sızarak besleme aktivitesine bir süre daha devam eder. Düşük katı oranlarında dendrit örgüsünün geçirgenliği henüz yüksek olduğundan sıvı sızıntısına tamamen karşı koyamaz [23].

2.8.4 Tane İnceltmenin Besleme Üzerine Etkisi

Tane boyutunun küçülmesi ile beslenebilirliğin arttığını ve buna bağlı olarak porozite oluşumunun azaldığı saptanmıştır. İyi derecede tane inceltirilmiş bir dökümde dendrit blokajı sınırı tane inceltme işlemi yapılmamış döküme göre yüksektir.

3. DENEYSEL YÖNTEM

Al, Ti, B, C ve N elementleri tedarik edilerek tozlar öncelikle gezegensel değirmende yüksek enerjili olarak üretilmesi çalışılmıştır. Al, Ti, B, C elementel tozlar tedarik edilmiştir lakin doğada elementel olarak N kaynağı bulunmadığı için %65 N'lu üre N kaynağı olarak kullanılmıştır. Elementel olarak tedarik edilen alüminyum tozunun boyutu 40 μm , titanyum tozunun boyutu 10 μm , karbon ve azot tozunun boyutu 1 μm 'dur. Denemeler yapılarak Al-Ti-B, AL-Ti-N, Al-Ti-C ikili-üçlü alaşımlar gezegensel değirmende öğütülmüştür. Ardından 200 C°'de fırında 2 saat yeniden kristallenme kalsinasyonuna tutulmuştur. Sonra Al-Ti-B, AL-Ti-N, Al-Ti-C ikili-üçlü alaşımların üretilen fazlarının stokiometri belirlenmiştir. XRD, SEM-EDS, gibi tekniklerle karakterize edilmiş ve toz bileşiminin alüminyum alaşımları üzerine etkilerini incelemek için dökümler yapılmıştır. Ağırlıkça artan oranlarda Al-Ti-B, Al-Ti-C, Al-Ti-N ilavesi ile döküm yapısındaki farklılıklar hem elektron mikroskobu hem de SEM ile belirlenmiştir. Alaşıma ilavelerin hangi oranda ne tür farklılıklara sebep olduğu belirlenmiştir. Numuneler kesim, zımparalama ve parlatma aşamalarından sonra numunelerin SEM'de fotoğrafları çekilmiş ve sertlik testlerinin sonuçları raporlanarak tez sonuçlanmıştır.

3.1 Numunelerin Hazırlanması

Molar oranlarda tartılan numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler (1: 10) oranında bilye ile değirmende bütanol çözeltisi ilavesi ile 48 saat öğütülmüştür. 48 saat sürenin ardından alınan çözeltiden bütanol uzaklaştırılmıştır. Toz karışımları tek tek paketlenmiştir. Molar oranlarda konulan tozlar kontrol edilerek tekrar tartılmıştır. Ardından (1: 10) oranında bilye ile karıştırılarak (1: 3) oranında bütanol ilavesi ile gezegensel değirmene şarj edilmiştir. Hazırlanan her karışım 180 dakika eşitlenecek şekilde gezegensel değirmende 15 dakika sağa, 15 dakika sola doğru döndürölüp 10 dakika dinlendirilerek yaş öğütmeye tabi tutulmuştur. Ardından numuneler XRD 'de fazlar, SEM 'de ise yüzey ve elementel analizleri yapılmıştır. Analizleri yapılan numuneler laboratuvar ortamında dökümü yapılan alüminyum 7075 serisine ilave edilerek dökümü gerçekleştirilmiş ve ardından metalografi laboratuvarında metalografik işlemlerin ardından SEM 'de yüzey fotoğrafları çekilmiştir. Seri kayması olup olmadığını anlamak için saf halde dökümü yapılan numunelerle karşılaştırılmıştır.

Çizelge 3.1 Tozların Molar Oran Tablosu.

Numune Adı	Al	Ti	B	C	N	Toplam Ağırlık (gr)	Çevrim
A1	1	1	0.5	-	-	8,04	+
A2	1	-	1	-	-	3,7	+
A3	1	1	1	-	-	8,4	+
A4	1	1	-	0,5	-	4,3	+
A5	1	-	-	1	-	3,85	+
A6	1	1	-	1	-	4,3	+
A7	1	1	-	-	0.5	10,3	+
A8	1	-	-	-	1	8	+
A9	1	1	-	-	1	7,73	+
A10	1	1	1	1	1	10,06	+

3.2 Öğütme İşlemi

Hazırlanılan tozlara öğütme işlemi için plastik kap içerisine bütanol ilavesi ile 1-5 mm boyutunda zirkonya bilyeler ilave edilmiştir. Bilye/toz ağırlık oranı tüm deneylerde 10:1 olarak belirlenmiş ve sabit tutulmuştur. Değirmen öğütücü kaplarının içine hammaddeler, alkol ve bilyeler eklendikten sonra 48 saat süre ile Şekil 3.1’de gösterilen bilyeli değirmende öğütme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Görselde bulunan kap temsili olup kabın hacmi 200 ml’dir. Bütün numuneler için ayrı ayrı kaplar ve bilyalar kullanılmış olup kullanılan ZrO_2 bilyaların boyutları 2-5 mm aralığındadır.



Şekil 3.1 Bilyalı Dönerli Değirmen.

3.3 Gezegenel Değirmen

Kullanılan gezegenel değirmen Şekil 3.2’de görülmektedir. Markası Retsch PM 100’dür. Çalışma şekli gezegenel hareketli yüksek enerjili bilyalı değirmen, bir adet tabla üzerindedir. Tabla 1 birim döndüğünde, kavanoz ters yönde 2 birim dönmektedir. Gezegenel değirmen kabı içindeki bilyeler, bindirilmiş dönme hareketine maruz kalır. Kavanoz içinde öğütme bilyeleri dönme hareketlerini, Coriolis kuvvetine maruz kalarak gerçekleştirir. PM 100 Bilyalar ve kavanoz arasındaki hızları arasındaki yüksek enerji, sürtünme ve darbe kuvvetleri üretir. Bu kuvvetler arasındaki etkileşim ile PM100, gezegen hareketli bilyalı değirmenin numuneleri çok küçük hale getirmesini sağlar. Gezegenel değirmende yaş ve kuru öğütme gerçekleştirilebilmektedir. Bilyalı değirmenden alınan edilen tozlar Retsch PM 100 gezegenel değirmene bilyeler ile eklenmiş 3:1 oranında alkol ilave edilerek ve 600 devir/dk ile 180 dakika süre ile sağ ve sol tarafa aktivasyon yapılmış ve öğütülmüştür.



Şekil 3.2 Retsch PM 100 Gezegenel Değirmen.

3.4 Karakterizasyon Teknikleri

Bilyalı ve gezegenel değirmende hazırlanan tozların gelişen fazlarını tespit edilmesi Rigaku D-max marka cihazla X-ışını kırınım analizi (XRD), yüzey ve elementel analizleri ise Mira3XMU FE-SEM markalı taramalı elektron mikroskop (SEM) ile analizleri gerçekleştirilmiştir.

3.5 Sertlik Ölçümü

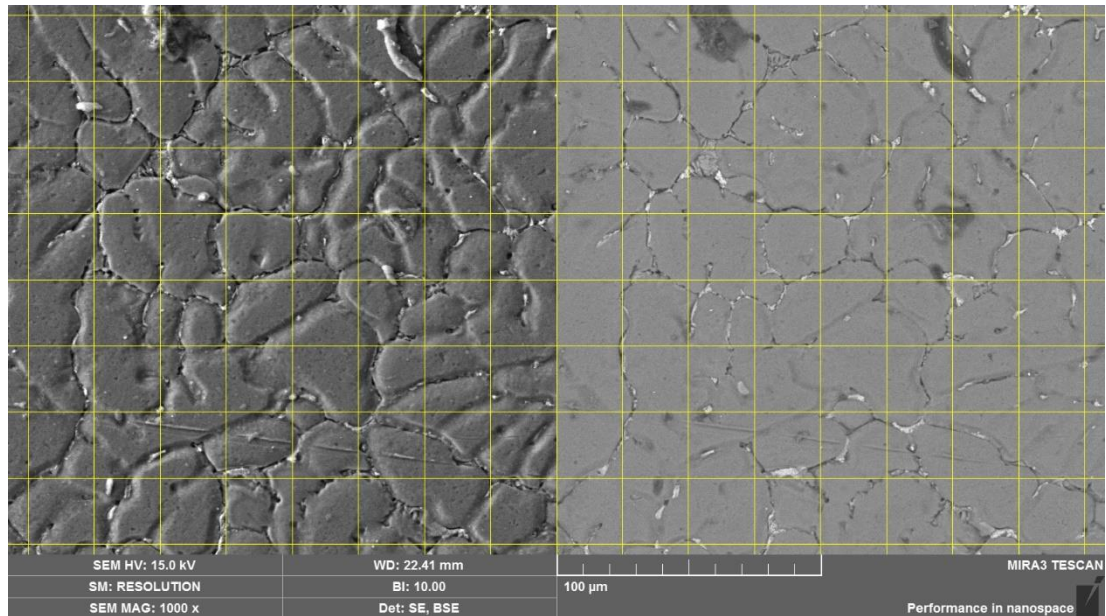
Sertlik cihazı, numunelerin mikro sertliklerinin belirlenmesi için kullanılmıştır. Sertlik ölçümü sırasında Rockwell Sertlik Ölçüm Metodu kullanılmıştır. 120° elmas koni uç veya çeşitli çaptaki bilya uçların yaptığı penetrasyon derinliğinin ölçülmesi metoduna dayanmaktadır. Döküm sonrası hazırlanan numunelere 100 kg yük uygulanmıştır. Her numunenin üç yüzeyine üçer farklı noktadan uygulanarak sertlik değerleri alınmış ve ortalama değerleri bulunmuştur.

3.6 Tane Sayma Metodu

Ortalama tane boyutunu hesaplamak için Lineer Intercept metodu kullanılmıştır. 200 µm, 100µm ve 50µm 'lık SEM fotoğlarının her birinden 80 değer alınarak ortalama tane boyutu numunelerin hesaplanmıştır. Bu yöntemde her yatay ve dikey çizginin kestiği tane sınırı sayılarını sayarak belirli malzemenin tane boyutu veya kristal boyutunu belirlemede kullanılmaktadır. Yani;

$$\text{Ortalama Tane Boyutu} = \text{Kesişen Çizgi} / \text{Çizgi Uzunluğu} \quad (3.1)$$

Şekil 3.3'de görülen döküm numunesinin örnek sayımı için kullanılan tablolu SEM fotoğrafında görüldüğü üzere yatay ve dikey çizgilerden geçen tane sınırı sayısından ortalama tane sayısı hesaplanmıştır.



Şekil 3.3 Lineer Intercept için kullanılan örnek tablo.

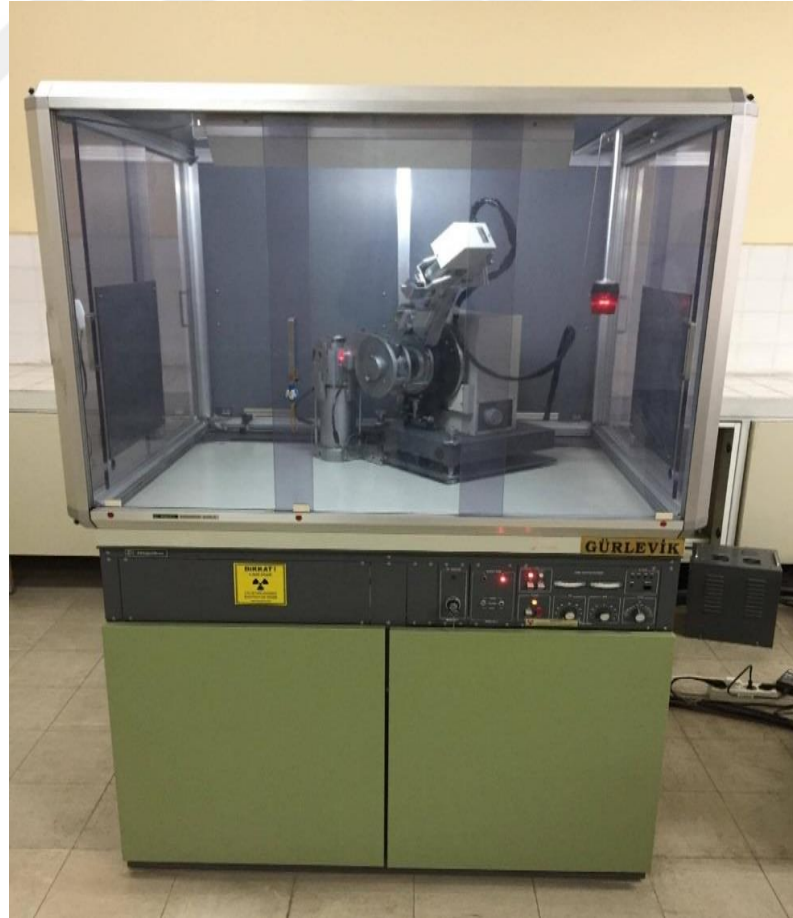
3.7 X Işınları Kırınımı Analizi

Tozların yaşı öğütmesi sırasında oluşan fazların tespiti X-ışını kırınım metodu ile gerçekleştirilmiştir. XRD analizi ile oluşturulan X ışınları numune yüzeyine çarpar ve yansır. Başlangıç X ısını ve geri dönen ışının arasındaki şiddet ve açı farkı faz özelliklerini ortaya koyar. Kırınım indisi pikleri, malzemenin hangi fazlardan meydana geldiğinin belirlenmesinde kullanılır. Kristaller tarafından X-ışını kırınımı Bragg yasası ile olur (Eşitlik 3.2):

$$2d\sin\theta=n\lambda \quad (3.2)$$

- d = Kristal Düzlemler Arası Mesafe
- λ = X-ışınları Dalga Boyu
- n = Yansıma Derecesi
- θ = Kırınım Açısı
-

XRD analizi; Rigaku D-max marka cihazla gerçekleştirilmiştir. Kullanılan Rigaku marka cihaz Şekil 3.4’de gösterilmiştir.



Şekil 3.4 Rigaku D-max XRD cihazı.

Analiz sırasında Cu-K α ışınımının voltajı 35 kV ve akımı 15 mA olarak ayarlanmıştır. Numuneler 2°/dakika tarama hızında ve 0,025 tarama kademesinde 20-70° (2 θ) arasında taratılmıştır. Farklı açı ve şiddetlerde açığa çıkan piklere karşılık gelen düzlemler ve düzlemler arası mesafe değeri söz konusu olan kristallere ait standart (J.C.P.D.S Joint Community for Powder Diffraction Standart) değerleri ile karşılaştırılarak mikro yapıda gelişen mevcut kristal fazların belirlenmesi gerçekleştirilmiştir.

3.8 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile Görüntüleme

Numunelerin yüzeyden incelemesi için Şekil 3.5’de gösterilen Mira3XMU FE-SEM (Tescan®, Çekya) marka taramalı elektron mikroskobu kullanılmıştır.



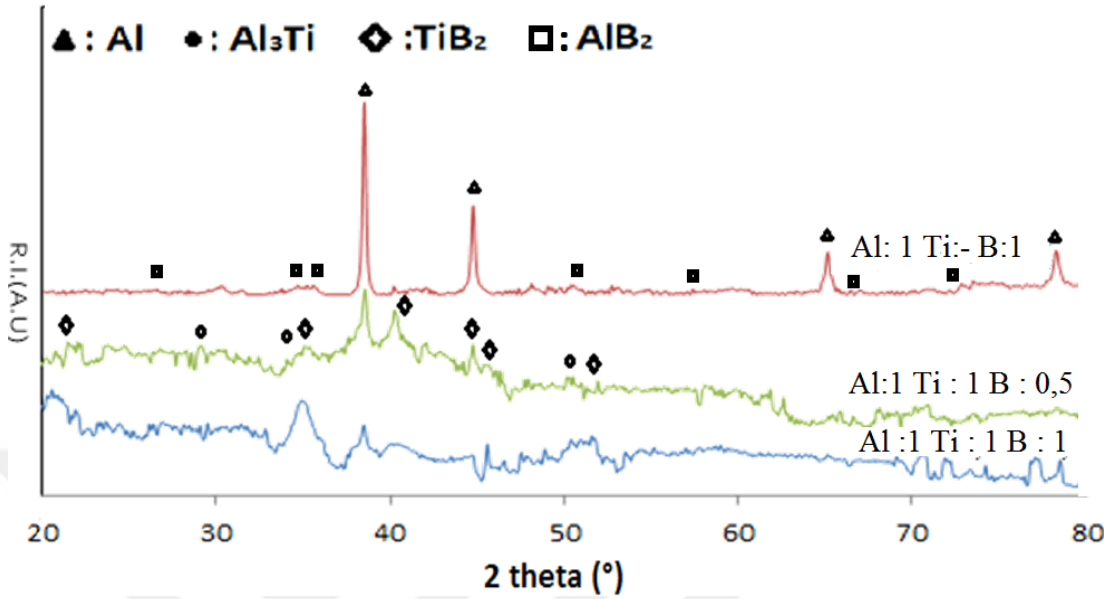
Şekil 3.5 Mira3XMU FE-SEM (Tescan®, Çekya) marka taramalı elektron mikroskobu.

Yüzeylerden görüntü alınırken ayrı ayrı hem ikincil elektronlarla inceleme modu (SE) hem de geri saçınımlı elektron modu (BSE) kullanılarak analizler yapılmıştır. Numune yüzeylerinden element analizi yapmak için enerji dağılımlı X-ışını spektrometresi (EDS) (Oxford Inst. X-ACT, INCA SDD) yapılmıştır.

4. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

4.1 Borlu Aşılaiıcıların Etkisi

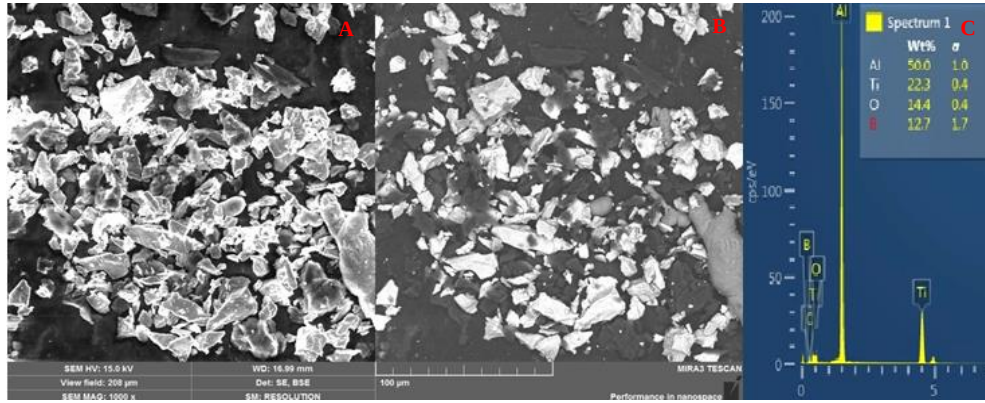
4.1.1 XRD Sonuçları



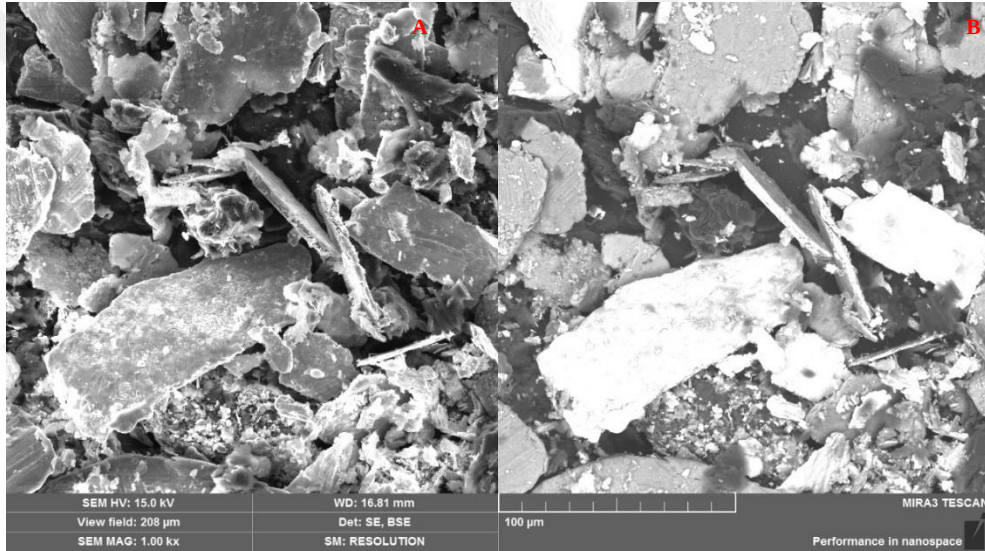
Şekil 4.1 A1($Al_1Ti_1B_{0,5}$), A2(Al_1B_1), A3($Al_1Ti_1B_1$) tozunun; Gezegenel değirmende öğütölmüş tozun kalsine sonrası XRD sonuçları.

Şekil 4.1’de Al-Ti-B oranı 2:2:1 olan A1, 2:2:2 A3 kodlu kompozisyonun ve Al-B oranı 2-2 olan A2 kodlu kompozisyonun 180 dk’da öğütölmüş XRD analizleri görölmektedir. Yapı içerisinde alüminyumla birlikte bor ve titanyum elementleri hali hazırda bulunurken bunlar gezegenel değirmende öğütölmeleriyle Al_3Ti , TiB_2 AlB_2 yapılarına dönüşmüştür. Buna göre $39^\circ 2\theta$ ’da alüminyumun ana piki 45° ve 66° deki diğer pikleri ile görölmektedir. Yani ana yapı ve en büyük tozlar alüminyumlardır. Al_3Ti ve TiB_2 tipi yapılar da $30,5^\circ$, $34,5^\circ$ ve $38,5^\circ$ ’lerde ana çekirdekleyici olarak kendini göstermiştir. Bu yapıların ana malzemesi Al olarak kalmış ve döküm esnasında yapıya küçük tane boyutu ve amorfumsu özelliklerinden dolayı difüze olmaları beklenmiştir. Bununla birlikte içerisinde Ti olanlarda Al_3Ti gibi intermetaliklere rastlanmıştır. A2 de ise alüminyum tozu maksimum olup devam eden ana tozlar küçük piklerle birlikte AlB_2 pikleridir. Çünkü A2’de herhangi titanyum ilavesi yapılmamıştır. Buradan anlaşılaacağı üzere uzun süre çevrilmede alüminyum pikleri genişlemiş ve küçölmüştür dolayısıyla alüminyum pikleri ile beraber diğer piklerin oluşması daha olasıdır çünkü aralardaki küçük bazı piklerde başka Al_3Ti veya TiB_2 tarzındaki bileşiklerin oluştuğunu göstermektedir

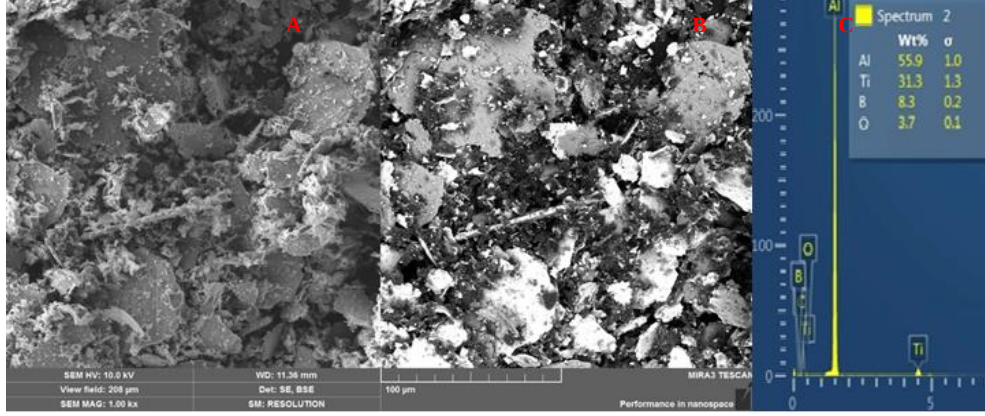
4.1.2 SEM Sonuçları



Şekil 4.2 A1(Al₁Ti₁B_{0.5}) mol oranına sahip değirmenlenmiş tozun SEM a) İkincil Elektron; b) Geri Saçınımli Elektron görüntüleme fotoğrafı; c) EDS analizi.



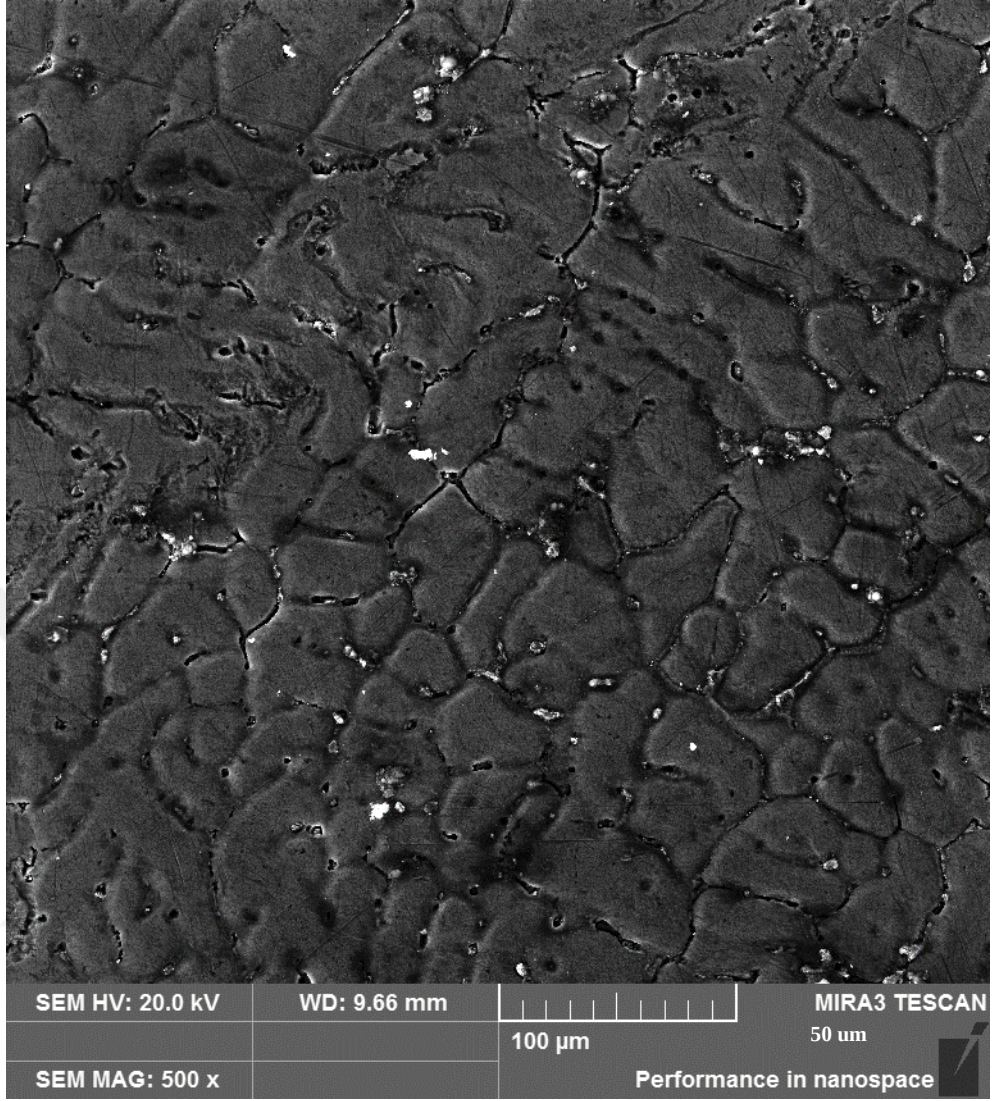
Şekil 4.3 A2(AlB₁) mol oranına sahip değirmenlenmiş tozun SEM a) İkincil Elektron; b) Geri Saçınımli Elektron görüntüleme fotoğrafı.



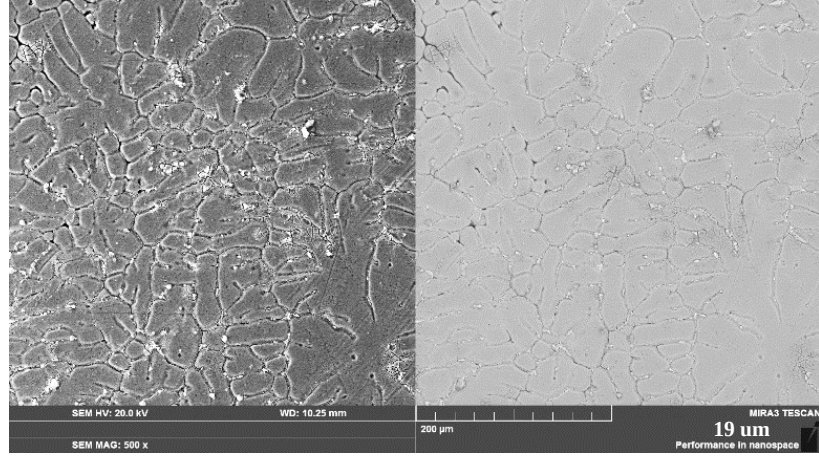
Şekil 4.4 A3(Al₁₁Ti₁B₁) mol oranına sahip değirmenlenmiş tozun SEM a) İkincil Elektron; b) Geri Saçınımlı Elektron görüntüleme fotoğrafı; c) EDS analizi.

Şekil 4.2, 4.3, 4.4’de tozların öğütme sonrası elektron mikroskobu görüntüsü ve EDS analizi yer almaktadır. Görüldüğü üzere Al tozlar üzerine birikmiş ve/veya tutunmuş Ti ve B tozları görülmektedir. En büyük boyutlu toz Al olduğu için genel görünüm alüminyum tabanlı görülmektedir. Elektron mikroskobu görüntüsünde deforme olmuş alüminyumlarla birlikte yüzeye tutunmuş Ti ve B, elementel analizlerde de çıkmıştır. İkincil elektronlarla inceleme görüntüsü olup tozların deforme olup geniş yassı şekilde görülmektedir. AlTi₃ ve TiB₂ benzeri yapıların olduğu düşünülmektedir ki bu da XRD’de benzer fazlar olarak kendini göstermiştir.

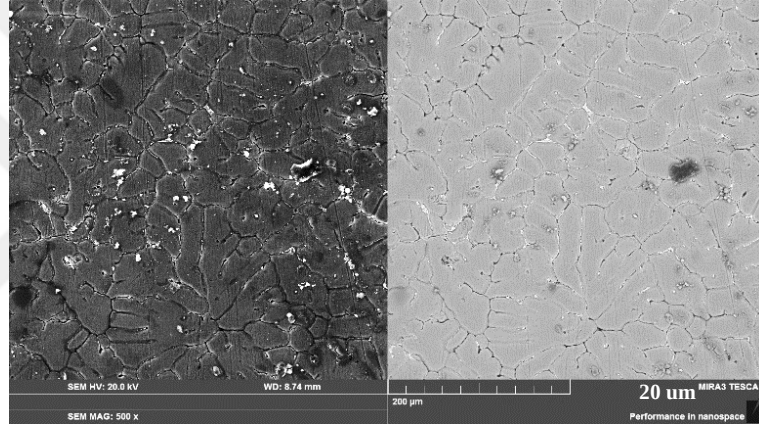
4.1.3 Mikro Yapı Analizleri ve Sonuçları



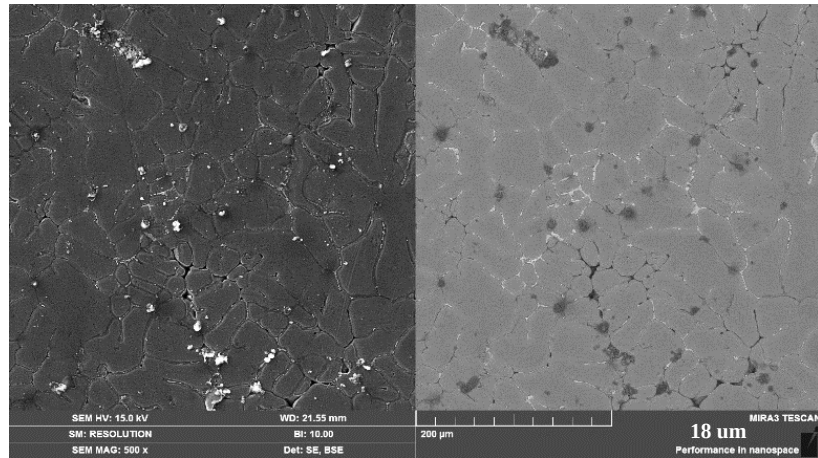
Şekil 4.5 Saf Döküm Fotoğrafı.



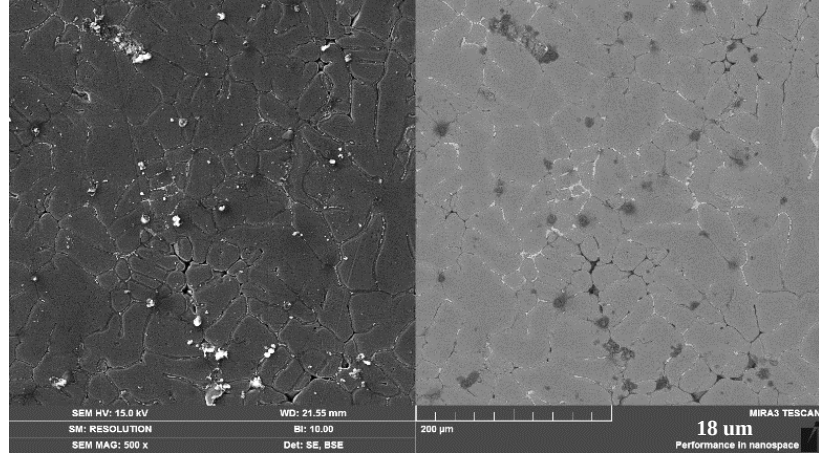
Şekil 4.6 7075 Al alaşımına A1(Al-Ti-B0,5) tozunun ağırlıkça %0,3 ilaveli döküm mikroyapısı.



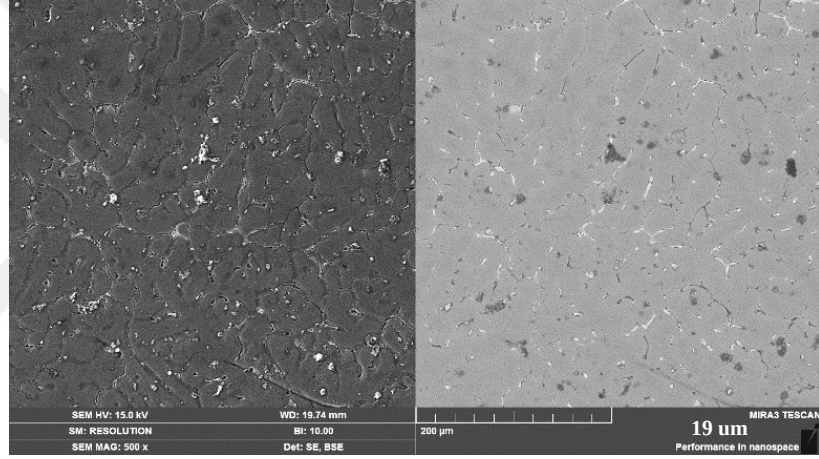
Şekil 4.7 7075 Al alaşımına A2(Al-B) tozunun ağırlıkça%0,3 ilaveli döküm mikroyapısı.



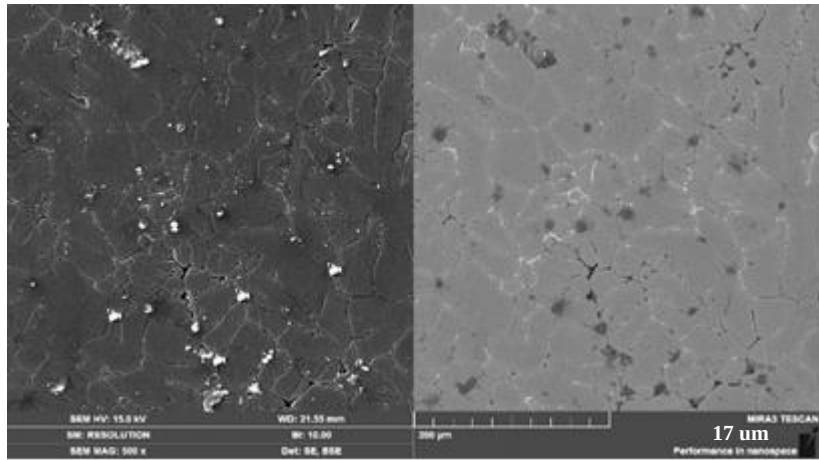
Şekil 4.8 7075 Al alaşımına A3(Al-Ti-B) tozunun ağırlıkça %0,3 ilaveli döküm mikroyapısı.



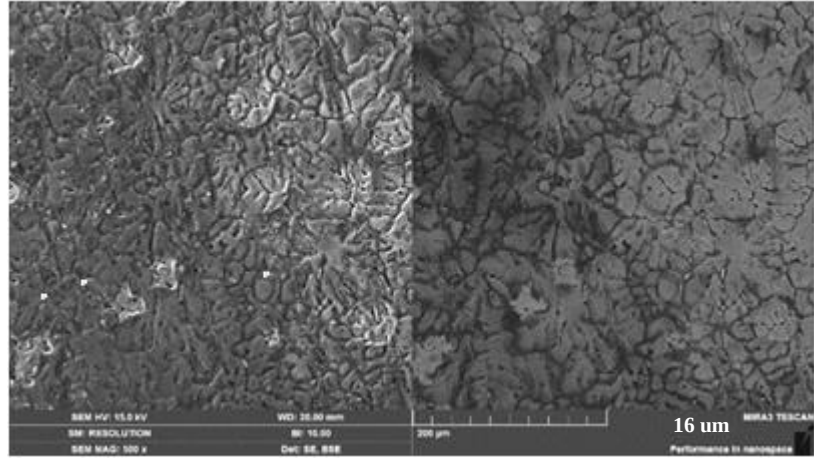
Şekil 4.9 7075 Al alaşımına A1(Al-Ti-B) tozunun ağırlıkça %0,5 ilaveli döküm mikroyapısı.



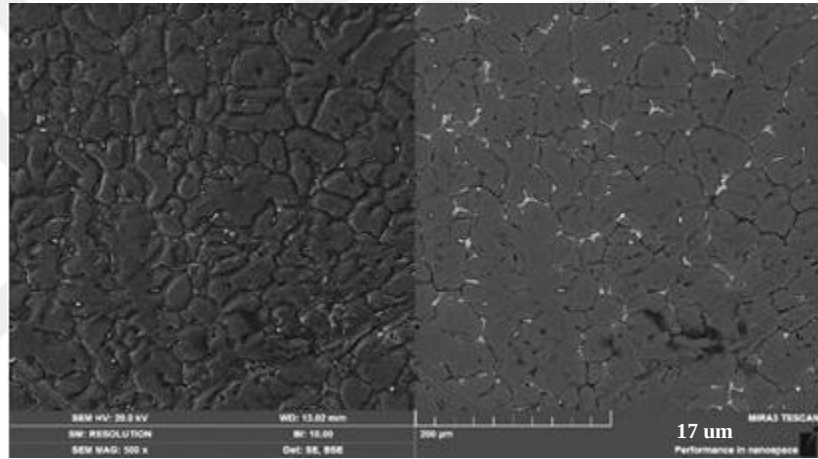
Şekil 4.10 7075 Al alaşımına A2 (Al-B) tozunun ağırlıkça %0,5 ilaveli döküm mikroyapısı.



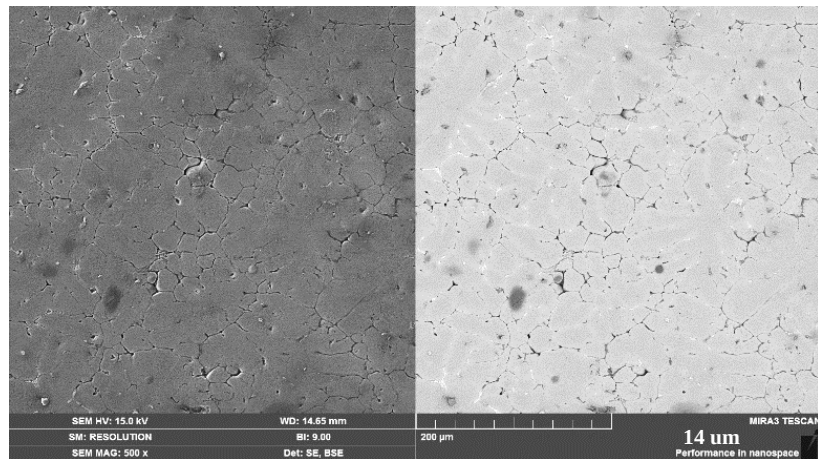
Şekil 4.11 7075 Al alaşımına A3(Al-Ti-B) tozunun ağırlıkça %0,5 ilaveli döküm mikroyapısı.



Şekil 4.12 7075 Al alaşımına A1(A1-Ti-B0,5) tozunun ağırlıkça %0,7 ilaveli döküm mikroyapısı.



Şekil 4.13 7075 Al alaşımına A2(A1-B) tozunun ağırlıkça %0,7 ilaveli döküm mikroyapısı.

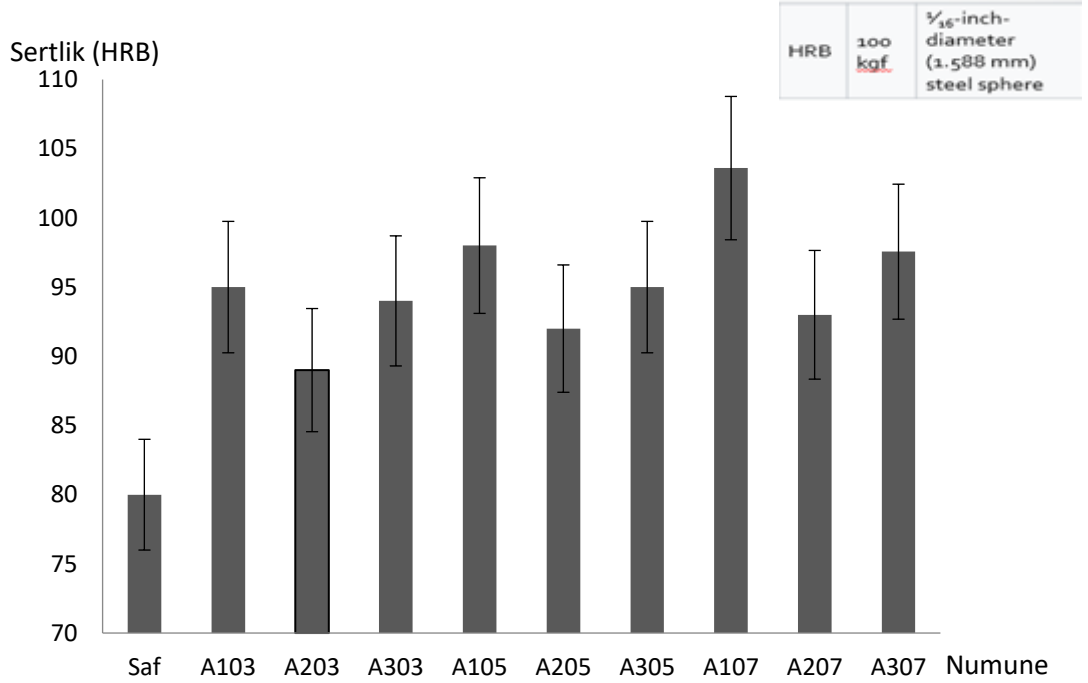


Şekil 4.14 7075 Al alaşımına A3(A1-Ti-B) tozunun ağırlıkça %0,7 ilaveli döküm mikroyapısı.

Kokil kalıba döküp üretilen numunelerde saf alüminyumda tane oluşumu olup yüzey fotoğraflarında herhangi bir dentritik görüntü göze çarpmamıştır. Bütün numuneler Keller Ayracı ile dağlanmış olup, A1, A3 numunelerinde tane sınırlarında Al_3Ti , TiB_2 intermetalikleri göze çarpmaktadır. A2’de Al-B yapısında bor alüminyumun tane sınırlarına yerleşerek kristal yapı içerisinde dağılmış ve daha küçük tanelerin oluşmasına yol açmıştır. A1, A2, A3’ün artan yüzdelerdeki aşılama miktarlarında tane inceltme oranlarının arttığı görülmektedir. A1 kodlu numunenin %0,3, %0,5, %0,7 oranında farklı miktarlardaki aşılama miktarları arttıkça tane boyutu 19,18,16 mikron olarak değişmiştir. A2 kodlu numunede titanyumsuz olduğu için %3 miktarda eklenen aşılama miktarına göre %0,5 ve %0,7 daha ince boyutta tane inceltmesi sağlamıştır çünkü %0,3 olan numunede tane boyutu 20 mikron iken %0,5 ve %0,7 de sırasıyla 19 ve 17 mikron olarak değişmiştir. İntermetalik fazlarının olduğu ya da alüminyum alaşımlarının az olduğu yerlerde beyaz benekler görülmektedir. Bu benekler dağlayıcıdan kalan pisliklerdir. Genel olarak bakıldığında tane inceltme verimi olarak B’lu aşılama miktarlarının verimi %60 ve üzeri olarak gerçekleşmiştir.

4.1.4 Sertlik Sonuçları

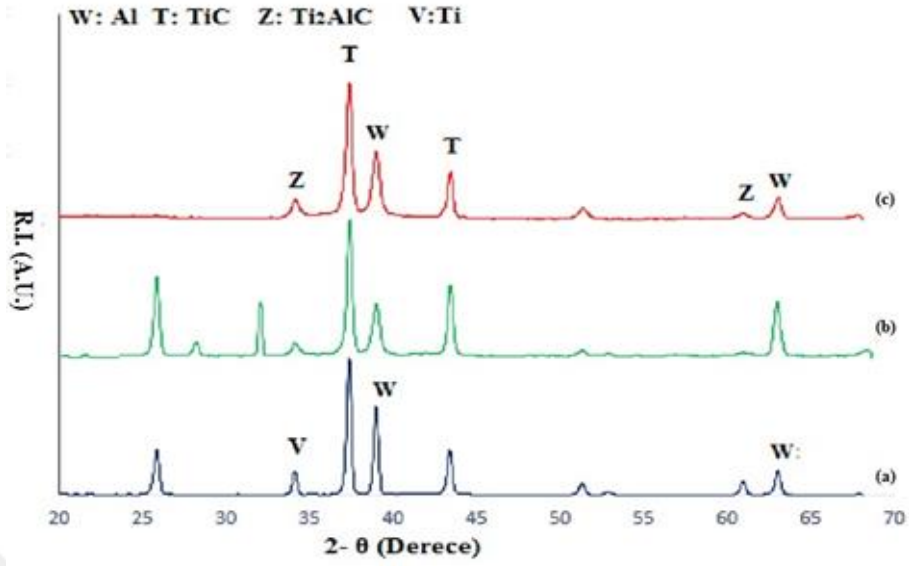
A1, A2 ve A3 kodlu numunelerin artan yüzde oranlardaki aşılایıcılar karşısındaki sertlik değeri verilerine göre genel olarak tane boyutu incelidikçe tane sınırları artacağından numunelerin sertlik ve mukavemet değeri bir artış görülmektedir. Grafiğe baktığımızda görüldüğü üzere Ti'suz ilave edilen tozların tane inceltme etkisi gösterdiği lakin B'lulara oranla sertlik değeri biraz daha az çıktığı görülmektedir. Ancak genel olarak bakıldığında bütün numunelerin sertlik değeri arttığı gözlemlenmiştir. Bunun nedeni intermetalik fazların alüminyum tane sınırlarına çökerek çözünmesi ve mekanik özelliklerinin yüksek çıkmasıdır.



Şekil 4.15 B'lu aşılایıcıların ağırlıkça farklı yüzdelerde tatbiki ile oluşan sertlik değeri.

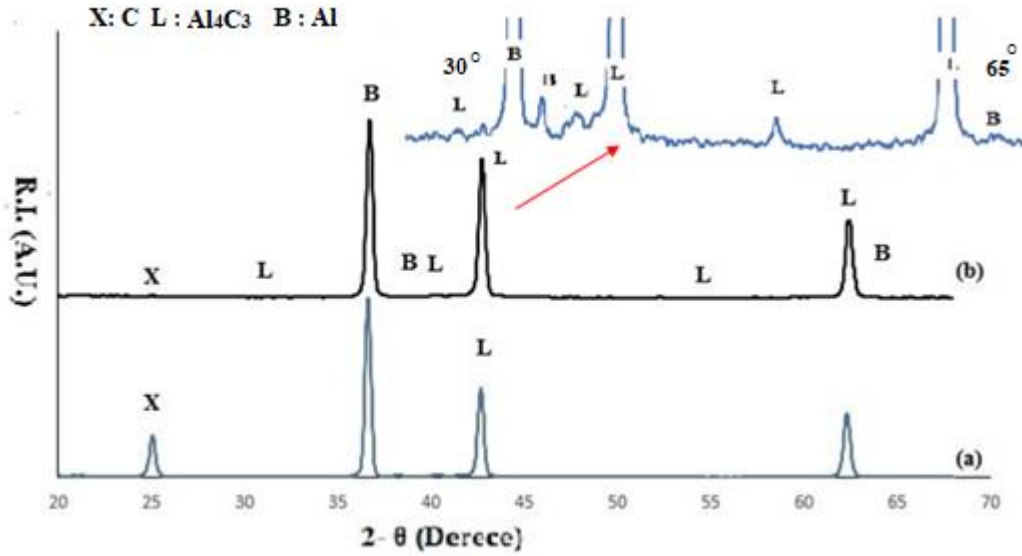
4.2 Karbonlu Aşılaiıcıların Etkisi

4.2.1 XRD Sonuçları



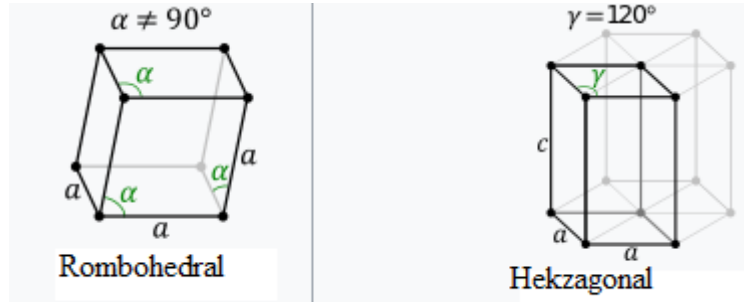
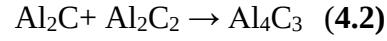
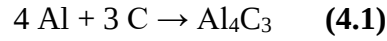
Şekil 4.16 A4($\text{AlTiC}_{0.5}$) tozunun; (a) Bilyalı değirmen Sonrası; (b) Gezegenel değirmenleme yapılmış tozun Kalsine öncesi; (c) Gezegenel değirmende öğütülmüş tozun kalsine sonrası XRD sonuçları.

Şekil 4.16'da Al-Ti-C oranı 2:2:1 olan A4 kodlu kompozisyonun 180 dk'da öğütülmüş XRD analizleri görülmektedir. Buna göre 39° 'de alüminyumun ana piki 45° ve 65° deki diğer pikleri ile görülmektedir. Yani ana yapı alüminyumlardır. Bunun yanında öğütmeden kaynaklı TiC ve Ti_2AlC yapıları eşlik etmektedir. 37° , 44° 'lerde TiC yapısı görülürken, Ti_2AlC tipi yapılar da $34,5^\circ$ ve 60° 'lerde ana çekirdekleyici olarak kendini göstermiştir. Bu yapıların ana malzemesi Al olarak kalmış ve döküm esnasında yapıya küçük tane boyutu ve amorfumsu özelliklerinden dolayı difüze olmaları beklenmiştir.



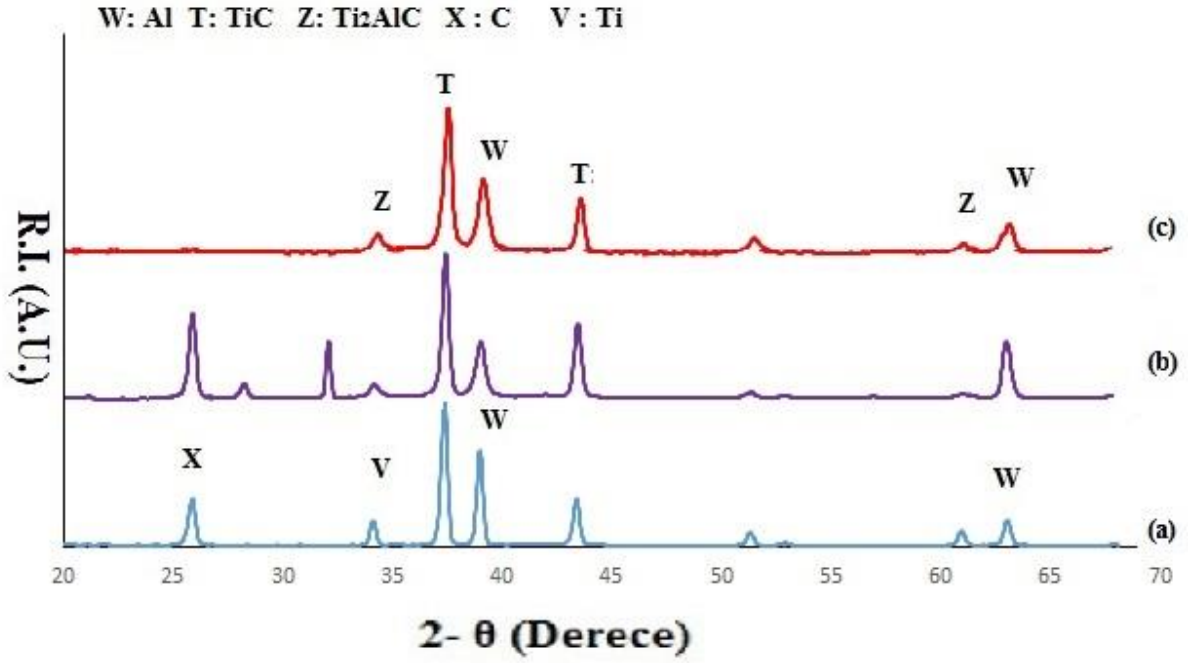
Şekil 4.17 A5(AlC) tozunun; (a) Gezegenel değirmenleme yapılmış tozun Kalsine öncesi; (b) Gezegenel değirmende öğütülmüş tozun kalsine sonrası XRD sonuçları.

Şekil 4.17’de Al-C oranı 2:1 olan A5 kodlu kompozisyonun 180 dk’da öğütülmüş XRD analizleri görülmektedir. Buna göre 39° ‘de alüminyumun ana piki 45° ve 65° deki diğer pikleri ile görülmektedir. Yapıya ilave edilen ve 25° 2θ’da karbon piki de görülmektedir. Yani ana yapı alüminyumlar ve eşlik eden alüminyum karbürlerdir (Al_4C_3). Al_4C_3 tipi yapılar da 31°, 40°, 43° ve 55°’lerde ana çekirdekleyici olarak kendini göstermiştir. Bu yapıların ana malzemesi Al olarak kalmış ve yapıya küçük tane boyutu ve amorfumsu özelliklerinden dolayı difüze olmaları beklenmiştir. Al_4C_3 ‘de kristal olarak büyük olmasının sebebi aşağıda açıklanmıştır.



Şekil 4.18 Rombohedral ve hekzagonal kristal yapısı.

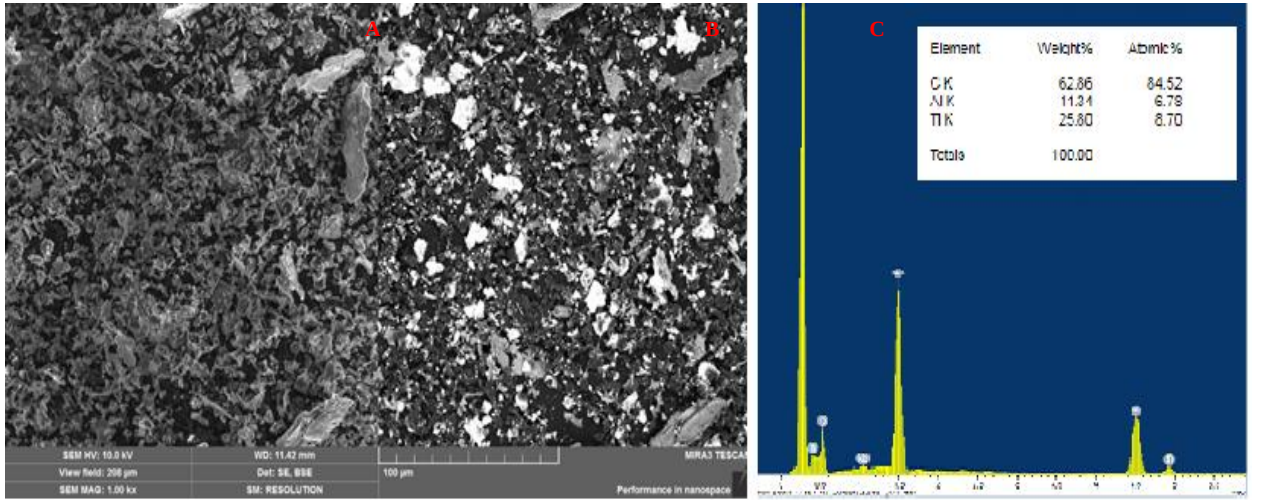
Al_2C ve Al_2C_2 ’den oluşan Al_4C_3 kristal yapısı rombohedral kristal yapısına sahiptir. Rombohedral kristal yapının 2 türü bunlar eşitlik 4.1 ve 4.2’de gösterilmiştir. Biri trigonal ve hekzagonal rombohedraldır. Hekzagonal rombohedral her 3 bölmesinden birisi trigonaldır. Trigonal kelimesinin anlamı açıları eşit olmayan fakat aynı kenar mesafelerine sahip olan kübik benzeri yapılara trigonal yapılar denmektedir. Bunların büyüme morfolojileri keskin köşelerin kenarlarına doğru olmaktadır. Yani hekzagonalin c ekseninde olmaktadır ya da trigonallerin düşük açılı kenarları üzerine doğru olmaktadır. Örneğin; Dolomit, kuarz kristalleride trigonal kristal yapıya sahiptir. Al_4C_3 de 90° ’den daha küçük ve daha büyük iki yapı olduğuna göre 90° ’den büyük açılarda alüminyum atomları birbirine daha yakın dolayısıyla aralarda yer alacak karbon atomları tetrahedralara girememektedir. Tetrahedralara yerleşemediği için daha büyük bir kristal yapı ve Al_4C_3 ün kristal yapısını bu yüzden büyük bir kristal yapı olarak değerlendirilmesi gerekir. Bunun termodinamik anlamı ise Al_4C_3 oluşturan iki kompleks yapının en sıkı pakette ve en düşük enerjilerde rombohedral veya trigonal dizilimi tercih etmesidir.



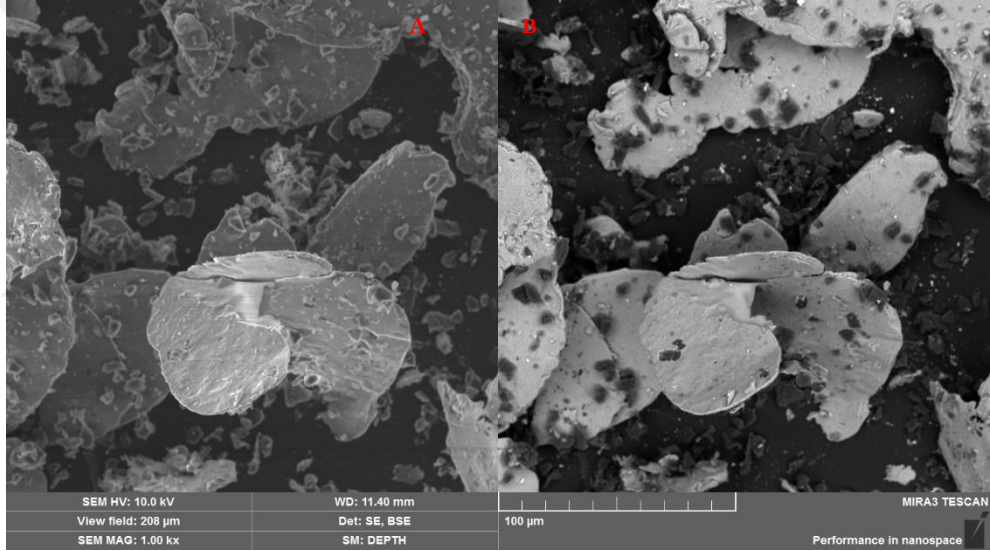
Şekil 4.19 A6(AlTiC) tozunun ;(a) Bilyalı değirmen Sonrası; (b) Gezegensel değirmenleme yapılmış tozun Kalsine öncesi; (c) Gezegensel değirmende öğütülmüş tozun kalsine sonrası XRD sonuçları.

Şekil 4.19’da Al-Ti-C oranı 2:2:2 olan A6 kodlu kompozisyonun 180 dk’da öğütülmüş XRD analizleri görülmektedir. Buna göre 39° ’de alüminyumun ana piki 45° ve 65° ’deki diğer pikleri ile görülmektedir. Yani ana yapı alüminyumlardır. Bunun yanında öğütmeden kaynaklı TiC ve Ti_2AlC yapıları eşlik etmektedir. 37° , 44° ’lerde TiC yapısı görülürken, Ti_2AlC tipi yapılar da $34,5^\circ$ ve 60° ’lerde ana çekirdekleyici olarak kendini göstermiştir. Bu yapıların ana malzemesi Al olarak kalmış ve döküm esnasında yapıya küçük tane boyutu ve amorfumsu özelliklerinden dolayı difüze olmaları beklenmiştir.

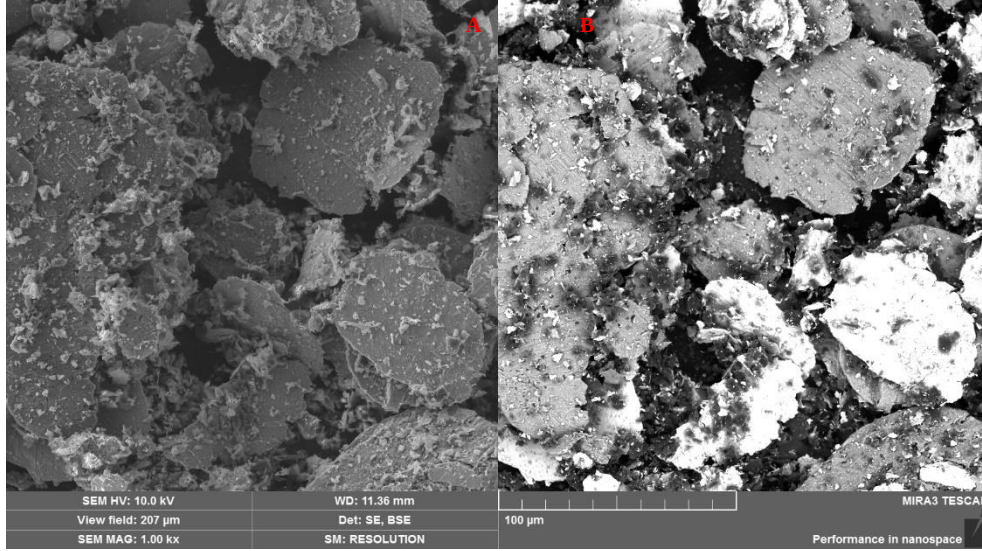
4.2.2 SEM Sonuçları



Şekil 4.20 A4(A11Ti1C0.5) mol oranına sahip değirmenlenmiş tozun SEM a) İkincil Elektron; b) Geri Saçınımlı Elektron görüntüleme fotoğrafı; c) EDS analizi.



Şekil 4.21 A5(AlC0.5) mol oranına sahip değirmenlenmiş tozun SEM a) İkincil Elektron; b) Geri Saçınımlı Elektron görüntüleme fotoğrafı.



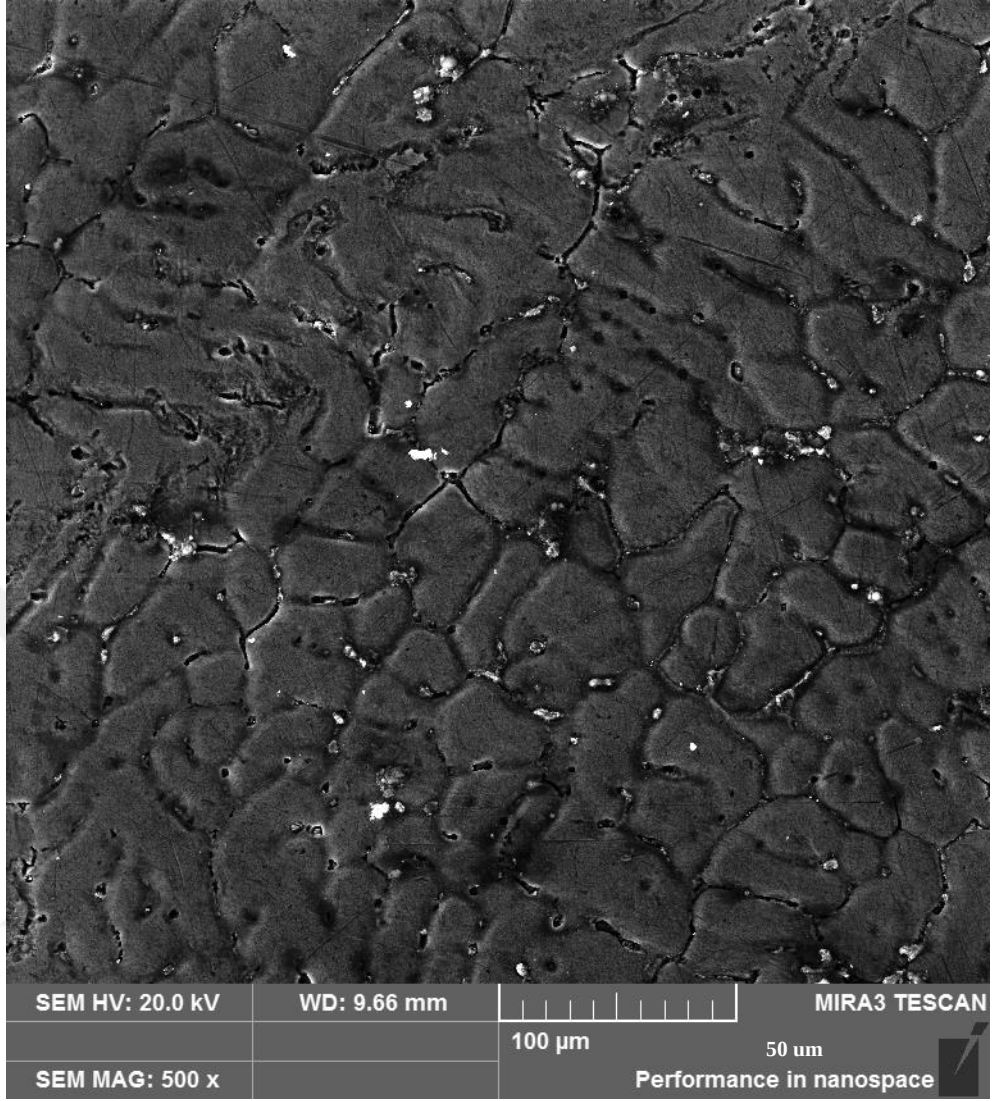
Şekil 4.22 A6(Al₁Ti₁C₁) mol oranına sahip değirmenlenmiş tozun SEM a) İkincil Elektron; b) Geri Saçınımlı Elektron görüntüleme fotoğrafı.

Şekil 4.20, Şekil 4.21 ve Şekil 4.22’de Al-Ti-C ve Al-C, 2:2:1,2:2:2 ve 2:1 oranlardaki kompozisyonlarındaki tozların gezegensel değirmende öğütülüp, 200C°’de kalsinasyon yapıldıktan sonraki SEM ve BSE fotoğrafları görülmektedir. Şekil 4.20, 4.22’de Al-Ti-C, Şekil 4.21’de ise Al-C kompozisyonlu tozun fotoğrafı görülmektedir. Tozların öğütmeden sonraki elektron mikroskobu görüntüsü yer almaktadır. Görüldüğü üzere yüksek enerjili kaplarda yani gezegensel değirmende öğütülen tozların Al tozlar üzerine birikmiş ve/veya tutunmuş Ti ve C tozları görülmektedir. En büyük boyutlu toz Al olduğu için genel görünüm Al tabanlı görülmektedir. Tabakalarda görüldüğü üzere deforme olmuş alüminyumlarla birlikte yüzeye tutunmuş Ti-C yapıları görülmektedir. A4 ve A6 kodlu numunelerde titanyum mevcuttur. Titanyum HSP ve sert karakterinden kaynaklı deforme olmamış ve küçük tozlar halinde beyaz olarak yapıya dağılmıştır. Daha keskin köşeli ve kırıklı yapısından dolayı titanyumlar alüminyumları yırtıp keserek daha da küçük plaka ve levha haline getirdiği görülmektedir. Bununla birlikte Şekil 4.21’de görülen A5 kodlu tozda titanyum olmadığı ve alüminyum üzerine biriken C yapılarını görmekteyiz. Alüminyum otojen türünden öğütme ve bilyelerin darbe etkisiyle titanyumların yokluğu ile daha büyük levhasal parçacıklar halinde görülmektedir. Bununla birlikte C’ nun yüksek sıcaklık ve basınç koşullarında bir miktar bozulduğu ve grafit dönüşme ihtimali göz önünde bulundurulursa tabakalar arası yağlayıcı gibi davranıp deformasyonda yüzey şekillerini pürüzsüz tutması olasıdır. 2:2:1 ve 2:2:2 oranını EDS analizine bakıldığında da aynı olduğu görülmektedir. Şekil 30 ve 32 ‘de AlTi₂C, TiC

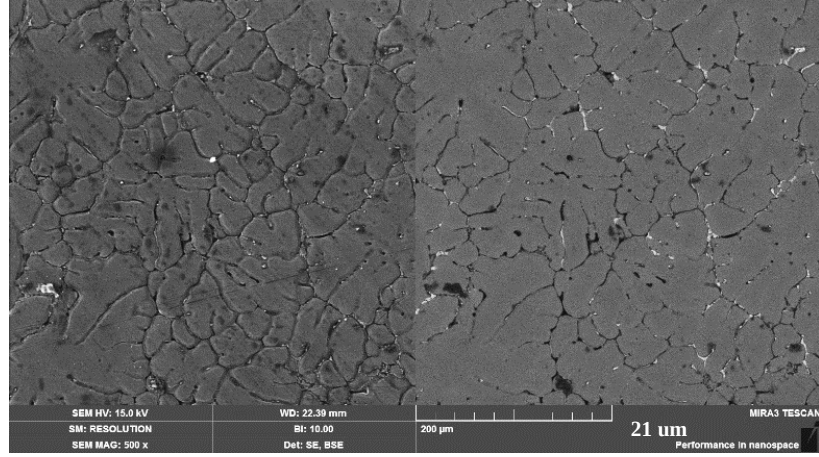
yapılarının oluştuğu şekil 4.21’de ise Al_4C_3 yapılarının oluştuğu XRD analizinde’de benzer şekilde görüldüğu üzere düşünölmektedir.



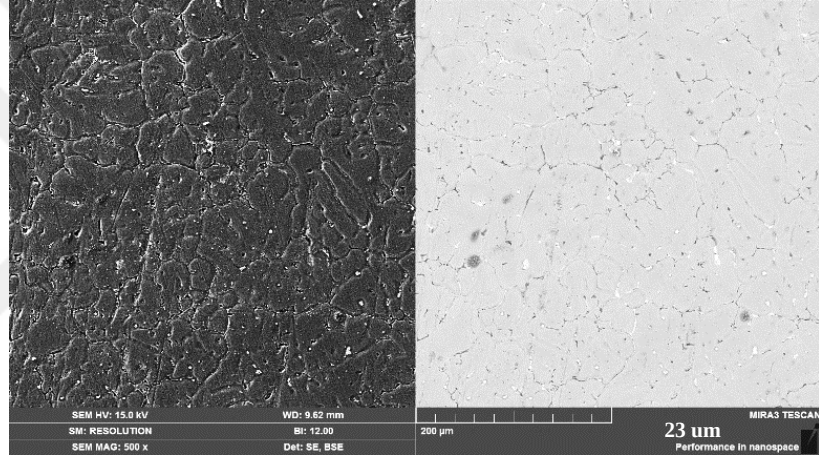
4.2.3 Mikro Yapı Analizleri ve Sonuçları



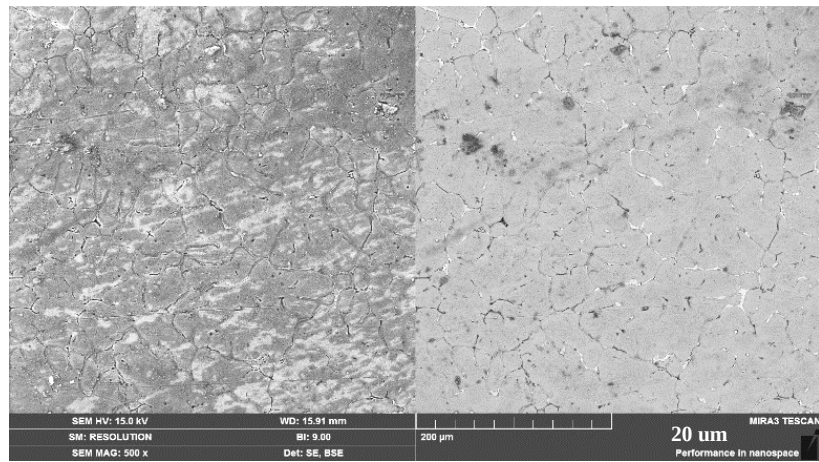
Şekil 4.23 Saf Döküm Fotoğrafı.



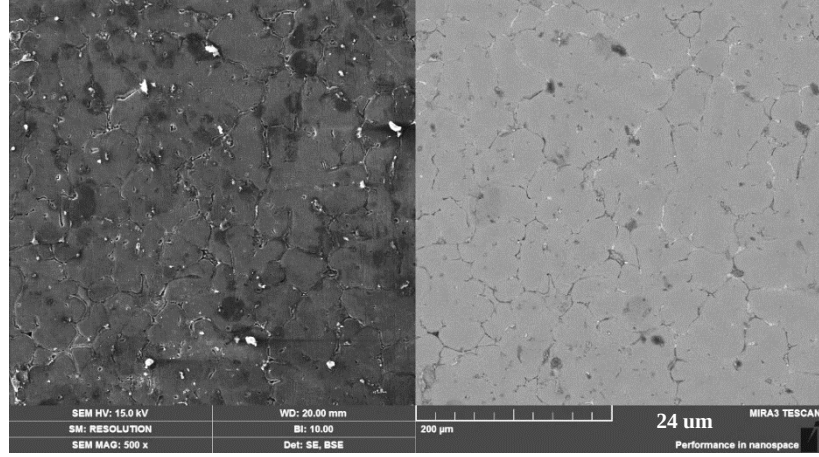
Şekil 4.24 7075 Al alaşımına A4($\text{AlTiC}_{0,5}$) tozunun ağırlıkça %0,3 ilaveli döküm mikroyapısı.



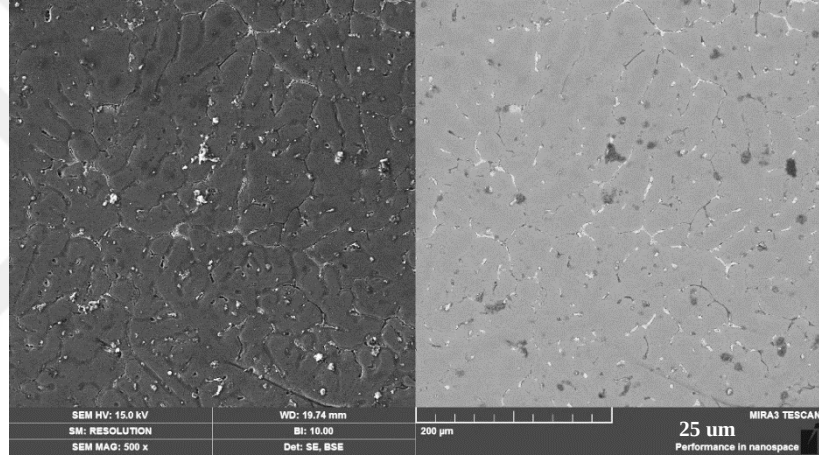
Şekil 4.25 7075 Al alaşımına A5(AlC) tozunun ağırlıkça %0,3 ilaveli döküm mikroyapısı.



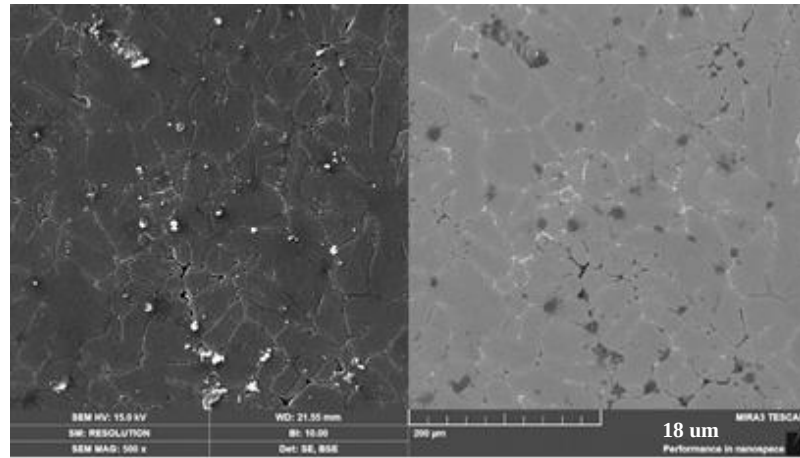
Şekil 4.26 7075 Al alaşımına A6(AlTiC) tozunun ağırlıkça %0,3 ilaveli döküm mikroyapısı.



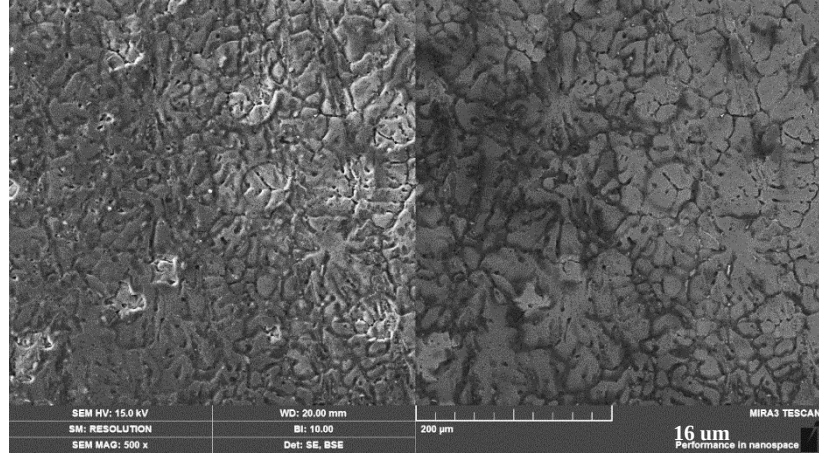
Şekil 4.27 7075 Al alaşımına A4($\text{AlTiC}_{0.5}$) tozunun ağırlıkça %0,5 ilaveli döküm mikroyapısı.



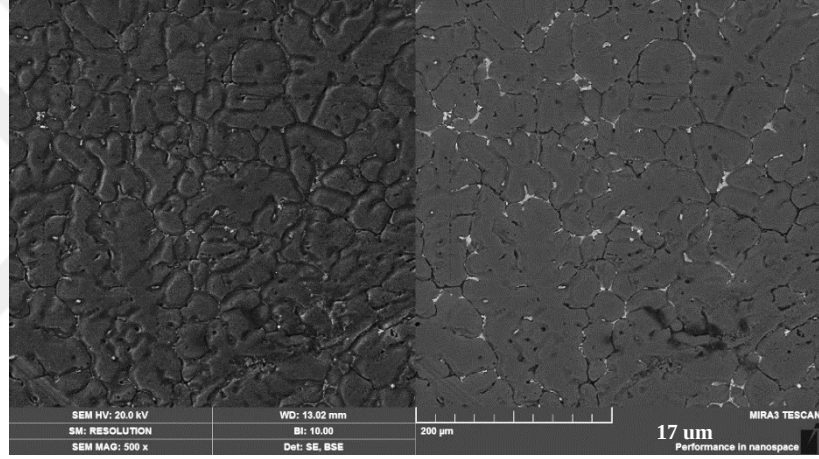
Şekil 4.28 7075 Al alaşımına A5(AlC) tozunun ağırlıkça %0,5 ilaveli döküm mikroyapısı.



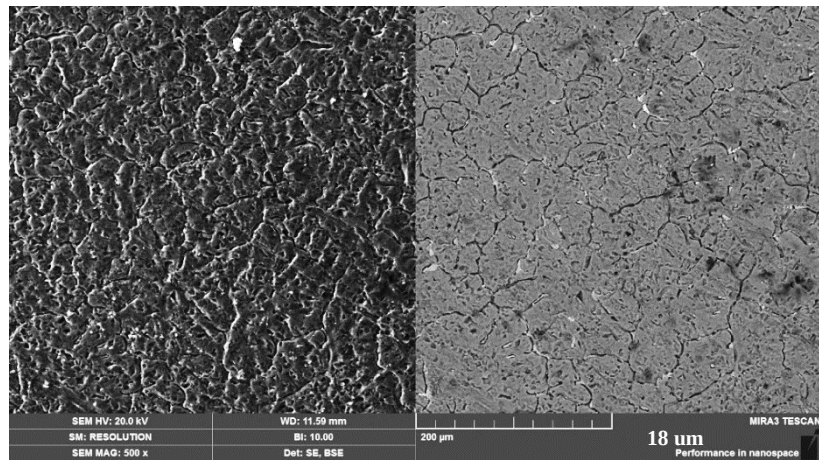
Şekil 4.29 7075 Al alaşımına A6(AlTiC) tozunun ağırlıkça %0,5 ilaveli döküm mikroyapısı.



Şekil 4.30 7075 Al alaşımına A4($\text{AlTiC}_{0,5}$) tozunun ağırlıkça %0,7 ilaveli döküm mikroyapısı.



Şekil 4.31 7075 Al alaşımına A5(AlC) tozunun ağırlıkça %0,7 ilaveli döküm mikroyapısı.

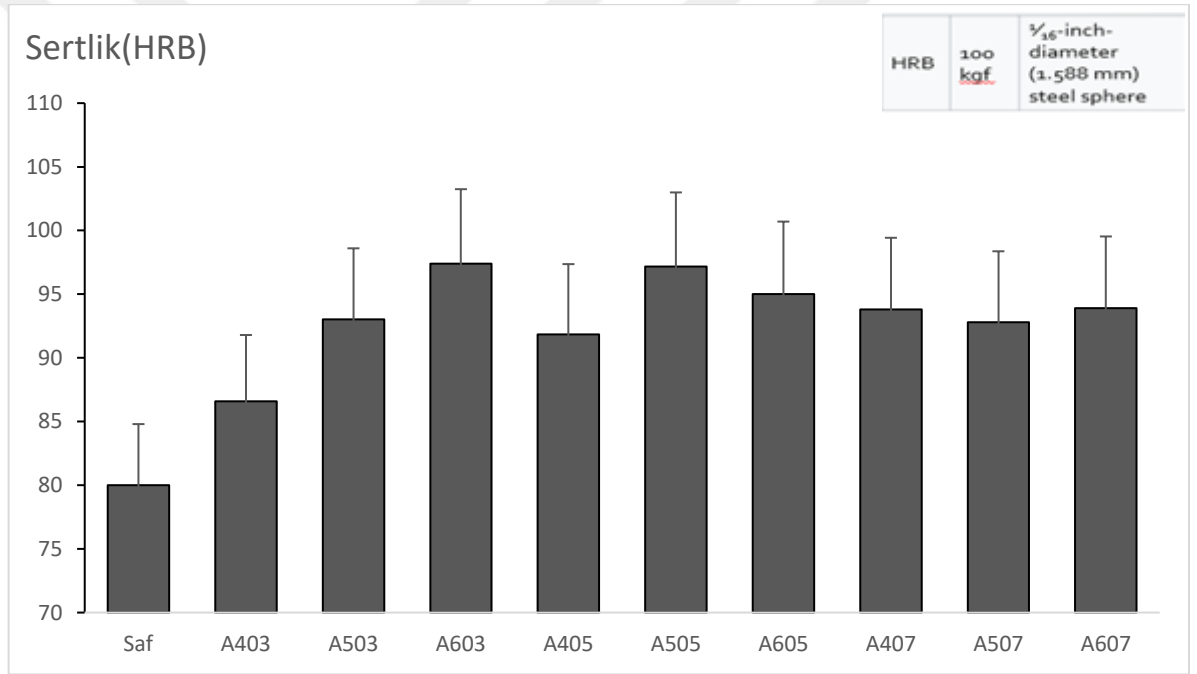


Şekil 4.32 7075 Al alaşımına A6(AlTiC) tozunun ağırlıkça %0,7 ilaveli döküm mikroyapısı.

Kokil kalıba döküp üretilen numunelerde saf alüminyumda tane oluşumu olup yüzey fotoğraflarında herhangi bir dentritik görüntü göze çarpmamıştır. Bütün numuneler Keller Ayracı ile dağlanmış olup, A4, A6 numunelerinde tane sınırlarında Ti_2AlC , TiC intermetalikleri göze çarpmaktadır. A5’de Al-B yapısında karbon alüminyumun tane sınırlarına yerleşerek Al_4C_3 intermetaliklerinin kristal yapı içerisinde dağılmış ve daha küçük tanelerin oluşmasına yol açmıştır. A4, A5, A6’nın artan yüzdelerdeki aşılایıcı miktarlarında tane inceltme oranlarının arttığı görülmektedir. A1 kodlu numunenin %0,3, %0,5, %0,7 oranında farklı miktarlardaki aşılایıcıların oranları arttıkça tane boyutu 21,24,16 mikron olarak değişmiştir. A2 kodlu numunede titanyumsuz olduğu için %0,3, %0,5, %0,7 oranında tozun artışına karşılık tane boyutu 23,25,17 mikron olarak değişmiştir. Sadece %0,7’lik numunelerde artan oranlarda tane sayısındaki artış doğrudan gerçekleşmiştir. Genel anlamda saf numuneye kıyasla tane inceltme gerçekleşmiştir. İntermetalik fazlarının olduğu ya da alüminyum alaşımlarının az olduğu yerlerde beyaz benekler görülmektedir. Bu benekler dağlayıcıdan kalan pisliklerdir. Genel olarak bakıldığında tane inceltme verimi olarak C’lu aşılایıcıların verimi %50 ve üzeri olarak gerçekleşmiştir.

4.2.4 Sertlik Sonuçları

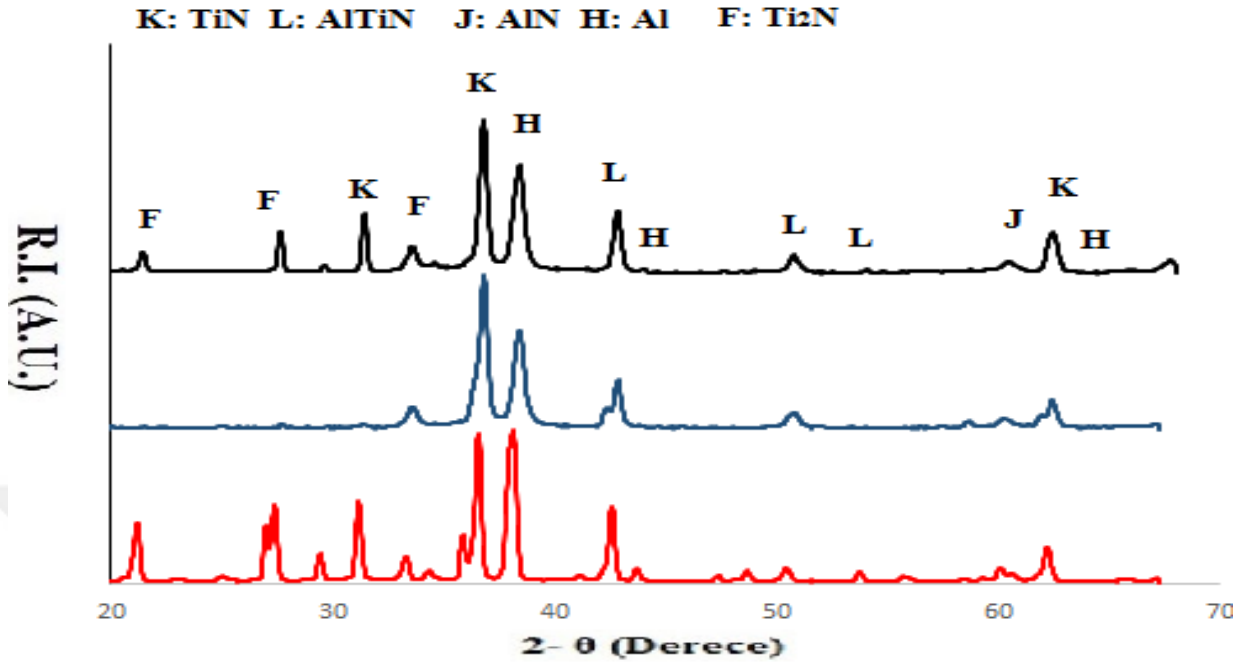
A4, A5 ve A6 kodlu numunelerin artan yüzde oranlardaki aşılایıcılar karşısındaki sertlik değeri verilerine göre genel olarak tane boyutu inceldikçe tane sınırları artacağından numunelerin sertlik ve mukavemet değeri bir artış görülmektedir. Grafiğe baktığımızda görüldüğü üzere Ti'suz ilave edilen tozların tane inceltme etkisi %0,3, %0,5, %0,7'liklerde yüksektir. Ti'lu ilave edilen tozlara baktığımızda ise artan oranlarda sertlik miktarının arttığı ve %0,5 ve %0,7 oranlarda ilave edilen tozların daha başarılı sertlik değeri çıkardığı görülmektedir. Ancak genele baktığımızda bütün numunelerin sertlik değeri arttığı gözlemlenmiştir. Bunun nedeni intermetalik fazların alüminyum tane sınırlarına çökelerek çözünmesi ve mekanik özelliklerinin yüksek çıkmasıdır.



Şekil 4.33 C'lu aşılایıcıların ağırlıkça farklı yüzdelerde tatbiki ile oluşan sertlik değeri.

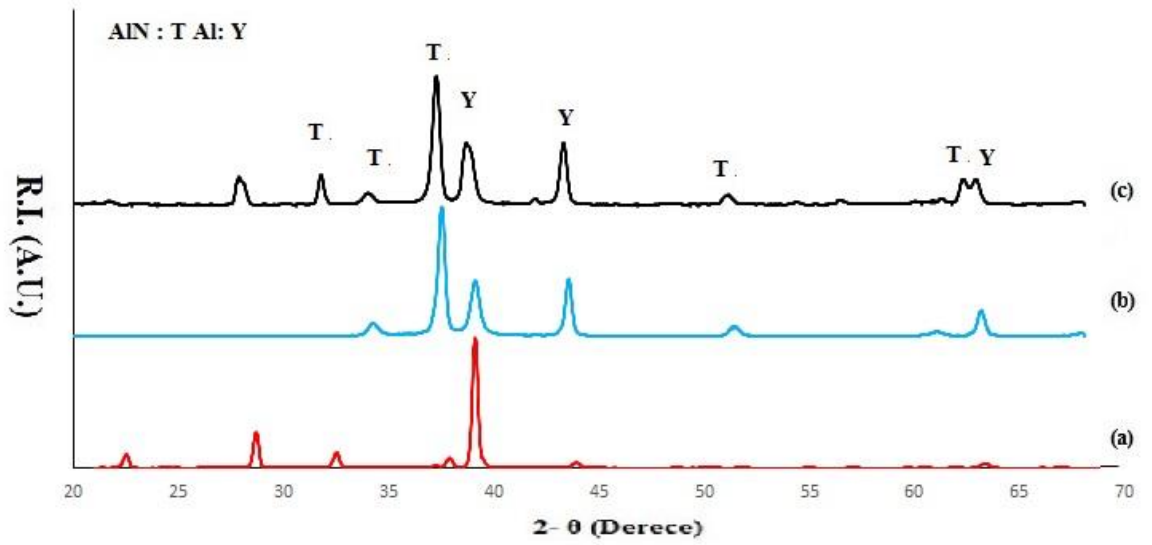
4.3 N'lu Aşlayıcıların Etkisi

4.3.1 XRD Sonuçları



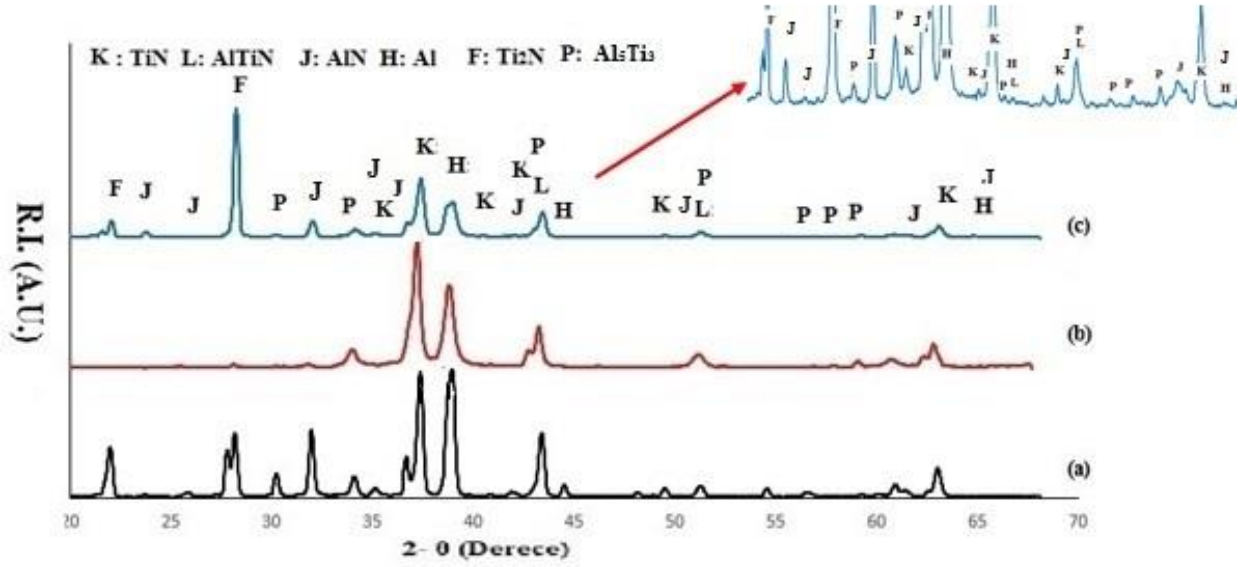
Şekil 4.34 A7(Al-Ti-N_{0,5}) tozunun; (a)Bilyalı değirmen Sonrası; (b)Gezegensel değirmenleme yapılmış tozun Kalsinasyon öncesi; (c)Gezegensel değirmende öğütülmüş tozun kalsine sonrası XRD sonuçları.

Şekil 4.34 'de görülen Al-Ti-N oranı 2:2:1 olan A7 kodlu kompozisyonun 180 dk'da öğütülmüş XRD analizleri görülmektedir. Buna göre 39° 'de alüminyumun ana piki 45° ve 65° deki diğer pikleri ile görülmektedir. Yani ana yapı alüminyumlardır. Bunun yanında öğütmeden kaynaklı TiN, AlN, AlTiN ve Ti₂N yapıları eşlik etmektedir. 35°, 44°, 50°'lerde TiN yapısı görülürken, AlTiN tipi yapılar da 46°, 53° ve 55°'lerde ve 22°, 28°, 37° ana çekirdekleyici olarak kendini göstermiştir. Bu yapıların ana malzemesi Al olarak kalmış ve döküm esnasında yapıya küçük tane boyutu ve amorfumsu özelliklerinden dolayı difüze olmaları beklenmiştir.



Şekil 4.35 A8(Al-N) tozunun; (a)Bilyalı değirmen Sonrası; (b)Gezegensel değirmenleme yapılmış tozun Kalsinasyon öncesi; (c)Gezegensel değirmende öğütülmüş tozun kalsine sonrası XRD sonuçları.

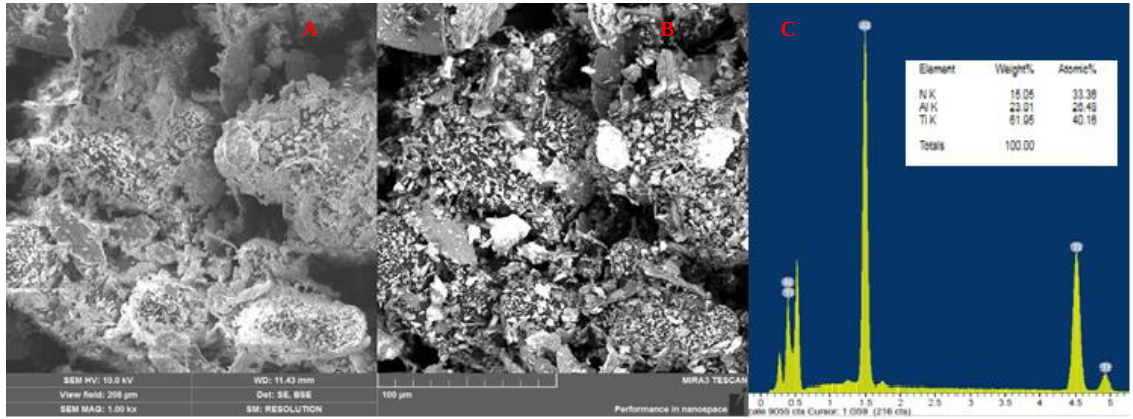
Şekil 4.35 ‘de görülen Al-N oranı 2:2 olan A8 kodlu kompozisyonun 180 dk’da öğütülmüş XRD analizleri görülmektedir. Buna göre 39° ‘de alüminyumun ana piki 45° ve 65° deki diğer pikleri ile görülmektedir. Yani ana yapı alüminyumlardır. Bunun yanında öğütmeden kaynaklı AlN yapısı eşlik etmektedir. 33°, 34°, 37°, 52°,63°’lerde AlN yapısı ana çekirdekleyici olarak kendini göstermiştir. Bu yapıların ana malzemesi Al olarak kalmış ve döküm esnasında yapıya küçük tane boyutu ve amorfumsu özelliklerinden dolayı difüze olmaları beklenmiştir.



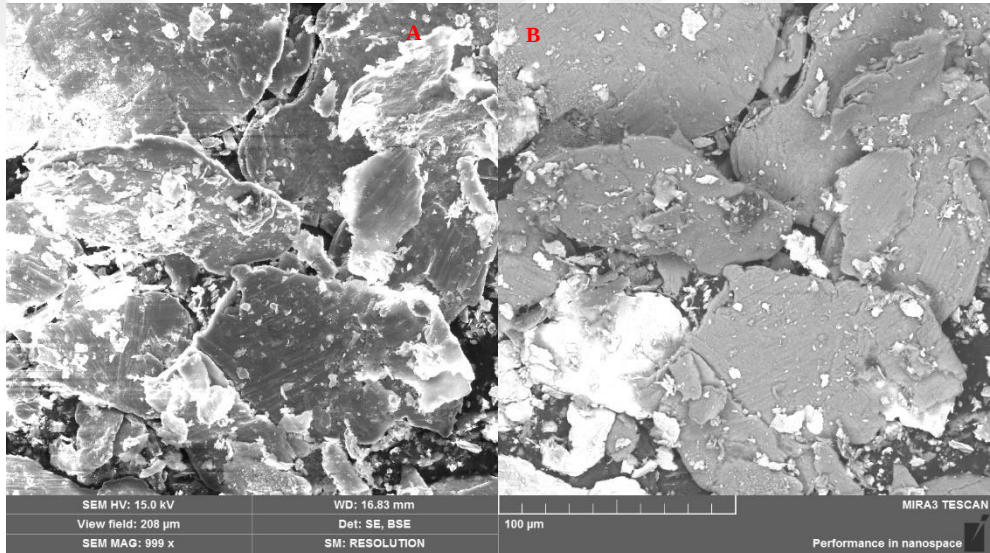
Şekil 4.36 A9(Al-Ti-N) tozunun; (a)Bilyalı değirmen Sonrası; (b)Gezegensel değirmenleme yapılmış tozun Kalsinasyon öncesi; (c)Gezegensel değirmende öğütülmüş tozun kalsine sonrası XRD sonuçları.

Şekil 4.36’da görülen Al-Ti-N oranı 1:1:1 olan A9 kodlu kompozisyonun 180 dk’da öğütülmüş XRD analizleri görülmektedir. Buna göre 39° ‘de alüminyumun ana piki 45° ve 65° deki diğer pikleri ile görülmektedir. Yani ana yapı alüminyumlardır. Bunun yanında öğütmeden kaynaklı TiN, AlN, AlTiN, Ti_2N ve N yapıları eşlik etmektedir. 35° , 44° , 50° ’lerde TiN yapısı görülürken, AlTiN tipi yapılar da 46° , 53° ve 55° ’lerde ve 22° , 28° , 37° ana çekirdekleyici olarak kendini göstermiştir. 34° , 44° , 51° , 52° , 55° , 56° ve 58° ‘lerde Al_5Ti_3 pikleri görülmektedir. Bu yapıların ana malzemesi Al olarak kalmış ve döküm esnasında yapıya küçük tane boyutu ve amorfumsu özelliklerinden dolayı difüze olmaları beklenmiştir.

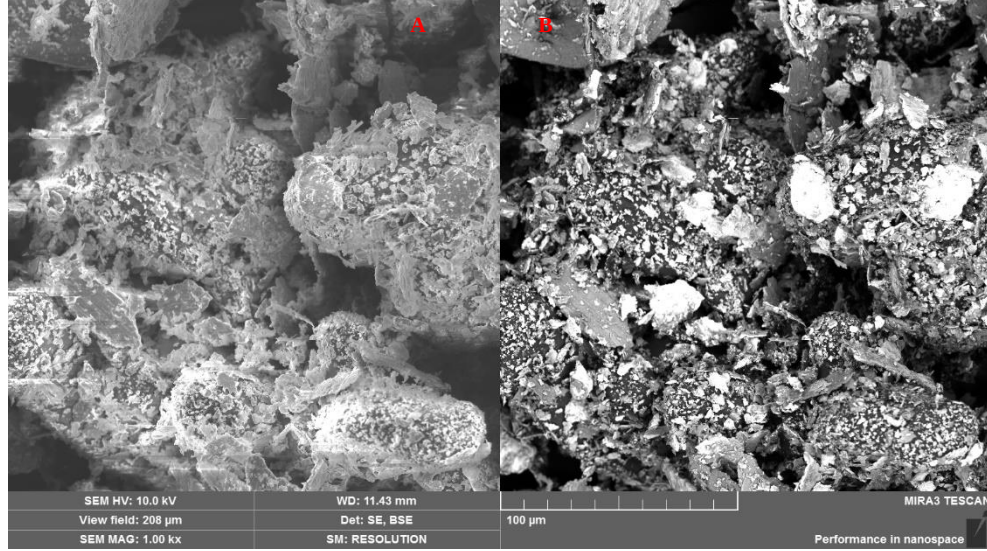
4.3.2 SEM Sonuçları



Şekil 4.37 A7($\text{Al}_1\text{Ti}_1\text{N}_{0.5}$) mol oranına sahip değirmenlenmiş tozun SEM a) İkincil Elektron; b) Geri Saçınımlı Elektron görüntüleme fotoğrafı; c) EDS analizi.



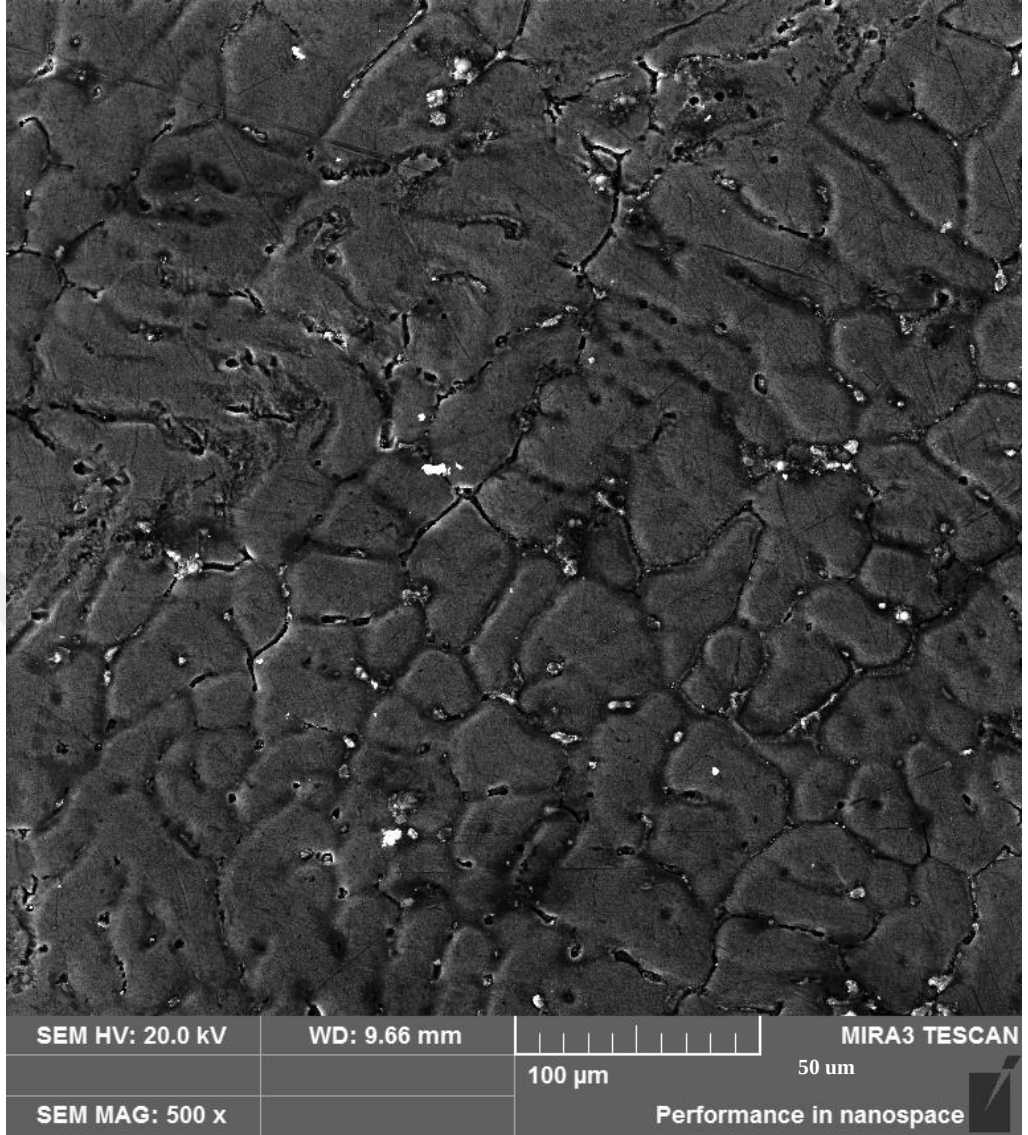
Şekil 4.38 A8 ($\text{AlN}_{0.5}$) mol oranına sahip değirmenlenmiş tozun SEM a) İkincil Elektron; b) Geri Saçınımlı Elektron görüntüleme fotoğrafı.



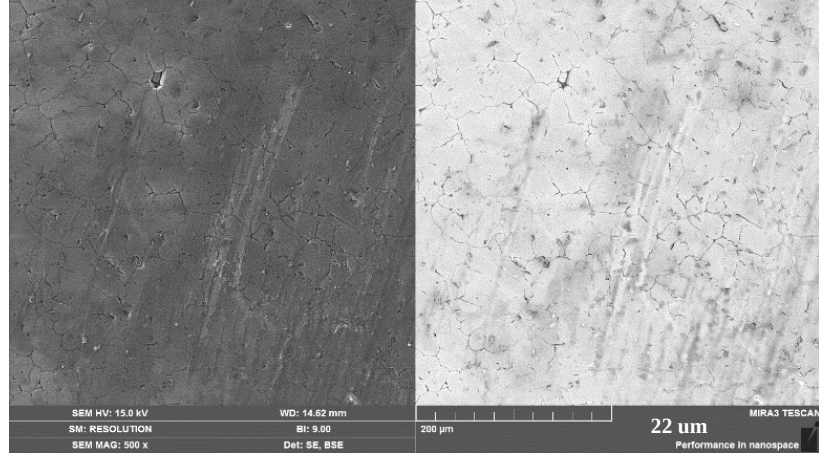
Şekil 4.39 A9(AlTiN) mol oranına sahip değirmenlenmiş tozun SEM a) İkincil Elektron; b) Geri Saçınımlı Elektron görüntüleme fotoğrafı.

Şekil 4.37, Şekil 4.38 ve Şekil 4.39 ‘da Al-Ti-N ve Al-N, 2-2-1,2-2-2 ve 2-1 oranlardaki kompozisyonlarındaki tozların gezegensel değirmende öğütülüp, 200 C°’ de kalsinasyon yapıldıktan sonraki SEM ve BSE fotoğrafları görülmektedir. Şekil 4.37, Şekil 4.39’da Al-Ti-N, Şekil 4.38 ‘de ise Al-N kompozisyonlu tozun fotoğrafı görülmektedir. Gezegensel değirmende öğütülen tozların tabakalar halinde aglomerasyon olduğu ve Al-Ti-N ve Al-N bileşiklerinde tabakaların üretildiği görülmektedir. Yüksek enerjili kaplarda yani gezegensel değirmende öğütülen tozların Al tozlar üzerine birikmiş ve/veya tutunmuş Ti ve N tozları görülmektedir. En büyük boyutlu toz Al olduğu için genel görünüm Al tabanlı görülmektedir. Tabakalarda görüldüğü üzere deforme olmuş alüminyumlarla birlikte yüzeye tutunmuş Ti-N yapıları görülmektedir. A7 ve A9 kodlu numunelerde titanyum mevcuttur. Titanyum HSP ve sert karakterinden kaynaklı deforme olmamış ve küçük tozlar halinde beyaz olarak yapıya dağılmıştır. Daha keskin köşeli ve kırıklı yapısından dolayı titanyumlar alüminyumları yırtıp keserek daha da küçük plaka ve levha haline getirdiği görülmektedir. Bununla birlikte Şekil 4.38’de görülen A8 kodlu tozda titanyum olmadığı ve alüminyum üzerine biriken N yapılarını görmekteyiz. Alüminyum otojen türünden öğütme ve bilyelerin darbe etkisiyle titanyumların yokluğu ile daha büyük levhasal parçacıklar halinde görülmektedir. 2-2-1 ve 2-2-2 oranını EDS analizine baktığımızda yaklaşık aynı oranlarda olduğu ve AlTi₂N, TiN, Ti₂N, AlTiN yapılarının olduğu XRD analizinde’de benzer şekilde görüldüğü üzere düşünülmektedir.

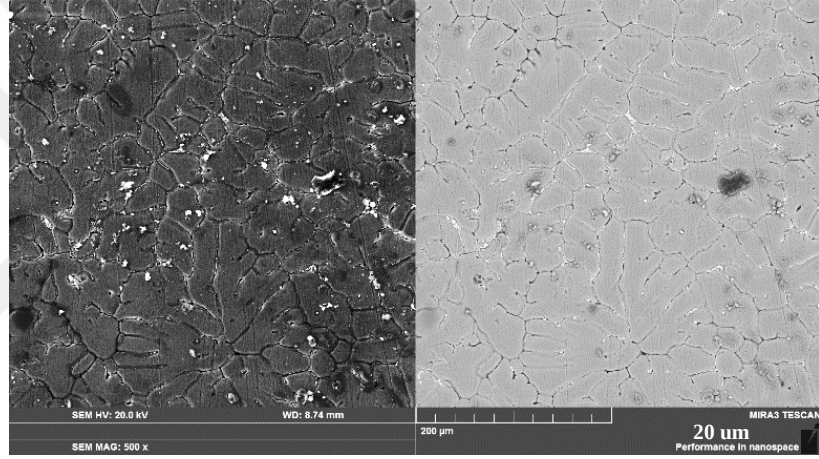
4.3.3 Mikro Yapı Analizleri ve Sonuçları



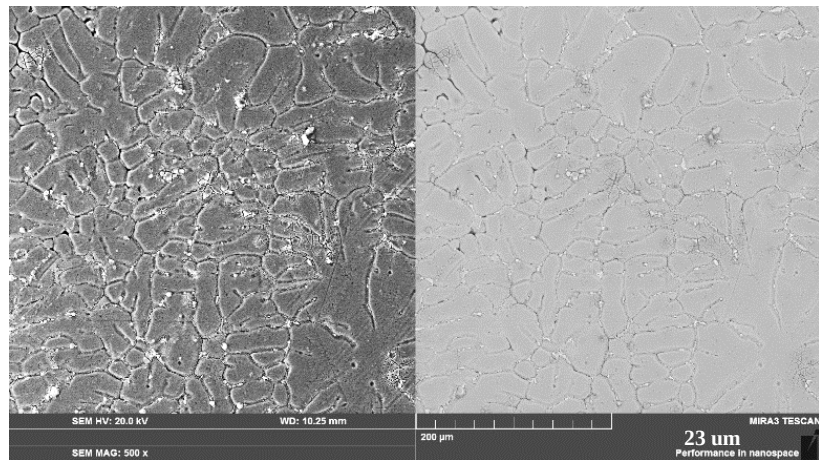
Şekil 4.40 Saf Döküm Fotoğrafı.



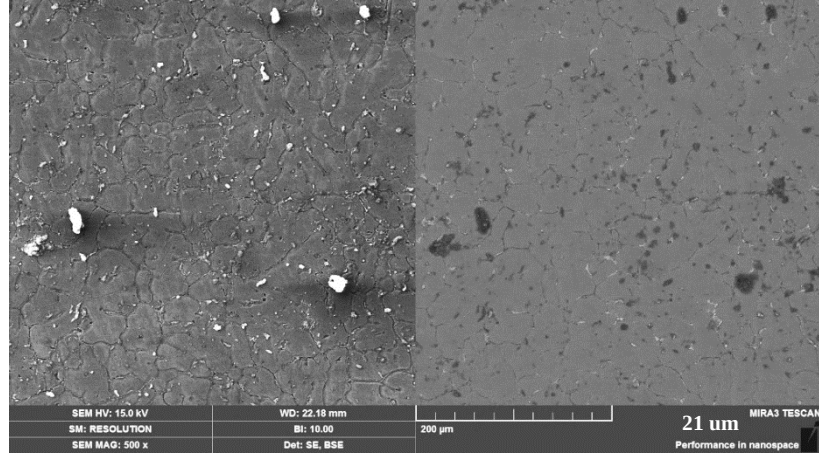
Şekil 4.41 7075 Al alaşımına A7($\text{AlTiN}_{0,5}$) tozunun ağırlıkça %0,3 ilaveli döküm mikroyapısı.



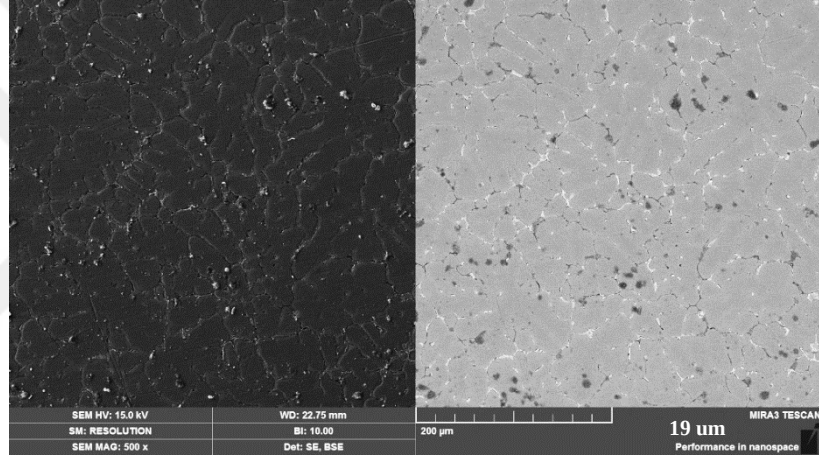
Şekil 4.42 7075 Al alaşımına A8(AlN) tozunun ağırlıkça %0,3 ilaveli döküm mikroyapısı.



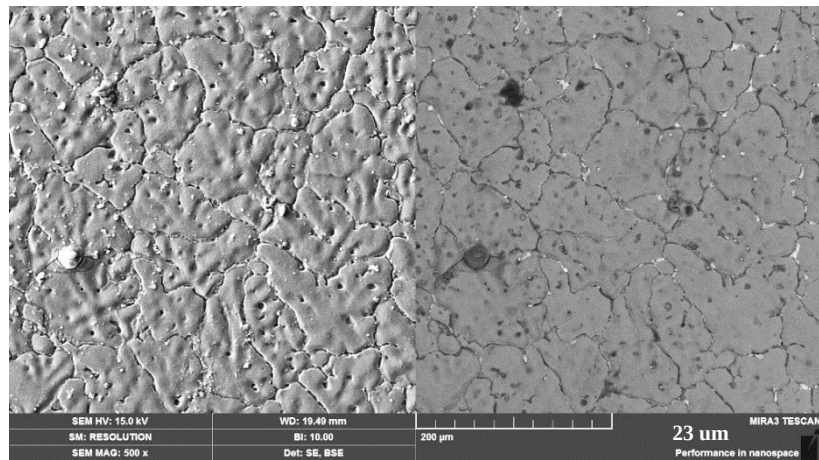
Şekil 4.43 7075 Al alaşımına A9(AlTiN) tozunun ağırlıkça %0,3 ilaveli döküm mikroyapısı.



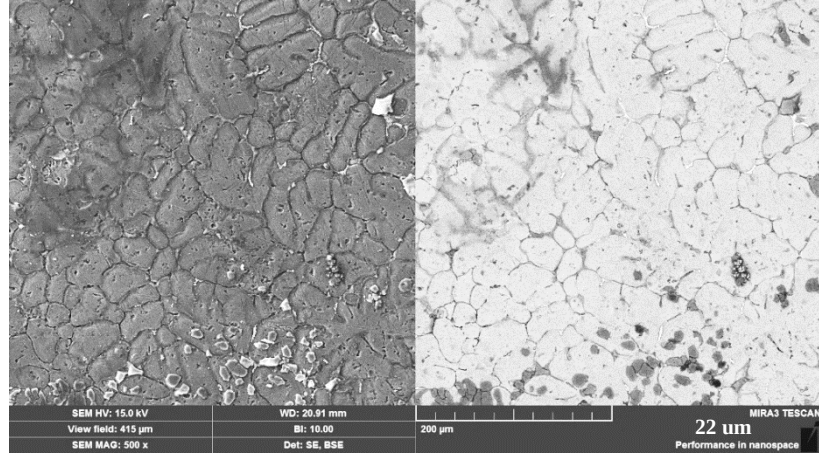
Şekil 4.44 7075 Al alaşımına A7($\text{AlTiN}_{0.5}$) tozunun ağırlıkça %0,5 ilaveli döküm mikroyapısı.



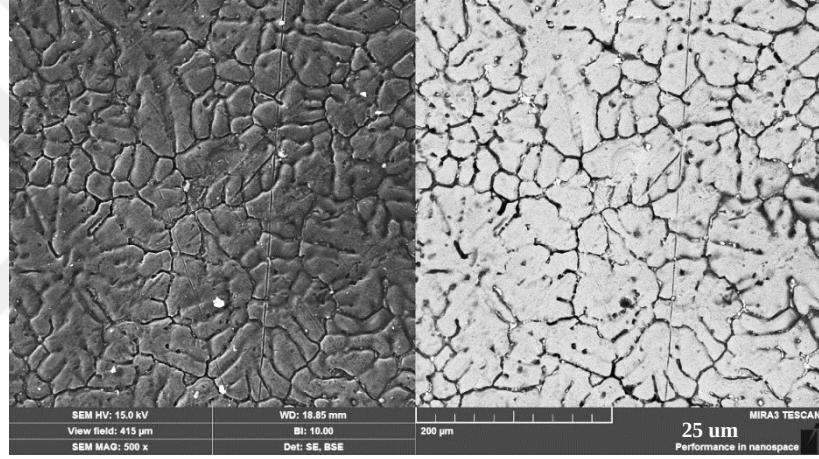
Şekil 4.45 7075 Al alaşımına A8(AlN) tozunun ağırlıkça %0,5 ilaveli döküm mikroyapısı.



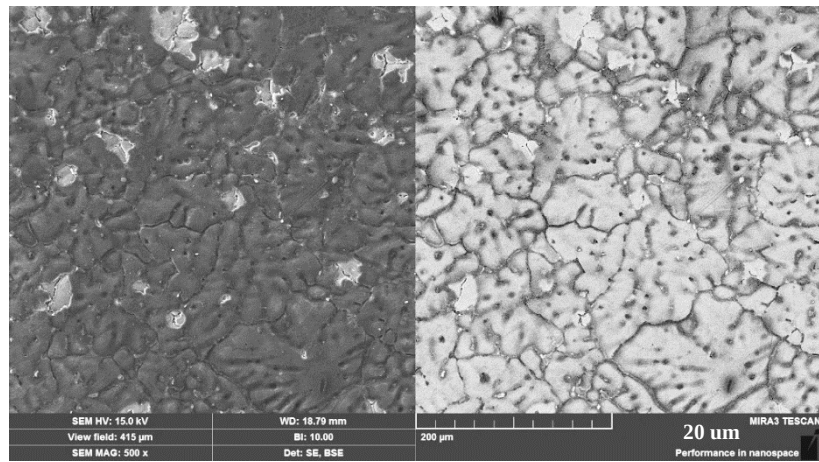
Şekil 4.46 7075 Al alaşımına A9(AlTiN) tozunun ağırlıkça %0,5 ilaveli döküm mikroyapısı.



Şekil 4.47 7075 Al alaşımına A7($\text{AlTiN}_{0,5}$) tozunun ağırlıkça %0,7 ilaveli döküm mikroyapısı.



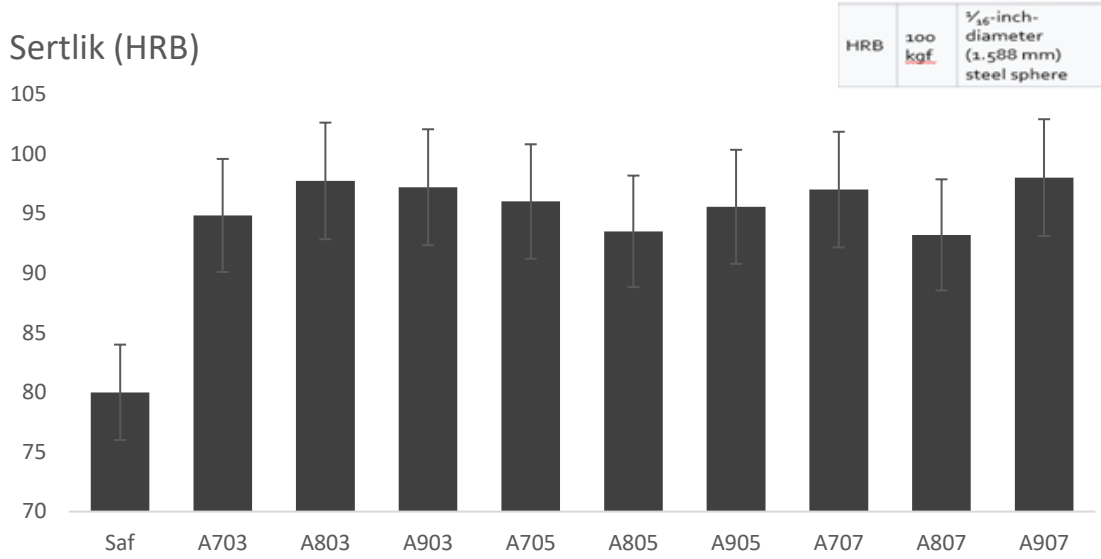
Şekil 4.48 7075 Al alaşımına A8(AlN) tozunun ağırlıkça %0,7 ilaveli döküm mikroyapısı.



Şekil 4.49 7075 Al alaşımına A9(AlTiN) tozunun %0,7 ilaveli döküm mikroyapısı.

Kokil kalıba döküp üretilen numunelerde saf alüminyumda tane oluşumu olup yüzey fotoğraflarında herhangi bir dentritik görüntü göze çarpmamıştır. Bütün numuneler Keller Ayracı ile dağlanmış olup, A7, A9 numunelerinde tane sınırlarında AlTiN, Ti₂AlC, intermetalikleri göze çarpmaktadır. A8’de Al-N yapısında azot alüminyumun tane sınırlarına yerleşerek AlN, TiN, Ti₂N, intermetaliklerinin kristal yapı içerisinde dağılmış ve daha küçük tanelerin oluşmasına yol açmıştır. A7, A8, A9’un artan yüzdelerdeki aşılama miktarlarında tane inceltme oranlarında çok fazla fark görülmemektedir. A7 kodlu numunenin %0,3, %0,5, %0,7 oranında farklı miktarlardaki aşılama oranları arttıkça tane boyutu 22,21,22 mikron olarak değişmiştir. A8 kodlu numunede titanyumsuz olduğu için %0,3, %0,5, %0,7 oranında tozun artışına karşılık tane boyutu 20,19,25 mikron olarak değişmiştir. A9 kodlu numunede de %0,3, %0,5, %0,7 oranlarında artan aşılama oranlarına karşılık tane sayısı 23,23 20 olarak kalmıştır. Genel anlamda saf numuneye kıyasla tane inceltme gerçekleşmiştir. İntermetalik fazlarının olduğu ya da alüminyum alaşımlarının az olduğu yerlerde beyaz benekler görülmektedir. Bu benekler dağlayıcıdan kalan pisliklerdir. Genel olarak bakıldığında tane inceltme verimi olarak N’lu aşılama oranlarının verimi %50 ve üzeri olarak gerçekleşmiştir.

4.3.4 Sertlik Sonuçları



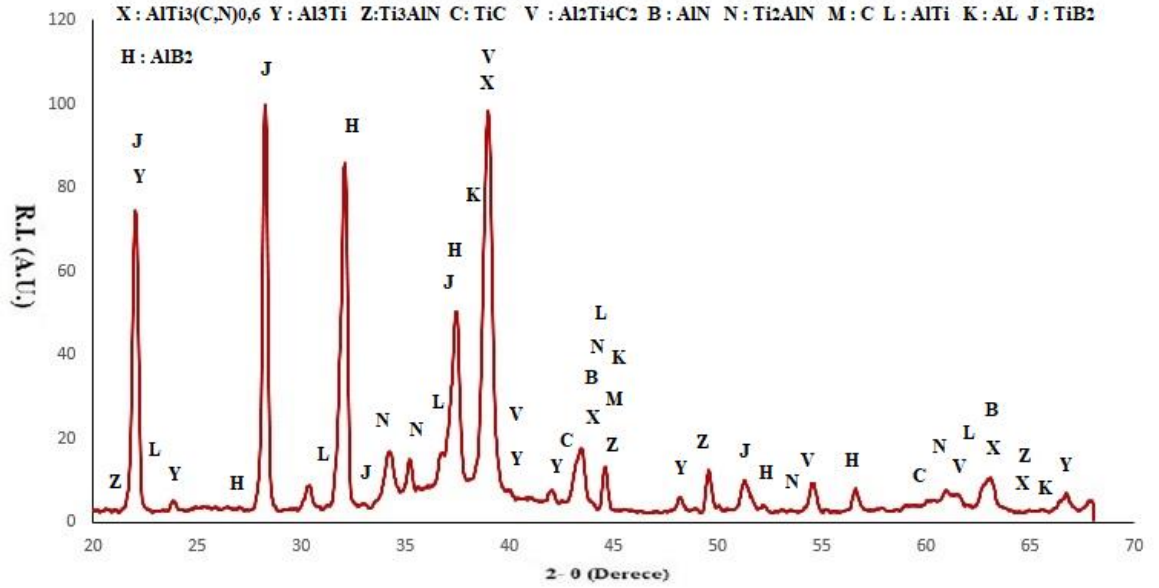
Şekil 4.50 N’lu aşıl原因ıcıların ağırlıkça farklı yüzdelerde tatbiki ile oluşan sertlik değeri.

A7, A8 ve A9 kodlu numunelerin artan yüzde oranlardaki aşıl原因ıcılar karşısındaki sertlik değeri verilerine göre genel olarak tane boyutu inceldikçe tane sınırları artacağından numunelerin sertlik ve mukavemet değeri bir artış görülmektedir. Grafiğe baktığımızda görüldüğü üzere Ti’suz ilave edilen tozların tane inceltme etkisi %0,3, %0,5 ve %0,7’liklere göre daha yüksektir. Ti’lu ilave edilen tozlara baktığımızda ise artan oranlarda sertlik miktarının arttığı lakin aralarındaki farkın yüksek olmadığı görülmektedir. %0,7 oranlarda ilave edilen tozların daha başarılı sertlik değeri çıkardığı görülmektedir. Ancak genele baktığımızda bütün numunelerin sertlik değeri arttığı gözlemlenmiştir. Bunun nedeni intermetalik fazların alüminyum tane sınırlarına çökerek çözünmesi ve mekanik özelliklerinin yüksek çıkmasıdır.

4.4 Çalışmanın Diğer Aşamaları:

4.4.1 Al-Ti-B-C-N Aşılایıcıların Etkisi:

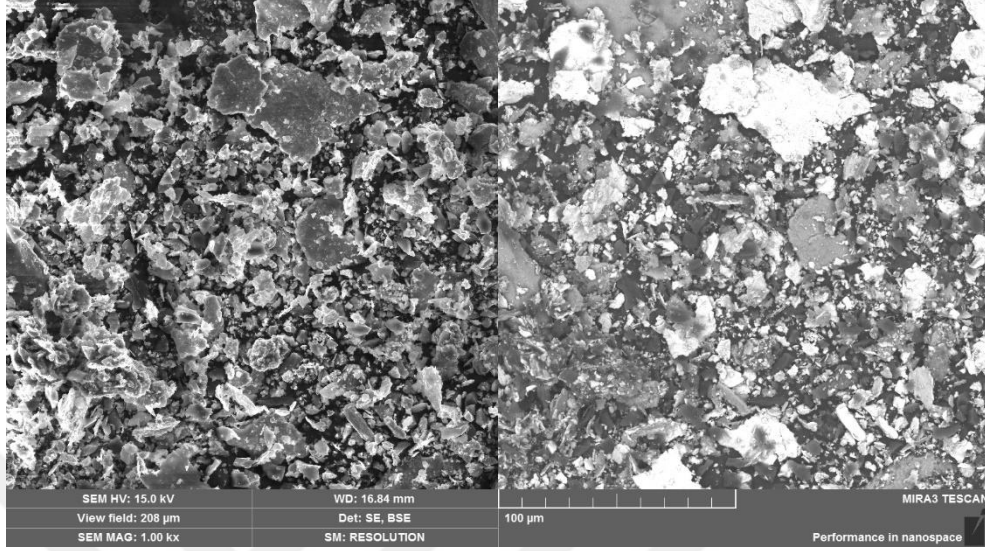
4.4.2 XRD Sonuçları



Şekil 4.51 A10(AlTiBCN) tozunun gezegensel değirmende öğütülmüş tozun kalsine sonrası XRD sonuçları.

Şekil 4.51’de görülen Al-Ti-B-C-N oranı 1:1:1:1:1 olan A10 kodlu kompozisyonun 180 dk’da öğütülmüş XRD analizleri görülmektedir. Yapıdaki yüksek pikler kombine C ve N elementlerinin Al ve Ti elementleri ile gezegensel öğütmede faz oluşturmasından kaynaklı $\text{AlTi}_3(\text{C,N})_{0.6}$ (X) ve $\text{Al}_2\text{Ti}_4\text{C}_2$ (V) fazı olduğu görülmektedir. Bunun sebebinin de yüksek öğütme hızı ve zamanında yapıdaki 1:1:1:1:1 oranındaki B-C-N fazlarının Al ve Ti gibi metallerin arayerlerine girerek stokiometrisi farklı yapılar oluşturması olduğu söylenebilir. Ayrıca eşlik eden yapılar olarak küçük miktarlarda TiC (C), AlN (B), AlB_2 (H) ve kalanının da AlTi yapıları (L, K, Y) olduğu söylenebilir. Çalışmanın son aşaması olarak ileriki bilimsel çalışmalara ışık tutması için yapılan bu deneysel sette, özellikle tane inceltici oluşturulmak üzere tozları farklı fazlara sahip şekilde üretilmesi ve Al yapılara ilavesi ile yapının tane inceltme potansiyeli çalışılmak istenmiştir. Yapının çoklu titreşimler ve atom düzenleri gösteren farklı fazlara sahip olması da dökümlerde etkinliğinin arttırılabileceği düşüncesini oluşturmuştur ki ileri ki çalışmalar için tekrarlanabilecek bir çalışmadır.

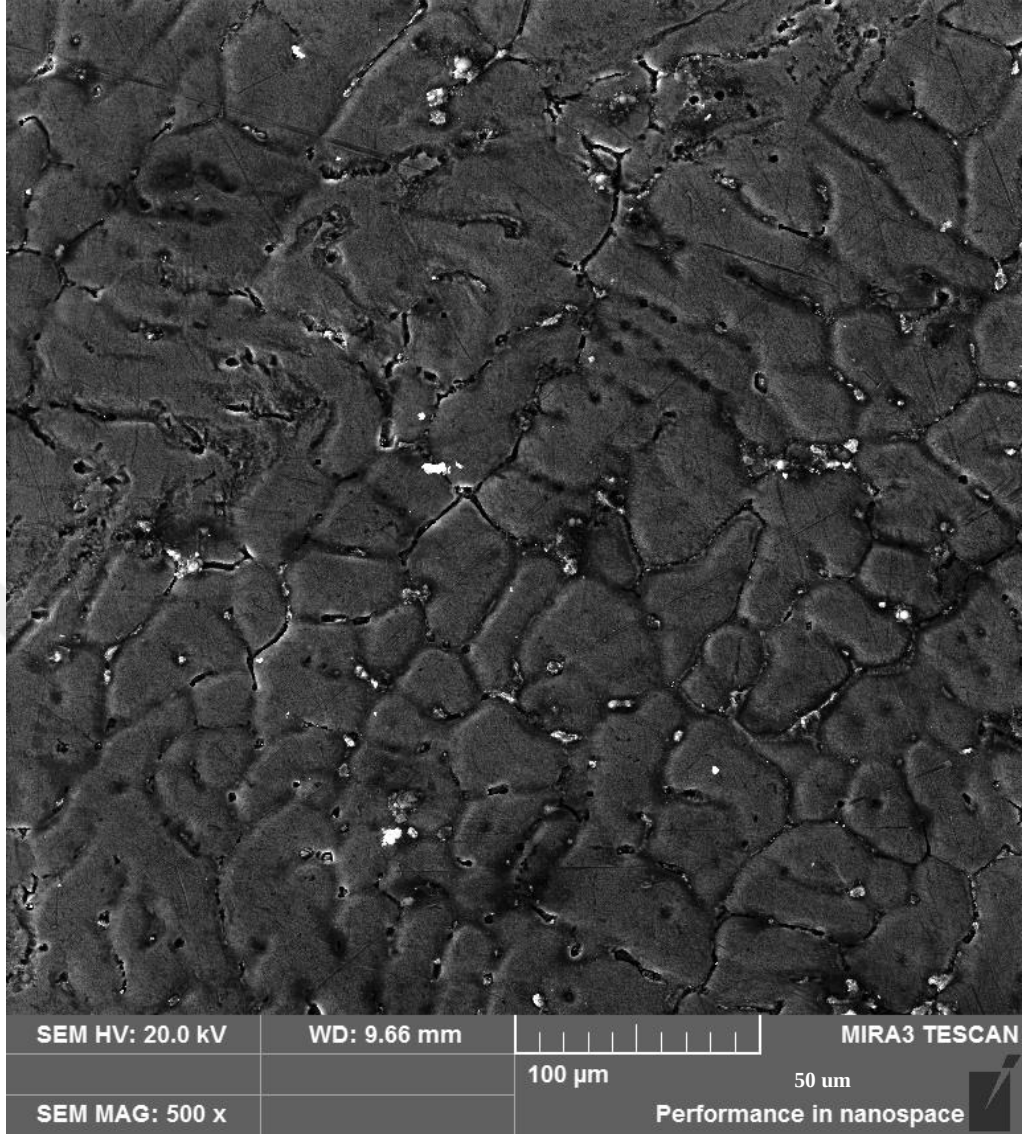
4.4.3 SEM Sonuçları



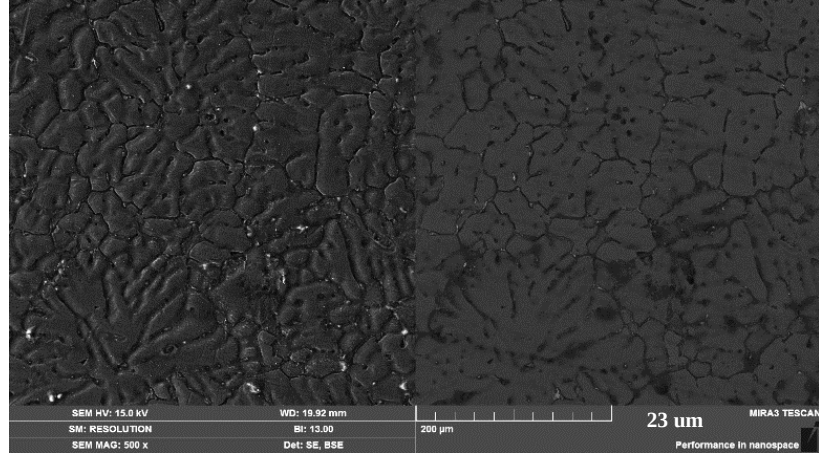
Şekil 4.52 A10(AlTiBCN) tozu SEM Fotoğrafı.

Şekil 4.52’de tozların gezegensel değirmende öğütülüp, 200 C°’ de kalsinasyon yapıldıktan sonraki SEM ve BSE fotoğrafları görülmektedir. Al-Ti-B-C-N kompozisyonlu tozlardır. Gezegensel değirmende öğütülen tozların tabakalar halinde aglomerasyon olduğu Al-Ti-B, Al-Ti-C ve Al-Ti-N bileşiklerinde tabakaların üretildiği görülmektedir. Yüksek enerjili kaplarda yani gezegensel değirmende öğütülen tozların Al tozlar üzerine birikmiş ve/veya tutunmuş Ti, B, C ve N tozları görülmektedir. En büyük boyutlu toz Al olduğu için genel görünüm Al tabanlı görülmektedir. Tabakalarda görüldüğü üzere deforme olmuş alüminyumlarla birlikte yüzeye tutunmuş Ti-N, Ti-C yapıları görülmektedir. Yapıdaki beyaz renkli yapılar titanyumları, gri yapılar ise TiB_2 , AlB_2 , TiC , AlN , Ti_2AlN gibi yapıları koyu renkli yapılar ise alüminyumları göstermektedir bu yapıların varlığı XRD analizinde de görülmektedir. Titanyum HSP ve sert karakterinden kaynaklı deforme olmamış ve küçük tozlar halinde beyaz olarak yapıya dağılmıştır. Daha keskin köşeli ve kırıklı yapısından dolayı titanyumlar alüminyumları yırtıp keserek daha da küçük plaka ve levha haline getirdiği görülmektedir.

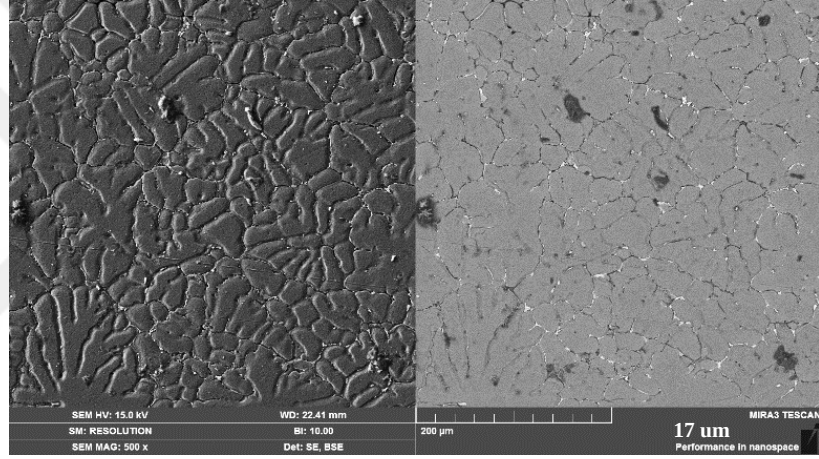
4.4.4 Mikroyapı Analizi ve Sonuçları



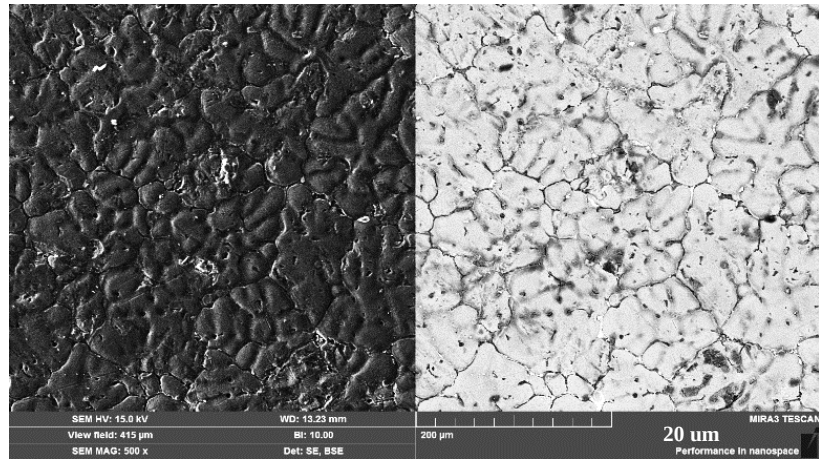
Şekil 4.53 Saf Döküm Fotoğrafı.



Şekil 4.54 7075 Al alaşımına A10(AlTiBCN) tozunun ağırlıkça %0,3 ilaveli döküm mikroyapısı.



Şekil 4.55 7075 Al alaşımına A10(AlTiBCN) tozunun ağırlıkça %0,5 ilaveli döküm mikroyapısı.

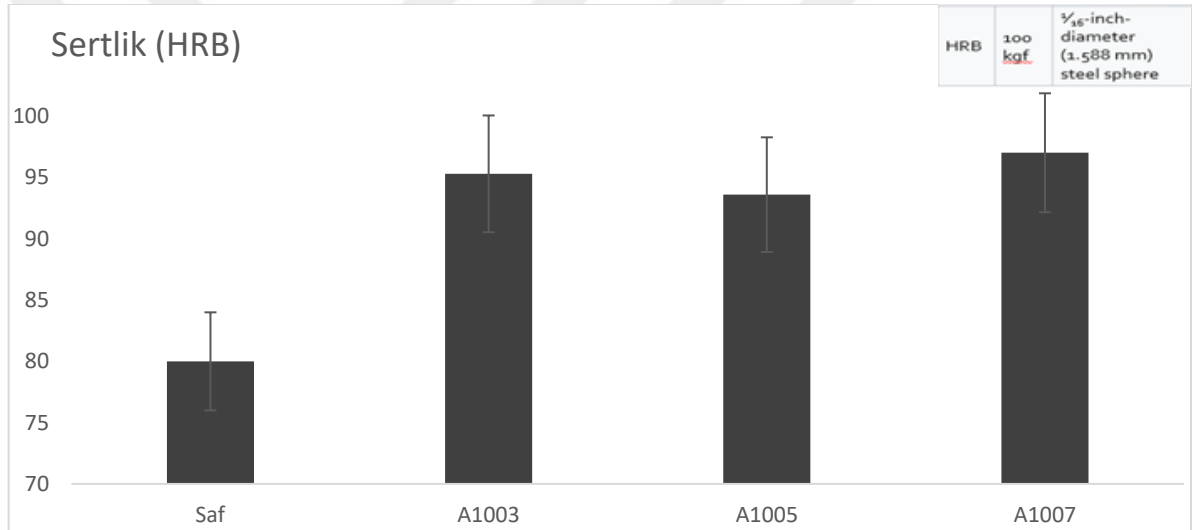


Şekil 4.56 7075 Al alaşımına A10(AlTiBCN) tozunun ağırlıkça %0,7 ilaveli döküm mikroyapısı.

Kokil kalıba döküp üretilen numunelerde saf alüminyumda tane oluşumu olup yüzey fotoğraflarında herhangi bir dentritik görüntü göze çarpmamıştır. Bütün numuneler Keller Ayracı ile dağlanmış olup, A10 numunelerinde tane sınırlarında AlTiN, Ti₂AlC, intermetalikleri kristal yapı içerisinde dağılmış ve daha küçük tanelerin oluşmasına yol açmıştır. Artan yüzdelerdeki aşılama miktarlarında tane inceltme oranlarında %0,3, %0,7 arasında gözle görülen bir fark olmadığı gibi ağırlıkça %0,5'likde belirgin bir tane inceltme olmuştur. %0,3 ve %0,7 'lik aşılama miktarlarının uygulanmış olduğu dökümlerde tane boyutu 23 ve 20 mikron olarak gerçekleşirken %0,7 'de 17 mikron olarak gerçekleşmiştir. Genel anlamda saf numuneye kıyasla tane inceltme gerçekleşmiştir. İntermetalik fazlarının olduğu ya da alüminyum alaşımlarının az olduğu yerlerde beyaz benekler görülmektedir. Bu benekler dağlayıcıdan kalan pisliklerdir. Genel olarak bakıldığında tane inceltme verimi %54 ve üzeri olarak gerçekleşmiştir.

4.4.5 Sertlik Sonuçları

A10 kodlu numunelerin artan yüzde oranlardaki aşındırıcılar karşısındaki sertlik değerleri verilerine göre genel olarak tane boyutu incelidikçe tane sınırları artacağından numunelerin sertlik ve mukavemet değerlerinde bir artış görülmektedir. Grafikte görüldüğü üzere %0,3 orandaki aşındırıcı miktarına karşılık gelen sertlik değeri 95 HRB iken %0,5 orandaki aşındırıcıya karşılık gelen sertlik değeri 94 HRB çıkmış ve %0,7 orandaki aşındırıcıya karşılık gelen sertlik 97 HRB çıkmıştır. Ancak genele baktığımızda bütün numunelerin sertlik değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir. Bunun nedeni intermetalik fazların alüminyum tane sınırlarına çökerek çözünmesi ve mekanik özelliklerinin yüksek çıkmasıdır.



Şekil 4.57 B-C-N’lu aşındırıcıların ağırlıkça farklı yüzdelerde tatbiki ile oluşan sertlik değerleri.

5. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

- Bu yüksek lisans tezinde Al-7075 alaşımına ilave edilen Al: Ti: B, Al: Ti:C, Al: Ti, N ve Al: Ti: B:C: N tozlarının tane incelticinin etkisinin incelendiği bu çalışmada hem hurda hem de primer alaşımlarında tane incelticilerle yapılan dökümün yapılabirliği ve tane incelticilerin ülkemizde *in-situ* yöntemiyle üretilebilirliği incelenmiştir.
- AL-Ti-B, C, N tozlarının *in-situ* ile üretiminden sonra yapılan dökümlere ilavesiyle elde edilen sonuçlarda görüldüğü üzere alüminyumun tane inceltmesi görülmüş ve bununla birlikte mekanik özelliklerinde de iyileşme görülmüştür. Sıvı metale bir miktar titanyum, bor, karbon ve azot ilavesi tane yapısında önemli ölçüde küçülme sağlamak ve alaşımın dökülebilirliğini artırmaktadır.
- TiC ve Ti₂AlC tane inceltmesi sağlamıştır. TiC parçacıklarının artışı, eriyik içerisinde çözünmesi zayıf bir çekirdeklenme verimi gösterse de TiC karbürün α -Al ile olumlu derecede uyumu ve çekirdeklenme sürecine katılımı döküm sırasındaki tane büyümesini durdurmuş ve tane sayısının artışı sağlamıştır.
- TiAl₃, TiC ve Ti₂AlC'a benzer şekilde TiN, Ti₂N ve AlTiN de tane inceltmesi sağlanmıştır. TiN, Ti₂N ve AlTiN parçacıklarının artışı, eriyik içerisinde çözünmesi ve çekirdeklenme sürecine katılımı döküm sırasında alüminyum tane sınırlarında tane büyümesini durdurmuş ve tane sayısını artırdığı düşünülmüştür.
- AlN alüminyumda iyi çekirdekleyici bileşiklerdir. Çünkü intermetalikleri tane sınırlarında çökerek sürekli çökelti oluştururlar. Tane inceltici olarak ilavesinde tane büyümesini durdurmuş ve tane sayısını artırdığı düşünülmüştür.
- AlB₂ alüminyumda iyi çekirdeklenme yeteneği olan bileşiktir. Bu intermetalikler tane sınırlarında çökerek sürekli çökelti oluştururlar. Tane inceltici ilavesinden sonra tane boyutunun tekrar büyümesinin sebebi olarak; tane inceltici ilavesiyle alaşım içerisinde oluşan TiB₂ ve TiAl₃ gibi intermetalik bileşiklerin zamanla çözünmesi ve büyüyen tanelerin birleşmesi olduğu düşünülmektedir.

- Tane incelticisiz olarak yapılan döküm numunelerini karşılaştırdığımızda tanelerin daha ince ve mekanik özelliklerinin daha iyi çıktığı ve alüminyum alaşımında seri kaymasına neden olmadığı görülmüştür.
- Yapılan çalışmanın gerek literatür araştırması gerek de deneysel çalışmaları bu konunun daha da ileri düzeye giderek entegre bir şekilde üretiminin yapılabileceği, çalışılabileceği ve ‘Made in Turkey’ etiketi ile dünyaya ithalatının gerçekleştirilebileceği düşünülmektedir.
- Bu tez çalışmasında bütanol kullanılarak öğütme prosesinde toz üretim aşamalarında gezegensel değirmen ve bilyalı değirmen kısımlarında uygun kompozisyonların elde edilmesi sağlanmıştır.
- Bu tez çalışmasında elde edilen tozların ve dökümlerin SEM görüntüleri ile mikro yapı analizi yapılmıştır. Farklı üretim metotları kullanılarak yeni üretilecek tozların kompozisyonu TEM incelemesi yapılmalıdır.
- Bu tez çalışmasında XRD analizi yapılarak yapı içerisinde meydana gelen faz dönüşümleri tespit edilmiştir. Bu tespitler sonucunda üretim metotlarına bağlı olarak uygun pik dağılımları mevcuttur.

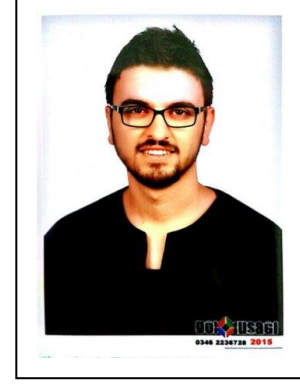
KAYNAKLAR

- [1]**Binczewski, G.J.**, (1995), The Point of Monument: A History the Aluminum Cap of Washington Monument. JOM, 47(11)(1995), pp. 20-25.
- [2]**Asm Handbook**, (1992), Volume 02: Properties & Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials, Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials (2). p. 506-507
- [3]**Turkcast .**, (2013), Türk Dökümünde Alüminyum. Sayı (28).
- [4]**Özcömert, M.**, (2006), Otomotiv Endüstrisinde Alüminyum, İTO.
- [5]**Kearns, M.A.; Thistlethwaite, S.R.; Cooper, P.S.**, (1998), London & Scandinavin Metallurgical Co. “A Guide To Melt Treatment in the Alluminium Foundry”.
- [6]**Kearns, M.A.; Thistlethwaite, S.R.; Cooper, P.S.**, (1996), London & Scandinavin Metallurgical Co. “Recent Advances in Understanding the Mechanism of Alluminium Grain Refinement by TiBAl Master Alloys”.
- [7]**Shi Gang X. and Li-Xin S.**, (2006), Composition and thermal properties of the coating containing mullite and alumina, Materials Chemistry and Physics, 97, 132–136.
- [8]**McCartney, D.G.**, (1989), Grain Refining Of Aluminum And Its Alloys Using Inoculants. International Materials Reviews, 34(5): p. 247-260.
- [9]**Xu, C.L.**, (2006), Effect of La₂O₃ in the Al–P–Ti–TiC–La₂O₃ modifier on primary silicon in hypereutectic Al–Si alloys. Journal of Alloys and Compounds, 421 (1-2): p. 128-132.
- [10]**TMMOB Metalürji Mühendisleri Odası**, (2004), “Alüminyum Raporu 24. Dönem Çalışma Raporu”, Ek-16.
- [11]**Shi Gang X. and Li-Xin S.**, (2006), Composition and thermal properties of the coating containing mullite and alumina, Materials Chemistry and Physics, 97, 132–136.
- [12]**Nie X. and Matthew A.**, (2000), Deposition of duplex Al₂O₃ DLC coatings on Al alloys for tribological applications using a combined micro arc oxidation, Surface and Coatings Technology, 121, 506-513.
- [13]**Zheng Luo Antonio Soria** (2008), The Global Aluminium Industry Outlook by Product/Sector to 2025.

- [14]**Sinem Alan** (2008), TALSAD Alüminyum Raporu Araştırması.
- [15]**Ibarra, D., G.**, (1999),“Control of Grain Refinement of Aluminum-Silicon Alloys by Thermal Analysis”.
- [16]**Birol, Y.**, (2011),“AlB₃ Master Alloy to Grain Refine AlSi10Mg and AlSi12Cu” Materials Institute, Marmara Research Centre, TUBITAK, Kocaeli, Turkey.
- [17]**Sigworth, G.K., Kuhn,T.A.**(2007), Refinement of Aluminium Casting Alloys, AFS Transactions, Vol.115, pp.1-12,.
- [18]**Sigworth, G. K.**(1984), The Grain Refining of Aluminum and Phase Relationships in the Al-Ti-B System, Metallurgical Transactions, Vol.15A, pp. 277-282,.
- [19]**Ceyhun Y.** (2012),‘AlTi₅B₁ Master Alaşımının Alüminyum Basınçlı Döküm Yönteminde Tane İnceltici Olarak Kullanımının İncelenmesi’.
- [20]**T.R.Ramachandran, P.K.Sharmaand K.Balasubramanian.** (2008), Nonferrous Materials Technology Development Centre Kanchanbagh Hyderabad 500 058 India “Grain Refinement of Light Alloys”.
- [21]**Lu, H. T., Wang, L. C., Kung, S.K.** (1981), Grain Refining in A356 Alloys, J. Chinese Foundrymen's Association, Vol. 29, pp. 10-18,.
- [22]**Sigworth, G.K., Guzowski, M. M.**(1985), Grain refining of Hypo-eutectic Al-Si Alloys, AFS Transactions, Vol 93, pp. 907-12,.
- [23]**Pasciak, K., Sigworth, G.K.** (2001), Role of Alloy Composition in Grain Refining of 319 Alloy, AFS Transactions, Vol. 109, pp. 567-577,.
- [24]**M. Çolak.** (2009), SAÜ. Fen Bilimleri Dergisi, 13. Cilt, 1. Sayı, Alüminyum Dökümlerde Tane İnceltme s. 11-17.
- [25]**Srinath Viswanathan** (1989), Metals Handbook, Vol.15. casting Ed. ASM International Handbook Committee, 743-770, Metals Park, OH, ASM International.
- [26]**Giocal, C** (1994), Dendrite Coherency During Equiaxed Solidification in Aluminum Alloys, Chemical Communications, Stockholm University, 83 pages.
- [27]**Dash, M., Makhlouf , M.** (2001), Effect of key alloying elements on the feeding characteristics of aluminum–silicon casting alloys, Journal of Light Metals, 1 pp. 251–265.

- [28]**Campbell, J.** (1969), Feeding mechanisms in casting, AFS Cast Metals, Research Journal 5, pp.1–8.
- [29]**Backerud, L.**, How Does a Good Grain Refiner Work, Light Metal Age Tongmin.
- [30]**Wang, Zongning Chen, Hongwang Fu, Jun Xu, Ying Fu and Tingju Li** , Grain refining potency of Al–B master alloy on pure aluminum, Scripta Materialia.7
- [31]**Cooper, P., Jacob, A. and Detomi, A.**, Additive developments in the Aluminium Industry, 1. International Congress of the Aluminium Industry.
- [32]**Mondolfo, L.F.**, (1983). Grain Refinement in the Castings of Non-Ferrous Alloys, Grain Refinement in Castings and Welds, Metallurgical Society of AIME, 3-50.
- [33]**Birol, Y.**, “Grain refining efficiency of Al–Ti–C alloys,” Materials Institute, Marmara Research Centre, TUBITAK, Kocaeli, Turkey.
- [34]**C.M. Small, P.B. Prangnell, F.H. Hayes, A. Hardman, in: T. Sato, S. Kumai, T. Kobayashi, Y. Murakami (Eds.)** (1998), Proceedings of the International Conference on Aluminum Alloys, JILM, pp. 213–218.
- [35]**A. Tronche, A.L. Greer, Philos.**, (2001) Mag. Lett. 321–328.
- [36]**Martin Dahlqvist, Björn Alling, Igor A. Abrikosov and Johanna Rosén.**, (2010), Phase stability of Ti_2AlC upon oxygen incorporation: A first-principles investigation, Physical Review B. Condensed Matter and Materials Physics, (81), 2, 024111-1-024111-8.
- [37]**A. Cibula, J. Inst. Met.** (1949/1950) , Preparation of Al-Ti-B-C Master Alloy and its Grain Refinement Effect for Pure Al 321–360.
- [38]**L. F. Mondolfo (1976)**, ‘Aluminum Alloys Structure and Properties’.

ÖZGEÇMİŞ



Kişisel bilgiler

Adı Soyadı Mesut Arıkoğlu
D.Yeri ve Tarihi Konya, 15.06.1992
Medeni Hali Bekar
Yabancı Dil İngilizce
İletişim Adresi Cumhuriyet Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği
Bölümü 58140 Sivas
E-posta Adresi mesut.arikoglu@outlook.com

Eğitim ve Akademik Durumu

Lise Mahmut Esat Anadolu Lisesi, 2011, Konya/Seydişehir
Lisans Cumhuriyet Üniversitesi, 2015, Sivas
Yüksek Lisans Cumhuriyet Üniversitesi, 2017- Halen

İş Tecrübesi

2012-2013: ETİ Alüminyum A. Ş (Döküm Stajı – 4.hafta)
2013-2014: Cebitas Demir Çelik End. A. Ş (Çelikhane ve SDM Stajı – 4.hafta)

Başarılar/Ödüller/Bildiği Programlar

CÜBAP-M625 Cumhuriyet Üniversitesi Proje Ofisi Tez Desteği
Tübitak 2241-A Sanayi Odaklı Lisans Bitirme Tezi Destekleme Programı (2014-12)
(Proje Numarası: 1139B411402867)
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümü 2011-2015 program 2.si
Onur Belgesi-2009 – Mahmut Esat Anadolu Lisesi
Solidworks, Click2Cast – solidThinking, Pro-Cast ,CES EduPack

Bildiriler

10th International Conference On Materials Science & Engineering 8- 11 March 2017
Transilvania University, Brasov- Romania

Yayınlar

1. M. ARIKOĞLU, F. APAYDIN, A. ÖZER, “**Formation of Al-Ti-B Phases For Grain Refinement Of Al Alloys Produced By High Energy Ball Milling**, Materials Science Forum (Gönderildi.)
2. M. ARIKOĞLU, A. ÖZER, “**Formation of Al-Ti-C and AL-Ti-N Phases For Grain Refinement Of Al Alloys Produced By High Energy Ball Milling**” (Hazırlanıyor)

