

**AA 2014/ Al_2O_3 METAL MATRİSLİ KOMPOZİTİN MEKANİK
ALAŞIMLAMA YÖNTEMİ İLE ÜRETİMİ VE
YAŞLANDIRILABİLME ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Taha Alper YILMAZ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
METAL EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

TEMMUZ 2013

ANKARA

Taha Alper YILMAZ tarafından hazırlanan “AA 2014/Al₂O₃ METAL MATRİSLİ KOMPOZİTİN MEKANİK ALAŞIMLAMA YÖNTEMİ İLE ÜRETİMİ VE YAŞLANDIRILABİLME ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI” adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Necati YALÇIN
Tez Danışmanı, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği A.B.D.

Doç. Dr. Bülent BOSTAN
Tez Danışmanı, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği A.B.D.

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Metal Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Neşet AKAR
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği A.B.D., G.Ü.

Yrd. Doç. Dr. Necati YALÇIN
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği A.B.D., G.Ü.

Doç. Dr. Bülent BOSTAN
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği A.B.D., G.Ü.

Doç. Dr. Ahmet GÜRAL
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği A.B.D., G.Ü.

Yrd. Doç. Dr. Hakan DİLİPAK
İmalat Mühendisliği A.B.D., G.Ü.

Tez savunma Tarih:23/07/2013

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Şeref SAĞIROĞLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİM

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Taha Alper YILMAZ

**AA 2014/Al₂O₃ METAL MATRİSLİ KOMPOZİTİN MEKANİK
ALAŞIMLAMA YÖNTEMİ İLE ÜRETİMİ VE YAŞLANDIRILABİLME
ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI
(Yüksek Lisans Tezi)**

Taha Alper YILMAZ

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Temmuz 2013**

ÖZET

Bu çalışmada matris malzemesi olarak düşey gaz atomizasyonu yöntemi ile üretilmiş AA 2014 alüminyum alaşımı kullanılmıştır. Kompozit üretimi amaçlı karışım ve MA yöntemleri uygulanmıştır. Takviye malzemesi olarak kullanılan Al₂O₃ %1, 2, 4 ve 8 oranlarında ilave edilmiştir. her iki yöntemde de üretilmiş kompozit malzemelere tek yönlü pres ile 675 Mpa presleme basıncı uygulanmıştır. Karışım metodunda yeterince homojen bir dağılım elde edilememesinden dolayı yapılan MA işlemleri 350dev/dk karıştırma hızında, 1/10 toz bilye oranında, 4 ve 8 saat alaşımlama sürelerinde gerçekleştirilmiştir. Numunelerin hacimce yoğunluk değerleri hesaplanmış, mikroyapı görüntüleri alınmış, makro sertlik ölçümleri yapılmıştır. Aynı işlemler 550, 560, 570, 580 ve 600°C sıcaklıklarda Ar atmosferi altında yapılan sinterlemeler sonrasında da gerçekleştirilmiştir. Sinterleme işlemine bağlı olarak numune yoğunluklarında hacimce Al₂O₃ oranına bağlı olarak bir düşüş tespit edilmiştir.

Karışım tozlardan elde edilen deney numuneleri sinterleme sonrası oksitlenmeye bağlı olarak mekanik test ve yaşlandırma süreci açısından uygunluğunu yitirmiştir. MA sonrasında elde edilen %1, 2 ve 4 Al₂O₃ takviyeli kompozit malzeme 520°C de 1 saat çözündürme işlemine tabi tutulmuş, su verilmiş ve 2, 4, 6, 8 ve 10 saat sürelerde 180°C de yaşlandırılmıştır. Elde edilen

deney numunelerine metalografik işlemlerin ardından optik, SEM ve EDS analizleri yapılmıştır. Ayrıca karışım yöntemi ile elde edilen kompozitlerden farklı olarak MA yöntemi ile üretilmiş numunelere mikro sertlik ve çekme testleri uygulanmıştır. Bu incelemeler sonucunda sertliklerde artış gözlemlenirken, çekme testlerin değerlendirilebilir veriler elde edilememiştir.

Tüm deney numuneleri incelendiğinde Al_2O_3 takviyeli kompozit malzeme üretilebilirliğini etkileyen en önemli faktörün oksit oluşumuna sebep olan ortamlardan kaynaklandığı söylenebilir.

Bilim Kodu : 710.1.092

Anahtar Kelimeler: AA2014, Mekanik Alaşımlama, Metal Matrisli Kompozitler

Sayfa Adedi : 88

Tez Yöneticileri : Yrd. Doç Dr. Necati YALÇIN,

Doç. Dr. Bülent BOSTAN

**THE RESEARCH OF THE MANUFACTURE OF AA 2014/Al₂O₃ THE
COMPOSITE WITH METAL MATRIX THROUGH MECHANIC
ALLOYING METHOD AND THE PROPERTIES OF AGE HARDENABLE
PROCESS**

(M. Sc. Thesis)

Taha Alper YILMAZ

**GAZİ UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
July 2013**

ABSTRACT

In this research, AA 2014 aluminium alloy which was produced with the method of vertical gas atomization was used as a matrix material. Mixture aiming at manufacture of composite and MA method were used. Al₂O₃ which is used as an additional material was added at the rate of 1, 2, 4 and 8 %. One-way press and 675 MPa pressing pressure were subjected to the composite materials. Due to the fact that sufficient homogeneous distribution couldn't be achieved in the mixture method; MA processes conducted were realised at the rate of 1/10 ball bearing with the speed of 350 rev/min for the period of 4 and 8 hours of alloying. Volume density values of the samples were calculated, microstructure images were taken and the macro hardness measurements were made. The same processes were conducted at 550, 560, 570, 580 and 600°C subsequent to the sintering under the Ar atmosphere. In line with the sintering, a decrease in the sample densities depending on the Al₂O₃ rate was determined.

Due to the oxidation subsequent to the sintering, test samples acquired from the mixture powder lost the title of being appropriate for the mechanical test and age hardening process. 1, 2 and 4 % Al₂O₃ reinforcement composite material, which was produced subsequent to MA, was subjected to the solution treatment

at 520°C for an hour, water was added, it was aged 180°C for the period of 2, 4, 6, 8 and 10 hours. After the metallographic process of the test samples; SEM and EDS analyses were conducted. While an increase was observed as a result of these analyses, tensile tests couldn't produce any evaluable result.

When all test samples are analysed; it could be said that the most important factor affecting the manufacturability of Al₂O₃ reinforcement composite material originates from the environments that causes oxide formation.

Science Code : 710.1.092

Key Words : AA 2014, Mechanical Alloying, Metal Matrix Composites

Page Number: 88

Advisers : Asist. Prof. Dr. Necati YALÇIN,

Assoc. Prof. Dr. Bülent BOSTAN

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezim boyunca ve öncesinde hiçbir fedakârlıktan kaçınmayıp her zaman yanımda olan, değerli bilgi ve tecrübelerinden istifade ettiğim ve edeceğim kıymetli hocam Doç. Dr. Bülent BOSTAN' a, saygıdeğer danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Necati YALÇIN' a, her zaman desteklerini ve iyi dileklerini esirgemeyen değerli hocam Doç. Dr. Ahmet GÜRAL' a sonsuz teşekkür eder, şükranlarımı sunarım.

Deneysel çalışmalarım ve hayatımın geri kalan kısmında bana yardımcı olan, her türlü desteği veren, her ne şekilde olursa olsun yanımda olan dostlarım Onur ALTUNTAŞ' a, Hakan GÖKMEŞE' ye, Alper Melih ATAÇ' a, Uğur GÖKMEN' e, Ufuk TAŞCI' ya, Hikmet FİDANBOY' a, Sinan AKSÖZ' e ve Hanifi ÇİNİCİ hocama teşekkür ederim.

Tüm çalışmalarım boyunca her türlü manevi desteğini üzerimden esirgemeyen annem, babam, kardeşim ve Burcu TEKİN' e sonsuz şükran ve minnetimi sunar teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xiv
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xviii
1. GİRİŞ	1
2. TOZ METALURJİSİ	5
2.1. Toz Üretimi	6
2.2. Toz Üretim Yöntemleri	7
2.2.1. Mekanik üretim teknikleri.....	7
2.2.2. Elektrolizle üretim teknikleri	9
2.2.3. Kimyasal üretim teknikleri.....	10
2.2.4. Atomizasyon teknikleri	11
2.3. Tozların Preslenmesi.....	12
2.4. Tozların Sinterlenmesi	14
2.5. Mekanik Alaşımlama	15
2.5.1. Mekanik Alaşımlama Mekanizması.....	16
2.5.2. Toz partikül çaplarının değişimi	18
2.5.3. Mekanik Alaşımlamanın Uygulandığı Toz Kombinasyonları	19

Sayfa

2.5.4. Mekanik Alaşımlamanın Avantajları	21
3. KOMPOZİT MALZEMELER.....	23
3.1. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması.....	24
3.2. Metal Matrisli Kompozit Malzemeler (MMK)	25
3.2.1. MMK’larda kullanılan matris malzemeleri.....	26
3.2.2. MMK’larda kullanılan takviye elemanları.....	26
3.3. Al Matrisli Al ₂ O ₃ Parçacık Takviyeli Kompozit Malzeme.....	28
3.3.1. Alümina özellikleri	28
3.4. Al ₂ O ₃ İle Yapılan Çalışmalar	29
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	31
4.1. Deneyde Kullanılan Malzemeler.....	31
4.1.1. Matris malzeme	31
4.1.2. Takviye malzemesi.....	32
4.2. Metal Tozlarının Üretimi	33
4.2.1. Tane boyutu analizi	34
4.3. Deney Numunelerinin Hazırlanması.....	36
4.3.1. Tozların karıştırılması	36
4.3.2. Mekanik alaşımlama	36
4.3.3. Toz tartımı	37
4.3.4. Presleme işlemi	38
4.3.5. Sinterleme işlemi.....	39
4.3.6. Yaşlandırma işlemi	40
4.3.7. Mikroyapı çalışması	41

Sayfa

4.3.8. Sertlik ve yoğunluk ölçümleri.....	42
4.3.9. Çekme testi.....	43
5. DENEYSEL BULGULAR VE DEĞERLENDİRME.....	44
5.1. Karışım Tozlara Ait Kompozit Mikroyapıları	45
5.2. Karışım Tozlara Ait Kompozitlerin Yoğunlukları.....	52
5.3. MA ile Üretilen Kompozitlerin Karakterizasyonu.....	53
5.4. Mekanik Alaşımlama ile Üretilen Numunelerin Yoğunlukları.....	62
5.5. MA İle Üretilen Numunelerin Sinterleme ve Yaşlandırma Sonrası Sertlik Sonuçları	63
5.6. MA İle Üretilen Numunelerin Sinterleme ve Yaşlandırma Sonrası Çekme Test Sonuçları.....	66
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	68
6.1. Sonuçlar	68
6.2. Öneriler.....	70
KAYNAKLAR	71
EKLER.....	77
Ek-1. Karışım yöntemi ile üretilmiş farklı takviye oranlarındaki numuneler.....	78
Ek-2. Karışım yöntemi ile üretilmiş %2 Al ₂ O ₃ takviyeli farklı sıcaklıklarda sinterlenmiş numunelerin optik mikroskop görüntüleri verilmiştir.	79
Ek-2 (Devam). Karışım yöntemi ile üretilmiş %2 Al ₂ O ₃ takviyeli farklı sıcaklıklarda sinterlenmiş numunelerin optik mikroskop görüntüleri verilmiştir.	80
Ek-3. Karışım yöntemi ile üretilmiş %2 Al ₂ O ₃ takviyeli farklı sıcaklıklarda sinterlenmiş numunelerin SEM görüntüleri verilmiştir.	81
Ek-3 (Devam). Karışım yöntemi ile üretilmiş %2 Al ₂ O ₃ takviyeli farklı sıcaklıklarda sinterlenmiş numunelerin SEM görüntüleri verilmiştir.	82

Sayfa

Ek-3 (Devam). Karışım yöntemi ile üretilmiş %2 Al ₂ O ₃ takviyeli farklı sıcaklıklarda sinterlenmiş numunelerin SEM görüntüleri verilmiştir.	83
Ek-4. AA 2014 tozlarına ait boyut dağılım sonucu	84
Ek-5. Al ₂ O ₃ tozlarına ait boyut dağılım sonucu.....	85
Ek-6. Farklı işlemler görmüş toz numunelerin sıcaklık ile % ağırlık kayıpları ve faz geçişlerini gösteren grafik	86
Ek-7. Çekme test sonucu.....	87
ÖZGEÇMİŞ.....	88

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1. AA 2014 alaşımının kimyasal kompozisyonu	32
Çizelge 4.2. Alüminanın fiziksel ve termal özellikleri	32
Çizelge 5.1. Farklı takviye oranları ve sinterleme sıcakları ile yoğunlukların değişimi	53
Çizelge 5.2. Farklı MA süreleri ve takviye oranlarına göre yoğunluktaki değişim...	63
Çizelge 5.3. 4 ve 8 saat MA İşlemi ve ardından 1 saat sinterleme sonrası sertlik değerleri (HV 5)	64

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Olası parçacık şekilleri ve tanımları	7
Şekil 2.2. Silindirik değirmende hareketin gösterilmesi	8
Şekil 2.3. Toz biriktirmek için bir elektroliz hücresi	9
Şekil 2.4. Kimyasal yöntemle demir tozu üretimi.....	10
Şekil 2.5. a) Su atomizasyonu yöntemi b) Gaz atomizasyonu yöntemi.....	11
Şekil 2.6. Presleme tekniği.....	12
Şekil 2.7 Çift hareketli sıkıştırma ile sıkıştıran zimba	13
Şekil 2.8. Yüzer dişi kalıplı presleme ile çift hareketli zimba etkisi oluşturma.....	13
Şekil 2.9. Sinterleme süreci.....	14
Şekil 2.10. MA işlemi sırasında bilye-toz-bilye çarpışması	17
Şekil 2.11. MA işlemi boyunca toz boyutundaki değişim	19
Şekil 3.1. Kompozit malzeme tipleri.....	24
Şekil 4.1. AA 2014 alaşım tozlarına ait tane boyutu analizi	35
Şekil 4.2. Al_2O_3 tozlarına ait tane boyutu analizi	35
Şekil 4.3. Çekme numunesi.....	38
Şekil 4.4. Yaşlandırma aşamalarını gösteren şematik diyagram	41
Şekil 5.1. Deneysel çalışmaların akış şeması.....	44
Şekil 5.2. 560°C de sinterlenmiş numunenin 1 nolu bölgeye ait EDS analizi	49
Şekil 5.3. 560°C de sinterlenmiş numunenin 2 nolu bölgeye ait EDS analizi	50
Şekil 5.4. 560°C de sinterlenmiş numunenin 3 nolu bölgeye ait EDS analizi	50
Şekil 5.5. 600°C de sinterlenmiş numunenin 1 nolu bölgeye ait EDS analizi	51

Şekil	Sayfa
Şekil 5.6. 600°C de sinterlenmiş numunenin 2 nolu bölgeye ait EDS analizi	51
Şekil 5.7. 600°C de sinterlenmiş numunenin 3 nolu bölgeye ait EDS analizi	52
Şekil 5.8. DTA analizi ile numunelerin faz değişimini gösteren grafik.....	54
Şekil 5.9. %4 Al ₂ O ₃ takviyeli kompozitin 1 nolu bölgeye ait EDS analizi	59
Şekil 5.10. %4 Al ₂ O ₃ takviyeli kompozitin 2 nolu bölgeye ait EDS analizi	59
Şekil 5.11. %4 Al ₂ O ₃ takviyeli kompozitin 3 nolu bölgeye ait EDS analizi	59
Şekil 5.12. %4 Al ₂ O ₃ takviyeli kompozitin 4 nolu bölgeye ait EDS analizi	60
Şekil 5.13. %4 Al ₂ O ₃ takviyeli kompozitin 1 nolu bölgeye ait EDS analizi	60
Şekil 5.14. %4 Al ₂ O ₃ takviyeli kompozitin 2 nolu bölgeye ait EDS analizi	61
Şekil 5.15. %4 Al ₂ O ₃ takviyeli kompozitin 3 nolu bölgeye ait EDS analizi	61
Şekil 5.16. %4 Al ₂ O ₃ takviyeli kompozitin 4 nolu bölgeye ait EDS analizi	61
Şekil 5.17. %4 Al ₂ O ₃ takviyeli kompozitin 5 nolu bölgeye ait EDS analizi	62
Şekil 5.18. Yaşlandırma süresi ile sertlikteki değişim (4 saat MA).....	64
Şekil 5.19. Yaşlandırma süresi ile sertlikteki değişim (8 saat MA).....	65
Şekil 5.20. Sinterleme sonrası optimum yaşlandırma sertliklerinde ki değişim (8 saat MA)	66
Şekil 5.21. %1 Al ₂ O ₃ , 8 saat MA işlemi yapılmış ve 1 saat sinterlenmiş ve yaşlandırılmış numune	67

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 4.1. Takviye malzemesi olan Al_2O_3 tozların farklı büyütme ölçeklerindeki SEM görüntüleri	32
Resim 4.2. Gaz atomizasyonu ünitesi	33
Resim 4.3. Üretimi gerçekleştirilen AA 2014 tozlarının SEM görüntüsü	34
Resim 4.4. Turbula marka 3 boyutlu salınım hareketi yapan karıştırma cihazı.....	36
Resim 4.5. Union process marka mekanik alaşımlama cihazı	37
Resim 4.6. Presleme cihazı	38
Resim 4.7. Presleme işlemi yapılan kalıpların resimleri.....	39
a) Aşınma kalıbı	39
b) Çekme kalıbı	39
Resim 4.8. Protherm marka sinterleme ısıtma işlem fırını	40
Resim 4.9. Protherm marka çözündürme ve yaşlandırma ısıtma işlemi için açık atmosferli fırın	41
Resim 4.10. a) JEOL JSM-6060 marka taramalı elektron mikroskobu (SEM).....	42
b) Leica marka optik mikroskop	42
Resim 4.11. a) Instron Wolpert marka makro sertlik test cihazı.....	43
b) Shimadzu HMV2 marka mikro sertlik test cihazı	43
Resim 4.12. Mekanik test numunesi	43
Resim 5.1. 550°C de sinterlenmiş kompozitlerin optik mikroskop görüntüleri a) %1 Al_2O_3 , b) %4 Al_2O_3	45
Resim 5.2. 560°C de sinterlenmiş kompozitlerin optik mikroskop görüntüleri a) %1 Al_2O_3 , b) %4 Al_2O_3	46
Resim 5.3. 580°C de sinterlenmiş kompozitlerin optik mikroskop görüntüleri a) %1 Al_2O_3 , b) %4 Al_2O_3	46
Resim 5.4. 550°C de sinterlenmiş AA2014- Al_2O_3 kompozitlerin SEM görüntüleri a) %1 Al_2O_3 , b) %4 Al_2O_3	47

Resim	Sayfa
Resim 5.5. 560°C de sinterlenmiş AA2014-Al ₂ O ₃ kompozitlerin SEM görüntüleri a) %1 Al ₂ O ₃ , b) %4 Al ₂ O ₃	47
Resim 5.6. 570°C de sinterlenmiş AA2014-Al ₂ O ₃ kompozitlerin SEM görüntüleri a) %1 Al ₂ O ₃ , b) %4 Al ₂ O ₃	48
Resim 5.7. 580°C de sinterlenmiş AA2014-Al ₂ O ₃ kompozitlerin SEM görüntüleri a) %1 Al ₂ O ₃ , b) %4 Al ₂ O ₃	48
Resim 5.8. 600°C de sinterlenmiş AA2014-Al ₂ O ₃ kompozitlerin SEM görüntüleri a) %1 Al ₂ O ₃ , b) %4 Al ₂ O ₃	48
Resim 5.9. %4 Al ₂ O ₃ takviyeli 560°C de sinterlenmiş kompozitin EDS görüntüsü..	49
Resim 5.10. %4 Al ₂ O ₃ takviyeli 600°C de 4 saat sinterlenmiş kompozitin EDS görüntüsü.....	51
Resim 5.11. %1 Al ₂ O ₃ takviyeli tozların MA sonrası SEM görüntüleri a) 4 Saat MA, b) 8 Saat MA.....	55
Resim 5.12. %2 Al ₂ O ₃ takviyeli tozların MA sonrası SEM görüntüleri a) 4 Saat MA, b) 8 Saat MA.....	55
Resim 5.13. %4 Al ₂ O ₃ takviyeli tozların MA sonrası SEM görüntüleri a) 4 Saat MA, b) 8 Saat MA.....	55
Resim 5.14. %4 Al ₂ O ₃ takviye edilmiş tozların SEM görüntüleri a) 4 Saat MA, b) 8 Saat MA.....	56
Resim 5.15. %1 Al ₂ O ₃ takviye edilmiş, 580°C de sinterlenmiş, kompozit numunelerin SEM görüntüleri, a) 4 Saat MA, b) 8 Saat MA	57
Resim 5.16. %2 Al ₂ O ₃ takviye edilmiş, 580°C de sinterlenmiş, kompozit numunelerin SEM görüntüleri, a) 4 Saat MA, b) 8 Saat MA	57
Resim 5.17. %4 Al ₂ O ₃ takviye edilmiş, 580°C de sinterlenmiş, kompozit numunelerin SEM görüntüleri, a) 4 Saat MA, b) 8 Saat MA	57
Resim 5.18. %4 Al ₂ O ₃ takviye edilmiş, 4 saat MA yapılmış, 580°C de sinterlenmiş numuneye ait EDS görüntüsü	58
Resim 5.19. %4 Al ₂ O ₃ takviye edilmiş 8 saat MA yapılmış, 580°C de sinterlenmiş numuneye ait EDS görüntüsü	60

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
Al	Alüminyum
Al ₂ O ₃	Alüminyum oksit
Ar	Argon
Zn	Çinko
C	Karbon
Fe	Demir
Cu	Bakır
CuAl ₂	Alüminyum bakır ötektiği
SiC	Silisyum karbür
B ₄ C	Bor karbür
Kısaltmalar	Açıklama
TM	Toz Metalurjisi
MA	Mekanik Alaşımlama
MMK	Metal Matrisli Kompozit
ODS	Oksit Dağılımla Güçlendirilmiş
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
EDS	Enerji Saçınım Analizi
BAP	Bilimsel Araştırma Projesi
GPa	Gigapaskal
MPa	Megapaskal
DTA	Diferansiyel Termal Analiz
µm	Mikrometre
G.Ü.T.F	Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi

1. GİRİŞ

Toz metalurjisi (TM) bilinen en eski şekillendirme yöntemidir. İlk insanlar doğada saf haliyle bulduğu metalleri ergitemediğinden onları çekiçle döverek birleştirmeyi gerçekleştirmişlerdir [1]. TM, ileri teknoloji malzemelerinin üretilmesine çok uygun ve küçük parçaların çok sayıda ve ekonomik üretimini sağlayan önemli bir teknolojidir. TM, metal ve metal alaşımlardan, kimyasal ve fiziksel yöntemlerle elde edilen tozların önce preslenmesi ve daha sonra malzeme yapısında toz tanecikler arasında kuvvetli bağ oluşturmak amacıyla sinterlenmesi işlemleridir. TM küçük, karmaşık ve boyutsal hassasiyeti yüksek parçaların seri imalatına son derece uygundur. Malzeme kaybı çok azdır, belirli derece porozite (gözenek) ve geçirgenlik elde edilir. Bu yüzden kullanım alanları çok geniştir. Bu işlem; şekillendirme veya presleme ve daha sonra parçacıkların sinterleme yolu ile ısıl bağlanması basamaklarını içerir. Öncelikle metal toz ve yağlayıcı karışımı kalıba doldurularak preslenir. Karışımda yağlayıcı kullanılmasının en önemli nedeni, preslenen toz taneciklerin yüzeyleri ile kalıp yüzeyi arasındaki sürtünmeyi azaltarak malzemeyi kalıptan kolay bir şekilde çıkarmaktır. Yağlayıcılar sinterleme sırasında malzemeden yanarak çıkmaktadır. Çok küçük miktarda ilave edilmeleri yeterli olmaktadır [2]. Preslenen malzeme daha sonra sinterlenmektedir. Sinterleme preslenmiş kompaktlardaki toz taneciklerin birleştirilmesi işlemidir. Sinterleme, istenilen yoğunluğun ve fiziksel dayanımın elde edilmesi için önemli bir aşamadır. Çünkü TM ile elde edilen parçanın dayanımı yoğunluğuyla doğrudan ilgilidir. TM prosesleri kullanılarak üretilen tüm parçalarda % 100 teorik yoğunluklara erişilmek istenmektedir [3].

Mekanik alaşımlama (MA) işlemi, ilk olarak oksit dağılımıyla sertleştirilmiş (ODS) alaşımların üretimi amacıyla yapılmış ancak daha sonraki çalışmalar ticari olarak uygulama alanına sahip olan Fe, Ni, Al esaslı süper alaşımların üretimi üzerine yoğunlaşmıştır. Bu yöntemin en önemli avantajı, normal ergitme teknikleriyle alaşım haline getirilemeyen (bir biri içerisinde sıvı veya katı fazda çözünmeyen) sistemler bu yöntem sayesinde alaşımlanabilmektedir. Ayrıca son yıllarda bu yöntem ile nano boyutlu malzemelerde üretilebilmektedir [4].

Hafif metalleri TM endüstrisinde kullanım alanı açısından en çok yeri, alüminyum (Al) parçaları almaktadır. Al, Ti, Be'un sahip oldukları üstün fiziksel ve mekanik özelliklerinden dolayı, TM endüstrisinde kullanım alanı oldukça geniştir. Birim ağırlıktaki yüksek mukavemet, aşınmaya karşı direnç, iyi yüzey kalitesi ve başka üstün özelliklerinden dolayı Al/TM parçaları, makine ve otomobil endüstrisinde ve alet teknolojisinde kullanılmaktadırlar [5].

Kompozit malzemeler kullanılan matris ve takviye elemanına göre sınıflandırılmakla birlikte en önemli kompozit malzeme çeşitlerinden biri de Metal Matrisli Kompozitler (MMK)' dir. Geçtiğimiz otuz yıl içerisinde alüminyum esaslı metal matrisli kompozitlerin kullanımı sürekli olarak artmıştır. Takviye edilen seramik parçacıkların matris içersine dağıtılmasıyla geleneksel türden malzemelere göre daha iyi spesifik mukavemet, rijitlik, aşınma, yorulma ve sürünme özellikleri elde edilmektedir. Kompozitler başlangıçta askeri ve uzay uygulamaları için üretilirken, son yıllarda otomotiv ve havacılık alanlarında da kullanılmaya başlanmıştır [6]. MMK'ler, yüksek aşınma direnci, yüksek elastik modülü, yüksek sıcaklık mukavemeti, yüksek akma mukavemeti, düşük termal genleşme katsayısı ve yüksek basma gerilmesi gibi özelliklerinden dolayı önemli görev üstlenmişlerdir [7].

Al alaşımlarına seramik takviyelerinin ilave edilmesi malzemenin tribolojik özelliklerini geliştirmektedir ve ilave edilen takviye miktarı arttıkça da malzemenin aşınma direnci artmaktadır. Döküm yönteminde malzemede boşluk oluşması gibi hatalar oluşmaktadır. TM yöntemiyle üretilen kompozitlerde ise matris içinde dislokasyon yoğunluğu yüksek olur, tane boyutu küçülür ve rekristalizasyon seramik takviyesiyle engellenebilir. Ayrıca döküm yöntemiyle üretilen kompozitlerin mukavemeti TM yöntemiyle üretilen kompozitlerden daha düşük olur [8].

Yaşlandırma ısı işlemi, alüminyum alaşımlarının dayanımı, aşınma direnci ve diğer mekanik özelliklerinin iyileştirilmesinde, kullanılan yöntemlerden birisidir. Bu işlem, üretim tekniklerinde yaygın olarak kullanılan ısı işlem yöntemidir [9].

Yaşlandırılabilen alüminyum alaşımları üzerine yapılan bir çalışmada ilave edilen alaşım elementlerinin çoğunlukla magnezyum, bakır, silisyum, çinko ve mangan elementlerinden bazılarını ihtiva ettiği söylenmiştir. Yaşlandırma ısı işlemi sonrasında yaşlandırma süresi ve sıcaklığına bağlı olarak yapı içerisinde çökelti oluşumu başlamış ve sertlik değerlerinin önemli bir ölçüde arttığı belirtilmiştir. Ancak yaşlandırma sıcaklığının ve süresinin belirli bir seviyeden sonra malzemenin dayanımını ve sertlik değerini azalttığı tespit edilmiştir [10]. Yapılan bir başka üretim tekniğinde, 6061 alüminyum alaşımına Al_2O_3 takviyesiyle kompozitin güçlendirildiği ortaya konmuştur. Mekanik özelliklerin iyileşmesindeki en önemli neden, matris ve takviye elemanları arasındaki kuvvetli ara yüzey bağlarına ulaşılması ile elde edilebileceği vurgulanmıştır [11]. Bir grup araştırmacı, AA7005 alaşımına %10 Al_2O_3 takviyesi ile sürtünme kaynağı etkisinin mikroyapı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Mekanik test olarak kullanılan çekme testinde, %80'e varan verimliliğin olduğunu saptamışlardır [12]. Al- Al_2O_3 toz metal kompozitlerde üretim parametrelerinin mikroyapı ve aşınma direnci üzerindeki etkisi araştırılan bir çalışmada, yüksek alümina (Al_2O_3) içeriğine bağlı olarak yoğunluklarda nispi bir artış olduğu belirtilmiştir [13]. AA 2014 ve AA 2024 alüminyum alaşımlarında soğutma koşullarının sertliğe olan etkilerinin incelendiği bir diğer çalışmada ise, alaşımlara yapay yaşlandırma işlemine bağlı olarak sertlik değerlerindeki değişimleri ve içyapıları incelenmiştir. En yüksek sertlik değerlerine çözündürme işleminden hemen sonra ulaşılmıştır [14]. Vortex metodu ile üretilen 2024 alüminyum alaşımına Al_2O_3 parçacık takviyeli kompozitlerin abraziv aşınma özelliklerini inceleyen bir diğer farklı üretim tekniğinde, kompozitlerin aşınma direncinin takviye oranının artmasıyla geliştiği ortaya konulmuştur [15]. Başka bir çalışmada, Al_2O_3 takviye edilmiş Al 6061 alaşımına nümerik analiz ile düşük çevirimli yorulma davranışları incelenmiştir. İlk çatlakların numune yüzeyinde oluştuğu ve iyi bir ara yüzey bağının oluşmadığı belirtilmiştir [16]. 2xxx serisi alüminyum alaşımına Al_2O_3 sinterleme karakteristiğini inceleyen bir grup araştırmacı, sıvı faz sinterlemenin 2xxx serisi alaşımların sinterleme özelliğini arttırmak için yararlı olduğunu tespit etmişlerdir [17]. Alümina takviyeli alüminyum matrisli kompozit malzeme üretimi ve mekanik özelliklerinin araştırılması ile ilgili yapılan teknikte, kompozit numunelerde MA süresinin artması ile yoğunluk, kırılma mukavemeti ve sertlik değerlerinde iyileşme

olduğu saptanmıştır [18]. Sıkıştırma döküm ile üretilmiş Al_2O_3 takviyeli AA 6061 kompozit malzemesinin mekanik özellikleri ve ısıtıl işlem davranışları ile karakterizasyonunun incelendiği çalışmada ise, takviye boyutlarının 45-100µm arasında olması bu tür kompozitlerde sert faz mukavemet artışı olarak tanımlanmış ve takviye elemanın matrise bağlanarak kompozit oluşumunun gerçekleştiği belirtilmiştir [19].

Bu çalışmada AA 2014 alüminyum alaşımından gaz atomizasyonu ile üretilen tozlara karışım yöntemi ve MA ile farklı oranlarda Al_2O_3 tozları takviye edilmiştir. İlave edilen tozların mekanik özellikleri ve mikroyapıya etkileri incelenmiştir. Bu süreçte tozların MA gibi ilave bir yöntem ile homojenizasyonu sağlanmaya çalışılmıştır. Ayrıca sinterleme sonrası yapılan yaşlandırma ısıtıl işlemi ile mekanik özelliklere etkileri araştırılmıştır. Al_2O_3 gibi oksidasyon tavrı yüksek bir malzemenin sinterleme ve tüm ısıtıl işlemlerde meydana getirebileceği büyüme kinetiğinden kaynaklanan olumlu ve olumsuz etkiler araştırılmıştır.

2. TOZ METALURJİSİ

Toz metalurjisi (TM), mekanik ve fiziko-kimyasal yöntemlerle metal ve metal alaşımlarını toz haline getirmek ve tozları ergitmeden basınç ve sıcaklık yardımıyla iş parçası üretmektir [5]. Bu yöntemde toz halindeki saf metaller, karbon, seramik ve plastik malzemeler birbirleriyle karıştırıldıktan sonra basınç altında preslenir. Daha sonra partiküllerin temas yüzeyleri arasında kuvvetli bir bağ oluşturmak ve istenilen özellikleri sağlamak amacıyla, “sinterleme” olarak bilinen, kullanılan metal tozlarının ergime noktasının altındaki bir sıcaklıkta yapılan bir işleme tabi tutulur [20].

TM tarihi M.Ö. 3000 yıllarına kadar uzanmaktadır. Eski Mısırlılar bu tarihte demir oksidi indirgeyerek sünger demir elde etmişlerdir. M.S. 400 yıllarında da Hindistan’da bugünkü TM’ne benzer yöntemlerle 6,5 ton ağırlığında Delhi Sütunu elde edilmiştir. 1826 yılında Rusya’da çıkarılan platin para, TM’nin ilk endüstriyel tatbikatı olmuştur. 1892 yılında Wolaston, platini TM yoluyla elde ederek, ilk ciddi TM uygulamasını başlatan kişi olmuştur [1].

TM’nin ilk ticari uygulamaları, 19. yüzyılın son çeyreğinden itibaren, lamba teli olarak önceleri karbon, sonra osminyum, zirkonyum, vanadyum, tantalyum ve en son olarak da tungsten tozlarının kullanılmasıdır. TM yönteminde modern gelişmeler 1. Dünya Savaşı yıllarında başlamıştır. Krupp firması 1914 yılında kobalt tozundan sert metal üretimini denemiş ve 1927 yılında “Widia” adıyla piyasaya sürmüştür. 1960’larda dövme çelik parçalar, takım çelikleri, izostatik preslenmiş süper alaşımlar gibi tam yoğun TM gereçleri üretilmiştir. 1980’lerde ise çeşitli yeni toz üretim teknolojileri geliştirilmiştir. Bunlardan bazıları; hızlı soğutma teknikleri, mekanik alaşımlama ve toz enjeksiyon kalıplama olarak sıralanabilir.

TM’nin asıl amacı, metalleri toz olarak elde etmek ve elde edilen bu tozları presledikten sonra fırınlarda sinterleyerek makine parçası üretmektir. Presleme işlemi, genelde oda sıcaklığında, bazen de yüksek sıcaklıklarda yapılır. Fakat yüksek sıcaklıklarda presleme işlemi, kalıp malzemesinin presleme sıcaklığındaki

mukavemet değerleriyle sınırlanmıştır. Sinterleme ile elde edilen parçalara bazen son şeklini vermek için ilave bir işlem uygulanabildiği gibi buna lüzum kalmayabilmektedir [21].

Sinterleme ısı işleminin, ergitmenin yerini tutmakta ve metal tozunun ergime noktası altındaki bir sıcaklıkta yapılmaktadır. Kullanılan toz bir karışım ise, sinterleme işlemi bu tozlardan en yüksek ergime sıcaklığına sahip olan tozun ergime sıcaklığı altında yapılır. Bazı durumlarda ise sinterleme düşük ergime sıcaklığına sahip malzemenin ergime derecesinin üzerinde yapılır. Bu tür sinterlemeler “sıvı faz sinterlemesi” olarak adlandırılır [22].

TM’ni zorunlu kılan başlıca sebepleri şöyle sıralayabiliriz; tungsten ve molibden gibi bazı metallerin ergime sıcaklığının çok yüksek olması ve bu sıcaklıklara ulaşamaması, bazı özelliklerin ancak TM ile sağlanabilmesi (kendinden yağlamalı yataklar gibi), süper alaşımlar ve sert metallerin bu yöntemle üretilmesidir [23].

2.1. Toz Üretimi

Çoğu materyaller toz haline getirilebilir. TM’de kullanılan metal tozları 200 μm ’den küçüktür ve gelişen teknolojiyle birlikte her geçen yıl daha da küçülmektedir [24]. Toz üretim yöntemiyle, üretilen tozun boyutu, şekli, mikroyapısı ve kimyasal özellikleri arasında daima bir ilişki vardır. Belirli özellikteki tozların üretiminde farklı üretim yöntemleri kullanılmaktadır. TM imalat teknikleri ve metal tozları imalat teknolojisi arasında kuvvetli bir bağ vardır. Kullanılan yöntemler üretilen tozun fiziksel özelliklerini etkilemektedir. Bu bakımdan planlanan parça üretimine göre uygun toz seçimi yapılmalıdır [25].

Toz boyutu ve toz üretim yöntemleri, partikül şeklinin değişimine neden olmaktadır [26]. Üretim yöntemine göre tozlar, Şekil 2.1’de şematik olarak gösterildiği üzere küresel veya dendritik form gibi farklı geometrik şekiller alabilmektedirler. Toz yüzeyinin düzgün veya gözenekli olması da üretim yöntemine göre farklılık göstermektedir [27]. Şekil 2.1’de olası parçacık şekilleri ve tanımları verilmiştir.



Şekil 2.1. Olası parçacık şekilleri ve tanımları [26]

2.2. Toz Üretim Yöntemleri

Toz üretim yöntemleri 4 gruba ayrılır:

- 1- Mekanik Üretim Yöntemleri
- 2- Elektrolizle Üretim Teknikleri
- 3- Kimyasal Üretim Teknikleri
- 4- Atomizasyon Teknikleri

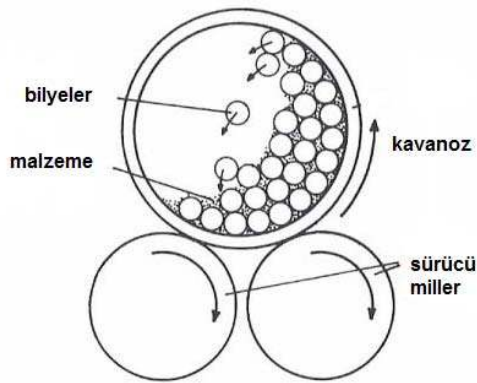
Geçmişte en çok bilinen toz üretim yöntemleri mekanik, kimyasal ve elektrolitik yöntemlerdi [28]. Günümüzde ise endüstride kullanılan tozların % 60'dan fazlası atomizasyon yöntemi ile üretilmektedir [29].

2.2.1. Mekanik üretim teknikleri

Dört ana mekanik öğütme yöntemi vardır; darbe, aşındırarak öğütme, kesme ve basma. Darbe, malzemeye çekiçle vurma gibi çok hızlı ve anlık uygulamaları içerir ve malzeme küçük parçacıklara ayrılır. Aşındırarak öğütme, aşındırıcıların birbiri üzerinde sürtünme hareketi sayesinde parçacıkların boyutunun küçültülmesidir. Kesme talaşlı imalatla olduğu gibi kesme işlemi ile malzemenin parçalanmasıdır. Diş dolgu malzemesi amalgamlarda kullanılan gümüş gibi pek çok metal tozu önceden

tornalama ile elde ediliyordu. Kesme ile oluşturulan tozların büyük olma eğilimi vardır. Sonuncu olarak, basma kuvvetleri ile bir malzeme kırılma noktasına kadar deformasyona uğratıldığında toz haline gelir. Yiyecekler de benzer şekilde toz haline getirilir [30].

Bu yöntemde en çok kullanılan metot aşınmaya karşı direnci olan ve sert bilyeler ile dönen sürücü silindirlerden oluşan bilyeli öğütücülerdir (Şekil 2.2). Bu yöntemdeki önemli nokta, sürücü silindirlerinin dönme hızıdır. Silindirlerde dönme hızı çok olur ise, bilyeler ile malzeme arasındaki santrifüj kuvvet ve relativ hareketten dolayı, silindir duvarlarına malzeme ile bilyelerin sıkışmasına meydan verecektir. Fakat bu yöntemde istenilen ideal hız ile bilye ve malzemenin bir kısmının değirmen gövdesinin üst kısmına yükselmesi ve küçük boyuttaki malzemenin aşağı düşmesi sağlanmaktadır [27]. Karıştırıcı tipi ve karışımın süresi karışım kalitesini etkileyen faktörlerdendir. Karıştırıcı olarak bilyeli değirmenler (atritör) kullanılır. Karışımın süresi, karışımın homojen olarak elde edilebilmesi için önemlidir. Belirli bir zamandan sonra karışım süresi etkili olmamaktadır [31]. Bu yöntem metal tozlarının öğütülmesinde yaygın olarak kullanılmakla birlikte, düşük hızlarda çalıştıklarından öğütme süresi uzundur [32].

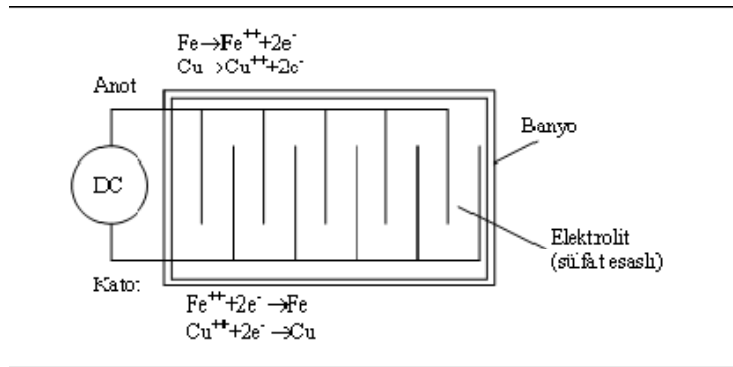


Şekil 2.2. Silindirik değirmende hareketin gösterilmesi [30]

2.2.2 Elektrolizle üretim teknikleri

Bu metot genellikle iyi preslenebilen ve sinterlenebilen yüksek saflıktaki metal tozlarının üretiminde kullanılır [33]. Elektroliz yönteminin sınırlılığı yüksek maliyetli olmasıdır [28].

Elektroliz üretim tekniği ile oksitlerden oluşan tozlar katoda akım vererek elektrolitik banyoda çökertilir ya da iyi kırılabılme özelliğinde katot da toplanır (Şekil 2.3). Banyo teknesi kurşun kaplıdır. Elektrolitik olarak bakır sülfat ve sülfürik asit kullanılır. Anot bakır, katot ise antimuanlı kurşundur.



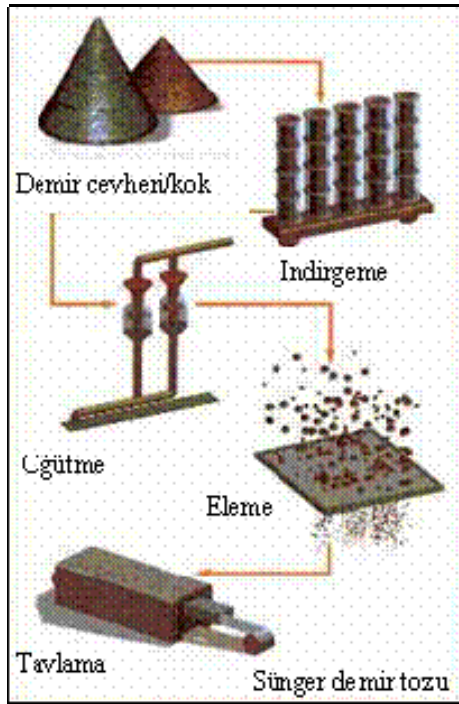
Şekil 2.3. Toz biriktirmek için bir elektroliz hücresi [27]

Elektroliz tekniği ile üretilen tozlar genellikle dendritik veya süngerimsi şekillidir. Ancak parçacık boyutu ve şekli önemli ölçüde kontrol edilebilir. Tozların özellikleri biriktirme sırasındaki banyo şartları ve sonraki işlem basamaklarına bağlıdır. Yüksek akım yoğunluğu, düşük iyon derişimi, asidik hücre kimyasalları ve koloidal katkılar, katotta gözenekli ve tozumsu birikinti oluşumunu kolaylaştırır [30].

2.2.3. Kimyasal üretim teknikleri

Metal tozlarının birçoğu kimyasal tekniklerle üretilir. En çok kullanılan yöntem ise oksitlerin CO veya H_2 gibi indirgeyici gazlarla kimyasal olarak indirgenmesidir [26].

Kimyasal yöntemle üretilen sünger-demir tozu bu yöntemin önemli bir uygulama örneğidir. Sünger demir, demir oksit cevherinin uygun nitelikte indirgeyici elemanlara indirgenerek süngerimsi bir kütleye dönüştürülmesiyle elde edilir. Magnetit (Fe_3O_4) , kok ve kireç taşı ile karıştırılır ve seramik kaplara doldurulur. Karışım seramik kaplar içerisinde $1260^{\circ}C$ sıcaklıktaki fırınlarda 68 saat bekletilir [34]. Kireç taşı, kükürdü emer. İndirgemenin tamamlanması ile sünger demir açığa çıkar. Elde edilen sünger demir külçeleri $1260^{\circ}C$ sıcaklıkta birbirine kaynaklanmış tozlardan oluştuğundan öğütülerek istenilen tane büyüklüğüne getirilir. Şekil 2.4'te kimyasal yöntemle demir tozu üretimi görülmektedir [35].

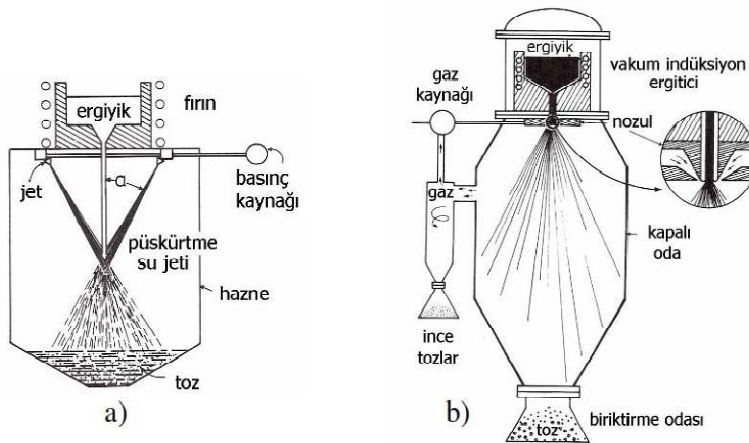


Şekil 2.4. Kimyasal yöntemle demir tozu üretimi [36]

2.2.4. Atomizasyon teknikleri

Atomizasyon tekniği, bir sıvı demetinin farklı boyutlardaki çok sayıda damlacıklara bölünmesidir [36]. Temel prensip, bir potanın dibindeki delikten akmakta olan ergimiş metalin üzerine yüksek basınçlı gaz veya sıvı püskürtülmesidir (Şekil 2.5). Hava, azot ve argon sıklıkla kullanılan gazlardandır ve su ise çok sık tercih edilen sıvıdır. Burada gaz veya sıvı, ergiyik haldeki metal demetini farklı boyutlarda çok sayıda damlacıklara ayırır. Damlacıklar daha sonra katılarak metal tozlarını oluştururlar. Bu üretim yöntemi üç ana bölüme ayrılır; ergitme, atomizasyon, katılma ve soğuma [37].

Ucuz ve yüksek kapasitede toz eldesi için seçilen su ve gaz atomizasyonu iki akışkan atomizasyonu olarak da isimlendirilir [25]. Gaz atomizasyonu yönteminde azot gazı kullanımı daha yaygındır. Yüksek basınçlı gaz belli bir açı ile sıvı metal huzmesine gönderilerek sıvıda belli bir dağılım oluşturulur. Yani huzmenin dağılımı ile sıvı metal damlacıkları elde edilir, yapılan bu işlem gaz atomizasyonu yöntemidir (Şekil 2.5). Sıvı metalin akma eksenini etrafına eşit açıda iki ya da daha fazla ağızlık yerleştirilir ve gaz jetleri ile sıvı metal huzmesi bir noktada kesişirler [38].

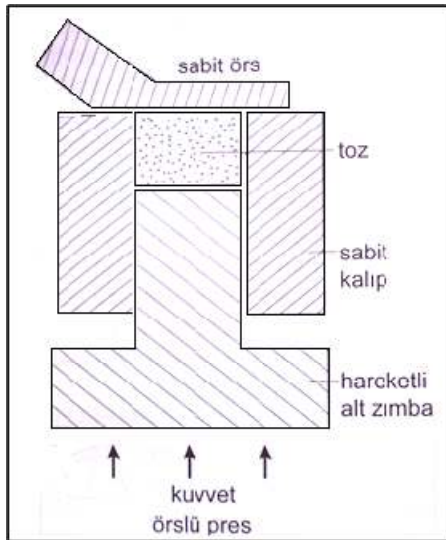


Şekil 2.5. a) Su atomizasyonu yöntemi

b) Gaz atomizasyonu yöntemi [26]

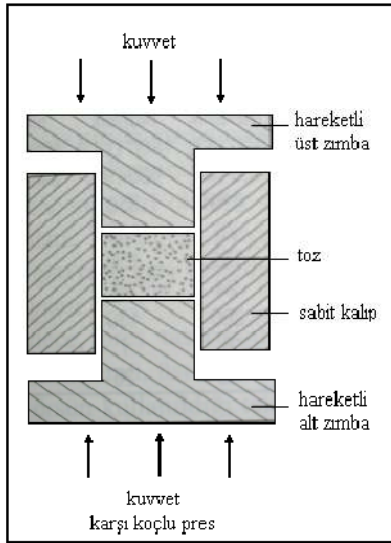
2.3. Tozların Preslenmesi

Presleme; tozun kalıp boşluğuna beslenmesi, toza basınç uygulanması ve ham parçanın kalıptan çıkartılması işlemlerinden oluşur. En basit olanı; dişi ve alt erkeğin sabit kalarak, üst erkeğin ilerlemesi ile yapılır. En basit halde tek zımba hareket eder, alt zımba ve dişi kalıp sabittir. Düz parçalarda üst zımbanın yerine sabit bir plaka konarak presleme yapılabilir ve buna örs tipi presleme denir. Bu presleme tekniği şematik olarak Şekil 2.6’da gösterilmiştir. Burada alt zımba, tozu bir plakayla üst kısmı kapatılmış dişi kalıp içinde sıkıştırmaktadır. Örs tipi presleme, basit parçaların çok sayıda üretimi için kullanılmaktadır [38].

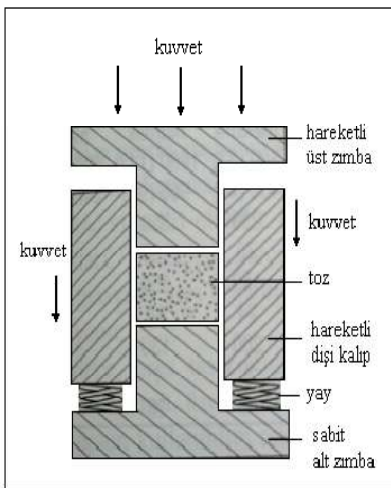


Şekil 2.6. Presleme tekniği

Kalıpta sıkıştırmanın çoğu en az iki presleme hareketi ile yapılmaktadır. Genellikle alt ve üst zımbalar dişi kalıp merkezine doğru hareket eder. Bu hareketler Şekil 2.7’de çift hareketli pres için gösterilmiştir. Presleme sırasında her iki zımba da dişi kalıbın merkezine doğru hareket eder. Çıkartma için alt zımba parçayı dişi kalıbın üstüne iter. Çok kullanılan bir alternatif ise sabit bir alt zımba ve yüzer (hareketli) dişi kalıp ile yapılan preslemedir. Üst zımbaya basınç uygulandıkça, dişi kalıp duvarlarındaki sürtünme kuvveti, dişi kalıbın bir yaya karşı hareketlenmesine sebep olur. Böylece, sabit olan alt zımba dişi kalıbın merkezine doğru relatif hareket yapmış olur [38]. Kavram Şekil 2.8’de gösterilmiştir.



Şekil 2.7. Çift hareketli sıkıştırma ile sıkıştıran zımba [38]



Şekil 2.8. Yüzer dişi kalıplı presleme ile çift hareketli zımba etkisi oluşturma [38]

Yüksek performanslı tam yoğunlukta mamul üretmek için hızlı katılaştırılmış tozlar, şerit malzemeler veya MA uygulanmış tozlar kullanılabilir. Hızlı katılaştırılmış veya MA ile üretilmiş tozların birleştirilmesinde genellikle, sıcak presleme, sıcak haddeleme, sıcak dövme ve izostatik presleme kullanılır. Tüm bu işlemler preslenecek malzeme türüne bağlı olarak soğuk şartlarda veya oda sıcaklığının üstünde yapılabilir [30].

2.4. Tozların Sinterlenmesi

TM teknolojisinin diğ er önemli bir adımı da sinterleme ısı  şlemidir. Sinterleme  şlemi, gözenekli yapıda Şekil kazandırılmış tozların, özgül yüzey alanının küçülmesi, partikül temas alanının büyümesi ve buna bağlı olarak gözenek hacminin küçülmesine neden olan ısı olarak aktive edilmiş malzeme taŐınımı olarak tanımlanabilir. Tek bileşenli sistemlerde genellikle sinterleme sıcaklığı olarak metalin mutlak ergime sıcaklığının 2/3 veya 4/5'i alınır. Ti-6Al-4V, Ti-6Al-7Nb gibi çok bileşenli sistemlerde sinterleme sıcaklığı, bu alaşımların sinterleme sıcaklığının ergime sıcaklığına oranı (T/TE) 0,75'in üzerinde seçilmesi önerilmektedir [39].

Presleme  şleminden sonra, küresel Şekilli toz parçacıkları noktasal olarak temas halindedir. Sinterleme  şlemi sırasında, temas eden parçacıklar arasında kaynaklar oluşur ve bağlar kuvvetlenir. Par acıklarda önce bir boyun büyümesi ve ilerleyen sinterleme zamanı ile gözeneklerde b z lmeler oluşur. Daha sonra, gözenek kanalları kapanarak kapalı gözenek Őekline dönüşür [21].

Sinterleme sürecinde, toz parçacıklarının yüksek yüzey enerjileri aŐılarak, parçacıkların tam ve m kemm l bağlar oluşturulur. Bu sayede i  yapıdaki gözeneklilik sıfıra düŐer (Şekil 2.9). Hacim baŐına düŐen yüzey enerjisi toz parçacık çapının tersiyle doğru orantılı olduğundan, küçük toz parçacıkları daha kolay sinterlenmektedirler [40].



Şekil 2.9. Sinterleme süreci [41]

2.5. Mekanik Alaşımlama

Döküm, plastik şekillendirme gibi geleneksel yöntemlerle üretilemeyen parçaların üretiminde yaygın olarak toz metalurjisi yöntemleri kullanılmaktadır ve bu yöntemler son yıllarda teknolojinin de gelişmesiyle hızlı bir gelişme göstermiştir. Özellikle son yıllarda nano teknolojiye olan ilginin artması ve nano teknolojideki hızlı gelişme toz metalurjisini, özellikle de toz metalurjisinin yeni yöntemlerinden biri olan Mekanik Alaşımlama (MA) yöntemini çok önemli hale getirmiştir [42].

MA normalde kuru ve yüksek enerjili bilyeli öğütme tekniğidir. Aynı zamanda son derece ince ve homojen mikro yapılar üretmek için toz malzemelerin inert bir ortamda yoğun öğütme işlemiyle sürekli olarak kırılma ve soğuk kaynaklanmaya ve yeniden kırılma ile yeniden kaynamaya maruz bırakılan düşük sıcaklıkta yapılan alaşım sentezleme yöntemidir [43]. Bir başka ifadeyle mekanik alaşımlama, tozların paslanmaz çelik kazanlarda sertleştirilmiş çelik bilyeler veya tungsten bilyeler ile istenilen sürelerde öğütülerek ve karıştırılarak yapılan bir katı hal alaşımlama işlemidir. Bu teknik bilimsel ve ticari olarak kullanılabilen malzemelerin üretilmesinde kullanılmaktadır. Klasik alaşımlama işlemleri sırasında karşılaşılan ergime problemleri, heterojenlik, işlemler sırasında meydana gelen istenmeyen reaksiyonlar, mekanik alaşımlama ile ortadan kaldırılabilir. Aynı zamanda ekonomik ve uygulama alanının geniş olması büyük avantaj sağlar. Bunların başında modern birbiriyle karışamaz elementlerin karıştırılabilmesi gelir. Bunu başka tekniklerle gerçekleştirmek mümkün değildir. Oksitlenmeye karşı öğütme sırasında genellikle argon gazı kullanılır. Eğer nitrürleme gibi işlem de varsa atmosfer olarak azot gazı (N_2) kullanılabilir. Kullanılan tozlar yumuşak ise değişik türde işlem kontrol kimyasalları kullanılabilir [44].

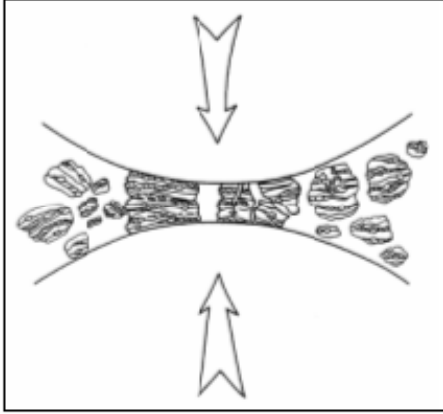
Ciddi mühendislik malzemeleri olan kompozit ve seramiklerin devreye girmesi ile metal ve alaşımlarının gelecekteki rolü işlem gelişiminin etkisine ve kalitesine bağlı olacaktır. Alaşım gelişimi için mevcut çizgiler, yeni ve kaliteli bir teknoloji olan mekanik alaşımlama, normalde uyumsuz olan bileşenlerin elde edilmesinde önemli bir yeterlilik arz eder. İşlemin esnekliği, klasik alaşımların yanında yarı

kararlı fazlar, amorf fazlar, intermetalikler ve hatta sermetler ve organik-seramik-metalik malzeme sistemlerine uzanmaktadır [45].

Kompozit ve seramik esaslı malzemelerin kullanım alanlarının gelişmesi MA yöntemi ile üretilen metal esaslı malzemeler üzerine yapılan araştırmaların yavaşlamasına neden olmuştur. Ancak halen özellikle hafif alaşımların takviye edilmesi, farklı üretim teknikleri ve ara işlem basamaklarının değiştirilmesiyle yeni geliştirilen alaşımların performansları arttırılmaktadır [46, 47, 48].

2.5.1. Mekanik alaşımlama mekanizması

Toz partiküllerinin yüksek enerjili öğütülmesi esnasında sürekli olarak ezilme, soğuk kaynak, kırılma ve yeniden kaynaklanma meydana gelir. İki çelik bilyenin çarpışmasıyla, bilyeler arasında kalan tozlar ezilir. Tipik olarak her çarpışma esnasında yaklaşık 0,2 mg'lık bir yığınla 1000 kadar toz tanesi ezilir (Şekil 2.10). Darbenin etkisiyle toz partiküllerde plastik deformasyon, deformasyon sertleşmesi ve kırılma şeklinde devam eder. Toz taneciklerinin birbirlerine kaynaklanmasıyla yeni yüzeyler oluşur ve bu süreklilik partikül boyutunda bir artışa neden olur. Çünkü öğütmenin başlangıcında tozlar yumuşaktır. Birbirleriyle kaynaklanma ve büyük tanecik oluşturma eğilimi yüksektir. Toz tane boyutları, başlangıç tozlarının yaklaşık üç katı kadar artar. Bu aşamada kompozit tozlar başlangıç bileşiminin değişik kombinasyonlarını içeren karakteristik bir yapıya sahip olur. Devam eden deformasyonla kolay kırılabilen incelmış tozlar parçalanır veya bir yorulma bozunmasıyla deformasyon sertleşmesine ve kırılmaya uğrar. Bu aşamada kırılma eğilimi soğuk kaynaktan daha yüksektir. Öğütücü bilyelerinin devam eden darbe etkisiyle toz tane yapısı yavaş yavaş incelir. Buna rağmen parçacıkların boyutu aynı kalmaya devam eder. Sonuçta tabakalar arası boşluk azalır ve parçacık tabakaları artar [47].



Şekil 2.10. MA işlemi sırasında bilye-toz-bilye çarpışması [47]

Bununla beraber parçacık boyut düşürme verimi oldukça azdır. Geleneksel bilyeli öğütücülerde bu % 0,1 civarındadır. Yüksek enerjili bilyeli öğütme işlemlerinde verim bir şekilde yüksektir ama bu oran hala % 1'in altındadır. Kalan enerji genellikle ısı şeklinde kaybolur. Fakat küçük bir miktarı toz parçacıklarının elastik ve plastik deformasyonunda kullanılır [47].

Belirli bir öğütme süresi sonrasında, ortalama parçacık boyutlarını artırmak için, kaynaklanma oranı ve ortalama kompozit parçacık boyutunu düşürme eğilimini meydana getiren kırılma işlemi oranı arasında sürekli bir denge durumu sağlanır. Küçük parçacıklar oldukça hassas ve büyük parçacıkları ortalama boyuta indirgeme eğilimi ile kırılma ve daha büyük parçalara kaynaklanma olmaksızın küçük parçacıklarda deformasyon sağlanır [47].

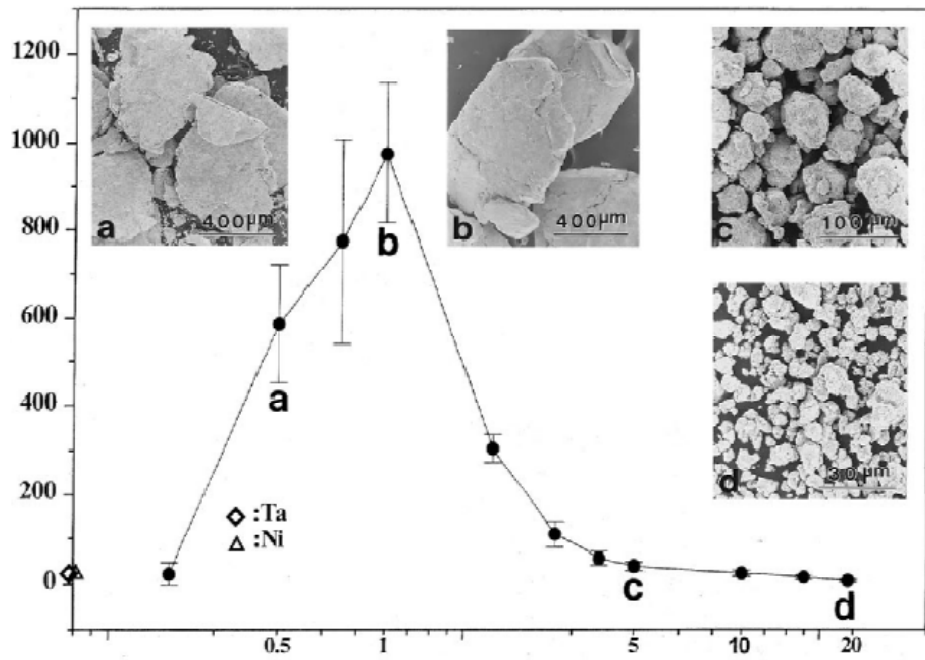
MA sırasında parçacıklarda oldukça ağır deformasyon oluşur. Bu tane sınırları miktarındaki artış; dislokasyon, boşluklar, dislokasyonların birbirini bloke etmesi gibi birçok kristal etkilerin oluşumuyla görülür. Bu etki matriste çözünen elementlerin difüze olmasını artırır. Daha ileri inceltilmiş mikroyapı özellikleri, difüzyon mesafesini düşürür. Bunun yanında öğütme sırasındaki sıcaklığın hafifçe yükselmesi difüzyon davranışlarına yardım eder. Bunun sonucunda, bileşimi oluşturan elementler arasında gerçek bir alaşımlama ortaya çıkar. Oda sıcaklığında

bu alaşımlama ortaya çıkarken, bazen de alaşımlamanın yüksek sıcaklıklarda elde edilebilmesi için alaşım tozunun tavllanması gerekir.

Herhangi bir sistemde istenen bir yapının oluşturulması için gerekli zaman; başlangıç toz boyutu ve içeriklerinin (karışımın) özelliklerini ve MA işlemi için kullanılan özel ekipmanların ve bu ekipman parametrelerinin bir sonucu olabilmektedir. Fakat çoğu durumlarda içyapının (parçacık boyutu, kristal boyutu, lameller alan) incelleme oranı işlem zamanı ile kabaca logaritmiktir ve bundan dolayı toz parçacıklarının başlangıç boyutları önemsizdir. Birkaç dakika içinde lameller genellikle küçük ve kristal bir yapıya dönüşür ve bu boyut olarak 1 nm'dir. Nanokristal malzemelerdeki sentezleme kolaylığının bir sebebi, nanokristal malzemeleri üretmek için yoğun olarak kullanılan MA'nın niçin kullanıldığıdır [49].

2.5.2. Toz partikül çaplarının değişimi

Küçük parçacıklar kırılma olmadan da deformasyona direnç gösterebilir ve çok küçük parçacıklarla çok büyük parçacıklar kaynaklaşarak, ortalama bir boyuta ulaşırlar. Öğütme sırasında kullanılan enerjinin büyük kısmı ısı olarak açığa çıkar. Fakat az bir miktar da, tozların elastik ve plastik deformasyonunda kullanılır. Örneğin, konvansiyonel bir bilyeli öğütücüde toz boyutunun azaltılması için harcanan enerji toplam enerjinin %1'i kadarken, yüksek enerjili öğütme işlemlerinde biraz daha fazla olup %1'den azdır. Yani toplam enerjinin az bir miktarı, toz parçacıklarının elastik ve plastik deformasyonu için harcanır. Öğütme işlemi sonunda, aslında her bir parçacık, başlangıç bileşimine sahiptir ve tüm başlangıç bileşenlerini içermektedir. Bu durumdaki parçacık boyutları birbirlerine yakındır (Şekil 2.11). Çünkü ortalamadan büyük olan parçacık boyutlarının küçülme oranı ile ortalamadan küçük parçacıkların kaynaklaşma sebebiyle büyüme oranı aynıdır [50].



Şekil 2.11 MA işlemi boyunca toz boyutundaki değişim [51]

2.5.3. Mekanik alaşımlamanın uygulandığı toz kombinasyonları

MA işlemini metallerin ve alaşımların üç farklı kombinasyonuna tatbik etmek mümkündür. Bunlar; sünek-sünek, sünek-kırılgan, kırılgan-kırılgan karakterli toz sistemleridir. Sünek-sünek kombinasyonda mekanik alaşımlama esnasında istenilen alaşımlamanın gerçekleşmesi için karışımın en az % 15'inin sünek bileşen olması gerektiği belirtilmiştir [50]. İki farklı sünek bileşen içeren bir sistemdeki alaşımlama mekanizmasıyla ilgili olarak yapılan araştırmada, mekanik alaşımlamanın ilk aşamalarında sünek bileşenlerin bilyeler vasıtasıyla bir mikrodövme işlemiyle levha şeklinden üst üste tabakalaşmış bir yapıya dönüştüğü tespit edilmiştir [52]. Bu süre zarfında bir miktar toz bilye yüzeylerine kaynak olmaktadır. Bilyelerin üzerinin bu şekilde kaplanmış olması bilyelerin aşırı ısınmasını önlediğinden bu durum MA işlemi açısından avantajlıdır. Bir sonraki aşamada ise levhalaşan bu parçacıklar birbirleriyle soğuk kaynaklaşır ve işleme giren tozların kompozit lamelli görünüm sergileyen bir yapısı oluşur. Bu aşamada, parçacık boyutunda artış gözlenir. MA işleminin ilerlemesiyle birlikte, kompozit toz parçacıklar sertleşir, sertlikle birlikte kırılganlıkları artar ve bu durum ise parçacıkların eşeksenli boyutlarda kırılmasıyla

sonuçlanır. Daha ileri aşamalarda eş eksenli toz parçacıklarının rastgele kaynaklaşmasından dolayı lamel yapı kıvrımlı bir hale dönüşür [53]. Bu aşamada; difüzyon mesafelerinin azalması, kafes hata yoğunlunun artması ve öğütme işlemi esnasında ortaya çıkan ısı sebebiyle alaşımlama gerçekleşmeye başlar. Daha ileri aşamalarda ise atomik seviyedeki gerçek alaşımlama ortaya çıkar ve bu durum katı çözeltilerin, intermetaliklerin ve amorf yapıların oluşması ile sonuçlanır. Bu aşamada katmanlar arası mesafe optik mikroskopla gözlemek mümkün olmayacak kadar incelir [52].

Geleneksel oksit dağılımı ile mukavemetlendirilmiş (ODS) alaşımlar sünek-gevrek karakterli bileşenler grubuna girmektedir. Bu kombinasyonda, sünek bir matris oksit parçacıklar ile takviye edilmiştir. Öğütmenin ilk aşamalarında bilye-toz-bilye çarpışmalar sebebiyle sünek metal toz parçacıklar yassılaşıırken, kırılğan oksit veya intermetalik parçacıklar kırılır veya ufalanır. Kırılmış bu gevrek parçacıklar sünek bileşenlere gömülürler. Sonra bu gevrek bileşenler toz parçacıklar arasındaki kaynaklaşma sebebiyle toz içerisindeki lamel fazlar arasındaki boşluklara yerleşirler. Devam eden öğütmeyle, sünek toz parçacıklar sertleşir, lamelli düz yapı kıvrılarak helisleşir ve iyice incelir. Her bir toz parçacığının bileşimi başlangıç toz karışımının bileşimine yaklaşır. Öğütme devam ettikçe, lamelli yapı daha da incelir ve lameller arası mesafeler azalır. Gevrek parçacıklar ise bu şekilde matris içerisinde homojen olarak dağılır. MA işlemi sırasında sünek-gevrek bileşenlerin alaşımlanmasının gerçekleşmesi için, gevrek parçacıkların kırılması gerektiği gibi aynı zamanda sünek matris içerisinde yeterli katı çözünürlüğe sahip olmasına da ihtiyaç vardır [54].

Gevrek-gevrek bileşenli alaşımlama sisteminde başlangıçta alaşımlamanın mümkün olamayacağı, düşünülebilir. Nedeni de; sünek bir bileşenin olamaması kaynaklaşmanın oluşmasını engeller ve kaynaklaşmanın olmaması durumunda alaşımlamanın gerçekleşmesi beklenemez. Ancak Si-Ge ve Mn-Bi gibi sistemlerde bu işlemin gerçekleştiği belirtilmiştir [55, 56]. Gevrek intermetaliklerin öğütülmesi işleminde de bu yönteme başvurulmuş ve amorf fazların elde edildiği tespit edilmiştir [57].

2.5.4. Mekanik alaşımlamanın avantajları

Mekanik alaşımlama yöntemi, deneysel ve üretim süreçleri olarak tüm ikili ve çoklu sistemlere kolaylıkla uyguluna bilmektedir. Bu yüzden MA tekniği üretim ve ticari anlamda çeşitli avantajlar sunmaktadır [29]. Bu avantajlar şu şekilde sıralanabilir:

- Mekanik alaşımlama işlemi, gelişmiş malzemelerin tasarlanmasını sağlayan yeni işleme tekniklerinden bir tanesidir.
- MA işlemi, bir katı hal işlemi olmasından dolayı normal ergitme teknikleriyle üretilmesi zor ve veya imkansız olan elementlerin (WC-Co gibi) üretilmesi.
- Birbiri içinde sıvı fazda (Cu-Pb) veya katı fazda (Fe-Cu) çözünmeyen elementlerin alaşımlanması.
- ODS malzemeler, türbin paletlerini üretmek için geliştirilen malzemelerdir. Bu malzemelerin üretimi, MA ile yeni malzeme üretiminde kullanılan özel bir metottur.
- Oldukça farklı ergime sıcaklığına sahip malzemelerden intermetaliklerin üretilmesi.
- MA temelde katı malzemelerin bilyeli bir değirmende asal bir ortamda işlendiği bir toz metalurjisi tekniğidir. İşlem içerisinde sıvılar bir kontrol eleman veya reaktant olarak bulunabilirler.
- MA işlemi bir katı hal difüzyon işlemi olmasından dolayı alaşımlar sıvı halde bulunmayan karışımlardan yapılabilirler.
- Mekanik alaşımlama da dayanım için en önemli rolü, matris içerisine homojen olarak dağılmış oksit parçacıkları üstlenmektedir. Bu parçacıklar; dislokasyon hareketleri için önemli bir bariyer teşkil etmektedir. Yeterli dayanım elde edebilmek için oksit parçacıklarının çok küçük (5-50 nm) ve birbirine oldukça yakın (100-150 nm) dağılmış olması gerekir. MA ile bunu sağlamak mümkündür.
- Matris içerisine homojen olarak dağılmış oksit parçacıklar, toparlanmayı ve yeniden kristalleşmeyi engeller veya yavaşlatır, böylece bu malzemelerin yüksek sıcaklıkta kararlı bir yapıda olmalarını sağlar.
- MA işleminden sonraki termo mekanik işlemler neticesinde oldukça iri uzun ve birbirine geçmiş taneler elde etmek mümkündür. İri tane yapısı, ikinci yeniden kristalleştirme işleminden sonra ortaya çıkmakta ve malzemenin yüksek sıcaklıkta tane sınırı kaymasını engellemektedir.

- Mekanik alaşımlama ile elde edilen tozların yapısı tamamen homojen olarak elde edilebilir, böylece segregasyon problemi ortadan kaldırılmış olur.
- Dış etkilere karşı dayanıklı malzeme üretmek mümkündür.
- Fabrikasyonu kolaydır.
- Endüstriyel uygulamalar için karmaşık şekilli ve hassas toleranslar dahilinde malzeme üretimi mümkündür. 0,1mm et kalınlığında saç levha ve 0,4 mm kalınlığında boru malzeme üretilmektedir.
- Nano kristalli malzeme üretimine elverişlidir.
- Bir seferde oldukça fazla miktarda toz üretmek ve alaşımlamak mümkündür.
- Performans/birim fiyat dikkate alındığında ucuz malzeme üretimini mümkün kılmaktadır [42].

3. KOMPOZİT MALZEMELER

Kompozit malzeme, birbirinden biçimleri ve kimyasal bileşimleriyle ayrılmış ve esas olarak birbiri içersinde çözünmeyen, iki veya daha çok mikro veya makro bileşenin karışımı veya birleşimiyle oluşan malzemedir [58]. Kompozitleri meydana getiren bileşen sınıfları çok farklı malzemelerden olabilmektedir; seramik, metal, polimer, cam ve elastomer gibi. Kompozit sistemlerine bağlı olarak değişik sınıftaki malzemelerden en az iki grup malzeme bir araya getirilerek üstün özelliklere sahip yeni malzemeler elde edilmektedir [59].

Kompozit malzemelerin kullanılacağı alanlardaki çevre şartları (sıcaklık, korozyon gibi) mukavemet özellikleri ve maliyet göz önünde bulundurularak kompozit malzemedeki matris malzemesinin seçimi yapılmaktadır. Matris malzemesinin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin iyi belirlenmesi ile kompozit malzemeye katkıda bulunacağı faydanın optimum seviyelerde olması sağlanmaktadır [59].

Uygulamada, kompozit malzeme üretiminde genellikle aşağıdaki özelliklerden birinin veya bir kaçının geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Bu özelliklerin başlıcaları;

- Mekanik dayanım, basınç, çekme, eğilme, çarpma dayanımı
- Yorulma dayanımı, aşınma direnci
- Korozyon direnci
- Kırılma tokluğu
- Yüksek sıcaklığa dayanıklılık
- Isı iletkenliği veya ısı direnç
- Elektrik iletkenliği veya elektriksel direnç
- Akustik iletkenlik, ses tutuculuğu veya ses yutuculuğu
- Rijitlik
- Ağırlık
- Görünüm, şeklinde sıralanabilir [60].

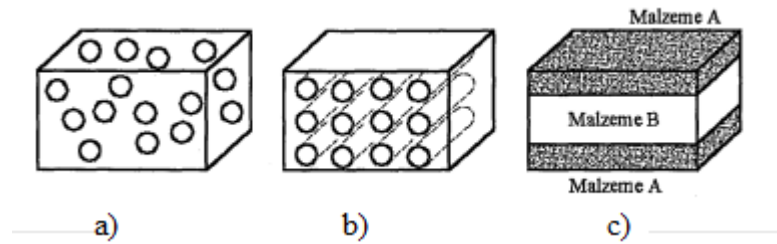
3.1. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Kompozit malzemeleri oluşturma seçeneklerine göre sınıflandırma zordur ve değişik açılardan yapılabilir. Kompozit malzemedeki kuvvetleri takviyeye iletmek, lifleri ortamın etkisinden ve darbelerden korumak, kompozit malzemelerin tokuluğunu arttırmak gibi görevleri üstlenen matrise ve matris malzemesine göre kompozit malzeme belli bir sınıflandırmaya tabi tutulur.

- a) Plastik matrisli malzemeler
- b) Metal matrisli malzemeler
- c) Seramik matrisli malzemeler
- d) Karbon/grafit matrisli malzemeler

Takviye malzemelerinin şekilleri açısından yapılacak sınıflandırmaya göre;

- a) Fiber takviyeli (elyaflı) kompozit malzemeler
- b) Parçacıklı kompozit malzemeler
 - Dağınımla (dispersiyonla) mukavemetlendirilmiş
 - Partikül takviyeli kompozit malzemeler
- c) Tabakalı kompozit malzemeler [61]



Şekil 3.1. Kompozit malzeme tipleri;

- a) Parçacık takviyeli kompozit
- b) Elyaf takviyeli kompozit
- c) Tabakalı kompozit malzeme [62]

3.2. Metal Matrisli Kompozit Malzemeler (MMK)

Metal matrisli kompozit malzemeler ve özellikle de süreksiz (parçacık, kısa fiber, whisker) parçacık takviyeli MMK'ların, otomotiv ve havacılık uygulamalarındaki kullanım alanları giderek yaygınlaşmaktadır. Son yıllarda yapısal kompozit alanında alüminyum esaslı süreksiz parçacık takviyeli MMK'lara ait pratik uygulamalar ve araştırmalar üzerinde durulmaktadır. Araştırmaların büyük kısmı bu ileri malzemelerin üretim işlemleri ve özelliklerinin tahmini üzerine olmakla birlikte, ikincil üretim teknolojileri olan talaşlı işleme, birleştirme, plastik şekil verme üzerine de araştırmaların yapılması gerekmektedir [63].

Metal Matrisli Kompozitlerin metallere göre üstün olan özelliklerini şöyle sıralayabiliriz:

- 1- Yüksek mukavemet/yoğunluk oranı, diğer bir deyişle spesifik mukavemet
- 2- Yüksek elastiklik modülü/yoğunluk oranı, başka bir deyişle spesifik modül
- 3- Daha İyi yorulma direnci
- 4- Yüksek sıcaklıklarda mukavemetini koruyabilme ve düşük sürünme oranı gibi daha iyi yüksek sıcaklık özellikleri
- 5- Düşük termal genleşme katsayısı
- 6- Daha iyi aşınma direnci

Metal Matrisli kompozitlerin dezavantajları olarak ise şu maddeler sayılabilir:

- 1- Sürekli fiber takviyesinin söz konusu olduğu durumlarda zor ve karmaşık üretim işlemleri (döküm yöntemi hariç)
- 2- Metallere göre sünekliğin belli oranda azalması. Yüksek maliyetli üretim sistemi ve teçhizat
- 3- Yeni gelişen bir teknoloji olması nedeniyle firmaların ve üreticilerin deneyimsiz oluşu [64].

3.2.1. MMK’larda kullanılan matris malzemeleri

MMK’lardaki matris malzemelerinin en önemli görevi takviye elemanlarını bir arada tutmaktır. Ayrıca kompozit malzemeye gelen yüklerin homojen bir şekilde takviye elemanlarına aktarılması ve takviye elemanlarının aşınmaya karşı korunması da matris malzemeleri tarafından sağlanmaktadır. Bunların dışında, MMK malzemelerin mekanik özelliklerini ağırlıklı olarak matris elemanı belirlemektedir. MMK’larda matris malzemesi seçiminde; takviye elemanı ile uyum, hafiflik, yüksek dayanım, korozyon ve ısıya karşı direnç gibi özellikler dikkate alınmaktadır. Metal matrisli kompozitler için hemen hemen bütün mühendislik malzemeleri matris olarak kullanılabilir. Bunların başlıcaları Al, Ti, Mg, Cu, Fe, Co, Mo ve Ni gibi metaller ile bunların alaşımlarıdır [65].

3.2.2. MMK’larda kullanılan takviye elemanları

MMK malzemelerin üretiminde matris malzemesi kadar takviye elemanı da önemli yer tutar. Takviye elemanları matris malzemesi ile uyumlu ve matris tarafından kolay ıslatılabilir özelliklere sahip olmalıdır. Bu elemanlar kompozit malzeme üzerindeki yükü taşıyarak matris malzemesinin dayanımını arttırmaktadırlar. MMK’larda genellikle seramik esaslı takviye elemanları yaygın olarak kullanılmaktadır. Metal matrisli kompozitlerde yaygın olarak kullanılan takviye elemanları Al_2O_3 , SiC, B_4C , TiB_2 , TiC, WC, W, C ve MgO dur [66].

Takviye elemanı seçiminde dikkate alınması gereken hususlar; elastikiyet modülü, çekme dayanımı, yoğunluk, ergime sıcaklığı, kimyasal kararlılık, ısıl genleşme katsayısı, boyut ve şekil, matris malzemesiyle uyumluluk, maliyet şeklinde sıralanabilir [67].

Doğada birçok seramik parçacık halinde bulunduğu için, bunlar parçacık takviyeli kompozitler için geniş bir aralıkta takviye potansiyeline sahiptir. Parçacık takviyeli kompozitlerin; uzun veya kısa fiberlilere göre daha ucuz olması, toz metalurjisi ve döküm gibi üretim teknikleri ve bunu takiben haddeleme, dövme, ekstrüzyon gibi

geleneksel ikincil işlemlere uygunluğu, rijitlikleri ve aşınma dayanımlarının yüksek olması gibi avantajları vardır. Uygulamalarda mukavemetin yüksek olması gerektiği durumlarda, kısa fiberler veya whisker katkılı kompozit malzemeler kullanılır. Rijitlik ve mukavemetin en iyi kombinasyonunu ise yüksek maliyete sahip sürekli fiber katkılı metal matrisli kompozitler sağlar [64].

Seramik takviyeli kompozitler

Metal matrisli kompozit malzemelerin sanayi alanında kullanılması ile birlikte çeşitli matris ve takviye malzemeleri kullanılarak bu alanda birçok gelişme kaydedilmiştir. Bu tür malzemelerde özellikle hafiflik, iyi süneklik, iyi mukavemet, iyi aşınma direnci ve ucuzluk gibi bir tek matriste bulunmayan özellikler elde edilmeye çalışılmaktadır. Fe-esaslı ve Ti-esaslı malzemeler ucuzluk ve hafiflik dışında diğer özelliklere sahip olup endüstri alanında kullanılmaktadır. Ancak taşıma sektörü bu malzemelerden farklı olarak daha hafif ve daha ucuz malzemeleri bulma arayışı içine girmişlerdir. Seramik takviyeli kompozitler en az yirmi yılı aşkın bir süredir hafif ve ucuz malzemeler olduklarından dolayı kullanılmaktadır. Bu özelliklerin yanında seramik takviyeli metal matrisli kompozit malzemeler süneklik ve mukavemetin bir arada olduğu iyi bir karışım olmanın yanında iyi korozyon ve iyi aşınma direncine de sahiptir [68, 69, 70].

Ayrıca metallerin sertliklerini geliştirmek için değişik türde oksit, karbür veya nitrür partiküllerinden yararlanılır. Sermet olarak bilinen metal matrisli seramik takviyeli kompozit malzemelerde oksit, karbür veya nitrür gibi seramik esaslı bir faz, metalik matris içinde dağılmıştır. Tungsten karbür, titanyum karbür, krom karbür ve bor karbür gibi karbürlerin tipik özellikleri yüksek sertlik ve aşınma dayanımıdır. Alüminyum oksit, magnezyum oksit, toryum oksit gibi oksitlerde yüksek ısıl kararlılık gibi özellikleriyle bilinirler. Bu karbür ve oksit içerikli seramiklerin içinde takviye malzemesi olarak en çok kullanılan malzemeler SiC ve Al_2O_3 'tür [10].

3.3. Al Matrisli Al_2O_3 Parçacık Takviyeli Kompozit Malzeme

Uzun bir zamandan bu yana, MMK'lar da matris malzemesi olarak alüminyum alaşımları çok geniş olarak, hem araştırma ve geliştirmede hem de endüstriyel uygulamalarda kullanım alanı bulmaktadır. Bu alüminyum alaşımlarının düşük yoğunluğundan dolayı olmuştur. Dahası diğer düşük yoğunluklu metallerle (Mg, Ti gibi) karşılaştırıldığında daha ucuzdur. Ayrıca, gösterdiği iyi korozyon direnci, düşük elektriksel direnç ve mükemmel mekanik özelliklerinden dolayı metal matrisli malzemelerin en önemli noktası olmuştur. Bu özelliklere ilave olarak hafifliği, sinterlendikten sonra düşük kompaktlama basıncı ve düşük sinterleme sıcaklığından kaynaklanan enerji tasarrufu, otomotiv endüstrisinde alüminyum matrisli kompozitlerin, bazı demir bazlı parçaların yerine tercih edilmesine sebep olmuştur. Sonuçta alüminyum ve alaşımları, havacılıktan otomotiv sanayisine kadar olmak üzere pek çok endüstriyel alanda yüksek kullanıma sahip olduğundan dolayı çok iyi bilinmektedir [71].

3.3.1. Alümina özellikleri

Alüminyum, oksijen, hidrojen, (Al_2O_3) , $AlOOH$ ve $Al(OH)$ olarak üç kristalin bileşim formundadır. Alümina, bir oksit malzemesidir. Değişik modifikasyonları olmasına rağmen ticari kullanım alanına sahip olan $\alpha-Al_2O_3$ 'tür. Alümina bazlı malzemelerde diğer ürünler SiO_2 , CaO , MgO olup spinel ve silikat formunda bulunurlar. Alüminanın ilk ticari kullanım alanı buji ve laboratuvar malzemeleridir. Bugün alümina özellikle yüksek sıcaklık fırınlarında geniş çapta kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra kesici takım, yatak malzemesi, tekstil endüstrisinde iplik kılavuzu olarak ayrıca elektronik endüstrisinde, zırh yapımında, tıpta implant ve protezlerde kullanılmaktadır. Ergime noktası $2000 \pm 30^\circ C$ olan alüminyum oksit düşük sıcaklıklarda kimyasal maddelere ve mekanik yüklere karşı en dayanıklı malzemelerden birisidir. Alümina, suda ya da iyi kalsine edilmişse hem mineral asitlerinde hem de bazlarda çözünmez. Sodyum karbonat, kostik soda ve sodyum peroksit, saf alümina potalarda çok az tahribatla eritilebilir. $1700-1800^\circ C$ gibi

yüksek sıcaklıklarda, flor gazı dışında bütün gazlara karşı direnç gösterir. Alümina, oksitleyici ve indirgeyici atmosferde 1900°C' ye kadar kullanılabilir.

Alüminadan, gözenekli ve yoğun ürünler yapılır. Gözenekli ürünler genellikle ergimiş alüminadan yapılır ve bunlar 1900°C' ye kadar çıkan, yüksek sıcaklık fırınlarının astarı olarak kullanılır. Ergimiş alümina % 99,8 Al_2O_3 içerir. Safiyet yükseldikçe, sıcak mukavemet, elektrik ve aşınma direncinde artış kaydedilir.

Alümina ürünler, slip-dökümle, ekstrüzyonla, enjeksiyon kalıbı, soğuk ve sıcak presle şekillendirilebilir. Şekillendirmede un, polivinil alkol mum, lastik lateks, doğal reçine gibi organik bağlayıcılar ve yağlayıcılar kullanılmaktadır. Çok ince toz boyutuna sahip, tamamen saf alümina ancak Sol-Jel yöntemi ile üretilmektedir [72].

3.4. Al_2O_3 İle Yapılan Çalışmalar

Alümina takviyesi ile çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Yapılan bu çalışmalar neticesinde araştırmacıların değerlendirmeleri ve elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir:

Corrochano ve arkadaşları, Al-Mg-Si alaşımına alümina whisker (Al_2O_3W) takviyesi ile toz metalurjisi yöntemiyle metal matrisli kompozit üretmişlerdir. Takviye ile kompozitlerdeki mekanik özelliklerin geliştiği saptanmıştır. Bunun nedeni olarak, matris ve takviye elemanları arasındaki kuvvetli ara yüzey bağlarına ulaşılması ile elde edilebileceği vurgulanmıştır [11].

Ceschini ve arkadaşları, AA7005 alaşımına %10 Al_2O_3 takviyesi ile üretilmiş olan kompozitlerin sürtünme kaynağı ile mikroyapı üzerinde ki etkilerini incelemişlerdir. Takviyenin aşındırıcı etkisinin önemli bir parametre olduğu vurgulanmıştır. Çekme testinde nihai çekme dayanımının %80 oranında verimlilik gösterdiği saptanmıştır [12].

Rahimian ve arkadaşları, toz metalurjisi ile üretilmiş Al-Al₂O₃ kompozitlerin üretim parametrelerinin mikroyapı ve aşınma direnci üzerine etkisini incelemişlerdir. Üç farklı partikül boyutu (3, 12 ve 48µm) kullanarak bilyeli öğütme yöntemi olan MA işlemi uygulanmıştır. Elde edilen deneysel numunelerde bağıl yoğunlukların kısmen artış gösterdiğini saptamışlardır. Al₂O₃ takviyesinin artmasıyla yüksek sertliğe ulaşılmış ve aşınma direncinde artışlar gözlemlenmiştir [13].

Kök, vortex metodu ile üretilen 2024 alüminyum alaşımına Al₂O₃ parçacık takviyeli kompozitlerin abraziv aşınma özelliklerini incelemiştir. Çalışmada takviye oranının artmasıyla aşınma davranışlarının geliştiği ortaya konmuştur [15].

Schneider ve arkadaşları, %10 Al₂O₃ takviye edilmiş Al 6061 alaşımına nümerik analiz ile düşük çevirimli yorulma davranışlarını incelemişlerdir. Takviyenin Al ana matristen daha geniş bir gerilime sahip olduğu vurgulanmıştır. Sayısal sonuçlarda mikroyapı, gerilme ve uzamanın etkin olduğu gözlemlenmiş ve iyi bir ara yüzey bağının oluşmadığı belirtilmiştir [16].

Kyung ve arkadaşları, 2xxx serileri Al kompozit tozlarına Al₂O₃ takviyesi ile sinterleme karakteristiğini incelemişlerdir. Cu oranının artmasıyla 2xxx serisi alüminyum alaşımlarında sinterlemenin daha iyi sonuçlar vereceğini belirtmişlerdir. Sıvı faz sinterlemenin bu tür alaşımlarda sinterleme özelliğini arttırmak için uygun olduğunu tespit etmişlerdir [17].

Ekinci, yapmış olduğu çalışmada, MA alaşımlama süresinin artmasıyla daha homojen bir yapı elde ettiğini belirtmiştir. Kompozit numunelerde ilerleyen öğütme süresi ile birlikte Al₂O₃ boyutlarının küçülmesi yoğunluk, kırılma mukavemeti ve sertlik değerlerinde iyileşmelere sebep olduğunu tespit etmiştir [18].

Kumral, AA 6061 alaşımına ingot halde Al₂O₃ takviye etmiştir. Takviye oranının artması ile birlikte ıslatma probleminin arttığı ve bu durumun poroziteyi tetiklediği belirtilmiştir. Matris-takviye etkileşiminin arayüzey ve arayüzeye komşu matris içerisinde ısı genleşmeden olduğunu tespit etmiştir [19].

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada AA 2014 alüminyum alaşımı gaz atomizasyonu yöntemi ile toz haline getirilmiştir. Karıştırma yöntemi ve mekanik alaşımlama işlemi ile %1, 2, 4 ve 8 oranında Al_2O_3 takviye edilmiştir. %8 Al_2O_3 oranı ile takviye edilen kompozitler yalnızca karışım yöntemi ile üretilmiştir. Süreçlerin tüm aşamalarında koruyucu atmosfer olarak argon (Ar) gazı kullanılmıştır. Argon, atomizasyon sırasında üretim parametresi olarak, sinterleme işlemlerinde ise koruyucu atmosfer olarak kullanılmıştır. Mekanik alaşımlama ile üretilen numunelere yaşlandırma ısı işlemi uygulanmıştır. Elde edilen tüm deney numunelerinin karakterizasyon amaçlı sinterleme öncesi ve sonrası yoğunluk hesapları yapılmıştır. Optik mikroskop, SEM ve EDS analizleri ile mikroyapılar karakterize edilmiştir. Ayrıca mikro, makro sertlik ölçümleri ve çekme test uygulamaları ile malzemelerin mekanik davranışları incelenmiştir.

4.1. Deneyde Kullanılan Malzemeler

4.1.1. Matris malzeme

Külçe halinde alınan AA 2014 alüminyum alaşımı, Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği laboratuvarlarında, 41/2009-04 numaralı BAP proje destekli imalatı gerçekleştirilmiş olan gaz atomizasyonu ünitesinde alaşım, toz haline getirilmiştir.

AA 2014 alaşımı, içeriğinde Cu bulundurmasından dolayı özellikle endüstri alanında çok sık kullanılmaktadır. Bu alaşımın en önemli özelliklerinden biri olan yaşlandırma ısı işlemi ile çok daha iyi neticeler verdiği yapılan birçok çalışmada saptanmıştır [10,14]. Matris malzemesi olarak kullanılan AA 2014 alaşımının kimyasal kompozisyonu Çizelge 4.1’de verilmektedir.

Çizelge 4.1. AA 2014 alaşımının kimyasal kompozisyonu

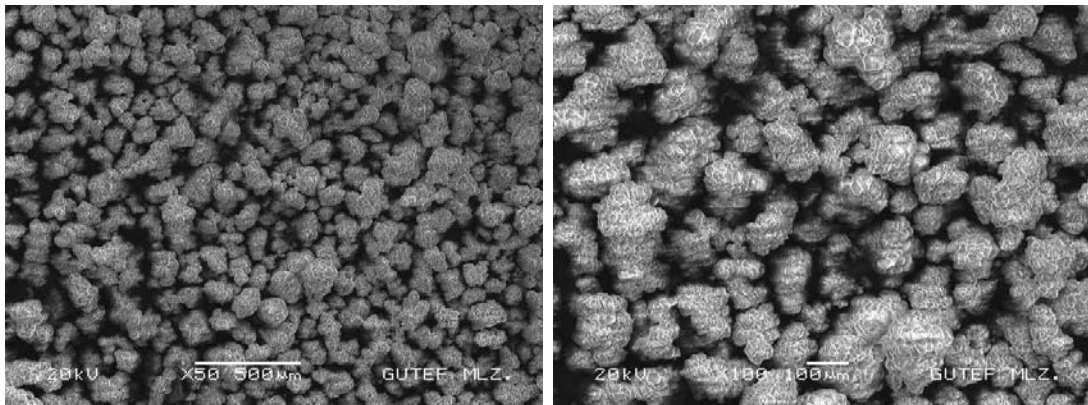
Element	Al	Cu	Si	Mn	Mg	Fe	Zn	Cr
% Ağırlık	93,5	4,06	0,6	0,57	0,56	0,47	0,106	0,03

4.1.2. Takviye malzemesi

Karışım ve MA yöntemleri ile üretilen toz kompozisyonları Al_2O_3 seramik parçacık takviyesi ile üretilmiştir. Çizelge 4.2’de alüminanın bazı özellikleri verilmiştir. Ergime sıcaklığı oldukça yüksek olan karmaşık şekilli Al_2O_3 tozlara ait farklı büyütmelerdeki SEM görüntüleri Resim 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Alüminanın fiziksel ve termal özellikleri

Elastik modül (GPa)	210
Spesifik modül (GPa/Mgm ⁻³)	100
Ergime sıcaklığı (°C)	2050
Termal Genleşme katsayısı (10 ⁻⁶ /K)	8.30



Resim 4.1. Takviye malzemesi olan Al_2O_3 tozların farklı büyütmelerdeki SEM görüntüleri

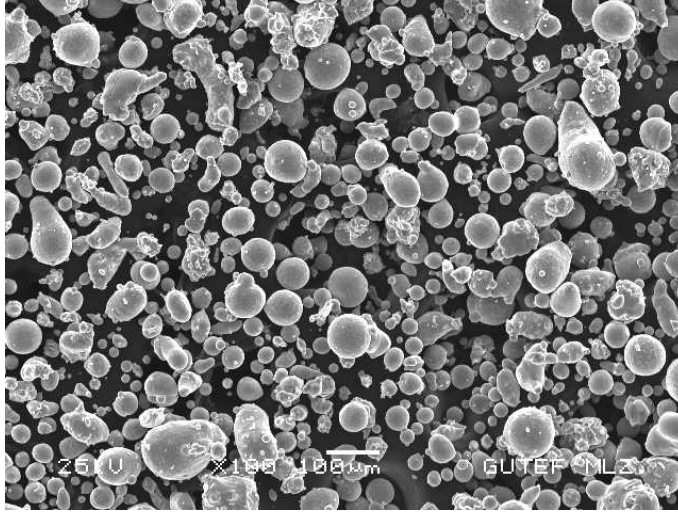
4.2. Metal Tozlarının Üretimi

Üretimi gerçekleştirilecek olan AA 2014 alaşımı ergitme ocağında sıvı hale getirilmiştir. Ardından alaşım malzeme küçük boyuttaki kalıplara dökülerek, toz üretimi için kullanılacak olan ergitme ünitesine yüklenmiştir. Resim 4.2’de görülen gaz atomizasyonu ünitesinde 1 nolu bölge ergitme ünitesini göstermektedir. Elektrik beslemeli ergitme yapan bu ünite de alaşım malzemesi 800°C ye kadar çıkarılarak ergitme gerçekleştirilmiştir. Ergimiş sıvı metal ergitme ünitesinin alt kısmında bulunan nozul içerisine sıvı madenin serbest düşüşü şekilde görülen 2 nolu bölgeye, yani atomizasyon kulesine düşüşün gerçekleşmesi ile sıvı, toz haline getirilmiştir. Üretim sırasında 15° açığa sahip Mannesmann tip nozul kullanılmıştır. Nozul içerisine atomizasyon amaçlı gönderilen gaz %99 saflıkta Ar gazıdır. Atomizasyon kulesinden ve toz toplama ünitesinden elde edilen tozlar öncelikli olarak elek analizi işleminden geçirilmiştir. Tozlara ait elek analizi hem boyutsal hem de sınıflama amacıyla yapılmıştır. Analiz sonrası tava (53 μm altı), 53, 74 ve 105 μm büyüklüğünde ki tozlar harmanlanarak deneysel amaçlı olarak kullanılmıştır.



Resim 4.2. Gaz atomizasyonu ünitesi

Elde edilen alaşım tozlarına ait görüntüler Resim 4.3’de verilmiştir. Resimde de görüldüğü gibi toz şekilleri neredeyse tam küresel şekildedir. Bu durum seçilen parametrelerin uygunluğunu göstermektedir.

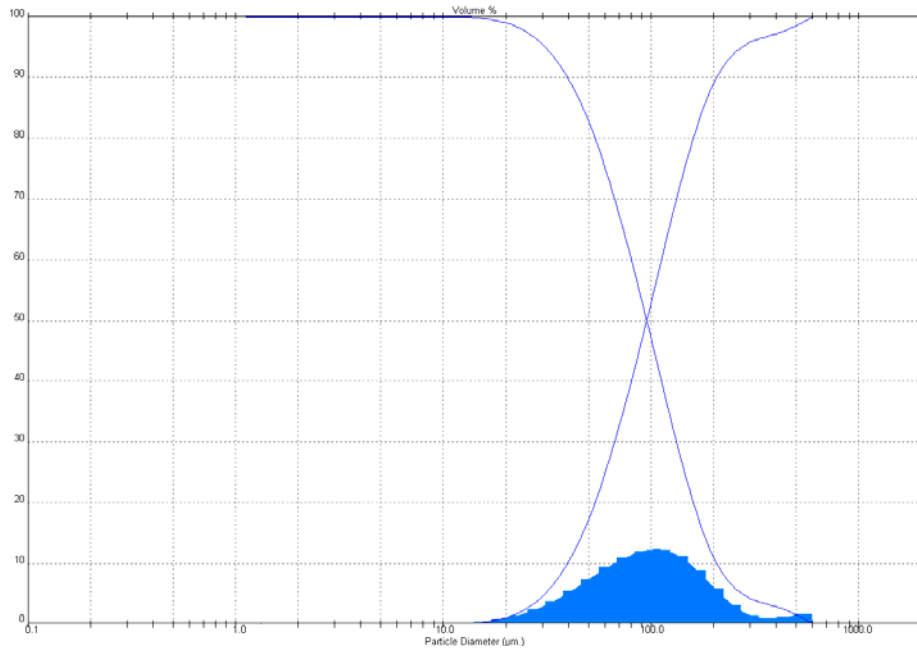


Resim 4.3. Üretimi gerçekleştirilen AA 2014 tozlarının SEM görüntüsü

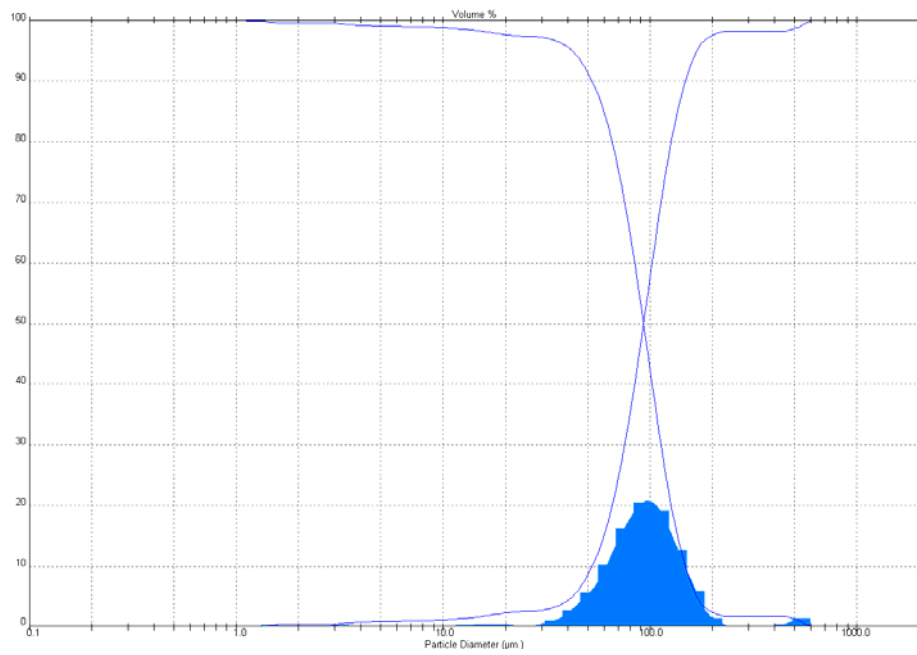
4.2.1. Tane boyutu analizi

Tane boyutu analizi Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliğı Laboratuvarında Malvern Mastersizer cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Alaşım tozu dört farklı büyüklükte ve hazır olarak alınan takviye malzemesi ile ayrı ayrı incelenmiş ve sonuçları alınmıştır. Aşağıda Şekil 4.1’de AA 2014 alaşımının tane boyutu analizi, Şekil 4.2’de Al_2O_3 ’ün tane boyut analizi verilmiştir. Tozlara ait boyut dağılım sonuçları ekler kısmında verilmiştir.

AA 2014 alaşımının ortalama toz boyutu $95.34 \mu m$ olarak ölçülmüştür. Al_2O_3 takviye malzemesinin ortalama toz boyutu ise $93,11 \mu m$ ’dir.



Şekil 4.1. AA 2014 alaşım tozlarına ait tane boyutu analizi



Şekil 4.2. Al_2O_3 tozlarına ait tane boyutu analizi

4.3. Deney Numunelerinin Hazırlanması

4.3.1. Tozların karıştırılması

Karışım işlemleri 3B Turbula marka cihazda gerçekleştirilmiştir (Resim 4.4). %1, 2, 4 ve 8 oranlarındaki toz karışımları birer saat süre ile ayrı ayrı karıştırma işlemine tabi tutulmuşlardır. Homojen karışım elde etmek amaçlı 3 boyutlu salınım hareketi gerçekleştiren cihazda işlem 1 saat süre ile yapılmıştır.



Resim 4.4. Turbula marka 3 boyutlu salınım hareketi yapan karıştırma cihazı

4.3.2. Mekanik alaşımlama

Deney çalışmalarının başlangıcında kompozit malzeme üretiminde farklı oranlarda Al_2O_3 takviyesi ve buna bağlı değişimler tespit edilmiştir. Deneyin ilerleyen aşamalarında her ne kadar homojen karıştırma sağlanmış olsa da, presleme ve sinterleme ileri aşamalarında heterojen dağılıma bağlı olumsuzluklar yaşanmıştır. AA 2014- Al_2O_3 kompozit üretiminde daha homojen bir yapı üretmek ve MA'nın etkilerini görebilmek amacıyla, ikincil bir yöntem olarak mekanik öğütme işlemi uygulanmıştır. İlave edilen Al_2O_3 oranları karışım tozlara benzerlik açısından %1, 2,

4 olarak seçilmiştir. MA işlemlerinde toz/bilye oranı ağırlıkça 1/10 olarak seçilmiştir. İşlemler Resim 4.5'te gösterilen MA cihazında 10 mm'lik çelik bilyeler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. MA işlemi saf Ar atmosferi altında 4 ve 8 saat, 350 dev/dk hızda gerçekleştirilmiştir. MA işlemleri sırasında sistemde yağlayıcı olarak % 0,5 oranında Zn stearat kullanılmıştır. Kullanılan koruyucu atmosfer dışında reaksiyon sırasında kazan sıcaklığını düşürmek amacıyla kazan dışından sürekli su sirkülasyonu gerçekleştirilmiştir. Tüm deneysel çalışmalar sonrasında takviye elemanına bağlı olarak gerçekleşen aşınma tespiti için kollar ve kazan gövdesi incelenmiştir.



Resim 4.5. Union process marka mekanik alaşımlama cihazı

4.3.3. Toz tartımı

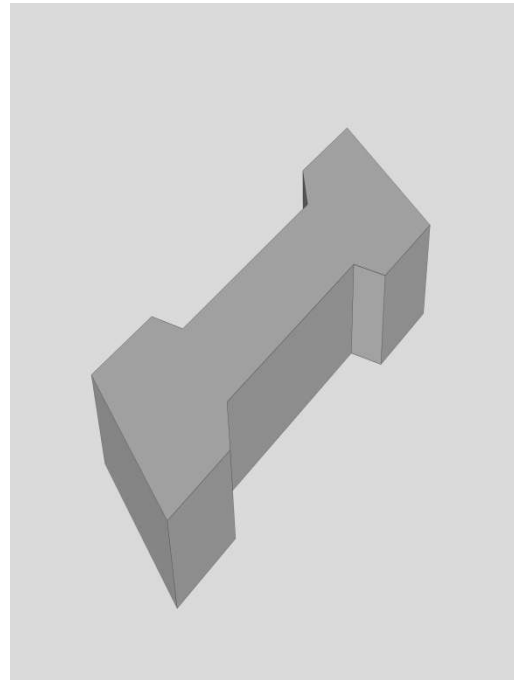
Deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere farklı oranlardaki Al_2O_3 seramik parçacık takviyeli kompozitlerin ağırlık ölçümleri G.Ü.T.F Metalurji ve Malzeme Bölümü laboratuvarında bulunan Precisa XB200h elektronik tartım cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Ağırlıkça %1, 2, 4 ve 8 oranlarındaki takviyelerin bulunduğu AA 2014 karışım ve MA tozlarından her bir numune için 2 şer gramlık tozlar tartılmış ve presleme işlemine geçilmiştir.

4.3.4. Presleme işlemi

Tozlara şekil vermek ve numune üretimini sağlamak amacı ile presleme işlemi yapılmıştır. Presleme işlemi 160 tonluk kapasiteye sahip cihazda 675 MPa basınç altında yapılmıştır (Resim 4.6). Kompozit tozların preslenmesi için Şekil 4.3'te uluslararası standartlarda olan (ASTM E8M-04) çekme numunesi kullanılmıştır. Presleme işlemi esnasında kalıpta oluşabilecek sıkışmaları önlemek için yağlayıcı olarak çinko stearat ve metil alkol birlikte kullanılmıştır. Tozlar kalıba konulmadan önce kalıp yüzeyine yağlayıcı sürülmüştür. Daha sonra alt zımba konularak karışım halinde ki toz kalıp içerisine konulmuş ve üst zımba da yerleştirilerek presleme işlemi yapılmıştır.

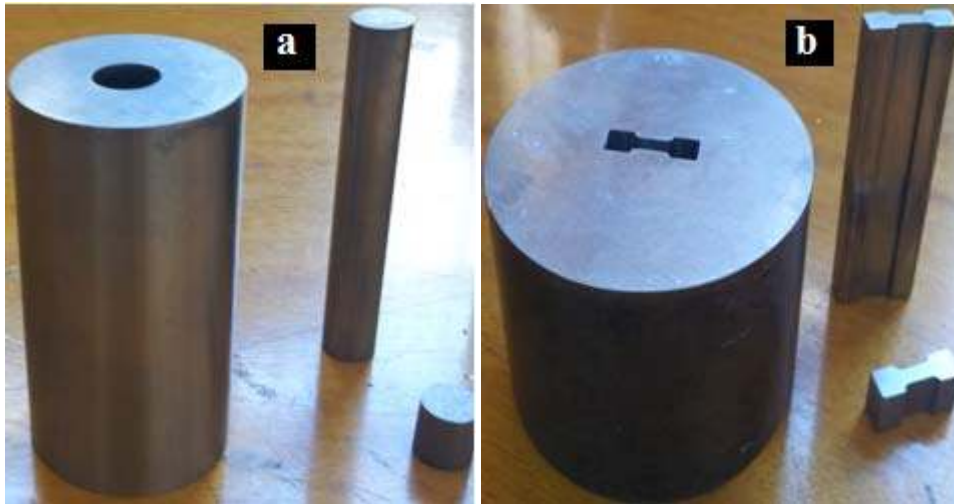


Resim 4.6. Presleme cihazı



Şekil 4.3. Çekme numunesi

Mikroyapı karakterizasyon amaçlı karışım yöntemi ile üretilmiş numuneler aşınma kalıbı (Resim 4.7 a) ile preslenmiş ve ardından sinterleme işlemine geçilmiştir. Mekanik test ve mikroyapı karakterizasyonunu belirlemek için MA işlemi ile üretilen tozlar ise çekme kalıbı (Resim 4.7 b) ile preslenmiştir. Ardından deney numuneleri sinterlenmiş ve yaşlandırılmıştır.



Resim 4.7. Presleme işlemi yapılan kalıpların resimleri

a) Aşınma kalıbı

b) Çekme kalıbı

4.3.5. Sinterleme işlemi

Preslenmiş numunelerden karışım yöntemi ile üretilmiş bulk numuneler (mekanik alaşımlama işlemi görmemiş) Protherm marka fırında 550, 560, 570, 580°C de 1 saat, 600°C de ise 1 ve 4 saat sinterleme işlemine tabi tutulmuştur. MA ile üretilen numuneler ise 580°C de tek bir sıcaklıkta sinterlenmiştir.

Tüm sinterleme ısı işlemleri Resim 4.8’de görülen Protherm marka fırında gerçekleştirilmiştir. Fırın üzerine kurulan düzenek atmosfer korumalı olup sıcaklık haritası çıkarılmıştır. Karışım tozlar 5 farklı sıcaklıkta 1 saat sinterleme işlemine tabi tutulmuşlardır. Bu işlemler sonrasında MA ile üretilen numunelere uygulanacak sıcaklığın ön çalışmalar sonucunda 580°C olmasına karar verilmiştir.

Oksitlenmeyi en aza indirmek için argon gazı ısıtılmış bakır talaşlarından geçerek fırın içerisine gönderilmiştir. Fırının en homojen bölgesi (merkezi) ısı çifti ile ölçülmüştür. Seramik kayıkçıklara yerleştirilen numuneler en sıcak bölgeye gelecek şekilde fırın içerisine konulmuş ve sinterleme işlemine tabi tutulmuşlardır.



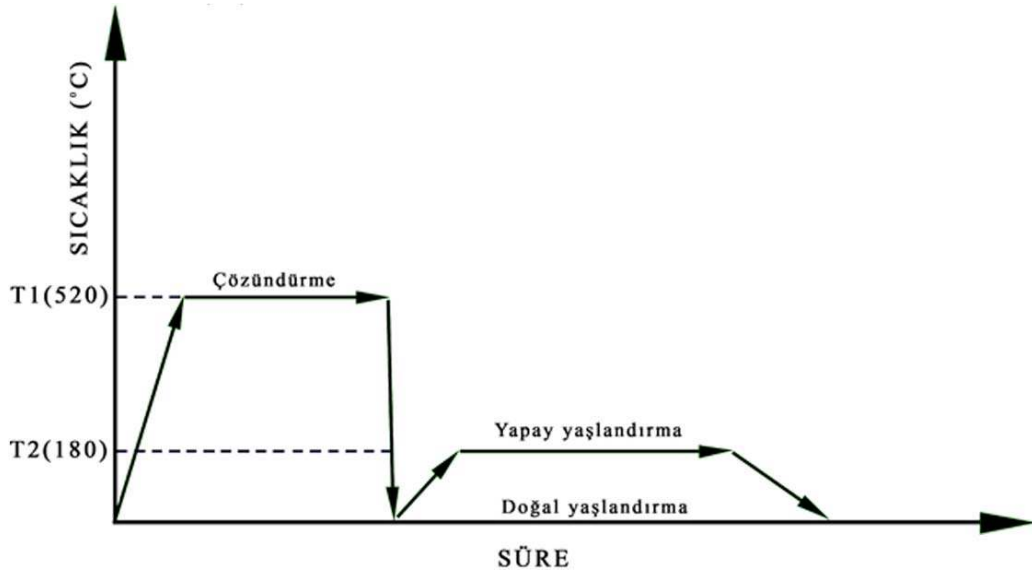
Resim 4.8. Protherm marka sinterleme ısıtım işlem fırını

4.3.6. Yaşlandırma işlemi

Yaşlandırma işlemi öncesi G.Ü. Fen Fakültesi Kimya Bölümünde hem üretimi gerçekleştirilen AA 2014 tozlarına hem de MA sonrası elde edilen tozlara DTA testleri yapılmıştır. Presleme ve sinterleme sonrası elde edilen deney numuneleri, Protherm marka fırında (Resim 4.9) 520°C de 1 saat süre ile çözündürme işlemine tabi tutulmuşlar ve daha sonra su verilerek oda sıcaklığında soğutulmuşlardır. Yapay yaşlandırma işlemi ise 180°C de 2, 4, 6, 8 ve 10 saat yapılmıştır. Yaşlandırma işlemleri, hem mikroyapı incelemeleri için kullanılan hem de mekanik testler amaçlı üretilen çekme deney numunelerine sayısal fazlalığından dolayı belirlenen sıralama ile uygulanmıştır. Yaşlandırma ısıtım işlem aşamalarını içeren şematik diyagram Şekil 4.4'te verilmiştir.



Resim 4.9. Protherm marka çözündürme ve yaşlandırma ısıtma işlemi için açık atmosferli fırın



Şekil 4.4. Yaşlandırma aşamalarını gösteren şematik diyagram

4.3.7. Mikroyapı çalışması

Tüm deney numunelerine mikroyapı çalışmaları amaçlı metalografi hazırlama süreci uygulanmıştır. Bu süreç zımparalama, parlatma ve dağlama işlemlerini kapsar. Öncelikle numuneler 600, 800 ve 1200'lük zımpara işlemine tabi tutulmuşlardır.

Parlatma işleminde 3 ve 6 μm temel alınmış, daha sonra dağlama işlemine geçilmiştir. Dağlayıcı olarak %0,5 HF asit kullanılmıştır. Bu işlemlerin ardından mikroyapı görüntüleri için JEOL JSM-6060 marka SEM cihazı (Resim 4.10 a) ve Leica marka (Resim 4.10 b) optik mikroskop kullanılmıştır.



Resim 4.10. a) JEOL JSM-6060 marka taramalı elektron mikroskobu (SEM)

b) Leica marka optik mikroskop

4.3.8. Sertlik ve yoğunluk ölçümleri

Elde edilen deney numunelerinden, MA uygulanmış tozlardan üretilen deney numunelerine hem makro hem de mikro sertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Sertlik ölçümleri Vickers metodu ile gerçekleştirilmiştir. Makro sertlik ölçümleri Instron Wolpert marka test cihazı ile HV 5’de, mikro sertlik ölçümleri ise Shimadzu HVM2 marka test cihazı ile HV 0,1’de ölçülmüştür. Tüm sertlik ölçümlerinde en az 5 ölçüm yapılarak istatistiki hata payı en aza indirilmeye çalışılmıştır. Bu ölçümlerin ortalamaları alınarak test sonuçları olarak verilmiştir.

Numunelerin yoğunlukları ise ağırlık/hacim oranına göre hesaplanmıştır. Sinterleme işlemi öncesi ve sonrasında yoğunluklar hesaplanmış ve ortalama değerler alınmıştır.



Resim 4.11. a) Instron Wolpert marka makro sertlik test cihazı

b) Shimadzu HMV2 marka mikro sertlik test cihazı

4.3.9. Çekme testi

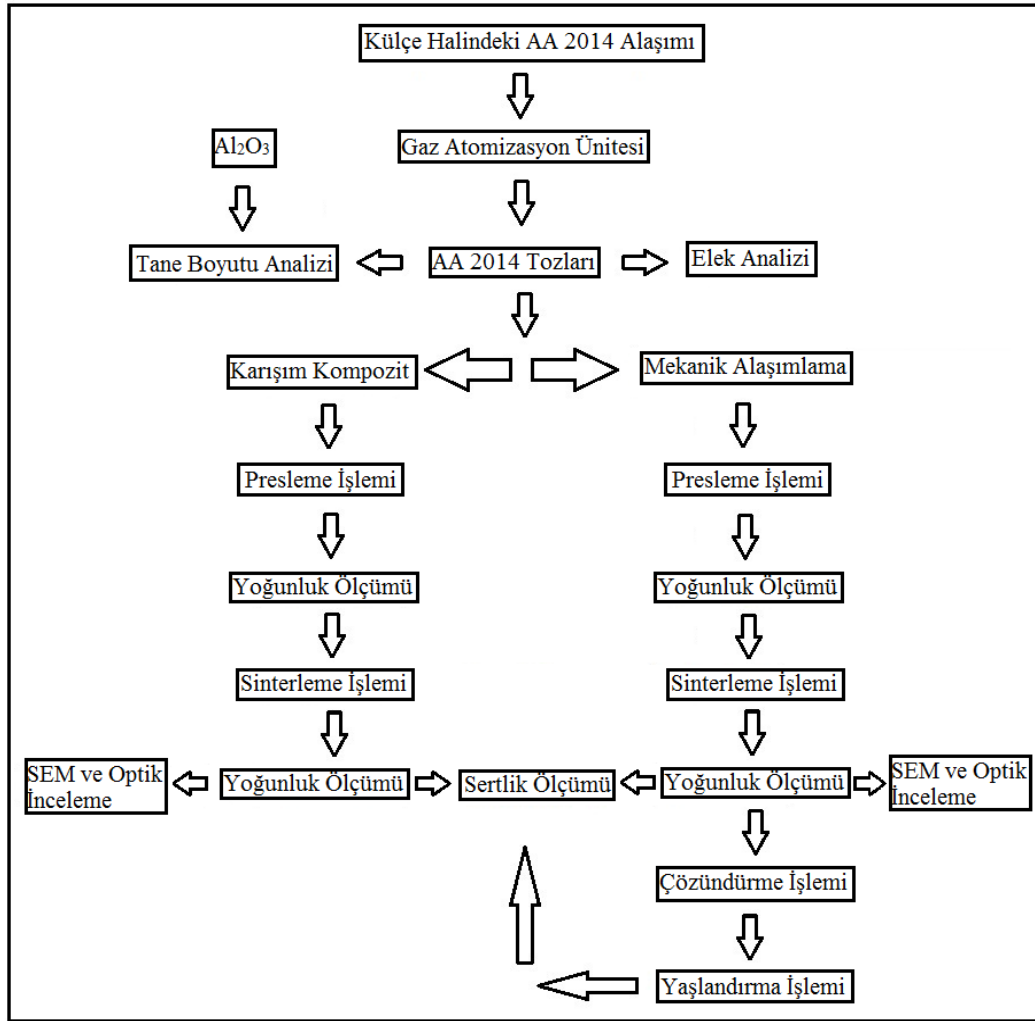
Yalnızca MA işlemine tabi tutulmuş numuneler çekme testine tabi tutulmuştur. Farklı takviye oranlarında ve farklı MA sürelerinde üretilen bir kısım deney numunelerine sinterleme sonrasında çekme deneyi testi uygulanmıştır. Bir kısım numuneler ise sinterlemeden sonra yaşlandırma ısı işlemine tabi tutulmuş ve bu işlemin ardından numunelere çekme testi uygulanmıştır. Ölçümler için G.Ü. Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği bölümündeki Shimadzu marka çekme test cihazında uygulanmıştır. Resim 4.12’de mekanik test için üretilmiş olan numunenin görüntüsü verilmiştir.



Resim 4.12. Mekanik test numunesi

5. DENEYSEL BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

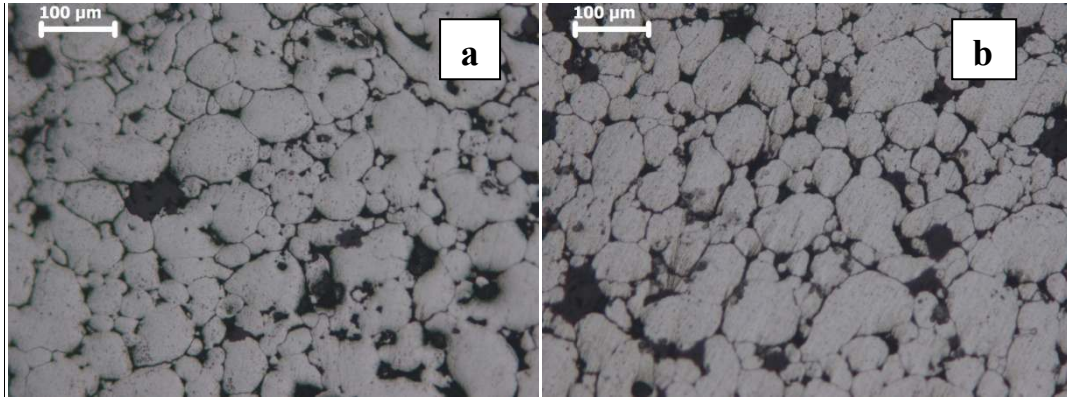
Yapılan çalışmada düşey gaz atomizasyonu yöntemi ile AA 2014 alaşım tozları üretilmiştir. Deneysel çalışmaların akış şeması Şekil 5.1’de verilmiştir. Karışım kompozit yöntemi ile %1, 2, 4 ve 8 takviye oranına sahip numuneler soğuk preslenmiş, sinterleme öncesi ve sonrası yoğunlukları hesaplanmış ve ardından sinterlenmiştir. Numunelerin optik mikroskop ve SEM görüntüleri alınmış, EDS analizleri yapılmıştır. MA metodu ile 4 ve 8 saat %1, 2 ve 4 takviye oranına sahip tozlardan üretilen kompozitler ise yine aynı süreçlerden geçirilmiştir. MA süreci ile üretilmiş deney numunelerinin yaşlandırma işlemi öncesi ve sonrası sertlik değerleri alınmıştır.



Şekil 5.1. Deneysel çalışmaların akış şeması

5.1. Karışım Tozlara Ait Kompozit Mikroyapıları

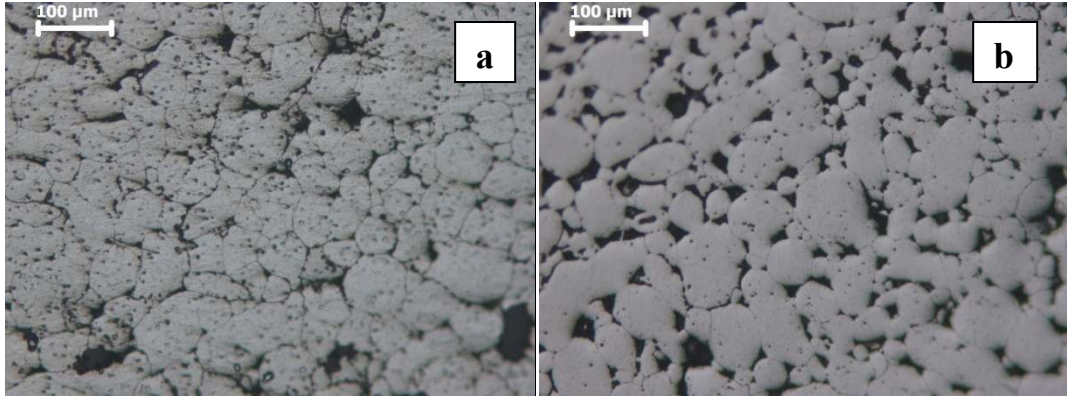
Karışım yöntemi ile üretilen kompozitler %1, 2, 4 ve 8 takviye oranlarına sahip AA 2014- Al_2O_3 tozlarından üretilmiş deney numuneleridir. Bu karışım tozların presleme işlemleri hem mikroyapı karakterizasyon amaçlı hem de mekanik test amaçlı farklı pres kalıplarında gerçekleşmiştir. Presleme basıncının belirlenmesinde daha önce yapılan çalışmalarda optimum presleme basıncı olarak belirtilen 650 MPa üzerine çıkılarak, 675 MPa da işlem gerçekleştirilmiştir. %1 Al_2O_3 takviye edilmiş kompozitlere ait mikroyapı görüntüleri incelendiğinde Resim 5.1'de 550°C de sinterlenmiş kompozit numunelerde görüldüğü gibi siyah bölgelerin bulunduğu kısımlarda kümeleşen Al_2O_3 'lerin olduğu görülmüştür. Yapılan optik görüntü analizlerinde sinterlemenin tam anlamıyla bu sıcaklıkta tamamlanmadığı gözlemlenmiştir. Aynı zamanda artan Al_2O_3 miktarı ile birlikte bölgesel yoğunlaşmaların olduğu SEM çalışmaları ile tespit edilmiştir (Resim 5.4).



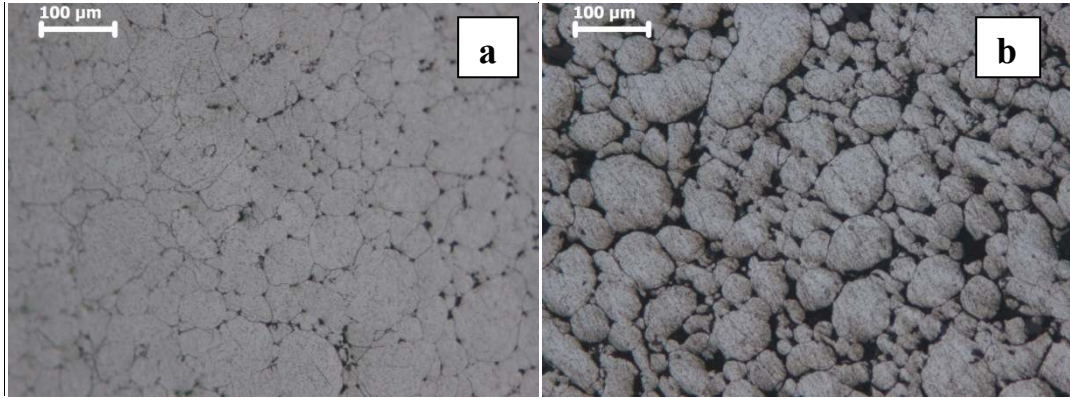
Resim 5.1. 550°C de sinterlenmiş kompozitlerin optik mikroskop görüntüleri

a) %1 Al_2O_3 , b) %4 Al_2O_3

Optik mikroskop görüntülerinde siyah olarak görülen alanların çoğunluğu Al_2O_3 parçacıklarının kümeleştiği ve metalografik işlemler sırasında boşalan alanların olduğu tespit edilmiştir. Bu durum SEM görüntülerinde daha belirgindir.



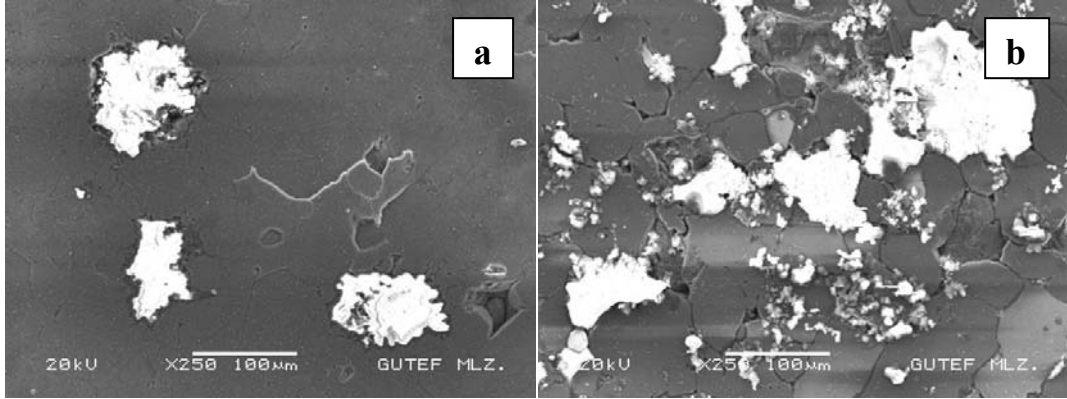
Resim 5.2. 560°C de sinterlenmiş kompozitlerin optik mikroskop görüntüleri
a) %1 Al₂O₃, b) %4 Al₂O₃



Resim 5.3. 580°C de sinterlenmiş kompozitlerin optik mikroskop görüntüleri
a) %1 Al₂O₃, b) %4 Al₂O₃

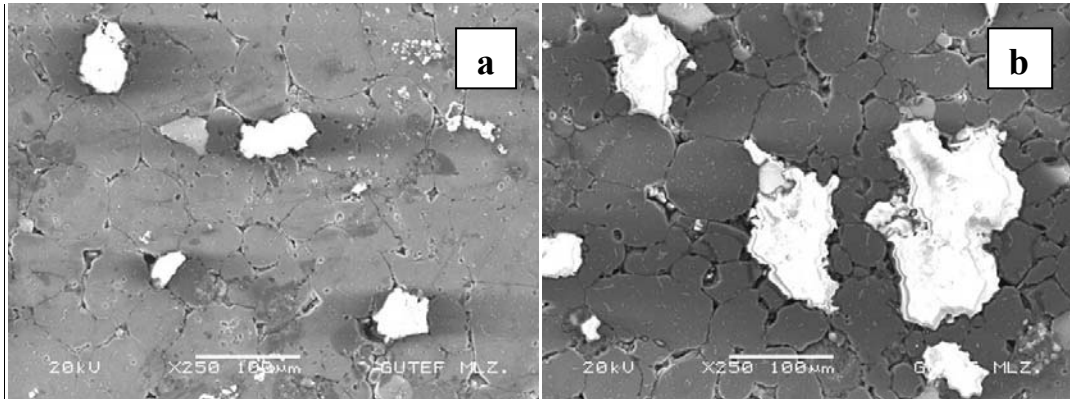
Sinterleme sıcaklığının artışı ile birlikte yapının, %1 takviye oranlarında daha çabuk bulk bir numune halini aldığı, ancak artan Al₂O₃ miktarı ile birlikte düşük sıcaklıklarda sinterlemenin yavaşladığı tespit edilmiştir (Resim 5.5, Resim 5.6). Sinterleme öncesi karışım tozlar Turbula cihazında 1 saat karıştırılmasına rağmen, bölgesel topaklanmaların önüne geçilememiştir. MA öncesi yapılan bu çalışmalarda homojenizasyonun sağlanamaması, numunelere MA uygulama nedenlerinden birisi olarak açıklanabilir. MA sonrası elde edilen deney sonuçları ilerleyen bölümlerde açıklanacaktır. %1 ve %4 takviye oranlarına sahip karışım yöntemi ile üretilmiş numunelerin 5 farklı sıcaklıkta sinterleme sonrası SEM görüntüleri, Resim 5.4, Resim 5.5, Resim 5.6, Resim 5.7 ve Resim 5.8’de verilmiştir.

Şekillerde de görüldüğü gibi Al_2O_3 oranının artışıyla ilgili olarak beyaz görünümde olan yoğunlaşmaların arttığı tespit edilmiştir. Artan bu yoğunlaşmalar ve tane sınırlarında bir ağ şeklinde bulunan Al_2O_3 parçacıkları sinterlemeyi oldukça olumsuz yönde etkilemektedir.



Resim 5.4. 550°C de sinterlenmiş AA2014- Al_2O_3 kompozitlerin SEM görüntüleri

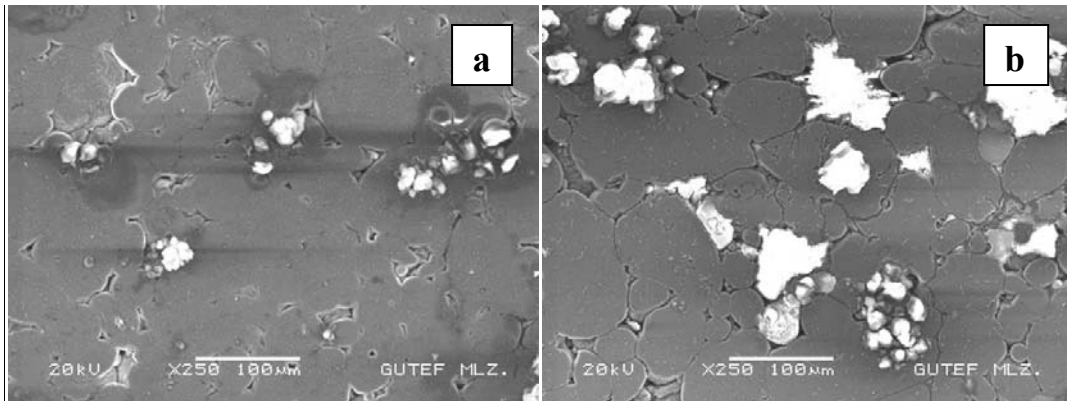
a) %1 Al_2O_3 , b) %4 Al_2O_3



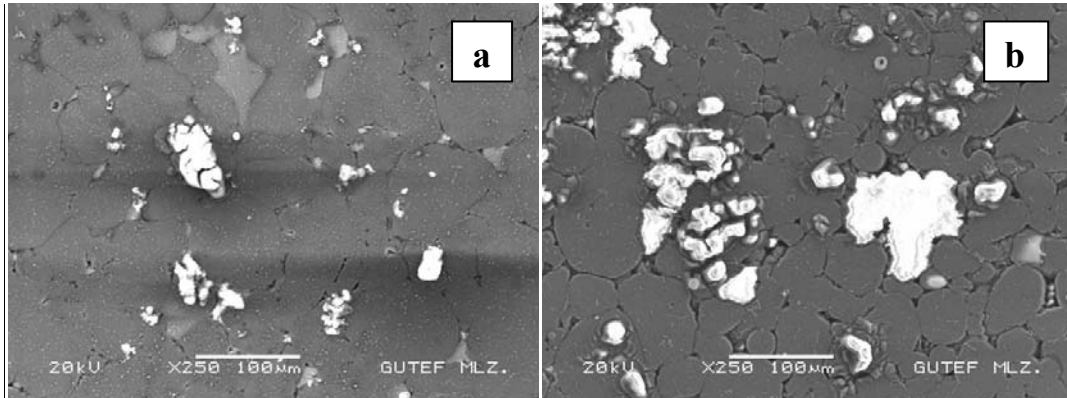
Resim 5.5. 560°C de sinterlenmiş AA2014- Al_2O_3 kompozitlerin SEM görüntüleri

a) %1 Al_2O_3 , b) %4 Al_2O_3

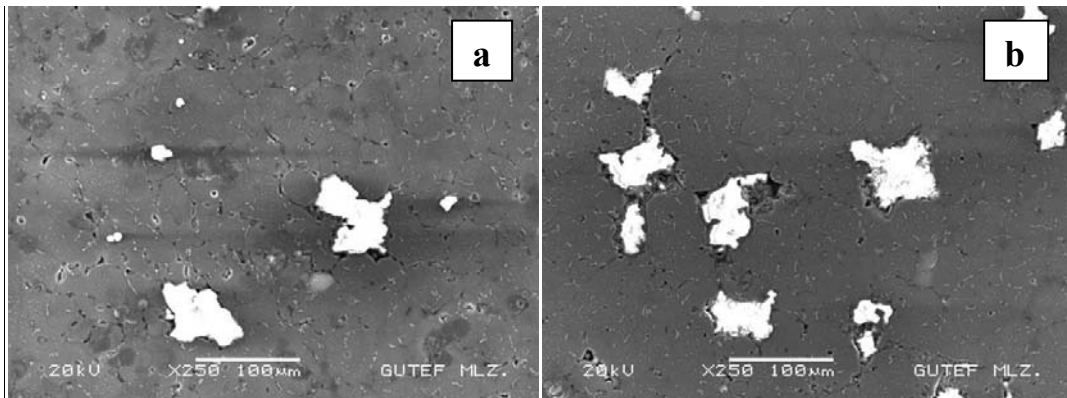
Özellikle Resim 5.7 (b)'de 580°C de sinterlenmiş AA2014- Al_2O_3 kompozitlerin SEM görüntüsünde görüldüğü gibi Al_2O_3 parçacıkları hem sinterlemeyi yavaşlatmış hem de oksitlenmeyi hızlandırmıştır.



Resim 5.6. 570°C de sinterlenmiş AA2014- Al_2O_3 kompozitlerin SEM görüntüleri
a) %1 Al_2O_3 , b) %4 Al_2O_3

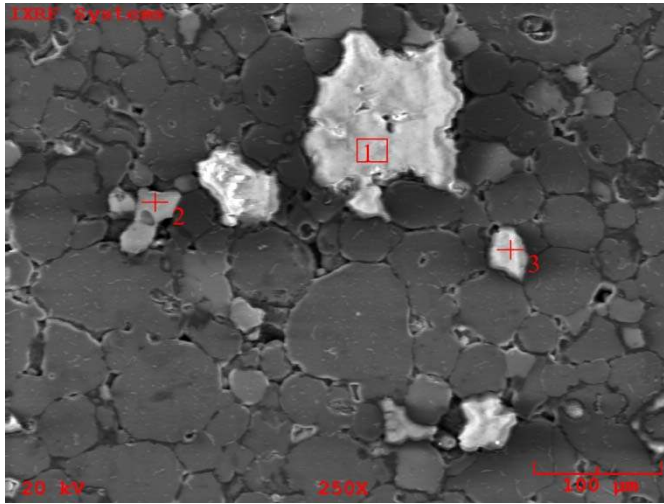


Resim 5.7. 580°C de sinterlenmiş AA2014- Al_2O_3 kompozitlerin SEM görüntüleri
a) %1 Al_2O_3 , b) %4 Al_2O_3

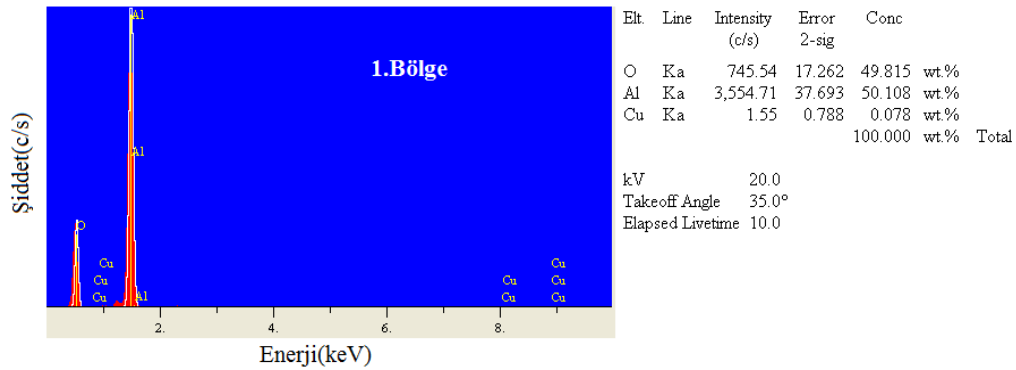


Resim 5.8. 600°C de sinterlenmiş AA2014- Al_2O_3 kompozitlerin SEM görüntüleri
a) %1 Al_2O_3 , b) %4 Al_2O_3

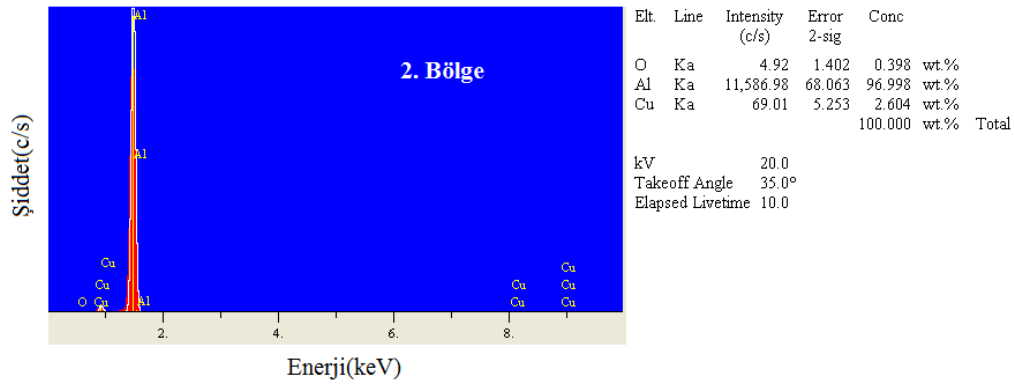
%4 Al₂O₃ takviyeli kompozitin 560°C de sinterlenmiş EDS görüntüsü Resim 5.9’da, 600°C de 4 saat sinterlenmiş kompozitin EDS görüntüsü Resim 5.10’da verilmiştir. Karışım sonrası %4 Al₂O₃ takviyeli 560°C de sinterlenmiş numuneye ait SEM görüntüsü üzerinden yapılan EDS analizlerinde bölgesel farklılaşmanın olduğu tespit edilmiştir. Resim 5.9’da %4 Al₂O₃ takviyeli 560°C de sinterlenmiş kompozit te 1 nolu bölgenin EDS analizinden de görüldüğü gibi Al₂O₃ parçacıklarının topaklanarak bölgesel olarak yoğunlaştığı tespit edilmiştir (Şekil 5.2). Aynı görüntü üzerinden 2 nolu bölgeden alınan analizde, matrise oranla daha açık bölgenin ise bakırca zengin bölgeler olduğu tespit edilmiştir (Şekil 5.3). Al₂O₃ parçacıklarının 3 nolu analizinde görüldüğü gibi, bazı partiküllerin yapı içerisinde dağıldığı gözlemlenmiştir (Şekil 5.4).



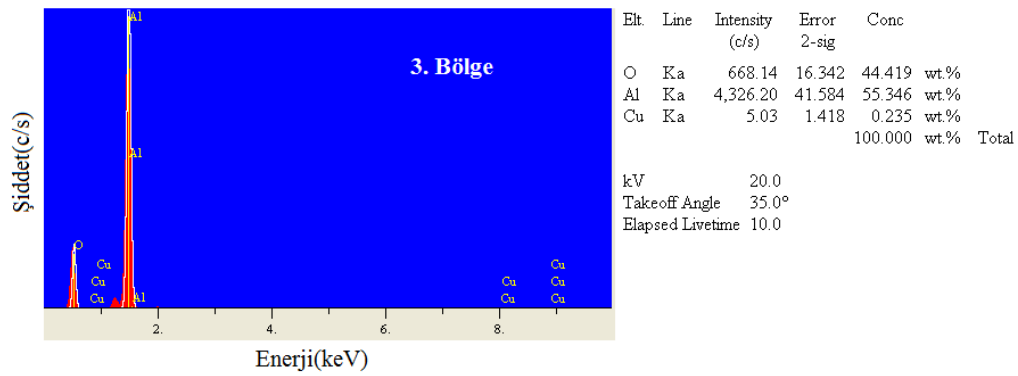
Resim 5.9. %4 Al₂O₃ takviyeli 560°C de sinterlenmiş kompozitin EDS görüntüsü



Şekil 5.2. 560°C de sinterlenmiş numunenin 1 nolu bölgeye ait EDS analizi

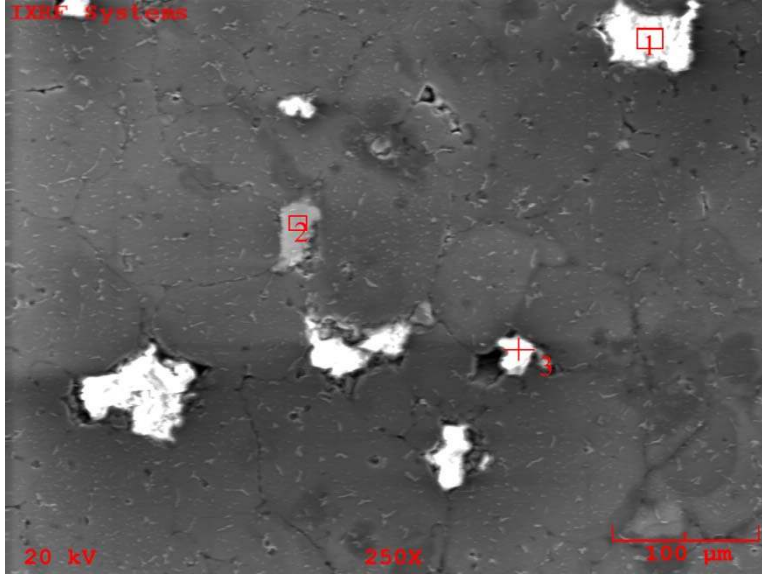


Şekil 5.3. 560°C de sinterlenmiş numunenin 2 nolu bölgeye ait EDS analizi

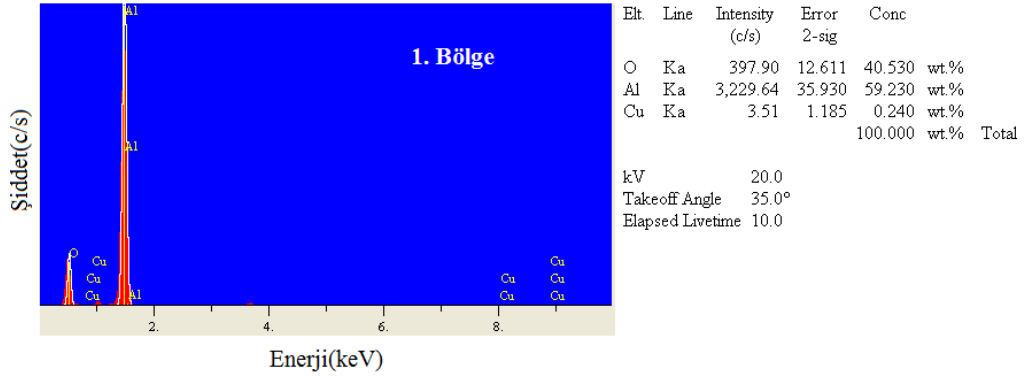


Şekil 5.4. 560°C de sinterlenmiş numunenin 3 nolu bölgeye ait EDS analizi

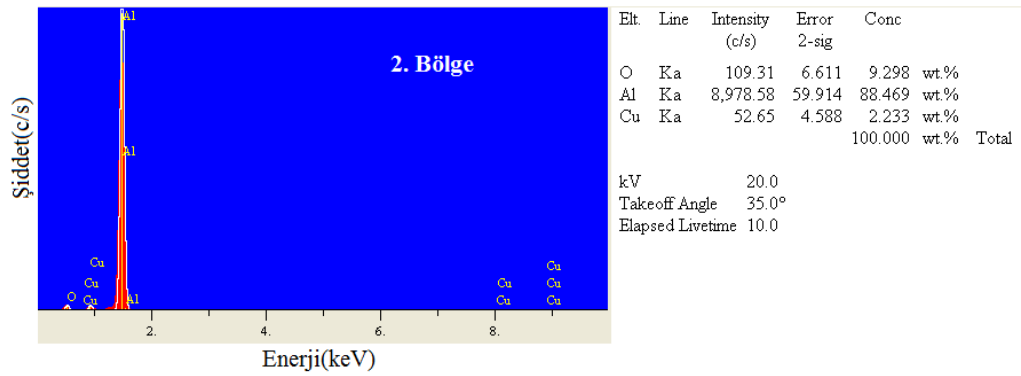
Sinterleme sıcaklığının artması ile birlikte yapının artık bulk numune şeklini aldığı görülmektedir (Resim 5.10). Sinterlemenin ilerlemesi ile birlikte gözenekliliğin AA 2014-Al₂O₃ ara yüzey ilişkisinin iyi olmamasından kaynaklanan bölgesel boşlukların oluştuğu görülmüştür.



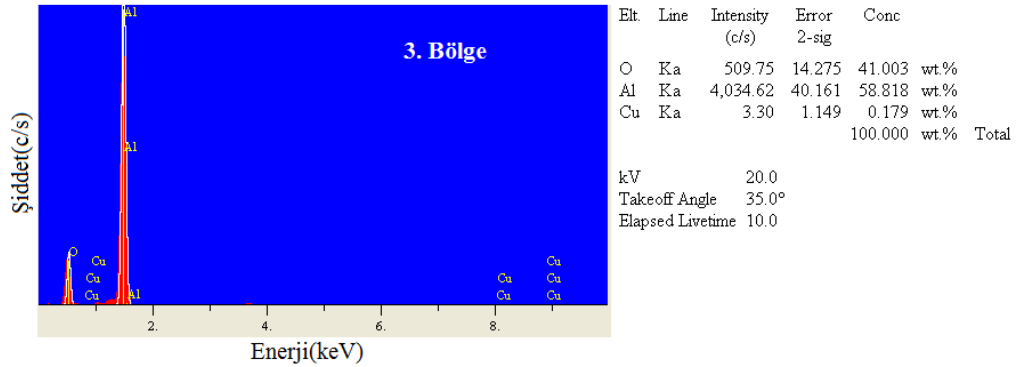
Resim 5.10. %4 Al₂O₃ takviyeli 600°C de 4 saat sinterlenmiş kompozitin EDS görüntüsü



Şekil 5.5. 600°C de sinterlenmiş numunenin 1 nolu bölgeye ait EDS analizi



Şekil 5.6. 600°C de sinterlenmiş numunenin 2 nolu bölgeye ait EDS analizi



Şekil 5.7. 600°C de sinterlenmiş numunenin 3 nolu bölgeye ait EDS analizi

Bu bölgesel heterojenlik Al_2O_3 parçacıklarının büyüklüğüne ve karışımın homojen olmamasına bağlanabilir. Sinterleme sürecinde matris–takviye ara yüzey ilişkisinin iyi olmaması, parçacıkların topaklanmasında diğer etkin bir mekanizma olduğu söylenebilir. Şekil 5.5 ve Şekil 5.7’de görüldüğü gibi Al_2O_3 ’lerin kümeleştiği bölgeler tespit edilmiştir. Şekil 5.6’da ise 2 nolu bölgenin analizinde bakırca zengin matris kompozisyonuna yakın bölgelerin olduğu tespit edilmiştir. Aynı konsantrasyon yoğunluğuna bağlı daha küçük adacıklar şeklinde dağılmış bölgelerin yapı içerisinde olduğu tespit edilmiştir.

5.2. Karışım Tozlara Ait Kompozitlerin Yoğunlukları

Deney numunelerine yoğunluk ölçümleri sinterleme öncesi ve sonrası yapılmıştır. Yoğunluk değişiminde etkili olması beklenen iki parametreden söz edilebilir. Birincisi, takviye miktarı, diğeri ise sinterleme sıcaklığıdır. Bunun dışındaki yoğunluğu etkileyen presleme basıncı, presleme sıcaklığı ve diğer parametreler sabit alınmıştır. Aynı zamanda kullanılan ana matris Al alaşımının bileşiminin etkili olduğu bilinmektedir. Gökmeşe H, AA 2014 alaşımının içeriğinde bulunan alaşım elementlerinin bir etkisi olduğunu ifade etmektedir [73]. Konu ile ilgili yapılan diğer bir çalışmada ise parçacık boyutu arttıkça sinterleme etkilerinin olumsuz yönde etkilendiği söylenmektedir [30]. Bu çalışmada üretimi gerçekleştirilen AA 2014 tozlarından tava, 53, 74 ve 105 μm elek dağılımına sahip tozlar kullanılmıştır. Burada ki amaç özellikle tava da bulunan 53 μm altı tozların sinterlemeyi olumlu

yönde etkilemesidir. Tüm bu öngörülere rağmen Al_2O_3 gibi bir takviyenin bulunması ve matrisi oluşturan tozların Al alaşımı olmasından dolayı, sinterleme sürecinde oluşan yeni oksitlerin veya büyüyen Al_2O_3 parçacıklarını devreye sokmuştur. Çizelge 5.1’de görüldüğü gibi yoğunluklardaki değişimlerin en etkili parametresinin takviye miktarı olduğu söylenebilir. Ancak, artan sıcaklıkla birlikte $600^\circ C$ ye ulaşıldığında sıcaklığın daha etkili bir parametre olarak ortaya çıktığı görülmektedir.

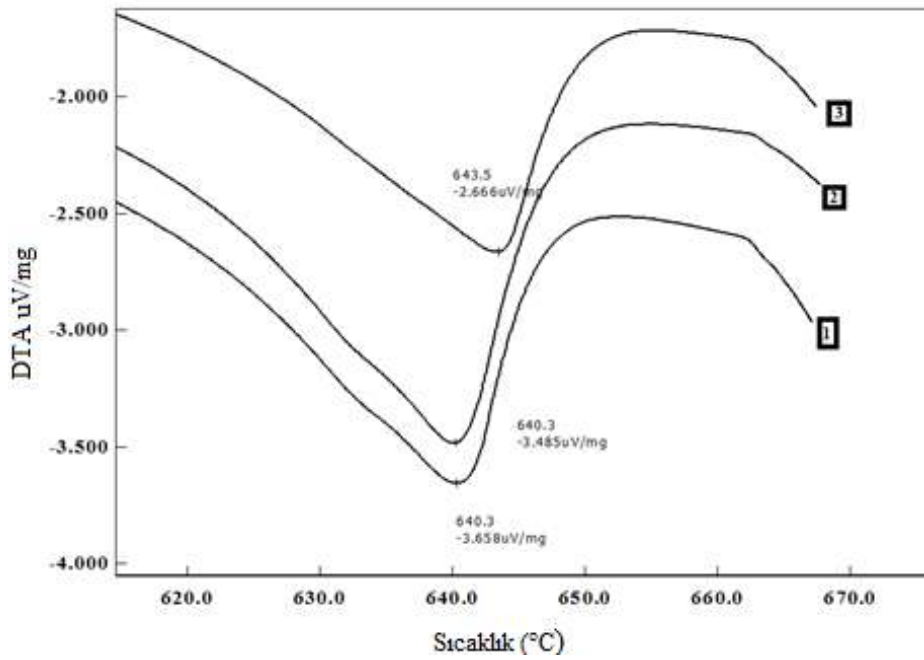
Çizelge 5.1. Farklı takviye oranları ve sinterleme sıcaklıkları ile yoğunlukların değişimi

	Sinterleme Sıcaklıkları									
% Takviye Oranları	550°C		560°C		570°C		580°C		600°C	
	Ö	S	Ö	S	Ö	S	Ö	S	Ö	S
%1 Al ₂ O ₃	2,55	2,55	2,54	2,53	2,56	2,58	2,54	2,55	2,59	2,39
%2 Al ₂ O ₃	2,56	2,58	2,53	2,53	2,54	2,51	2,53	2,51	2,52	2,31
%4 Al ₂ O ₃	2,53	2,52	2,47	2,37	2,45	2,44	2,47	2,44	2,47	2,29
%8 Al ₂ O ₃	2,47	2,45	2,44	2,32	2,43	2,42	2,38	2,32	2,42	2,25
Ö: Sinterleme Öncesi										
S: Sinterleme Sonrası										
Birim: g/cm ³										

5.3. MA ile Üretilen Kompozitlerin Karakterizasyonu

Mekanik alaşımlama ile üretilen kompozit numuneler ağırlıkça %1, 2 ve 4 oranında AA 2014 alaşım tozuna takviye edilmiş ve homojen karışım sağlanmıştır. Sinterleme sıcaklığı olarak $580^\circ C$ de tek sıcaklık seçilmiştir. Üretimi gerçekleştirilen tozlardan elde edilen numunelerde sinterleme sürecini etkileyen geçiş sıcaklıklarını belirlemek amaçlı Şekil 5.8’de verilen DTA analizleri yapılmıştır. Numaralandırılmış olan farklı işlemlere tabi tutulmuş numunelere ait DTA analizleri incelendiğinde geçiş sıcaklıklarında az da olsa bir farklılaşmanın olduğu tespit edilmiştir. Bu farklılaşmanın MA sırasında deformasyon etkisine bağlı olarak oluşan birikmiş enerji miktarından kaynaklandığı söylenebilir. Sinterleme işlemi ile birlikte bu birikmiş enerjinin sıcaklığa artı değer olarak katıldığı söylenebilir.

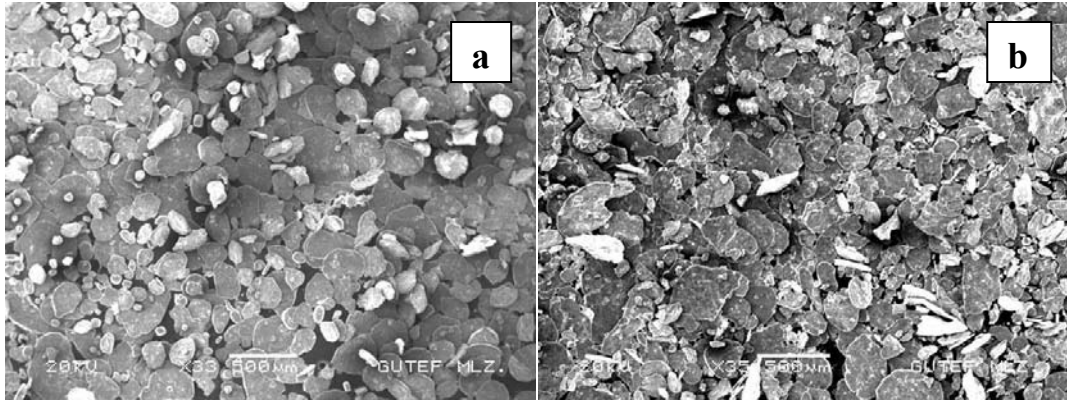
- 1) AA 2014 + %4 Al₂O₃ ve 8 saat mekanik alaşımlanmış numune
- 2) AA 2014 toz numune
- 3) AA 2014 + %2 Al₂O₃ ve 8 saat mekanik alaşımlanmış ve 580°C’de sinterlenmiş numune



Şekil 5.8. DTA analizi ile numunelerin faz değişimini gösteren grafik

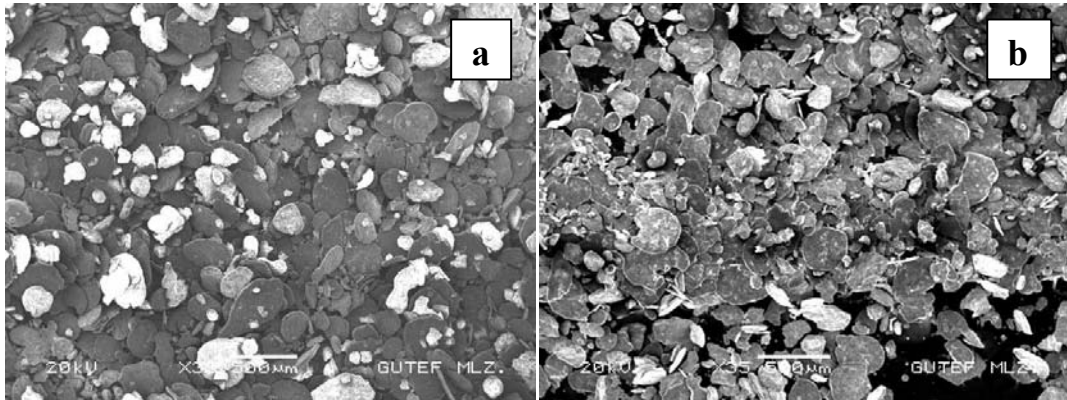
Şekil 5.8’de görüldüğü gibi sinterlenmiş olan 3 numaralı numunenin geçiş sıcaklığı diğerlerine nazaran biraz ötelenmiş olsa da, katı fazdan sıvı faza geçişin yaklaşık 640°C de gerçekleştiği söylenebilir.

Takviye oranı %1, 2 ve 4 olan, 4 ve 8 saat mekanik alaşımlanmış tozların SEM görüntüleri, %1 Al₂O₃ takviyeli Resim 5.11’de, %2 Al₂O₃ takviyeli Resim 5.12’de ve %4 Al₂O₃ takviyeli Resim 5.13’de gösterilmiştir.



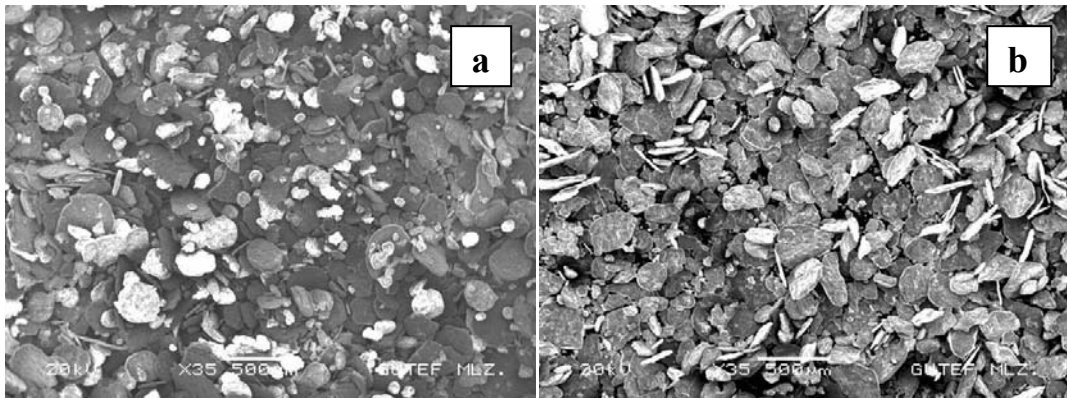
Resim 5.11. %1 Al_2O_3 takviyeli tozların MA sonrası SEM görüntüleri

a) 4 Saat MA, b) 8 Saat MA



Resim 5.12. %2 Al_2O_3 takviyeli tozların MA sonrası SEM görüntüleri

a) 4 Saat MA, b) 8 Saat MA



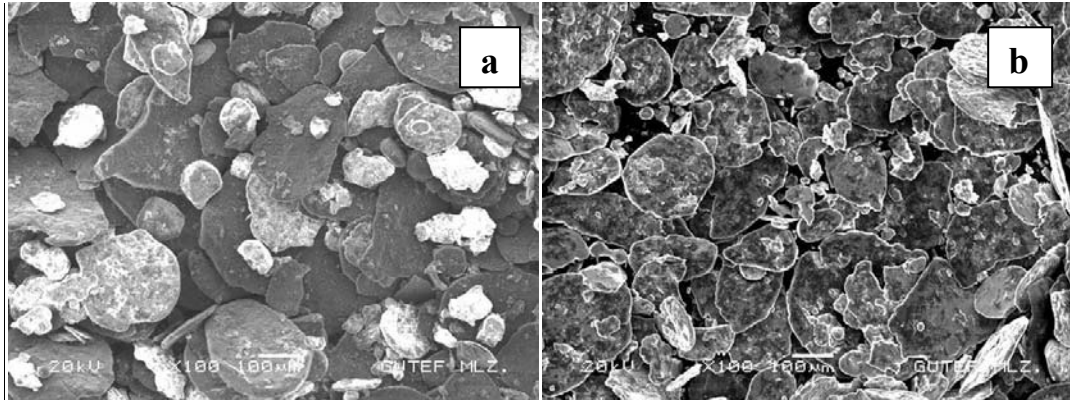
Resim 5.13. %4 Al_2O_3 takviyeli tozların MA sonrası SEM görüntüleri

a) 4 Saat MA, b) 8 Saat MA

MA sonrasında elde edilen tozlara ait SEM görüntüleri incelendiğinde, MA'nın klasik süreci olan pulsulaşma evresinin 4 saatlik süreçte gerçekleştiği ve takviye elemanı olan Al_2O_3 'ünde kümeleşen bir sürece girdiği gözlemlenmiştir. MA'nın 8 saate çıkması ile birlikte tozların katmanlaştığı görülmüştür. Tekrar kırılma sürecine bağlı olarak nispeten pulsu yapıyı yitirmiş ve içerisine bir miktar Al_2O_3 'lerin karıştığı gözlemlenmiştir. Ancak tam manasıyla katmanlı bir yapının oluştuğu söylenemez.

Sürecin ilerleyen aşamalarında oksit parçacıklarının kazan içi ve kollarda meydana getirdiği aşınmanın etkin olduğu söylenebilir. Buna ilave olarak yağlayıcı etkisini yitirerek daha uzun sürelerde verimli bir MA işlemi gerçekleştirilememiştir.

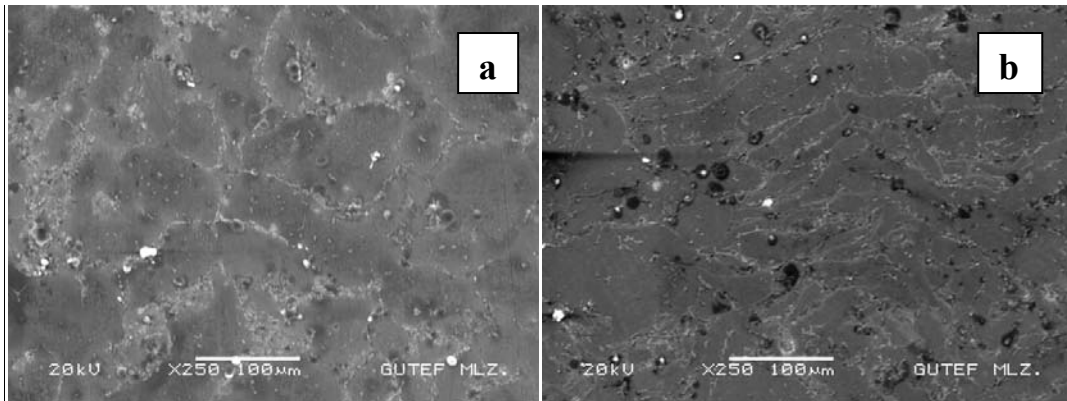
Resim 5.14-(a) 4 saat MA yapılmış %4 Al_2O_3 takviye edilmiş tozların SEM görüntüleri ile, Resim 5.14-(b) 8 saat MA yapılmış %4 Al_2O_3 takviyeli toz görüntüleri incelendiğinde, yapı içerisinde dağılan takviyelerin düşük saatli MA'lara göre daha harmanlı bir şekilde olduğu görülmüştür.



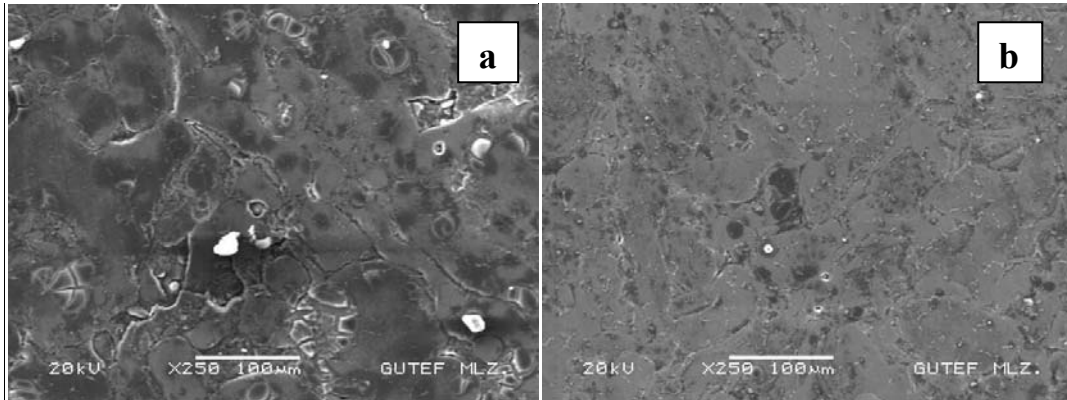
Resim 5.14. %4 Al_2O_3 takviye edilmiş tozların SEM görüntüleri

a) 4 Saat MA, b) 8 Saat MA

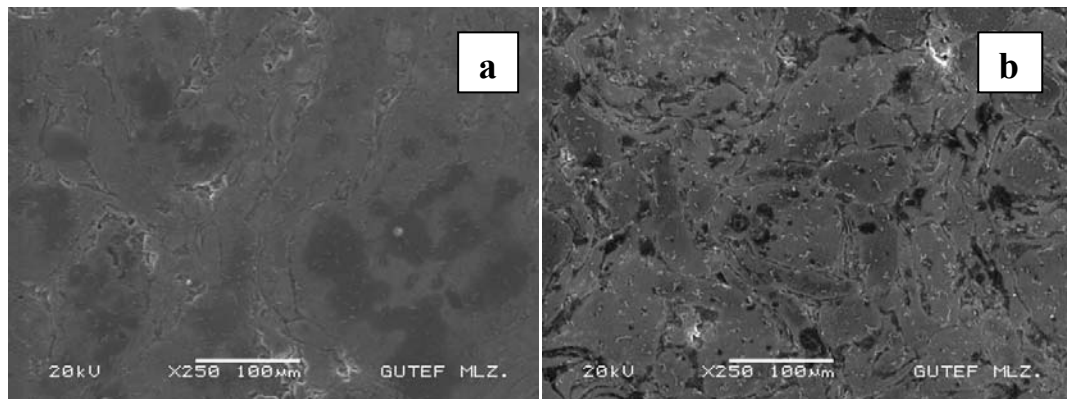
MA yöntemi ile elde edilen farklı takviye oranlarına sahip numunelerin 4 ve 8 saat MA işlemi yapılmış, 580°C de sinterlenmiş numunelere ait SEM görüntüleri %1 Al_2O_3 takviyeli Resim 5.15'de, %2 Al_2O_3 takviyeli Resim 5.16'da, %4 Al_2O_3 takviyeli Resim 5.17'de verilmiştir.



Resim 5.15. %1 Al_2O_3 takviye edilmiş, 580°C de sinterlenmiş, kompozit numunelerin SEM görüntüleri, a) 4 Saat MA, b) 8 Saat MA

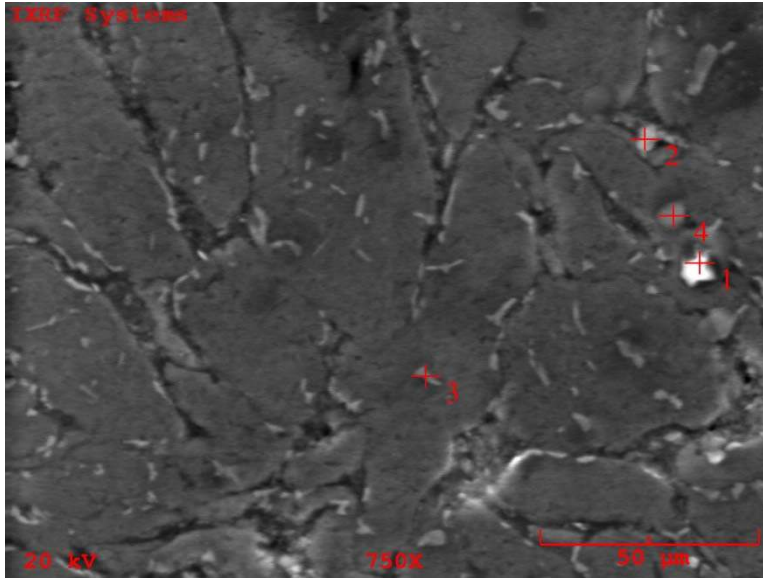


Resim 5.16. %2 Al_2O_3 takviye edilmiş, 580°C de sinterlenmiş, kompozit numunelerin SEM görüntüleri, a) 4 Saat MA, b) 8 Saat MA

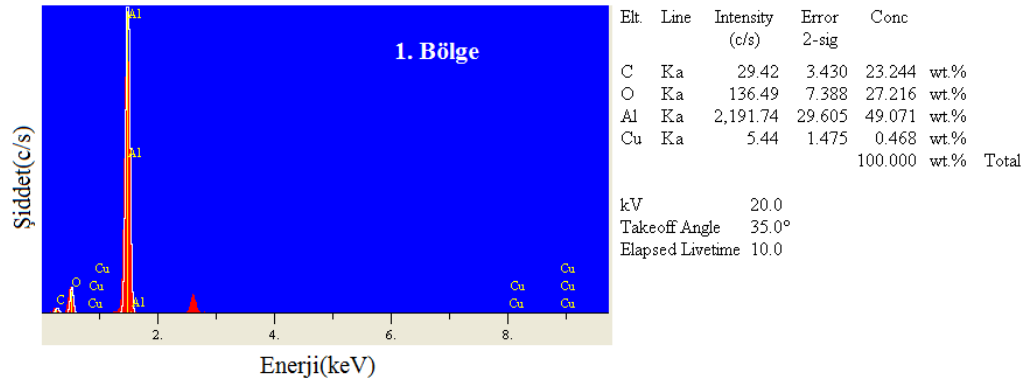


Resim 5.17. %4 Al_2O_3 takviye edilmiş, 580°C de sinterlenmiş, kompozit numunelerin SEM görüntüleri, a) 4 Saat MA, b) 8 Saat MA

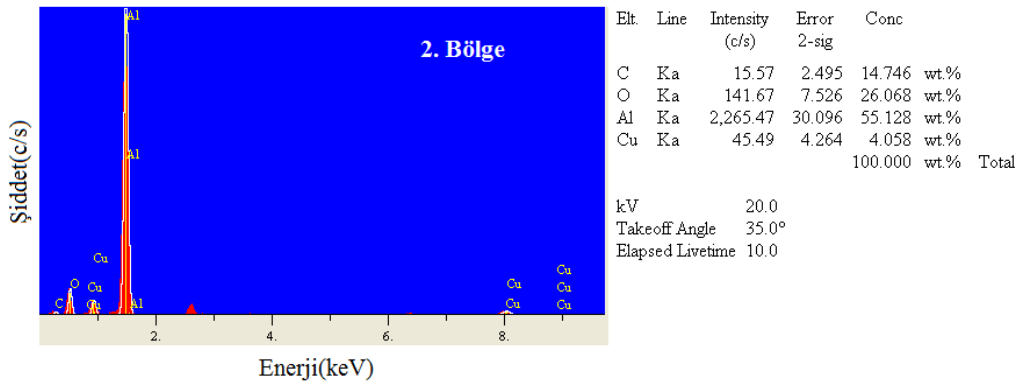
Bu aşamada incelenen tüm mikroyapılar da oksit miktarı arttıkça, dağılımın ve homojenliğin dikkat çekici bir şekilde arttığı gözlemlenmiştir. Bunu ilerleyen MA süresine ve bu süreçte ilave edilen Al_2O_3 'ün, matrisin kırılıp parçalanarak hem daha homojen bir karışım oluşturduğunu hem de bu karışımın tozlar bazında daha pekleşmiş tozlardan kaynaklandığı söylenebilir. Bu bağlamda elde edilen numunelerin EDS görüntüsü incelendiğinde (Resim 5.18), %4 Al_2O_3 takviye edilmiş 4 saat MA işlemine tabi tutulmuş numunelerde yapılan görüntü analizlerinde iki önemli nokta tespit edilmiştir. Birinci olarak yapı içerisinde hem blok halinde (Şekil 5.9) hem de dağılmış parçacıklar şeklinde Al_2O_3 'lere rastlanmıştır (Şekil 5.10 ve Şekil 5.12). İkinci olarak da Şekil 5.11 de görüldüğü gibi 3 nolu noktadan alınan analizde olduğu gibi alüminyum bakır ötektiklerinin (CuAl_2) bulunduğu noktalar tespit edilmiştir.



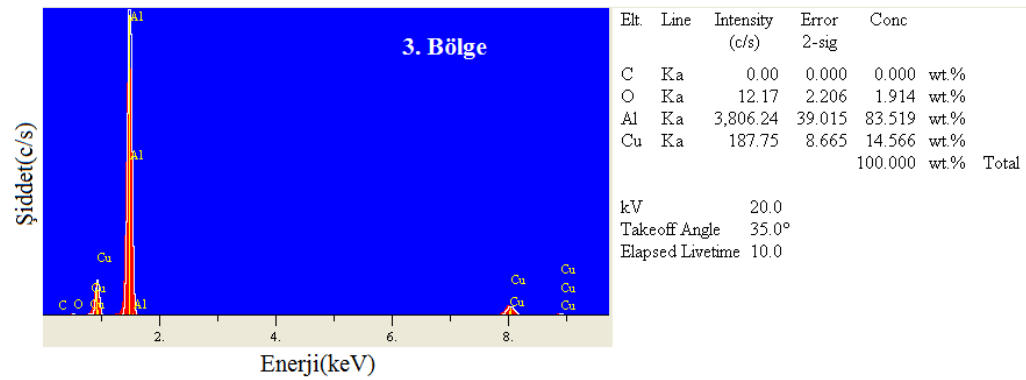
Resim 5.18. %4 Al_2O_3 takviye edilmiş, 4 saat MA yapılmış, 580°C de sinterlenmiş numuneye ait EDS görüntüsü



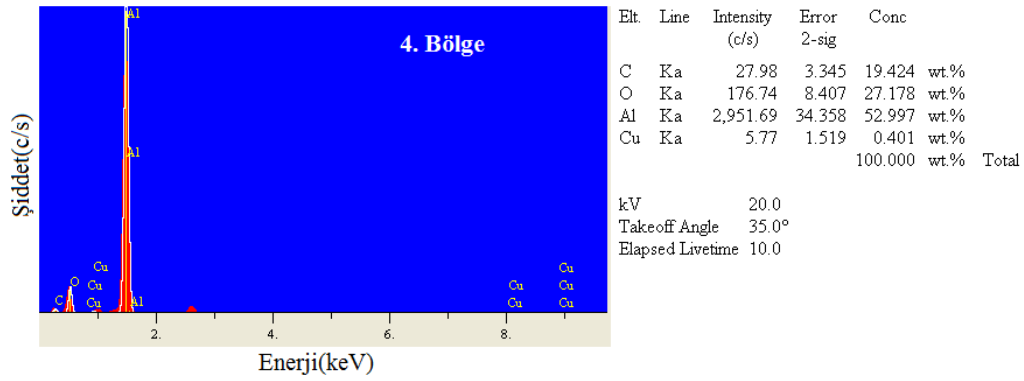
Şekil 5.9. %4 Al₂O₃ takviyeli kompozitin 1 nolu bölgeye ait EDS analizi



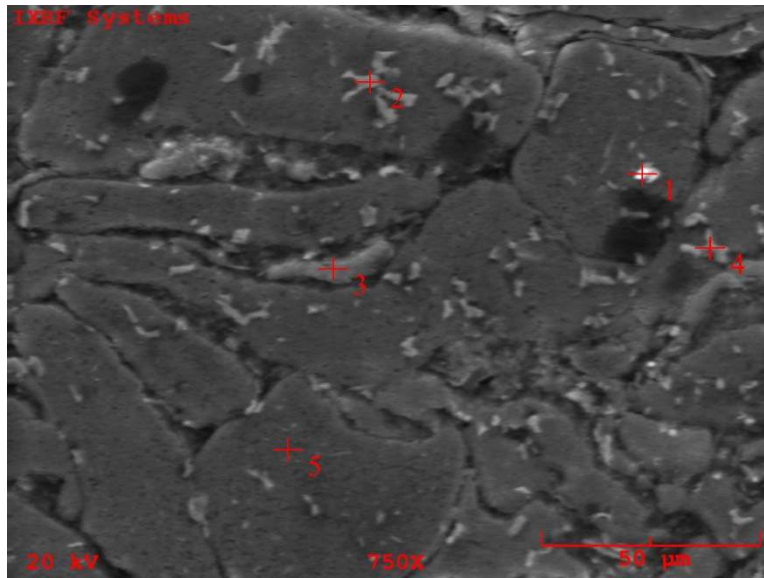
Şekil 5.10. %4 Al₂O₃ takviyeli kompozitin 2 nolu bölgeye ait EDS analizi



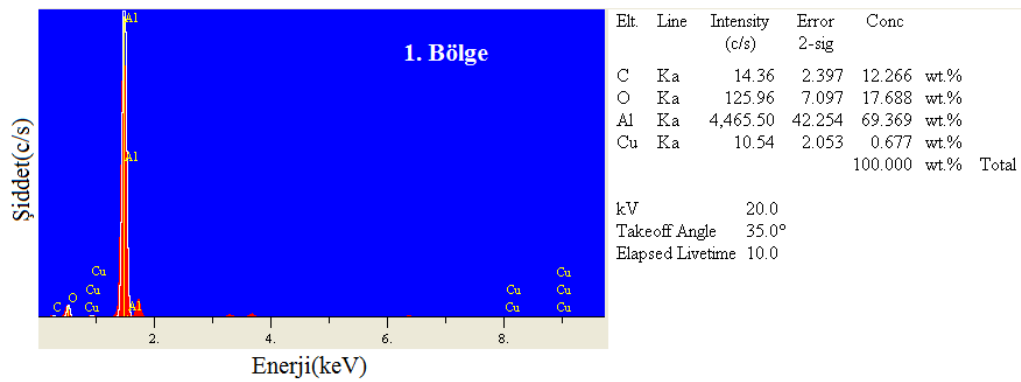
Şekil 5.11. %4 Al₂O₃ takviyeli kompozitin 3 nolu bölgeye ait EDS analizi



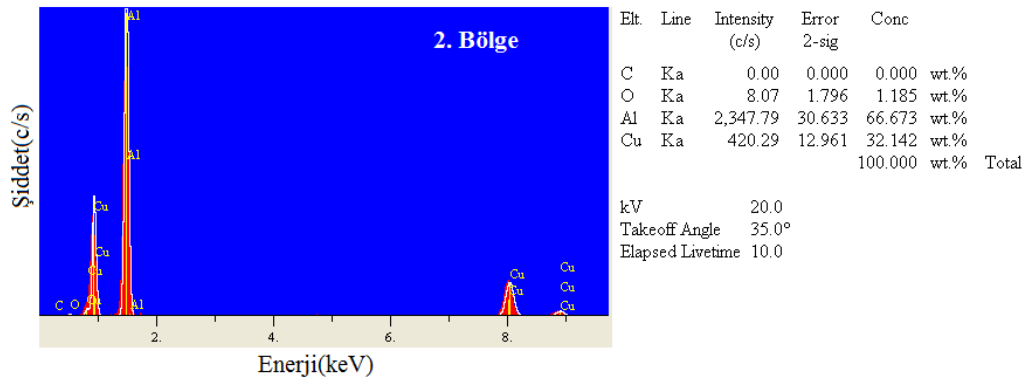
Şekil 5.12. %4 Al₂O₃ takviyeli kompozitin 4 nolu bölgeye ait EDS analizi



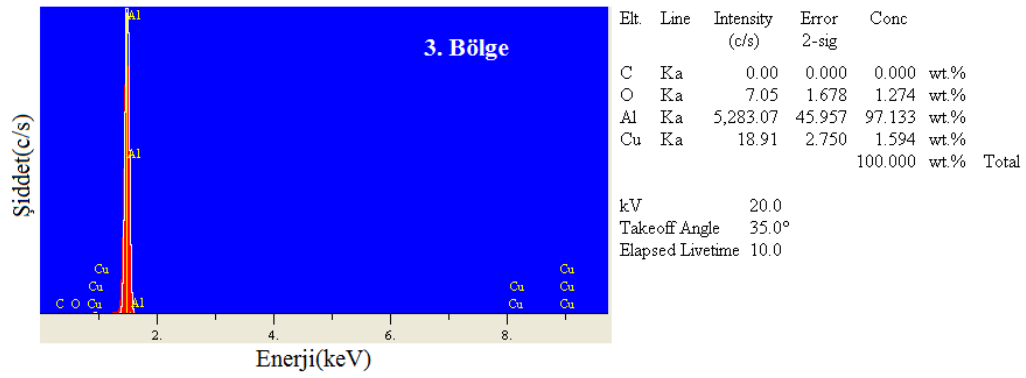
Resim 5.19. %4 Al₂O₃ takviye edilmiş 8 saat MA yapılmış, 580°C de sinterlenmiş numuneye ait EDS görüntüsü



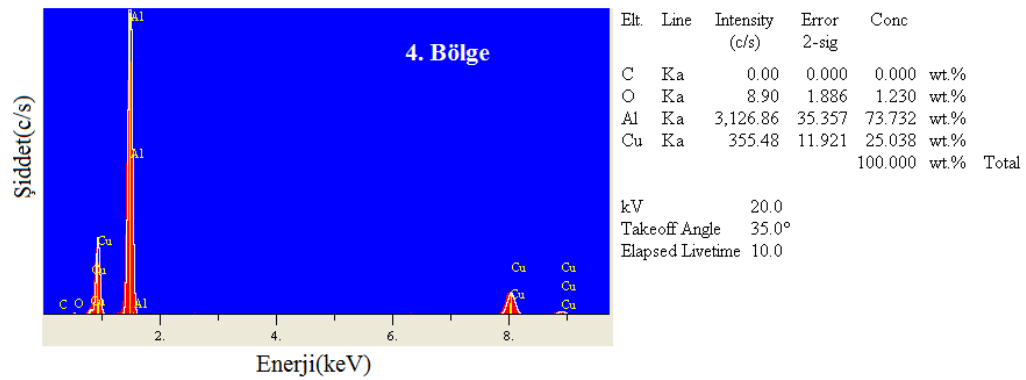
Şekil 5.13. %4 Al₂O₃ takviyeli kompozitin 1 nolu bölgeye ait EDS analizi



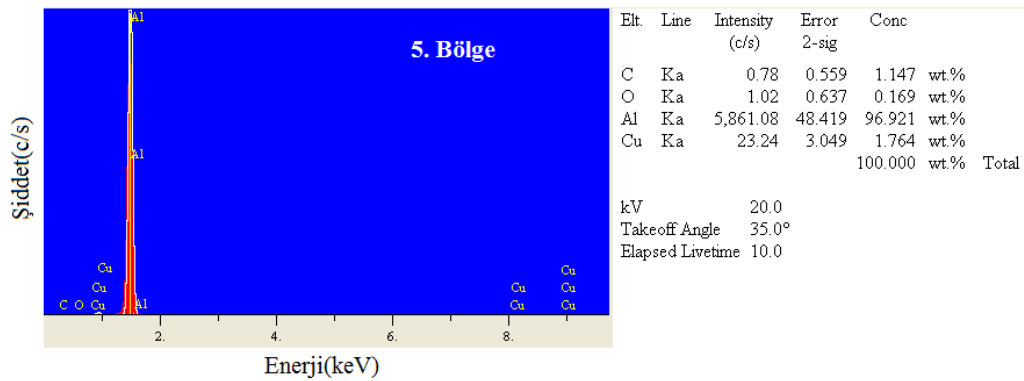
Şekil 5.14. %4 Al₂O₃ takviyeli kompozitin 2 nolu bölgeye ait EDS analizi



Şekil 5.15. %4 Al₂O₃ takviyeli kompozitin 3 nolu bölgeye ait EDS analizi



Şekil 5.16. %4 Al₂O₃ takviyeli kompozitin 4 nolu bölgeye ait EDS analizi



Şekil 5.17. %4 Al₂O₃ takviyeli kompozitin 5 nolu bölgeye ait EDS analizi

Aynı durum, 8 saat MA işlemine tabi tutulmuş tozlardan elde edilen 580°C de sinterlenmiş numunelerde de benzer durumlar tespit edilmiştir. Farklılık olarak CuAl₂ ötektiklerinin yapı içerisinde oluşan tanelerin iç bölgelerinde, dentritik tane oluşumunu andıran şekillerde olduğu tespit edilmiştir (Şekil 5.14)

5.4. Mekanik Alaşımlama ile Üretilen Numunelerin Yoğunlukları

4 ve 8 saat MA işleminden elde edilen tozların preslemeye bağlı yoğunlukları Çizelge 5.2’de verilmiştir. Tabloda da görüldüğü gibi sinterleme öncesi ham yoğunluklar kendi aralarında değerlendirildiğinde, 4 saat MA sonrası Al₂O₃ takviye oranına bağlı olarak yoğunluklar bir düşüş sergilemektedir. Aynı durum 8 saat MA sonrası numunelerde ise belirgin bir değişikliğin olmadığı görülmüştür. MA’nın ilk 4 saatinde toz şekillerinden de anlaşılabileceği gibi pulsu şekilde olan tozların preslenebilirliklerinin düşük olmasına bağlı olarak ham yoğunluklardaki bu düşüşün sebebi olduğu söylenebilir. MA’nın 8 saate ulaşması ile birlikte toz şekilleri nispeten daha küreseldir. Aynı tozlara ait sinterleme sonrası yoğunluklarda ise, kendi arasında ki ilişki aynen devam etmekte olduğu ancak ham yoğunluklara nazaran sinterleme sonrası yoğunlukların tümünde bir düşüş gerçekleşmiştir. Bu düşüşe iki etken parametreden birisi olan yeni oluşan veya büyüyen Al₂O₃’ler ya da diğer çalışmalarda görüldüğü gibi, AA 2014 alaşımında bulunan bakırın şişme etkisine bağlanabilir. Konu ile ilgili yapılan diğer çalışmalarda sinterleme sonrası yoğunlukların artışı ile ilgili genel bir tespit vardır. Bu çalışmada ise artış

gözlemlenmemiştir. Bunun sebebini Al_2O_3 toz büyüklüklerinin ve sinterleme sırasında büyük Al_2O_3 kütlelerinin topaklanarak, kütleli bölgeler oluşturmalarına bağlayabiliriz. Bu kütleli birleşmiş bölgelerin arasında kalan gözenek miktarı daha fazladır.

Çizelge 5.2. Farklı MA süreleri ve takviye oranlarına göre yoğunluktaki değişim

	4 Saat MA		8 Saat MA	
% Takviye	Ham Yoğunluk	Sinterleme Sonrası	Ham Yoğunluk	Sinterleme Sonrası
%1 Al_2O_3	2,59	2,58	2,55	2,52
%2 Al_2O_3	2,57	2,51	2,58	2,54
%4 Al_2O_3	2,54	2,40	2,57	2,53
Birim: g/cm^3				

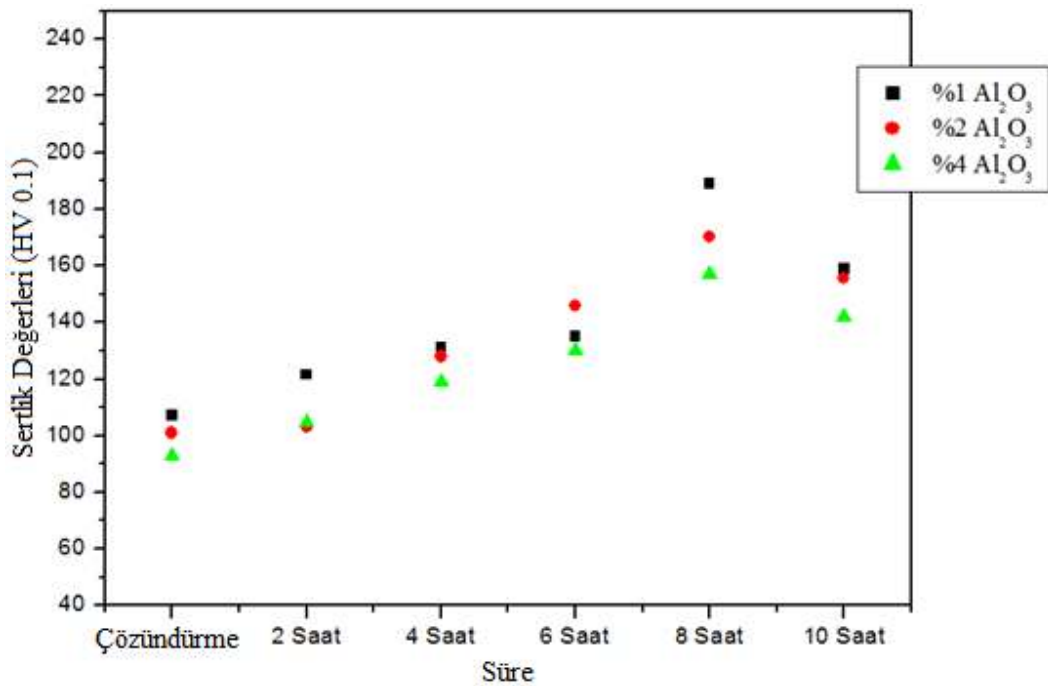
5.5. MA İle Üretilen Numunelerin Sinterleme ve Yaşlandırma Sonrası Sertlik Sonuçları

MA işlemi ile elde edilen numunelere sinterleme sonrası sertlik ölçümleri yapılmıştır. Çizelge 5.3’de, 4 saat MA sonrasında sırasıyla %1, 2 ve 4 Al_2O_3 takviyeli numunelerin sertlikleri 53, 45 ve 41 HV olarak ölçülmüştür. Aynı takviye oranlarında 8 saat MA sonrası sertlikler ise sırasıyla 58, 54 ve 53 HV olarak ölçülmüştür. Klasik MA sürecinde tozların kırılıp kaynaklanma sürecinin 4 saat MA yapılan numunelerde daha belirgin olduğu, ilerleyen öğütme süresi ile birlikte bu etkinin daha azalan bir etkide olduğu söylenebilir.

Çizelge 5.3. 4 ve 8 saat MA İşlemi ve ardından 1 saat sinterleme sonrası sertlik değerleri (HV 5)

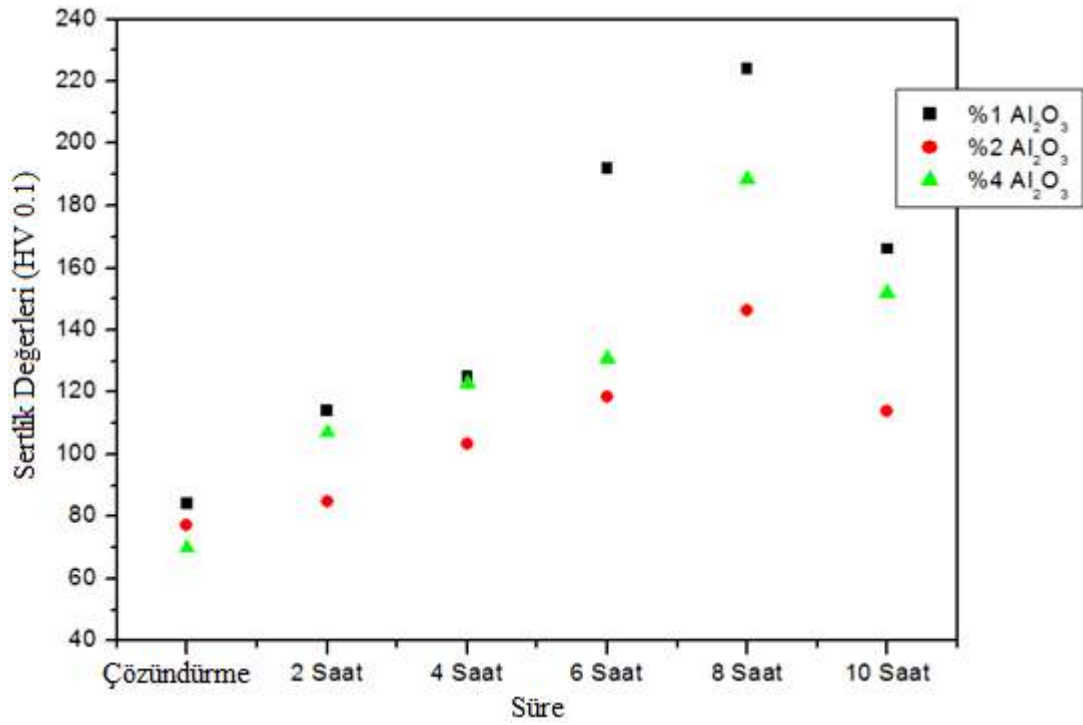
	Sertlik (HV 5)	
% Takviye Oranı	4 Saat MA	8 Saat MA
%1 Al ₂ O ₃	53,15	58
%2 Al ₂ O ₃	45	54
%4 Al ₂ O ₃	41,56	53

Deneysel çalışmalar bölümünde vermiş olduğumuz sinterleme sonrası çözündürme ve yaşlandırma uygulanmış numunelere ait sertlik sonuçları Şekil 5.18 ve Şekil 5.19 de verilmiştir. Yaşlandırılabilir malzemelerin klasik yaşlandırma etkisinin olduğu görülmüştür. 4 saat MA sonrasına ait sertlik sonuçları ilave edilen Al₂O₃ miktarına bağlı olarak kendi aralarında değerlendirildiğinde tüm numunelerde maksimum sertliğinde %1 Al₂O₃ takviyeli numunelerde olduğu görülmüştür (Şekil 5.18).



Şekil 5.18. Yaşlandırma süresi ile sertlikteki değişim (4 saat MA)

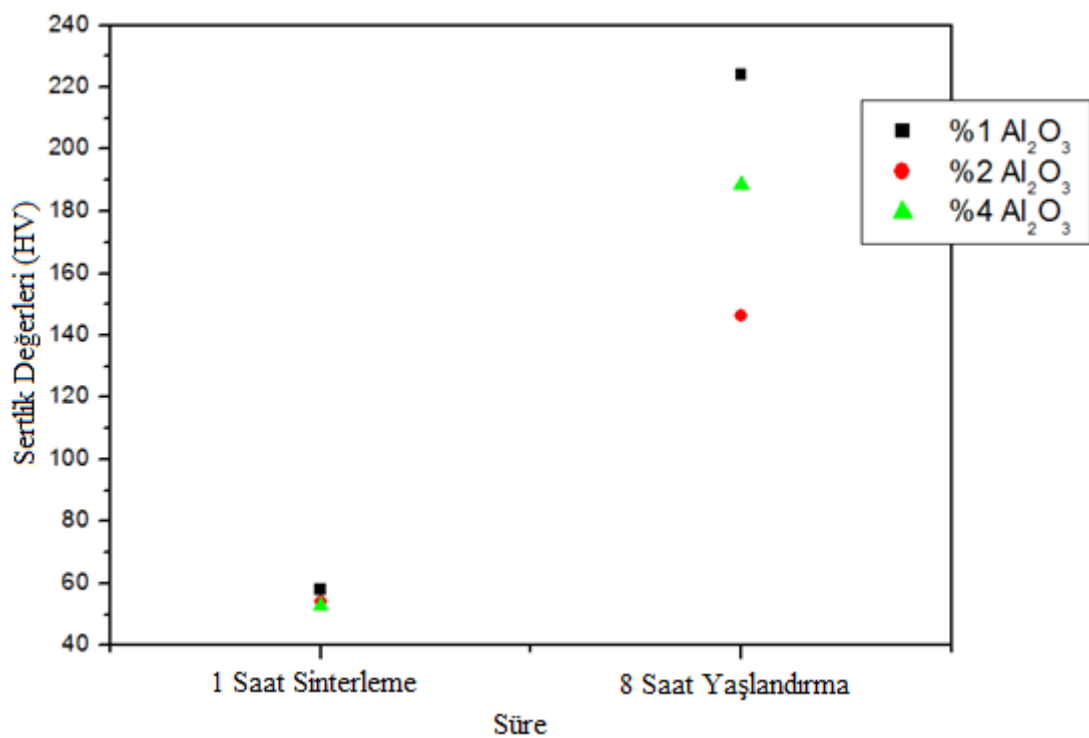
Aynı durum 8 saat MA sonrası numunelerde ise yine %1 Al_2O_3 takviyesinin en fazla sertlik değerlerini verirken, %4 Al_2O_3 miktarının bundan sonraki en yüksek sertlik değerine sahip olduğu görülmektedir (Şekil 5.19). 4 saat ve 8 saat MA işlemine tabi tutulmuş numunelerin yaşlandırma sonrası sertlik sonuçlarında ise en yüksek sertliğine 8 saat yaşlandırma sonrasında ulaşıldığı tespit edilmiştir. Yaşlandırma süresinin artışı ile birlikte 10 saatlik yaşlandırma sürelerinde tüm numunelerin sertliklerinde geriye dönüş olduğu tespit edilmiştir. Bunu aşırı yaşlandırma sürecine bağlayabiliriz.



Şekil 5.19. Yaşlandırma süresi ile sertlikteki değişim (8 saat MA)

Şekil 5.20’de görüldüğü gibi sinterleme sonrası numunelere uygulanan yaşlandırma ısısal işleminin etkileri açıkça görülebilir. Şekilde de görüldüğü gibi başlangıçta 50 HV civarlarında olan sertliklerin 8 saat MA sonrası yaşlandırma ısısal işlemine tabi tutulmuş numunelerde yaklaşık 4 katına ulaştığı gözlemlenmiştir. Bu durum göstermiştir ki sertliklerdeki asıl artışı sağlayan mekanizmanın yaşlandırma mekanizması olduğu açıktır. MA ya bağlı olarak da 4 saat MA sonrası yaşlandırma ısısal işlemi uygulanmış numunelere nazaran, 8 saat MA uygulanmış yaşlandırma

numunelerinin daha yüksek serlik değerine ulaştığı tespit edilmiştir. Bu bağlamda, sinterleme sonrası sertliklerde ki artışın birincil etkin mekanizmasının yaşlandırma ısı işlemi olduğu ve diğer mekanizmanın ise MA süresi olduğu söylenebilir. Yapılan diğer çalışmalarda takviye miktarının sertlikte artış sağladığı tespit edilmiştir. Bu çalışmada makro düzeyde bu artışın olduğu gözlemlenmiştir. Ancak takviye edilen Al_2O_3 parçacık boyutlarının büyüklüğü, heterojen dağılımdan kaynaklanan sertlik artış değerlerine etkinliği nispeten daha azdır.

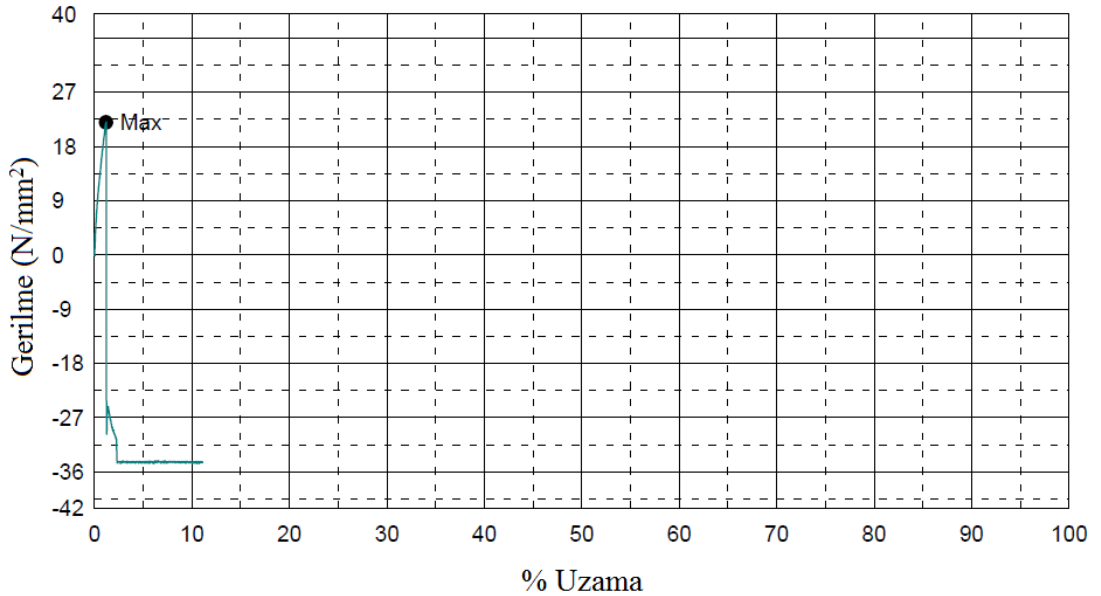


Şekil 5.20 Sinterleme sonrası optimum yaşlandırma sertliklerinde ki değişim (8 saat MA)

5.6. MA İle Üretilen Numunelerin Sinterleme ve Yaşlandırma Sonrası Çekme Test Sonuçları

Genel malzemelere ait mikroyapısal karakterizasyon amaçlı incelenen görüntülerden de anlaşılacağı gibi deney numunelerinde Al_2O_3 'e bağlı olarak sinterleme ve sonrası tüm ısı işlemlerde, yapının tam manasıyla bulk ya da döküm metodu ile üretilmiş kütsel bir yapı sergilemediği tespit edilmiştir. Resim 4.14'te görülen çekme test

numuneleri MA yöntemi ile üretimi gerçekleştirilen kompozitler için hazırlanmıştır. Mikroyapısal karakterizasyon amaçlı hazırlanan numunelerde olduğu gibi bu çekme test numunelerinde de artan yüzey alanı ile birlikte oksitlenme tavrı artmıştır. MA ve yaşlandırma ısı işlemi sonrasında üretilen çekme test numunelerine ait test sonuçları çok sıhhatli olmamakla birlikte ölçümler gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.22’de %1 Al_2O_3 takviyeli 8 saat MA işlemi yapılmış, 1 saat sinterlenmiş ve 10 saat yaşlandırılmış numuneye ait çekme test sonucunda da görülebileceği gibi maksimum 20 N/mm² alınan gerilim oranı çok düşüktür. Benzer bir klasik metotla üretilmiş olan malzemenin gerilme dayanımı 150N/mm² [74] olduğuna göre, bu çalışmada üretilmiş olan deney numunesinden elde edilen sonucun verimsizliği ortadadır. Bu sonuçların elde edilmesinde sıcaklık karşısında takviye ile matris termal genleşme farklılığı ve ıslatabilirlik etkin bir faktör olarak karşımıza çıkmıştır. Aynı zamanda üretilen deney numunelerinde Al_2O_3 - matris ara yüzeyinin uyumlu olmaması oksitlenme tavrını arttırmıştır.



Şekil 5.21. %1 Al_2O_3 , 8 saat MA işlemi yapılmış ve 1 saat sinterlenmiş ve yaşlandırılmış numune

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1. Sonuçlar

AA 2014 alüminyum alaşım tozlarına karışım yöntemi ile %1, 2, 4 ve 8, MA metodu ile %1, 2, 4 oranında alümina takviyesi ile ilgili olarak;

1. Gaz atomizasyonu yöntemi ile üretilen tozlar küresel ya da küresele çok yakın 95 µm ortalama toz boyutuna sahip olduğu tespit edilmiştir.
2. Karışım yöntemi ile üretilen tozlarda homojen bir dağılım elde edilememiştir. MA'nın 4 Saat lik uygulamalarında pulsu ve heterojen bir dağılım gözlemlenmiş iken 8 saat MA ulaşıldığında yapının nispeten küresel ve homojen dağılıma geçtiği tespit edilmiştir.
3. Hem karışım yöntemi hem de MA ile üretilmiş deney numunelerinde Al_2O_3 miktarı arttıkça ham yoğunluklar çok az miktarda düşmüştür. Presleme basıncının ve sinterleme ısı işlem parametrelerinin uygun olduğu tespit edilmiştir.
4. Mekanik alaşımlama da artan öğütme süresine bağlı olarak, deney numunelerinin yoğunluk ve sertliklerinde kısmen artış olduğu tespit edilmiştir.
5. Sinterleme sonrası yoğunluklardaki düşüş, ham yoğunluklardaki düşüş gibi Al_2O_3 miktarı ile artmış fakat oransal olarak sinterleme sonrası yoğunluklardaki azalmanın daha fazla olduğu görülmüştür.
6. Deney numunelerinin üretiminde en etkin parametrenin koruyucu atmosfer olduğu tespit edilmiştir. Aynı zamanda Al_2O_3 parçacıklarının büyüklüğünün ve heterojen dağılımında bu konuda etkin rol oynadığı söylenebilir.

7. Sertlik sonuçlarına göre, sertlikte ki artışı sağlayan en önemli faktörün yaşlandırma ısı işlemi olduğu tespit edilmiştir. İkincil etkinin ise Al_2O_3 parçacıklarının dağılımının olduğu söylenebilir.

8. Al_2O_3 parçacık boyutu ve oksidasyon probleminin artışı çekme test numunelerinin test edilebilirlik niteliklerini ortadan kaldırmıştır.

6.2. Öneriler

1. Mekanik alaşımlama dışında, planetary, spex gibi cihazlardan alınacak tozların karışımı ve kompozit oluşturma işlemi daha verimli olacaktır.
2. Farklı mekanik alaşımlama süreleri ve farklı takviye oranları ile parametrelerde değişiklikler yapılarak seçilen koşullarda deney numunelerinin ne tür özellikler göstereceği araştırılabilir.
3. Farklı yaşlandırma sıcaklıkları ve sürelerin etkileri incelenebilir.
4. Doğal yaşlandırma süreci, düşük sıcaklıklarda daha uzun yaşlandırma süreleri ve etkileri araştırılabilir.

KAYNAKLAR

1. Ersümer, A., “Toz Metalurjisi Sert Metal Sinterleme”, *İstanbul Teknik Üniversitesi Matbası*, İstanbul, 1-2, (1970).
2. Demir, A., “Toz Metal Bir Çeliğin Mekanik Özellikleri”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (1992).
3. Kayış, V., “Kısmi ve Ön Alaşımli Demir Tozları İçerisine Katılan B ve Fe İlavelerin Sinterleme Davranışları ve Mekanik Özelliklere Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2005).
4. Aslanoğlu, Z., “Demir-Karbon Sisteminin Mekanik Alaşımlama Tekniği İle Üretim Süreçlerinin İncelenmesi ve Karakterizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (1994).
5. Hiçyılmaz, N., “Toz Metalurjisi Yöntemi İle Elde Edilen Seramik Tanecik Destekleyicili Al Esaslı Kompozit Malzemelerin Aşınma Özellikleri”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 137, (1999).
6. Rabiei, A., Vendra, L., Kishi, T., “Fracture behavior of particle reinforced metal matrix composites”, *Composites: Part A*, 39, 294–300, (2008).
7. Erkalfa, H., Baykara, T., Özkan, O., T., “Silicon Carbide and Alumina Composite Ceramics for Ceramic Foam Filters”, High Performances Ceramics, *Inter ceramics*, 49, (3):170, (2000).
8. Demirel, M., “Toz Metalurjisi Yöntemiyle Üretilen Metal Matrisli Kompozitlerde Ni₃Al Metallerarası Bileşik Takviyesinin Aşınma Davranışına Etkilerinin Araştırılması” *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, (2007).
9. Kaçar, H., Atik, E., Meriç, C., “The effect of precipitation-hardening conditions on wear behaviours at 2024 aluminium wrought alloy” *Wear*, 236: 144-152, (2003).
10. Meyveci, A., “Yaşlandırılmış 2XXX ve 6XXX serisi alüminyum alaşımlarının aşınma davranışlarının incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 1-30, (2007).
11. Corrochano, J., Cerecedo, C., Valcárcel, V., Lieblich, M., Guitián F., “Whiskers of Al₂O₃ as reinforcement of a powder metallurgical 6061 aluminium matrix composite”, *Materials Letters*, 1-3, (2007).
12. Ceschini, L., Boromei, I., Minak, G., Morri, A., Tarterini F., “Effect of friction stir welding on microstructure, tensile and fatigue properties of the AA7005/10 vol.%Al₂O₃p composite”, *SMETEC*, University of Bologna, Viale Risorgimento 4, I-40136, Bologna, Italy, (2006).

13. Rahimian, M., Parvin, N., Ehsani, N., “The effect of production parameters on microstructure and wear resistance of powder metallurgy Al–Al₂O₃ composite”, **Faculty of Engineering**, Islamic Azad University-Semnan Branch, Semnan, Iran, (2010).
14. Durmuş, H., K., Okur A., Meriç C., "AA 2014 ve AA 2024 Alüminyum Alaşımlarında Soğutma Koşullarının Sertliğe Etkisinin İncelenmesi", Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, **Mühendislik Bilimleri Dergisi**, (2002).
15. Kok, M., “Abrasive wear of Al₂O₃ particle reinforced 2024 aluminium alloy composites fabricated by vortex method”, **Department of Mechanical Program**, Vocational College Education, Kahramanmaraş, Sutcu Imam University, (2005).
16. Schneider, Y., Soppa, E., Kohler C., Mokso R., Roos E., “Numerical And Experimental Investigations Of The Global And Local Behaviour Of An Al(6061)/Al₂O₃ Metal Matrix Composite Under Low Cycle Fatigue”, **Institut Für Materialprüfung**, Werkstoffkunde Und Festigkeitslehre (Imwf), Universität Stuttgart, Pfaffenwaldring 32, 70569 Stuttgart, Germany, (2011).
17. Kyung, H.,M., Shin, P., K., Dae-Gun, K., Young, D., K., “Sintering Characteristic Of Al₂O₃-Reinforced 2xxx Series Al Composite Powders”, **Division Of Materials Science And Engineering**, Hanyang University, Seoul 133-791, Republic Of Korea, (2005).
18. Ekinci, V. Ş., “Alümina Takviyeli Alüminyum Matrisli Kompozit Malzeme Üretimi Ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, (2007).
19. Kumral, C., “Sıkıştırma Döküm İle Üretilmiş Al₂O₃ Takviyeli AA 6061Kompozit Malzemesinin Mekanik Özellikleri ve Isıl İşlem Davranışlarının Karakterizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, **Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, (2007).
20. Yavuz, N., Güner, R., “Demir Esaslı Toz Metal Parçaların Elektrik Direnç Kaynağından Optimum Kaynak Şartlarının Belirlenmesi”, **Uludağ Üniversitesi Mühendislik- Mimarlık Fakültesi Dergisi**, 7 (1): S. 221-228, (2002).
21. Akoral, E., “Toz Metalurjisi Yöntemi ile Al-SiC Kompozit Malzeme Üretimi ve İşlenebilirliğinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 10-45, (2003).
22. Günebakmaz, S., “Toz Metalurjisi Yöntemi İle Inconel 718 Süperalaşımının Üretimi Ve Özelliklerinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, (2007).
23. Turan, H., “Gaz Atomizasyon İle Metal Tozu Üretimi”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 13-44 (1993).

24. İnternet: Aselsan " TM de kullanılan metal tozları"
<http://www.aselsan.com.tr>, (2006)
25. Onur, A., “Yağ Atomizasyonu Yöntemiyle Metal Tozu Üretiminin İncelenmesi”, Doktora Tezi, **Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Trabzon, (1996).
26. German, R.M., “Powder Metallurgy Science 2nd edition”, **Metal Powder Industries Federation**, USA, 16-20, 76-90 (1984).
27. Çakır, M., “Toz metal alüminyum malzemelerin sürtünme karıştırma kaynağı ile kaynaklanabilirliği”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, (2007).
28. Lawley, A., “Atomization The Production of Metal Powders”, (1992).
29. İnternet: Türktoz " Endüstride kullanılan tozlar"
<http://turktoz.gazi.edu.tr/makale.htm>, Ekim (2006).
30. German, R., M., “Toz Metalurjisi ve Parçacıklı Malzeme İşlemleri”, Prof.Dr. Süleyman SARITAŞ, Prof.Dr. Mehmet TÜRKER, Doç.Dr. Nuri DURLU, **Türk Toz Metalurjisi Derneği Yayınları**, Ankara, (2007).
31. Sağırılı, A., “Mekanik Ekzantrik Toz Metal Presi ve Toz Metal Teknolojisi”, Yüksek Lisans Tezi, **YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü**, (1990).
32. Aydın, M., Yetgin,H., “MMK Üretiminde Farklı Tasarımlardaki Karıştırıcıların Etkisinin Araştırılması” , **Teknoloji**, 9(1): 39-46, (2006).
33. Pavlovic, M.,G., Pavlovic, L., J., Ivanovic, E., R., Radmilovic, V., Popov, K., I., “The Effect of Particle Structure on Apparent Density of Electrolytic Copper Powder”, J. **Serb. Chem.**, Soc. 66 (11-12)923, (2001).
34. Sarıtaş, S., Toz Metalurjisi, "Makina Müh. El Kitabı”, **MMO**, 2(1): 2/64-2/82, (1994).
35. Alier, A.J., Losada, A., “Characteristics of atomized powders”, **Powder Metallurgy Int.**, 21(5): 15-19, (1985).
36. Kaysser, W.A., Rzesnitzek, K., “Principles of atomization”, **Science of Sintering**, Ed. D.P. Uskokovic, Plenum Press, 157 – 174, (1990).
37. İnternet: Dumlupınar "Metal Tozu Oluşumu"
http://mf.dumlupinar.edu.tr/~runal/toz/tozuretimi/powder_product.html (2011).

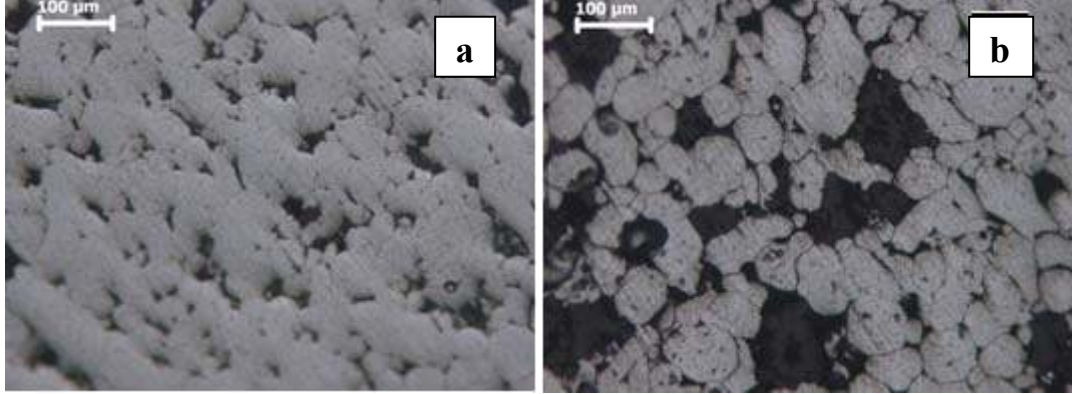
38. Bostan, B., “Alüminyum-Karbon Tozlarının Mekanik Alaşımlama ve Sonrası İşlemlerle Al₄C₃ Sentezlenmesi”, Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 1-35, (2003).
39. Archbold, J., “Sintering temperature effects on the mechanical properties of porous-coated Ti-Al-4V ELI alloy”, master degree of applied science, **graduate department of metallurgy and material science**, university of 106 s.Toronto, Canada, (1999).
40. Boz, M., “Seramik Takviyeli Bronz Esaslı Toz Metal Fren Balata Üretimi ve Sürtünme-Aşınma Özelliklerinin Araştırılması”, Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, (2003).
41. Söyler, M., “Toz Metalurjisi ve Uygulamaları”, Yüksek Lisans Tezi, **Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik Ve Fen Bilimleri Enstitüsü**, Gebze, (2007).
42. Kılınç, Y., “Demir Bazlı Süper Alaşımların Mekanik Alaşımlama Metodu İle Üretilmesi ve Özelliklerinin Araştırılması, Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, (1999).
43. Arık, A., Türker, M., Sarıtas, S., “Mekanik alaşımlama ile alüminyum matriksli alüminyum karbür (Al₄C₃) kompozit malzeme üretimi”, **2. Ulusal Toz Met. Konf.**, Ankara, Eylül, 433-440, (1999).
44. Koch, 1970, Ruhle ve Karlo, 1991, Tyong ve Ma, 2000, Fair ve Wood, 1993, Hausner ve Smith, (1973).
45. Özyürek, D., “Mekanik Alaşımlama Yöntemi ile Titanyum Bazlı Metal Matris Kompozit Malzemelerin Üretimi ve Karakterizasyonu”, Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 6, 27-35, (2002).
46. Bloor, D. Brook, R., Flemings, M.C. ve Mahajan, S., “The encyclopedia of materials”, **Pergamon Press**, Oxford, (1999).
47. Suryanarayana, C., “Mechanical alloying and milling”, **Progress in Materials Science**, 46: 1-184, (2001).
48. Benjamin, J.S., Schelleny, R.D., “Dispersion strengthened aluminium made by MA” **Met. Trans.**, 12: 1827-1832, (1981).
49. Kaya, H., “Spex tipi mekanik alaşımlama cihazının tasarımı, imalatı ve alüminyum bazlı kompozit tozların üretimi ve karakterizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, **Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Zonguldak, 1-35 (2003).
50. Benjamin, J. S., “Mechanical Alloying”, **Sci. Amer.**, 234(5): 40-48, (1976).

51. Lee, P.Y., Yang, J-L., Lin, H-M., “Amorphization behaviour in mechanically alloyed Ni-Ta powders”, *Journal Mater. Sci.*, 33: 235-239, (1998).
52. Benjamin, J.S., Volin, T., E., “The Mecanism of mechanical alloying for composite metal powder production”, *Metal. Trans.*, 5: 1929-1934 (1974).
53. Sundaresan, R., Froes, F.H., “Mechanical alloying”, *Journal of .Metals*, 8: 22 27, (1987).
54. Suryanarayana, C., ”Mechanical alloying and milling”, *Marcel Dekker*, New York, 1-466, (2004).
55. Davis, R., M., Koch, C.C., “Mechanical alloying of brittle components: Silicon and Germanium” *Scripta Matallgica*, 21:305-10, (1987).
56. Davis, R., M., McDermott, B., Koch, C., C., “MA of brittle materials”, *Metall. Trans.*, A19: 2867-2874, (1988).
57. Lee, P., Y., Koch, C., C., “Formation of amorphous Ni-Zr alloys by mechanical alloying of mixtures of the intermetalik compounds Ni₁₁Zr₉ and NiZr₂”, *Appl. Phys. Lett.*, 50: 1578-1580, (1987).
58. Smith, W., F., Malzeme Bilimi ve Mühendisliği, Çeviri Kınikoğlu, N.G., 3. Baskı, *Literatür Yayıncılık*, İstanbul, (2001).
59. Clyne, T., W., Withers, An Introduction to Metal Matrix Composites, *Cambridge University pres*, USA, (1993).
60. İnternet: Kompozit Malzemelerdeki Özelliklerin Geliştirilmesi"
<http://www.bilgiustam.com>
61. Kılıçkap, E., “AlSi7 Mg2/SiCp Metal Matriksili Kompozitlerin Talaşlı İşlenmesinin Araştırılması”, Doktora Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, (2003).
62. Erdoğan. M., Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri, Cilt:II, *Nobel Yayın Dağıtım*, Ankara, (1998).
63. Zhang, X.P., Ye, L., Mai, Y.W., Quan G.F. ve Wei W., Investigation on diffusion bonding characteristics of SiC particulate reinforced aluminium metal matrix composites (*Al/SiCp-MMC*), *Composites: Part A*, 30 1415-1421, (1999).
64. Eker, A.A., “Seramik Matrisli Kompozit Malzemeler ve Üretimi”, Yıldız Teknik Üniversitesi, *Makine Mühendisliği Bölümü Ders Notları*, İstanbul, (2008).

65. Çalın, R., “Magnezya parçacık takviyeli Al matrisli kompozitin vakum infiltrasyon yöntemi ile üretilmesi ve özelliklerinin incelenmesi”, Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, (2006).
66. Pul, M., “Al Matrisli MgO Takviyeli Kompozitlerin İnfiltrasyon Yöntemi İle Üretilmesi Ve İşlenebilirliğinin Değerlendirilmesi”, Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, (2010).
67. Eryılmaz, Ö., Özgen S., “Magnezya-alümina spinel dökülebilir refrakterler”, **10. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi Bildiriler Kitabı**, 24-28 Mayıs İstanbul, Cilt III, 1659-1666, (2000).
68. Pinto, L., Zschech, E., “Mechanical Properties and corrosion behavior of Extrusions for Aircraft Applications Made by Discontinously Silicon- Carbide-Reinforced Aliminium Matrix Composites”, **Materials Science Forum**, 1593, syf. 217-222, (1996).
69. Nunes, P.C.R., Ramanathan L.V., **Corrosion**, 51, 610, (1995).
70. Prasad, S.V., Rohatgi P.K., **Journal Metals**, 39, 11, p.22-26, (1987).
71. Torralba, J., M., Costa, C., E., Velasco, F., “P/M Aluminum Matrix Composites: An Overview”, **Journal of Materials Processing Technology**, 133: 203-206, (2003).
72. Değerli, S., “Bayer Prosesinin Ara Atık Ürünü Olan Alüminyum Hidroksit Kabuğundan Aktif Alümina Eldesi”, Y. Lisans Tezi, **YTÜ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı**, , İstanbul, 8-16, (2002).
73. Gökmeşe, H., “Gaz Atomizasyonu Yöntemiyle AA 2014 Alaşım Tozunun Üretimi”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, (2010).
74. Totik, Y., Sadeler, R. , Kaymaz, I., Gavgali, M., “The effect of homogenisation treatment on cold deformations of AA 2014 and AA 6063 alloys”, **Journal of Materials Processing Technology**, 147: 60-64, (2004).

EKLER

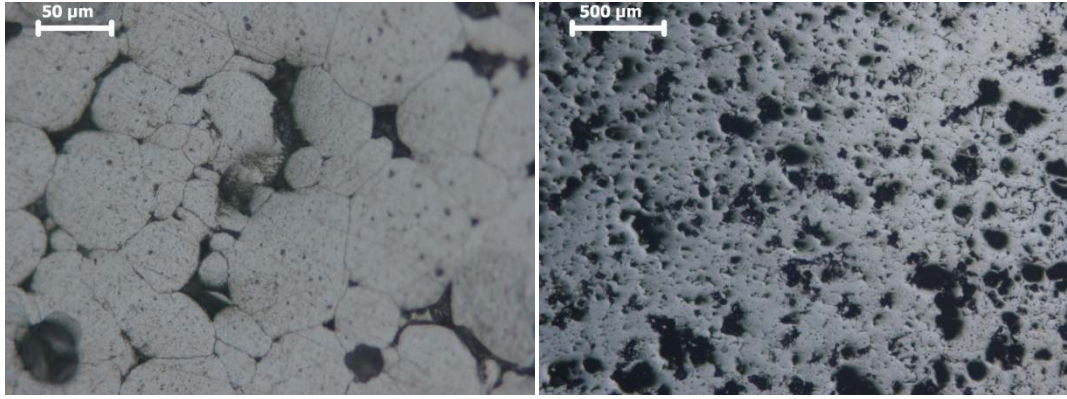
Ek-1. Karışım yöntemi ile üretilmiş farklı takviye oranlarındaki numuneler



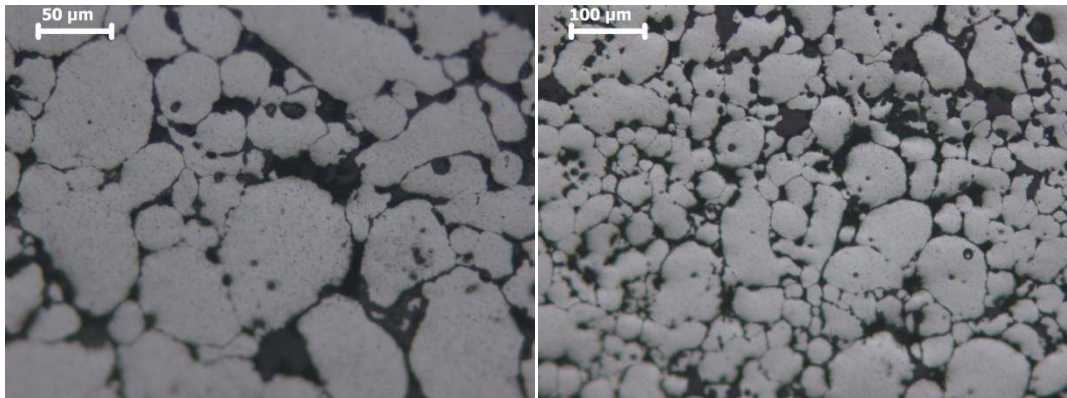
Resim 1.1. 580°C de sinterlenmiş kompozitlerin optik mikroskop görüntüleri

a) %1 Al_2O_3 , b) %4 Al_2O_3

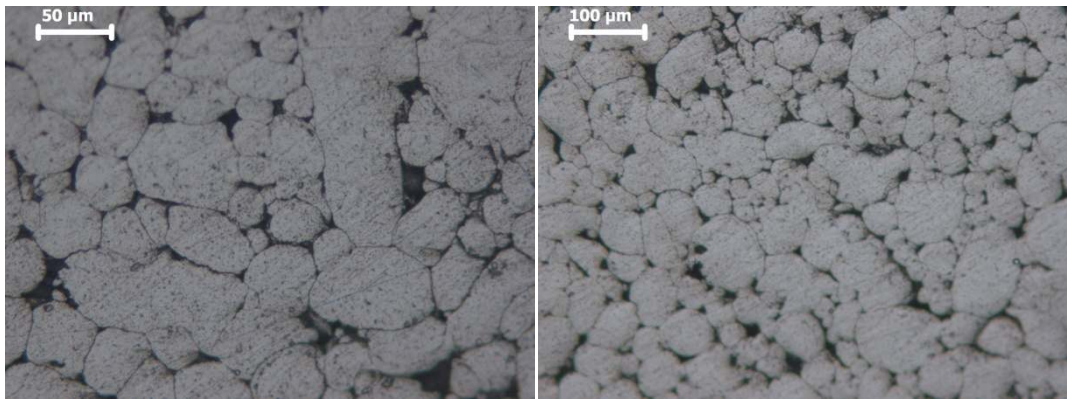
Ek-2. Karışım yöntemi ile üretilmiş %2 Al_2O_3 takviyeli farklı sıcaklıklarda sinterlenmiş numunelerin optik mikroskop görüntüleri verilmiştir.



Resim 2.1. %2 Al_2O_3 takviyeli 550°C de sinterlenmiş numunenin görüntüleri

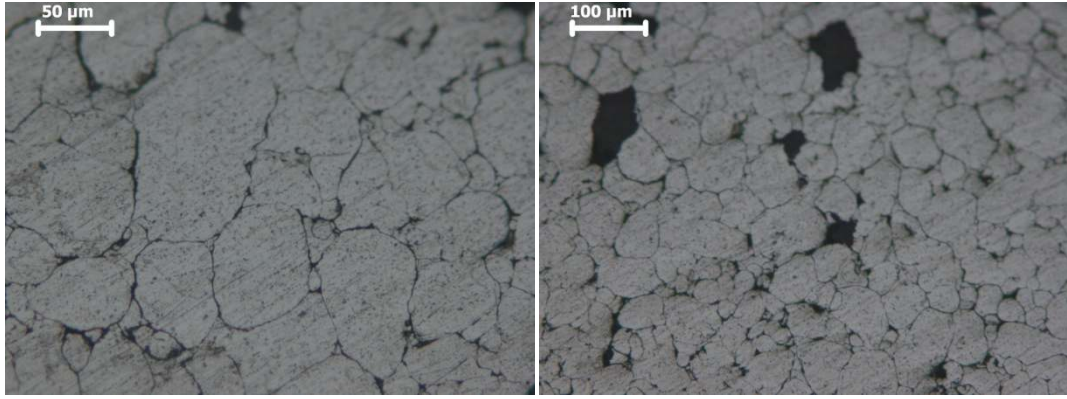


Resim 2.2. %2 Al_2O_3 takviyeli 560°C de sinterlenmiş numunenin görüntüleri



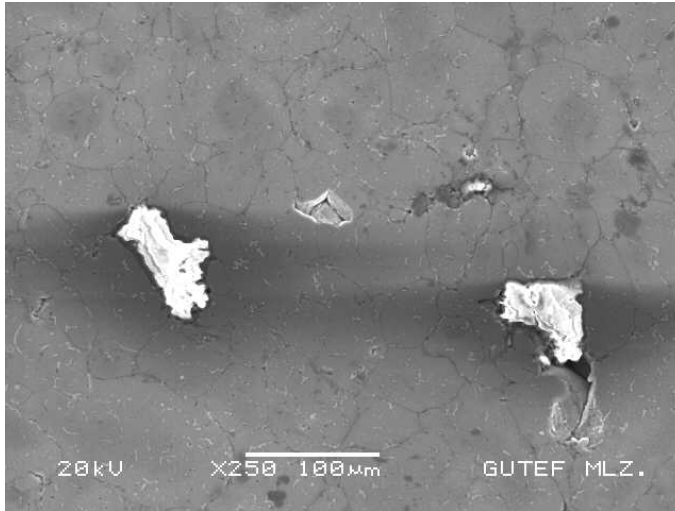
Resim 2.3. %2 Al_2O_3 takviyeli 570°C de sinterlenmiş numunenin görüntüleri

Ek-2 (Devam). Karışım yöntemi ile üretilmiş %2 Al_2O_3 takviyeli farklı sıcaklıklarda sinterlenmiş numunelerin optik mikroskop görüntüleri verilmiştir.

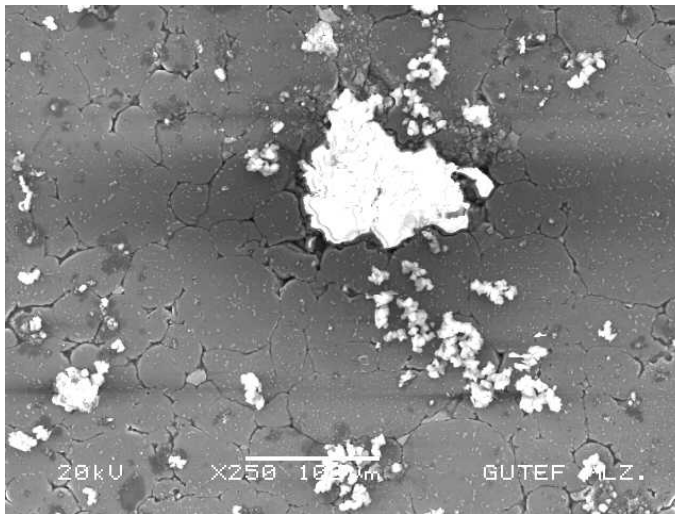


Resim 2.4. %2 Al_2O_3 takviyeli 580°C de sinterlenmiş numunenin görüntüleri

Ek-3. Karışım yöntemi ile üretilmiş %2 Al_2O_3 takviyeli farklı sıcaklıklarda sinterlenmiş numunelerin SEM görüntüleri verilmiştir.

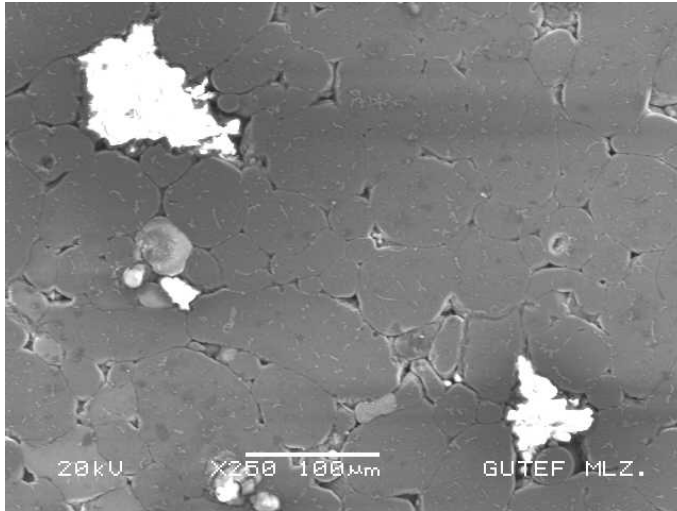


Resim 3.1. %2 Al_2O_3 takviyeli 550°C de sinterlenmiş numunenin SEM görüntüsü

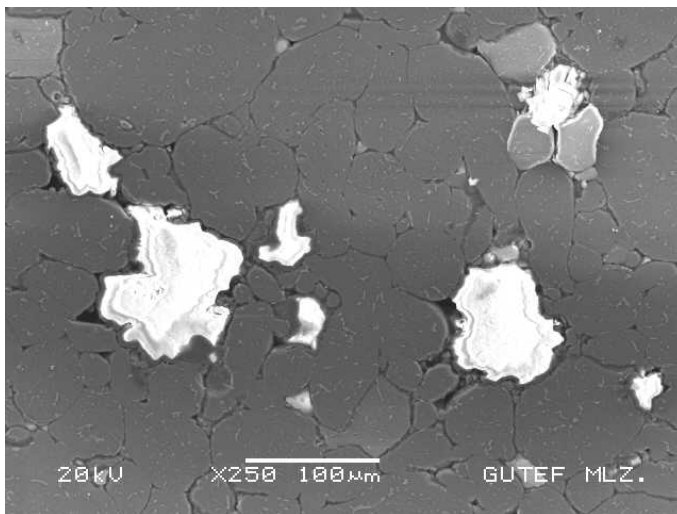


Resim 3.2. %2 Al_2O_3 takviyeli 560°C de sinterlenmiş numunenin SEM görüntüsü

Ek-3 (Devam). Karışım yöntemi ile üretilmiş %2 Al_2O_3 takviyeli farklı sıcaklıklarda sinterlenmiş numunelerin SEM görüntüleri verilmiştir.

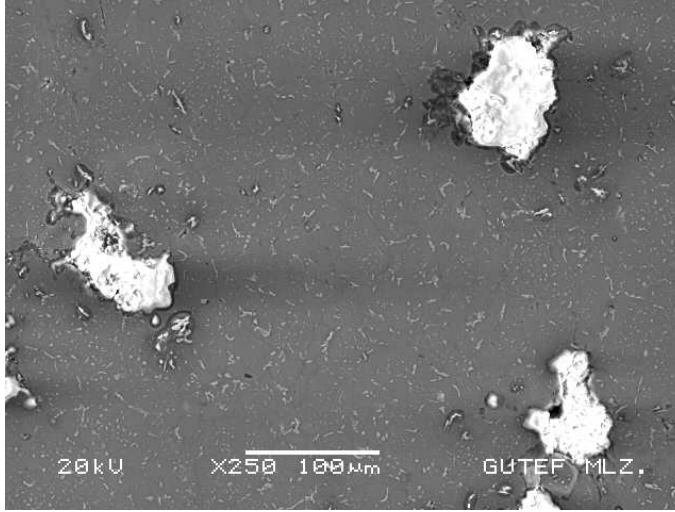


Resim 3.3. %2 Al_2O_3 takviyeli 570°C de sinterlenmiş numunenin SEM görüntüsü

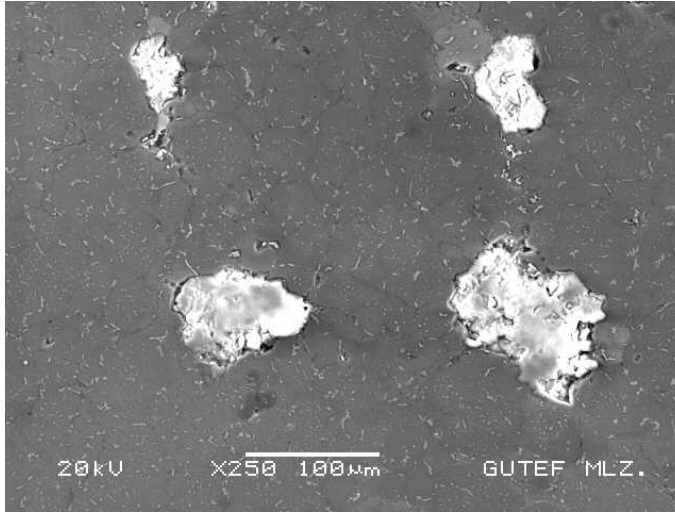


Resim 3.4. %2 Al_2O_3 takviyeli 580°C de sinterlenmiş numunenin SEM görüntüsü

Ek-3 (Devam). Karışım yöntemi ile üretilmiş %2 Al₂O₃ takviyeli farklı sıcaklıklarda sinterlenmiş numunelerin SEM görüntüleri verilmiştir.



Resim 3.5. %2 Al₂O₃ takviyeli 600°C de 1 saat sinterlenmiş numunenin SEM görüntüsü



Resim 3.6. %2 Al₂O₃ takviyeli 600°C de 4 saat sinterlenmiş numunenin SEM görüntüsü

Ek-4. AA 2014 tozlarına ait boyut dağılım sonucu



Run No. 14

Presentation: 2OHD

Polydisperse model

Sample: AA2014 , 4

Focus = 300 mm.

Source: Analysed

Beam Length = 2.4 mm.

Volume Result

Obscuration = 15.7 %

Measured on: 9 Jun 2012 Sat 05:11

Analysed on: 9 Jun 2012 Sat 05:12

Last Saved: 9 Jun 2012 Sat 05:12

Configuration file: SIZER

Sample Path: A:\

Sampler: MSE

Residual = 0.569 %

Uniformity = 0.610

Specific S.A. = 0.0798 sq. m. /gm.

d (v, 0.5) = 95.34 um

d (v, 0.1) = 39.69 um

Concentration = 0.177 %

Span = 1.760

Mode = 106.81 um

d (v, 0.9) = 207.46 um

D [4, 3] = 117.89 um

D [3, 2] = 75.21 um.

Size (Lo) um	Volume In %	Size (Hi) um	Volume Below %
0.50	0.00	1.32	0.00
1.32	0.00	1.60	0.00
1.60	0.00	1.95	0.00
1.95	0.00	2.38	0.00
2.38	0.00	2.90	0.00
2.90	0.00	3.53	0.00
3.53	0.00	4.30	0.00
4.30	0.00	5.24	0.00
5.24	0.00	6.39	0.00
6.39	0.00	7.78	0.00
7.78	0.00	9.48	0.00
9.48	0.03	11.55	0.03
11.55	0.12	14.08	0.16
14.08	0.34	17.15	0.50
17.15	0.74	20.90	1.24
20.90	1.41	25.46	2.64

Size (Lo) um	Volume In %	Size (Hi) um	Volume Below %
25.46	2.40	31.01	5.04
31.01	3.76	37.79	8.80
37.79	5.48	46.03	14.28
46.03	7.42	56.09	21.70
56.09	9.31	68.33	31.01
68.33	10.87	83.26	41.89
83.26	11.93	101.44	53.82
101.44	12.20	123.59	66.02
123.59	11.12	150.57	77.14
150.57	8.87	183.44	86.01
183.44	5.85	223.51	91.86
223.51	3.11	272.31	94.97
272.31	1.39	331.77	96.36
331.77	0.87	404.21	97.23
404.21	1.14	492.47	98.37
492.47	1.63	600.00	100.00

Ek-5. Al₂O₃ tozlarına ait boyut dağılım sonucu

Run No. 18		
Presentation: 2OHD		Volume Result
Polydisperse model		
Sample: AL203 , 4	Source: Analysed	
Focus = 300 mm.	Beam Length = 2.4 mm.	Obscuration = 20.7 %

--

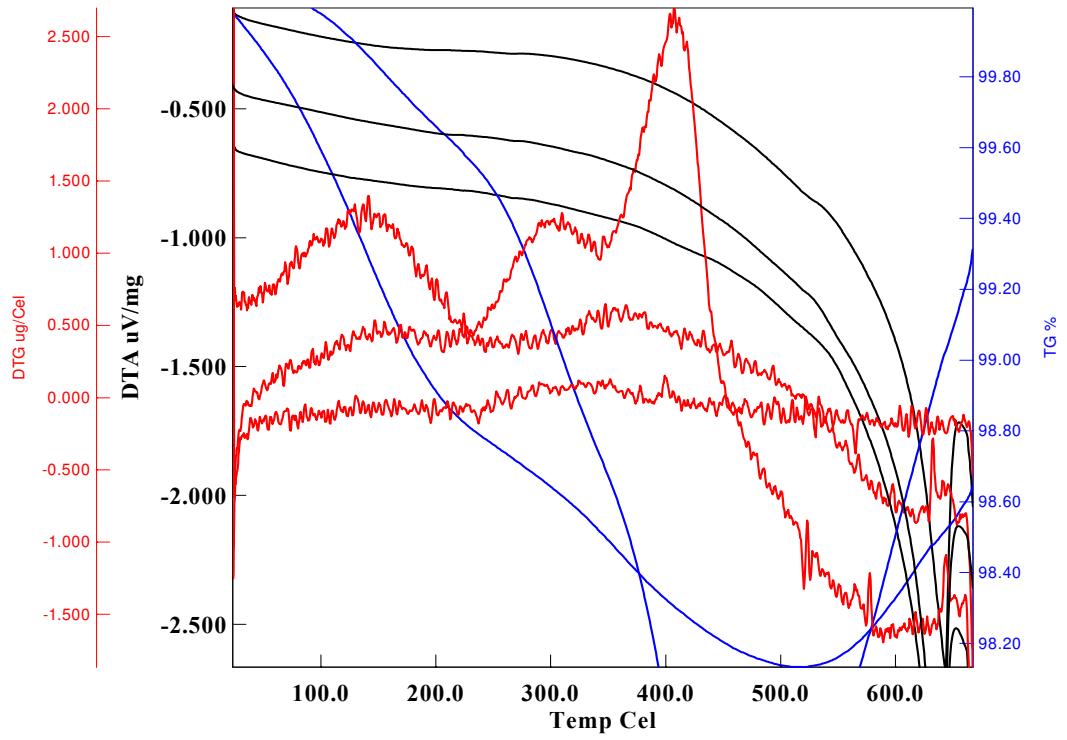
Measured on: 9 Jun 2012 Sat 05:19	Sampler: MSE
Analysed on: 9 Jun 2012 Sat 05:19	
Last Saved: 9 Jun 2012 Sat 05:19	
Configuration file: SIZER	
Sample Path: A:\	

Residual = 0.668 %	Concentration = 0.182 %
Uniformity = 0.384	Span = 1.027
Specific S.A. = 0.1039 sq. m. /gm.	
d (v, 0.5) = 93.11 um	Mode = 97.48 um
d (v, 0.1) = 52.36 um	d (v, 0.9) = 147.96 um
	D [4, 3] = 102.88 um
	D [3, 2] = 57.75 um.

Size (Lo) um	Volume In %	Size (Hi) um	Volume Below %
0.50	0.09	1.32	0.09
1.32	0.33	1.60	0.43
1.60	0.00	1.95	0.43
1.95	0.00	2.38	0.43
2.38	0.00	2.90	0.43
2.90	0.25	3.53	0.68
3.53	0.15	4.30	0.83
4.30	0.09	5.24	0.92
5.24	0.06	6.39	0.98
6.39	0.06	7.78	1.04
7.78	0.10	9.48	1.14
9.48	0.18	11.55	1.31
11.55	0.28	14.08	1.59
14.08	0.39	17.15	1.98
17.15	0.42	20.90	2.40
20.90	0.20	25.46	2.60

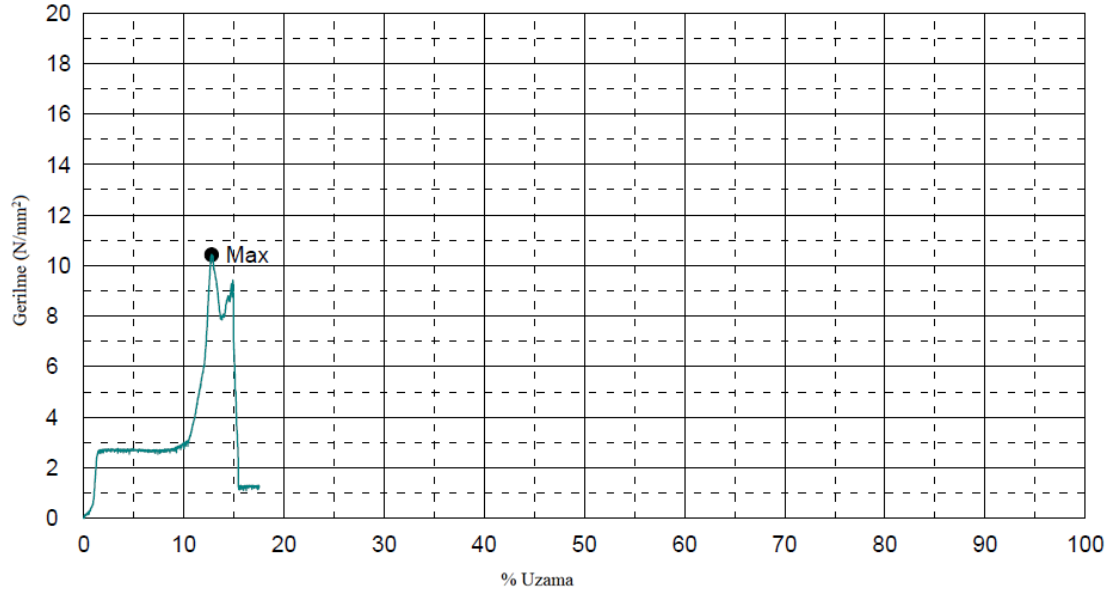
Size (Lo) um	Volume In %	Size (Hi) um	Volume Below %
25.46	0.24	31.01	2.84
31.01	1.00	37.79	3.83
37.79	2.75	46.03	6.58
46.03	5.65	56.09	12.23
56.09	10.22	68.33	22.45
68.33	16.20	83.26	38.65
83.26	20.45	101.44	59.09
101.44	19.13	123.59	78.22
123.59	12.64	150.57	90.85
150.57	5.91	183.44	96.77
183.44	1.40	223.51	98.17
223.51	0.00	272.31	98.17
272.31	0.00	331.77	98.17
331.77	0.00	404.21	98.17
404.21	0.43	492.47	98.60
492.47	1.40	600.00	100.00

Ek-6. Farklı işlemler görmüş toz numunelerin sıcaklık ile % ağırlık kayıpları ve faz geçişlerini gösteren grafik



Şekil 6.1. TG/DTA grafiği

Ek-7. Çekme test sonucu



Şekil 7.1. %1 Al₂O₃, 8 saat MA işlemi yapılmış ve 1 saat sinterlenmiş numune

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : YILMAZ, Taha Alper
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 02.06.1987, ANKARA
Medeni hali : Bekar
Telefon : 0 (532) 395 79 34
E-mail : tahaalperyilmaz@gazi.edu.tr

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Gazi Üniversitesi/Metal Eğitimi	2013
Lisans	Gazi Üniversitesi/Döküm Öğretmenliği	2010
Lise	Ankara Fatih Sultan Mehmet Lisesi	2004

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2011-2013	Gazi Üniversitesi/Atatürk MYO	Öğretim Görevlisi

Yabancı Dil

İngilizce