

**TOZ METALURJİSİ YÖNTEMİYLE Al_2O_3 , SiC ve B_4C TAKVİYELİ
Al MATRİSLİ KOMPOZİT ÜRETİMİNDE MEKANİK
ALAŞIMLAMA SÜRESİNİN KOMPOZİT ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

Hasan KARABULUT

**DOKTORA TEZİ
METAL EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**OCAK 2011
ANKARA**

Hasan KARABULUT tarafından hazırlanan “TOZ METALURJİSİ YÖNTEMİYLE Al_2O_3 , SiC ve B_4C TAKVİYELİ Al MATRİSLİ KOMPOZİT ÜRETİMİNDE MEKANİK ALAŞIMLAMA SÜRESİNİN KOMPOZİT ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ” adlı bu tezin Doktora tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Ramazan ÇITAK

Tez Danışmanı, Metal Eğitimi Anabilim Dalı

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

Prof.Dr. Mehmet TÜRKER

Metal Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Prof.Dr. Ramazan ÇITAK

Metal Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Prof.Dr. Adem KURT

Metal Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Prof.Dr. Süleyman GÜNDÜZ

Metal Eğitimi Anabilim Dalı, Karabük Üniversitesi

Doç.Dr. Reçep ÇALIN

Müh.Fak. Mal.ve Met. Müh. Böl., Kırıkkale Üniversitesi

Tarih:28/01/2011

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

Prof. Dr. Bilal TOKLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

.....

TEZ BİLDİRİMİ

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.

Hasan KARABULUT

**TOZ METALURJİSİ YÖNTEMİYLE Al_2O_3 , SiC ve B_4C , TAKVİYELİ
Al MATRİSLİ KOMPOZİT ÜRETİMİNDE MEKANİK ALAŞIMLAMA
SÜRESİNİN KOMPOZİT ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

(Doktora Tezi)

Hasan KARABULUT

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Ocak 2011

ÖZET

Kompozit malzemeler ağırlık, dayanım, korozyon ve aşınma direnci gibi pek çok özellikleri bakımından büyük avantaj sağlayan malzemelerdir. Metal matrisli kompozitler (MMK) kompozit malzemelerin bir grubudur. MMK' ler farklı yöntemlerle üretilmektedir. Bunlardan birisi de toz metalurjisi ve mekanik alaşımlama yöntemidir. Bu çalışmada, karıştırma ve mekanik alaşımlama yöntemiyle kompozit malzeme üretildi ve özellikleri incelendi. Matris malzemesi olarak alüminyum, takviye elemanı olarak ise ağırlıkça % 10 oranında ayrı ayrı alümina, borkarbür ve silisyumkarbür parçacıkları harmanlanarak, turbula cihazında bir saat karıştırma ve farklı sürelerde mekanik alaşımlama işlemleri uygulandı. Sinterleme işleminden önce tozların boyutları belirlendi ve tozlar üzerinde XRD, SEM ve EDS analizleri uygulandı. Karakterize edilen tozlar 700 MPa basınç altında tek yönlü preslenerek blok haline getirildi. Blok numuneler 600 °C sıcaklıkta akan argon atmosferinde bir saat süreyle sinterlendi. Üretilen kompozitlerin mikroyapıları optik ve elektron mikroskobu ile incelendi. Sertlikleri, çapraz kırılma dayanımları ve farklı yükler altında aşınma dirençleri belirlendi. Kırık yüzeyler ve aşınma yüzeyleri mikroskop ile incelendi. Mekanik alaşımlama süresi arttıkça toz boyutunda düşme görülürken, herhangi bir reaktif alaşımlamanın oluşmadığı tespit edildi. Mekanik alaşımlama süresine bağlı olarak kompozitin sertliğinde bir artış,

aşınma direncinde önce bir artış, uzun süreler de ise azalma tespit edildi. Alümina takviyeli kompozitler en yüksek çapraz kırılma dayanımı gösterirken, borkarbür takviyeli kompozitlerin en yüksek aşınma direncine sahip olduğu belirlendi.

Bilim Kodu : 710.3.022
Anahtar Kelimeler : Kompozit, Mekanik Alaşımlama, Al_2O_3 , B_4C , SiC
Sayfa Adedi : 119
Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Ramazan ÇITAK

**EFFECT OF MECHANICAL ALLOYING DURATION ON COMPOSITE
PROPERTIES IN PRODUCTION OF Al_2O_3 , SiC AND B_4C PARTICULATE
REINFORCED COMPOSITE BY POWDER METALLURGY METHOD**

(Ph.D. Thesis)

Hasan KARABULUT

GAZİ UNIVERSITY

INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

January 2011

ABSTRACT

Composite materials have advantages in terms of weight, strength, corrosion and wear resistance. Metal matrix composites are one of the composite material types which can be produced with different methods. Powder metallurgy and mechanical alloying is one of these methods. In this study, composite materials produced with mixing and mechanical alloying of the powders and properties were investigated. Al particles were used as matrix material and 10% Al_2O_3 , B_4C and SiC particles in weight were used as reinforcement materials. Matrix and reinforcement powders were mixed in a three dimensional turbula for one hour and mechanically alloyed for various durations. Before sintering process, size of the powder was determined by using XRD, SEM and EDS analysis. Characterized powders were pressed under 700 MPa pressure in one direction. Blank samples were sintered at 600 °C in flowing Ar for one hour. Microstructure of the composites has been investigated by optical and electron microscopes. Hardness, transverse rupture strength (TRS) and wear resistances of composites have been determined. Fracture surfaces were investigated with SEM. It was determined that powder size was decreased with increasing MA duration and no reaction alloying was determined. It has also been determined that the hardness increased with increasing MA durations. Wear resistances have

been increased in the early stage of MA and then decreased for longer durations. It was determined that Al_2O_3 reinforced composites showed highest resistance to TRS whereas, B_4C reinforced composites showed the highest wear resistance.

Science Code : 710.3.022
Key Words : Composite, mechanical alloying, Al_2O_3 , B_4C , SiC
Page Number : 119
Adviser : Prof. Dr. Ramazan ÇITAK

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca katkılarıyla beni yönlendiren ve sabrını hiçbir zaman eksik etmeyen değerli hocam Prof. Dr. Ramazan ÇITAK’a, Tez İzleme Komitesi Üyesi hocalarım Prof. Dr. Adem KURT ve Prof. Dr. Süleyman GÜNDÜZ’e, yine kıymetli tecrübelerinden faydalandığım hocam Doç. Dr. Ferhat GÜL’e, Yrd. Doç. Dr. Hasan HASIRCI’ya, Yrd. Doç Dr. Ahmet GÜRAL’e, Yrd. Doç Dr. Haluk KORALAY’a ve Dr. Volkan KILIÇLI’ya, çalışmalarım sırasında yardımlarını gördüğüm, Ahmet AYATA, Sinan AKSÖZ, Hakan GÖKMEŞE ve Alper ATAÇ’a, Gazi Üniv. Mühendislik Fakültesi laboratuvarlarında çalışmama imkân sağlayan hocalarım Prof.Dr. Metin GÜRÜ, Doç.Dr. İbrahim USLAN ve öğrencisi Oğuz ERDEM’e çok teşekkür ederim.

Çalışmalarımın her aşamasında faydalandığım ve özellikle toz metalurjisi konusunda bir başucu kaynağı olan “Toz Metalurjisi ve Parçacıklı Malzeme İşlemleri” adlı eseri ülkemize kazandırdığı için Sayın hocam Prof. Dr. Mehmet TÜRKER’e ve yazar arkadaşlarına çok teşekkür ederim.

Ayrıca doktora çalışmalarım boyunca yardım ve desteklerini esirgemeyen benim için yerleri ayrı olan Öğr. Görv. Hanifi ÇİNİCİ, Yrd. Doç. Dr. Ulaş MATİK, Halil KARAKOÇ, Yasin PELİT ve Ersin BAHÇECİ’ ye teşekkürü bir borç bilirim.

Burada ismini yazamadığım tüm dostlarıma ve mesai arkadaşlarıma, son olarak beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan sevgili eşim Fatma ve kızım Aslınur’ a gösterdikleri manevi destek, sabır ve anlayıştan dolayı çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	xii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xiii
RESİMLERİN LİSTESİ	xv
KISALTMALAR	xvii
1. GİRİŞ	1
2. BU ÇALIŞMANIN AMACI VE LİTERATÜR ÖZETİ	5
3. TOZ METALURJİSİ	10
3.1. Toz Üretim Yöntemleri	11
3.2. Tozların Sıkıştırılması ve Preslenmesi	11
3.2.1. Tek yönlü sıkıştırma	13
3.2.2. Çift yönlü sıkıştırma	14
3.2.3. Soğuk izostatik sıkıştırma	14
3.2. Sinterleme	15
3.2.1. Bağlayıcı veya yağlayıcı yakma	18
3.3. Toz ve Toz Metal Parçacık Karakterizasyonu	18
3.3.1. Toz numunesi alma	18
3.3.2. Parçacık boyut ölçümü	19
4. MEKANİK ALAŞIMLAMA	22
4.1. Mekanik Alaşımlamada Kullanılan Öğütücüler	24
4.1.1. Atritör tipi dikey öğütücüler	24
4.1.2. Spex tipi (titreşimli öğütücüler)	25
4.1.3. Planetary öğütücü	26
4.2. Mekanik Alaşımlamanın Etkin Parametreleri	26
4.3. Öğütme Kazanları	27
4.4. Öğütme Hızı	27
4.5. Öğütme Zamanı	27

	Sayfa
4.6. Öğütme Bilyeleri	28
4.7. Bilye/Toz Oranı	28
4.8. Kazan Doluluk Oranı.....	29
4.9. Öğütme Atmosferi.....	29
4.10. Öğütme Sıcaklığı.....	29
4.11. İşlem Kontrol Kimyasalları	30
5. KOMPOZİT MALZEMELER.....	31
5.1. Kompozitlerin Sınıflandırılması.....	32
5.1.1. Takviye elemanının şekline göre kompozitler	33
5.1.2. Matris malzemesine göre kompozitler	33
5.1.3. Metal matrisli kompozitler	34
5.1.4. MMK’ larda matris malzemeleri ve özellikleri.....	35
5.1.5. MMK’larda takviye elemanları ve özellikleri.....	36
6. Kompozit malzemelerde parça karakterizasyonu	38
6.1. Mikroyapısal Özellikler.....	38
6.2. Mekaniksel Özellikler	38
6.3. Yüzeysel Özellikler	40
6.3.1. Aşınma direnci	41
7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	51
7.1. Malzeme ve Metod.....	52
7.2. Turbulada Karıştırma	52
7.3. Mekanik Alaşımın	52
7.4. Tozların karakterizasyonu	53
7.5. Tozların preslenmesi	54
7.6. Blok numunelerin sinterlenmesi.....	54
7.7. Yoğunluk ve Gözenek Oranının İncelenmesi	55
7.8. Mikroyapı İncelemeleri	56
7.9. Sertlik ölçümleri	56
7.10. Çapraz Kırılma Deneyi.....	56
7.11. Aşınma Deneyi	57

	Sayfa
8. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	58
8.1. Toz Karakterizasyonu.....	58
8.1.1. Başlangıç tozlarının karakterizasyonu	58
8.1.2. TK ve MA sonrası toz karakterizasyonu.....	60
8.1.3. MA numunelerin EDS incelemeleri	67
8.2. XRD İncelemeleri.....	74
8.3. Yoğunluk ve Gözeneklilik.....	78
8.3.1. Saf alüminyumun yoğunluk ve gözenek değerleri	78
8.3.2. Kompozit numunelerin yoğunluk ve gözenek değerleri	78
8.4. Mikro Yapı İncelemeleri	81
8.5. Sertlik İncelemeleri	93
8.6. Çapraz Kırılma Dayanımı Sonuçları	94
8.7. Aşınma Deney Sonuçları.....	100
9. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	108
KAYNAKLAR	111
ÖZGEÇMİŞ	118

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5.1. Saf alüminyumun temel özellikleri.....	37
Çizelge 7.1. Deneylerde kullanılan tozlara ait üretim özellikleri.....	54
Çizelge 8.1. Başlangıç toz boyut analiz sonuçları.....	60
Çizelge 8.2. Kompozit blok numuneler için sinterleme sonrası yoğunluk değerleri	79
Çizelge 8.3. Al+%10 Al ₂ O ₃ blok numuneler için yoğunluk ve gözeneklilik değerleri.....	81
Çizelge 8.4. Al+%10 B ₄ C blok numuneler için yoğunluk ve gözeneklilik değerleri.....	81
Çizelge 8.5. Al+%10 SiC blok numuneler için yoğunluk ve gözeneklilik değerleri.....	82
Çizelge 8.6. Saf Al, TK ve MA sürelerine göre sertlik sonuçları.....	94
Çizelge 8.7. Çapraz kırılma deney sonuçları	96
Çizelge 8.8. Saf alüminyumun ağırlık kaybı miktarları.....	101

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Tek yönlü sıkıştırmada yoğunluk dağılımı ve çift yönlü kalıbın şematik gösterimi.....	14
Şekil 3.2. Çift yönlü sıkıştırmada yoğunluk dağılımı ve çift yönlü kalıbın şematik gösterimi	15
Şekil 3.3. Çift yönlü sıkıştırmada yoğunluk dağılımı ve çift yönlü kalıbın şematik gösterimi	16
Şekil 3.4. İki küresel parçanın sinterleme profili.....	16
Şekil 3.5. Sinterleme esnasında oluşan gözenek yapısındaki değişim	18
Şekil 3.6. Sinterlemenin son aşamasında oluşan gözenek izolasyonu.....	18
Şekil 4.1. MA esnasında bilye-toz-bilye çarpışması.....	24
Şekil 4.2. Öğütme süresine bağlı Ni-Ta sistemindeki tane boyutu değişimi.....	25
Şekil 4.3. Planeter tipi bilyeli öğütücü.....	27
Şekil 5.1. Kompozit malzemelerde matris-takviye elemanı bağı oluşumunda ara yüzey ve ara fazlar.....	33
Şekil 5.2. Kompozitlerin takviye elemanına göre sınıflandırılması.....	34
Şekil 5.3. Takviye elemanının türüne göre kompozitlerin yapılarının şematik gösterimi	35
Şekil 6.1. Çapraz kırılma düzeneği kesit görünüşü.....	41
Şekil 6.2. Bir tribolojik sistemin DIN 50320 normuna göre şematik gösterimi.....	43
Şekil 6.3. Abrasif aşınma mekanizmaları.....	45
Şekil 6.4. Adhesif aşınma prensibi.....	48
Şekil 6.5. Adhesif aşınmada oluşan kaynak bağı.....	48
Şekil 6.6. Adhesif aşınmada metal transferi.....	49
Şekil 6.7. Yorulma aşınmasının şematik gösterimi.....	50

Şekil	Sayfa
Şekil 6.8. Tribo-oksidasyon aşınmasının şematik gösterimi.....	51
Şekil 7.1. Deneysel işlemlere ait akış şeması.....	52
Şekil 7.2. Aşınma ve çapraz kırılma deney numuneleri.....	55
Şekil 7.3. Sinterleme sürecinin şematik gösterimi.....	56
Şekil 8.1. TCK ve MA süresine göre toz boyut analiz sonuçları.....	61
Şekil 8.2. 10 saat MA yapılmış tozların tane boyutu analizi diyagramları.....	63
Şekil 8.3. Al +%10 Al ₂ O ₃ tozların MA sürelerine göre XRD analizleri.....	76
Şekil 8.4. Al +%10 B ₄ C tozların MA sürelerine göre XRD analizleri.....	77
Şekil 8.5. Al +%10 SiC tozların MA sürelerine göre XRD analizleri.....	78
Şekil 8.6. Kompozitlerin 10 N yük altında ağırlık kaybı miktarları (mg).....	102
Şekil 8.7. Kompozitlerin 20 N yük altında ağırlık kaybı miktarları (mg).....	102
Şekil 8.8. Kompozitlerin 30 N yük altında ağırlık kaybı miktarları (mg).....	103

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 4.1. Atritör tipi bilyeli öğütücü.....	26
Resim 4.2. Spex tipi bilyeli öğütücü.....	26
Resim 7.1. Mekanik Alaşımlama Cihazı.....	53
Resim 7.2. Aşınma deney düzeneği.....	58
Resim 8.1. Alüminyum tozunun SEM görüntüsü.....	59
Resim 8.2. Al_2O_3 tozunun SEM görüntüsü.....	59
Resim 8.3. B_4C tozunun SEM görüntüsü.....	60
Resim 8.4. SiC tozunun SEM görüntüsü.....	60
Resim 8.5. $Al + \%10 Al_2O_3$ MA yapılmış tozlara ait SEM görüntüleri.....	65
Resim 8.6. $Al + \%10 B_4C$ MA yapılmış tozlara ait SEM görüntüleri.....	66
Resim 8.7. $Al + \%10 SiC$ MA yapılmış tozlara ait SEM görüntüleri.....	67
Resim 8.8. 2 saat MA yapılmış $Al-Al_2O_3$ toz EDS resimleri.....	69
Resim 8.9. 10 saat MA yapılmış $Al-Al_2O_3$ toz EDS resimleri.....	70
Resim 8.10. 2 saat MA yapılmış $Al-B_4C$ toz EDS resimleri.....	71
Resim 8.11. 10 saat MA yapılmış $Al-B_4C$ toz EDS resimleri.....	72
Resim 8.12. 2 saat MA yapılmış $Al-SiC$ toz EDS resimleri.....	73
Resim 8.13. 10 saat MA yapılmış $Al-SiC$ toz EDS resimleri.....	74
Resim 8.14. $Al + \%10Al_2O_3$ kompozitlere ait mikroyapı fotoğrafları.....	83
Resim 8.15. 10 saat MA yapılmış $Al-Al_2O_3$ kompozit numuneler için SEM ve EDS resimleri.....	84

Resim	Sayfa
Resim 8.16. Al + %10B ₄ C kompozitlere ait mikroyapı fotoğrafları.....	87
Resim 8.17. 10 saat MA yapılmış Al+B ₄ C kompozit numuneler için SEM ve EDS resimleri.....	88
Resim 8.18. Al + %10SiC kompozitlere ait mikroyapı fotoğrafları.....	90
Resim 8.19. 10 saat MA yapılmış Al+SiC kompozit numuneler için SEM ve EDS resimleri.....	91
Resim 8.20. Çapraz kırılma deneyi uygulanmış Saf Al kompozit.....	95
Resim 8.21. Al + %10 Al ₂ O ₃ kompozite ait kırık yüzey SEM resimleri.....	98
Resim 8.22. Al + %10 B ₄ C kompozite ait kırık yüzey SEM resimleri.....	99
Resim 8.23. Al + %10 SiC kompozite ait kırık yüzey SEM resimleri.....	100
Resim 8.24. Saf alüminyuma 30 N yük altında uygulanan aşınmış numune SEM resmi.....	102
Resim 8.25. TCK yapılmış kompozit numunelerin 30 N yük altında aşınma yüzey SEM resimleri (a) Al+Al ₂ O ₃ , (b) Al+B ₄ C, (c) Al+SiC.....	106
Resim 8.26. 6 saat MA yapılmış kompozit numunelerin 30 N yük altında aşınma yüzey SEM resimleri (a) Al+Al ₂ O ₃ , (b) Al+B ₄ C, (c) Al+SiC...	107
Resim 8.27. 10 saat MA yapılmış kompozit numunelerin 30 N yük altında aşınma yüzey SEM resimleri (a) Al+Al ₂ O ₃ , (b) Al+B ₄ C, (c) Al+SiC..	108

KISALTMALAR

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

Kısaltmalar	Açıklama
MMK	Metal Matrisli Kompozit
AMMK	Alüminyum Metal Matrisli Kompozit
TM	Toz Metalurjisi
MA	Mekanik alaşımlama
TK	Turbula cihazında 1 saat bilyesiz karıştırma
YMK	Yüzey merkezli kübik
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
XRD	X-ışını kırınım analizi
ÇKD	Çapraz kırılma dayanımı

1. GİRİŞ

Gelişen teknoloji ile beraber ihtiyaç duyulan malzeme çeşitliliği de sürekli artmaktadır. İnsan ihtiyaçlarını karşılayacak daha ekonomik ve istenilen özelliklerde malzemeleri üretmek için araştırmacılar yeni arayış ve çalışmalar yapmaktadır. Özellikle metalurji ve malzeme alanında, insan ihtiyaçlarının yanında tüm mühendislik dallarının da ihtiyaçlarına cevap verecek yeni malzeme geliştirme çalışmaları günümüzde önem kazanmıştır.

Yeni malzeme geliştirme çalışmaları sürekli devam etmekte olup, kompozit malzemeler için yapılan çalışmalarda çok hızlı bir şekilde ilerlemektedir. Kompozit malzemeler, kimyasal bileşimi ve özellikleri farklı olan iki veya daha fazla malzemenin makro düzeyde birleştirilmesiyle elde edilen malzemeler olarak tanımlanmaktadır [Kaw, 1997]. Kompoziti oluşturan malzemeler ara yüzeylerle birbirlerinden ayrılır ve yapı içinde kendi özelliklerini korurlar. Ancak kompozit malzemenin özellikleri, kendisini oluşturan malzemelerin özelliklerinden üstündür [Hull ve Clyne, 1996].

Alüminyum ve alaşımları ısı ve elektrik iletimlerinin yüksek olması, aynı zamanda yoğunluklarının da düşük olması sebebiyle imalat endüstrisinde tercih edilmektedir. Bunun yanında aşınma dayanımlarının düşük olması uygulama alanlarını kısıtlamaktadır [Riahi ve Alpas, 2001]. Alüminyum ve alaşımlarının dayanımlarını artırmak ve diğer özelliklerini de iyileştirmek için sert takviye elemanlarıyla (fiber, whisker, parçacık gibi) alüminyum matrisli kompozitler üretilmektedir [Jun ve ark., 2004].

Kompozit malzeme üretiminin amacı iki veya daha fazla malzemenin en iyi özelliklerini tek bir malzemedeki birleştirilerek daha üstün özellikli malzemeler üretmektir. Özellikle alüminyum metal matrisli kompozitlerde yumuşak matris içerisine ilave edilen seramik takviye elemanlarıyla yüksek mukavemet, yüksek aşınma dayanımı, iyi tokluk özellikleri, aşınma ve korozyon dayanımı gibi geliştirilmiş özellikler elde edilir. Malzemelerin mekanik, fiziksel ve kimyasal

özellikleri malzeme seçiminde en önemli etkenlerdendir. En uygun özellikleri elde etmek için uygun matris ve takviye elemanı seçilmelidir. Matris ve takviye elemanları arasındaki ara yüzey bağı ile yükün takviye elemanına iletimi sağlanır. Bu sebeple matris ile takviye elemanı arasındaki ara yüzey bağının güçlü olması istenir. [Şahin, 2000].

Metal matrisli kompozitlerde matris malzemesi takviye elemanlarını bir arada tutarken, takviye elemanları ise yükü taşımaktadır. Yükün takviye elemanlarına aktarılması ve dağıtılması için güçlü bir ara yüzeyin oluşması önemlidir. Sıvı faz işlemlerinde iyi bir ıslatmaya ihtiyaç vardır. Islatma sıvı matrisin katı taneler üzerine yayılması ile oluşan temas açısı ile ilgili bir terimdir. Islatma genel olarak katının sıvı içerisinde çözünmesiyle oluşur. TiC-Ni ve WC-CO gibi sermetler, Cu-Sn gibi metaller ve çeşitli seramik-cam bileşimlerinde uygun ıslatma özelliklerinin olduğu belirtilmiştir [Sarıtaş ve ark., 2007]. Ancak sıvı alüminyum ve alaşımlarının seramik malzemelerini ıslatmaları kötüdür. Bu sebeple alüminyum ve alaşımlarının seramik malzemelerle kompozit üretiminde bir katı hal işlem tekniği olan mekanik alaşımlama (MA) yöntemi tercih edilmektedir.

MA tekniği John Benjamin ve arkadaşları tarafından 1966 yılında geliştirilmiştir. MA, yüksek enerjili bir değirmen içerisine katılan toz ve parçacıkların karıştırılması ile kaynaklanması, parçalanması ve yeniden kaynaklanmasını içeren bir katı hal işlem tekniğidir. MA işlemi üç ayrı aşamada ele alınabilir: Birinci aşamada, öğütme sürecinde oluşan çarpışma (bilye-cidar, bilye-bilye, ve karıştırıcılar-cidar) esnasında arada kalan tozlara darbe enerjisi yüklenir. Bu darbe enerjisi nedeniyle, kırılma sonucu tozlarda oluşan yeni parçalar birbirleriyle kaynaklanır. Böylece, tozların parçacık boyutu alaşımlamanın ilk aşamasında büyür. Bu aşamada parçacık boyutu büyüyerek başlangıçtaki parçacık boyutunun 3 katına kadar çıkabilir [Suryanarayana ve ark., 2001]. İkinci aşamada, MA süresinin ve deformasyonun artmasıyla tozlardaki deformasyon pekleşmesi ve sertlik artar. Bu aşamada toz parçacıklarında kırılma başlar. [Türker ve ark., 1999]. Üçüncü aşamada her bir toz parçacığı içerisinde bulunan alaşım tabakalar arasındaki boşluklar azalırken, aynı zamanda bu alaşım tabakalarının sayısı artar. Parçacık içindeki katmanlar arası mesafe azalırken,

katman sayısı da artar. Belli bir süre öğütmenin ardından kararlı hal dengesine ulaşılır. MA'da süre, toz parçacıklarının kararlı hal dengesine ulaşmasında en önemli parametrelerden biridir. Süre, toz parçacıkları arasındaki kırılma ve soğuk kaynaklanma kararlı hale gelecek şekilde seçilmelidir [Suryanarayana, 1995]. Özellikle reaktif elementlerin bulunduğu titanyum ve zirkonyum gibi tozlar gereğinden fazla öğütülürse, kirlenmeleri ve istenmeyen fazların oluşması kaçınılmaz olur [Schaffer ve McCormick, 1990]. Bu nedenle tozlarda öğütülmesi gerekli olan sürenin üzerine çıkılmamalıdır. Toz parçacıklarının kararlı hale gelmesi için, yüksek enerjiyle kısa süreli veya düşük enerjiyle uzun süreli öğütme yapmak genel bir kural olarak kabul edilir. Yani, düşük bilye-toz oranında kısa süre, yüksek bilye-toz oranında daha uzun süre seçilmelidir. MA için gerekli süre öğütme hızına, öğütücü tipine, öğütme yoğunluğuna, öğütme sıcaklığına ve bilye-toz ağırlık oranına bağlı olarak değişiklik göstermektedir [Bostan, 2003].

MA işleminin ardından üretilen tozlar farklı metotlar (sıcak presleme, tek yönlü ya da çift yönlü presleme gibi) kullanılarak şekillendirilmektedir. Presleme sonrasında gözeneklerin azaltılması, taneler arası bağların oluşturulması, yoğunluğun artırılması vb. özelliklerin geliştirilmesi amacıyla sinterleme işlemi yapılır. Sinterleme işlemi malzemelerin özelliklerine göre normal, vakum ya da koruyucu gaz atmosferinde yapılır.

Aşınma, fiziksel ya da kimyasal bir yöntemle yüzeyden malzemenin uzaklaştırılmasıdır [Sawla ve Das, 2004]. MMK malzemelerin aşınmaya karşı dirençleri matris ve takviye elemanının özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Aşınma miktarını, takviye elemanının dağılımı, boyutu ve miktarı, matrisin kimyasal bileşimi, kompozitin sertliği, uygulanan yük ve kayma hızı gibi etkenler değiştirmektedir [Candan ve ark., (2001); Mondal ve ark., (1998); Acılar ve ark., (2004)].

Matris malzemesi olarak alüminyum alaşımlarının kullanıldığı kompozitlerde genellikle SiC ve Al₂O₃ parçacıkları kullanılmakta olup, B₄C ile ilgili çalışmaların daha az olduğu görülmektedir. Bunun sebebi olarak SiC ve Al₂O₃ tozlarına göre B₄C

tozlarının maliyetinin biraz daha yüksek olması gösterilebilir [Orhan ve ark., 2007]. Ülkemiz, bor cevheri rezervi bakımından dünya ülkeleri arasında ilk sıralarda yer almaktadır. Bu sebeple bor ve bor ürünlerinin üretilmesi ve kullanım alanlarının yaygınlaştırılması milli gelirimize katkısı açısından da çok önemlidir. Bu çalışmada yaygın kullanım alanına ve birçok üstün özelliklere sahip olmaları sebebiyle Al_2O_3 , B_4C ve SiC parçacıkları tercih edilmiştir. Ağırlıkça %10 oranında parçacık takviyesi içeren Al matrisli kompozitler, turbula cihazında bilyesiz olarak 1 saat karıştırma (TK) ve mekanik alaşımlama yöntemiyle üretilmiştir. Takviye elemanının cinsinin, TK ve MA süresinin kompozitin mekanik özelliklerine ve mikro yapısı üzerine etkileri araştırılarak kıyaslamalar yapılmıştır.

2. BU ÇALIŞMANIN AMACI VE LİTERATÜR ÖZETİ

Bu çalışmada, Al matrisli, ayrı ayrı ağırlıkça %10 Al_2O_3 , B_4C ve SiC parçacık takviyeli, TK ve MA yöntemi ile üretilen kompozitlerde takviye elemanının ve MA süresinin kompozit özelliklerine etkisi araştırılmış ve kıyaslanmıştır.

Literatür araştırmasında yapılan bazı çalışmalara ait özet bilgiler aşağıda verilmiştir.

Stephens ve arkadaşları, Al-Si kompozitlerde kırılma toklukları üzerinde parçacık tipinin ve büyüklüğünün etkisini araştırmışlardır. Aynı takviye hacim oranlarında en büyük parçacıklı kompozitlerin en yüksek kırılma tokluğu göstermeye eğilimli olduğunu ve parçacıklar arasındaki mesafenin artmasıyla kırılma tokluğunun arttığını tespit etmişlerdir [Stephens ve ark., 1988].

Lu ve arkadaşları, Al matris içerisine ağırlıkça % 4.5 Cu ve hacimce %10 SiCp ilave ederek mekanik alaşımlama tekniği ile kompozit üretmişlerdir. MA yapılmış tozların yapısal dönüşümleri XRD analizi ile ısı davranışları ise DSC analizi ile incelenmiştir. Sonuçlar MA süresinin artmasıyla % 0,2 akma ve maksimum çekme gerilmesinin arttığını göstermektedir. Bu artışın SiC parçacıkların oksitlerden ve küçülmüş tane boyutlu parçacıklardan arındırılması ve homojen dağılımı ile ilişkili olduğunu tespit etmişlerdir [Lu ve ark., 1998].

Türker ve arkadaşları, Al matrisli SiC takviyeli kompozitleri 0,5; 1; 2,5; 5 ve 10 saat sürelerde MA yöntemiyle 1300 dev/dak' da üretmişlerdir. Bu işlem ile daha küçük taneli, ince parçacık dağılımlı ve dayanımı daha yüksek kompozit malzemeler üretmişlerdir. MA zamanı arttıkça toz boyutunda küçülme ve sertlikte artış tespit etmişlerdir. Küçük tane yapısıyla sıcaklık, korozyon, tokluk ve yorulma dayanımında iyileşmeler tespit etmişlerdir [Türker ve ark., 1999].

Suryanarayana, yaptığı çalışmalarda MA' nın tanımlanmasından, tarihsel gelişimine, mekanizmasına ve MA'nın nasıl yapılacağına dair geniş çaplı araştırmalar yapmıştır.

Özyürek, metal matrisli titanyum bazlı kompozit malzemeleri MA yöntemiyle üretmiş ve karakterizasyonunu yapmıştır. MMK'leri Szegvari atritör tipi MA değirmeninde TiB_2 , TiO ve ZrO_2 seramik tozlarını 20/1 bilya-toz oranında 10 mm çelik bilye kullanarak 750 dev./dak. öğütme hızında argon atmosferinde üretmiştir. Başlangıçtaki tozlar ve MA yöntemiyle üretilen tozlara toz boyut analizi yapılmış ve karakterize edilmiştir. Bir saatlik MA sonrasında sünger titanyum tozlarının gaz atomize titanyum tozlarına göre deformasyon miktarına bağlı olarak pekleşmeye maruz kaldığını ve düşük sıcaklıklarda yeniden kristalleştiğini tespit etmiştir [Özyürek, 2002].

Bostan, MA yöntemiyle ürettiği saf Al ve C tozlarından MA süresine bağlı olarak toz boyutundaki değişimi ve XRD analizleri ile oluşabilecek Al_4C_3 bileşiğini tespit etmeye çalışmıştır. Yaptığı XRD ve TEM çalışmalarında sinterlenen malzemelerde Al_4C_3 dönüşümünün gerçekleştiğini tespit etmiştir [Bostan, 2003].

Sümer, MA yöntemiyle Fe-Fe₃ tozlarından ürettiği kompozit malzemenin mekanik özelliklerini incelemiştir. 2,5; 3,5 ve 5 saat süre ile %1 karbon karası bulunan saf demir tozlarını MA işlemine tabi tutmuştur. Üretilen blok numunelere çapraz kırılma testi yapmış ve kompozitin mekanik özellikleri belirlemiştir. MA süresinin ve sinterleme sıcaklığının malzemenin mikro yapısı ve çapraz kırılma dayanımı üzerine önemli bir etkiye sahip olduğunu tespit etmiştir [Sümer, 2003].

Arık, Al matris içerisine karbon karası karıştırarak 6/1 bilya toz oranında 30 saat'e kadar MA yöntemiyle kompozitler üretmiştir. MA süresinin artmasıyla başlangıçta tane boyutunda artış, MA süresinin artmasıyla toz tane boyutunda sürekli düşüş tespit etmiş, MA süresinin artmasıyla kompozitin sertliğinde de artış olduğunu ve Al_4C_3 oluşumunu tespit etmiştir [Arık, 2004].

Gu ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada MA süresinin artmasıyla tozların tane boyutunda azalmalar tespit edilmişlerdir. Bu çalışmada MA ile Ti' de Si'un katı çözünürlüğünde önemli bir artış olmadığını tespit etmişlerdir [Gu ve ark., 2004].

Özkök, yaptığı çalışmada döner silindirde karıştırma ve MA yöntemiyle Al matrisli α -Si₃N₄ içeren parçacık takviyeli kompozitler üretmiş ve sinterleme sonrası numunelerin yoğunluk, sertlik ve çapraz kırılma mukavemetlerini ölçerek kompozitin mekanik özelliklerini belirlemiştir. Sonuç olarak, klasik karıştırma yöntemine göre MA ile yapılan karışımın Al matris içerisinde partiküllerin dağılımlarının daha iyi olduğunu, sertliğin ve mukavemetin daha yüksek olduğunu tespit etmiştir [Özkök, 2004].

Arık ve Türker, MA yöntemiyle ürettikleri Fe-Fe₃C kompozitlerin karakteristik özelliklerini incelemişlerdir. MA işlemi 8/1 bilya/toz oranında 10 mm çapında çelik bilyalarla 2,5- 3,5 ve 5 saat süreyle gerçekleştirilmiştir. Yapılan testlerin ardından MA süresinin artmasıyla toz boyutunda ve yoğunlukta azalma, çapraz kırılma dayanımlarında artış olduğu görülmüştür. Presleme basıncının artırılmasıyla da yoğunlukta bir artış olduğunu tespit etmişlerdir [Arık ve Türker, 2005].

Zhao ve arkadaşları, 6061 alüminyum matris içerisine hacimce %8 oranında SiC seramik takviye ilavesiyle MA yöntemiyle kompozit üretmiştir. 5 saatlik MA süresinde matris içerisindeki takviye elemanlarının nispeten daha homojen bir dağılımda olduğunu tespit etmiştir. MA yönteminin sinterleme işlemini de etkileyen toz ve gaz kirliliği gibi bazı dezavantajlarının olduğunu ve bir gaz giderme işleminin sıkıştırılabilirliği ve sinterlemeyi geliştireceğini önermişlerdir [Zhao ve ark., 2005].

Zhu ve arkadaşları, Al-Li tozlarının mekanik alaşımlama yöntemi ile sentezlenmesini yapmışlardır. Bu çalışmada MA sürelerini değiştirmişler ve sürenin artmasıyla kompozitlerin yapısında amorf fazlar tespit edilmişlerdir [Zhu ve ark., 2007].

Wang, yaptığı çalışmada Al –SiO₂ kompozitini argon ve hava atmosferinde üretmiş ve sentezlenmesini yapmıştır. Çalışmanın sonucunda hava atmosferinde başlangıç fazlar mevcutken, argon atmosferinde yapılan MA işleminde amorflaşma tespit etmiştir [Wang, 2007].

Karakaş, sıcak presleme yöntemiyle farklı hacim oranlarında B₄C parçacık takviyeli Al - ağırlık % 4 Cu alaşımlarından oluşan metal anayapılı kompozitler üretmiştir. Yaşlandırma sıcaklığının kompozitlerin sertliğine olan etkisini incelemiş ve matris alaşımı ile kıyaslamıştır. Takviye elemanı ilavesinin yaşlanmayı önemli ölçüde etkileyebileceği görülmüştür. Takviye elemanı ilavesinin eğme mukavemetinde düşüşe sebep olduğu bulunmuştur. Eğme mukavemetinin artan deformasyon hızı ile önce artış gösterdiği, ancak belirli bir değerden sonra azaldığını tespit etmiştir [Karakaş, 2007].

J. Abenojar ve arkadaşları, MA yöntemiyle ürettikleri Al matrisli B₄C takviyeli kompozit için görünür yoğunluk ölçümü yapmış ve SEM ile mikroyapı incelemeleri gerçekleştirmişlerdir. Yapmış oldukları çalışmada optimum presleme basıncını 700 MPa olarak tespit etmiş, en iyi sinterleme sıcaklığını ise yarım saat süreyle 635 °C olarak tespit etmişlerdir [Abenojar ve ark., 2007].

Oiao ve arkadaşları, MA yöntemiyle ürettikleri ve toz olarak alüminyum, karbon, tungsten ve kobalt kullandıkları [W_{0,4} Al_{0,6}] C_{0,65} alaşımın mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Ürettikleri alaşımın farklı sinterleme sıcaklıklarındaki sertlik, yoğunluk ve eğme mukavemet değerlerini araştırmışlardır. Çalışmanın sonucunda ergime sıcaklığı düşük olan alüminyumun % 60 hacim oranında erimesi sebebiyle alaşımın mukavemetini düşürdüğünü tespit etmişlerdir [Oiao ve ark., 2007].

Sasaki ve arkadaşları, MA yöntemiyle ürettikleri alüminyum ve ağırlıkça %10 Fe içeren nano boyuttaki malzemelerin plastik deformasyon özelliklerini incelemişlerdir. Bu çalışmada 1 GPa basınçta 0,3 plastik deformasyonla akma tespit etmişlerdir. Ayrıca kaba taneli α -Al ve nano boyuttaki demir alaşımlarının temas bölgelerinde nano kristal fazlar oluştuğunu tespit etmişlerdir [Sasaki ve ark., 2007].

Krasnowski ve Kulik, MA yöntemiyle hazırladıkları % 10 TiC takviyeli, FeAl matrisli nanokompozitleri sıcak presleme metodu ile üretmişlerdir. Ürettikleri tozları 1000 °C sıcaklıkta ve 7,7 GPa basınç altında preslemişlerdir. TiC oranına bağlı

olarak numunelerin mikro sertlik değerlerinde artış tespit etmişler ve sıfır gözeneklilik ile %100 yoğunluk değerine ulaşmışlardır [Krasnowski ve Kulik, 2007].

Aktaş, MA yöntemiyle Al matrisli Al_2O_3 parçacık takviyeli kompozitler üretmiş ve kuru aşınma davranışlarını incelemiştir. Ürettiği kompozitlerde takviye elemanı oranını ağırlıkça %5, 10 ve 15 oranında seçmiştir. MA süresini 1,5 ve 3,5 saat sürelerde gerçekleştirmiştir. Takviye oranının artmasıyla sertlik değerinde bir artış, ağırlık kaybında azalma tespit etmiştir. Parçacık boyutunun artmasıyla yoğunluk artmıştır [Aktaş, 2007].

Özkan, MA yöntemiyle Al matrisli SiC parçacık takviyeli kompozitler üretmiş ve kuru aşınma davranışlarını incelemiştir. MA süresini 1,5 ve 3,5 saat sürelerde gerçekleştirmiştir. Takviye oranının artmasıyla sertlik değerinde bir artış, ağırlık kaybında azalma tespit etmiştir. Parçacık boyutunun artmasıyla yoğunluk artmıştır [Özkan, 2007].

Kılıç, TM yöntemiyle Al matrisli SiC parçacık takviyeli kompozitler üretmiştir. Ürettiği kompozitlerde takviye elemanı oranını ağırlıkça %5, 10 ve 15 oranında seçmiştir. Mikroyapı, sertlik, yoğunluk ve gözenek ölçümleri yapmıştır. Parçacık içeriğine bağlı olarak yoğunluk ve sertliğin arttığını tespit etmiştir. Parçacık boyutu düştükçe aşınma miktarının arttığını ve parçacık oranı arttıkça aşınma miktarının azaldığını tespit etmiştir [Kılıç, 2007].

Kurt, TM yöntemi kullanarak ağırlıkça % 10 oranında Al_2O_3 matrisli kompozit üretmiştir. Tozların hazırlanmasında döner değirmen, turbola cihazı ve MA yöntemi kullanmıştır. Karıştırma sürelerini 4 saat sabit tutmuş, 3 farklı karıştırma tekniğinin malzemenin aşınma özelliklerine etkisini araştırmıştır. Karıştırma tekniklerinin tozların boyut ve şeklinde herhangi bir değişiklik oluşturmadığını ve sinterleme sıcaklığındaki artışın yoğunluk ve aşınma davranışlarında iyileşmelere sebep olduğunu tespit etmiştir [Kurt, 2010].

3. TOZ METALURJİSİ

Birçok kaynakta genel olarak toz metalurjisi, saf metal ve alaşım tozları ile seramik esaslı tozların karıştırılarak preslenmesi, sinterlenmesi ve böylece dayanımlarının arttırılması amacıyla yeni malzeme üretim tekniği şeklinde tanımlanmaktadır [Kılıç, 2007; Robert, 1984; Özkök, 2004; Tomaç ve Tonnessen, 1992]. Kısaca toz metalurjisi tozların bazı işlemlerden geçirilerek yararlı mühendislik malzemelerine dönüştürülmesidir [Saritaş ve ark., 2007] Hemen hemen her malzemeye uygulanabilen toz metalurjisi tekniği ile dökümde olduğu gibi net şekilli parçalar üretilebilir. Hatta döküm yoluyla üretilmeyen yüksek ergime sıcaklığına sahip seramikler, birbiri içerisinde çözünmeyen tozlar, refrakter malzemeler, intermetalikler, sermetler, bakırlı çelikler ve karışık fazlı bileşimler toz metalurjisi yoluyla üretilebilir. Bu teknikle üretilen malzemeler, otomobil parçaları, zırh delici malzemeler, elektrik bağlantı elemanları, nükleer güç santralleri, ortopedi malzemeleri, yüksek sıcaklığa dayanıklı filtreler, uçak parçaları, jet motorları, saat parçaları, yüksek şiddetli ışıklar gibi birçok alanda kullanılmaktadır. TM yöntemi ekonomiklik, üretilebilirlik, homojenlik ve kalite gibi birçok üstün özellikleri sağladığı için tercih edilmektedir. Üretim maliyetinin düşük olması ve performansının yüksek olması sebebiyle birçok farklı alanda kullanılmaktadır [Saritaş ve ark., 2007].

Toz metalurjisi ile üretim genel olarak tozların hazırlanması, preslenmesi, sinterlenmesi ve son işlemlerden oluşan dört aşamada gerçekleştirilir. Toz metalurjisi ile üretimin; döküm, kaynak, talaşlı imalat ve plastik şekil verme gibi yöntemlerle üretilmesi zor veya üretilemez olan çeşitli alaşımların üretilebilmesi, malzeme kaybının oldukça az olması, üretim hızının yüksek olması, karmaşık şekilli hassasiyet gerektiren parçaların üretilebilmesi, üretilen malzemelerde üstün fiziksel ve mekanik özellikler gibi avantajları varken; kalıp maliyetinin yüksek olması, gözenek oluşumundan kaynaklanabilecek düşük mekanik özellikler, homojen bir yoğunluk elde edilebilmek için parça boyutlarının sınırlı olması gibi dezavantajları da vardır [Saritaş ve ark., 2007; Türker ve ark., 1999; Yavuz ve Karadere, 1996; Kurt, 2010].

3.1. Toz Üretim Yöntemleri

Tozların üretiminde kullanılan yöntemler, tozların şeklini, boyutunu, mikro yapısını, maliyetini ve diğer birçok özelliklerini tayin eder. Bu yöntemlerden bazıları aşağıda belirtilmiştir [Sarıtaş ve ark., 2007].

A- Mekanik üretim yöntemleri

1. Talaşlı üretim
2. Öğütme
3. Aşındırma ile öğütme ve Mekanik alaşımlama
4. Darbe yöntemleri

B- Elektrolizle üretim

C- Kimyasal üretim yöntemleri

1. Gazla bozunma
2. Isıl bozunma
3. Sıvıdan çökeltme
4. Gazdan çökeltme
5. Katı-katı tepkimeli sentez

D- Atomizasyon yöntemleri

1. Gaz atomizasyonu
2. Sıvı atomizasyonu
3. Savurmalı atomizasyon
4. Plazma tekniği

E- Buharlaştırma yöntemi

F- Özel üretim yöntemleri

3.2. Tozların Sıkıştırılması ve Preslenmesi

Herhangi bir yöntemle üretilen tozlar sıkıştırılarak bir katı malzemenin özelliklerini taşıyacak hale dönüştürülür. Sıkıştırma ve şekillendirme gevşek halde bulunan tozu belirli bir mukavemeti olan kütleye dönüştürme işlemidir. Tozların en çok kullanılan şekillendirme ve yoğunluk kazandırma yöntemi kalıpta sıkıştırma işlemidir. Birçok

sıkıştırma işlemi tozun bir kalıp içerisine tek eksen yönünde preslenmesiyle gerçekleştirilir. Küçük ve sert parçaların sıkıştırılması zor olduğu için bağlayıcılar gereklidir [Saritaş ve ark., 2007].

Tozların sıkıştırma işlemine tabi tutulmadan önce etkin bir şekilde karıştırılması gereklidir. Bu işlem toz karışımının homojen olmasını sağlamak amacıyla yapılmaktadır. Değişik şekil, boyut ve yoğunluktaki tozların homojen olarak karışmaları üretilcek parçanın performansını da arttıracaktır [German, 1998]. Boyut dağılımını homojen hale getirmek, presleme ve sinterleme özelliklerini iyileştirmek için harmanlama işlemi önerilmektedir.

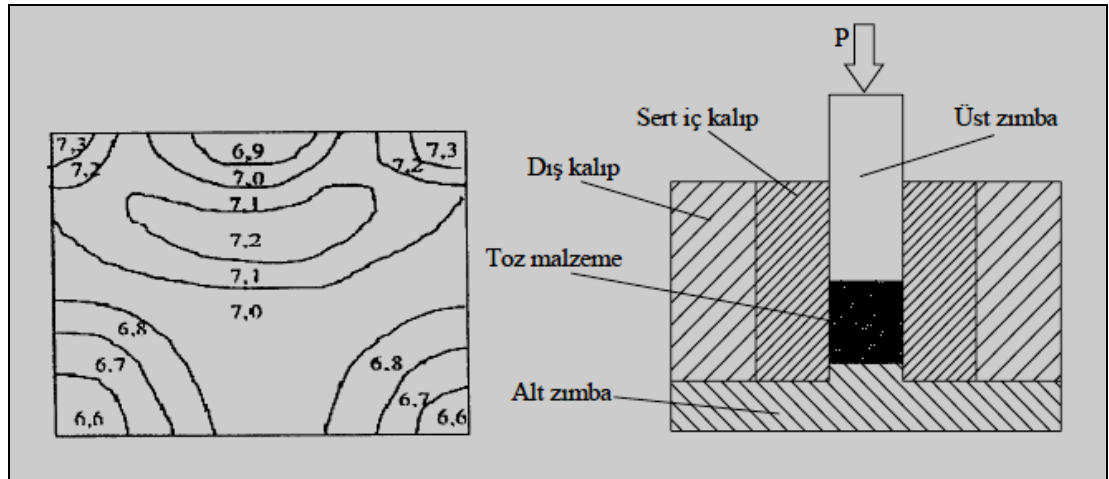
Toz karışımları hazırlanırken rijit kalıp içerisinde gerçekleştirilen presleme işleminde, toz karışımı ile kalıp yüzeyi ve toz taneciklerinin birbiri arasındaki sürtünmesini en az seviyeye indirmek için içerisine belli oranlarda yağlayıcı ilavesi yapılır. Yağlayıcı kullanılmadığında kalıp yüzeyi ile toz arasındaki sürtünme nedeniyle çarpılmalar oluşabilir ve numuneyi kalıptan çıkarmak zorlaşabilir. Bunun sonucu olarak numunede çatlaklar ve şekil bozuklukları oluşması muhtemeldir. Fazla miktarda yağlayıcı kullanılması halinde ise sinterleme sonrasında numune yüzeylerinde oluşması muhtemel kabarcıklar ve boşluklar yüzey kalitesini düşürmektedir.

Metal tozları için en çok kullanılan yağlayıcılar çinko stearat, stearik asit, lityum stearat, kalsiyum stearat gibi metal stearatları ve sentetik mumlardır. Sinterlemeden sonra kalıntı bırakmayan organik stearatlar, geniş kullanım alanına sahiptirler. Karışımdaki tüm toz partiküllerinin yağlayıcı ile temas etmeleri için yağlayıcı tozun mümkün olduğu kadar ince olması istenir. Yağlayıcı miktarı preslenen parçanın şekline bağlı olarak %0,5 – 1,5 oranlarında tutulmalıdır. Yağlayıcıyı metal toz karışımına ilave etmenin yanında kalıp yüzeylerinin ve zımbanında yağlanmasıyla gerçekleştirilebilir [Upadhyaya, 2000].

Sıkıştırma işlemi 3 farklı şekilde gerçekleştirilebilir.

3.2.1. Tek yönlü sıkıştırma

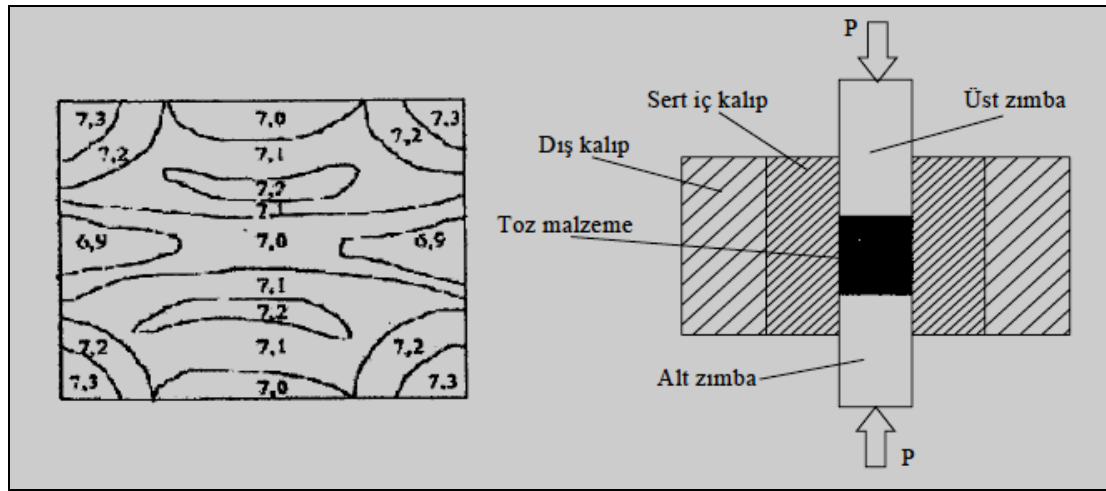
Tek yönlü sıkıştırmada, deformasyonun başlamasıyla, tozlar arası ve toz- kalıp çeperi arasında oluşan sürtünme basınç dağılımında bir düzensizliğe sebep olmaktadır. Bu düzensizlik yükün, iş parçasındaki dağılımını da etkilemektedir. Yoğunluk, hareketli zımbaya yakın bölgelerde daha yüksek olmakta ve sabit zımbaya doğru giderek azalmaktadır. Yoğunluktaki bu azalma iş parçasının boy/ çap oranına bağlıdır. Kalıbın uzun ömürlü olması ve kalıp duvarının tozlardan çizilmemesi ve aşınmaması için çok sert olması gerekir. Dolayısıyla kalıpların sert metal malzemelerden yapılması gereklidir. Tek eksenli preslemede, başlangıçta kalıba doldurulan toz kütleindeki yüksekliğin çapa oranı (Y/Ç), presleme sonrası yoğunluk dağılımını direkt etkilemektedir. Bundan dolayı bu limitin, $Y/\Ç \leq 4$ olması önerilmektedir [Ekşi ve Kurt 1999]. Tek yönlü sıkıştırmanın şematik resmi Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1. Tek yönlü sıkıştırma yoğunluk dağılımı ve çift yönlü kalıbın şematik gösterimi [Bahçeci, 2006].

3.2.2. Çift yönlü sıkıştırma

Bu yöntemle presleme işleminde toz, birbirine zıt yönlü olarak hem alt, hem de üst zımba tarafından aynı anda sıkıştırılmaktadır. Her yönden eşit veya farklı miktarda hareket veya basınç uygulanır. Çift yönlü sıkıştırma ile kalıp içerisinde dengeli bir sıkıştırma oluşur ve yoğunluk dağılımı, tek yönlü sıkıştırma ile elde edilen parçaların yoğunluk dağılımından daha homojendir. Çift yönlü sıkıştırmanın şematik resmi Şekil 3.2’de verilmiştir.

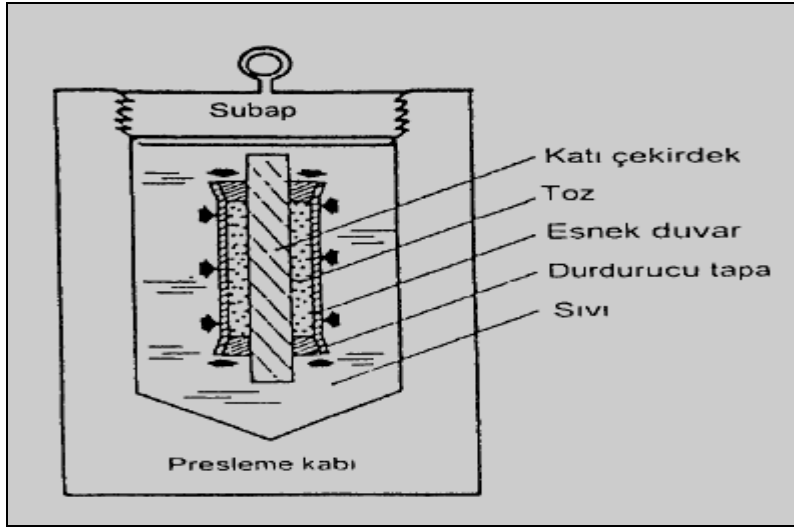


Şekil 3.2. Çift yönlü sıkıştırma yönteminde yoğunluk dağılımı ve çift yönlü kalıbın şematik gösterimi [Bahçeci, 2006].

3.2.3. Soğuk izostatik sıkıştırma

Basınçların her yönden eşit olarak uygulandığı bir yöntemdir. Soğuk izostatik sıkıştırma boy-çap oranının büyük olduğu, karmaşık ve kademeli parçalara uygulanır. Toz kalıp görevi yapan sızdırmaz elastik bir kaba konulup kapatılır. Yumuşak kalıptaki hava sıkıştırma sırasında çıkacağından önceden boşaltılır. Daha sonra kalıp, akışkan banyosu içindeki bir basınç kabına daldırılır. Akışkana yüksek basınç verilerek kalıp hidrostatik basınç etkisinde bırakılır. Basınç kabından çıkarıldıktan sonra, parçanın üzerindeki yumuşak kalıp alınır ve genellikle bir daha kullanılmaz. Bu yöntemde üretilen toz metal parçalar da daha homojen bir yoğunluk

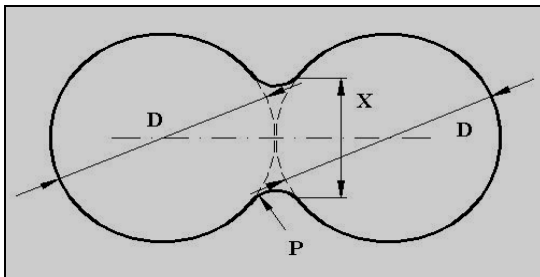
dağılımı elde edilebilir [German, 1994]. Soğuk izostatik sıkıştırmanın şematik resmi Şekil 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3.3. Soğuk izostatik sıkıştırmada yoğunluk dağılımı ve kalıbın şematik gösterimi [Bahçeci, 2006].

3.2. Sinterleme

Sinterleme parçacıkların birbirine bağlanması amacıyla önemli ölçüde özelliklerin iyileştirilmesi ve mukavemet artışını sağlamak için yapılan ısıtma işlemidir. Ergime sıcaklığının altında katı halde atom hareketleriyle birbirine temas eden parçaların yüksek sıcaklıklarda bağlanmasını sağlar. Sinterleme esnasında atom hareketleri görülemediği için işlem genelde hacim değişimleri ile takip edilir. Şekil 3.4'te sinterlemenin temel ölçümlerinden birisi olan boyun büyümesi görülmektedir. Boyun büyüklük oranı boyun çapının parçacık çapına oranıdır (X/D) [Saritaş ve ark., 2007].

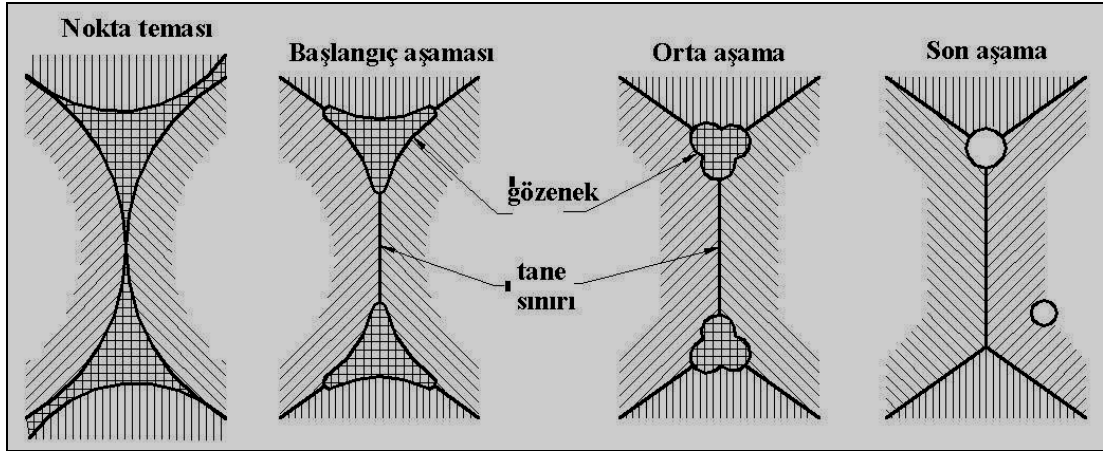


Şekil 3.4. İki küresel parçanın sinterleme profili [Akor, 2003; Özkan, 2007].
X= boyun çapı, P= boyun dairesel profilinin yarıçapı, D= Küre çapı

Sinterlenecek malzeme sadece saf metalden ya da sadece seramik malzemeden oluşuyorsa tek bileşenli sistem, birden fazla malzemeden oluşuyorsa çok bileşenli sistem olarak adlandırılır. Genelde tek bileşenli sistemlerde sinterleme sıcaklığı malzemenin erime sıcaklığının % 70- 90' ı arasındadır. Çok bileşenli sistemlerde bileşimi oluşturan malzemelerden en düşük erime sıcaklığına sahip olanın erime sıcaklığının hemen altında bir sıcaklıktadır. Erime sıcaklığının altındaki sinterlemeler katı faz sinterlemesi, çok bileşenli sistemlerde bileşimi oluşturan malzemelerden en az birinin erime sıcaklığının üstünde yapılan sinterleme ise sıvı faz sinterlemesi olarak adlandırılır.

Çoğu ham parçada sinterleme sırasında boyut, yoğunluk sertlik, elastik modülü, mukavemet, ısı ve elektriksel iletkenlik gibi bazı özelliklerde değişimler olur. Bu sebeple sinterleme işleminin izlenmesinde hacimsel özellikler kullanılabilir. Bunun yanında yaygın bir izleme yöntemi de numunedeki boyun değişimidir. Sinterleme çekmesi yoğunluktaki artışa ve gözeneklerdeki azalma miktarına bağlıdır. Fakat sinterlemeyle yoğunlaşmanın olmadığı, hatta şişmelerin de olduğu bazı durumlarda mevcuttur [Sarıtaş ve ark., 2007].

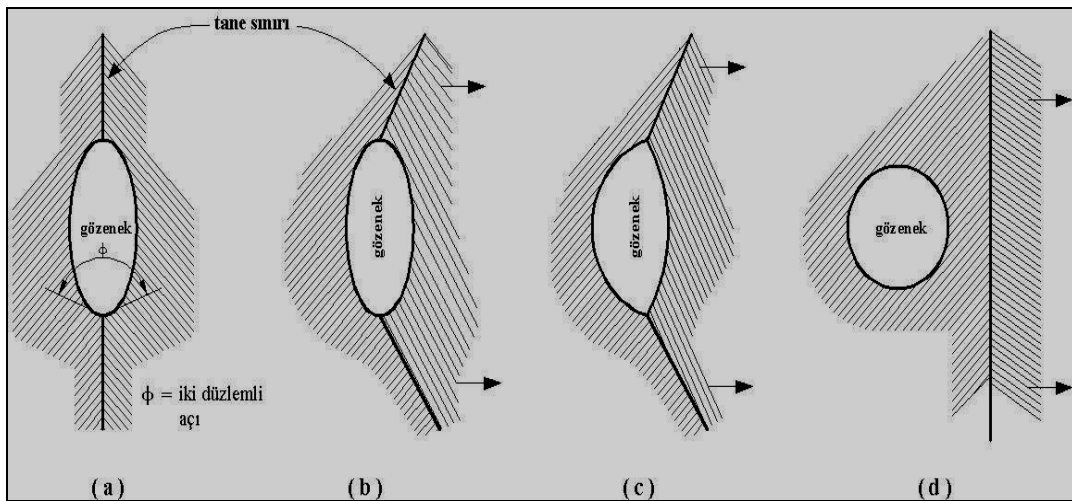
Sinterleme sırasında küresel şekilli toz parçacıkları arasında nokta teması ile etkileşim başlar ve parçacıklarda önce bir boyun büyümesi ile tane sınırı oluşur, ardından sinterleme zamanının ilerlemesiyle tane sınırı köşelerinde oluşan gözeneklerde büzölmeler başlar ve daha sonra oluşan gözenek kanalları kapanarak kapalı gözenekler meydana gelir. Sinterleme esnasında gözenek yapısındaki değişim aşamaları Şekil 3.5.'de görölmektedir.



Şekil 3.5. Sinterleme esnasında oluşan gözenek yapısındaki değişim [Akoral, 2003; Özkan, 2007].

Sinterlemenin son aşamasında gözenekler kapalı ve küresel şekildedir. Bu durumda tam yoğunluğa yaklaşılrken gözenek sayısı azaldığından tane sınırı hareketi zorlaşır ve tane büyümesi hızlanır. Sinterlemenin ileri safhalarında gözenek ile tane sınırı arasındaki etkileşim üç şekil alabilir; [Saritaş ve ark., 2007].

- 1- Gözenekler tane sınırlarında kalır ve böylece tane büyümesini engeller.
- 2- Gözenekler hareket eden tane sınırlarıyla birlikte sürüklenir ve böylece tane büyümesini yavaşlatır.
- 3- Tane sınırları gözeneklerden koparak ayrılırlar. Bu durumda tane içinde kalmış gözenekler izole olur ve yoğunlaşma ilerlemez.



Şekil 3.6. Sinterlemenin son aşamasında oluşan gözenek izolasyonu [German, 1994; Aktaş, 2007].

Sinterleme esnasında oluşabilecek istenmeyen oksitlenmeleri önlemek, buharlaşan yağlayıcı, bağlayıcı gazları ve dumanları dışarı atmak ve sinterlenen parçaların bileşimini kontrol etmek için çoğu zaman akan koruyucu atmosfer kullanılmaktadır. Koruyucu atmosfer oluşturmak için genelde Ar, H ya da N gazı tercih edilir.

3.2.1. Bağlayıcı veya yağlayıcı yakma

Tozların hazırlanması ve karıştırılması sırasında tozlara ilave edilen bağlayıcı veya yağlayıcıların uzaklaştırılması gerekmektedir. Bu işlem ham parçanın içerisindeki bağlayıcı veya yağlayıcının kararlılığını kaybedip bileşenden buharlaşarak uzaklaştığı sıcaklıklara kadar ısıtılmasıyla gerçekleştirilir.

3.3. Toz ve Toz Metal Parçacık Karakterizasyonu

Toz metalurjisi parçacıkların bir araya gelmesiyle oluşan tozlarla başlar. Parçacık tozun bölünemeyen en küçük birimidir. Genellikle 3mm' ye kadar olan parçacıklar toz metalurjisinin ilgi alanını oluşturur. İşlem kontrolünün sürdürülmesinde toz özelliklerinin (tane boyutu, şekli, yoğunlaşması, sertliği, homojenliği vb.) tespit edilmesi ve bu özelliklerin ürün performansını nasıl etkilediklerinin iyi bilinmesi gereklidir [Sarıtış ve ark., 2007].

3.3.1. Toz numunesi alma

Yapılacak analiz için tüm partinin tamamını temsil edecek şekilde toz numunesi alınmalıdır. Numune alma işlemi birçok noktadan küçük numuneler alınarak harmanlamak suretiyle yapılmalıdır.

Parçacıklar genellikle kohesivdir, dolayısıyla birbirlerine yapışma eğilimleri de yüksektir. Bu sebeple parçacıkların topaklanması muhtemeldir. Genellikle topaklanmalar yüzey neminden kaynaklanabilir. Bir arada tutunan topaklanmalar, çok küçük kayma gerilmeleriyle ortadan kaldırılacak zayıf kuvvetlerle tutunan parçacıklar kümesi olarak tanımlanmaktadır. Ancak agregalar olarak tanımlanan

güçlü kimyasal kuvvetlerle bağlı ve dağıtılması zor olan parçacık toplanmaları da vardır. Çoğu parçacık için yüzey aktifleştiren sıvılar, mekanik ve ultrasonik çalkalama yöntemleri parçacıkların dağıtılması ve özelliklerin belirlenmesinde etkindir. Yaygın kullanılan dağıtıcı sıvılar yüklü anyonik ve katyonik terminal grupları olan karbon zincirlerine sahip polar moleküllerdir. Bunların yanında kayma kuvvetleri de tozların dağıtılmasına yardım edebilir. Topaklanmayı dağıtmada en çok tercih edilen yöntemler mekanik karıştırma, ya da ultrasonik çalkalamadır. [Sarıtış ve ark., 2007].

3.3.2. Parçacık boyut ölçümü

Tozların parçacık boyutu birçok teknikle belirlenebilmektedir. Ölçülen parametrelerdeki farklılıklar sebebiyle genellikle farklı yöntemlerle yapılan ölçümlerde küçük farklılıklar olabilir. Birçok ölçüm yöntemi parçacık şeklini küresel kabul eder ve bu geometrik parametreye göre ölçüm yapar.

Tozların parçacık boyut ölçümlerinde genel olarak kullanılan yöntemler şunlardır;

Mikroskop ile ölçüm

Tozların parçacık boyutunu ölçmenin yolu, dijital ortama aktarılabilen evrensel bir görüntü elde edebilmektir. İstatiksel anlamlı boyut tespitinden genellikle ölçüm mikroskoba bağlı bir bilgisayar yardımıyla gerçekleştirilir. Ölçüm için görüntü optik yansıtmalı ışık, geçirilen ışık, taramalı elektron ya da geçirmeli elektron mikroskobu ile elde edilmektedir [Sarıtış ve ark., 2007].

Eleme ile ölçüm

Bu yöntem genellikle büyük parçacıklı tozların boyut ölçümünde kullanılmaktadır. Bu işlem yaygın olarak kullanılmasına karşın hata payı yüksektir. Uzun eleme sürelerinde parçacıklarda aşınma ve dolayısıyla toz boyutunda küçülme olabileceği gibi, küçük parçalı tozların ölçümlerinde ise kısa eleme sürelerinde kullanılan süre

parçacıkların tüm eleme serilerinden geçmesi için yetersiz kalabilir [Saritaş ve ark., 2007].

Eleme işleminin her ne kadar dezavantajları olsa da; tozları boyutlarına göre ayırma ve tozları sınıflandırarak kontrollü mikro yapılar oluşturma işleminde büyük yarar sağlamaktadır.

Sedimentasyon ile ölçüm

Bu yöntemde parçacık boyut analizi genellikle küçük boyutlu parçacıklara uygulanmaktadır. Bir sıvı ya da gaz içerisinde tozlar parçacık boyutu ve akışkan vizkositesine bağlı olarak bir son hıza ulaştırılır ve parçacık boyutu tozların çökme hızından hesaplanır. Sedimentasyon ile analiz, tozun önce bir çökme tüpünde dağıtılması ile başlar. Çoğunlukla akışkan sıvı içerisinde yapılır. Çökme zamanına bağlı olarak tüpün dibine çöken tozun ağırlık ya da hacim ölçümü, toz parçacığının boyut dağılımını belirlemede kullanılır [Saritaş ve ark., 2007].

Işık saçılımı ve kırınımı ile ölçüm

Bu yöntemle toz boyut ölçümü, parçacıkların hareketli bir akışkan içinde dağıtılması ve bir dedektörün önünden geçirilmesi ile yapılır. Parçacık lazer ışını önünden geçerken boyutunu yansıtan bir saçılma işareti verir. Bu işaretler bir fotodiyot dedektör ile toplanır. Açık ve şiddet bilgilerinin bilgisayarda yapılan analizi ile parçacık boyutu hesaplanır [Saritaş ve ark., 2007].

Elektriksel alan algılaması ile ölçüm

Bu yöntemle toz boyut ölçümünde, parçacıkların tuzlu suda dağıtılması ve tuzlu suyun elektrik iletkenliği yalıtkan bir kap içerisindeki küçük bir açıklıktan pompalanması esnasında ölçülür. Toz parçacıklarının bu açıklıktan geçerken elektrik iletiminde değişiklikler olur. Bu değişiklikler akışkan içerisinde duran parçacıkların sayılması ve boyutunun belirlenmesi için kullanılmaktadır [Saritaş ve ark., 2007].

Işık engelleme ile ölçüm

Bu yöntemle toz boyut ölçümü elektriksel alan algılamasıyla benzerlik göstermektedir. Bir ışık kaynağından saçılan ışık demetleri dağıtılmış parçacık akışı ile kesilmekte ve ışığın fotosel dedektörüne ulaşmasını engellemektedir. Parçacıkların boyutu küresel kabul edilerek, engellenen ışık miktarının eşdeğer dairesel kesit alanına eşitlenmesiyle parçacık boyutu tayin edilmektedir [Sarıtış ve ark., 2007].

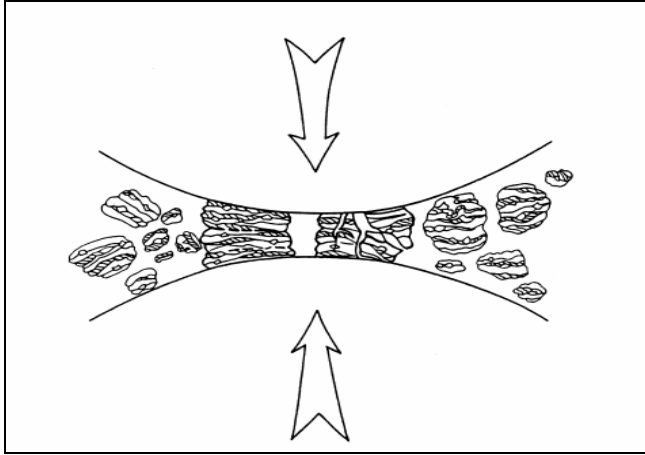
X-ışını ile ölçüm

Bu yöntemle toz boyut ölçümünde X ışınları kullanılmaktadır. Çok küçük parçaların parçacık boyutunu belirlemede tercih edilmektedir.

4. MEKANİK ALAŞIMLAMA

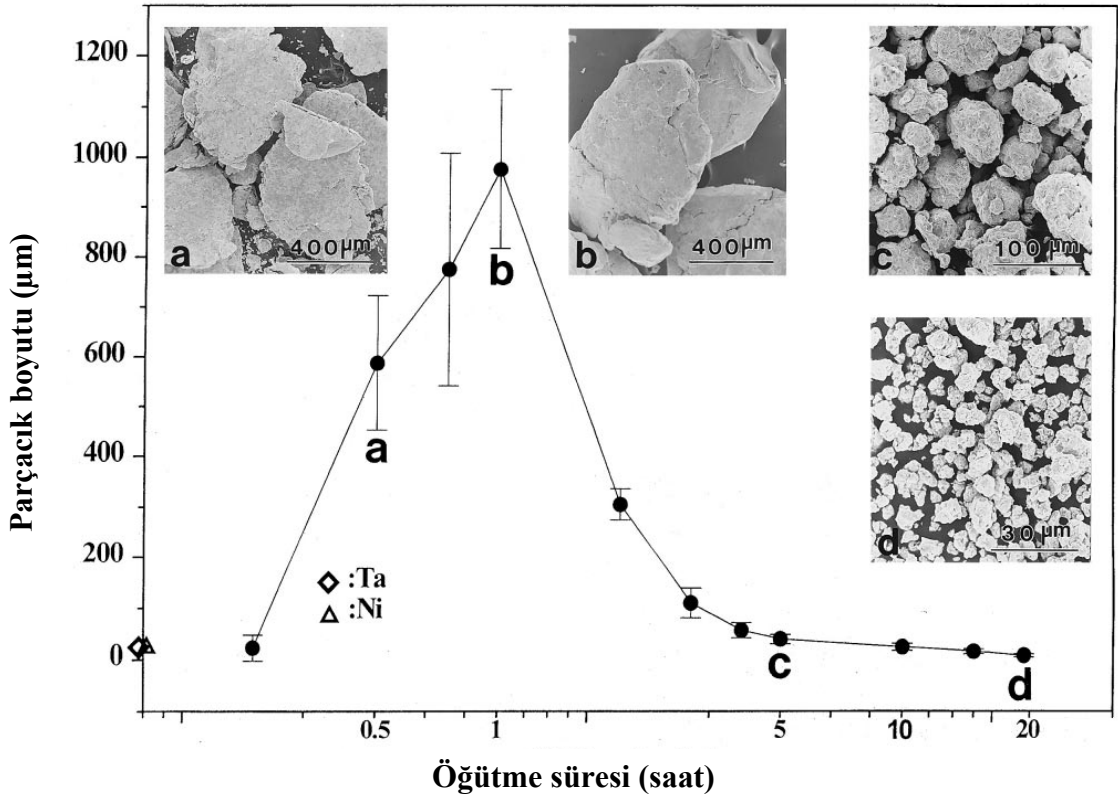
Mekanik alaşımlama tekniği 1966 yılında J.S. Benjamin tarafından geliştirilmiştir. MA, oksit veya karbürlerle güçlendirilmiş alaşımların asal bir atmosferde yüksek enerjili bir değirmen içerisinde yoğun bir şekilde öğütülmesi, sürekli bir deformasyon, kırılma, soğuk kaynak, tekrar kırılma ve ardından kaynaklanma işlemlerini içeren homojen dağılımlı, kimyasal ya da ısı işlem gerektirmeyen bir katı hal reaksiyonudur [Suryanarayana, 2001]. MA işlemi, tozların paslanmaz çelik kazanlarda sertleştirilmiş çelik bilyeler veya tungsten bilyeler ile istenilen sürelerde öğütülerek ve karıştırarak yapılan bir alaşımlama işlemidir. Oksitlenmeye karşı öğütme sırasında genellikle argon gazı kullanılmaktadır. MA'nın ekonomik olması ve uygulama alanlarının geniş olması büyük avantajlar sağlamaktadır. Klasik alaşımlama işlemlerinde karşılaşılan ergime problemleri, heterojenlik ve işlemler sırasında meydana gelen istenmeyen reaksiyonlar MA yöntemi ile ortadan kaldırılabilmekle birlikte, birbiri ile karıştırılması güç ya da imkânsız olan elementlerin karıştırılabilmesi de yapılabilmektedir. Eğer kullanılan tozlar yumuşak ise, yapışma ve sıvanmaları önlemek için %1-2 hacim oranında stearik asit ilavesi gerekebilir [Hausner ve Smith, 1973].

Üretimi yapılacak alaşım için metal ya da metal olmayan malzemeler, öğütücüler ve yağlayıcı maddeler yüksek enerjili değirmenlere konularak öğütülür. Burada öğütme esnasında toz-bilye, bilye-cidar ve karıştırıcı-bilye arasında çarpışmalar olur. Bunlardan en etkin olanı bilye-bilye çarpışmasıdır [Bostan, 2003]. Çelik bilyelerin birbirine çarpışması ve bu çarpışmanın etkisi ile bilyelerin arasında sıkışıp kalan tozların ezilmesi ile küçük parçalar halinde kırılmış olan sert seramik parçacıkları matris içerisinde gömülürler (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. MA esnasında bilye-toz-bilye çarpışması [Bostan, 2003; Gilman ve Benjamin, 1984].

Değirmen içerisinde öğütme esnasında toz parçaları arasında yassılaşıma, soğuk kaynaklanma, kırılma ve yeniden kaynaklanma olur. Bu esnada her çarpışmada yaklaşık olarak 0,2 mg ağırlıkta 1000 parçacık sıkışır ve lamelleşir. Çarpma kuvvetlerinin etkisiyle toz parçacıkları arasında plastik deformasyon oluşur, böylece deformasyon sertleşmesi ve kırılma gerçekleşir. Kırılmaların ardından oluşan yeni yüzeylerde kullanılan tozların karakteristiğine göre yeniden kaynaklanma olur ve parçacık boyutu neredeyse başlangıçtaki parçacık boyutunun üç katına kadar çıkabilir. Deformasyonun devam etmesiyle deformasyon pekleşmesi artar. Oluşan yorulma mekanizmasıyla katmanların kırılması devam eder ve parçalar ilk boyutlarına tekrar küçülürken sertlikleri de yükselmiş olur. Küçük parçacıklar deformasyona dayanıklı iken, büyük parçalar kaynaklanma eğilimindedir. Şekil 4.2.'de bu duruma benzer Ni-Ta sistemi görülmektedir [Suryanarayana, 2001].



Şekil 4.2. Öğütme süresine bağlı Ni-Ta sistemindeki tane boyutu değişimi [Suryanarayana, 2001].

4.1. Mekanik Alaşımlamada Kullanılan Öğütücüler

Mekanik alaşımlamada öğütme işleminin amacı tane boyutunu küçültme, karıştırma ve alaşımlamadır. Bu amaçları gerçekleştirmek için değişik öğütücüler mevcuttur. Yaygın olarak kullanılan öğütücü türleri şunlardır.

4.1.1. Atritör tipi dikey öğütücüler

Atritör öğütücü kazanının içerisine katılan bilyeler ve toz karışımı dönen bir şaft koluna bağlı dikey bir mil ucundaki karıştırıcı ile hareket ettirilir. Böylece kazan içerisinde oluşan çarpışmalar toz tane boyutunun küçülmesine sebep olur. Öğütme sırasında ısınmayı önlemek amacıyla kazan etrafında bir soğutma sıvısı dolaştırılır. Kazan içerisinde oluşabilecek oksitlenmeyi en aza indirmek ve ortadan kaldırmak

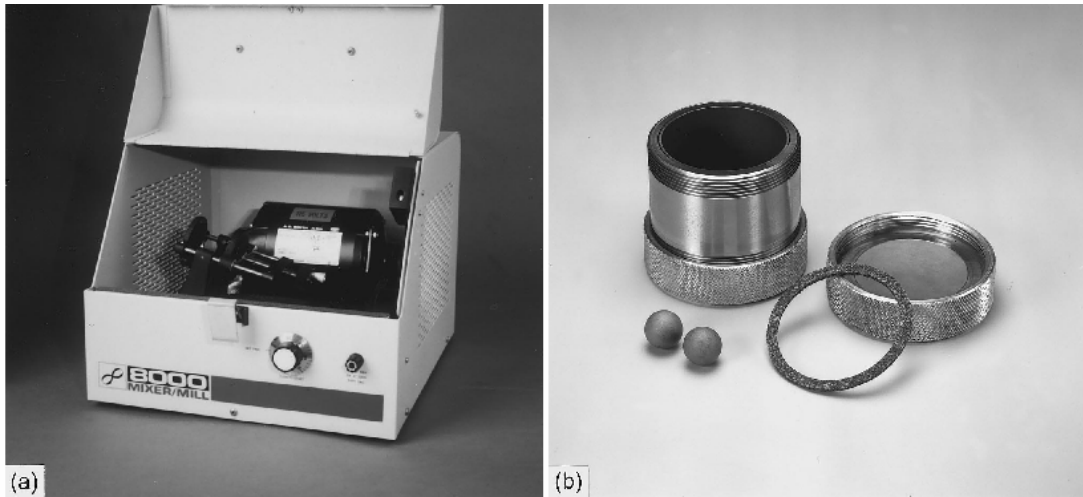
için koruyucu gaz atmosferi sağlanabilir. Resim 4.1.'de atritör tipi öğütücü görülmektedir.



Resim 4.1. Atritör tipi bilyeli öğütücü

4.1.2. Spex tipi (titreşimli öğütücüler)

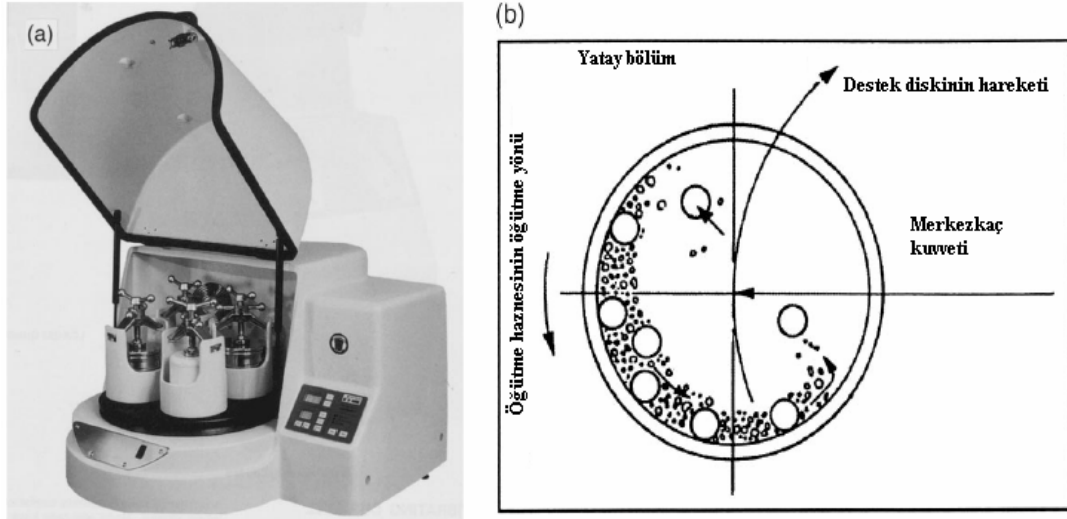
Bu tip öğütücüler genellikle laboratuvar çalışmalarında kullanılmak için uygundur. Bir defada 20 gr kadar toz karıştırılabilir. Bilyelerin vuruş kuvveti çok büyüktür.



Resim 4.2. Spex tipi bilyeli öğütücü [Suryanarayana, 2001].

4.1.3. Planetary öğütücü

Bu tip öğütücüler haznelerinin bir gezegen gibi hareket etmesi sonucu bu isimle anılmaktadır. Bir seferde birkaç yüz gram toz alaşımlanabilir. Bu öğütücüler dönen bir disk üzerine yerleştirilir. Kendi eksenleri etrafındaki hareketi başka bir mekanizmadan alır. Kendi eksenleri etrafında dönmeyle oluşan merkez kaç kuvveti ile dönen destek diskini tarafından oluşturulan bir kuvvetle birlikte haznede öğütülen malzemeler ve bilyelere etki eder. Spex tipi öğütücülere göre daha düşük enerjili öğütücülerdir [Bostan, 2003].



Şekil 4.3. Planetary tipi bilyeli öğütücü [Suryanarayana, 2001].

4.2. Mekanik Alaşımlamanın Etkin Parametreleri

1. Değirmen tipi
2. Öğütme kazanı
3. Öğütme hızı
4. Öğütme zamanı
5. Öğütücü malzemesi (bilyelerin) tipi ve boyutu
6. Bilye-toz ağırlık oranı
7. Kabın doldurma miktarı

8. Öğütme atmosferi
9. Öğütme sıcaklığı
10. İşlem kontrol kimyasalıdır.

4.3. Öğütme Kazanları

Öğütme kazanları, MA uygulanacak malzeme için çok önemlidir. Öğütme esnasında öğütme elemanının haznenin iç duvarlarına çarpmasından dolayı bir kısım malzeme kopup tozun içerisine karışabilir. Bu sebeple kazandan kopması muhtemel parçalar tozu kirletebilir veya kimyasal bileşimini değiştirebilir. Sertleştirilmiş çelik, takım çeliği, sertleştirilmiş kromlu çelik, temperlenmiş çelik, paslanmaz çelik, WC-Co'lu çelik ve rulman çeliği öğütme haznesi yapımında en çok kullanılan malzemelerdir. Etkileşim durumuna bağlı olarak kaplama yapılmış kazanlarda kullanılmaktadır [Di ve Bakker, 1991].

4.4. Öğütme Hızı

Mekanik alaşımlama işleminde önemli parametrelerden biride öğütme hızıdır. Öğütücünün dönme hızı arttıkça toza aktarılan enerji daha fazla olacaktır. Öğütücünün tasarımına bağlı olarak ulaşılabilecek maksimum hızda, belirli sınırlamalar vardır. Örneğin, geleneksel bilyeli öğütücülerde artan dönme hızına paralel olarak bilyeler haznenin iç duvarına yapışır ve darbe kuvveti oluşturmak için aşağı düşmezler. Bu yüzden, bilyelerin etkin bir biçimde çarpışma enerjisi oluşturması için yukarıdan aşağıya düşebilmeleri veya çarpışma süreci etkin olabilmesi için kullanılan maksimum hız kritik hızdan biraz aşağıda olmalıdır [Suryanarayana, 2001].

4.5. Öğütme Zamanı

Mekanik alaşımlama işleminde zaman en önemli ve etkin parametredir. Mekanik alaşımlamada zaman, öğütücünün türüne, öğütme yoğunluğuna, bilye/toz oranına ve öğütmenin sıcaklığına bağlıdır. Gereğinden fazla öğütmede kompozit içerisinde

kirlenme artabilir ve istenmeyen bazı fazlar oluşabilir [Sümer, 2003]. Bu sebeple MA'da öğütme zamanı iyi ayarlanmalıdır.

4.6. Öğütme Bilyeleri

MA'da kullanılan öğütme malzemeleri sertleştirilmiş çelik, sertleştirilmiş kromlu çelik, takım çeliği, temperlenmiş çelik, paslanmaz çelik, WC-Co ve rulman çeliğinden yapılmış bilyelerdir. Bunların yanında özel amaçlı üretilmiş seramik esaslı bilye kullanımı da yaygındır. Bilyelerin, toz üzerine yeterli vuruş kuvveti oluşturabilmesi için uygun büyüklükte olmaları gerekmektedir. Alaşımlanan tozun fazla kirlenmesini önlemek amacı ile öğütme haznesinin ve öğütme elemanının aynı malzemeden yapılmış olması istenir. Genellikle alaşımlama yapılacak tozun yapısına ve kimyasal özelliklerine göre bilye seçimi yapılmaktadır. Kullanılan bilyeler tek tip olabileceği gibi farklı boyutlarda da olabilir. Bu durumda bilyeler aynı miktarda enerjiye sahip değildir. Farklı boyuttaki bilyelerin kullanımının, enerji miktarını artırabileceği bildirilmiştir [Suryanarayana, 2001].

4.7. Bilye/Toz Oranı

MA'da dolum oranı olarak ta adlandırılan bilye/toz oranı öğütme işleminde en önemli parametrelerden biridir. Genel olarak yapılan çalışmalar 1/1 ile 220/1 arasında bilye/toz oranındadır. Çoğunlukla laboratuvar çalışmalarında kullanılan küçük kapasiteli öğütücülerde bilye/toz oranı 10/1 civarında seçilmektedir. Seri üretim yapan büyük kapasiteli öğütücülerde bu oran arttırılır (50/1, 100/1 gibi) ve böylece artan enerjiye bağlı olarak alaşımlama süresi azaltılabilir. Ancak bilye sayısının artmasıyla tozların kirlenmesi vs gibi olumsuzluklar daha da hızlanabilir [Suryanarayana, 2001].

4.8. Kazan Doluluk Oranı

Bilyelerin ve toz parçacıklarının, öğütme kazanı içinde serbestçe hareket etmesi için yeterli miktarda bir alanın olması gereklidir. Bu durum tozların üzerine etkiyen vurma kuvvetlerini artırarak toz parçacıklarının alaşımlanmasını hızlandırır. Bu yüzden kazanın toz ve bilyelerle doldurulma miktarı önemlidir. Bilyelerin ve tozun miktarının çok fazla olması bilyelerin kazan içerisinde dolaşmasını kısıtlayarak vurma enerjisini düşürür ve üretim hızını yavaşlatır. Kazanın doluluk oranı az ise enerji artışından kaynaklanan kirlenme sorunları oluşabilir. Çoğunlukla kazanın % 50'sinin boş bırakılması önerilmektedir [Suryanarayana, 2001].

4.9. Öğütme Atmosferi

Tozların kirlenmesinde öğütme atmosferinin etkisi büyüktür. Bu sebeple, öğütme sırasında tankın, ya havası boşaltılmalıdır ya da argon ve helyum gibi asal gazlarla doldurulmalıdır. Oksitlenmeyi ve tozun kirlenmesini önlemek için yaygın olarak yüksek saflıkta argon gazı kullanılır. Oksitlenmenin azot atmosferinin varlığı ile önlenilebileceği veya minimize edilebileceği belirtilmiştir. Ayrıca bazı sistemlerde azotun metal tozlarıyla etkileştiği ve bu sebeple öğütme esnasında kirlenmeyi önleyemediği de görülmüştür [Suryanarayana, 2001].

4.10. Öğütme Sıcaklığı

MA işlemlerinde genellikle malzemelerin türüne bağlı olarak oda sıcaklığına yakın sıcaklıklarda işlemler yapılmaktadır. MA esnasında oluşan plastik deformasyonlar sonucu ısınma artışı olacağından, sıcaklığın sabit tutulması için kazan çevresinde soğutucu sıvı ya da gaz sirkülasyonu sağlanır. Artan sıcaklıkla aşırı miktarlarda aşınmalar ve tozlarda kirlenmeler oluşabilir [Hausner ve Smith, 1973]. Bu tür sorunların ortadan kaldırılması için öğütme sıcaklığı kontrol altında tutulmalıdır.

4.11. İşlem Kontrol Kimyasalları

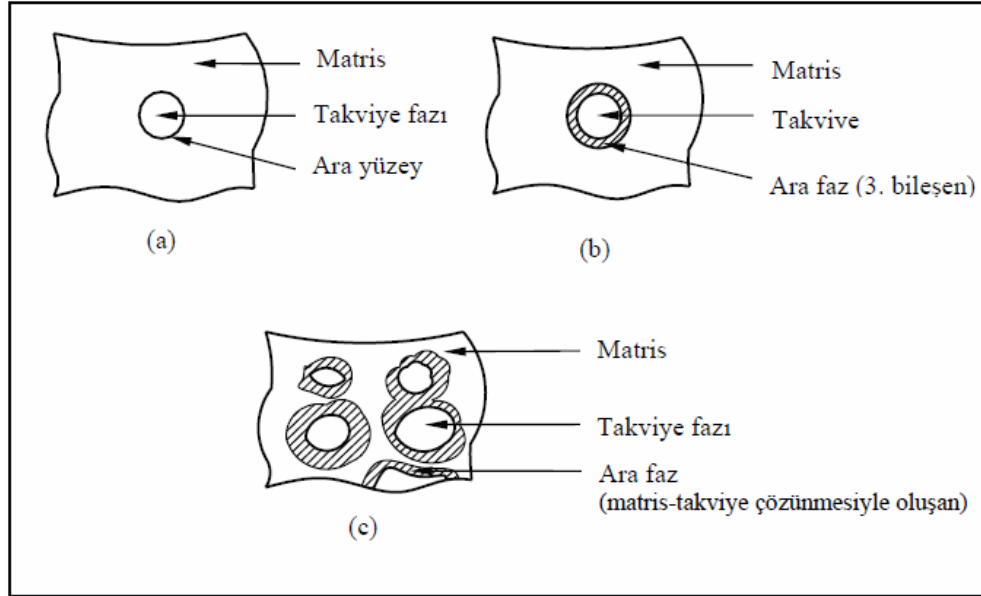
MA işlemi, deformasyona bağlı kaynaklanma ve kırılma şeklinde gerçekleşmektedir. Özellikle sünek tozlar kaynaklanma ve sıvanma eğilimindedir. Sünek tozların kırılmaya olan direnci, incelmeyi geciktirmektedir. MA sırasında ilave edilen kimyasallar kaynaklaşmanın yanında kırılma mekanizmasını da etkin hale getirir. Bu kimyasallar sıvı, katı ve gaz halde olabilirler. Genel olarak ilave miktarı % 1,5 civarındadır. Bu kimyasallar sinterleme esnasında çoğunlukla bünyeden atılırlar. Ancak yapı içerisinde sürekli olarak kalanları da mevcuttur.

İşlem kontrol kimyasallar elde edilecek tozun saflık derecesini doğrudan etkilemektedir. Bu etki olumsuz sonuçlara neden olmuyorsa kimyasalın kullanımı işlem süresini kısaltırken, toz boyutunun küçülmesini hızlandırabilir. Kullanılan kimyasal kompozisyonun bileşimini her ne kadar değiştirse de işlem süresininin kısaltılması ile kirlenme miktarını azaltmaktadır [Lee ve Kwan, 1996].

5. KOMPOZİT MALZEMELER

Kompozit malzemeler, genel olarak iki ya da daha fazla sayıdaki aynı ya da farklı gruptaki malzemelerin en iyi özelliklerinin yeni ve tek bir malzemede toplamak amacıyla makro düzeyde birleştirilmesi ile oluşturulan malzemeler olarak tanımlanmaktadır. Çoğu kompozit malzemeler takviye elemanları ve bunun etrafını çevreleyen matris malzemesinden oluşmaktadır. Takviye elemanı olarak farklı morfolojiye sahip kısa ve uzun elyaflar, wiskerler ve parçacıklı seramikler kullanılmaktadır. Takviye elemanlarının temel fonksiyonu gelen yükü taşımak, matrisin rijitlik ve dayanımını arttırmaktır. Şayet uygun şartlar oluşturulursa hafif alaşımların dayanımı artırılabilir, yüksek sıcaklıklarda çalışabilecek özellikler kazandırılabilir ve yoğunluklarını düşürmekte mümkün olabilir [Lubin, 1982].

Kompozit malzemeler matris ve takviye malzemesi olarak iki bileşenden oluşur. Kompozitin ana yapı malzemesi olarak da tanımlanan, bileşenler içerisinde nispeten daha düşük dayanıma sahip olan ve genellikle sünekliği yüksek olan kısım matris olarak adlandırılır. Kompozit içinde genellikle daha sert ve daha yüksek dayanımlı bileşen takviye elemanı olarak adlandırılır. Kompozit malzemeye gelen yükleri takviye malzemelerine iletmek, takviye elemanlarını bir arada tutmak, kompozit malzemenin tokluğunu artırmak, kompozit malzemenin mukavemetini arttırmak, takviye malzemelerini ortamın etkilerinden ve darbelerden korumak matris malzemesinin görevidir. Matris ve takviye elemanlarının özellikleri, matris ve takviye elemanlarının hacim oranları, matris takviye arasındaki bağın özellikleri, takviye elemanlarının şekli, yapısı ve kompozit içerisindeki yönlenmesi kompozit malzemenin mekanik özellikleri üzerinde etkili olmaktadır. [Çanakçı, 2006].



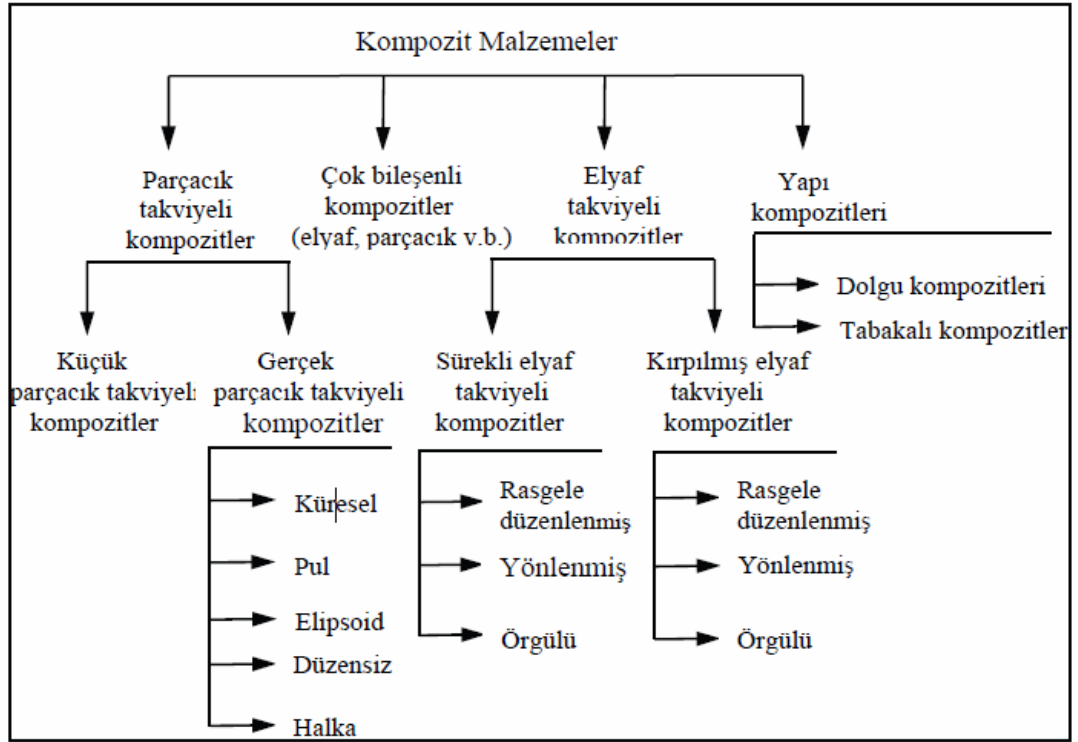
Şekil 5.1. Kompozit malzemelerde matris-takviye elemanı bağı oluşumunda ara yüzey ve arafazlar, (a) Ara fajsız birleşme, (b) kaplanmış takviye kullanımı, (c) karşılıklı sınırlı oranda çözünme ile ara faz oluşumu [Çanakçı, 2006].

Bazı durumlarda matrisle takviye arasında doğrudan bağ oluşur. Matrisle takviye arasında iyi bir bağ oluşmaması durumunda takviye üzerine matris ile bağ oluşturan bir malzeme kaplanır. Kompozitin tarifine göre matris ve takviye fazı birbiri içinde çözünmemelidir. Ancak Şekil 5.1.(c)'de görüldüğü gibi çok az miktarda çözünürlük matris-takviye arasında güçlü bir bağın oluşumunu olumlu yönde etkiler [Çanakçı, 2006].

5.1. Kompozitlerin Sınıflandırılması

Kompozit malzemeler genel olarak matris malzemesine ya da takviye elemanının şekline ve cinsine göre sınıflandırılmaktadır. Doğal ya da yapay olmasına göre doğal kompozitler (ağaç, kemik, deri vb.) ve yapay kompozitler (karbon-karbon, cam elyaf takviyeli, epoksi v.b.) olarak sınıflandırılır. Kompozitin ana yapısını oluşturan matris malzemesine göre yapılan sınıflandırma ise metal, polimer, seramik matrisli kompozit malzemeler olarak yapılır. Bunun yanında matris malzemesi ve takviye elemanını belirterek söylemekte (Al matrisli, Si matrisli, Al_2O_3 parçacık takviyeli gibi) yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak uygulamada en yaygın kullanılan

sınıflandırma kompozite mukavemet kazandıran takviye malzemesine göre yapılır. Buna göre yapılan sınıflandırma Şekil 5.2.'de verilmiştir.



Şekil 5.2. Kompozitlerin takviye elemanına göre sınıflandırılması [Callister, 1990; Çanakçı, 2006].

5.1.1. Takviye elemanının şekline göre kompozitler

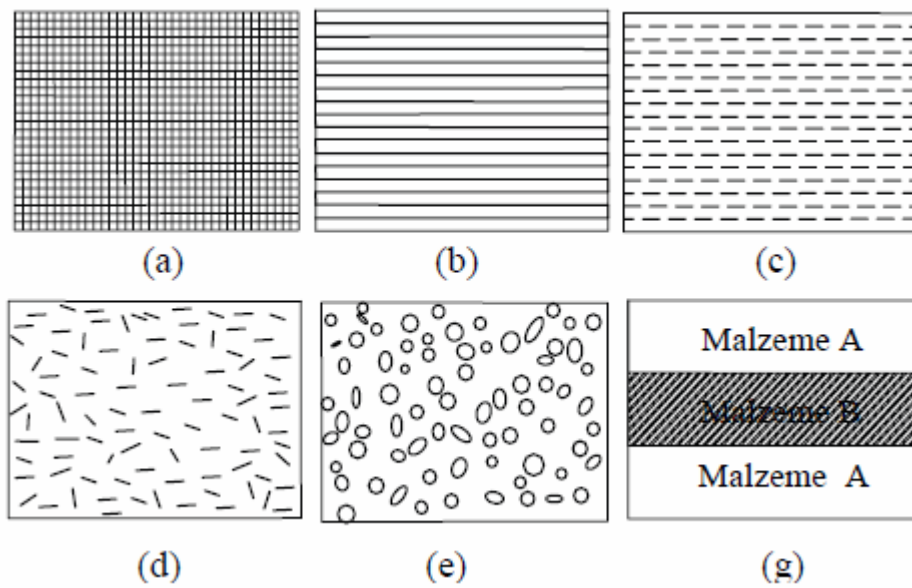
- Parçacık takviyeli kompozitler
- Uzun/kısa elyaf kompozitler
- Laminat (katmerli)
- Tekfilament

5.1.2. Matris malzemesine göre kompozitler

Matris malzemesinin seçimi yapılırken yoğunluk, süneklik, sertlik, mukavemet, aşınma ve korozyon direnci, kırılma tokluğu, termal iletkenlik, boyutsal kararlılık gibi özellikler dikkate alınmalıdır. Kompozit malzemeler yüksek dayanım ve mukavemet değerlerine sahip olmakla birlikte, anizotropik özelliklerinden dolayı

gerilme yığılmalarına karşı hassastırlar [Dursun ve Özbay, 2008]. Pekçok metal matris malzemesi olarak kullanılmaktadır. Bunlara Al, Fe, Mg, Cu, Ti, Pb, Zn gibi metaller örnek verilebilir.

- Polimer matrisli kompozitler
- Seramik matrisli kompozitler
- Metal matrisli kompozitler



Şekil 5.3. Takviye elemanının türüne göre kompozitlerin yapılarının şematik gösterimi

(a) Örgülü elyaf, (b) Sürekli elyaf, (c) Yönlenmiş süreksiz (kırpılmış) elyaf, (d) Rastgele düzenlenmiş süreksiz elyaf, (e) Parçacıklı, (f) Tabakalı kompozitler [Askeland, 1988; Çanakçı, 2006].

5.1.3. Metal matrisli kompozitler

MMK kompozitler genellikle yumuşak metal matris içerisine sert, kırılğan ve yüksek dayanımlı seramik partiküllerin çeşitli yöntemlerle ilave edilmesiyle elde edilen malzemelerdir. MMK toz metalurjisi, döküm, infiltrasyon, vb. birçok yöntemle üretilmektedir. Ucuz olması nedeniyle tercih edilen döküm tekniğinde seramik parçaların matris içerisinde homojen olarak dağıtılması zordur. Bu homojenliği sağlamak için ergime sıcaklığının üstündeki bir sıcaklıkta uzun bir süre karıştırma işlemine devam edilmelidir. Ancak bu durum matris ve takviye elemanı arasında oluşması istenmeyen reaksiyonlara neden olabilir [Tayo ve Arsenoult, 1989]. Toz

metalurjisi yöntemiyle istenilen büyüklükte ve istenilen oranda tozların matris takviye elemanı ara yüzeyinde bir reaksiyon oluşturmada üretilmesi mümkün olmaktadır [Song, 1996]. MMK malzemelerin özellikleri, bileşimi oluşturan bileşenlerin özelliklerinden daha gelişmiş özelliklere sahiptir. Kendi başına matris malzemesinin akma, çekme ve yorulma gibi dayanımları düşük iken kompozitin elde edilmesiyle bu özellikler önemli oranda artar. Parçacık takviyeli MMK malzemeler matrise göre daha yüksek sertlik, yüksek aşınma dayanımı, yüksek modül ve düşük ısı genleşme katsayısı gibi özelliklere sahiptir [Cole ve Sherman, 1995].

Ticari olarak da deneysel olarak ta kullanılan en önemli matris malzemelerinden bir tanesi alüminyumdur. Yapı içerisinde meydana gelen reaksiyonlar sonucu oluşan Al_2O_3 , Al_4C_3 , vb. takviye elemanlarının alüminyumun özelliklerini geliştirdiği birçok araştırmacı tarafından ortaya konulmuştur. Alüminyumun özelliklerinde katı hal reaksiyonlarıyla önemli ölçüde gelişmeler sağlanmaktadır. Katı hal reaksiyonlarıyla diğer metodların çoğunda karşılaşılan sınırlı şartların olmaması, bu yöntemde büyük avantaj sağlamaktadır [Bostan, 2003].

5.1.4. MMK' larda matris malzemeleri ve özellikleri

Kompozit malzemelerde matris malzemesi olarak düşük yoğunluğa, iyi mekanik özelliklere ve tokluğa sahip hafif metaller ve alaşımlar tercih edilmektedir. Yapılan çalışmalarda en çok kullanılan önemli matris elemanları; Al, Mg, Cu, Ti, Zn, Pb, Fe'dir.

Matris Malzemesi olarak Alüminyum

Demirden sonra en çok kullanılan metal olan alüminyum, iyi elektrik ve ısı iletkenliğe, yüksek korozyon direncine ve şekillendirilebilirliğe sahip olmasının yanında oldukça yumuşak, aşınma direnci ve dayanımı da düşüktür. Ancak içerisine katılan seramik malzemelerle aşınma direncinin arttığı tespit edilmiştir [Buytoz ve Eren 2007]. Parçacık takviyeli kompozit üretiminde matris malzemesi olarak yaygın

bir şekilde kullanıldığı görülmektedir. Saf alüminyuma ait bazı temel özellikler çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Saf alüminyumun temel özellikleri

Yoğunluk (20°C):	2,7 g/cm ³
Atom ağırlığı (20°C):	26, 97 atomik kütle birimi
Ergime sıcaklığı (°C):	660 °C
Atom çapı (°A):	1,430 °A
Kafes yapısı	YMK
Buharlaştırma sıcaklığı (°C)	2327 °C

5.1.5. MMK’larda takviye elemanları ve özellikleri

Takviye elemanları kompozit malzemelerin maruz kaldığı yükün büyük bir kısmını taşımaktadır. Bu sebeple yükün takviye elemanına iletilmesi önemlidir. Matris ve takviye elemanı arasında iyi bir ara yüzey bağı oluşması gereklidir. Bu sebeple takviye elemanı seçimi ve bunların özelliklerinin iyi bilinmesi gereklidir. Yapılan çalışmalarda genelde takviye elemanı olarak Al₂O₃, SiC, SiO₂, TiC, B₄C, Si₃N₄ gibi seramiklerin kullanıldıkları görülmektedir.

Takviye elemanı olarak Al₂O₃

Al₂O₃ ileri teknoloji malzemeler içerisinde en yaygın kullanılan ham maddedir. Yüksek aşınma direnci, düşük yoğunluğu ve yüksek sıcaklık dayanımı sebebiyle geniş bir kullanım alanına sahiptir. Ergime sıcaklığı 2050 °C olup yoğunluğu 3,98 gr/cm³ tür. Oluşturduğu kompozitlerde iyi sürtünme ve aşınma dayanımı göstermesi sebebiyle taşıtlarda fren diski, silindir gömleği, piston gibi parçalarda yaygın olarak tercih edilmektedir.

Takviye elemanı olarak B₄C

Takviye elemanı olarak B₄C, etkili bir takviye malzemesinden beklenen birçok üstün özelliği taşımaktadır. B₄C bilinen en sert malzemelerden biridir. Ergime sıcaklığı 2445 °C olup yoğunluğu da 2,52 g/cm³ tür. Bunun yanında yüksek sertlik ve rijitlik, yüksek darbe ve aşınma direnci, yüksek ergime noktasına sahip olmak, düşük yoğunluk ve yüksek kimyasal direnç gibi üstün mekanik ve fiziksel özellikleri ile yumuşak alüminyum için oldukça uygun bir takviye elemanıdır [Kennedy ve Brampton, 2001; Lee ve Kang, 2001]. Ancak, B₄C tozlarının maliyetinin, SiC veya Al₂O₃ gibi takviye elemanlarına göre daha yüksek olması nedeniyle, B₄C takviyeli alüminyum matrisli kompozitler üzerine yapılan araştırmalar kısmen sınırlı kalmıştır [Zhang ve Chin, 2004].

B₄C'nin kullanımı balistik zırh uygulamaları, su jeti kesicileri ve kumlama makinelerinin nozulleri, nükleer kontrol çubukları, radyasyondan koruyucu kalkanlar, metal buharlaştırma kayıkçıları gibi çok geniş bir alana sahiptir [Theveno, 1990].

Takviye elemanı olarak SiC

SiC parçacıklar ucuz hammaddelerden elde edilebilmesi ve düşük yoğunluklu olması sebebiyle takviye elemanı olarak tercih edilmektedir. Ergime sıcaklığı 2500 °C olup yoğunluğu da 3,2 g/cm³ tür. SiC sadece karbon ve silisyumun oluşturduğu bir kimyasal bileşiktir. Aslında kum ve karbonun yüksek sıcaklık elektro-kimyasal reaksiyonu ile üretilmektedir. Silisyum karbür mükemmel bir aşındırıcı olduğu için yüz yılı aşkın bir süredir aşındırıcı çarklar ve diğer aşındırıcı ürünlerde taşılama işlemi için üretilmektedir. Bu aşındırıcılar, refrakter, seramik ve çok sayıda yüksek performanslı uygulamalarda kullanılır. [Özkan, 2007; Mallick, 1997].

6. KOMPOZİT MALZEMELERDE PARÇA KARAKTERİZASYONU

Bu bölümde kompozit malzemelerin tane büyüklüğü, fazların yapısı gibi mikroyapısal özellikleri; gözenek yapısı ile ilgili özellikler; sertlik, dayanım ve çekme gibi mekanik özellikleri; yüzeyle ilgili korozyon ve aşınma özellikleri ve yoğunlukla ilgili özellikler ele alınacaktır.

6.1. Mikroyapısal Özellikler

Mikro yapı incelemeleri toz metal parçaların karakterize edilmesi ile ilgili bilgiler vermektedir. Üretilmiş blok kompozit numunenin sinterleme sonrası parlatılmış ve dağlanmış kesiti kompozitin gözenek ve tane yapısı hakkında bilgiler verir. İnceleme sonrası kompozitin farklı kristal yönelmelerle karşılaştığı ince ve düzensiz bölgeler tane sınırı olarak tanımlanmaktadır. Bu incelemeler optik ve elektron mikroskoplarıyla yapılabilir.

Kompoziti oluşturan toplam hacmin boşluk olan kısmı gözeneklilik olarak tanımlanmaktadır. Basit olarak, ağırlık ve boyut ölçüleriyle hesaplanan yoğunluk ve teorik yoğunluk ölçülerinin karşılaştırılması ile bulunur. Bir diğer gözenek tespiti ise, yüzeyin parlatılıp dağlanmasının ardından yüzeye epoksi emdirilmesi ve tekrar parlatılıp dağlanmasının sonrasında yüzeye yeniden epoksi emdirilmesi ve hafif bir parlatma dağlamanın ardından yüzeyin mikroyapısının incelemesidir. Nokta sayma gözenek ölçümünün başka bir kolay yoludur. Basit bir noktalı ızgaranın büyütülmüş yapı üzerine konmasıyla çıkan gözeneklerin sayılması esasına dayanır [Saritaş ve ark., 2007].

6.2. Mekaniksel Özellikler

Malzemeler tam yoğunluğa getirilmiş olsalar bile mikroyapı hatalarından dolayı kötü özellikler görülebilir. Bu sebeple toz metalurjisi ile üretilmiş malzemelerde ilk olarak sertlik ve dayanım kontrollerinin yapılması uygun görülmektedir. Daha sonra darbe

tokluğuna ve süneklik değerlerine, son olarak da kırılma tokluğu ve yorulma değerlerine bakılmalıdır [Saritaş ve ark., 2007].

Sertlik ölçümü, genel olarak malzeme yüzeyine sert bir uç batırılarak yapılmaktadır. Deneylerde kullanılacak cihazın türüne göre uç olarak bilyeler, konik uçlar ya da piramit uçlar kullanılmaktadır. Sertlik ölçüm cihazları genel olarak yükü otomatik olarak uygular ve batma derinliğini ya da genişliğini ölçerek sertlik değerini verirler.

6.2.1. Kompozitlerde kırılma

Kompozitlerin dayanım özellikleri, uygulanan birçok deneyle tespit edilebilir. Bunlardan bir tanesinde çapraz kırılma deneyidir. Üç nokta eğme deneyi olarak ta adlandırılan bu yöntemle, dikdörtgen kesitli standart numunelere üç noktadan eğme uygulanarak kompozitlerin çapraz kırılma dayanımları (ÇKD) belirlenebilir. ÇKD düşük sünekliğe sahip malzemelerin dayanımlarını ölçmek için kullanılmaktadır [Saritaş ve ark., 2007]. MMK’lerde üretim, mikroyapı ve ürün özelliklerinin geliştirilmesi bakımından kırılma mekanizmalarının belirlenmesi önemlidir. Bazı araştırmacılar, MMK’lerde kırılmanın, çatlak dibinde yoğunlaşan boşluklarda sünek deformasyon mekanizmasıyla oluştuğunu belirlemişlerdir [Çalın, 2006; Crowe ve Gray, 1984; Nutt ve Duva, 1986].

Çapraz kırılma dayanımı aşağıda verilen ASTM B528-05’de belirtilen eşitlik kullanılarak hesaplanmaktadır;

$$\text{Çapraz Kırılma Dayanımı (TRS)} = \frac{3 \cdot P \cdot L}{2 \cdot t^2 \cdot w} \text{ MPa} \quad (6.1)$$

Burada;

P= Numune kırıldığı andaki yük (N)
 L= Destekler arası uzaklık (25,4 ± 0,3 mm)
 w= Numune genişliği (12,7 mm)
 t= Numune yüksekliği (6,35 mm)

6.3.1. Aşınma direnci

Genel olarak aşınmanın tanımlanması malzeme kaybı olarak ifade edilmektedir. Aşınma, birbiri ile kayma, yuvarlanma veya çarpma hareketi yapan iki yüzeyden birinde ya da her ikisinin de yüzeyinde hasar oluşması veya yüzeyinden malzeme uzaklaşmasıdır. Çoğu zaman pürüzlerdeki yüzey etkileşimleriyle, aşınma meydana gelir. Hareket esnasında temas yüzeyindeki malzeme yerinden çıkabilir, böylece katı cisim yüzeyindeki özellikler değişir. Fakat bu durum sonucunda çok az malzeme kaybı olur. Malzeme bir yüzeyden uzaklaşabilir ve diğer yüzeye malzeme transferi olabilir veya aşınma partikülleri şeklinde kırılarak yüzeyden ayrılabilir. Malzemenin bir yüzeyden diğerine transfer olması durumunda yüzeylerden biri zarar görmüş olsa bile ara yüzeydeki net hacim veya ağırlık kaybı sıfırdır. Aşınma hasarı gerçekte malzeme kaybıyla meydana gelmektedir. Fakat bir cisimde net bir ağırlık veya hacim kaybı olmadan meydana gelen ve malzeme hareketlerinden kaynaklanan hasarlar da aşınmayı oluşturur [Çelikyürek, 2006].

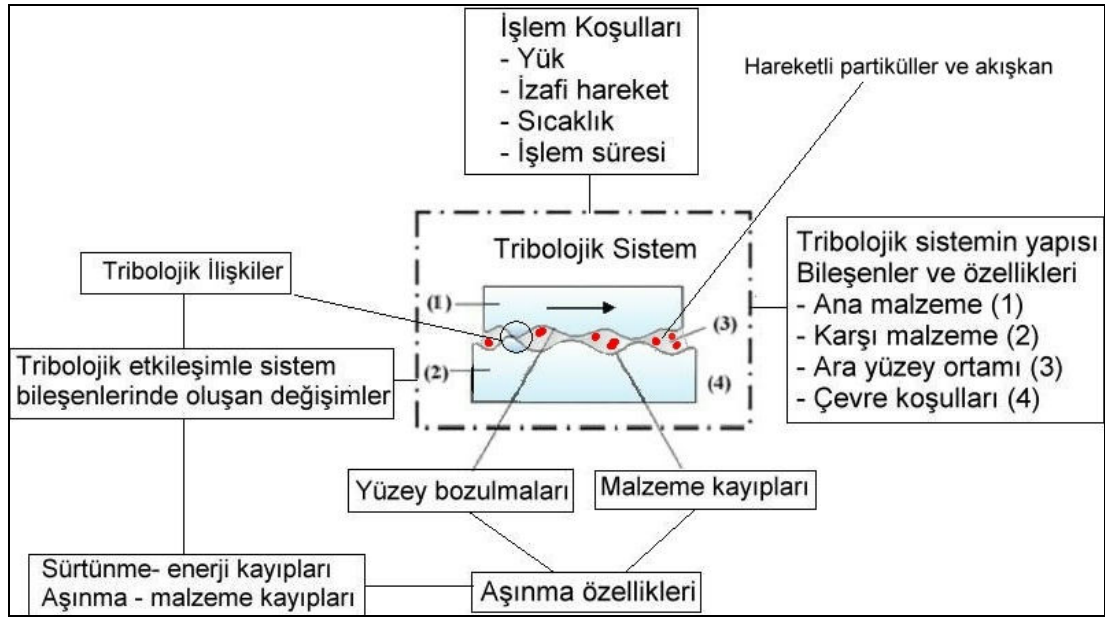
Üretilen malzemelerin kullanıldıkları yerlerde en çok karşılaşılan problemlerden bir tanesi aşınmadır. Aşınma çalışma verimini düşürmektedir. Yapılan araştırmalarda makine parçalarındaki bozulmaların % 75'nin sürtünen yüzeylerden aşınma sonucu olduğu bilinmektedir. Bu sebeple aşınma dayanımı ile ilgili çalışmalar önem kazanmıştır. Aşınma dayanımı malzemenin içyapısına bağlı olduğu kadar, malzemenin çalışma koşullarındaki maruz kaldığı etkilere de bağlıdır. Aşınma mekanizması kendisini yavaş yavaş gösteren bir yıpranma faktörüdür [Keleştimur, 1989].

Genel olarak sertliği yüksek malzemelerin aşınma dirençleri de yüksektir [Sarıtış ve ark., 2007]. Kompozit malzemelerle birlikte kullanılan takviye elemanları yumuşak matris içerisinde sert fazlar oluşturarak aşınma ve toklukta artış sağlamaktadır. Aşınma dayanımı parçacık miktarına, boyutuna, dağılımına, takviye elemanı ile matrisin sertliğine ve kırılma tokluğuna bağlı olarak değişmektedir [Özay ve Hasçalık, 2004]. Aşınmanın yüksek, yağlamanın da yeterli seviyede olmadığı durumlarda aşınma dayanımı yüksek özellikli malzemeler kullanılarak malzemelerin

ömrü uzatılmaktadır. Bu sebeple MMK kompozitler birçok araştırmacı tarafından ilgi görmektedir. MMK kompozitlerin aşınma ve sürtünme özellikleri çok iyi olması sebebiyle fren diskleri, şaftlar, silindirik gömleği, piston ve biyel kolu gibi otomotiv sanayinde, uçak sanayinde, elektrik kontaktörleri gibi aşınmanın fazla olduğu yerlerde tercih edilmektedir [Gültaş ve ark., 2000].

Aşınmayı oluşturan unsurlar

Triboloji birbirleriyle temas halinde olan malzemelerin sürtünme ve aşınma davranışlarını inceler. Bir aşınma sistemi, ana malzeme (aşınan), karşı malzeme (aşındıran), ara malzeme, yük (temas kuvveti), izafi hareket ve ortamdan oluşur. Şekil 6.2.'de bir tribolojik sistemin şematik gösterimi verilmiştir [Çelikyürek, 2006].



Şekil 6.2. Bir tribolojik sistemin DIN 50320 normuna göre şematik gösterimi [Çelikyürek, 2006; Matik, 2010].

Şekil 6.2.'de görülen tribolojik sistemle ilgili bazı tanımlamalar genel olarak aşağıda belirtilmiştir (Matik, 2010).

Ana malzeme (Aşınan); Aşınma özelliği incelenecek fiziksel ve kimyasal özellikleri, yüzey yapısı, şekil durumu tamamen belirli olan katı cisim şeklinde tanımlanmaktadır.

Karşı malzeme (Aşındıran); Aşınmanın oluşumu sağlayan karşı sürtünme elemanı, katı bir cisim, sıvı veya gaz olabilir. Temel sürtünme elemanı ile birlikte bir aşınma çiftini oluşturmaktadır.

Ara malzeme; Aşınan ana malzeme ile karşı sürtünme elemanı arasında katı, sıvı, gaz, buhar ya da bunların karışımı şeklinde bulunan maddedir. Bu ara madde, yüzeyler arasına girmiş aşındırıcıdan kopan kum taneleri ve aşınma esnasında aşınan malzemedan kopan parçacıklardan da oluşabilir.

Yük; Etki kuvvetinin şiddeti, çeşidi (darbeli, dinamik, statik, ya da titreşimli olup olmadığı), doğrultusu ve zamana göre değişimi yüklemenin miktarını belirleyen unsurları oluşturmaktadır.

Ortam; Sistemi içine alan ortamdır. Genel olarak su, hava ve gazlar en sık rastlanılan çevre ortamlarıdır.

Aşınmayı etkileyen faktörler

Aşınma olayı birçok faktör tarafından etkilenen ve istenmeyen bir problemdir. Aşınmayı tetikleyen faktörlere bir bütün olarak bakmak gereklidir. Aşınmayı etkileyen faktörler aşağıda dört grup halinde verilmiştir [Çelikyürek, 2006].

1- Ana malzemeye bağı faktörler:

- Malzemenin kristal yapısı,
- Malzemenin sertliği,
- Elastisite (Young) modülü,
- Deformasyon davranışı,
- Yüzey pürüzlüğü
- Malzemenin boyutu

2- Karşı malzemeye bağı faktörler ve aşındırıcının etkisi.

3- Ortamın etkisi:

- Sıcaklık,
- Nem
- Atmosfer

4- Çalışma koşulları:

- Basınç,
- Hız
- Kayma yolu

Aşınma direncine karbürlerin etkisi

Mikro yapıda bulunan karbürler alaşımların aşınma dirençlerini arttırmada önemli bir rol oynamaktadır [Yıldırım ve ark., 2007]. Yapılan birçok çalışmada mikro yapıda bulunan karbür miktarının artmasının ve karbürlerin irileşmesinin, aşınma miktarını azalttığı ve abrasif aşınma direncini artırdığı belirtilmiştir [Aktaş, 2007; Kılıç, 2007; Buytoz ve Eren, 2007; Çelikyürek, 2006]. Ancak Özay ve Hasçalık TM yöntemiyle ürettikleri bakır matris içerisine C ve Al_2SiO_5 takviyesinin hacim oranının ve uygulanan yükün artmasıyla aşınma oranını artırdığını tespit etmişlerdir. Bu durumun matris-parçacık arasındaki yetersiz ara yüzey mukavemetine bağı olarak mikro çatlaklarla gelişen parçacık ayrılmasından kaynaklandığı belirtilmektedir Özay ve Hasçalık, 2004]. Matris/karbür ara yüzeyinin mukavemeti, karbürler arası mesafe

ve abrasif aşındırıcı ile farklı sertlikteki karbürlerin varlığı da alaşımların abrasif aşınma direncini etkilemektedir. Karbürlerin çok küçük olması ve dağılımının sık olması malzemenin sertliğini arttırdığı gibi aşınma hızını da azaltabilir. Aşındırıcı parçacıkların karbürlerden daha sert olması, aşınma esnasında karbürlerin kesilmesine ve çatlamasına neden olur ve böylece aşınma direncinde bir azalma görülür [Çelikyürek, 2006].

Aşınma direncine matrisin etkisi

Matrisin malzemesi ile yeterli destek sağlanması abrasif aşınma sırasında karbürlerin dökülmesini önleyebilir. Çoğu zaman, ağır abrasif aşınma şartları altında çatlaklar yüksek gerilme yoğunluklarından dolayı önce matris/karbür yüzeyindeki bölgelerde başlamaktadır, Matris fazındaki mikro sertliğin artmasıyla daha iyi abrasif aşınma direncinin elde edilebileceği düşünülebilir. Matris mukavemeti katı eriyik sertleşmesi ile de artabilir. Yüksek mukavemetli matrisin, karbürlere daha iyi destek sağlayacağı ve ince parçacıkların daha erken dökülmesini önleyebileceğini belirten bazı çalışmalar mevcuttur [Çelikyürek, 2006].

Aşınma mekanizmaları

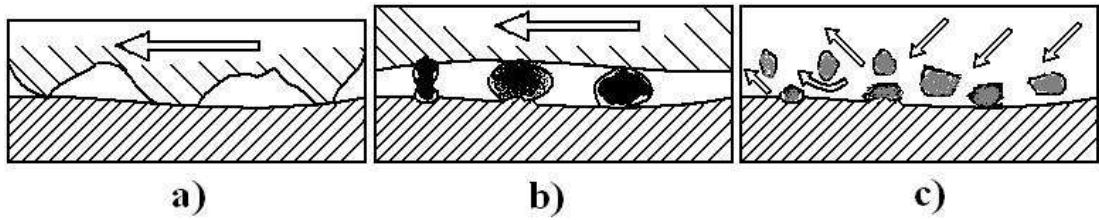
Genel olarak aşınma malzemede dış etkilere bağlı temas eden yüzeylerde oluşan fiziksel ve kimyasal değişimler olarak ifade edilmektedir. Aşınmayı meydana getiren birbirinden farklı altı çeşit aşınma mekanizması vardır. Bunlar;

Abrasif aşınma

Temas eden iki yüzey arasına ortam şartları dolayısıyla dışarıdan giren toz, talaş ve benzeri maddelerin veya malzeme yüzeylerindeki oksitlenmeden dolayı oluşan daha sert parçacıkların etkisi sonucu oluşan hasar olarak tanımlanabilir. Bu sert parçacıklar yüzeyler arasında bir kazıma etkisi oluşturur ve bu etki taşlamaya benzer bir şekilde malzeme kaybına sebep olur. Bu aşınma zamanla artarak devam eder ve hareket yönünde makine elemanlarının yüzeyinde malzeme kaybından ötürü büyük

çizikler ve oyuklar oluşturur. Aşınma esnasında kopan parçalar da bu mekanizmaya dâhil olurlar ve aşınma artarak devam eder [Şafak, 2008].

Abrasif aşınma, iki cisimli ve üç cisimli olmak üzere iki şekilde meydana gelebilir. İki cisimli abrasif aşınma, sert ve pürüzlü bir yüzeyin kendisinden daha yumuşak bir malzeme ile temas ettiğinde, kuvvet ve basıncın etkisi ile yumuşak malzeme yüzeyinde oluşan çizilmeler veya küçük parçacıkların kaldırılması ile oluşan malzeme kayıplarıdır. Örnek olarak, toprak işleme aletleri, eğeleme ve zımparalama işlemleri verilebilir. Üç elemanlı abrasif aşınma ise, iki yüzey arasında kayma ve yuvarlanma hareketi yapan aşındırıcının, yüzeyden malzeme kaldırmasıyla oluşan malzeme kayıpları olarak ifade edilebilir. Sekil 6.3’de abrasif aşınma mekanizmaları şematik olarak gösterilmektedir.



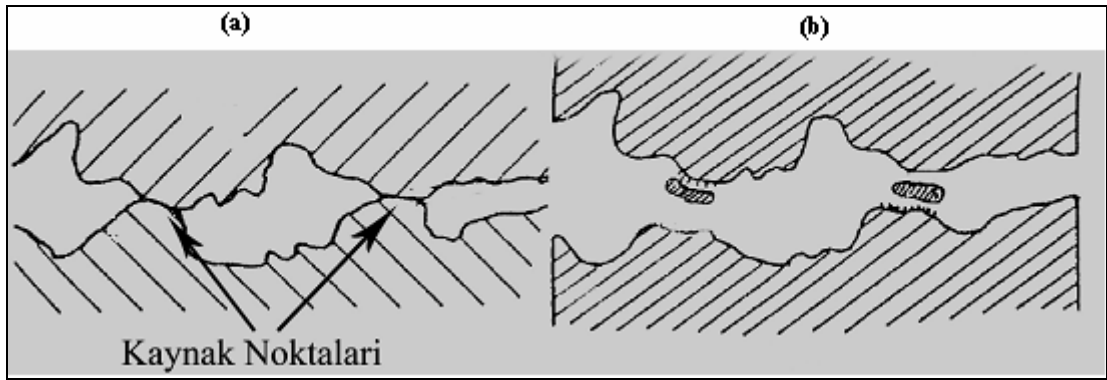
Sekil 6.3. Abrasif aşınma mekanizmaları a) İki elemanlı abrazyon, b) Üç elemanlı abrazyon c) Erozyon [Halling, 1975; Aktaş, 2007].

Ayrıca, birbirlerine kuvvetli bir şekilde temas eden iki metal yüzeyi arasında düşük titreşim hareketinden dolayı; yüzeylerde bulunan pürüzler, yüzeyden koparak bir aşınma başlatırlar. Yüzeyden kopan parçacıklar oksitlenerek aşındırıcı taneler haline dönüşür ve abrasif aşınma miktarını artırır. Yenme aşınması da denilen bu mekanizma abrasif aşınmanın şiddetli ve etkin bir çeşididir. Genellikle iş makinelerinde, sıkı geçmelerde, kama ve cıvata bağlantılarında görülür [Değirmencioğlu, 2005].

Adhesif aşınma

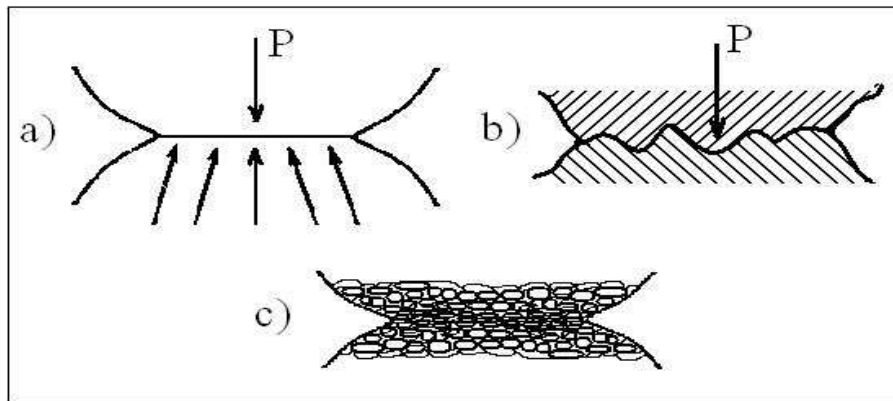
Birbirine temas eden yüzeylerde temas alanları çok küçük olduğu zaman bu noktalarda çok yüksek basınçlar oluşur. Bu yüksek basınç sebebiyle temas

noktalarında malzemeler akma sınırına ulaşır ve bölgesel mikro kaynaklanmalar oluşur (Şekil 6.4-a). İki cisim arasında devam eden bağıl hareket sonucu kaynak bağının kopmasıyla iki cisim birbirinden uzaklaşır ve malzeme eksilmesi oluşur (Şekil 6.4-b). Bu malzeme kaybı adhesif aşınmayı oluşturur. Adhesif aşınma en yaygın aşınma çeşididir. Çoğunlukla kayan mekanizmalar adhesif aşınma sonucu çok hızlı bir şekilde hasara uğramaktadır [Akkurt, 2000].



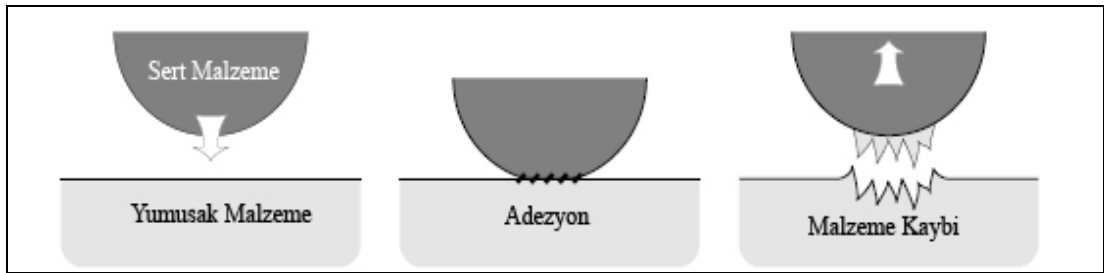
Şekil 6.4. Adhesif aşınma prensibi [Akkurt, 2000]

Adhesif aşınma çoğunlukla kristal kafes yapısı birbirine yakın malzemelerde görülür. Benzer kristal kafes yapısına sahip metallerde hareket ve sürtünme nedeniyle oluşan sıcaklığın artmasıyla birlikte malzeme yüzeylerinde bir bağ ve kaynama oluşur [Aslan, 2002]. Şekil 6.5.'de adhesif aşınmadaki kaynak bağının oluşumu görülmektedir



Şekil 6.5. Adhesif aşınmada oluşan kaynak bağı a) Temas etme b) Plastik deformasyon c) Kaynama [Aktaş, 2007]

Özellikle metalik malzemelerde büyük adhesif aşınmalar meydana gelir. Çeşitli metallerle yapılan aşınma testlerinde metallerde adhesif aşınmanın yumuşak malzemeden sert malzemeye kaynak noktasından geçtiği belirtilmektedir. Bunun sonucunda Şekil 6.6'da görüldüğü gibi yumuşak malzemeden kopan parçaların bir kısmı sert malzemeye transfer olabilir, bir kısmı ise sürtünme yüzeyinde kalabilir ve böylece yüzeyleri aşındırmaya devam edebilir [Stachowiak ve Batchelor, 2005].



Şekil 6.6. Adhesif aşınmada metal transferi [Matik, 2010].

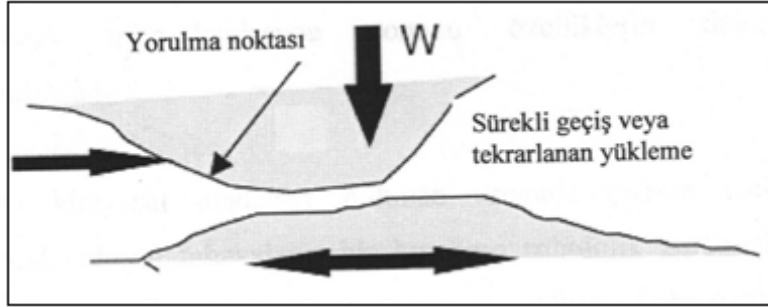
Difüzyon aşınması

Sürtünmeden kaynaklanan sıcaklık yükselmesiyle birlikte temas halinde bulunan yüzeyler arasında temas yüzeylerindeki kristal kafes içinde bulunan atomların atom yoğunluğu yüksek olan bölgelerden düşük olan bölgelere doğru hareket etmesiyle difüzyon oluşmaktadır. Difüzyon aşınması, sıcaklığın artması ve yeterli zamanın oluşması sonucunda sürtünme yüzey bölgesinde atom ve moleküllerin çevreye ya da karşı sürtünme elemanına difüzyon olması esasına dayanır. Bu tür aşınmalar genellikle; fren balatalarında, uzay araçlarında ve takım tezgâhlarında görülür [Değirmencioğlu, 2005].

Yorulma aşınması

Metallerde tekrarlı yükler altında zamanla yorulmalar oluşur. Yorulma aşınması, yüzeylerde çok küçük çukurcuklar ya da kılcal çatlaklar şeklinde başlar. Sürtünmenin etkisiyle yüzeyde plastik şekil değiştirme sebebiyle pekleşme oluşur ve malzeme gevrekleşir. Elastik ve plastik şekil değiştirmelerin devam etmesiyle mikro çatlakların oluşması ve büyümesi gerçekleşir ve dolayısıyla parçacıklar kopar.

Yorulma aşınması iki türdür. Birincisinde, çukurlar çok küçük olup büyüyemezler ve yüzeye yayılmazlar. İkincisinde ise, oluşan çukurlar zamanla büyür ve hasara yol açarlar. Yorulma aşınması, genellikle, rulmanlı yataklarda, dişli çarklarda ve kam mekanizması gibi yüzeylerde oluşur [Değirmencioğlu, 2005].



Şekil 6.7. Yorulma aşınmasının şematik gösterimi [Roberts, 2002; Aktaş 2007].

Erozyon ve kavitasyon aşınması

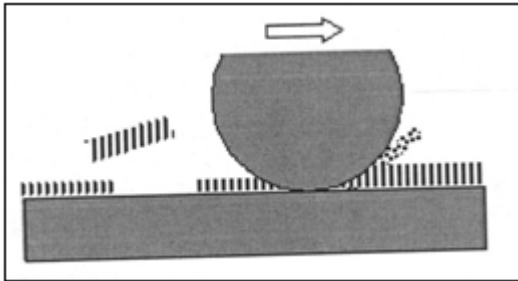
Erozyon; ortam ile malzeme yüzeyi arasındaki hızın çok yüksek olması nedeniyle meydana gelen bozulma olayı olarak tanımlanmaktadır. İçinde katı tanecikler bulunan bir sıvının, katı cismin yüzeyine çarpması ile erozyon meydana gelir. Erozyon aşınması akıcı maddelerin oluşturduğu bir aşınmadır. Sıvılar ve gazların akışları sırasında yüzeyden parçacıklar kopar ve dalgalı bir yüzey meydana gelir. Özellikle doğrusal akımın saptırıldığı ve bozulduğu yerlerde aşınma yüksek olmaktadır. Aşındırıcı parçaların büyüklüğü, hızı, şekli, sertliğe çarpma açısının değeri, erozyon aşınma mekanizmasını etkileyen en önemli faktörlerdir [Odabas, 1987; Kılınç, 1993].

Kavitasyon akışkan sıvılarda, ani basınç düşmesi sonucu gaz kabarcıklar veya boşlukların oluşması şeklinde tanımlanabilir. Sıvı içindeki bu boşluğun darbe şeklinde kapanması sonucunda ani bir basınç ve sıcaklık artışı oluşur ve buna bağlı olarak doğan kimyasal etkileşimlerle malzemede oluşan hasarlar, çukurlaşmalar ve küçük çatlamlarla plastik deformasyonlar şeklinde görülür. Artan malzeme sertliği ile kavitasyon nedeniyle oluşan aşınmaları azalmaktadır. Kavitasyon aşınması

genellikle su türbinleri, su pompaları, buhar türbinlerinde görülmektedir [Değirmencioğlu, 2005].

Tribo-oksidasyon aşınması

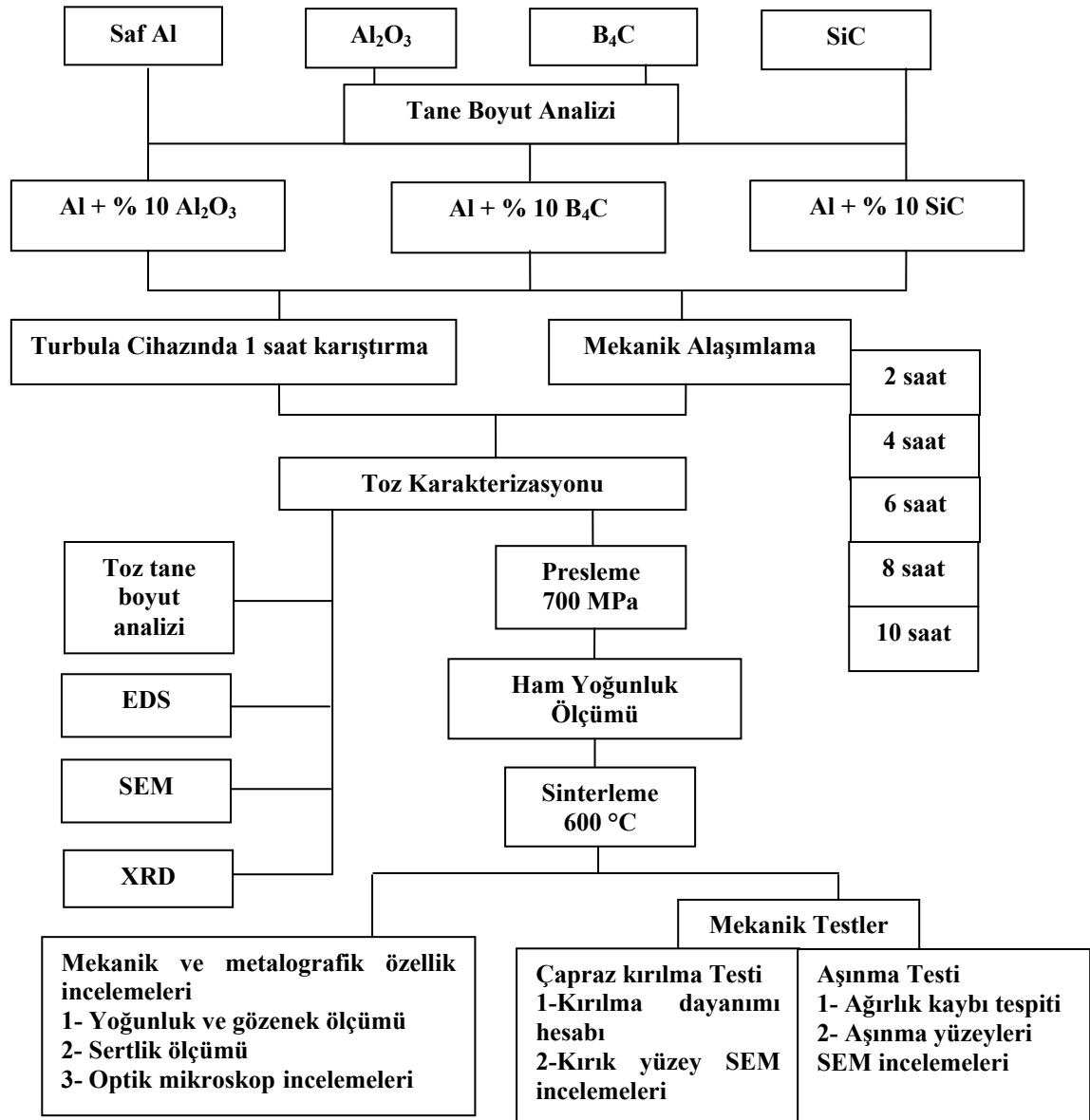
Bu aşınma türünde çalışma ortamı ile malzeme yüzeyi arasındaki etkileşim önemlidir. Yüzeyler hava ile reaksiyona girerek, aşınmanın şiddetli olmasını önleyen oksit ve diğer tabakaları meydana getirir. Özellikle kimyasal maddeler ile temas halinde olan yüzeyler bu maddelerle reaksiyona girerek ince ama sert tabakalar oluşturur. Uygulanan yük altında bu sert tabakalardan sert parçacıklar koparak aşınma parçacıklarını meydana getirir. Temiz kalan temas yüzeylerinde reaksiyon sonucu tekrar bir sert tabaka oluşur, yük altında tekrar kırılır ve bu şekilde devam eder. Bu olay tribolojik zorlama esnasında meydana geldiği için sürtünme oksidasyonu veya tribo- oksidasyonu denilmektedir [Değirmencioğlu, 2005].



Sekil 6.8. Tribo-oksidasyon aşınmasının şematik gösterimi [Aktaş, 2007].

7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada Al matris içerisine ağırlıkça %10 oranında Al_2O_3 , B_4C ve SiC takviye elemanları ayrı ayrı ilave edilmek suretiyle, TK ve MA yapılarak kompozit malzeme üretilmiştir. TK, MA süresi ve farklı takviye elemanlarının kompozitin mekanik özelliklerine etkileri araştırılmıştır. Ayrıca, mukayese amacıyla deneylerde kullanılan saf alüminyum tozdan blok numuneler üretilmiştir. Çalışmayla ilgili deneysel akış şeması Şekil 7.1’de görülmektedir.



Şekil 7.1. Deneysel işlemlere ait akış şeması

7.1. Malzeme ve Metod

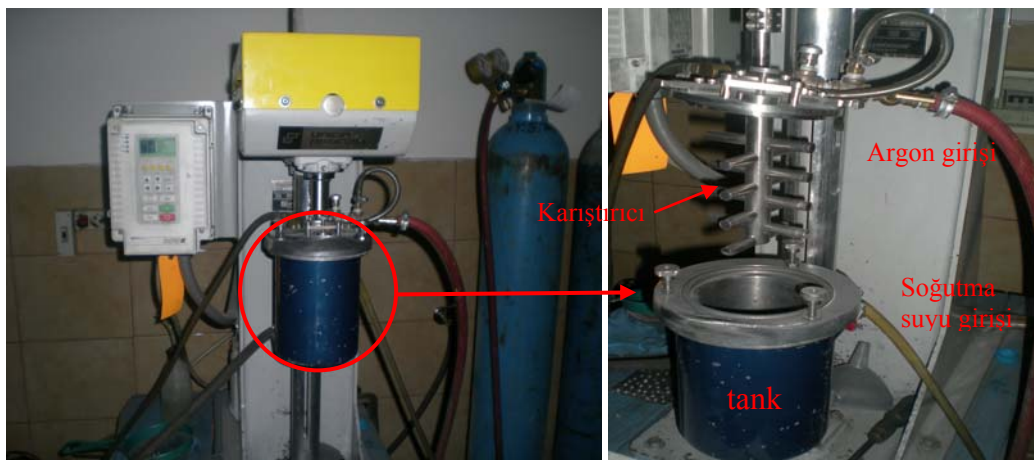
Bu çalışmada matris malzemesi olarak, ECKART Dorn marka gaz atomizasyon yöntemi ile üretilmiş % 99,7 saflıkta ve ortalama toz boyutu 72,24 μm olan alüminyum tozları kullanılmıştır. Takviye elemanı olarak kullanılan Al_2O_3 , B_4C ve SiC seramik tozlar ise, sırasıyla 15,40; 11,80 ve 12,08 ortalama toz boyutuna sahiptir.

7.2. Turbulada Karıştırma

Tozlar ağırlıkça % 10 takviye, % 90 matris olacak şekilde 0,0001 g hassasiyetli XB 220A PRECISA marka terazide tartılarak harmanlandı. Karışım işlemi turbula cihazında 1 saat süreyle bilyesiz olarak gerçekleştirildi.

7.3. Mekanik Alaşımlanma

MA işlemi SZEGVARI modeli dikey bir atritör olan Unionprocess marka 2 litrelik öğütme tankına sahip dönme hızı dijital olarak ayarlanabilen cihazda yapıldı. MA işleminde tank içerisine her defasında 50 g karışım toz 10/1 bilye/toz oranında 10 mm çapında çelik bilye ve 0,75 g yağlayıcı ile birlikte dolduruldu. MA işlemi 350rpm hızda ve akan argon atmosferinde 2, 4, 6, 8 ve 10 saat sürelerde uygulandı. Isınmayı önlemek için tank akan soğuk su ile sürekli soğutuldu. Resim 7.1’de MA cihazının resmi görülmektedir.



Resim 7.1. Mekanik alaşımlama cihazı

TK ve MA teknikleriyle üretilen toz numunelerin üretim özellikleri Çizelge 7.1’de verilmiştir. Deneylerde kullanılmak üzere her bir numune için ayrı ayrı 4’er adet aşınma ve 4’er adet’ te kırılma numunesi üretilmiştir.

Çizelge 7.1. Deneylerde kullanılan tozlara ait üretim özellikleri

Sıra no	Takviye malzemesi (%10 ağı.)	Matris malzemesi	Üretim şekli	Alaşım süresi (saat)
1	Al ₂ O ₃	Al	TK	1
2			MA	2
3			MA	4
4			MA	6
5			MA	8
6			MA	10
7	B ₄ C		TK	1
8			MA	2
9			MA	4
10			MA	6
11			MA	8
12			MA	10
13	SiC		TK	1
14			MA	2
15			MA	4
16			MA	6
17			MA	8
18			MA	10

7.4. Tozların karakterizasyonu

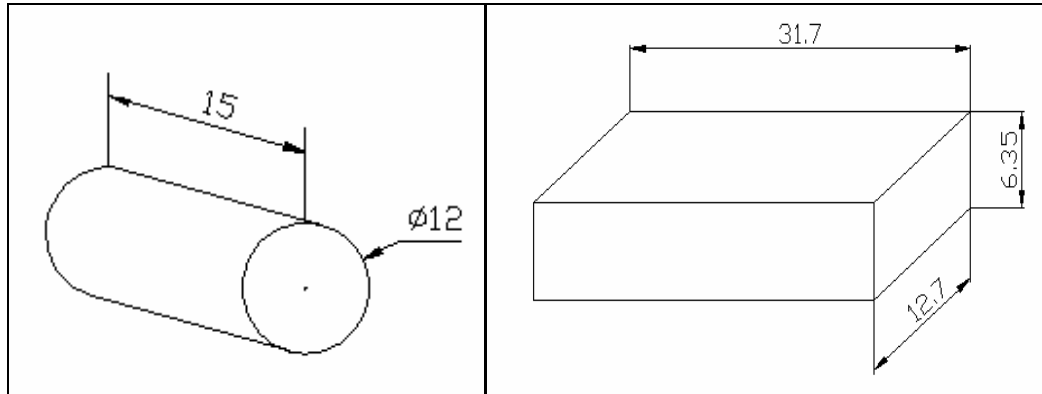
Başlangıç tozları ile TK ve MA işlemi yapılan tozların boyut analizi Malvern Master Sizer-E Ver. 1.2b cihazında yapıldı. Bu tozların SEM ve EDS incelemeleri JEOL marka JSM-6060LV Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) kullanılarak gerçekleştirildi.

Ayrıca MA sürelerindeki artışa bağlı olarak matris içerisinde ya da matris-parçacık ara yüzeyinde farklı bileşiklerin oluşup oluşmadığını belirlemek için XRD analizleri yapıldı. Numunelerin X-ışınları kırınım desenleri, difraktometrede bakır hedefe 45 kV’luk gerilim ve 40 mA’lik uygulanarak elde edilen CuK α ($\lambda=1,5418$ Å) radyasyonu kullanılarak ölçüldü. Ölçümler oda sıcaklığında $20^\circ \leq 2\theta \leq 90^\circ$ aralığı

boyunca 10°/dakika tarama hızı ve 0,02° örnekleme aralığı seçilerek yapıldı. Bu işlemler, Bilkent Üniversitesi UNAM’ da PANalytical X’pert PRO cihazında gerçekleştirildi.

7.5. Tozların preslenmesi

TK ve MA yapılan tozların preslenmesi 60 ton basma kapasiteli MTI FYD-40 marka cihazda 700 MPa presleme basıncında tek yönlü olarak yapıldı. Şekil 7.2’de görüldüğü gibi aşınma deney numuneleri Ø12 x 15 mm boyutlarında olacak şekilde, çapraz kırılma deney numuneleri ise boyutları ASTM B 528-05’e uygun olarak 31,7x12,7x6,35 mm ölçülerinde tek yönlü preslendi. Preslenen blok numunelerin kalıptan kolay çıkmasını sağlamak için kalıp iç yüzeyleri ile zımba dış yüzeyleri etil alkol ve çinko stearat’tan oluşan karışım ile yağlandı.

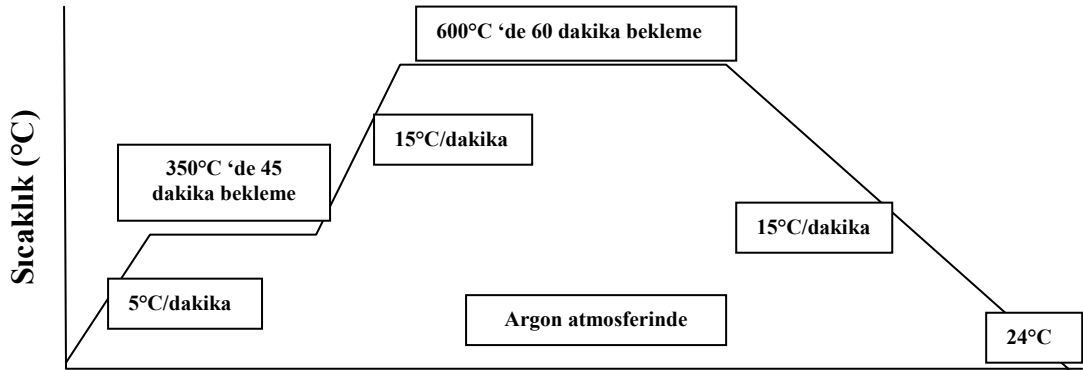


Şekil 7.2. Aşınma ve çapraz kırılma deney numuneleri

7.6. Blok numunelerin sinterlenmesi

Sinterleme işlemi atmosfer kontrollü Carbolite marka tüp fırında akan argon ortamında gerçekleştirildi. Fırın oda sıcaklığında iken blok numuneler grafitten yapılmış bir kayık içerisinde fırının merkezine yerleştirildi. 5 °C/dakika ısınma hızı ile 350 °C’ ye çıkartılıp yağlayıcı olarak kullanılan çinko stearat’ın buharlaşması için 45 dakika bekletildi ve 15 °C/dakika ısıtma hızı ile sinterleme sıcaklığı olarak belirlenen 600°C’ ye kadar ısıtılıp, bu sıcaklıkta 1 saat süre ile bekletildi. Sinterleme

süresi sonunda fırın oda sıcaklığına kadar 15 °C/dakikalık soğutma hızında kontrollü olarak soğutuldu. Isıtma ve soğutma eğrisi Şekil 7.3’ te verilmiştir.



Şekil 7.3. Sinterleme sürecinin şematik gösterimi

7.7. Yoğunluk ve Gözenek Oranının İncelenmesi

Üretilen blok numunelerin sinterleme öncesi ve sonrası yoğunlukları Arşimet prensibine göre 0,0001g hassasiyetli üzerinde yoğunluk kiti bulunan elektronik bir terazide belirlendi. Üretilen kompozit malzemelerin gözenek oranının belirlenmesinde aşağıdaki eşitlik kullanıldı. Burada kompozitin teorik ve sinterleme sonrası ölçülen yoğunlukları kullanılmıştır.

$$\% \text{ Gözeneklilik} = \frac{q_{\text{teorik}} - q_{\text{deneysel}}}{q_{\text{teorik}}} \times 100 \quad (7.1)$$

Burada;

q_{teorik} : Teorik yoğunluk (g/cm^3)

q_{deneysel} : Deneysel yoğunluk (g/cm^3) şeklindedir.

Numunelerin teorik yoğunlukları ise, aşağıda belirtilen karışım kuralı esasına göre hesaplanmıştır.

$$\text{Karışım teorik yoğunluğu} = [\text{ana malz.yoğunluğu} \times 0,9] + [\text{takv. elem. yoğunluğu} \times 0,10]$$

7.8. Mikroyapı İncelemeleri

Sinterlenen numunelerdeki sinterlemeyi ve faz dağılımını görebilmek için, öncelikle numuneler 600–800–1200 meshlik dairesel zımpara kâğıtları ile zımparalandı. Sonra sırasıyla 6, 3 ve 1 μm boyutunda elmas pasta ile parlatma işlemi yapıldı. Numunelere uygun kimyasal dağlayıcı (2 ml HF, 3 ml HCl, 5 ml HNO₃ ve 190 ml H₂O'dan oluşan keller ayırıcı) hazırlandı ve dağlama işlemi 10 saniye süreyle yapıldı. Zımparalama, parlatma ve dağlama işlemlerinin ardından kompozitlerin mikro yapıları Leica DM 4000M markalı Optik Mikroskop ve JEOL marka JSM-6060LV Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile incelendi.

7.9. Sertlik ölçümleri

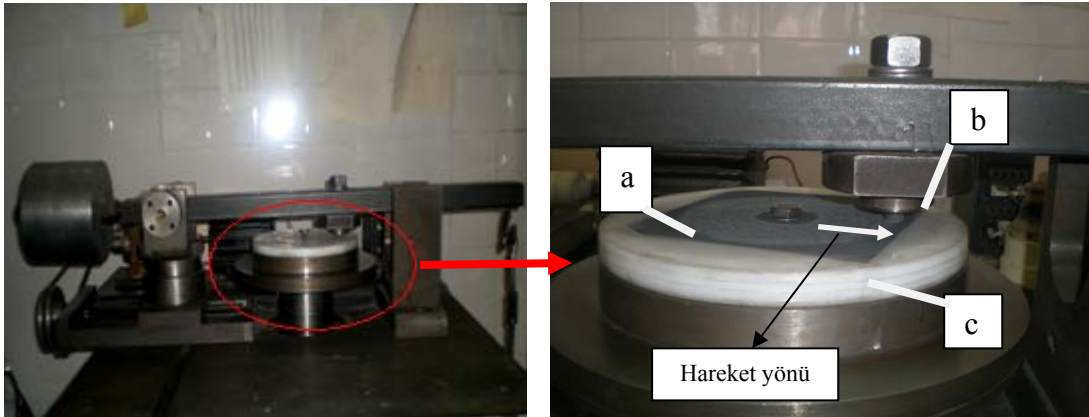
Numunelerin sertlik ölçümleri INSTRON WOLPERT TESTOR marka Brinell sertlik ölçüm cihazında 2,5 mm bilye uç ve 31,25 kgf yük uygulanarak gerçekleştirildi. Her numune için 6'şar adet ölçüm yapıldı ve bu değerlerin ortalaması alındı.

7.10. Çapraz Kırılma Deneyi

Çapraz kırılma deneyi (ÇKD) 5 kN kapasiteli bilgisayar kontrollü Shimadzu marka çekme ve eğme işlemi yapabilen cihaz ile 0,5 mm/dak ilerleme hızında yapıldı. Deney için cihazın alt ve üst çenelerine uygun düzenekler takıldı. Kompozitlerin kırılma dayanımları Eşitlik 6.1'de belirtilen formülle hesaplandı. Deneyler her numuneden 4'er adet yapıldı ve ortalama değerler hesaplandı. Parlatılmış numunelerde dayanım değerleri her zaman daha yüksektir [Saritaş ve ark.,2007]. Ancak gerçek ortam şartlarında malzemeler her zaman metalografik işlemlerle elde edilmiş değerlere sahip olamamaktadır. Bu sebeple sonuçların gerçeğe daha yakın olması amacıyla ÇKD deneyi yapılacak olan numunelere herhangi bir metalografik işlem yapılmamıştır.

7.11. Aşınma Deneyi

Aşınma deneyleri pin on disk abrasif aşınma cihazı kullanılarak oda sıcaklığında kuru ve yağsız kayma koşulları altında gerçekleştirildi. Deneyler 10, 20 ve 30N yük altında $0,2 \text{ m.s}^{-1}$ kayma hızında ve 7,5 m kayma mesafesinde uygulandı. Deneylerde 1200 Mesh SiC abrasif zımpara kâğıtları kullanılmıştır. Abrasif zımpara kâğıtları Resim 7.2’de görüldüğü gibi cihaz üzerinde bulunan dairesel kesitli düz bir zemine sahip olan döner disk üzerine sabitlendi. Cihazın mandrenine bağlanan aşınma numuneleri bahsedilen disk üzerinde aşınma yönüne dik şekilde sürekli olarak içerden dışarıya doğru hareket ettirildi. Böylece numunelerin daima yeni zımpara yüzeyine temas etmesi sağlandı. Aşınma deneyinden önce ve sonra numuneler 0,0001 g hassasiyetinde elektronik terazi ile tartılarak aşınma ile oluşan ağırlık kayıpları bulundu ve aşınma yüzeyleri SEM ile incelendi.



Resim 7.2. Aşınma deney düzeneği

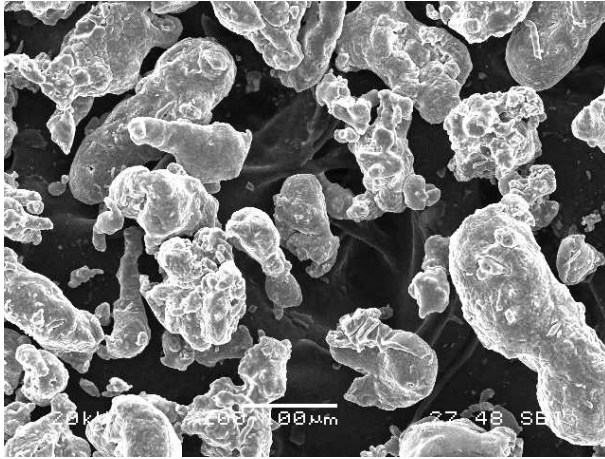
a) SiC zımpara, b) Numune tutucu (mandren), c) Döner disk

8. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

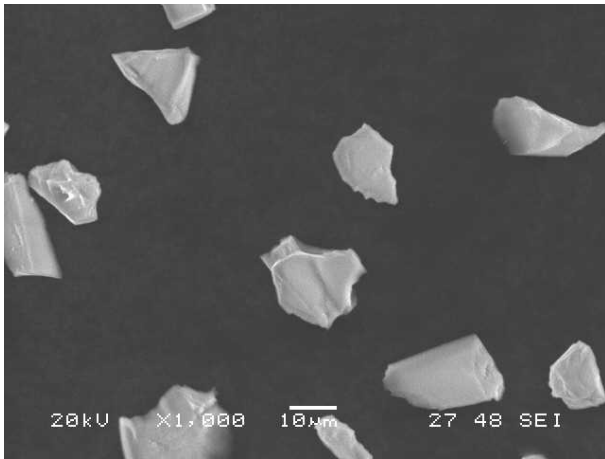
8.1. Toz Karakterizasyonu

8.1.1. Başlangıç tozlarının karakterizasyonu

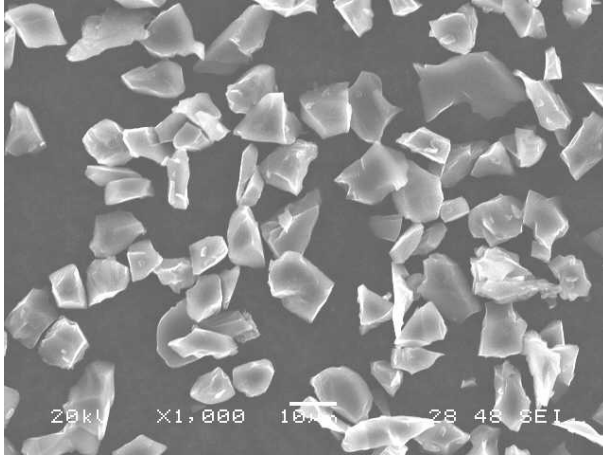
Matris olarak kullanılan alüminyum tozlar Resim 8.1’de görüldüğü gibi çoğunlukla düzensiz şekillidir. Takviye elemanı olarak kullanılan Al_2O_3 , B_4C ve SiC tozları birbirine benzer şekilde, Resim 8.2, 8.3 ve 8.4’de görüldüğü gibi keskin köşeli ve düzensiz bir geometriye sahiptir. Yapılan toz boyut analiz sonuçları Çizelge 8.1’de verilmiştir.



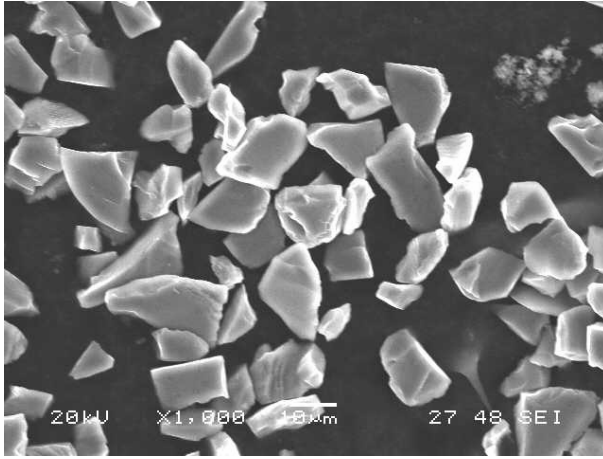
Resim 8.1. Alüminyum tozunun SEM görüntüsü



Resim 8.2. Al_2O_3 tozunun SEM görüntüsü



Resim 8.3. B₄C tozunun SEM görüntüsü



Resim 8.4. SiC tozunun SEM görüntüsü

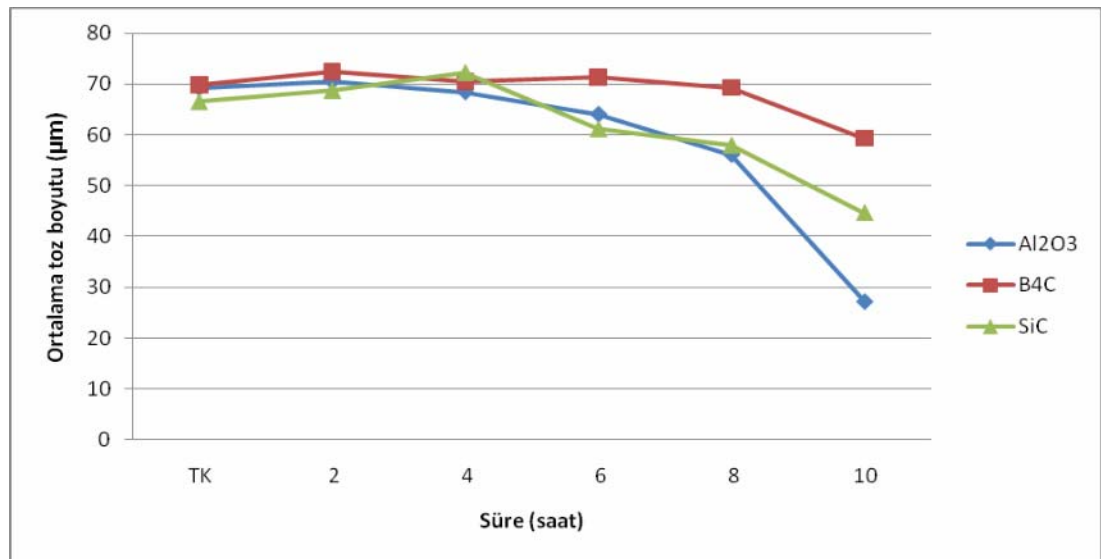
Çizelge 8.1. Başlangıç toz boyut analiz sonuçları

Malzeme	Ortalama parçacık boyutu (µm)
Al	72,24
Al ₂ O ₃	15,40
B ₄ C	11,80
SiC	12,08

8.1.2. TK ve MA sonrası toz karakterizasyonu

Toz boyut ölçümü

Al-Al₂O₃, Al-B₄C ve Al-SiC tozlarının TK ve MA süresine göre toz boyut değişimi Şekil 8.1.'de verilmiştir. Genel olarak tüm numunelerde 2 saatlik MA süresin de TK yapılmış tozlara göre toz boyutlarında az da olsa bir artış olmuştur. Buradaki artış MA sırasında tozlar arasındaki soğuk kaynaklanmadan meydana gelmiştir. 2 ve 4 saatlik MA sürelerinde çok büyük farklılıklar olmadığı görülmekle birlikte 6 ve 8 saat MA sürelerinde toz boyutunda düşmeler görülmektedir. Özellikle MA süresi 10 saate çıktığında bu artış oranı daha da fazlalaşmıştır. Bunun sebebi artan deformasyon ve pekleşmenin sonucunda kırılma mekanizmasının etkili olmasıdır. Geçmişte yapılan çalışmalarda; Arık ve Türker MA yöntemi ile ürettikleri Fe-Fe₃C kompozitlerde alaşımlama süresinin artmasıyla toz boyutunda azalmalar tespit etmişler [Arık ve Türker, 2007]. Benzer şekilde Lee ve arkadaşları' da yaptıkları çalışmada küçük parçaların büyük parçalarla kaynaklaşma eğiliminde olduklarını ve MA süresinin artmasıyla tekrar tane küçülmesinin oluştuğunu tespit etmişlerdir [Lee ve ark., 1998]. Her iki çalışmada da bu olayın nedeni olarak soğuk deformasyon ve pekleşmenin sonucunda kırılmanın oluşması gösterilmiştir.



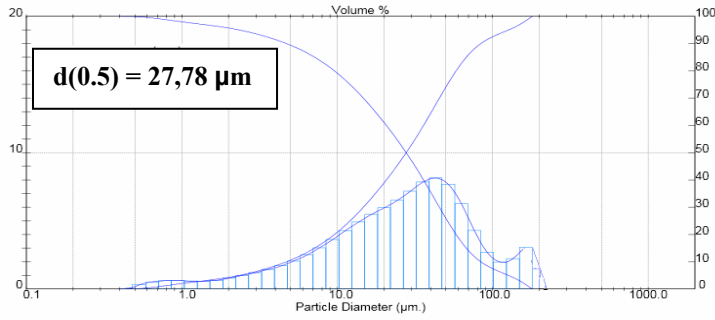
Şekil 8.1. TK ve MA süresine göre toz boyut analiz sonuçları

Al_2O_3 ile parçacık takviyesi yapılan numunelerin 10 saat MA suresinde oluşan toz boyutu diğerk takviye elemanlarına göre daha fazla kulmstur. Bu durum, artan deformasyonla birlikte, iyonik bağlı, gevrek ve kırılgan yapılı Al_2O_3 parçacıklarının da kırılmasından kaynaklanmaktadır. Karbürlerin bir kısmı (ZrC , TiC , VC , NbC gibi) iyonik bağlıyken, bir kısmı da (B_4C , SiC , WC gibi) kovelent bağlıdır. Oksitler ise (Al_2O_3 , Cr_2O_3 , Fe_2O_3 vb.) iyonik bağlı seramik malzemelerdir. İyonlaşma sonucu elektrostatik çekimle oluşan iyonik bağ oldukça gldur. Atomları iyonik bağlı malzemeler çok gevrekler. İyon düzlemlerinin birbirleri üzerinde kaymasıyla farklı iyonların elektrik alanları birbirleriyle zıtlaşır ve bu sebeple oluşan itme kuvveti malzemelerde kırılmalara neden olur [Savařkan, 2004].

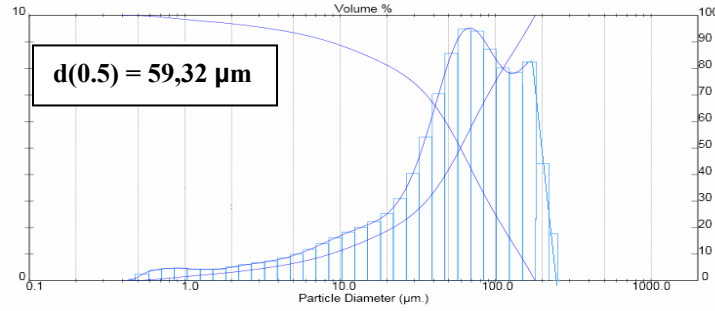
SiC takviyeli numunelerin B_4C takviyeli numunelere göre daha düşük parçacık boyutunda olması ise, SiC seramiğinin nispeten kırılgan ve düşük kırılma tokluğuna sahip [Urtekin, 2008] olmasından kaynaklanabilir.

Benzer şekilde geçmişte yapılan birçok çalışmada, araştırmacılar MA süresinin artmasıyla kullandıkları tozun boyutunda küçülmeler tespit etmiştir [Türker ve ark., 1999; Liu ve Chang, 2002; Angelo ve ark., 2006; Erdem, 2007].

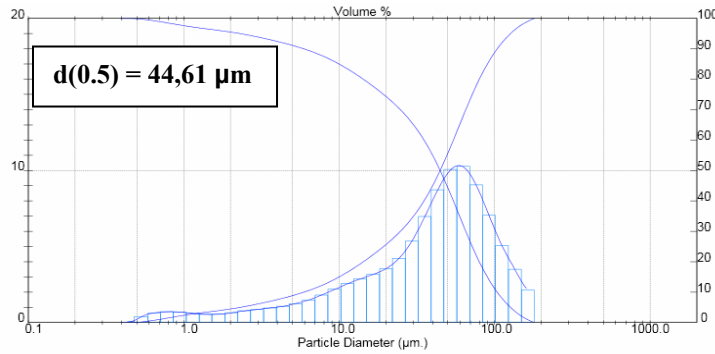
Şekil 8.2’de en düşük toz boyutuna sahip 10 saat MA yapılmış numunelere ait toz boyut analiz diyagramları verilmiştir.



(a) Al + %10 Al₂O₃ takviyeli kompozit tozu



(b) Al + %10 B₄C takviyeli kompozit tozu



(c) Al + %10 SiC takviyeli kompozit tozu

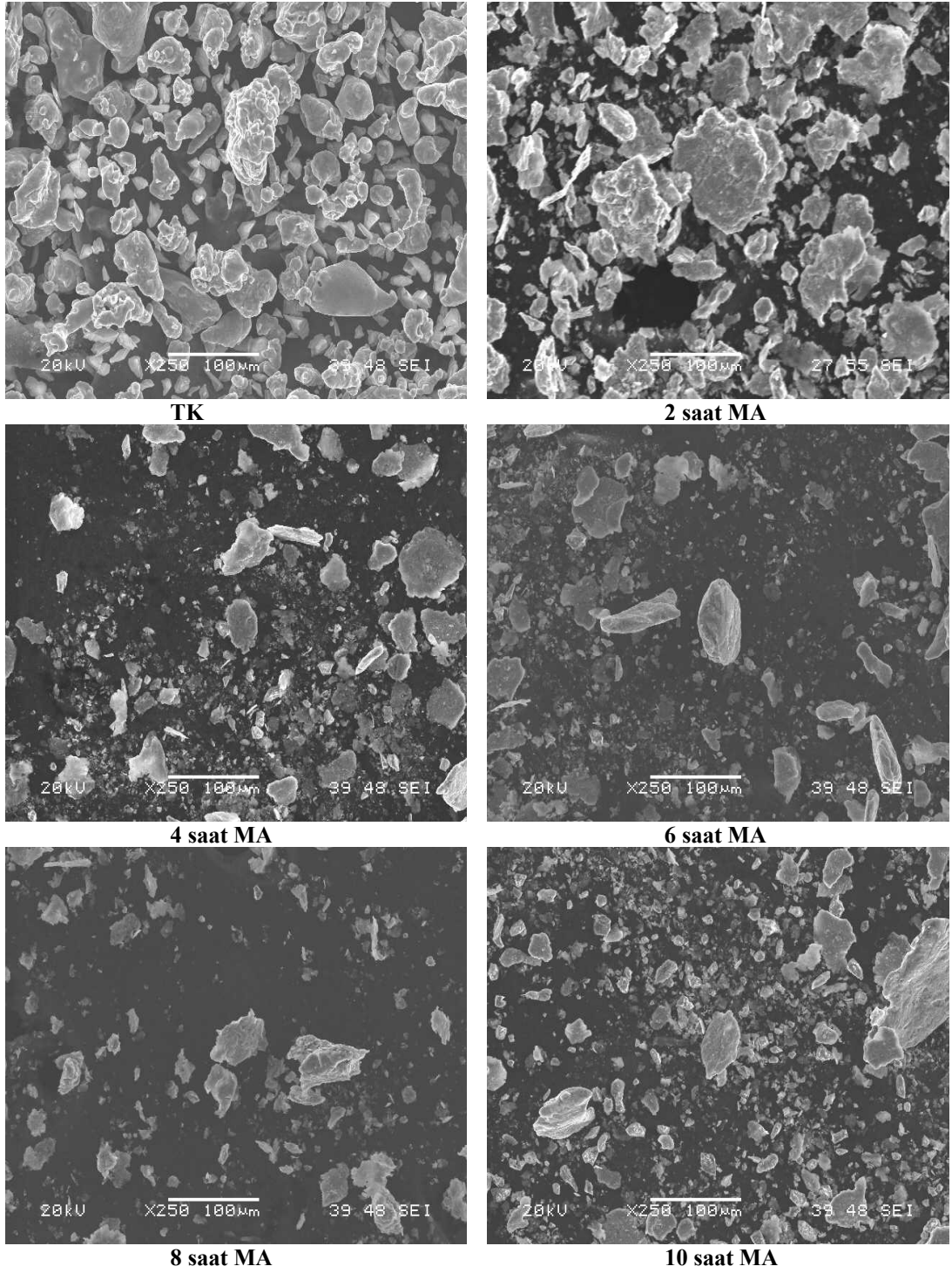
Şekil 8.2. 10 saat MA yapılmış tozların tane boyutu analizi diyagramları

SEM incelemeleri

Genel olarak tüm tozların SEM resimlerinde başlangıçta düzensiz şekilli olmakla birlikte kısmen küresele yakın tozlarda görülmektedir. MA süresindeki artışa bağlı

olarak atritör tank içerisinde oluşan deformasyonun etkisiyle tozlarda boyut ve şekil değişimleri oluşmuştur.

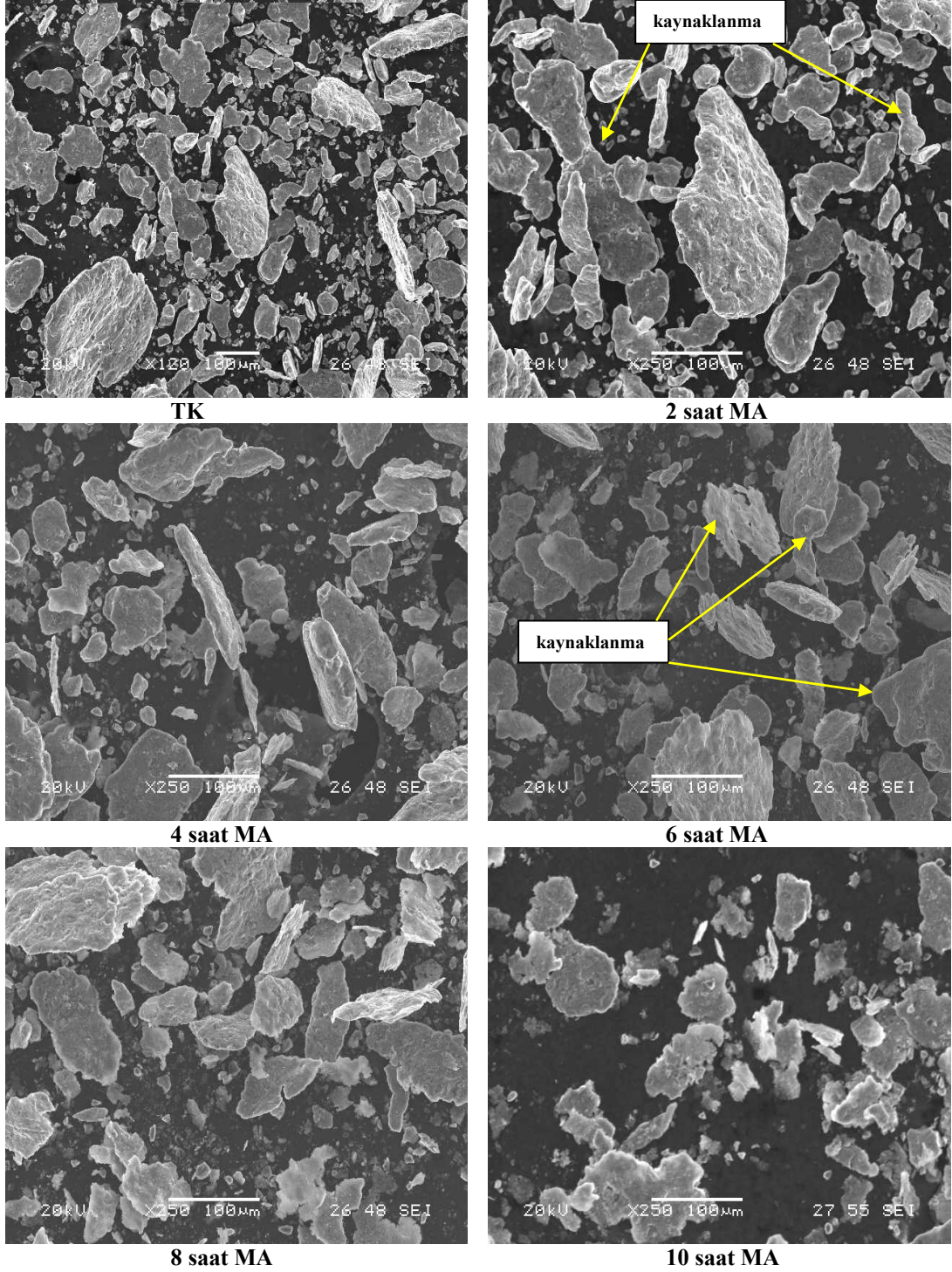
Al-Al₂O₃ tozlar için Resim 8.5'deki SEM görüntülerinde; TK yapılmış toz numunelerde herhangi bir deformasyon etkisi görülmezken, MA yapılmış tüm toz numunelerde öğütme şartlarından kaynaklı deformasyonun etkisi belirgindir. MA'nın ilk aşamalarında yassılaşma ve toz boyutundaki büyüme yumuşak malzemelerin en belirgin özelliğidir [Bostan, 2003]. Bu çalışmada da matris olarak alüminyum kullanılması 2 ve 4 saat MA sürelerinde yassılaşma eğilimini artırmış ve aynı zamanda az da olsa toz parçacık boyutunda artışa neden olmuştur. 6 saat ve sonrasındaki MA sürelerinde tane boyutlarındaki küçülme ve yassılaşmada artmıştır. Özellikle MA süresinin 10 saate çıkmasıyla tüm numunelerde toz boyutları iyice küçülmüştür.



Resim 8.5. Al + %10 Al₂O₃ tozlarına ait SEM görüntüleri

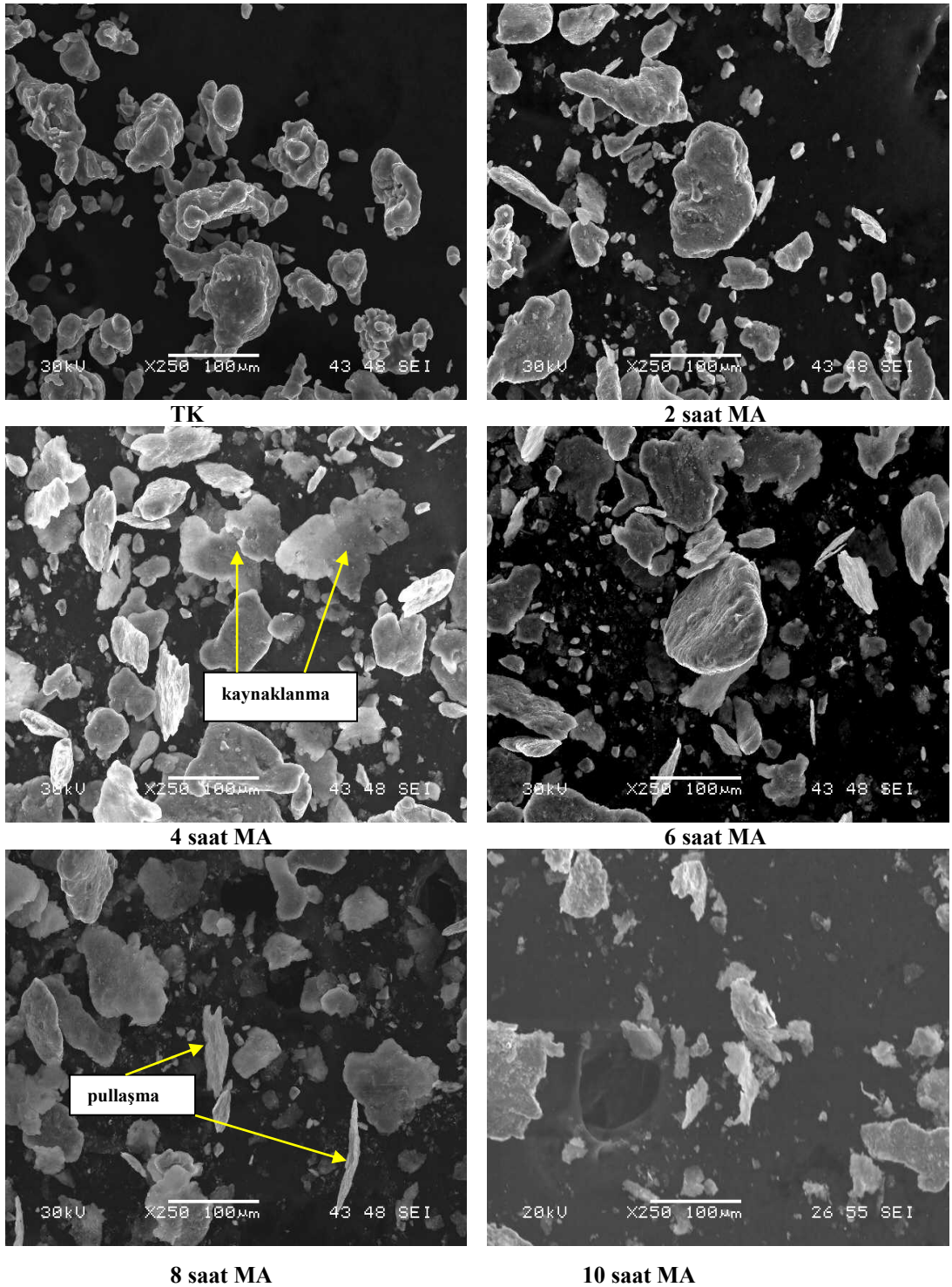
Resim 8.6'daki Al-B₄C tozlarda 6 saate kadar MA sürelerinde toz boyutu kısmen artmış ve 8 saat sonrası MA sürelerinde düzenli olarak düşmüştür. MA süresinin artmasıyla toz şekilleri pul halini alarak yassılaşıma artmıştır. Özellikle 10 saat MA

yapılmış numunelerde artan soğuk deformasyon ve pekleşmenin de etkisi ile toz boyutları nispeten daha düşüktür.



Resim 8.6. Al + %10 B₄C tozlarına ait SEM görüntüleri

Resim 8.7’de SEM resimleri verilen Al-SiC tozlarda 4 saate kadar MA sürelerinde kısmen kaynaklaşmalara bağlı tane büyümesi oluşmuştur. MA süresinin daha da artmasıyla tane boyutları küçülerek pullaşma ve yassılaşıma artmıştır.

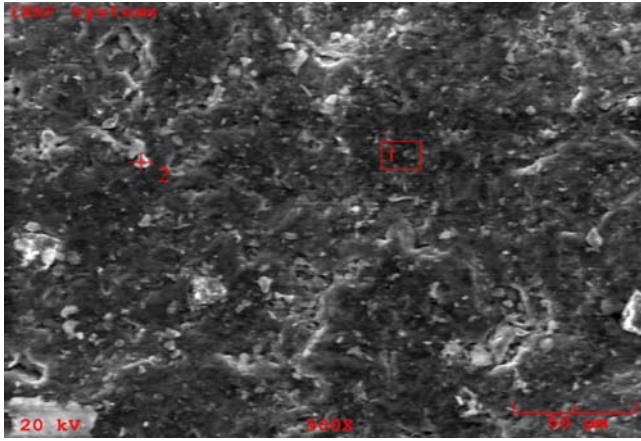


Resim 8.7. Al + %10 SiC tozlarına ait SEM görüntüleri

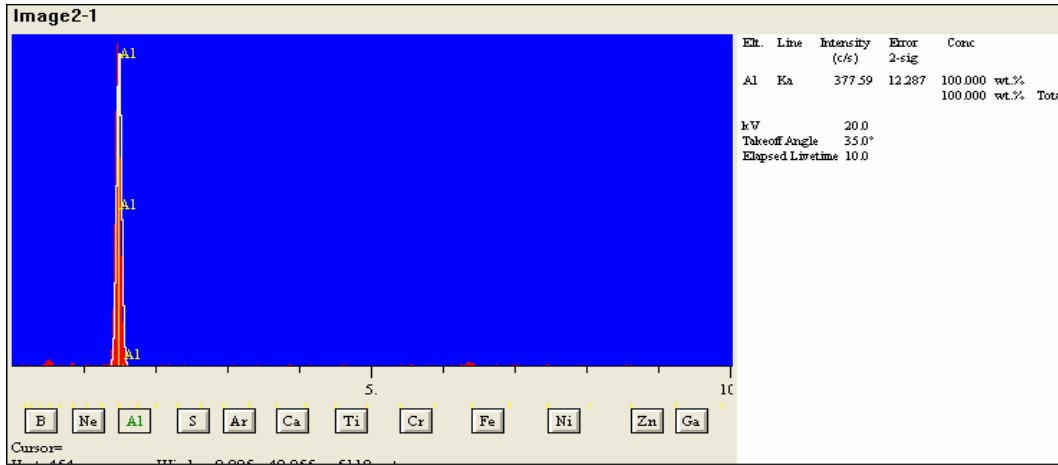
8.1.3. MA numunelerin EDS incelemeleri

Al-Al₂O₃, Al-B₄C ve Al-SiC tozlarının mekanik alaşımlanması sırasında herhangi bir reaksiyonun ve kirlenmenin olup olmadığının tespiti için 2 ve 10 saat mekanik alaşımlanan tozların yüzeylerinden EDS analizleri yapıldı. EDS sonuçlarında Al ve takviye elemanlarının dışında başka bir faza rastlanmadı.

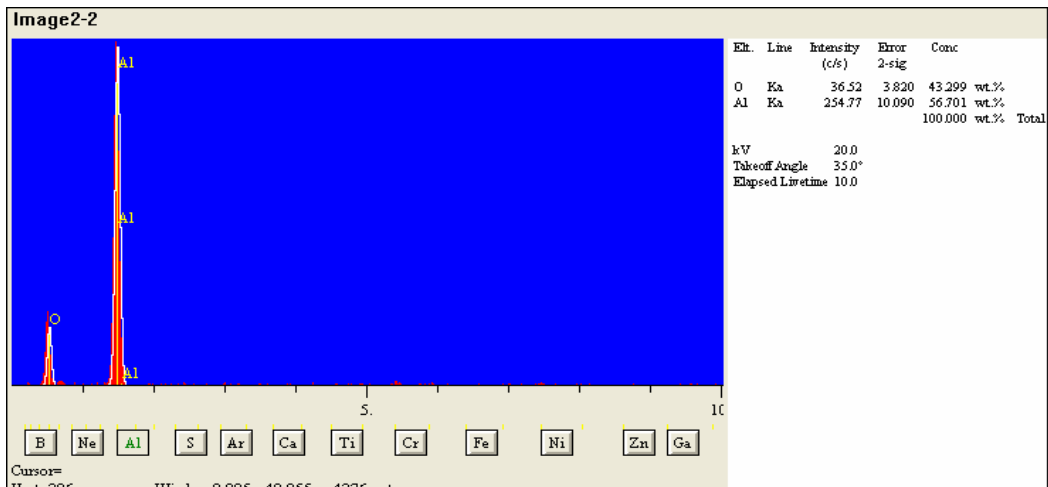
EDS analizleri Resim 8.8-8.13'te görülmektedir. EDS analizlerinden tüm numunelerde saf Al matris tozları üzerine gömülmüş takviye elemanı tozları tespit edildi. Dolayısıyla matris ile takviye elemanı arasında mekanik bir kilitleme mekanizmasının olduğu ve mekanik alaşımlama işleminin gerçekleşmiş olduğu belirlendi.



(a) Al matris toz üzerinden EDS analizi alınan noktalar

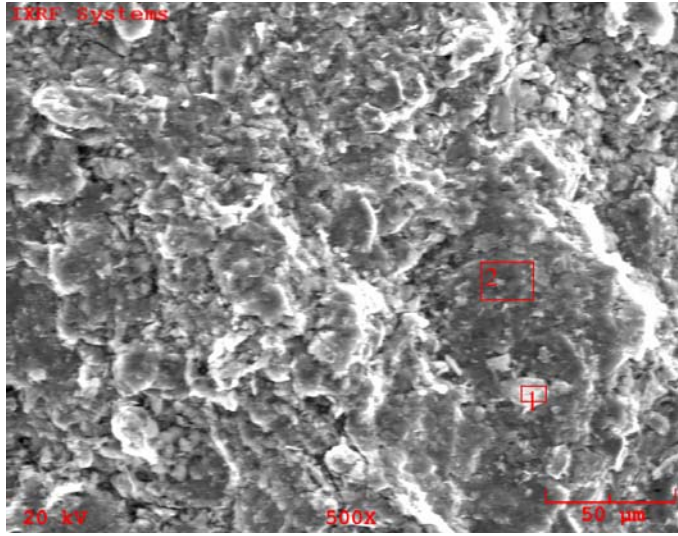


(b) 1 nolu nokta Al matris tozu

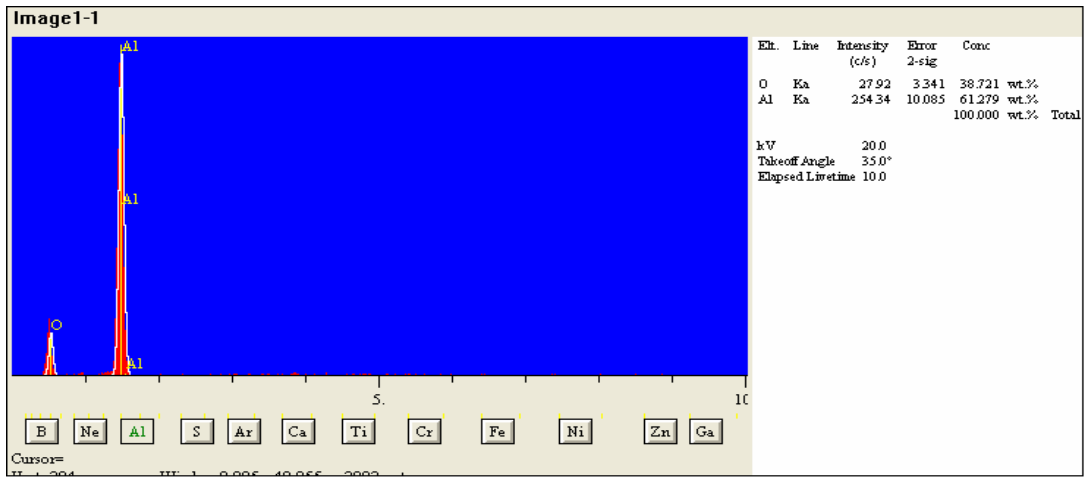


(c) 2 nolu nokta Al₂O₃ parçacık tozu

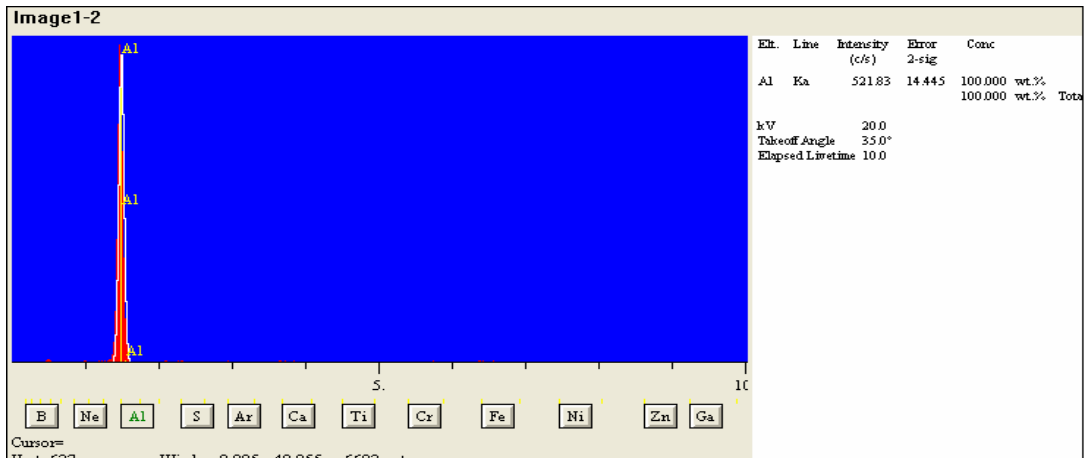
Resim 8.8. 2 saat MA yapılmış Al-Al₂O₃ tozun SEM resmi ve EDS analizleri



(a) Al matris toz üzerinden EDS analizi alınan noktalar

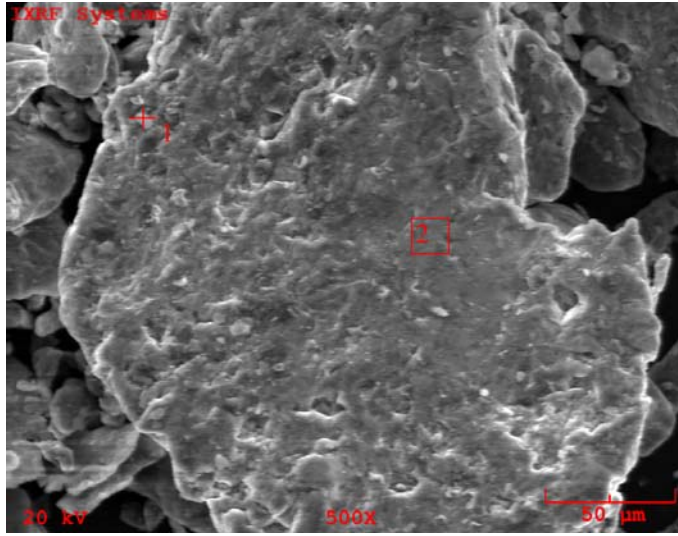


(b) 1 nolu nokta Al_2O_3 parçacık tozu

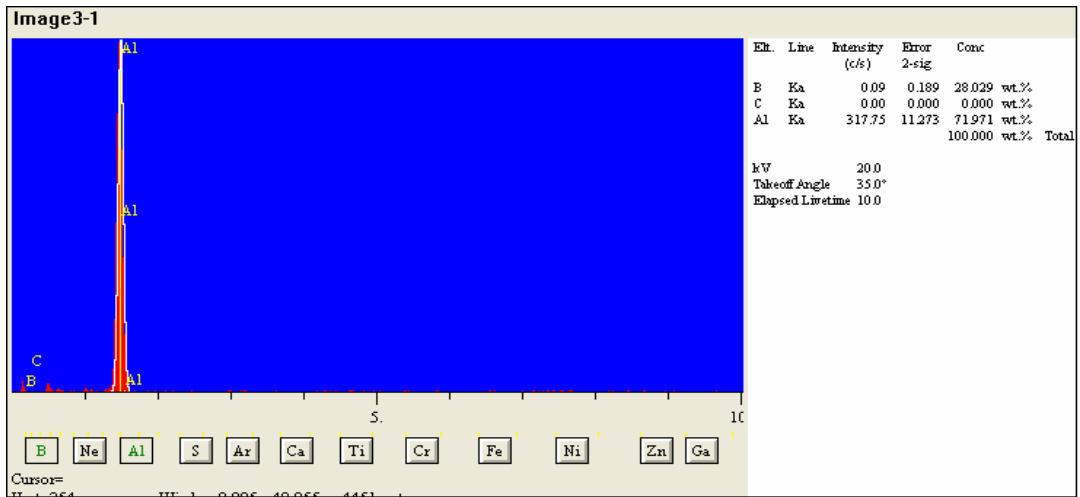


(c) 2 nolu nokta Al matris tozu

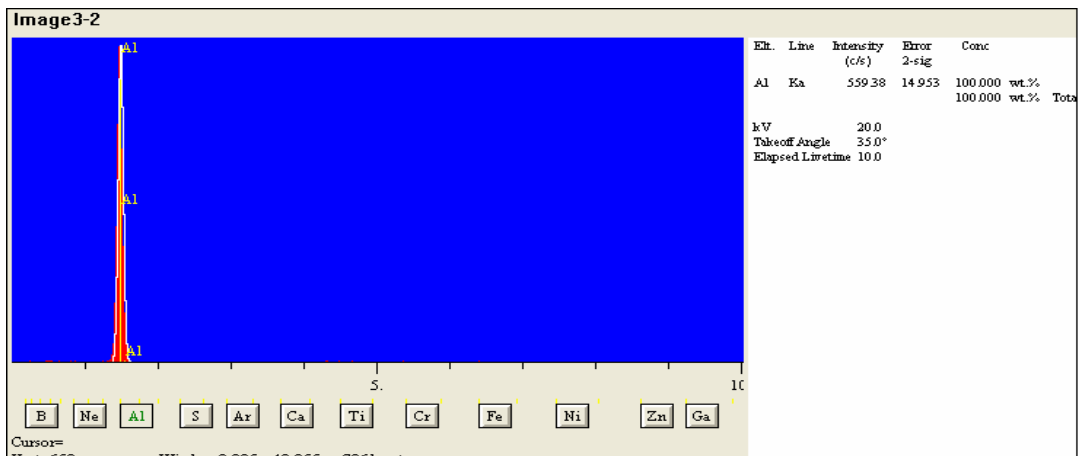
Resim 8.9. 10 saat MA yapılmış Al- Al_2O_3 tozun SEM resmi ve EDS analizleri



(a) Al matris toz üzerinden EDS analizi alınan noktalar

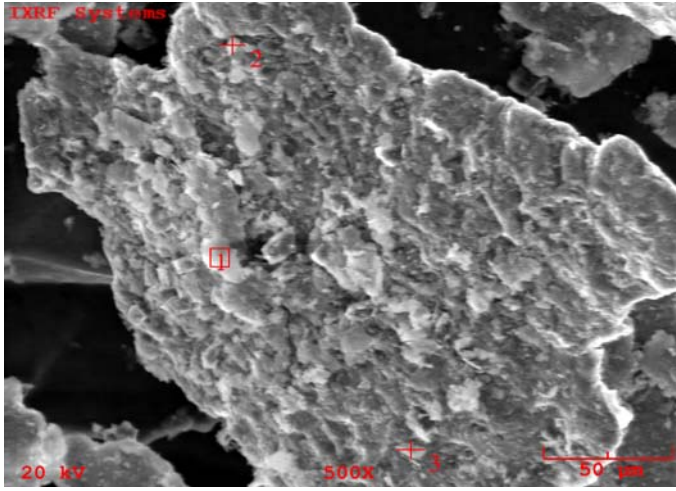


(b) 1 nolu nokta B_4C parçacık tozu

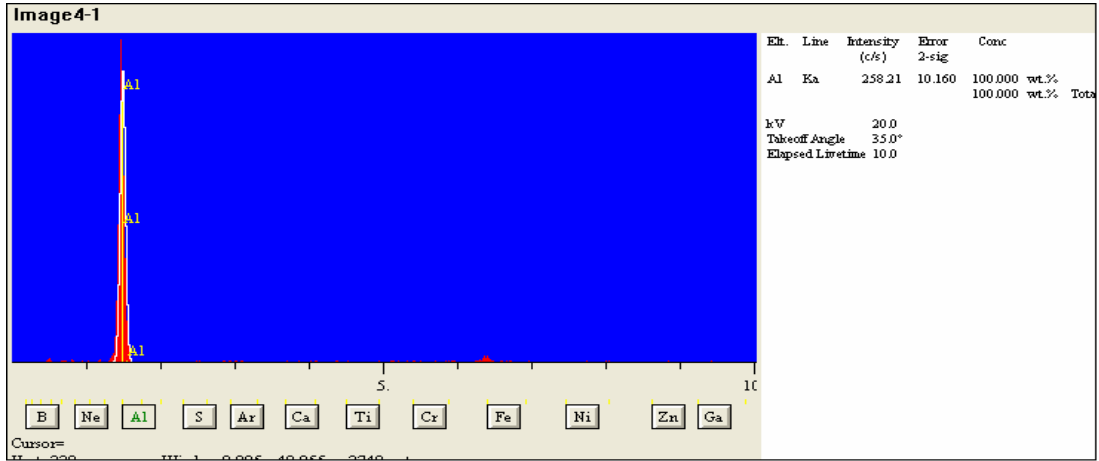


(c) 2 nolu nokta Al matris tozu

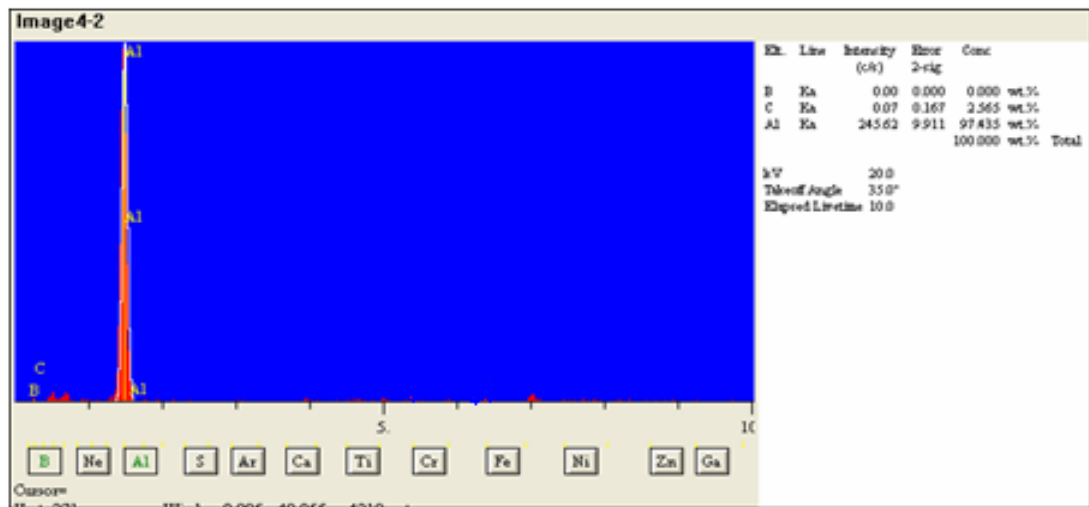
Resim 8.10. 2 saat MA yapılmış Al- B_4C tozun SEM resmi ve EDS analizleri



(a) Al matris toz üzerinden EDS analizi alınan noktalar

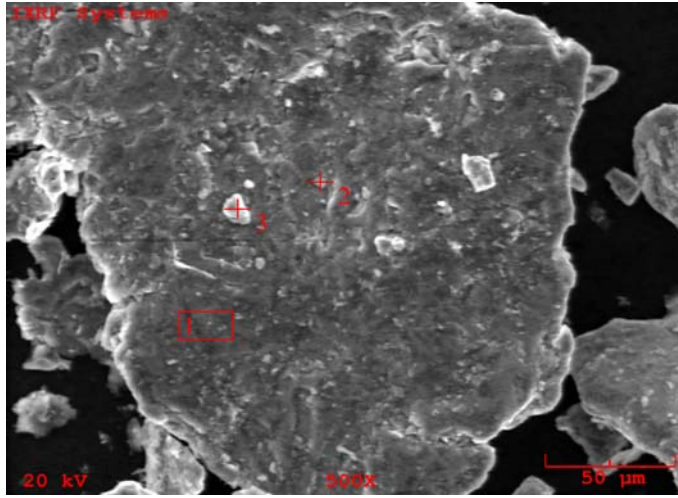


(b) 1 nolu nokta Al matris tozu

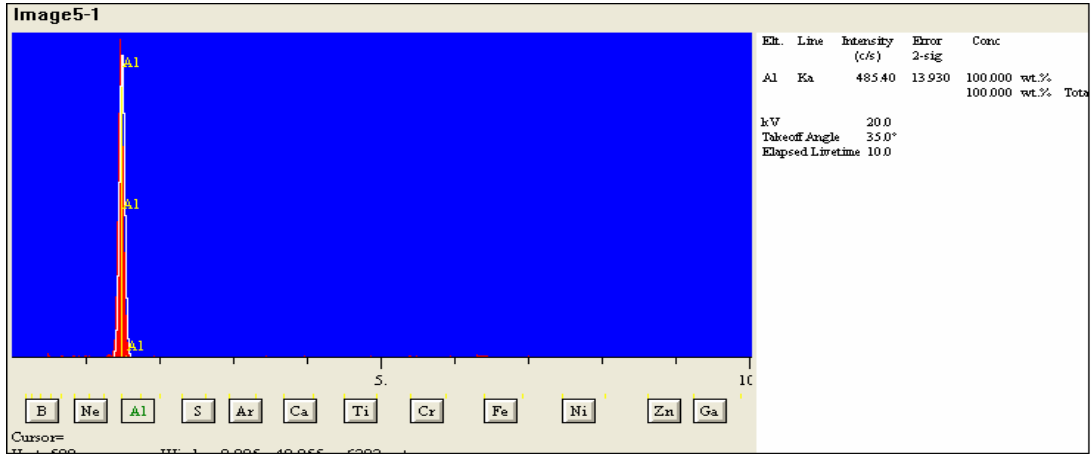


(c) 2 nolu nokta B₄C parçacık tozu

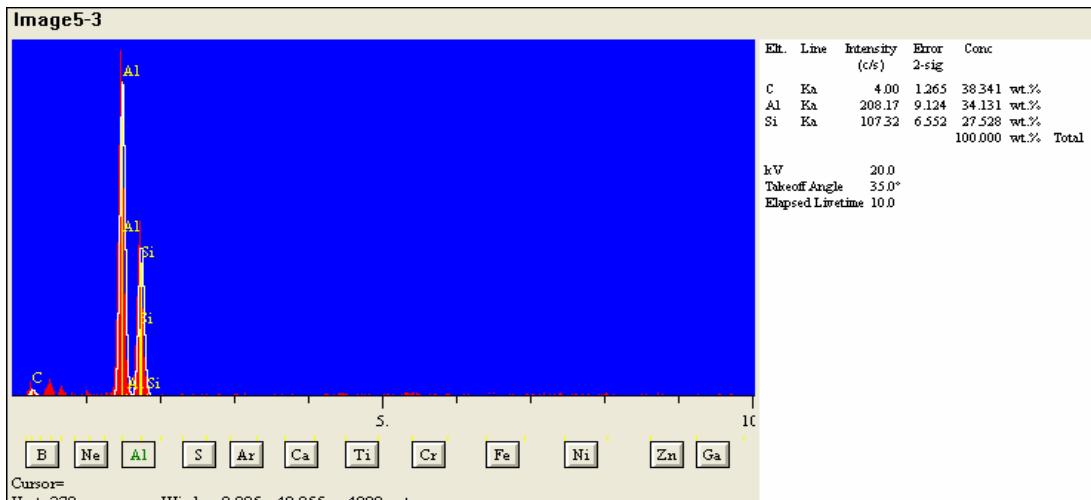
Resim 8.11. 10 saat MA yapılmış Al-B₄C tozun SEM resmi ve EDS analizleri



(a) Al matris toz üzerinden EDS analizi alınan noktalar

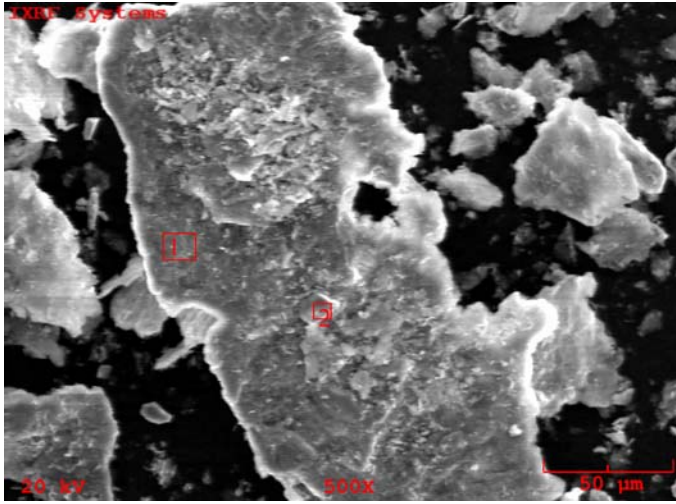


(b) 1 nolu nokta Al matris tozu

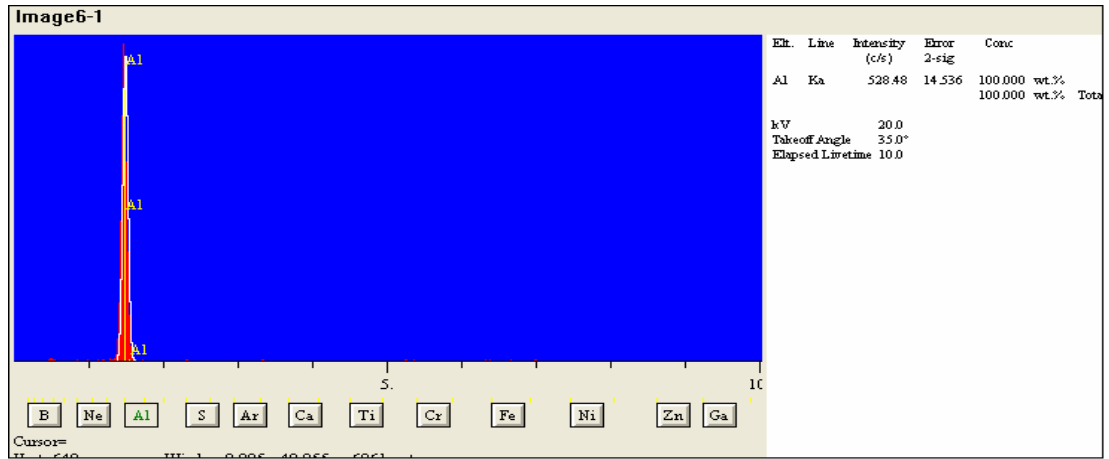


(c) 2 nolu nokta SiC parçacık tozu

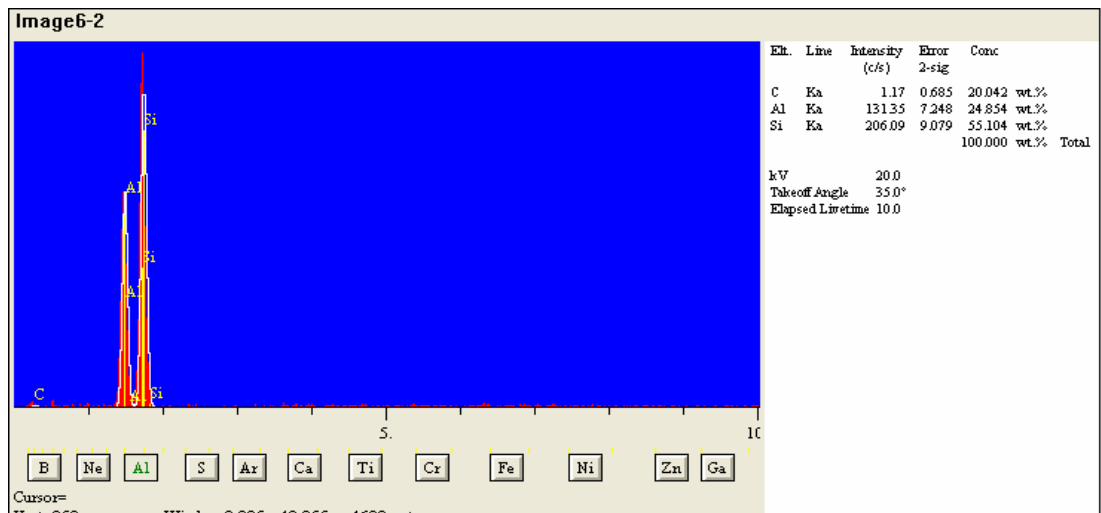
Resim 8.12. 2 saat MA yapılmış Al-SiC tozun SEM resmi ve EDS analizleri



(a) Al matris toz üzerinden EDS analizi alınan noktalar



(b) 1 nolu nokta Al matris tozu



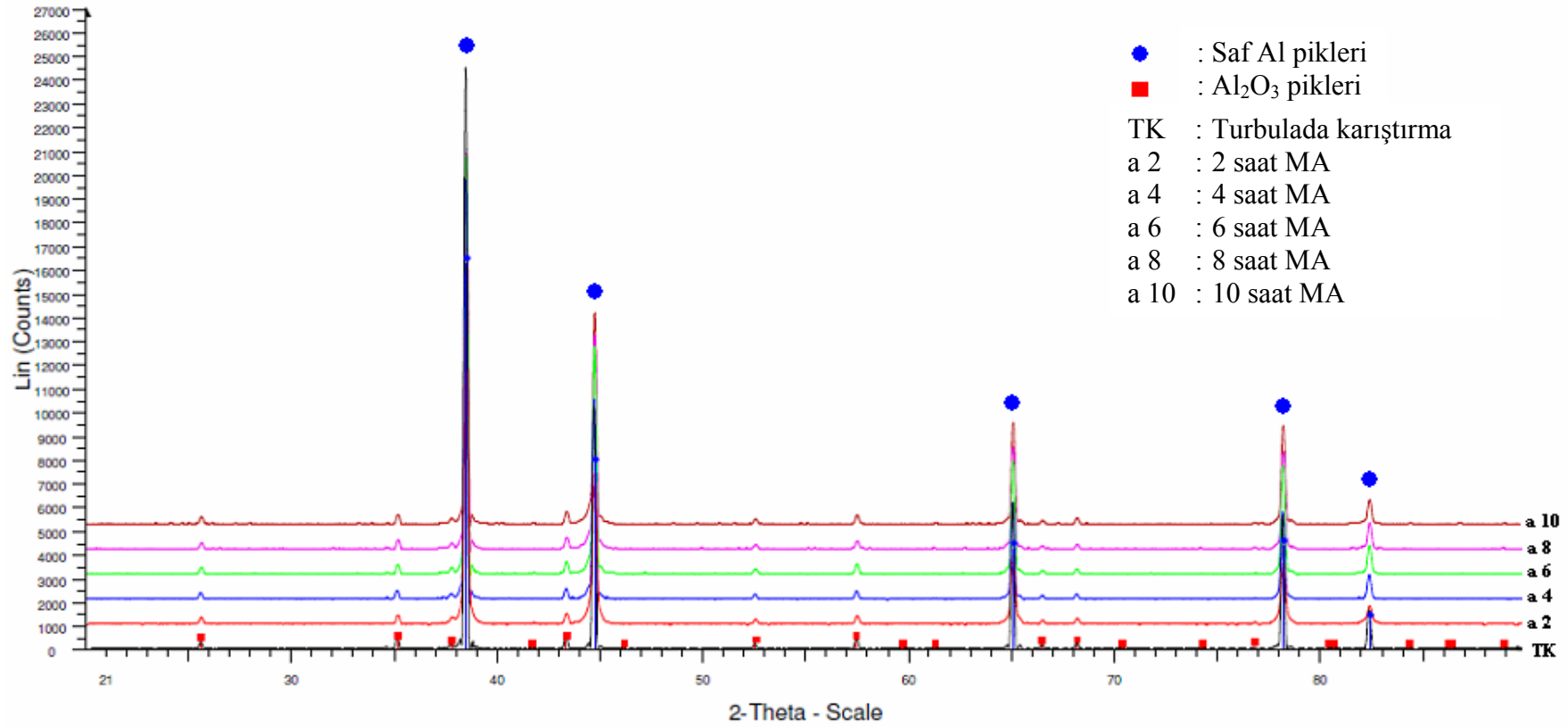
(c) 2 nolu nokta SiC parçacık tozu

Resim 8.13. 10 saat MA yapılmış Al-SiC tozun SEM resmi ve EDS analizleri

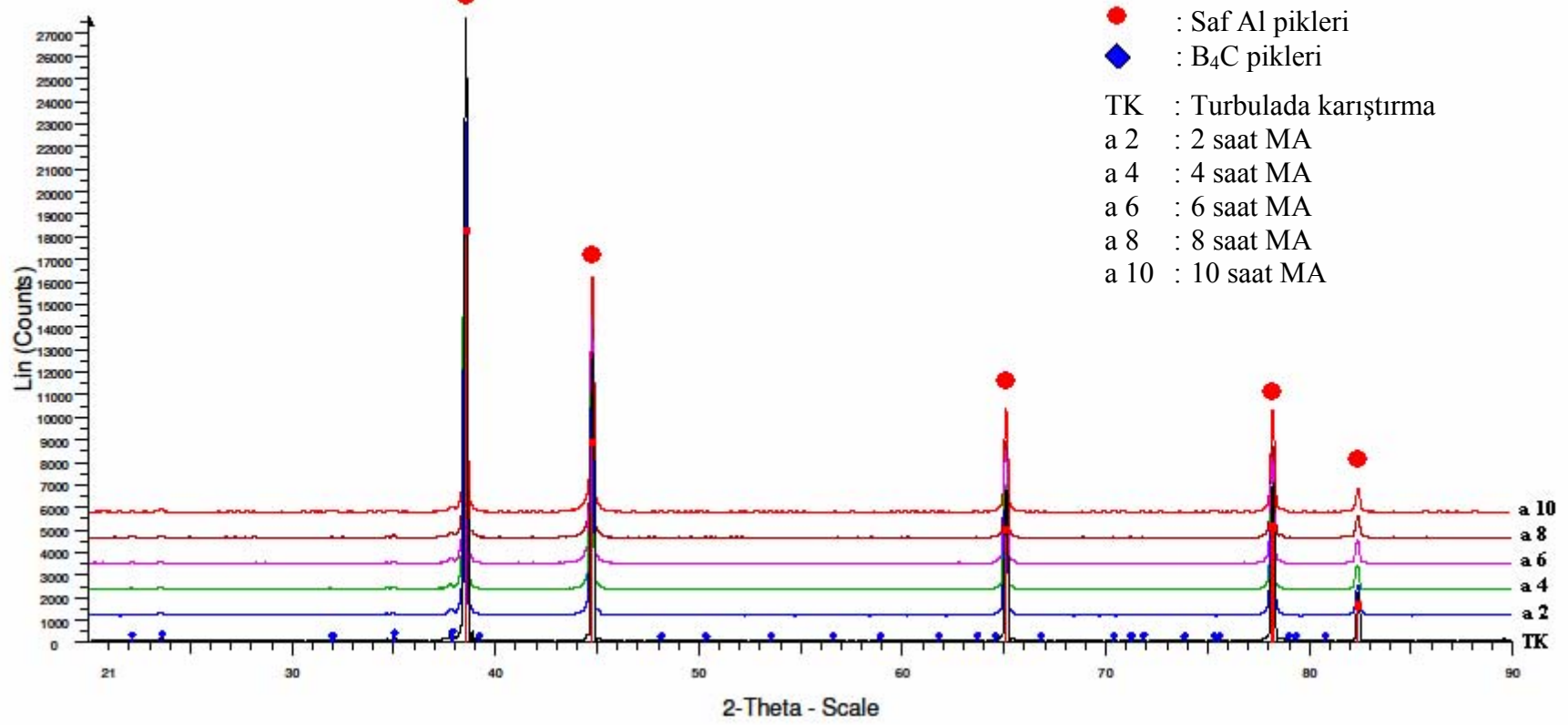
8.2. XRD İncelemeleri

XRD sonuçları Şekil 8.3, 8.4 ve 8.5'te verilmiştir. Sonuçlarda temel Al pikleri ve takviye elemanlarına ait piklerin dışında herhangi bir pik görülmemektedir. Bu durumda istenmeyen herhangi bir reaksiyon ürününün oluşmadığı belirlenmiştir. Benzer şekilde Diler ve İpek'in çalışmasında, Al-B₄C numunesine 627 °C sıcaklık ve 160 saatlik bir sürede sinterleme işlemi uygulandıktan sonra malzemenin Al ve B₄C esas bileşenlerinden oluştuğu ve hiçbir katı hal reaksiyonunun oluşmadığı belirlenmiştir. Ancak sinterleme sıcaklığını Al matris malzemesinin ergime sıcaklığının üstüne çıkardıklarında (677 °C) Al ve B₄C'nin yanında Al₃BC, AlB₂ varlığını tespit etmişlerdir. Sinterleme sıcaklığının artmasıyla farklı reaksiyon ürünlerinin oluşacağını belirlemişlerdir. [Diler ve İpek, 2008].

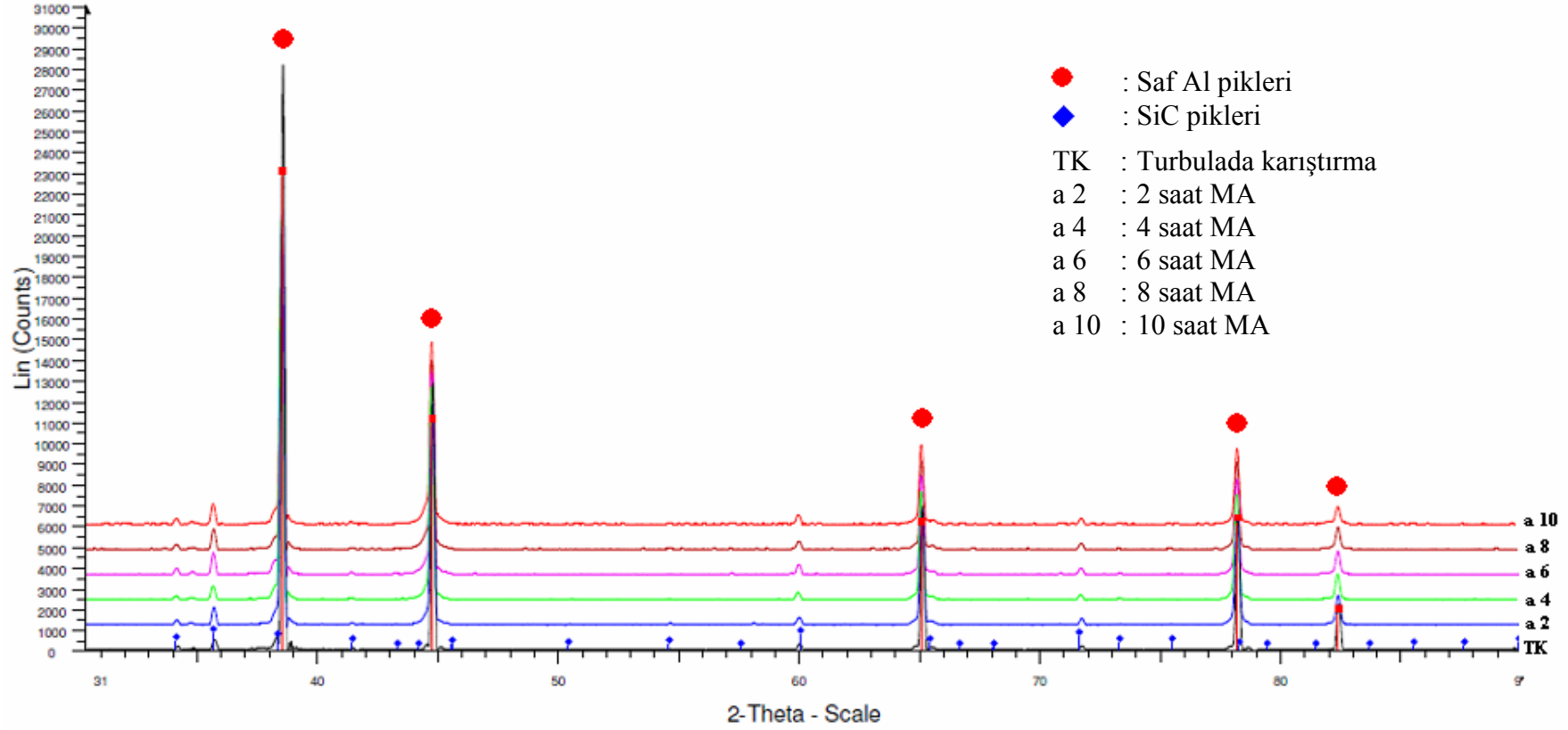
Phzik ve Beaman'da döküm yöntemiyle ürettikleri Al-B₄C sisteminde 600-700 °C arasında AlB₂, 700-900 °C arasında AlB₂ ve Al₄BC fazlarını, 900-980 °C arasında Al₄BC fazını ve 1000-1050 °C arasında ise AlB₂₄C₄ fazı ile mekanik özellikleri olumsuz etkileyen Al₄C₃ fazının oluştuğunu tespit etmişlerdir [Phzik ve Beaman, 1995]. Her ne kadar geleneksel döküm yöntemiyle bu kompozitler ekonomik olarak üretilseler de 1100 °C'nin altında Al'nin B₄C parçacıklarını yeteri kadar ıslatamaması sebebiyle düşük sıcaklıklarda bu kompozitlerin üretimi zorlaşmaktadır [Toptan ve ark., 2009].



Şekil 8.3. Al + %10 Al_2O_3 tozların MA sürelerine göre XRD analizleri



Şekil 8.4. Al +%10 B₄C tozların MA sürelerine göre XRD analizleri



Şekil 8.5. Al +%10 SiC tozların MA sürelerine göre XRD analizleri

8.3. Yoğunluk ve Gözeneklilik

8.3.1. Saf alüminyumun yoğunluk ve gözenek değerleri

Üretilmiş olan blok numunelerin sinterleme öncesi (ham yoğunluk) ve sinterleme sonrası yoğunlukları ölçülmüştür. Saf alüminyum blok numunelerinin sinterleme öncesi yoğunluk değeri % 97,7 olup, sinterleme sonrası yoğunluk değeri ise % 98,4 olarak ölçülmüştür. Bu değerlere göre saf alüminyumun gözenek değeri % 1,6 olarak hesaplanmıştır.

8.3.2. Kompozit numunelerin yoğunluk ve gözenek değerleri

Kompozitlerin MA sürelerine göre yoğunluk değişimleri Çizelge 8.2’de verilmiştir. Genel olarak tüm blok numuneler için elde edilen yoğunluk değerleri incelendiğinde yüksek yoğunluk değerine sahip numuneler üretilmiştir.

Çizelge 8.2. Kompozit blok numuneler için sinterleme sonrası yoğunluk değerleri

MA Süresi	Al+Al ₂ O ₃	Al+B ₄ C	Al+SiC
TK	97,17	97,76	97,45
2	96,11	97,01	96,36
4	95,40	97,38	96,36
6	95,40	96,64	96,72
8	94,70	96,64	96,36
10	92,58	95,52	94,90

TK numuneleri, MA yapılmış tüm kompozit numunelere göre daha yüksek yoğunluklu ve daha az gözeneklidir. Bu durum TK numunelerinde sinterlemenin daha iyi olduğunu göstermektedir. Tüm numunelerde MA süresinin artmasıyla numunelerin yoğunluk değerleri düşerken, gözenek miktarları da kısmen artmıştır. MA süresinin artmasıyla oluşan soğuk deformasyon ve pekleşme, tane boyutunu küçülterek malzemelerin sıkıştırılabilirliğini olumsuz etkilemiştir. Dolayısıyla bu durum, MA süresinin artmasıyla yoğunluğun düşmesine ve gözenekliliğinde artmasına neden olmuştur. Benzer şekilde, yapılan bir çalışmada, tane boyutları

küçüldükçe kompozit bünyesinde topaklanmaların çoğaldığı ve gözeneklerin oluştuğu belirlenmiştir [Özkan, 2007]. Başka bir kaynak kitapta ise, küçük tozların sıkıştırmaya direnç gösterdiği ve bundan dolayı özellikle nano boyutlu tozların sıkıştırılabilirliğinin çok zor olduğu belirtilmiştir [Sarıtış ve ark., 2007]. Genel olarak kompozitlerin yoğunluk değerleri birbirlerine yakın olup, nispeten Al_2O_3 takviyeli kompozitlerin yoğunlukları daha düşüktür. Bu durum yukarıda bahsedilen sebeplerden kaynaklanmaktadır.

Kompozitlerin teorik yoğunlukları, sinterleme öncesi, sinterleme sonrası yoğunlukları ve gözeneklilik değerleri ayrı ayrı Çizelge 8.3, Çizelge 8.4 ve Çizelge 8.5'te verilmiştir. Bütün numunelerde sinterleme öncesi ve sonrası yapılan yoğunluk ölçümlerinde sinterleme sonrası ölçülen yoğunlukların biraz daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu da malzemelerde bir miktar gözenek kapanmasının meydana geldiğini göstermektedir.

Çizelge 8.3'de $Al-Al_2O_3$ numunelerine ait yoğunluk ve gözenek sonuçları görülmektedir. Bu çalışma için en düşük yoğunluk değerleri $Al-Al_2O_3$ numunelerinden elde edilmiştir. En yüksek gözenek değerlerinin de $Al-Al_2O_3$ blok numunelerine ait olduğu açık bir şekilde görülmektedir. En iyi sonuçlar TK numunelerinden elde edilmiştir. MA işlemi yapılmış numunelerde MA süresinin artmasıyla yoğunluk değerleri düşerken, doğal olarak gözenek değerleri de artış göstermiştir. Bu durumun, MA sırasında yüksek deformasyonun etkisiyle tozlarda oluşan pekleşmenin numunelerin presleme esnasında sıkıştırılabilirliğini olumsuz etkilemesinden kaynaklandığı sanılmaktadır.

Çizelge 8.3. Al+%10 Al₂O₃ blok numuneler için yoğunluk ve gözeneklilik değerleri

Al + %10 Al ₂ O ₃ Kompozit numuneler için						
MA süresi	Teorik yoğunluk (g/cm ³)	Ham yoğunluk		Sinterlenmiş yoğunluk		Gözenek (%)
		(g/cm ³)	(%)	(g/cm ³)	(%)	
TK	2,83	2,70	95,40	2,75	97,17	2,8
2		2,69	95,05	2,72	96,11	3,8
4		2,68	94,70	2,70	95,40	4,6
6		2,69	95,05	2,70	95,40	4,6
8		2,66	94,00	2,68	94,70	5,3
10		2,60	91,87	2,62	92,58	7,4

Çizelge 8.4'te görülen Al-B₄C blok numuneler için de yukarıda bahsedilen numunelere benzer sonuçlar olduğu görülmektedir. Ancak bu numunelerin yoğunlukları az da olsa daha yüksek çıkmıştır ve bu çalışma için en yüksek yoğunluk değerleri bu numunelerden elde edilirken doğal olarak en düşük gözenek değerleri de Al-B₄C blok numunelerinden elde edilmiştir. Bu durumun Resim 8.16'da verilen optik mikroskop resimlerinde de görüldüğü gibi, B₄C parçacık boyutlarının dağılımının birbirine çok yakın olması ve matris içerisinde daha homojen bir dağılım sergilemesinden kaynaklandığı sanılmaktadır.

Çizelge 8.4. Al+%10 B₄C blok numuneler için yoğunluk ve gözeneklilik değerleri

Al + %10 B ₄ C Kompozit numuneler için						
MA Süresi	Teorik yoğunluk (g/cm ³)	Ham yoğunluk		Sinterlenmiş yoğunluk		Gözenek (%)
		(g/cm ³)	(%)	(g/cm ³)	(%)	
TK	2,68	2,60	97,01	2,62	97,76	2,23
2		2,59	96,64	2,60	97,01	2,98
4		2,60	97,01	2,61	97,38	2,61
6		2,58	96,26	2,59	96,64	3,35
8		2,58	96,26	2,59	96,64	3,35
10		2,55	95,15	2,56	95,52	4,47

Çizelge 8.5'de verilen Al-SiC blok numuneler için de diğer parçacıklı numunelere benzer sonuçlar elde edilmiştir. Yine benzer şekilde TK numuneleri daha yüksek yoğunluklu ve daha düşük gözeneklidir. MA yapılmış numunelerde ise, 8 saate kadar tüm numunelerin yoğunlukları ve gözenek değerlerinde fazla bir değişiklik

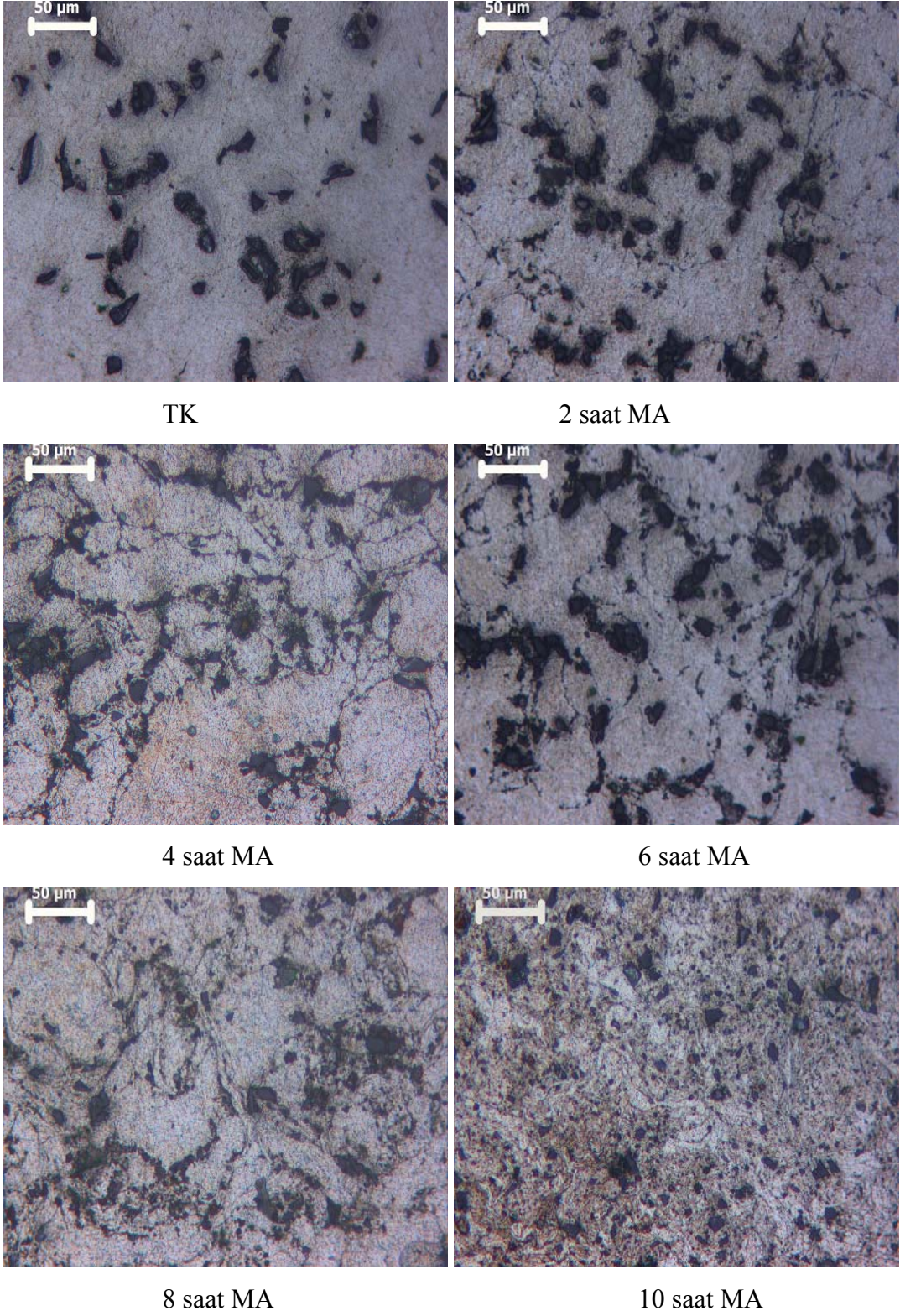
olmamıştır. 10 saat MA işlemi yapılan numunelerde yoğunluk nispeten daha azalmış, gözenek değeri ise yükselmiştir.

Çizelge 8.5. Al+%10 SiC blok numuneler için yoğunluk ve gözeneklilik değerleri

Al + %10 SiC Kompozit numuneler için						
MA Süresi	Teorik yoğunluk (g/cm ³)	Ham yoğunluk		Sinterlenmiş yoğunluk		Gözenek
		(g/cm ³)	(%)	(g/cm ³)	(%)	
TK	2,75	2,64	96,00	2,68	97,45	2,55
2		2,64	96,00	2,65	96,36	3,63
4		2,64	96,00	2,65	96,36	3,63
6		2,64	96,00	2,66	96,72	3,27
8		2,64	96,00	2,65	96,36	3,63
10		2,60	94,54	2,61	94,90	5,09

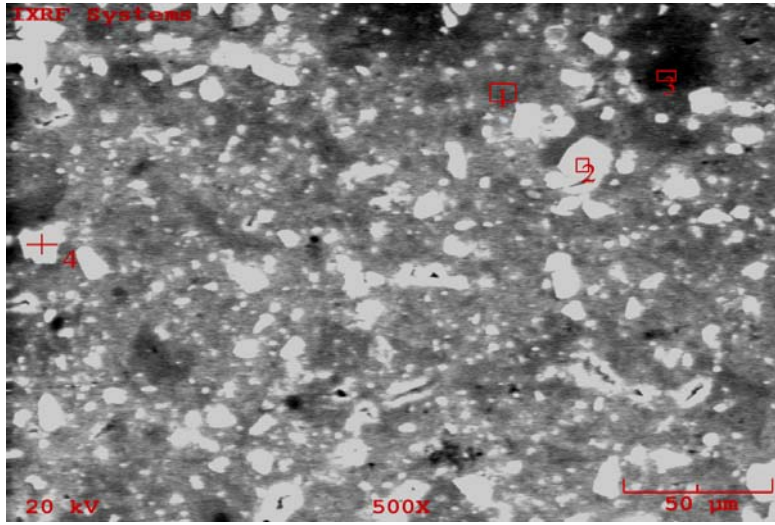
8.4. Mikro Yapı İncelemeleri

Resim 8.14'te Al₂O₃ takviyeli kompozitlere ait mikro yapı resimleri verilmiştir. Bu resimlerde görüldüğü gibi kısa süreli MA'lanmış numunelerin dağılımında az da olsa bir homojenlik görülürken, uzun sürelerde ise dağılım tamamen homojen hale gelmiştir. Tüm numunelerin parçacık dağılımı homojene yakındır. TK yapılmış numunede tane sınırları kaybolmuşken, MA yapılmış numunelerde kısmen tane sınırları belirgindir. 2, 4, 6 ve 8 saat süreyle MA işlemi yapılmış numunelerde tane sınırlarına yakın yerlerde kısmen küçük topaklaşmalar mevcuttur. Tüm numuneler için çoğunlukla takviye elemanları matris içerisinde gömülmüş olmakla birlikte, kısmen tane sınırlarında küçük birikmelerin olduğu da görülmektedir. Özellikle 8 ve 10 saat MA yapılmış numunelerde gözenek miktarlarındaki artış belirgindir. Bunun sebebi uzun süreli MA işlemlerinde toz yüzeylerinde oluşabilecek oksitlenmeler olabilir. Bunun yanında 8 ve 10 saat MA yapılmış numunelerde mikro yapıda görülen koyu renkli bölgelerin kirlenmeler olabileceği düşünülerek bu numunelerin SEM ve EDS analizleri alınmıştır (Resim 8.15). Bütün mekanik toz üretim tekniklerinde olduğu gibi mekanik alaşımlamada da kirlilik sorunu oluşabilmektedir. Bu sorunun bilyelerin, öğütücü mil kollarının ve haznenin öğütülecek toz ile aynı malzemeden yapılmasıyla giderilebileceği belirtilmiştir [Sarıtay ve ark., 2007].

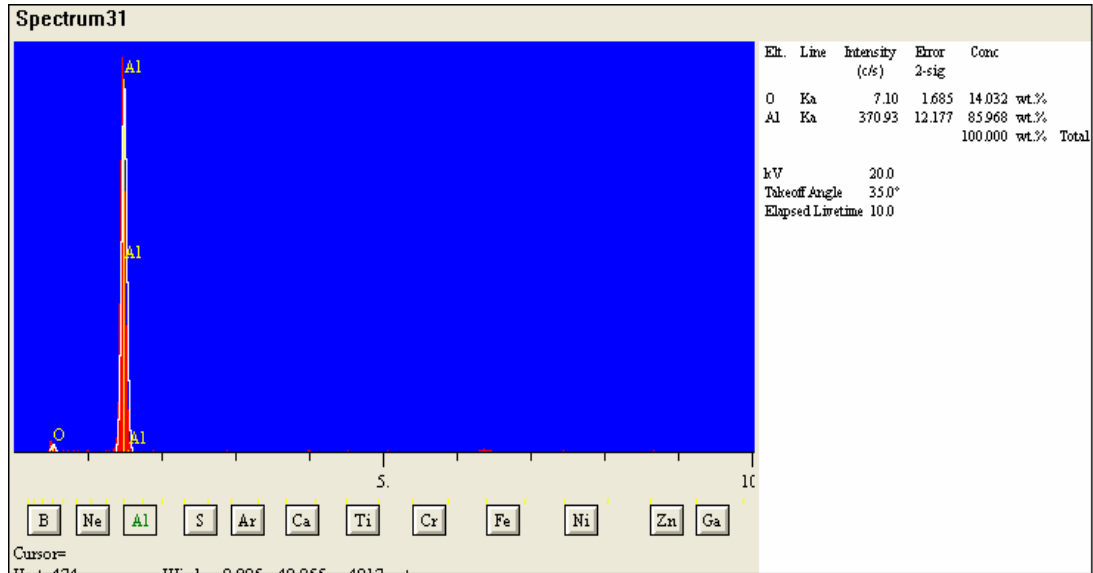


Resim 8.14. Al + %10Al₂O₃ kompozitlere ait mikroyapı fotoğrafları

Resim 8.14'te görülen 10 saat MA yapılmış kompozitin optik mikroskop resimlerinde kirlenme gibi görünen fazların aslında küçülmüş seramik parçacıklar ve gözeneklerden ibaret olduğu kompozitlerden alınan SEM ve EDS analizleriyle tespit edilmiştir (Resim 8.15). Bu resimlerde kompozitin yapısında herhangi bir istenmeyen yabancı bileşik, element ya da faz oluşmadığı belirlenmiştir.

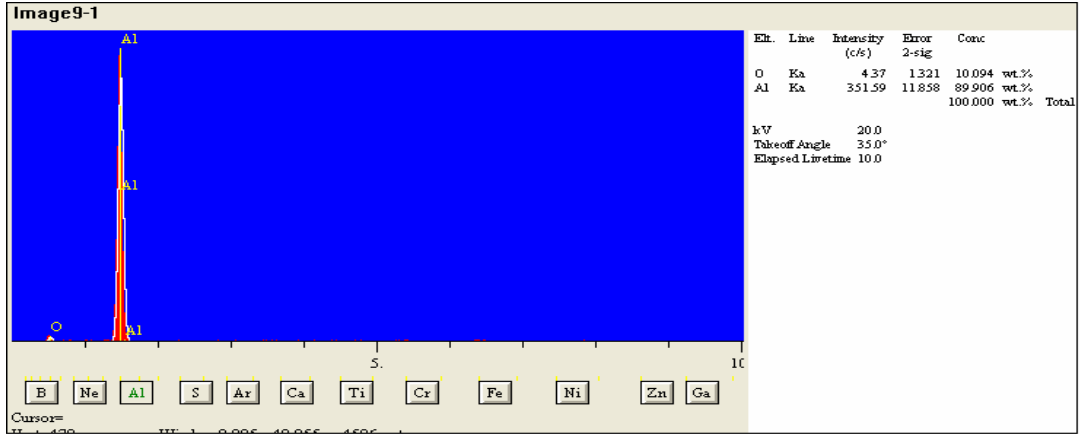


(a) SEM görüntüsü

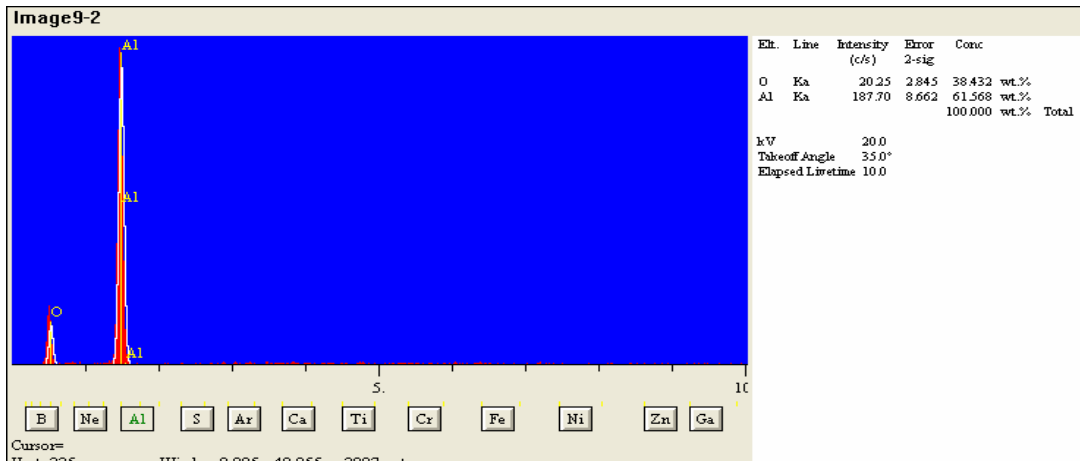


(b) Genel EDS analizi

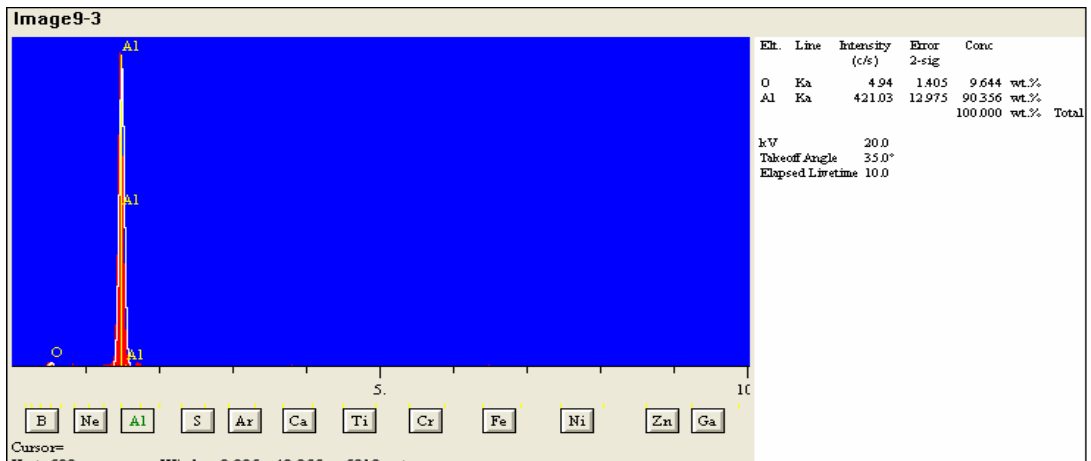
Resim 8.15. 10 saat MA yapılmış Al-Al₂O₃ kompozit numuneler için SEM resmi ve EDS analizi



(c) 1 nolu nokta EDS analizi

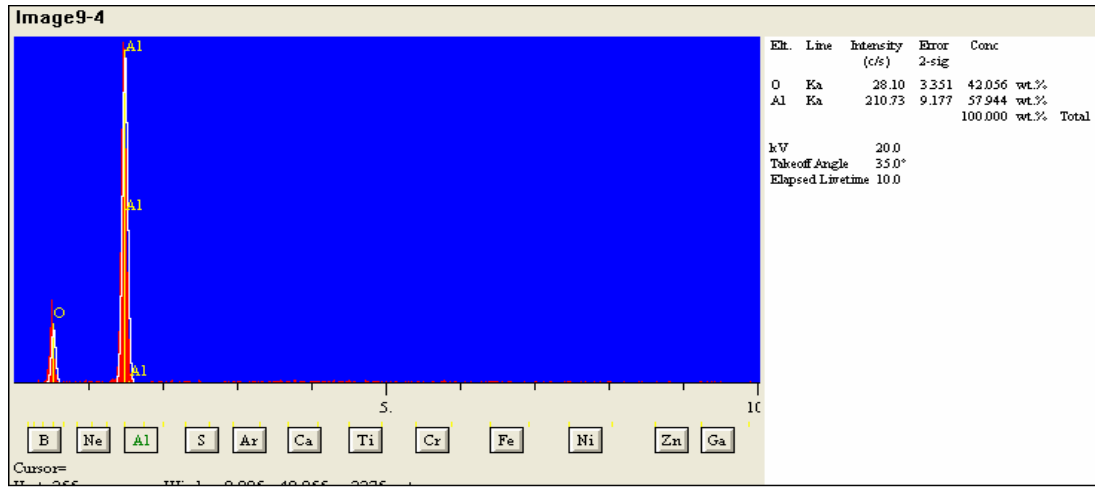


(d) 2 nolu nokta EDS analizi



(e) 3 nolu nokta EDS analizi

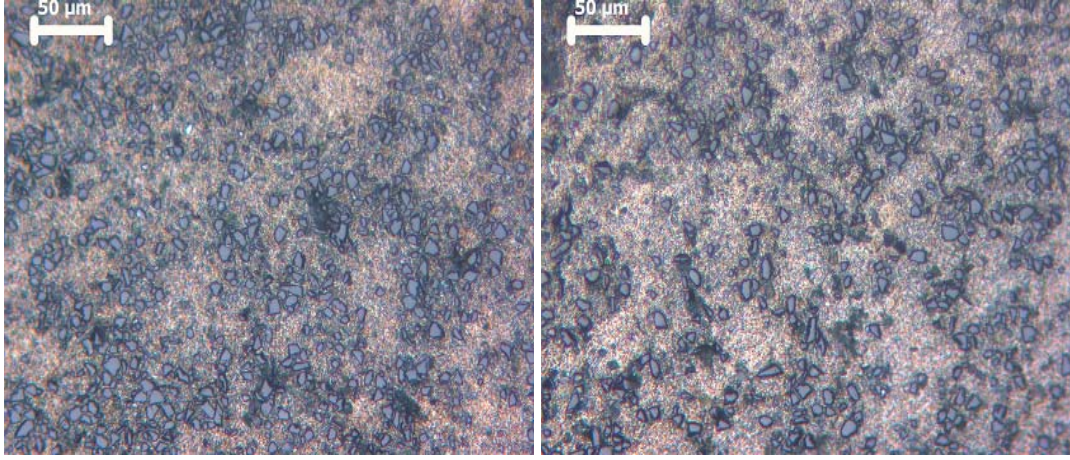
Resim 8.15. (Devam) 10 saat MA yapılmış Al-Al₂O₃ kompozit numuneler için SEM resmi ve EDS analizi



(f) 4 nolu nokta EDS analizi

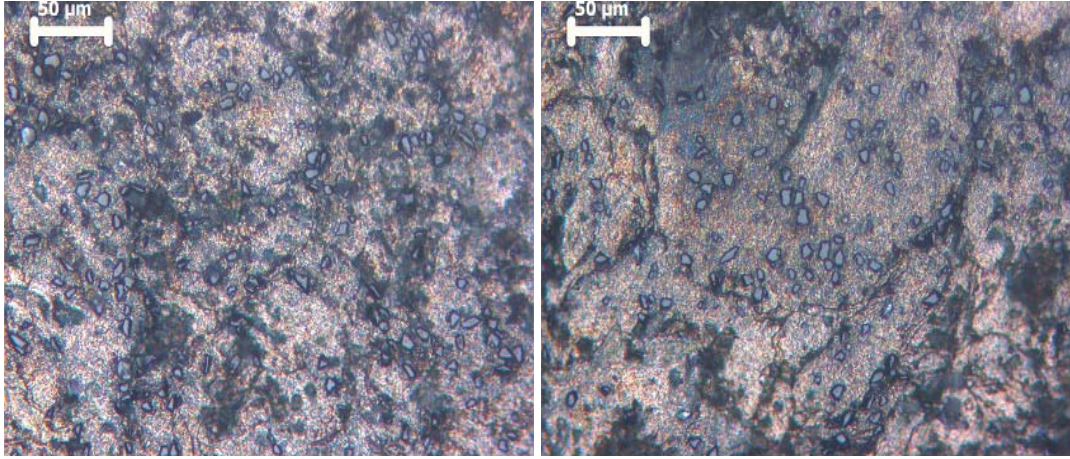
Resim 8.15. (Devam) 10 saat MA yapılmış Al-Al₂O₃ kompozit numuneler için SEM resmi ve EDS analizi

Resim 8.16’da B₄C takviyeli kompozitlere ait mikro yapı resimleri verilmiştir. Genel olarak tüm kompozit numunelerde parçacık dağılımının homojen olduğu görülmektedir. TK ve 6 saate kadar MA sürelerinde takviye elemanlarının matris içerisinde gömülmüş olduğu, 8 ve 10 saat MA yapılmış numunelerde ise parçacıkların matris içerisinde gömülmüş olmakla birlikte, kısmen tane sınırlarında parçacık birikimleri de belirlenmiştir. Özellikle 6 saat ve üzerindeki MA işlemlerinde numunelerdeki gözenek miktarındaki artış belirgindir.



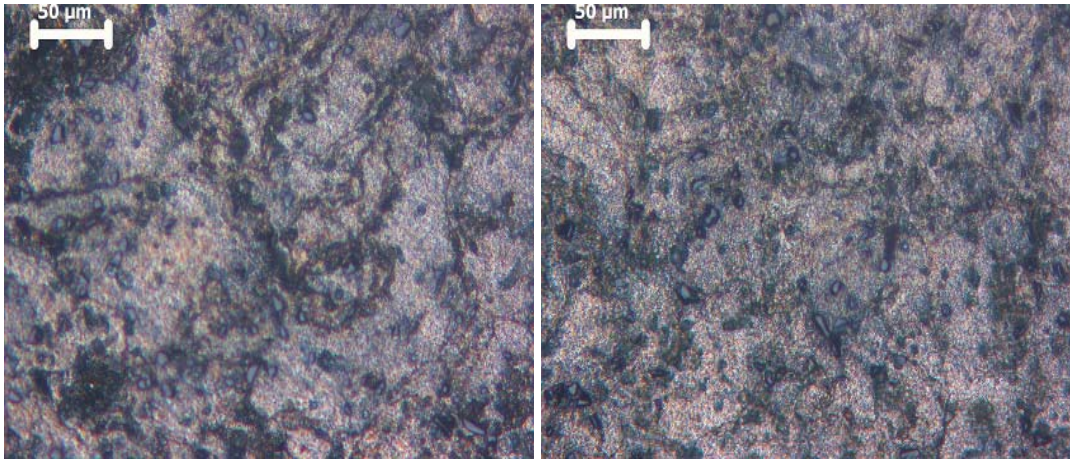
TK

2 saat MA



4 saat MA

6 saat MA

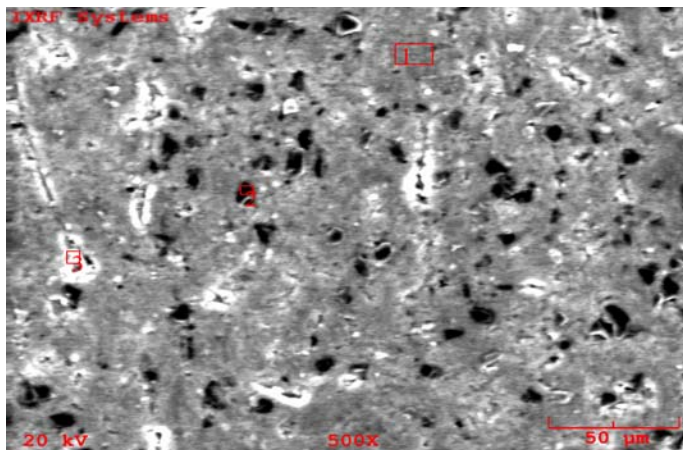


8 saat MA

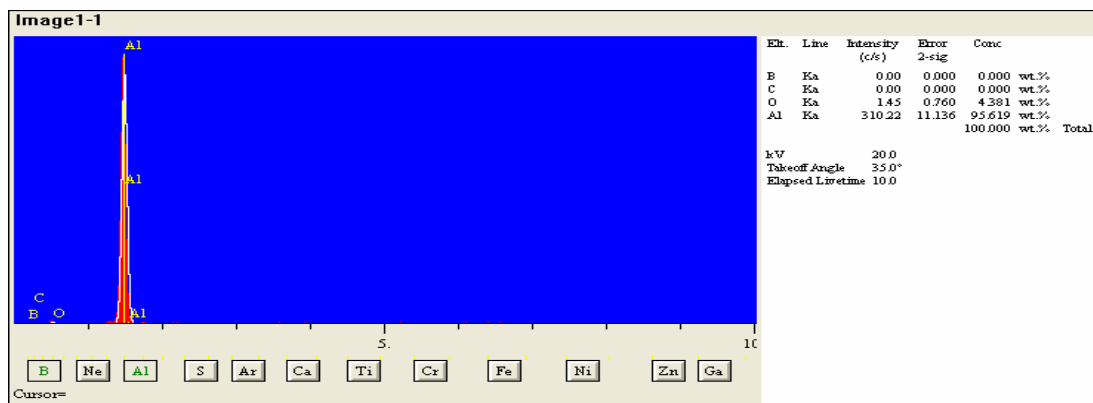
10 saat MA

Resim 8.16. Al + %10B₄C kompozitlere ait mikroyapı fotoğrafları

Al-B₄C kompozitlerde, kompozitin yapısında herhangi bir istenmeyen yabancı faz, bileşik ya da kirlenme meydana gelip gelmediğini tespit etmek için 10 saat MA yapılmış numunelerden SEM ve EDS sonuçları alınmıştır (Resim 8.17). Sonuçlardan da anlaşılabileceği gibi genel olarak B, C ve Al pikleri mevcut olup, kısmen de O pikleri görülmektedir. SEM görüntüsündeki siyah bölgeler B₄C parçacıklarını temsil etmektedir. EDS analiz sonuçlarından herhangi bir kirlenme durumunun oluşmadığı belirlenmiştir. Ancak MA işlemi her ne kadar koruyucu gaz altında yapılmış olsa da, genel EDS analiz sonuçlarında belirlenen oksijenin varlığı, tam olarak koruma sağlanamadığını ve bir miktar oksitlenmenin oluştuğunu göstermektedir. 1 nolu kısımdan alınan EDS analiz sonucunda Resim 8.17.(c) de görüldüğü gibi bu kısımların alüminyum matris malzemesi olduğu belirgindir. 2 ve 3 nolu kısımlarda B ve C fazlalığı B₄C parçacığının olduğunu göstermektedir.

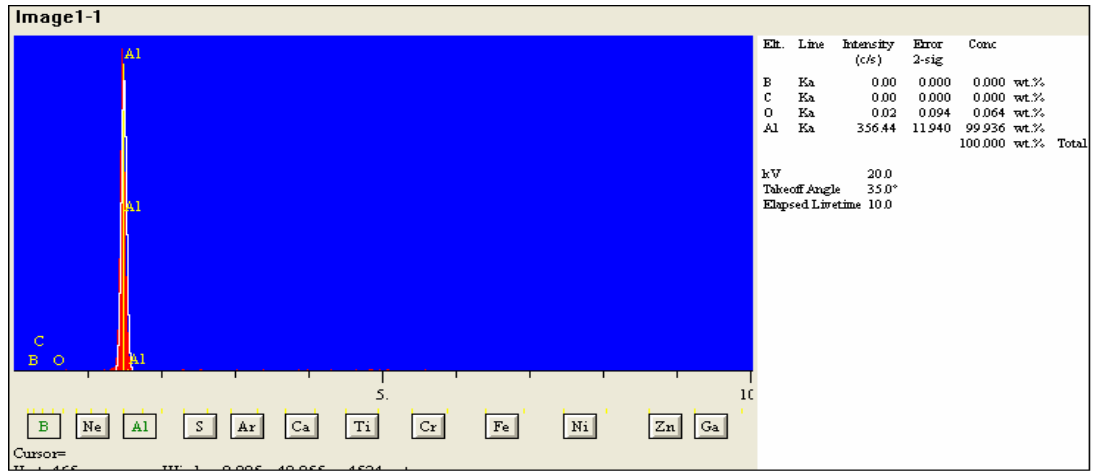


(a) SEM görüntüsü

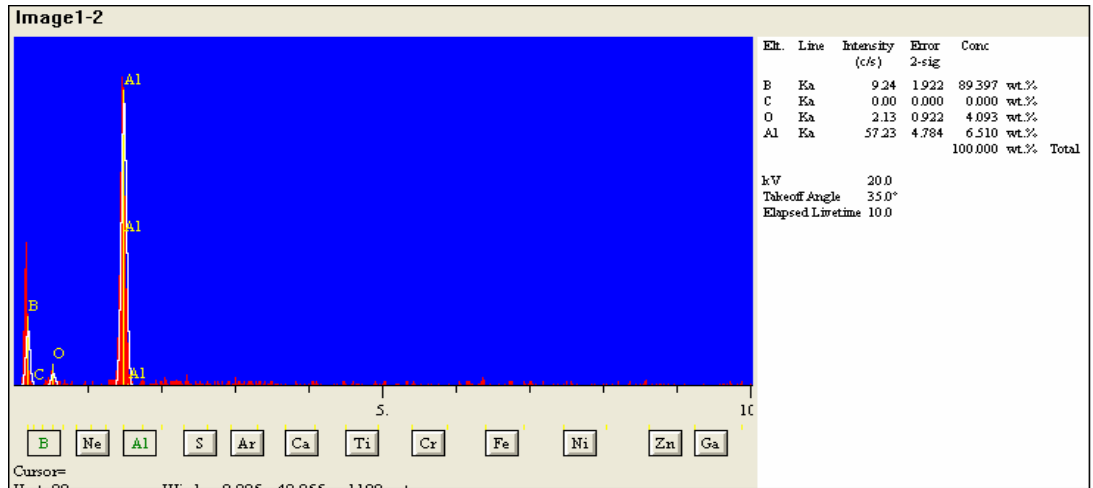


(b) Genel EDS analizi

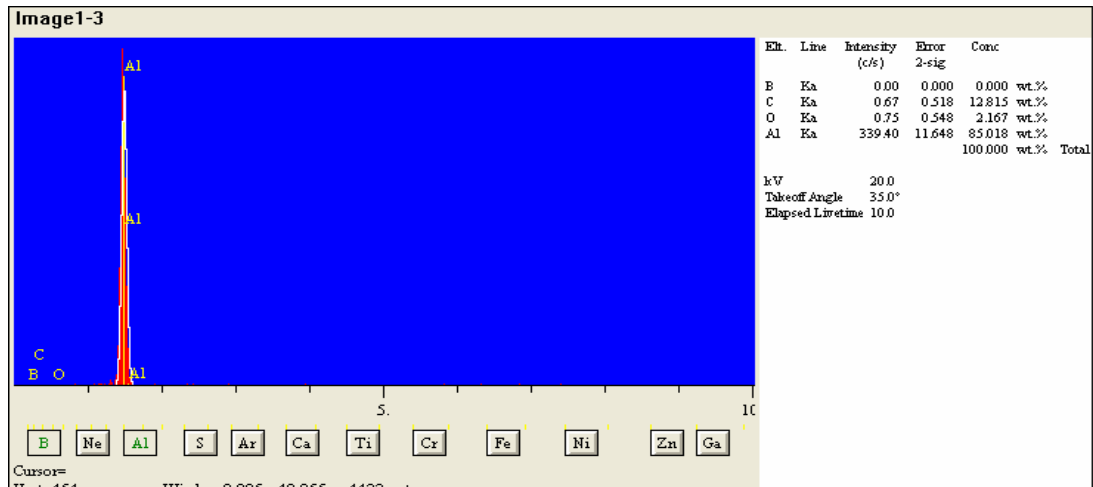
Resim 8.17. 10 saat MA yapılmış Al-B₄C kompozit numuneler için SEM resmi ve EDS analizi



(c) 1 nolu nokta EDS analizi



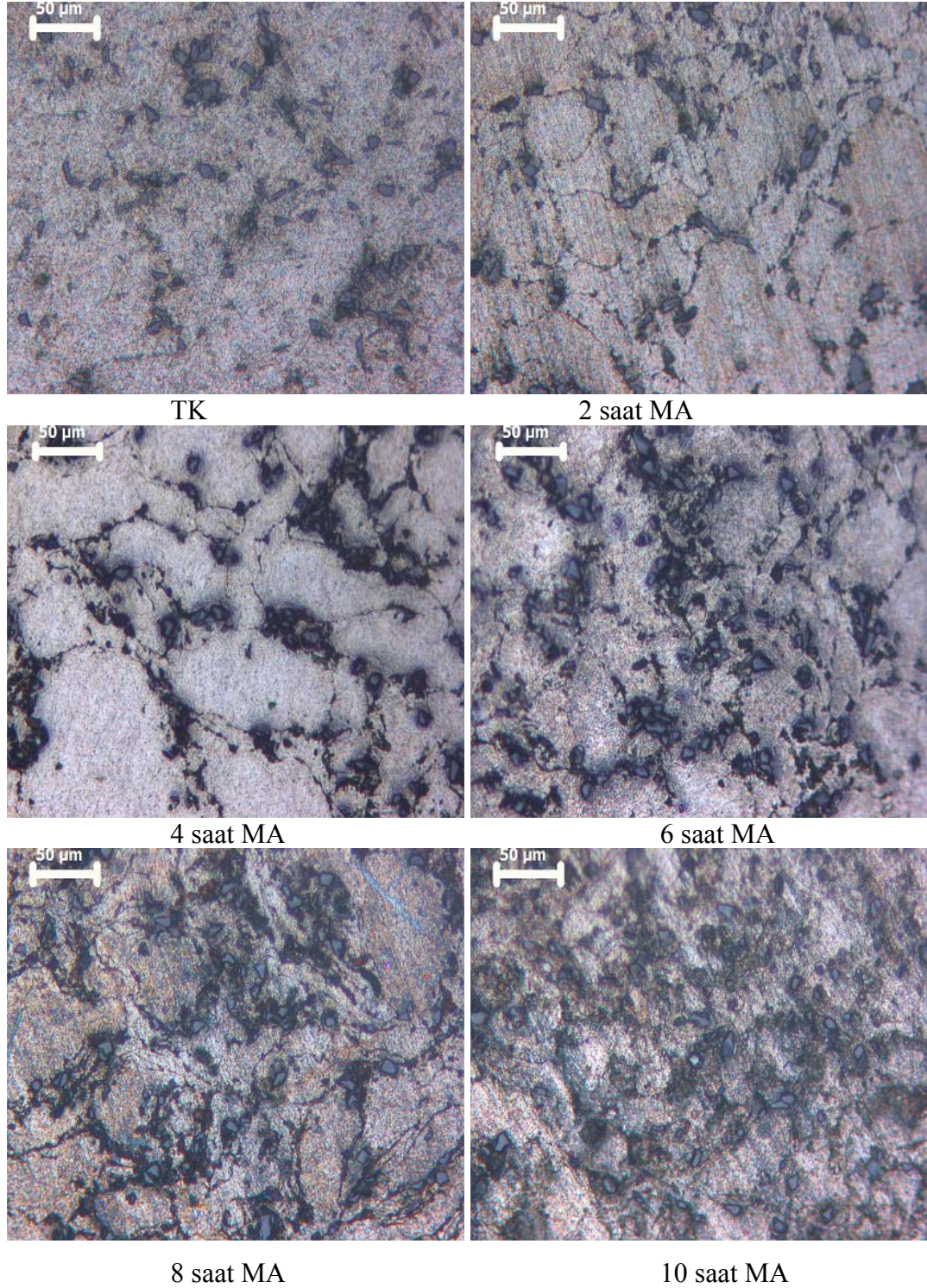
(d) 2 nolu nokta EDS analizi



(e) 3 nolu nokta EDS analizi

Resim 8.17. (Devam) 10 saat MA yapılmış Al-B₄C kompozit numuneler için SEM resmi ve EDS analizi

Resim 8.18' de SiC takviyeli kompozitlere ait mikro yapı resimleri verilmiştir.

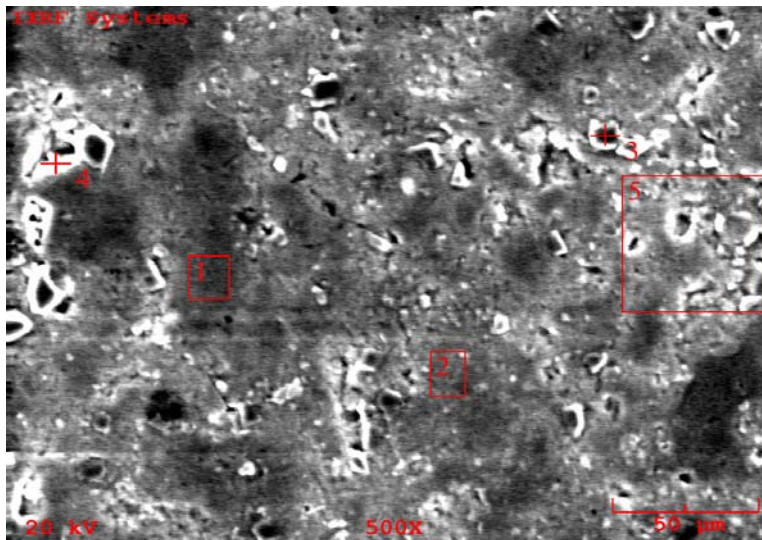


Resim 8.18. Al - %10SiC kompozitlere ait mikroyapı fotoğrafları

Genel olarak tüm kompozit numunelerde parçacık dağılımının homojen olduğu söylenebilir. TK yapılmış numunede tane sınırları kaybolurken, MA yapılmış

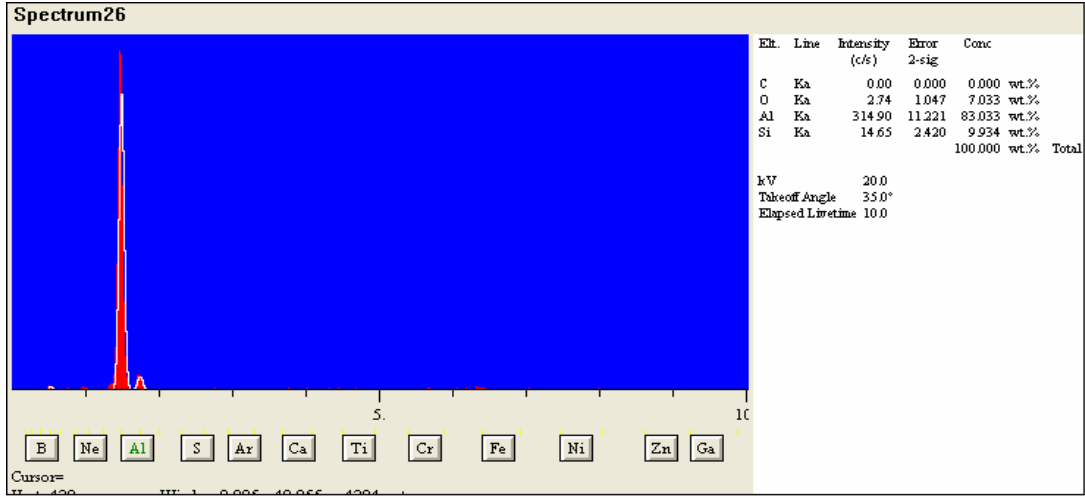
numunelerde kısmen tane sınırları görülmektedir. TK yapılmış numunede takviye elemanlarının matris içerisinde gömülmüş olduğu görülmekte olup, kısmen de topaklaşmalar mevcuttur. MA yapılmış numunelerde ise takviye elemanları matris içerisinde gömülmüş olmakla birlikte az da olsa tane sınırlarında küçük birikmelerde mevcuttur. 6 saat ve sonrasındaki MA işlemlerinde kompozit numunelerde gözenek miktarı artmaktadır.

Al-SiC kompozitlerde, kompozitin yapısında herhangi bir istenmeyen yabancı faz, bileşik ya da kirlenme meydana gelip gelmediğini tespit etmek için 10 saat MA yapılmış numunelerden SEM ve EDS sonuçları alınmıştır (Resim 8.19). Genel, noktasal ve bölgesel alınan analiz sonuçlardan da anlaşılabileceği gibi genel olarak Si, C ve Al pikleri mevcut olup, B₄C takviyeli kompozitlere benzer olarak kısmen de O pikleri mevcuttur. Bu sonuçlardan kompozitin yapısında bulunan oksijenin kısmen oksitlenmelere sebep olduğu söylenebilir. 1 ve 2 nolu bölgelerden alınan EDS analiz sonucunda Resim 8.19.(c-d) de görüldüğü gibi bu kısımların alüminyum matris malzemesi olduğu belirgindir. 3 nolu kısımda Si fazlalığı SiC parçacığının olduğunu, 4 nolu kısımda oksitlenmenin olabileceği ve 5 nolu bölgesel analizde ise yine Al, Si ve O piklerinin varlığı görülmektedir.

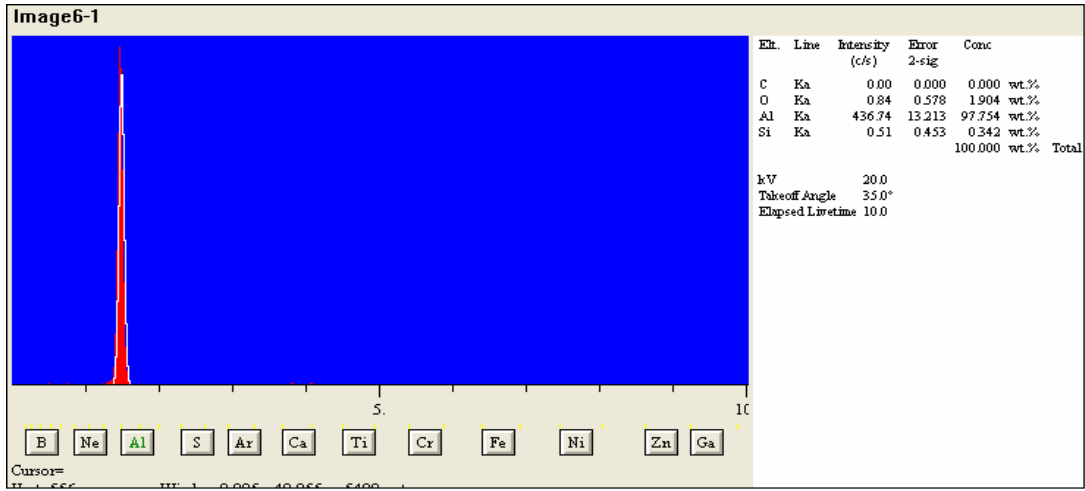


(a) SEM görüntüsü

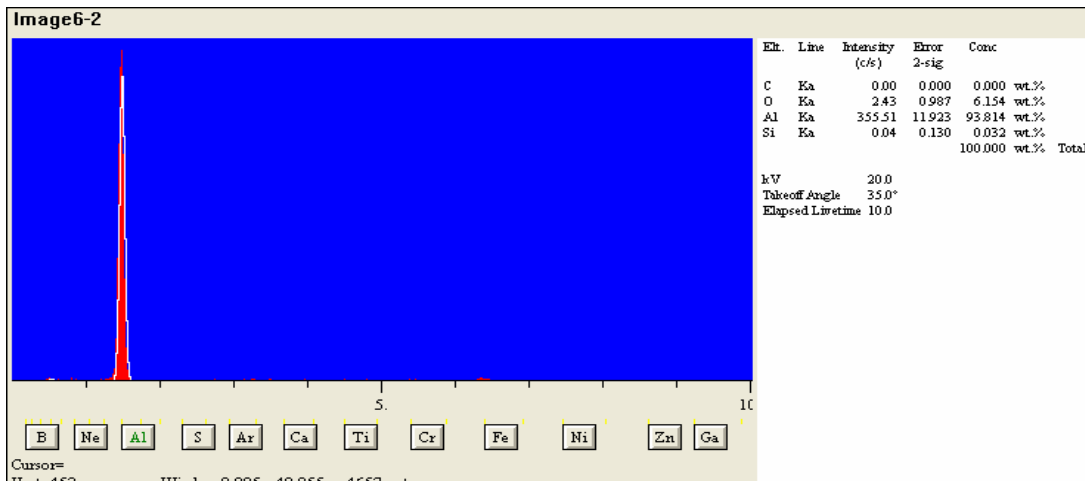
Resim 8.19. 10 saat MA yapılmış Al-SiC kompozit numuneler için SEM resmi ve EDS analizleri



(b) Genel EDS analizi

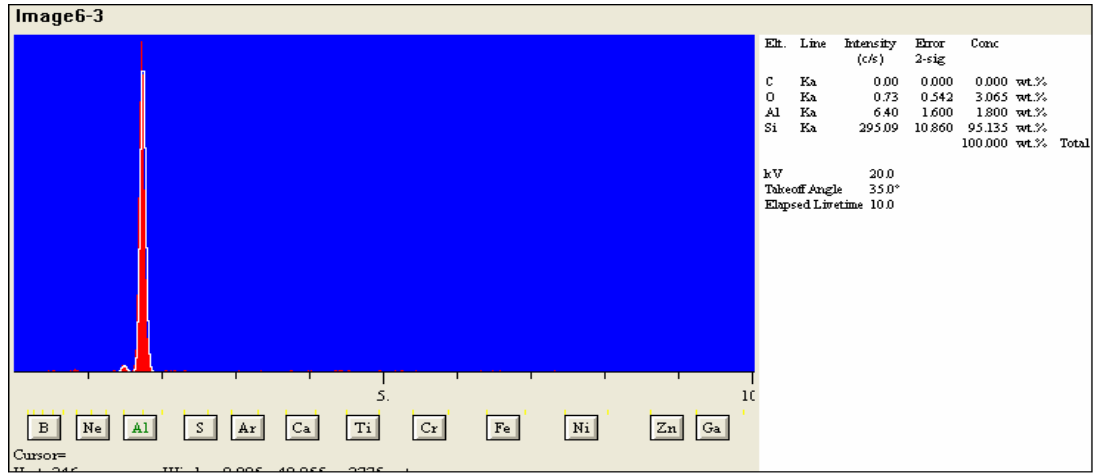


(c) 1 nolu kısım EDS analizi

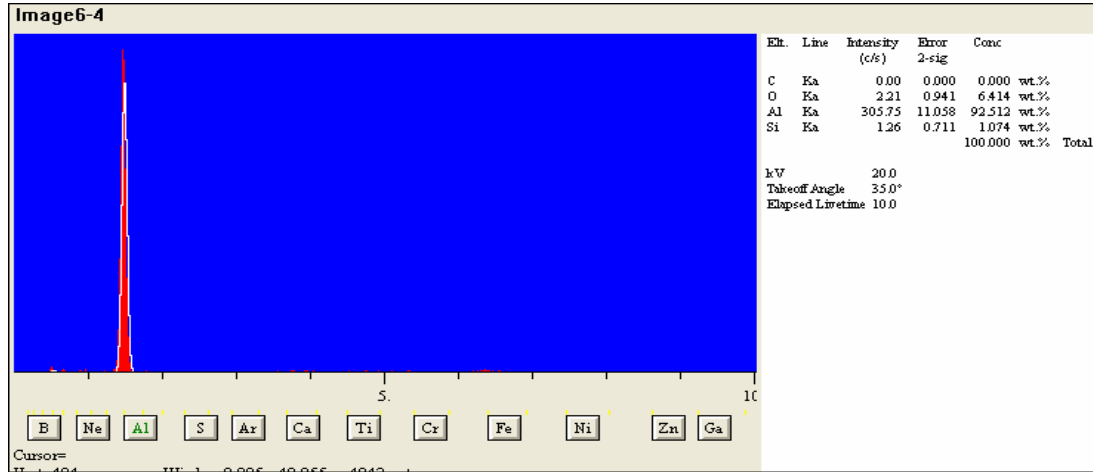


(d) 2 nolu kısım EDS analizi

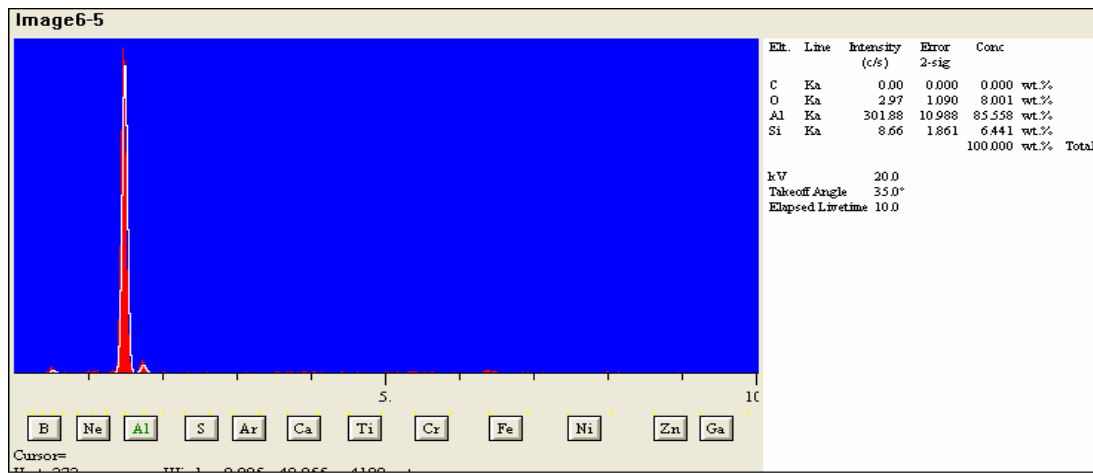
Resim 8.19. (Devam) 10 saat MA yapılmış Al-SiC kompozit numuneler için SEM resmi ve EDS analizleri



(e) 3 nolu nokta EDS analizi



(f) 4 nolu nokta EDS analizi



(g) 5 nolu bölgenin EDS analizi

Resim 8.19. (Devam) 10 saat MA yapılmış Al-SiC kompozit numuneler için SEM resmi ve EDS analizleri

8.5. Sertlik İncelemeleri

Sertlik ölçüm sonuçları Çizelge 8.6’da verilmiştir. Deneylerde kullanılan Al matris tozlarından aynı şartlarda üretilen blok numunelerden alınan sertlik sonuçları 26 HB sertlik değerinde elde edilmişken doğal olarak parçacık takviyeli kompozitlerin sertlikleri her durumda daha yüksek çıkmıştır.

Çizelge 8.6. Saf Al, TK ve MA sürelerine göre sertlik sonuçları



Çizelgede görüldüğü gibi MA yapılmış numuneler, TK yapılmış numunelere göre daha serttir. MA süresinin artmasıyla genel olarak tüm numunelerin sertliklerinde bir artış olduğu görülmektedir. Bu artışın, MA sırasında yüksek deformasyonun etkisiyle oluşan tane küçülmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Benzer şekilde Arık, MA ile ürettiği kompozitlerde sertlik için en önemli faktörlerden birinin MA süresi olduğunu belirtmiştir. Ancak, yüksek sinterleme sıcaklığının ve süresinin de sertliği etkilediği belirtilmiştir. 10 saate kadar MA işlemlerinde 650 °C de 20 saat sinterlenen numunelerin sertlik değerinde düzenli bir artış görülürken, 10 saat MA işleminden sonra keskin bir artış gözlemlenmiş ve bu artışın kompozit yapısında oluşan Al₄C₃ varlığından kaynaklandığını belirtmiştir [Arık, 2004]. Ayrıca gözenekliliğin mekanik özellikleri olumsuz etkilediği bilinmektedir. MA süresinin artmasıyla gözenek değerleri kısmen artsa da, numunelerin sertlik değerleri de artmıştır. Bu

durum, gözeneklerin çok küçük ve küresel şekilli olmasından kaynaklanmaktadır. Bazı seramik malzemelerde gözenek değeri %45' lere kadar çıksa bile, gözenekler çok küçükse tam yoğun dayanıma yakın değerler elde edilebileceğini belirtilmiştir [Saritaş ve ark.,2007]. TK yapılmış numunelerle 10 saat MA yapılmış numuneler kıyaslandığında tüm kompozit numuneler için sertlik değerleri neredeyse iki katına çıkmıştır. Uzun MA sürelerinde toz şekillerinin yassılaştırmış, düzensiz ve karmaşık olması ile mekanik kilitlenme olayının daha güçlü olması sertlik artışının başka bir nedeni olabilir.

8.6. Çapraz Kırılma Dayanımı Sonuçları

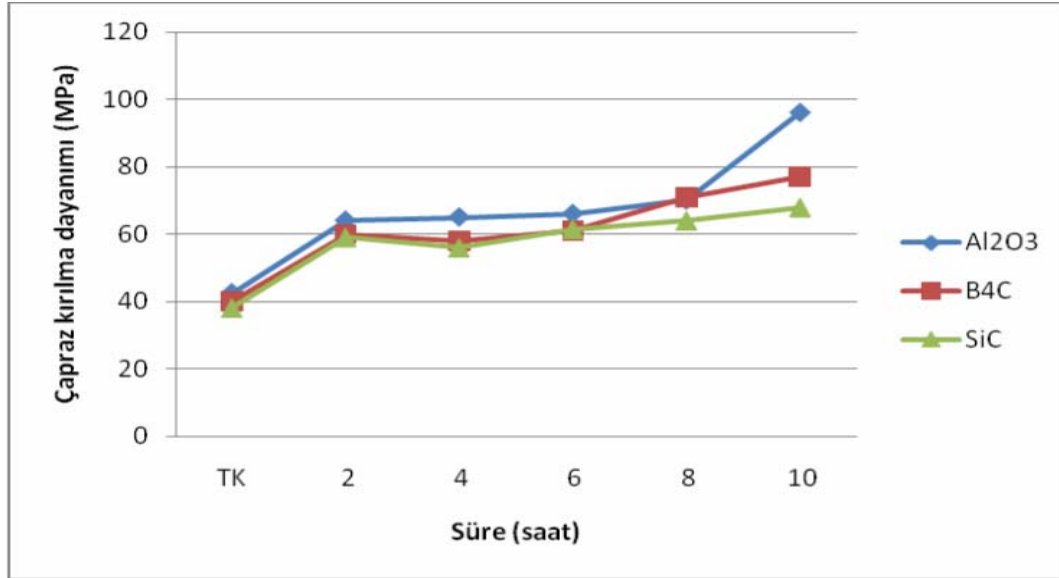
Saf alüminyum için yapılan çapraz kırılma deneyinde beklendiği gibi herhangi bir kopma ve kırılma oluşmamış sadece bir eğilme meydana gelmiştir (Resim 8.20).



Resim 8.20. Çapraz kırılma deneyi uygulanmış Saf Al kompozit

Saf alüminyuma ilave edilen seramik parçacıklar ile üretilen kompozit malzemelerin daha sert ve gevrek bir yapıda oldukları ve belirli bir basınç altında kırıldıkları belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 8.7'de verilmiştir.

Çizelge 8.7. Çapraz kırılma deney sonuçları



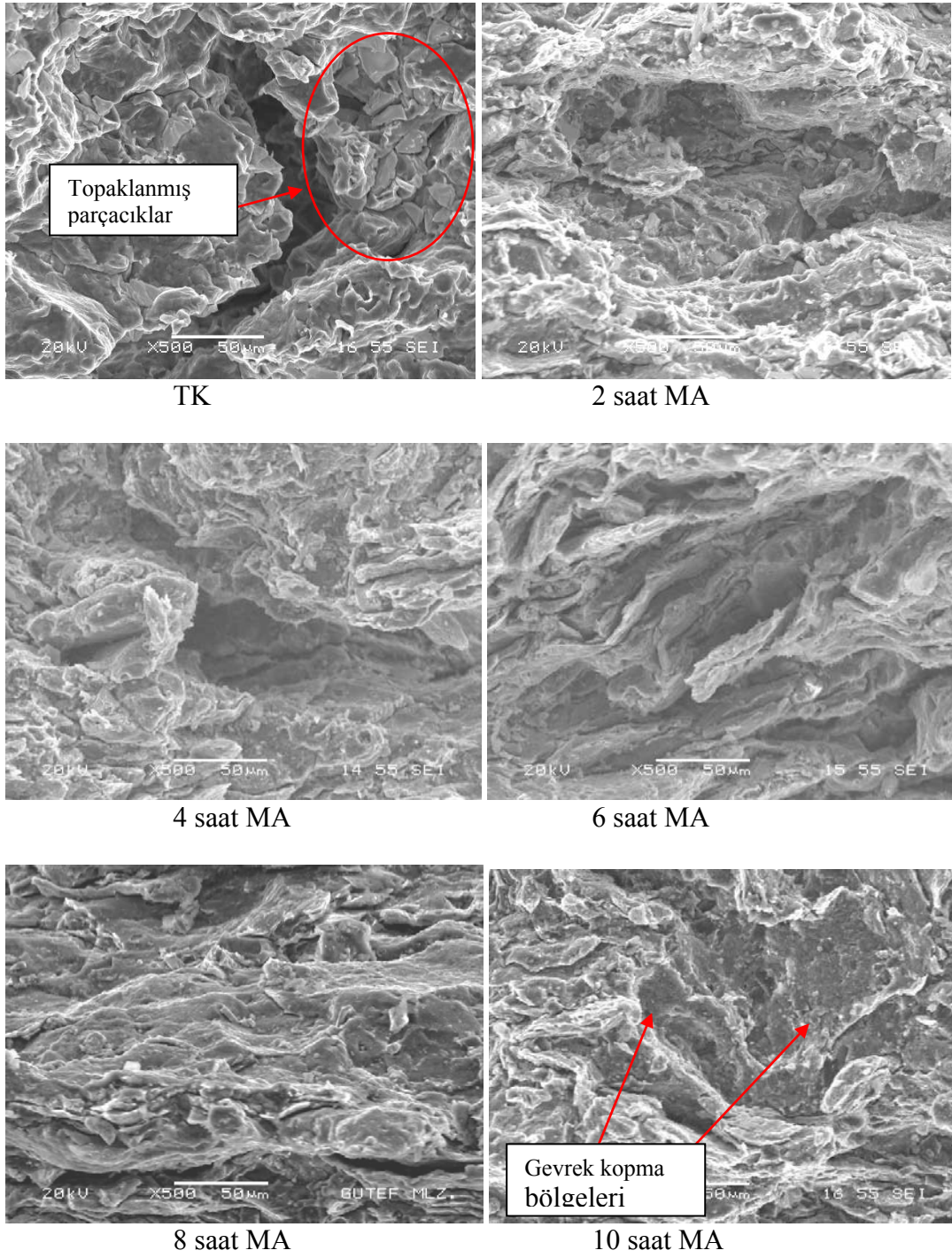
MA yapılmış kompozit numunelerin çapraz kırılma dayanımları, TK yapılmış kompozit numunelere göre daha yüksektir. 10 saat MA yapılmış numunelerin, TK yapılmış numunelere göre ÇKD değerleri yaklaşık olarak iki katı oranındadır. Bu durumun, MA sırasında takviye elemanlarının alüminyum matris tozları içerisine gömülmesiyle birlikte daha homojen bir dağılım göstermesi ve böylece ortaya çıkan dağılım mukavemetlenmesinden kaynaklandığı sanılmaktadır. MA sırasında meydana gelen yüksek deformasyon sonucu tozlarda iç enerjinin artması ve tane boyutunun küçülmesi de ÇKD değerinin artışında etkili olmuştur. MMK'lerde takviye seramik fazın ne kadar küçük boyutlu ve homojen dağılımlı olursa kompozitin mukavemet artışının da o kadar fazla olacağı belirtilmiştir [Kayalı ve Ensari, 1985].

Tüm kompozit numuneler için 8 saat'te kadar MA işlemlerinde değerler kısmen artış gösterirken, MA süresinin 10 saate çıkmasıyla tüm numunelerde keskin bir yükseliş ortaya çıkmış ve en yüksek ÇKD değerleri elde edilmiştir. Arık ve Türker'de Fe-Fe₃C kompozitlerde yaptıkları çalışmada benzer sonuçlar bulmuştur. Genel olarak 8 saate kadar MA işlemlerinde her bir takviye elemanı kompozit için ÇKD değerleri birbirine yakın olup kısmen Al₂O₃ takviyeli kompozitlerde biraz daha fazladır. En yüksek ÇKD değeri 10 saat MA yapılmış Al₂O₃ takviyeli kompozitlere aittir. Bu

durumun Al_2O_3 takviyeli kompozit numunelerin daha düşük toz boyutuna sahip olmasından kaynaklandığı sanılmaktadır. Çünkü etkili bir dağılım mukavemetlenmesi için parçacıkların küçük, çok sayıda ve küresel olması gerektiği belirtilmektedir [Erdoğan, 1998].

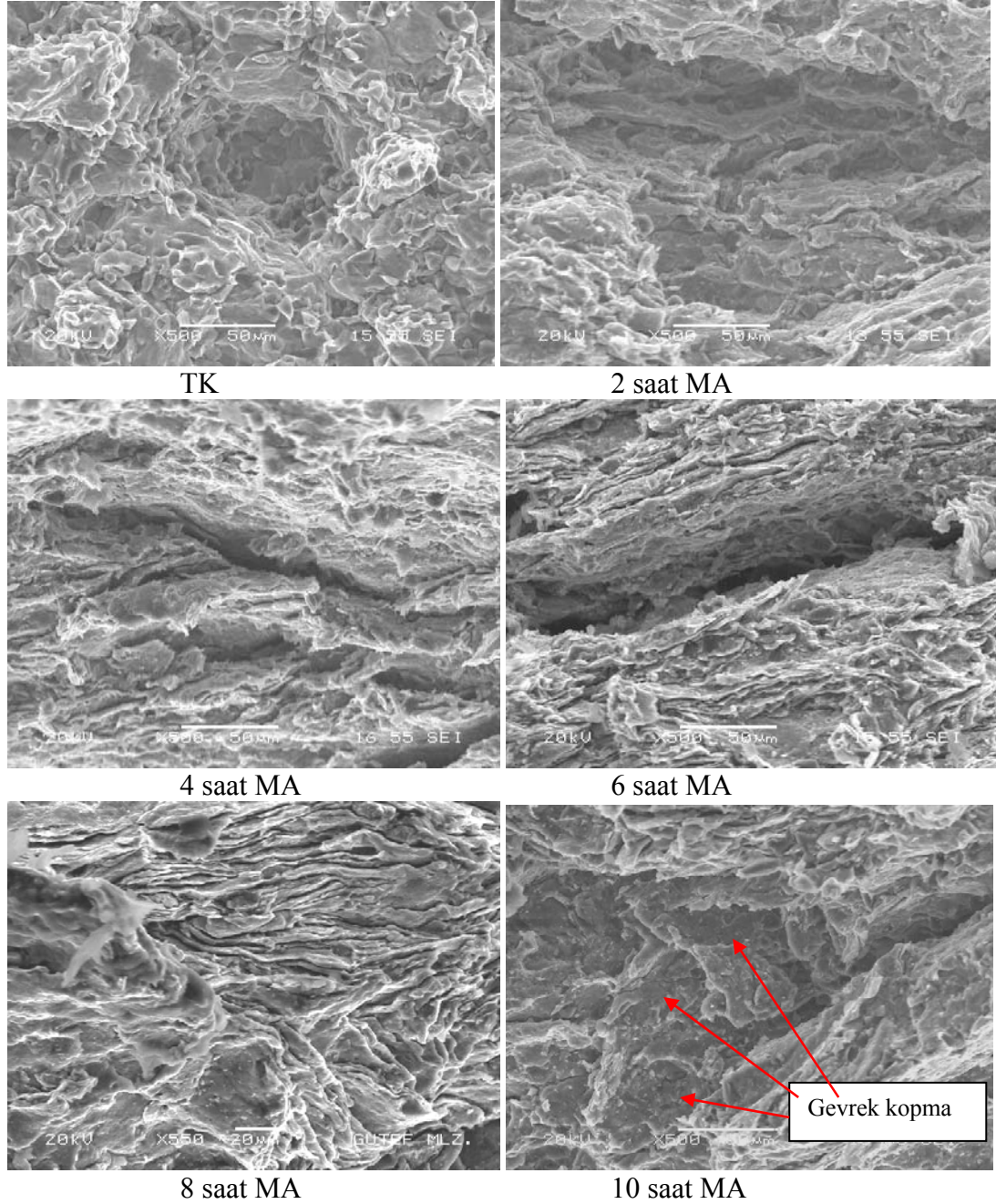
Her ne kadar, en yüksek ÇKD değerine sahip 10 saat MA yapılmış Al_2O_3 takviyeli kompozitler de gözenek değeri en yüksek seviyede olsa da, gözeneklerin homojen dağılması, küçük boyutta ve küresel olması dayanım artışını olumlu yönde etkilemiştir. Genel olarak tüm numunelerde MA süresinin artmasıyla kırık yüzeylerdeki mikro sünek bölgelerde küçülmüştür. Bunun sebebinin, MA süresindeki artışa bağlı olarak toz boyutundaki küçülmeler olduğu sanılmaktadır.

Resim 8.21’de görülen Al_2O_3 takviyeli kompozitlere ait kırık yüzey SEM resimlerinden numunelerin beklendiği gibi genel olarak sünek bir davranış sergilediği görülmektedir. Ancak en yüksek ÇKD’ ye sahip olan Al_2O_3 parçacık takviyeli 10 saat MA yapılmış numunelerde gevrek davranış gösteren bölgeler mevcuttur. Fakat düşük ÇKD değerine sahip TK ve 6 saate kadar MA işlemi yapılmış numunelerde kırılma sonucu oluşan kopmalar yarılma şeklinde olmuştur. Kısmen parçacık topaklanmalarının mevcut olduğu ve bu bölgelerin kompozitlerde zayıf bir ara yüzey bağı oluşturarak kopmaların genelde bu bölgelere yakın yerlerden gerçekleştiği söylenebilir.



Resim 8.21. Al + %10 Al₂O₃ kompozite ait kırık yüzey SEM resimleri

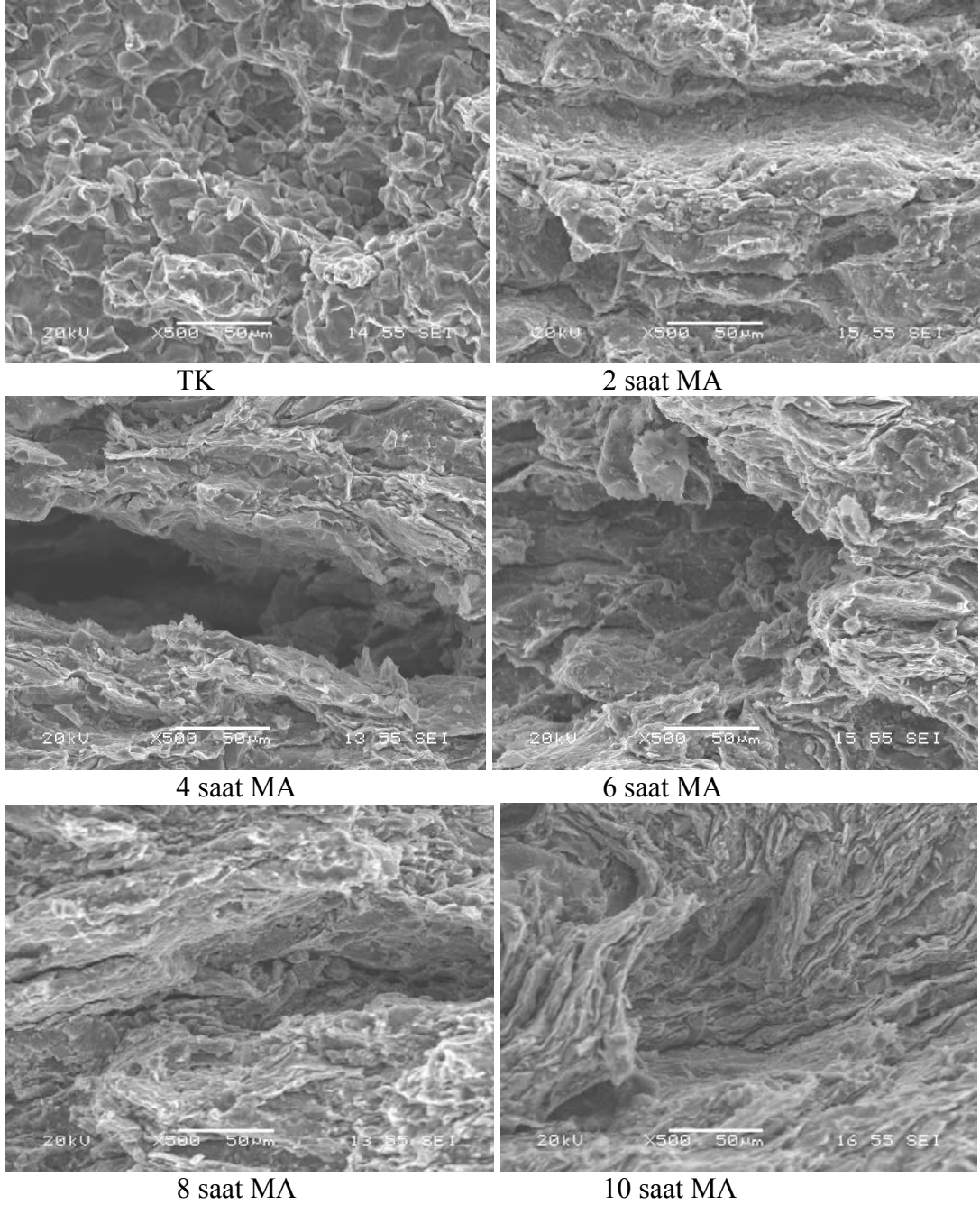
Resim 8.22’de B₄C takviyeli kompozitlere ait kırık yüzey SEM resimleri verilmiştir.



Resim 8.22. Al + %10 B₄C kompozite ait kırık yüzey SEM resimleri

TK ve 6 saat’e kadar MA yapılmış numunelerde kopmaların yarıлма şeklinde olduğu görülmektedir. B₄C takviyeli kompozitler için en yüksek ÇKD değeri 8 ve 10 saat MA yapılmış numunelerde elde edilmiştir. Bu numunelerde pullaşmadan kaynaklı lamelli yapı ve tane küçülmesinden kaynaklanan mikro sünek bölgelerin

oluştugu görülmektedir. Özellikle 10 saat MA yapılmış numunede gevrek kopma bölgeleri belirgindir (Bkz. Resim 8.22).



Resim 8.23. Al + %10 SiC kompozite ait kırık yüzey SEM resimleri

Kırık yüzey fotoğrafları Resim 8.23'te verilen SiC takviyeli kompozitlerde, Al_2O_3 ve B_4C takviyeli kompozitlere benzer şekilde numunelerin beklendiği gibi genel olarak sünek bir davranış sergilediği görülmektedir. Ancak yüksek ÇKD değerlerinin elde

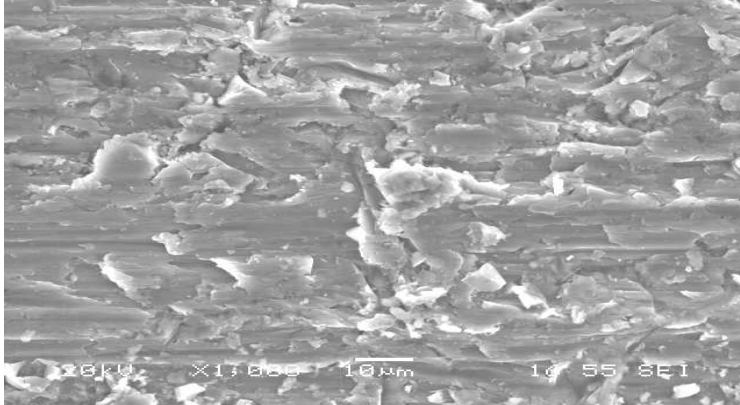
edildiği 8 ve 10 saat MA yapılmış numunelerde tane küçülmesi ve pullaşmadan kaynaklanan mikro sünek bölgelerin oluştuğu görülmektedir. TK ve 6 saate kadar MA işlemlerinde kırılma sonucu oluşan kopmalar yarıлма şeklinde olmuştur.

8.7. Aşınma Deney Sonuçları

Tüm numunelere aşınma deneylerinde 10, 20 ve 30 N yük uygulanmıştır. Doğal olarak yük miktarının artmasıyla aşınma miktarları da artmıştır. Saf alüminyuma uygulanan ağırlık kaybı miktarları Çizelge 8.8’de görülmektedir. Saf alüminyumda, üretilen kompozit malzemelere göre daha kolay deformasyon oluşmuş, çizik oluşumu ve sürüklenme sebebiyle aşınma daha kolay başlamıştır. Yumuşak malzemelerin sert malzemelere göre daha çabuk deformasyona uğrayacağı ve dolayısıyla malzemenin şekil değişimine uğramasının daha kolay olacağı belirtilmiştir [Hasırcı ve Gül, 2010]. Saf Al numune yüzeyinde sürekli çizgilerin oluşması ve sünek sıvanmaların varlığı bu malzemenin kolayca aşındığını göstermektedir (Resim 8.24). Aşınma deneyleri içerisinde beklendiği gibi en fazla aşınma miktarı saf Al malzemede tespit edilmiştir. Saf alüminyum’da abrasif aşınmada mikro kesmeyle birlikte yüksek deformasyon sonucunda takozlama (sürüklenme) mekanizması oluşmuş ve buna bağlı olarak sürekli geniş çizgiler meydana gelmiştir. Hasırcı ve Gül [2010] yaptıkları çalışmada benzer sonuçlar bulmuştur.

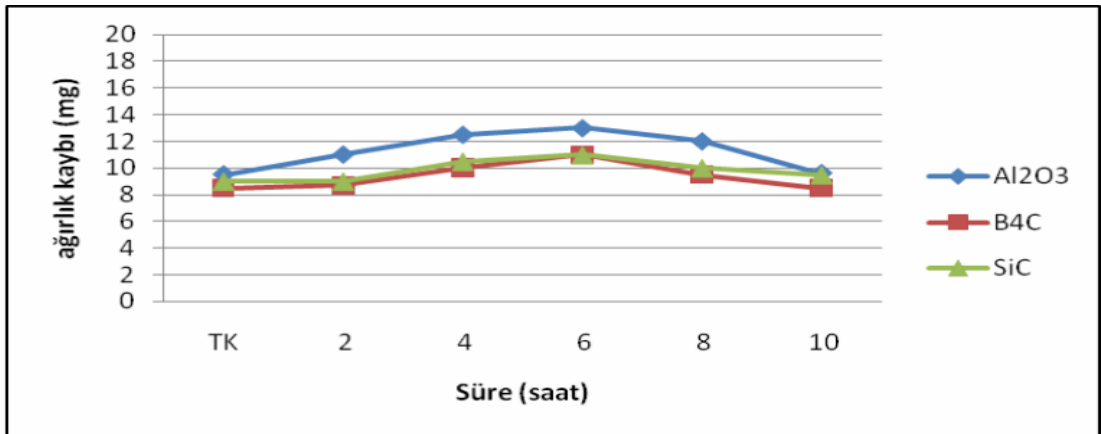
Çizelge 8.8. Saf alüminyumun ağırlık kaybı miktarları

	Uygulanan yük (N)		
	10	20	30
Ağırlık kaybı miktarı (mg)	17	21	26,5

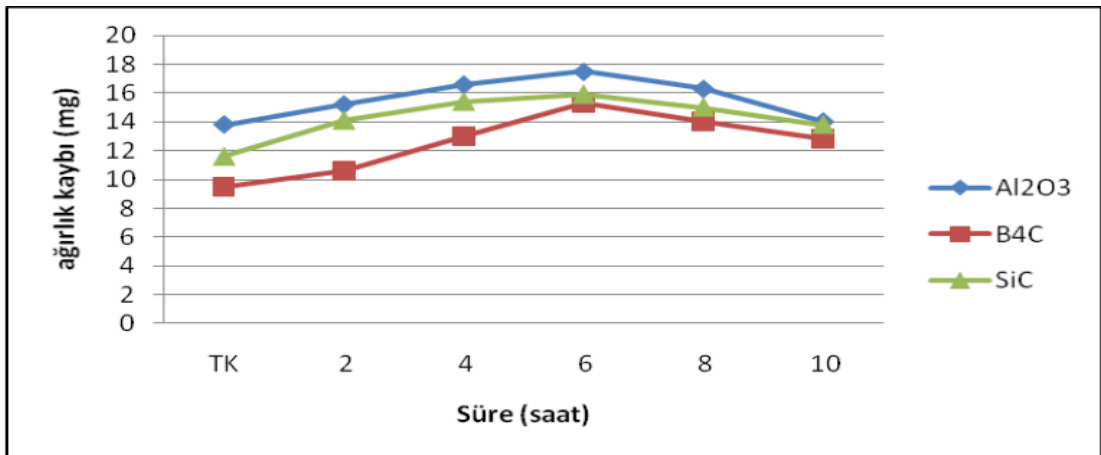


Resim 8.24. Saf alüminyuma 30 N yük altında uygulanan aşınmış numune SEM resmi

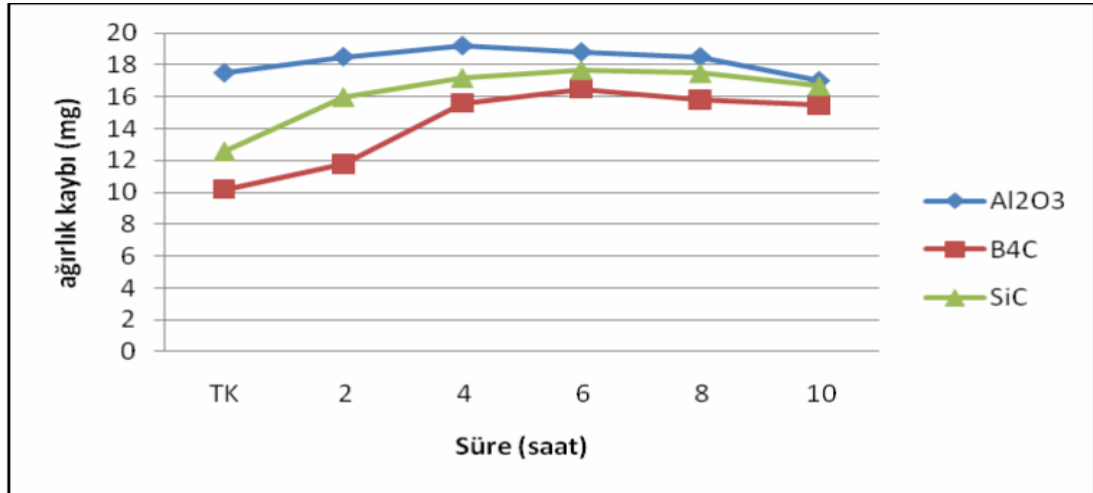
Numunelere 10, 20 ve 30N yük altında uygulanan aşınma deneyi sonucunda oluşan ağırlık kayıpları sırasıyla Şekil 8.6, 8.7 ve 8.8’de verilmiştir.



Şekil 8.6. Kompozitlerin 10 N yük altında ağırlık kaybı miktarları (mg)



Şekil 8.7. Kompozitlerin 20 N yük altında ağırlık kaybı miktarları (mg)



Şekil 8.8. Kompozitlerin 30 N yük altında ağırlık kaybı miktarları (mg)

Şekillerden de görüldüğü gibi 10N yük uygulanmış kompozitlerle 20N yük uygulanmış kompozitler arasındaki ağırlık kayıp oranları, 20N yük uygulanmış kompozitlerle 30N yük uygulanmış kompozitlere göre daha fazladır. Bu durumun, yükün miktarının artmasıyla kompozit içerisindeki parçacıkların aşındırıcı malzemeye karşı daha etkin tepki vermesinden kaynaklandığı sanılmaktadır.

TK ve MA tekniğiyle üretilen kompozitler de beklendiği gibi aşınma miktarları saf Al malzemeye kıyasla daha azdır. Bu durum üretilen kompozitlerde sert seramik parçacık takviyesinin etkisinden kaynaklanmaktadır. Genel olarak tüm kompozitlerin aşınma miktarları incelendiğinde, TK ile üretilmiş olan numunelerin MA ile üretilmiş olan numunelere göre daha az aşındığını göstermektedir. Bu durumun TK numunelerinin daha yoğun ve bu numunelerde sinterlemenin daha iyi olmasından kaynaklandığı sanılmaktadır. Benzer şekilde geçmişte yapılan bir çalışmada, Al-Al₂O₃ takviyeli kompozitler, 4'er saat süreyle turbulada bilyesiz olarak karıştırma, MA ve döner değirmende olmak üzere üç farklı yöntemle üretilmiştir. Üretilen blok numunelerde en iyi aşınma performansının turbula cihazında üretilen kompozitlerde olduğu tespit edilmiştir [Kurt, 2010].

20N yük uygulanmış tüm numunelerde 6 saat MA süresine kadar ağırlık kayıpları bir artış gösterirken, MA süresinin 8 ve 10 saate çıkmasıyla düzenli olarak ağırlık kayıplarının azaldığı görülmüştür. Ancak 30N yük uygulandığında, tüm numuneler 4

saate kadar MA sürelerinde ağırlık kayıplarında bir artış gösterirken, daha uzun MA işlemlerinde ağırlık kayıpları kısmen çok az miktarlarda azalmalar gösterse de neredeyse sabit kalmıştır. Bu durumun, MA süresinin artmasıyla oluşan tane küçülmesinin yanında, artan MA süresiyle tozların yüzeyinde oluşması muhtemel oksitler ve oluşan soğuk deformasyon pekleşmesi sebebiyle kompozitlerin sıkıştırılması sırasında ortaya çıkan olumsuzlukların kompozitler de düşük yoğunluk, yüksek gözenek oluşturmamasından kaynaklandığı sanılmaktadır. MA sürelerinin 4 saat ve üzerine çıkmasıyla kompozitlerin aşınma dayanımları olumsuz etkilenmiştir. Bu sebeple, bu çalışmada üretilen kompozitler için, kompozitlerin abrasif aşınma dayanımlarına uzun MA süreli işlemlerin, olumlu bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir.

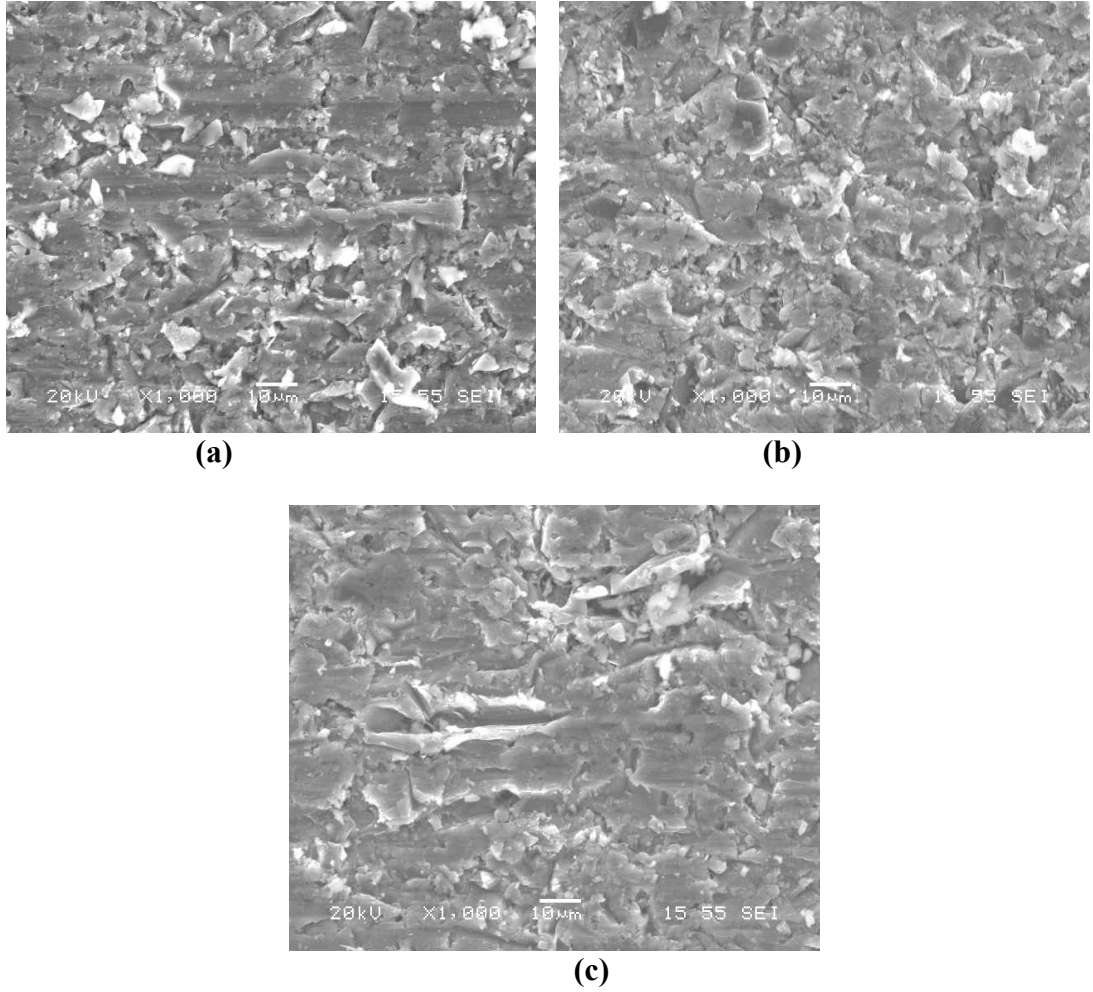
Sonuçlar irdelendiğinde en az aşınma B_4C takviyeli kompozitlerde olurken, en fazla aşınma miktarı Al_2O_3 takviyeli kompozitlerde tespit edilmiştir. Bu durum genel olarak Al_2O_3 takviyeli kompozitlerin toz boyutunun nispeten daha küçük olmasından kaynaklanmaktadır. Bunun sebebi küçük tanelerin aşınma deneyi sırasında uygulanan tahribata karşı koyamamasıdır. Toz boyutu büyük olan B_4C takviyeli kompozitlerde aşınma miktarı diğer takviye elemanlı numunelere göre daha azdır. Büyük taneli yapılar, tanelerin yüzey alanlarının büyük olması ile uygulanan kuvvete daha fazla direnç göstermektedir. Geçmişte yapılan bazı çalışmalarda benzer sonuçlar bulunmuş ve seramiklerin tane boyutu arttıkça aşınma miktarının azaldığı belirtilmiştir [Şahin ve Özdin, 2007; Aktaş, 2007]. Bunların yanında, B_4C parçacık takviyeli kompozitlerde parçacık dağılımının daha iyi ve homojen olması da aşınma dayanımının artışı etkilemiştir. Resim 8.16'da verilen optik mikroskop görüntülerinde B_4C 'nin parçacık dağılımının daha iyi olduğu görülmektedir. Benzer şekilde Shorowordi ve ark.'da, Al matrisli B_4C , SiC ve Al_2O_3 takviyeli kompozitin mikroyapı ve arayüzey karakteristiğini incelemiştir. Bu çalışmalarında B_4C 'nin parçacık dağılımının daha iyi olduğu tespit etmişlerdir [Shorowordi ve ark., 2003].

MA sürelerinin artmasıyla kompozitlerdeki sertliğin düzenli olarak artmasına rağmen aşınma miktarlarında düzenli bir azalma olmamıştır. Bunun yanında üretilen kompozitler içerisinde en fazla sertlik değeri Al- Al_2O_3 numunelerde elde edilmesine

rağmen bu numuneler en fazla aşınan numuneler olmuştur. Bahsedilen her iki durum da aşınmanın sertlikle doğrudan ilişkili olmadığını göstermektedir. Benzer şekilde daha önce yapılan çalışmalarda, aşınmanın sertlikle doğrudan ilişkili olmadığı, takviye elemanının çeşidi, yapı içerisindeki fazların dağılımı ve şekli ile ilgili olduğu belirtilmiştir [Hasırcı ve Gül, 2010; Toptan ve Kerti, 2006; Saheb ve ark., 2001].

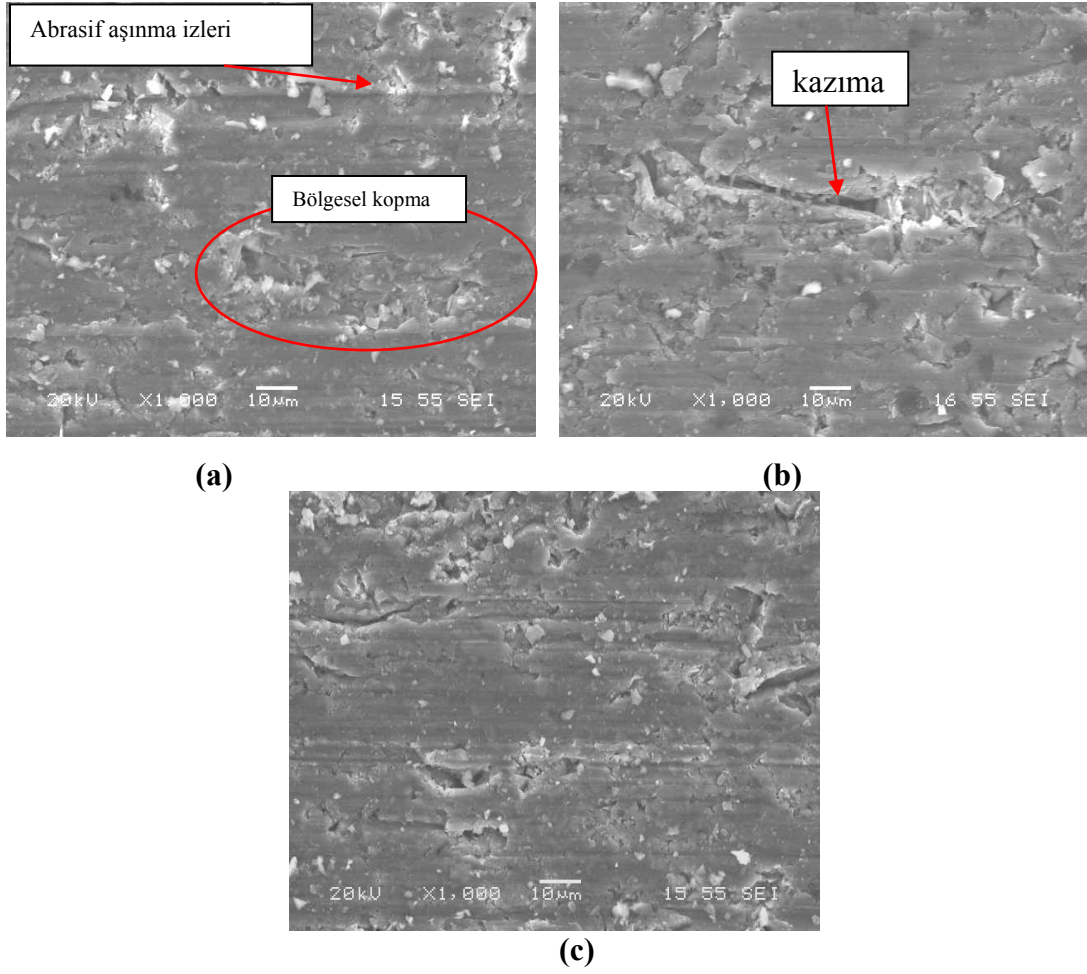
Takviye elemanı olarak B_4C 'nin Al_2O_3 ve SiC 'e göre yoğunluğu daha düşük ve sertliği de daha yüksektir [Toptan ve ark., 2009; Zhang ve ark., 2004]. Her ne kadar yapılan çalışmalarda aşınmanın sertlikle tam bir ilişki içerisinde olmadığı belirtilse de; kompozit içerisinde parçacık olarak sert B_4C varlığı aşındırıcıya karşı bir direnç göstermiş ve kısmen aşınma dayanımındaki artışı etkilemiş olabilir.

Resim 8.25'te TK yapılmış kompozit numunelerin aşınma yüzeyleri görülmektedir. Burada B_4C ve SiC takviyeli kompozitlere göre Al_2O_3 parçacık takviyeli kompozitlerde yüzeydeki parçacık kopmaları, sürekli ve geniş çizgilerin fazlalığı bu kompozitlerde ağırlık kaybının daha fazla olduğunu göstermektedir. B_4C takviyeli kompozitlerde ise pek belirgin olmayan daha yüzeysel aşınma çizgileri bu numunelerin aşınma dayanımının daha yüksek olduğunu kanıtlamaktadır. SiC takviyeli kompozitlerde aşınma, daha çok sünek sıvanma şeklinde olmuştur.



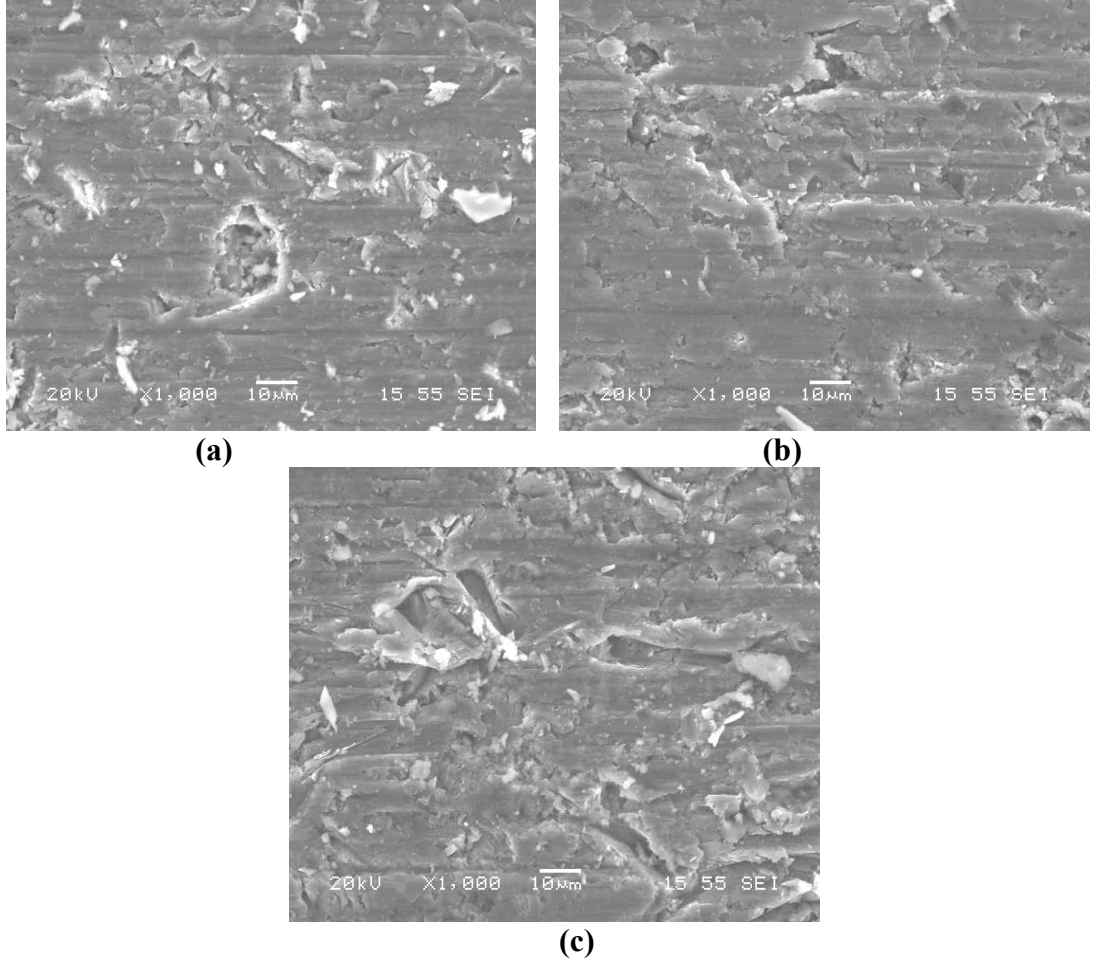
Resim 8.25. TK yapılmış kompozit numunelerin 30 N yük altında aşınma yüzey SEM resimleri (a) Al+Al₂O₃, (b) Al+B₄C, (c) Al+SiC

Resim 8.26'da en fazla ağırlık kayıplarının olduğu 6 saat MA işlemi yapılmış kompozit numunelere ait SEM resimleri verilmiştir. Tüm numunelerde aşınma çizgilerinin daha derin ve sürekli çizgiler olduğu görülmektedir, dolayısıyla kütle kayıpları artmıştır. Özellikle aşınmanın fazla olduğu Al₂O₃ parçacık takviyeli kompozitlerde bölgesel kopmalar mevcuttur. Bu durum Resim 8.26. (a)'da görüldüğü gibi aşınma esnasında kopan büyük parçaların yüzeye daha derin hasar vermesinden kaynaklanabilir. Her üç numunede de parçacık kopmaları mevcuttur. Kopan parçacıkların numunelerde kısmen kazıma yaparak matris malzemesinde kütle kayıplarına yol açtığı görülmektedir.



Resim 8.26. 6 saat MA yapılmış kompozit numunelerin 30 N yük altında aşınma yüzey SEM resimleri (a) Al+Al₂O₃, (b) Al+B₄C, (c) Al+SiC

Resim 8.27’de 10 saat MA işlemi yapılmış kompozit numunelere ait SEM resimleri görülmektedir. Resimlerden de görüldüğü gibi parçacık kopmalarının mevcut olduğu, ancak sürekli ve derin aşınma çizgilerinin nispeten azaldığı görülmektedir.



Resim 8.27. 10 saat MA yapılmış kompozit numunelerin 30 N yük altında aşınma yüzey SEM resimleri (a) Al+Al₂O₃, (b) Al+B₄C, (c) Al+SiC

9. SONUÇ VE ÖNERİLER

Parçacık takviyeli kompozit üretiminde MA süresinin kompozit özelliklerine etkisinin belirlenmesi amacıyla yapılan bu çalışmada, ilave edilen tüm takviye elemanları için başlangıçta toz boyutunun kısmen arttığı ardından artan MA süresiyle azaldığı tespit edilmiştir. En düşük toz boyutu MA süresinin 10 saate çıkmasıyla Al_2O_3 takviyeli karışım tozlarda elde edilmiştir.

EDS analizlerinde, MA sonrası Al matris tozlarına seramik parçacık tozlarının gömüldüğü görülmektedir. Bu da MA işleminin gerçekleşmiş olduğunu, dolayısıyla mekanik kilitlenme mekanizmasının meydana geldiğini göstermektedir.

MA ile üretilmiş kompozitler TK ile üretilmiş kompozitlere göre daha serttir. MA süresinin artmasıyla kompozitlerin sertlikleri de artmıştır. Al_2O_3 takviyeli kompozitlerin diğer kompozitlere göre daha sert olduğu ve en yüksek sertlik değerinin 10 saat MA yapılmış Al_2O_3 takviyeli kompozitlerde olduğu tespit edilmiştir.

Mikro yapı incelemelerinde genel olarak numunelerin homojen bir dağılım sergilediği görülmüş ve en iyi parçacık dağılımının B_4C takviyeli kompozitlerde olduğu tespit edilmiştir.

Sinterleme sonrası tüm numunelerin yoğunluk değeri artmıştır. Dolayısıyla tüm numunelerde sinterlemenin gerçekleşmiş olduğu tespit edilmiştir. En iyi sinterlemenin TK numunelerinde olduğu görülmüştür.

TK ile üretilmiş numunelerin yoğunlukları MA ile üretilmiş numunelerin yoğunluklarından daha yüksek olup, gözenek değerleri de daha düşüktür. Genel olarak MA süresinin artmasıyla kompozit numunelerin yoğunlukları düşerken, doğal olarak gözeneklilikleri de artmıştır. En yüksek yoğunluk değerleri ve buna bağlı olarak en düşük gözenek değerleri de B_4C takviyeli kompozitlerde tespit edilmişken,

en düşük yoğunluk değerleri ve en yüksek gözeneklilik değeri ise Al_2O_3 takviyeli kompozitlerde tespit edilmiştir.

Saf alüminyum için yapılan çapraz kırılma deneyinde beklendiği gibi herhangi bir kopma ve kırılma oluşmamış sadece bir eğilme meydana gelmiştir.

MA yapılmış kompozit numunelerin ÇKD değerleri, TK yapılmış kompozit numunelere göre daha yüksektir. Tüm kompozit numuneler için genel olarak en iyi sonuçlar 10 saatlik MA yapılmış numunelerden elde edilirken, en yüksek ÇKD değeri Al_2O_3 takviyeli kompozit numunelerden elde edilmiştir.

Saf alüminyum için yapılan aşınma deneyinde beklendiği gibi TK ve MA yapılmış numunelere göre daha fazla bir ağırlık kaybı ve aşınma meydana gelmiştir. Uygulanan yük miktarının artmasıyla doğal olarak ağırlık kayıpları da artmıştır.

TK yapılmış numunelerin ağırlık kayıpları MA yapılmış numunelere göre daha azdır. Dolayısıyla TK yapılmış numunelerin aşınma dayanımları daha yüksektir.

Genel olarak 4 saate kadar MA sürelerinde ağırlık kayıplarında bir artış gözlenirken, uzun süreli MA işlemlerinde ağırlık kayıpları kısmen azalmalar gösterebilir. Çoğunlukla sabit kalmıştır. Bu durumda, üretilen kompozitlerde artan MA süresinin kompozitlerin aşınma dayanımlarına herhangi bir olumlu etkisi olmamıştır. Aksine kısa MA işlemlerinde daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

TK ve tüm MA işlemlerinde genel olarak en iyi aşınma dayanımı B_4C takviyeli kompozitlerde elde edilirken, en düşük değerler Al_2O_3 takviyeli kompozitlerde elde edilmiştir.

Genel olarak tüm numunelerde abrasif aşınma ile ağırlık kayıpları oluşurken, Parçacık kopması şeklinde de aşınmalar oluşmuştur.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar ve bilgiler doğrultusunda aşağıda belirtilen çalışmaları yapılması uygun olacaktır.

- Sinterleme sıcaklığı değiştirilerek sıcaklığın etkisi araştırılabilir.
- Farklı boyutlarda takviye elemanları kullanılarak takviye boyutunun etkileri üzerine çalışmalar yapılabilir.
- Adhesif aşınma veya farklı sıcaklıkta aşınma deneyleri yapılarak diğer aşınma özellikleri belirlenebilir.
- Yorulma özellikleri incelenebilir.

KAYNAKLAR

1. Acılar, M., Gül, F. “Effect of the applied load, sliding distance and oxidation on the dry sliding wear behaviour of Al-10Si/SiCp composites produced by vacuum infiltration technique”, *Materials and Design*, 25: 209-217 (2004).
2. Akkurt M., “Makina Elemanları”, *Birsen Yayınevi Ltd. Şti.*, 1-2 (2000).
3. Aktaş, H., “Alüminyum Matrisli Al₂O₃ Parçacık Takviyeli Kompozitlerin Mekanik Alaşımlama Yöntemiyle Üretimi ve Kuru Aşınma Davranışlarının İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-31, 73-75 (2007).
4. Angelo, L.D., Gonzalez, G., Ochoa, J., “Phase transformations study on Ni₇₅Al₂₅ and Ni₅₀Al₅₀ during mechanical alloying and sintering”, *Journal of Alloys and Compounds*, 434-435, 348-353, (2007).
5. Arık, H., “Production and characterization of in situ Al₄C₃ reinforced aluminum based composite produced by mechanical alloying technique”, *Materials and Design*, 25: 1-4, (2004).
6. Arık, H., Türker, M., “Production and characterization of in situ Fe-Fe₃C composite produced by mechanical alloying”, *Materials & Design*, 28: 140-146 (2005).
7. Askeland, D.R., “The Science and Engineering of Materials”, *Composites Materials*, SI Edition, University of Missouri, Rolla, (1988).
8. Aslan, A., “Östemperlenmiş küresel grafitli dökme demirlerin aşınma davranışının incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 42-54 (2002).
9. ASTM Standarts, B 528-05, “Standart Test for Transverse Rupture strength of Metal Powder Specimens”, *ASTM International*, USA, 1-3 (2008).
10. Ayhan O., Gur, A.K., Çalığülü, U., “Al Matrisli B₄C Takviyeli Kompozitlerin Sıcak Presleme Yöntemiyle Üretimi”, Fırat Üniversitesi, Metal Eğitimi Bölümü, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 4: 8-13, (2007).
11. Baydoğan, M., Çimenoglu, H., “The effect of austempering time on mechanical properties of a ductile irons”, *Scandinavian Journal of Metallurgy*, 30: 391-395 (2001).
12. Buytoz. S., Eren, H., “Al metal matris kompozitlerin abrasiv aşınma performansına takviye elemanlarının etkisi”, *Fırat Üniversitesi Fen ve Müh. Bil. Dergisi*, 19 (2): 209-217 (2007).

13. Callister, W.D., Materials Science and Engineering, Second Edition, **John Wiley & Sons Inc.**, Singapore, (1990).
14. Candan, E., Ahlatci, H., Cimenoglu, H. "Abrasive wear behaviour of Al-SiC composites produced by pressure infiltration technique", **Wear**, 247: 133-138 (2001).
15. Cole, G. S., Sherman, A. M., "Lightweight Materials for Automotive Applications", **Materials Charecterisation**, 35: 3-9 (1995).
16. Crowe, C.R. and Gray, R. A., "Failure mechanism in high performance materials", **Proc. 19 the Meeting of High Performance Group**, Gaithesburg, 157 (1984).
17. Çalın, R., "Magnezya parçacık takviyeli Al matrisli kompozitin vakum infiltrasyon yöntemi ile üretilmesi ve özelliklerinin incelenmesi", Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 35-37 (2006).
18. Çelikyürek, İ., "Demir aluminatların borlanması ve aşınma özelliklerinin belirlenmesi", Doktora Tezi, **Eskisehir Osmangazi Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü**, Eskişehir, 10-12 (2006).
19. Değirmencioğlu, S.D., "Akımsız nikel kaplamanın demir esaslı T/M malzemelerde aşınma dayanımına etkisi", Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 15-20 (2005).
20. Diler, A. ve İpek, R., "Toz Metalurjisi Yöntemiyle Üretilen Al/ B₄Cp ve SiCp Arayüzeyi", **Proceedings of 12th International Materials Symposium (IMSP'2008)**, October 15-17, 2008", Denizli, Turkey, (2008).
21. Di, L. M. And Bakker, H. J., "Phase transformation of the compound V₃Ga induced by mechanical grinding", **Phsy. C: Condens. Matter.**, 3: 3427-3432 (1991).
22. Dursun T., Özbay, M., "Tabakalı kompozit levhalarda hasar ilerleme modellemesi", **Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Dergisi**, 23 1: 65-68 (2008).
23. Erdem, M., "Mekanik alaşımlama yöntemi ile Ni esaslı bir süper alaşımın üretilmesi ve mikro yapı, mekanik ve oksitlenme özelliklerinin araştırılması", Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 44-52 (2007).
24. Erdoğan, M., "Malzeme Bilimi ve Mühendislik malzemeleri", **Nobel yayın dağıtım**, Ankara, 204-207, (1998).

25. Ekşi, A. ve Kurt, A. O, “Metal ve Seramik Tozlarının Bilgisayar Kontrollü Tek Eksenli Kalıpta Preslenmesi”, *Uluslararası Katılımlı 2. Ulusal Toz Metalurjisi Konferansı*, ODTÜ, Ankara, 557- 563 (1999).
26. German, R. M., “Powder Metallurgy Science”, *Metal Powder Industries Federation*, 2nd edition, USA (1994).
27. German, R. M., “Powder Metallurgy of Iron and Steel”, *Jhon Willey and Sons*, U.S.A., (1998).
28. Gilman, P.S., and Benjamin, J. S., “Nickel and iron based dispersion strengthned alloys”, *Metals Handbook*, ASM, Metals Park, 723-725, (1984).
29. Gu, Y.W. and Goi, L.S., “Structural evolution in Ti-Si alloy syntesized by mechanical alloying, *Physica B: Physics of Condensed Matter*, 352, (1-4): 299-304 (2004).
30. Gldaş, A., Şahin, Y., Dilipak H., “Zn-Al esaslı metal matriksli kompozit malzemelerin aşınma davranışlarının incelenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 3 (2): 97-102 (2000).
31. Halling, J., “Principles of Tribology”, *MacMillan Press*, London, 214-219 (1975).
32. Hausner, H.H. and Smith, W.E., “Modern development in Powder Metallurgy”*Metal Powder Int. Fed.*, Princeton, 6: 1-4 (1973).
33. Hull, D. ve Clyne, T.W., “An Introduction to Composite Materials”, 2nd Edition, *Cambridge University Press*, Cambridge, (1996).
34. Jun D., Liu, Y.-H., Yu, S.-R., Li, W.-F. “Dry sliding friction and wear properties of Al₂O₃ and carbon short fibres reinforced Al-12Si alloy hybrid composites”, *Wear*, 257: 930-940 (2004).
35. Kayalı, E.S., Ensari, C., “Mukavemet Artırıcı İşlemler”, *Metallere plastik şekil verme ilke ve uygulamaları*, İTÜ, 82-150, (1985).
36. Kaw, A.K., “Mechanics of Composite Materials”, *Crc Press*, Washington, 3: 61-65 (1997).
37. Kennedy, A.R., Brampton, B., “The Reactive Wetting and Incorporation of B₄C Particles into Molten Aluminium”, *Scripta Material*, 44: 1077-1082 (2001).

38. Kılıç, E.F., “Alüminyum Alaşımli SiC Parçacık Takviyeli Kompozitlerin Toz Metalurjisi Yöntemiyle Üretimi ve Aşınma Davranışlarının İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 1-35 (2007).
39. Kılınç, Y., “Yağlı sürtünme şartlarında çelik ince zırh yataklarında üretim tekniklerinin aşınma etkisinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Kayseri, 1-25 (1993).
40. Kurt, H., “Alüminyum Alümina Kompozit Malzeme Üretiminde Karıştırma Tekniğinin Kompozitin Aşınma Davranışı Üzerine Etkilerinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 33-48 (2010).
41. Lee, B.S., Kang, S., “Low-Temperature Processing of B4C-Al Composites Via Infiltration Technique”, **Materials Chemistry and Physics**, 67: 249-255 (2001).
42. Lee, W., Kwun, S. I., “The effects of process control agents on mechanical alloying mechanisms in the Ti---Al system”, **Journal of Alloys and Compounds**, 240: 193-199, South Korea, (1996).
43. Lu, M.O. Lai, C.W. Ng, “Enhanced mechanical properties of an Al based metal matrix composite prepared using mechanical alloying”, **Materials Science and Engineering A252**: 203–211, Singapur, (1998).
44. Liu, Y.J., Chang, I.T.H., “The correlation of microstructural development and thermal stability of mechanically alloyed multicomponent Fe-Co-Ni-Zr-B alloys”, **Acta Materialia** 50: 2747-2760, (2002).
45. Mallick P.K., “Composites” **Engineering Handbook**, New York, 631-635, (1997).
46. Mondal, D.P., Das, S., Jha, A.K., Yegneswaran, A.H. “Abrasive wear of Al alloy-Al₂O₃ particle composite: a study on the combined effect of load and size of abrasive”, **Wear**, 223: 131-138 (1998).
47. Muratoğlu, M., Demirel, M., “Cu/Ni₃Al metal matrisli kompozitin kuru kayma aşınma davranışlarının araştırılması”, **5.Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu**, Karabük, 759-765 (2009).
48. Nutt, S.R. and Duva, J.M., “A failure mechanism in Al/SiC compocites”, **Scr. Metal.**, 20: 1055 (1986).
49. Özay, Ç., Hasçalık, A., “T/M yöntemiyle üretilen Cu-C-Al₂SiO₅ kompozitin abrasif aşınma dayanımı”, **Dumlupınar Ünv. Fen Bilimleri Ens. Dergisi**, 2:175-184 (2004).

50. Özkök, Ö., “ α -Si₃N₄ içeren Alüminyum Matrisli Kompozit Malzeme Üretimi ve Özelliklerinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 15-50 (2004).
51. Pyzik, A.J., Beaman, D.R., “Al-B-C phase development and effects on mechanical properties of B₄C/Al derived composites”, **J. Am. Ceram. Soc.**, 78 (2): 305-12 (1995).
52. Riahi, A.R., Alpas, A.T. “The role of tribo-layers on the sliding wear behavior of graphitic aluminum matrix composites”, **Wear**, 251: 1396-1407 (2001).
53. Roberts, S., “Wear”, **Surface Engineering**, 1-23 (2002).
54. Robert, M., “Powder Metallurgy Science”, **Metal Powder Industry Federation**, New Jersey, (1984).
55. Sarıtaş, S., Türker, M, Durlu, N.,”Toz Metalurjisi ve Parçacıklı Malzeme İşlemleri”, **Türk Toz Metalurjisi Yayınları**: 05, Ankara, 2-9, 15-34, 206, 237, 379-387, 404-410, (2007).
56. Sasaki, T.T., Mukai, T. Hono, K., “A high-strength bulk nanocrystalline Al-Fe alloy processed by mechanical alloying and spark plasma sintering”, **Scripta Materialia**, 57: 189–192 (2007).
57. Sawla, S., Das, S. “Combined effect of reinforcement and heat treatment on the two body abrasive wear of aluminum alloy and aluminum particle composites”, **Wear**, 257: 555-561 (2004).
58. Stachowiak, G.W., and Batchelor, A.W., “Engineering Tribology”, **Tribology international**, 27: 371-372, UK, (1994).
59. Song, S.G., “Reinforcement shape effects on the fracture behavior and ductility of particulate-reinforced 6061 Al matrix composites”, **Met. And Mat. Trans.**, 27A: 3307, (1996).
60. Suryanarayana, C., “Mechanical alloying and milling”, **Progress in Materials Science**, 46: 1-184 (2001).
61. Sümer, M., “Mekanik Alasımlama ile Üretilen Fe-Fe₃ Kompozit Malzemede Mekanik Özelliklerin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 13-21 (2003).
62. Shorowordi K.M., Laoui T, Haseeb A.S.M.A, Celis J.P. Froyen L., Mikrostructure, and interface characteristics, **Journal of Materials Processing Technology**, 142: 738-743 (2003).

63. Stephens, J.J. Lucas, J.P. and Hosking, F.M., “*Scr. Metal.*, 22: 28 (1988).
64. Şahin, Y., Özdin, K., “A model for the abrasive wear behavior of aluminium based composites”, *Materials And Design*, 1-6 (2007).
65. Şafak, H.E., “Yüzeyi PVD yöntemiyle kaplanmış metallerde tribolojik özelliklerin belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 8-10 (2008).
66. Qiao, Z., Ma, X., Zhao, W., Tang, H., Cai, S., Zhao B., “Fabrication, microstructure and mechanical properties of novel cemented hard alloy obtained by mechanical alloying and hot-pressing sintering”, *Materials Science and Engineering*, A 460–461: 46–49 (2007).
67. Tayo, M., and Arsenoult, R. J., “Metal matrix composites thermo mechanical behavior” *Permagon Press*, (1989).
68. Thevenot, F., “Boron Carbide-A Comprehensive Review”, *Journal of the European Ceramic Society*, 6: 205-225 (1990).
69. Tomaç, N., Tonnessen, K., “Machinebility of Particulate Aluminium matrix composites”, *Annals of the CIRP*, 40-58, (1992).
70. Toptan F., Kılıçarslan A., Karaaslan A. Ve Kerti I., “Ti ilavesi ile üretilen Al-B4C kompozitlerinde matris/takviye ara yüzeyinin mikroyapısal karakterizasyonu”, *5.Uluslararası ileri Teknolojiler Sempozyumu*, Karabük, (2009).
71. Türker, M., Özdemir, T., Ögel, B., ve Yavuz, A., “Al-SiC tozlarının mekanik alaşımlama değirmeninde öğütme zamanının kompozit toz yapısına etkisinin araştırılması”, *Uluslararası Katılımlı 2. Ulusal Toz Metalurjisi Konferansı*, Ankara, 425, 430 (1999).
72. Upadhyaya, G. S., “Sintered Metallic and Ceramic Materials-Sintered Low-Alloy Ferrous Materials”, *John Wiley & Sons LTD*, West Sussex, England, (2000).
73. Urtekin, L., “Toz enjeksiyon kalıplanmış steatite seramiklerin özelliklerine kalıplama ve sinterleme parametrelerinin etkisinin incelenmesi”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 23-26, 65-67 (2008).
74. X. Zhu, M. Schoenitz, E.L. Dreizin, “Mechanically alloyed Al–Li powders”, New Jersey Institute of Technology, Newark, NJ 07102, United States, *Journal of Alloys and Compounds* 432: 111–115, (2007).
75. Wang, J., “Mechanical alloying of amorphous Al–SiO₂ powders”, *Journal of Alloys and Compounds* 456: 139–142, Shanghai (2007).

76. Yavuz N., Karadere, G., “Toz Metal Parçaların Tasarım Özelliklerinin İncelenmesi”, Süleyman Demirel Üniversitesi, *Müh. Mim. Fak. Mak. Müh. Dergisi*, 79-82 (1996).
77. Yıldırım, M.M., Buytoz, S. and Ulutan, M., 2007, “Mikrostrukturelle Änderungen an SiC beschichteten und mit WIGschweißtechnik erzeugten metalloberflächeneines 45Mn5 stahls”, *Prakt. Metallogr.*, 44: 59-69 (2007).
78. Zhang, H., Ramesh, K.T., Chin, S.C., “High Strain Rate Response of Aluminium 6092/B4C Composites”, *Materials Science and Engineering A*, 384: 26-34 (2004).
79. Zhang, H., Ramesh, K.T., Chin, E.S.C., “High Strain Rate Response of aluminium 6092/B4C Composites”, *Materials Science and Engineering*, A 384 26-34, (2004).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : KARABULUT, Hasan
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 02.12.1974 İskenderun
 Medeni hali : Evli ve bir çocuklu.
 Telefon : 0 (505) 369 12 50
 e-mail : karabulut.hasan@hotmail.com.

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Metal Eğitimi Bölümü	2004
Lisans	Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Metal Öğretmenliği Bölümü	1998
Lise	İskenderun End.Mes. Lisesi	1991

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2000-2003	Sinop/Gerze Çok Programlı Lisesi	Metal Teknolojisi Öğr. ve Böl. Şefi
2004-2005	Zonguldak/Kilimli End. Mes. Lis.	Metal Teknolojisi Öğr. ve Böl. Şefi
2005-2007	Ankara/Bala Atatürk End. Mes. Lis.	Metal Teknolojisi Öğr.
2006-2008	Ankara/MEB Eğt.Araş.Gelş.Dair.Başk.	Görevli Öğretmen
2007-2008	Ankara/Gölbaşı Atatürk End. Mes. Lis.	Metal Teknolojisi Öğr.
2008-Halen	Mesleki Yeterlilik Kurumu	Metal Sektör Komitesi Başkan V.
2008-Halen	Ankara/Siteler Mesleki Eğitim Merkezi	Metal Teknolojisi Öğr.

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1. Karabulut, H., Gündüz, S., “Effect of vanadium content on dynamic strain ageing in microalloyed medium carbon steel”, **Materials & Design**, Volume 25, Issue 6, September 2004, Pages 521-527.

Diğer Yayınlar

MEB MEGEP Projesi kapsamında yazdığı modül kitaplar:

1. Delme ve Havşa Açma (Metal Teknolojisi Alanı)
2. Tahribatlı Muayene Yöntemleri (Metal Teknolojisi Alanı)
3. Kabartma Tekniği (Metal Teknolojisi Alanı)
4. Oksi-Gaz ile Dökme Demir ve Alüminyum Kaynağı (Metal Teknolojisi Alanı)
5. Dökme Demir Kaynağı (Metal Teknolojisi Alanı)
6. Isıl İşlemler (Metal Teknolojisi Alanı)
7. Alaşımli Çeliklerin Kaynağı (Metal Teknolojisi Alanı)

Projeler

1. (BAP Projesi) PROJE NO: 2002-38-03-03

Mikroalaşım Çeliklerinde Yaşlanma Sertleşmesi Olayının Mekanik Özelliklere Etkisi

Projedeki görevi: Araştırmacı

Toplam Bütçesi: 10.100 TL

Projeyi Destekleyen: Z.K.U. Bilimsel Araştırma Projesi Komisyon Başkanlığı (Aralık 2004)

Bu projeden yapılan yüksek lisans çalışması:

1. Mikroalaşım Çeliklerinde Yaşlanma Sertleşmesi Olayının Mekanik Özelliklere Etkisi

2. (MEB-Mesleki Eğitimi Geliştirme Projesi): 2005-2008

Projedeki görevi: Modül yazımı, Modül inceleme ve düzeltme

3. (Matra Projesi) Türkiye ve Hollanda’da cezaevlerinde mahkûmlara uygulanan meslek eğitiminin karşılaştırılması ve kaliteyi artıracak tespitlerin belirlenmesi

Projedeki görevi: Araştırmacı

Projeyi Destekleyen: MEB-EARGED (2009)

4. BAP Projesi)

T/M yöntemiyle üretilen Al_2O_3 , B_4C , SiC takviyeli Al matrisli kompozit üretiminde mekanik alaşımlama süresinin kompozit özelliklerine etkisi

Projedeki görevi: Araştırmacı

Toplam Bütçesi: 12.500 TL

Projeyi Destekleyen: Gazi Ünv. Bilimsel Araştırma Projesi Komisyon Başkanlığı (2010)

Bu projeden yapılan doktora çalışması:

1. T/M yöntemiyle üretilen Al_2O_3 , SiC ve B_4C takviyeli Al matrisli kompozit üretiminde mekanik alaşımlama süresinin kompozit özelliklerine etkisi

Hobiler

Elektronik ve Bilgisayar teknolojileri, Futbol