

**SiC TAKVİYELİ Al-12Si MATRİSLİ KOMPOZİTİN TOZ METALURJİSİ
YÖNTEMİYLE ÜRETİMİ VE AŞINMA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

Erdoğan IŞIK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HAZİRAN 2014

Erdirinç Işık tarafından hazırlanan “SiC TAKVİYELİ Al-12Si MATRİSLİ KOMPOZİTİN TOZ METALURJİSİ YÖNTEMİYLE ÜRETİMİ VE AŞINMA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Yusuf USTA

Makina Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Bu tezin kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Başkan: Prof. Dr. Rahmi ÜNAL

Makina Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Bu tezin kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye: Prof. Dr. Halil ARIK

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Bu tezin kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Tez Savunma Tarihi:17/06/2014

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Şeref SAĞIROĞLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Erdinç IŞIK

17.06.2014

SiC TAKVİYELİ Al-12Si MATRİSLİ KOMPOZİTİN TOZ METALURJİSİ
YÖNTEMİYLE ÜRETİMİ VE AŞINMA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)

Erdoğan IŞIK

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Haziran 2014

ÖZET

Bu çalışmada A413 alüminyum alaşım tozları ile değişik oranlarda (%4, %7, %12 ve %21) SiC tozları karıştırılarak, toz metalurjisi yöntemiyle kompozit malzeme üretimi gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan tozlar 15 dk. boyunca 3 boyutlu karıştırıcıda karıştırılmış ve 800 MPa basınç altında preslenerek numuneler elde edilmiştir. Elde edilen numuneler atmosfer kontrollü tüp fırında 2 saat süre ile azot gazı ortamında 550 °C’ de sinterlenmiştir. Sinterlenmiş numunelerin yoğunluk ölçümleri, sertlik testleri ve aşınma deneyi yapılarak, kompozit malzemenin mekaniksel özellikleri belirlenmiştir. Numunelerin optik mikroskop çalışmalarıyla mikro yapı incelemeleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca numunelerin aşınma sonrası yüzey görüntüleri SEM’ de incelenmiş ve numunelerin yüzey analizi için EDS görüntüleri alınmıştır. Elde edilen sonuçlara bakıldığında genel anlamda takviye malzemesinin Al matris içerisinde homojen olarak dağıldığını göstermektedir. Al ve SiC’ ün birbiri içerisindeki homojen dağılımı kompozitin mekanik özelliklerinde iyileşme sağlamıştır. Yapılan çalışmada önemli bir parametre olan aşınma, istenilen bir davranış sergilemiştir. Aşındırıcı yüzeyin parçacık boyutu küçüldükçe, numunelerin aşınma direncinde artış görülmüştür. Bu çalışma fren diskleri gibi aşınma direncinin önemli bir parametre olduğu numunelerin toz metalurjisi yöntemiyle üretilmesi konusunda belirli deneylerde önemli bir veri vermiştir.

Bilim Kodu : 914.1.094
Anahtar Kelimeler : Alüminyum alaşımı, A413, SiC, Kompozit,
Aşınma, Mekanik Özellikler
Sayfa Adedi : 87
Tez Yöneticisi : Doç. Dr. Yusuf USTA

THE PRODUCTION OF AL-12Si MATRIX COMPOSITE REINFORCED WITH
SiC PARTICLES BY POWDER METALLURGY AND ANALYSIS OF THE WEAR
BEHAVIOUR

(M. Sc. Thesis)

Erdoğan IŞIK

GAZİ UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

June 2014

ABSTRACT

In this study, A413 aluminium alloy powders and SiC powders are mixed at the different ratios (%4, %7, %12 and %21) by using powder metallurgy method to produce composite material. The produced powders are mixed in 3D blender for 15 minutes and the samples are created by using press under 800Mpa pressure. The obtained samples are sintered for 2 hours in furnace controlled by atmosphere. The media of furnace is nitrogen and the sintering temperature is 550 °C. The mechanical properties of the composite material are obtained through the density measurement, hardness and wear tests of the sintered samples. The microstructure of samples are investigated by using optic microscope. Furthermore, the surface view of the samples are analyzed in SEM and EDS after wear test. According to the results, the support material is generally distributed homogenously in Al matrix. The homogen distribution have improved the composite strength. In this study, the wear which is important parameter has showed the desired material behaviour. When the abrasive surface size decreases, it is seen that the sample wear resistant increases. This study gives important information about the producing brake disc which is such an important parameter of the wear resistance of the samples by using powder metallurgy method at certain experiments.

ScienceCode : 914.1.094

KeyWords : Aluminum alloy, A413, SiC, Composites,
Abrasive Wear, Mechanical Properties,

PageNumber : 87

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Yusuf USTA

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın yapılması sırasında yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren tez danışmanım Doç. Dr. Yusuf Usta' ya teşekkür ederim.

Numunelerin üretilmesi için desteğini esirgemeyerek, tüm laboratuvar imkanlarını sunan Gazi Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölüm Başkanı Prof. Dr. Halil Arık' a teşekkür ederim. Aşınma deneylerinin yapılmasında bütün laboratuvar imkânlarını sunarak hiçbir fedakârlıktan kaçınmayan Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Dekan Yardımcısı Prof. Dr. Ferhat Gül'e teşekkürü bir borç bilirim. Çalışmaların yürütülmesi sırasında yol gösteren, tecrübesi ve yardımlarıyla beni yönlendiren Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi öğretim üyesi Prof. Dr. Rahmi Ünal'a teşekkür ederim. Çalışmalarım boyunca desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, laboratuvar çalışmalarımın her aşamasında bilgi ve tecrübesiyle yanımda olan Gazi Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği öğretim üyesi Yrd. Doç. Dr. Hanifi Çinici' ye teşekkürü bir borç bilirim. Laboratuvar çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen Hitit Üniversitesi Mühendislik Fakültesi öğretim üyesi Yrd. Doç. Dr. Cengiz Bağcı' ya ve Öğr. Gör. Mehmet Subaşı' na teşekkür ederim. Numunelerin metalografik analizlerinde yardımlarını esirgemeyen Uz. Dr. Meryem Polat'a teşekkür ederim. Laboratuvar çalışmalarında yardımlarını hiç bir zaman esirgemeyen Arş. Gör. Görkem Kırmızı'ya, Arş. Gör. İrem Burcu Algan'a, Arş. Gör. Yasemin DüNDAR'a, Arş. Gör. Esra Altun'a ve Arş. Gör. Yavuz Şavşatlı'ya teşekkür ederim.

Toz boyutlarının analizinin yapılmasında yardımcı olan DrogSan İlaçları San. ve Tic. A.Ş.' de kalite kontrol sorumlusu Gürhan Yüksel'e, laboratuvar çalışmalarında yardımcı olan yüksek lisans öğrencisi Selen Atmaca'ya, makine yüksek mühendisi Remzi Ecmel Ece'ye ve makine mühendisi Aşkın Tüylüoğlu'na teşekkür ederim

Ayrıca her zaman yanımda olan ve bugünlere gelmemde çok büyük emeği olan, beni daima sabır ve anlayışla karşılayan aileme teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xi
RESİMLERİN LİSTESİ	xiii
SİMGELER KISALTMALAR	xv
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	5
3.KOMPOZİT MALZEMELER	7
3.1. Kompozit Malzemelerin Özellikleri	7
3.2.Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları	8
3.3. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması	8
3.3.1. Polimer matrisli kompozitler	9
3.3.2. Metal matrisli kompozitler (MMK)	10
3.3.3. Seramik matrisli kompozitler	11
3.4. Metal Matrisli Kompozitlerin Üretim Teknikleri	12
3.4.1. Sıvı halde üretim tekniği	12
3.4.2. Katı halde üretim tekniği	12
3.5. Kompozitler İçin Matris Malzemeleri	12
3.5.1. Metal matrisler	13
3.5.2. Seramikler	14
3.5.3. Seramik takviyeli kompozit malzemelerin sertliği	15
3.5.4. Seramik takviyeli kompozit malzemelerin aşınma direnci	16

Sayfa

4. ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARININ ÖZELLİKLERİ	17
4.1. Alüminyum Tozlar	19
4.2. Alüminyum Matrisli Kompozit Malzemeler	20
5. SiC VE ÖZELLİKLERİ	21
5.1. Silisyum Karbürün Kullanım Alanları	22
6. TOZ METALURJİSİ	23
6.1. Toz Metalürjisinin Tanımı	23
6.2. Toz Metalürjisinin Avantajları	23
6.3. Toz Metalürjisinin Uygulama Alanları	24
6.4. Toz Metalürjisi Yönteminin Temel Basamakları	25
6.5. Metal Tozlarının Üretimi	26
6.6. Tozların Fiziksel Özellikleri.....	27
6.6.1. Tozların karakterizasyonu	27
6.7. Metal Tozlarının Sıkıştırılması.....	27
6.8. Metal Tozlarının Sinterlenmesi	30
6.9. Toz Metal Parçalara Uygulanan Testler	33
6.9.1. Toz metal parçaların sertliği	34
7. AŞINMA.....	35
7.1. Aşınmayı Etkileyen Faktörler	35
7.1.1. Ana malzemeye bağlı faktörler	35
7.1.2. Karşı malzemeye bağlı faktörler ve aşındırıcının etkisi	35
7.2. Aşınma Mekanizmaları	36
7.2.1. Adhesif aşınma (Yapışma aşınması)	36
7.2.2. Abrasif aşınma.....	36
7.2.3. Yorulma aşınması.....	37
7.2.4. Eroziv aşınma	38

Sayfa

7.2.5. Difüzyon aşınması	38
8. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	39
8.1 Malzeme	39
8.2. Tozların Vakumlanması	40
8.3. Karışım Tozların Hazırlanması	40
8.4. Karışım Tozların Karakterizasyonu	41
8.5. Tozların Preslenmesi	42
8.6. Numunelerin Ham Yoğunluklarının Ölçülmesi	42
8.7. Numunelerin Sinterlenmesi	43
8.8. Sertlik Ölçümleri	45
8.9. Metalografik İncelemeler	46
8.10. Aşınma Deneyi	47
9. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA	49
9.1.Toz Boyut Analizi	49
9.2. Yoğunluk Ölçüm Sonuçları	50
9.3. Sertlik Testi Sonuçları	52
9.4. Metalografik İnceleme Sonuçları	52
9.5. EDS Yöntemi ile Element Analizi	55
9.6. Aşınma Testi Sonuçları	62
9.7. Aşınma Testi Sonrası Numunelerin SEM' de incelenmesi	67
8. SONUÇ VE ÖNERİLER	79
KAYNAKLAR	81
ÖZGEÇMİŞ	87

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Saf alüminyumun fiziksel özellikleri.....	14
Çizelge 3.2. Mühendislik seramiklerin tipik özellikleri.....	15
Çizelge 5.1. SiC'ün bazı özellikleri	21
Çizelge 8.1. Deneylerde kullanılan alüminyumun kimyasal analizi.....	39
Çizelge 9.1. Alüminyum tozunun boyut analizi sonucu	49
Çizelge 9.2. SiC tozunun boyut analizi sonucu	50
Çizelge 9.3. Üretilen kompozit numunelerin sinterleme öncesi ve sinterleme sonrası yoğunluk değerleri	51
Çizelge 9.4. Üretilen kompozitlerin sertlik değerleri.....	52

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 6.1. Toz metal parçaların üretim safhaları	25
Şekil 6.2. Tozların sıkıştırılmasında işlem sırası	28
Şekil 6.3. Bakır tozundan sıkıştırılmış silindirlerde sabit yoğunluk çizgileri	29
Şekil 6.4. Çift-küre sinterleme modeli	31
Şekil 6.5. Sinterleme sonrasında birbirine temas eden parçacıklar	32
Şekil 6.6. Sinterleme aşamaları	33
Şekil 7.1. İki elemanlı abrasif aşınma	37
Şekil 7.2. Üç elemanlı abrasif aşınma	37
Şekil 7.3. Yorulma aşınmasının şematik gösterimi	38
Şekil 9.1. Alüminyum tozunun boyut analizi	49
Şekil 9.2. SiC tozunun boyut analizi	50
Şekil 9.3. 800 MPa presleme basıncında preslenen numunelerde SiC miktarına bağlı sinterleme öncesi ham yoğunluk değerleri ve sinterleme sonrası gerçek yoğunluk değerleri	51
Şekil 9.4. Numunelerin takviye oranına bağlı olarak sertlik değerleri	52
Şekil 9.5. Resim 9.6' deki genel EDS analizi	57
Şekil 9.6. Resim 9.6' deki 1 bölgeye ait EDS analizi	57
Şekil 9.7. Resim 9.6' deki 2 bölgeye ait EDS analizi	58
Şekil 9.8. Resim 9.6' deki 3 bölgeye ait EDS analizi	58
Şekil 9.9. Resim 9.6' deki 4 noktaya ait EDS analizi	59
Şekil 9.10. Resim 9.6' deki 5 bölgeye ait EDS analizi	59
Şekil 9.11. Resim 9.7' deki genel EDS analizi	60
Şekil 9.12. Resim 9.7' deki 1 bölgeye ait EDS analizi	61
Şekil 9.13. Resim 9.7' deki 2 bölgeye ait EDS analizi	61

Şekil	Sayfa
Şekil 9.14. Resim 9.7’ deki 3 bölgeye ait EDS analizi	62
Şekil 9.15. Resim 9.7’ deki 4 bölgeye ait EDS analizi	62
Şekil 9.16. 800 mesh zımparada takviye oranlarına göre numunelerin aşınma miktarları.....	63
Şekil 9.17. 1000 mesh zımparada takviye oranlarına göre numunelerin aşınma miktarları.....	64
Şekil 9.18. 1200 mesh zımparada takviye oranlarına göre numunelerin aşınma miktarları.....	64
Şekil 9.19. 10 N’ yük’ de farklı meshlerdeki zımparalarda takviye oranlarına numunelerin aşınma miktarları	65
Şekil 9.20. 20 N’ yük’ de farklı meshlerdeki zımparalarda takviye oranlarına numunelerin aşınma miktarları	66
Şekil 9.21. 30 N’ yük’ de farklı meshlerdeki zımparalarda takviye oranlarına numunelerin aşınma miktarları	66

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 8.1. Vakumlama işleminde kullanılan vakum pompası.....	40
Resim 8.2. Turbula marka 3 boyutlu karıştırıcı	41
Resim 8.3. MalvernMastersizer Toz boyutu ölçüm cihazı	41
Resim 8.4. Tozların sıkıştırılmasında kullanılan hidrolik pres	42
Resim 8.5. Yoğunluk kiti ile ham yoğunluk ölçme	43
Resim 8.6. Deneylerde kullanılan sinterleme fırını ve numune kabı	44
Resim 8.7. Numunelerin sinterleme öncesi yerleştirilmesi	44
Resim 8.8. Mikrosertlik ölçüm cihazı	45
Resim 8.9. Sertlik Ölçüm Cihazı	45
Resim 8.10. Zımparalama işleminin yapıldığı zımpara makinesi.....	46
Resim 8.11. Leica DM 4000 m marka optik mikroskop.....	47
Resim 8.12. Abrasif aşınma test cihazı.....	48
Resim 9.1. %4 SiC içeren numunenin optik resimleri.....	53
Resim 9.2. %7SiC içeren numunenin optik resimleri.....	53
Resim 9.3. %12SiC içeren numunenin optik resimler	54
Resim 9.4. %21 SiC içeren numunenin optik resimler	54
Resim 9.5. %21 SiC içeren numunenin matris içerisinde homojen dağılımını gösteren optik resmi	55
Resim 9.6. %12 SiC içeren numunenin SEM görüntüsü	56
Resim 9.7. %21 SiC içeren numunenin SEM görüntüsü	60
Resim 9.8. Deneysel şartlara bağlı olarak Al alaşım ve farklı oranlarda SiC ilave edilmişkompozit malzemelerinin 800 Mesh zımpara ile 10 N yük altında aşındırılmış yüzeylerinin görüntüleri; a) %4 SiC b) %7 SiC c) %12 SiC d) %21 SiC e) Al Alaşım (Takviyesiz)	68
Resim 9.9. %21 SiC içeren numunenin 800 Mesh 10 N'da aşınma yüzey görüntüleri.....	69

Resim	Sayfa
Resim 9.10. %12 SiC içeren numunenin 800 Mesh 10 N’da aşınma yüzey görüntüleri.....	70
Resim 9.11. Deneysel şartlara bağlı olarak Al alaşım ve farklı oranlarda SiC ilave edilmiş kompozit malzemelerinin 800 Mesh zımpara ile 30 N yük altında aşındırılmış yüzeylerinin görüntüleri; a) %4 SiC b) %7 SiC c) %12 SiC d) %21 SiC e) Al Alaşım (Takviyesiz)	71
Resim 9.12. %21 SiC içeren numunenin 800 Mesh 30 N’da aşınma yüzey görüntüleri.....	72
Resim 9.13. %4 SiC içeren numunenin 1000 Mesh 10 N’da aşınma yüzey görüntüsü.....	73
Resim 9.14. %7 SiC içeren numunenin 1000 Mesh 10 N’da aşınma yüzey görüntüsü.....	73
Resim 9.15. %12 SiC içeren numunenin 1000 Mesh 10N’da aşınma yüzey görüntüsü.....	74
Resim 9.16. %21 SiC içeren numunenin 1000 Mesh 10N’da aşınma yüzey görüntüsü.....	74
Resim 9.17. Deneysel şartlara bağlı olarak Al alaşım ve farklı oranlarda SiC ilave edilmiş kompozit malzemelerinin 1200 Mesh zımpara ile 30 N yük altında aşındırılmış yüzeylerinin görüntüleri; a) %4 SiC b) %7 SiC c) %12 SiC d) %21 SiC e) Al Alaşım (Takviyesiz)	75
Resim 9.18. %21 SiC içeren numunenin 1200 Mesh 10N’da aşınma yüzey görüntüsü.....	76
Resim 9.19. %21 SiC içeren numunenin 1200 Mesh 20N’da aşınma yüzey görüntüsü.....	77
Resim 9.20. %21 SiC içeren numunenin 1200 Mesh 30N’da aşınma yüzey görüntüsü.....	77

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler

Al₂O₃

Ag

B₄C

Cu

d (0,5)

Mg

Ni

Pb

SiC

Si₃N₄

SiO₂

Ti

TiC

ZrSiO₄

ρ_g

ρ_s

Açıklamalar

Alüminyum Oksit

Gümüş

Bor Karbür

Bakır

Toz tane boyutu ortalama değeri

Magnezyum

Nikel

Kurşun

Silisyum Karbür

Silisyum nitrür

Silisyumdioksit

Titanyum

Titanyum Karbür

Zirkonyum Silikat

Ham yoğunluk

Sinterlenmiş yoğunluk

Kısaltmalar

CTP

MA

MMK

TM

SEM

SSTML

Açıklamalar

Cam elyaf takviyeli Plastik

Mekanik alaşımlama

Metal matrislikompozit

Toz metalurjisi

Taramalı elektron mikroskop

Süleyman sarıtaş toz metalurjislaboratuvarı

1. GİRİŞ

Günümüzde alüminyum ve alüminyum alaşımları; artırılmış mukavemet özellikleri, hafiflikleri, iyi ısı ve elektrik iletkenlikleri, korozyona karşı dirençleri nedeniyle gıda, kimya, otomotiv ve gemi inşa endüstrileri, taşıt, makine ve cihaz yapımı ile mimari alanda, inşaat havacılık ve uzay endüstrilerinde geniş kullanım alanına sahiptirler ve birçok özellikleri nedeniyle mühendis ve tasarımcılar için tercih edilen endüstriyel malzemeler konumuna gelmişlerdir [1-3].

Alüminyum çoğu metalle kıyaslandığında, hafif bir metal olmasının yanı sıra kolay şekillendirilebilme kabiliyetinin olması belirlenmiştir. Alüminyum, dünyada oldukça büyük bir rezerve sahip ve demirden sonra en fazla üretilen ve tüketilen metaldir [4].

Yeni kullanım alanlarının ortaya çıkmasıyla birlikte artarak devam eden bu metal ve alaşımlarının en önemli problemlerinden biri, özelliklerini yüksek sıcaklıklarda önemli ölçüde kaybetmeleridir [5]. Bu problemleri ortadan kaldırmak için, özellikle alüminyum ve alaşımlarının yüksek sıcaklıklarda mekaniksel özelliklerini arttırmak için, günümüzde birçok araştırma yapılmıştır. Bu yönde yapılan çalışmalar, yüksek sıcaklıklarda özelliklerini kaybetmeyen, kararlı yapılarını muhafaza eden Al_2O_3 , ThO_2 veya Y_2O_3 gibi oksitlerin veya TiC, SiC gibi karbürlerin alüminyum içerisine katılması ile kompozit yapıda parçalar üretilmesi şeklinde olmuştur [6,7].

Kompozit terimini genel anlamda doğal veya sentetik birden fazla bileşenin bir araya getirilmesi ile oluşturulan malzeme olarak tanımlayabiliriz. Seramiklerin yüksek mukavemet ve metallerin yüksek tokluk özelliklerini birleştirmelerinden dolayı matris metaline göre yüksek mukavemet sağlamak ve yüksek sıcaklıklarda kullanılabilir [8].

Hızla gelişen farklı malzeme ihtiyacı ve bu malzemelerin değişik uygulama alanları araştırmacıları farklı üretim yöntemi geliştirmeye yönlendirmiştir. Bu farklı özellikteki malzemelerin bir kısmı da Toz Metalürjisi (T/M) yöntemi ile üretilen malzemelerdir. Son zamanlarda T/M ile malzeme üretimi en hızlı gelişen imalat yöntemlerinden birisi olmuştur. T/M ile üretim yöntemi, karıştırılmış metal tozlarının, oda sıcaklığında veya yüksek sıcaklıklarda, üretilcek parça şekli ve boyutlarına sahip kalıp içinde preslenerek şekillendirme ve ardından belirli bir sıcaklıkta sinterleme ile gerçekleştirilen bir imalat yöntemidir [9]. Toz metal parçalar haddeleme, döküm gibi geleneksel imalat yöntemleri ile

üretileen malzemelere göre bazı değişik ve avantajlı özelliklere sahiptir. Bu avantajlar, üretimi zor olan alaşımları daha kolay üretme, karmaşık şekilli parçaların imalat kolaylığı, yoğunluk kontrolü ve ekonomiklik gibi özelliklerdir [10]. Al matrisli partikül takviyeli kompozitlerin ticari Al alaşımları ile kıyaslandığında artan sertlik, yüksek aşınma direnci, mukavemetinin uygunluğu, titreşim azaltıcı ve düşük ısı yayılım katsayısı gibi malzemelerde istenilen üstün özellikleri bir arada bulundurması nedeniyle bu malzemeler daha da önemli olmuştur.

Kompozit malzemelerin üretiminde karşılaşılan temel problem, matris ile takviye malzemeleri arasında etkili bir bağlanmanın elde edilememesidir. Nispeten düşük sıcaklıklarda yapılan TM üretim yöntemi, teorik olarak ara yüzey kinetiğinin daha iyi kontrol edilmesini sağlar. Al_2O_3 , SiC, TiC ve B_4C gibi seramik malzemeler fiziksel ve kimyasal özelliklerinden dolayı mühendislik alanında oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak seramik malzemelerin makine parçalarında kullanımı düşük kırılma tokluğu ve dayanımına neden olduğundan kullanım alanları sınırlandırılmıştır. Ancak bunun yanı sıra partikülün sertliği ana yapının sertlik değerlerini de arttırdığı gözlenmiştir [11].

MMK üretiminde her türlü metal ve alaşımı matris olarak kullanılabilir. Al ve alaşımları, kolay temin edilebilen SiC, Al_2O_3 , SiO_2 ve grafit gibi takviye malzemeleri ile kimyasal ve fiziksel olarak uyumluluk gösterdiklerinden ve geniş uygulama alanlarından dolayı daha çok tercih edilmektedirler. Alüminyum alaşımlarının matris alaşımı olarak tercih edilmelerinin nedeni düşük yoğunluk ve ergime sıcaklığına sahip olmalarıdır. Alüminyum, saf halde matris malzemesi olarak kullanıldığı gibi, alaşım olarak da kullanılabilir. Yüksek aşınma dayanımı ve düşük sürtünme için tüm ticari Al-Si alaşımları düşük yoğunluk ve ısı iletkenlik için Al-Mg ve Al-Cu alaşımları matris alaşımı olarak kullanılmaktadırlar. Alüminyumun dışında en fazla kullanılan metaller Ti, Mg, Cu, Ni, Pb, Ag ve bunların alaşımlarıdır [12].

MMK'ler arasında en çok çalışılan seramik parçacık takviyeli kompozitlerdir. Bu tür kompozitler gerek kullanım alanının genişlemesi, yüksek üretim potansiyeli ve gerekse üretim ekonomisi açısından tercih edilmektedir. Ancak üretimde karşılaşılan problemler nedeniyle özellik ve yöntem geliştirme çalışmaları devam etmektedir. Seramik parçacık takviyeli MMK'lerin başarılı sonuçlar vermesi, seramik-matris arasındaki ara yüzey bağ mukavemetinin kuvvetli olmasına bağlıdır. Ara yüzeyde bağ mukavemetini, dolayısı ile

katı-sıvı ara yüzeyinde ıslanmayı etkileyen temel faktör parçacık dağılımıdır. Ara yüzeyde parçacık dağılımının homojen olması için, parçacık büyüklüğünün, sıvının vizkozitesinin ve katılma hızının yüksek olması gerekir. Ayrıca sıvı matris alaşımı ve seramik parçacık arasındaki yoğunluk farkının ve ara yüzeyde sıcaklık gradyanının da düşük olması lazımdır. Bu faktörlerin yanında karıştırılması ve sıvı-katı ara yüzeyinin düz olması gerektiği de bilinmektedir [13].

Otomobillerde ağırlığı azaltma yönündeki çalışmalarda, hedef alınan parçalardan biri de fren sistemleridir. Otomobillerde fren disk malzemesi olarak genellikle gri dökme demir kullanılırken, son yıllarda üreticiler, binek otomobiller için daha hafif ve daha üstün özelliklere sahip olan Al-MMK fren disk ve kampanaları üretmeye başlamışlardır. Seramik katkılı fren diskleri dökme demire göre oldukça hafif olmaları (ağırlık kazancının % 45 ila % 61 arasında olduğu rapor edilmiştir.), yüksek ısı iletkenlikleri, spesifik ısıları ve dökme demire göre oldukça üstün olan mekanik özellikleri ve aşınma dirençleriyle fren sistemlerinde disk malzemesi olarak cazip hale gelmektedir [14, 15].

Bu çalışmada A413 alüminyum alaşım tozları ile değişik oranlarda (%4, %7, %12 ve %21) SiC tozları karıştırılarak, toz metalurjisi yöntemiyle kompozit malzeme üretimi gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan tozlar 15 dk. boyunca 3 boyutlu karıştırıcıda karıştırılmıştır. Tozların oksitlenmesini engellemek için hazırlanan tozlar tüp fırında vakum pompası yardımı ile 250 °C’ de 15 dk. boyunca vakumlanmıştır. Daha sonra vakumlanan tozlar, 800 MPa basınç altında preslenerek numuneler elde edilmiştir. Elde edilen numuneler atmosfer kontrollü tüp fırında 2 saat süre ile azot gazı ortamında 550 °C’ de sinterlenmiştir. Sinterlenmiş numunelerin yoğunluk ölçümleri, sertlik testleri ve aşınma deneyi yapılarak, kompozit malzemenin mekanik özellikleri belirlenmiştir. Numunelerin optik mikroskop çalışmalarıyla mikro yapı incelemeleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca numunelerin aşınma sonrası yüzey görüntüleri SEM’ de incelenmiş ve numunelerin yüzey analizi için EDS görüntüleri alınmıştır.

Elde edilen sonuçlara bakıldığında genel anlamda takviye malzemesinin Al matris içerisinde homojen olarak dağıldığını göstermektedir. Al ve SiC’ ün birbiri içerisindeki homojen dağılımı kompozitin mekanik özelliklerinde artış sağlamıştır. Yapılan bu çalışma için önemli bir parametre olan aşınma, istenilen bir davranış sergilemiştir. Aşındırıcı yüzeyin parçacık boyutu küçüldükçe, numunelerin aşınma direncinde artış görülmüştür. Bu

Çalışma fren diskleri gibi aşınma direncinin önemli bir parametre olduğu numunelerin toz metalurjisi yöntemiyle üretilmesi konusunda belirli deneylerde önemli bir veri vermiştir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Mehdi Rahimian, Naser Ehsani, Nader Parvin, Hamid Reza Baharvandi yaptıkları çalışmada, Toz metalurjisi ile üretilen Al-Al₂O₃ kompozitlerinin özellikleri üzerinde, Partikül boyutlarının etkisi, sinterleme sıcaklığı ve sinterleme zamanının etkisi araştırılmıştır. Partikül boyutu ve takviye miktarı, kompozitlerin mekanik özellikleri üzerinde belirgin bir etki yarattığı gözlemlenmiştir. Takviyelerin alüminyum kompozitlere uygun miktarda eklenmesi, sertlik, dayanım, aşınma direnci gibi mekanik özellikler üzerine pozitif bir etki yaratmıştır.

Alüminyum'a seramik partiküllerin eklenmesi malzemenin dayanımını, aşınma direncini ve korozyon direncini arttırdığı gözlemlenmiştir. Al₂O₃, SiC partiküllerinden sonra endüstride birçok uygulamada kullanılmıştır. SiC partiküllerle kıyaslandığında, alümina yüksek sıcaklıklarda daha iyi termal kararlılık göstermişliği belirlenmiştir. Yine yapılan çalışmada en yüksek sertlik değerleri, en uygun sinterleme zamanı gibi değerler belirlenmiştir [16].

I.Topçu, H.O.Gulsoy, N. Kadiroğlu, A.N. Gulluoğlu yaptıkları çalışmada, B₄C takviyeli Al matrisli kompozitlerin işlemlerini ve mekanik özelliklerini incelemiştir. Farklı oranlarda B₄C takviye edilen alüminyum numunelerin yoğunluk, sertlik, darbe ve sürünme özellikleri, sıcaklık ve zaman fonksiyonu olarak incelenmiştir.

B₄C takviyeli Alüminyum matrisin mekanik özellikleri, SiC ve Al₂O₃'e göre daha yüksek sertlik ve daha düşük yoğunluğa sahip olduğu için incelenmiştir. Yapılan deney çalışmalarında kompozitlerin darbe ve sertlik özelliklerinin ölçülmüş, darbe değerlerinde düşüş ve sertlik değerlerinde artış gözlemlenmiştir. Seramik partiküllerle takviyelendirilen Al matrisli kompozitlerin mekanik özelliklerinin yanı sıra, termal genleşme katsayısı ve aşınma direnci gibi özelliklerinde de olumlu sonuçlar gözlemlenmiştir [17].

Mustafa Boz, Adem Kurt yaptıkları çalışmada, Alümina(Al₂O₃)'nın otomobil fren balatlarının sürtünme performansına etkisini incelemiştir. Yapılan bu çalışma 2 aşamadan oluşmuştur. İlk aşamada bronz tabanlı fren balataları üretilmiştir ve bunların sürtünme, aşınma özellikleri incelenmiştir. 2. aşamada 0,5%, %1, %2 ve %4 alümina tozları bronz tabanlı tozlara eklenmiş ve Al₂O₃ takviyeli bronz tabanlı fren balataları üretilmiştir. Al₂O₃ takviyeli numunelerin sürtünme aşınma özellikleri ayrıca incelenip ve sadece bronz tabanlı olanlarla kıyaslanmıştır.

Yapılan bu çalışmada optimum aşınma davranışları belirlenmiştir. Numunede Al_2O_3 tozlarının eklenmesi ham yoğunluğunu düşürdüğü, fakat sinterleme yoğunluğunda bir değişiklik olmadığı gözlemlenmiştir. En yüksek sürtünme katsayısı, sürtünme sırasındaki sıcaklık'daki artış nedeniyle Al_2O_3 içeriğinin %4 oranında olan numunede gözlemlenmiştir. En yüksek aşınma Al_2O_3 olmayan numunede görülmüştür, numunenin aşınma direnci, ZrSiO_4 miktarının artmasıyla arttığı gözlemlenmiştir [18].

S.Pounaderi, S.Mahdavi,F.Akhlaghi yaptıkları çalışmada, Hacimce (%15-40) farklı boyutlarda alümina partükülleri içeren $\text{Al}_6\text{O}_6\text{I}/ \text{Al}_2\text{O}_3$ kompozitleri toz metalürjisi yöntemi ile üretilmiş ve meydana gelen tozların ve kompozitlerin özellikleri üzerinde, işleme süreçlerinin etkisi incelenmiştir. Yapılan incelemede daha ince alüminyum partükülleri, alümina içeriğini arttırarak ve boyutlarını azaltarak üretilbileceği gözlemlenmiştir. Oluşan tozların mikro yapısı alümina içeriği ve boyutları tarafından etkilenmezken, bu tozların morfolojisi alümina boyutunu arttırarak düzensiz bir yapıdan, küresel bir yapıya dönüştürüldüğü gözlemlenmiştir [19].

M.B. Karamıs, A.Alper Cerit, Burhan Selçuk, Fehmi Nair yaptıkları çalışmada, farklı seramik boyutlarının ve hacim oranlarının, Al matris kompozitlerinin sürtünme davranışı üzerine etkisini incelemişlerdir. Bu çalışmada farklı partikül boyutlarında ve farklı hacimlerde takviye malzemelerinden oluşan (SiC , B_4C , Al_2O_3) AA2124 matrisi toz metalürjisi yöntemi ile üretilmiştir. Al matrisli kompozitin her bir takviye elemanı için sertlik, sürtünme, aşınma direnci gibi özellikleri incelenmiş ve karşılaştırılmıştır [20].

3. KOMPOZİT MALZEMELER

Kompozit malzemeler; iki ya da daha fazla malzemenin uygun özelliklerini tek malzemede toplayarak veya yeni bir özellik çıkarmak amacıyla makro düzeyde birleştirilmesi sonucu oluşturulan malzemelerdir. Genel olarak bu malzemelerde hacimsel olarak %50' nin üzerinde fiber bulunur. Kompozit malzeme kullanılarak üretilecek olan parçalar tasarlanırken, parçanın hangi alanda kullanılacağı ve kullanıma yönelik özellikli ihtiyaçların neler olduğunun bilinmesi gereklidir.

Kompozit bir parça tasarlanırken maliyet, ham malzeme özellikleri, çevre koşullarının parçaya etkisi, imalat yöntemi, kalite kontrol metotları gibi bir dizi faktör birlikte değerlendirilmelidir. Tasarımda en büyük zorluklardan birisi kompozit malzemelerin izotropik özellikler göstermemesidir. Bu yüzden tasarımcı, parçaya her yönden ne kadar yük geleceğini ve parçanın hangi noktasında ne kadar mukavemete ihtiyaç olduğunu iyi anlayıp, fiberlerin yerleşim açılarını ona göre hesaplamalıdır.

Kompozit malzemelerde çekirdek olarak, bir fiber malzeme ve bu malzemenin çevresinde hacimsel olarak çoğunluğu oluşturan bir matris malzeme bulunmaktadır. Burada fiber malzeme, kompozit malzemenin mukavemet ve yük taşıma özelliğini sağlamaktadır.

Matris malzeme ise, plastik deformasyona geçişte oluşabilecek çatlak ilerlemelerini önler ve kompozit malzemenin kopmasını geciktirmektedir. Matris olarak kullanılan malzemenin diğer bir amacı da, fiber malzemeleri yük altında bir arada tutabilmek ve yükü lifler arasında homojen olarak dağıtmaktır. Böylelikle fiber malzemelerde plastik deformasyon gerçekleştiğinde ortaya çıkacak çatlak ilerlemesi olayının önüne geçilmiş olunur [21].

3.1. Kompozit Malzemelerin Özellikleri

Kompozit malzemeler çoğunlukla, matris ve güçlendirici olmak üzere iki bileşenden meydana gelmektedir. Kompozit malzeme üretimi ile malzemelerin bazı önemli özellikleri geliştirilebilmektedir.

- a- Dayanım
- b- Korozyon direnci
- c- Aşınma direnci
- d- Estetik özelliği

- e- Ağırlık
- f- Yorulma ömrü
- g- Sıcaklığa bağlı davranışı
- h- Isı yalıtımı
- ı- Isıl iletkenlik
- j- Ses yalıtımı

Bu avantajların hepsini aynı anda gerçekleştirmek imkânsızdır[22]. Uygun matris /takviye elemanı seçiminin, sistemin mekanik ve fiziksel özellikleri üzerine etkisi büyüktür. Çünkü kompozit içerisinde matris tarafından yükün takviye elemanına aktarılmasında matris ile takviye elemanı arasındaki ara yüzey bağının da kuvvetli olması gerekmektedir. Ara yüzey bağının kuvvetli olması ise çiftlerin uyumuna ve matrisin ıslatabilirlik özelliğine bağlıdır. Bunun yanında üretim tekniği seçimi dışında takviye elemanlarının matris içerisinde homojen dağılımının da matris alaşımı ve takviye elemanı çiftlerinin uygun seçimine bağlıdır. Bu avantajlarının yanında bazı dezavantajları da mevcuttur bunlar:

- a-Üretim güçlüğü,
- b-Pahalı olması,
- c-İşlenme problemi
- d-Diğer malzemeler gibi geri dönüşümün olmayışı,
- e-Kırılma uzayışının az oluşu [23].

3.2. Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları

Kompozit malzemeleri gittikçe artan oranlarda ve yeni sektörlerde kullanılmaya başlanmıştır. Uzun zaman uçak sanayisindeki ihtiyaçların yönlendirdiği kompozit malzeme gelişimleri son dönemde yeni birçok sektörde birçok farklı amaç için kullanılmaktadır. Kompozit malzemelerin kullanım alanları günümüz teknolojisinde gün geçtikçe artmaktadır. havacılık sanayinde, denizcilik sanayinde, otomotiv, sağlık, yapı sektörü gibi birçok alanda kompozit malzeme kullanımı önemli bir oranda kullanılmaktadır.

3.3. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Kompozitler, takviyenin geometrisi olan iri parçacığa, yassı taneye, fiberlere ya da matris çeşitleri olan polimer, metal, seramik ve karbon olarak sınıflandırılır. Kompozit malzemelerin yapılarının açıklanmasıyla bu malzemeler üzerinde işlevini koruyan

sınıflandırmalar yapılmaktadır. Malzeme kombinasyonları (örneğin metal-organik veya metal-inorganik), bileşen fazların karakteristikleri (Örneğin matris sistemleri veya tabaka yapılar), bileşenlerin dağılımları (örneğin sürekli, süreksiz), fonksiyonları (örneğin elektriksel veya yapısal) ve özellikleri göz önüne alınarak kompozit malzemelerin çok değişik sınıflandırılmaları yapılmıştır. Yapısal bileşenlerin şekline göre yapılan bir sınıflandırma işlemi aşağıdaki gibidir:

- Fiber kompozitler,
- Levhasal kompozitler,
- Partikül kompozitler,
- Doldurulmuş (iskelet) kompozitler,
- Tabakalı kompozitler,

Kompozit malzemeler kullanılan matris malzemesine göre üç ana sınıfa ayrılmaktadır. Bunlar;

- Polimer Matrisli Kompozit Malzemeler
- Metal Matrisli Kompozit (MMK) Malzemeler
- Seramik Matrisli Kompozit Malzemelerdir

3.3.1. Polimer matrisli kompozitler

Polimerler, metal ve seramiklere göre çok daha karmaşık yapıdaki malzemelerdir. Matris olarak kullanılan polimerler ucuz ve kolaylıkla çalışılabilir malzemelerdir. Diğer taraftan düşük elastik modüle ve düşük kullanım sıcaklığına sahiptirler. Termoset ve termoplastikler olarak iki gruba ayrılan polimer matrisler genelde sürekli fiberlerle kullanılır. Bunlardan en önemli olanları sürekli fiberlerle takviye edilen polyeester ve epoksi reçine matrislerdir. Epoksi reçine matrisli kompozitlerin en önemli uygulamalarından biri havacılık uygulamalarıdır. Polimer matrisli kompozit malzemelerin kullanıldığı ortamlarda göz önüne alınması gereken en önemli faktörler sıcaklık ve nemdir. Özellikle bu iki faktörün beraber etkin olduğu şartlarda polimer matrisli kompozitlerin mekanik özelliklerinde hidrotermal etkilerden dolayı düşüşler meydana gelmektedir. Polimer matrisli kompozitlerin üretilmesinde en çok bilinen ve en fazla kullanılan metotlardan bazıları; elle sıvama, telle sarma, kese kalıplama işlemi, sıvı akış tekniği, takviyeli reaksiyon enjeksiyon kalıplama, ekstrüzyon ve ısıtılı oluşturma metodlarıdır. Polimerlerde kullanılan – takviye malzemelerinden en önemli olanları; cam fiber, kevlar fiber, bor fiber ve karbon fiberlerdir.

3.3.2. Metal matrisli kompozitler (MMK)

MMK malzemelerin yerlerine kullanıldıkları metal ve diğer bazı malzemelere göre küçümsenmeyecek üstünlükleri mevcuttur. MMK' ler :

- Yüksek elastik modüle sahiptirler,
- Yüksek mukavemet (çekme, basma, aşınma, sürünme dayanımı) gösterirler,
- Daha yüksek sıcaklıklarda çalışırlar,
- Metallerin süneklik ve tokluk, seramiklerin yüksek mukavemet ve yüksek modül özelliklerini birleştirirler,
- Tekrar üretilebilir özelliklere sahiptirler,
- Düşük yoğunluk değerleri verirler,
- Sıcaklık değişiklikleri veya ısıl şoklara karşı düşük hassasiyet gösterirler,
- Yüksek yüzey dayanıklılığı ve yüzeydeki dalgalanmalara karşı düşük hassasiyete sahiptirler,
- Yüksek elektrik ve ısıl iletkenlik özellikleri mevcuttur.

Metal matrisli kompozit malzemeler takviye elemanı olarak sürekli fiberler, süreksiz (kısa) fiberler, partiküller vb. kullanılmaktadır. Kompozit malzemeler takviye elemanının ismiyle anılırlar. Örnek olarak sürekli fiber ile güçlendirilmiş ise; sürekli fiber takviyeli MMK veya kısa fiberler ile güçlendirilmiş ise kısa fiber takviyeli MMK malzemeler olarak adlandırılmaktadır [24, 25].

Kompoziti oluşturan diğer önemli elaman matristir. Matris kompozitin birçok özelliğini üzerinde taşır. Kompoziti oluşturan en önemli malzeme olan matrisin takviye elemanlarını bir arada tutmanın dışında daha birçok kritik görevleri vardır. Birçok takviye elemanı gevrek veya kırılımandır. Matrisin bunların yüzeylerini kazıma aşınması vb. dış ve çevresel etkilere (bu etkiler ilerde çatlaklara neden olmaktadır) karşı koruyup dirençlerini arttırmakta, kompozit üzerine gelen yükü takviye elemanı homojen olarak dağıtmakta ve kompozit içerisindeki hata ihtimalini azaltmaktadır [26].

Metal matrisli kompozitler genelde iki bileşenden meydana gelmektedir. Bunlardan biri metal matris (genelde bir metal alaşımıdır) diğeri ise takviye malzemesidir (genel olarak bir metaller arası bileşik bir oksit, bir karbür veya bir nitrür). Kompozitin üretilmesinde matris ve takviye malzemesi beraber olarak karıştırılırlar. Bir kompoziti elde etmek için başlangıçta farklı elemanlar seçilir. Örneğin: metal matris ve takviye malzemesi. Tüm

durumlar için matris bir metaldir. Ancak matris olarak saf metalin kullanılmasına çok nadir rastlanır. Genelde matris bir metal veya metal alaşımıdır.

Metal matrisli kompozitler yüksek elastik modüle, yüksek çekme-basma ve kayma mukavemetine, yüksek servis sıcaklığına sahip olmaları ayrıca, metallerin süneklik ve tokluğunu, seramiklerin yüksek mukavemet ve yüksek elastik modül özelliklerini birleştirmelerinden dolayı son derece önemli bir mühendislik malzemeleri olmuşlardır. Bu üstünlüklerinin yanında tekrar üretilebilir mikroyapı, mekanik özellikler ve düşük yoğunluk değerleri vermeleri açısından daha da önem kazanmışlardır.

MMK üretiminde kullanılan takviye malzemeleri temelde;

- Sürekli fiberler,
- Süreksiz fiberler,
- Viskerler,
- Teller,
- Partiküllerdir.

Bu malzemeler tipik olarak oksit, nitrür ve karbürler olarak sınıflandırılabilirler. Takviye edilen seramik malzemeler yüksek elastik modüle, düşük yoğunluğa, yüksek ergime sıcaklığına, düşük ısı genleşme katsayısına sahip olmalıdır. MMK malzemelerin en önemli özelliklerinden birisi de matris alaşımlarına göre daha yüksek sıcaklıklarda kullanılabilmesidir. Seramik takviye malzemesi ilavesinin matris alaşımının yüksek sıcaklık mukavemetini artırdığı tespit edilmiştir. MMK malzemelerin bir başka avantajı matris alaşımına göre kullanılan seramik takviye malzemesinin düşük yoğunluğundan dolayı kompozitin de yoğunluğunun düşmesidir [27].

3.3.3. Seramik matrisli kompozitler

Seramik malzemeler, yüksek sıcaklığa dayanıklı ve hafif oldukları ($d = 1,5 - 3,0 \text{ gr/cm}^3$) için oldukça çekicidir. Seramik matrisli kompozit malzemeler genellikle yüksek sıcaklıkta çalışması gereken parçalar için kullanılırlar. Sert ve kırılgan malzemeler olan seramik malzemeler, çok düşük kopma uzaması gösterirler, düşük tokluğa sahiptirler ve termal şoklara karşı dayanıksızdırlar. Bu nedenle liflerle takviye edilirler. Buna karşılık çok yüksek elastiklik modülüne ve çok yüksek çalışma sıcaklıklarına sahiptirler.

3 tip seramik matrisli kompozit malzeme vardır.

- Sürekli fiberli kompozitler
- Süreksiz fiberli kompozitler
- Partiküllü kompozitler

Seramik matrisli kompozit malzemelerde, matris malzemesi olarak Al_2O_3 , SiC, Si_3N_4 ve B_4C yaygın olarak kullanılmaktadır. Seramik malzemeleri takviye etmemizin veya güçlendirmemizin nedeni plastik ve metallere farklıdır. Plastik ve metaller, yüksek mukavemete sahip olmalarına karşın seramikler, mukavemetin yanı sıra özellikle yüksek tokluk ve ısı dayanımına sahiptirler [27].

3.4. Metal Matrisli Kompozitlerin Üretim Teknikleri

Fiber takviyeli metal matrisli kompozitler çok çeşitli şekillerde üretilir. Bu üretim teknikleri iki ana grupta toplanır. Birincisi sıvı halde üretim, ikincisi ise katı halde üretim tekniğidir.

3.4.1. Sıvı halde üretim tekniği

Sıvı halindeki üretim metodu kolay ve hızlı olmasından dolayı metal matrisli kompozitlerin üretiminde sıkça kullanılmaktadır. En yaygın olarak kullanılan sıvı halde üretim metotları, ergimiş metal emdirme, eriyik içerisine takviye elemanı karıştırma, plazma püskürtme v.b. dir.

3.4.2. Katı halde üretim tekniği

Metal matrisli kompozitlerde katı üretim tekniği değişik yöntemlerle yapılmaktadır. Bunlardan en yaygın olanları toz metalürjisi ile üretim, haddelenerek difüzyon bağı oluşturma, sıcak presleme metodu v.b. gibi üretim metotlarıdır.

3.5. Kompozitler İçin Matris Malzemeleri

Yüksek performanslı kompozit üretimi için matris malzemesi, takviye elemanlarının arasına emdirilmeli, takviye elemanını ıslatabilmeli, kimyasal veya belli şartlarda yapışma bağı oluşturmamalı, mümkün olan düşük basınç ve sıcaklıkta hızlı şekilde katılaşma yapabilmelidir. Bağdan ayrı olarak, matris ve takviye elemanları arasında diğer kimyasal etkileşimler, üretim esnasında veya bundan sonraki işlemlerde olmamalı ve matris zamanla kararlı kalmalıdır. Üretim sırasında matrisin doğallığı nedeniyle, takviye elemanları da

fiziksel hasara maruz kalmamalıdır. Kompozitin sıcaklığa, kimyasal etkileşime ve neme karşı direnci ilk önce matris tarafından belirlenir, ardından takviye elemanı da sıcaklığa karşı kararlı olmalıdır [28].

Kompoziti oluşturan en önemli malzeme olan matrisin takviye elemanlarını bir arada tutmanın dışında daha bir çok kritik görevi vardır. Bir çok takviye elemanı gevrek ve kırılgandır. Matris bunların yüzeylerini dış ve çevresel etkilere karşı koruyup dirençlerini arttırmakta, kompozit üzerine gelen yükü takviye elemanına homojen olarak dağıtmakta ve kompozit içerisinde hata olasılığını azaltmaktadır [29]. Parçacıklı kompozit malzemelerde matrisin görevi sınırlı kalmaktadır. Matris parçacıkları bir arada tutarken elyaf takviyeli kompozitler de ise matrisin yerine getirmesi gereken başlıca fonksiyonları şöyle sıralanabilir:

Düzenlenmiş takviye elemanlarını bir arada tutarak kuvvetleri takviye elemanlarına iletmektir. Bu özellikle çekme ve kaymayla birlikte basma yüklemeleri için hayati önem taşır. Takviye elemanlarını çevresel etkilere ve darbelerden korumaktır. Cam-elyafla takviyeli kompozitler de kullanılan çoğu matrisler suya ve korozyona karşı çok hassastırlar. Bazı matrisler üretim sırasında takviye elemanları ile reaksiyona girerler. Bu yüzden matris kadar takviye elemanının seçimi de önemlidir.

Çatlakları durdurmak kullanılan takviye elemanları genellikle çok dayanımlı, elastik modülü yüksek ancak çok gevreklerdir. Matris, takviye elemanları ayrı ayrı birim içindeyken bunlar kırılma oluncaya kadar bağımsız olarak yük taşıyıcı gibi davranırlar. Bu yüzden herhangi bir çatlak ani kırılmaya sebep olmaz. Örnek olarak bir takviye elemanı kırılırsa bitişik takviye elemanına geçmeden önce matrise transfer olur. Bu nedenle matrisin ve matris takviye elemanı arasında ara yüzey bağının kompozitin tokluğu üzerine önemli etkisi bulunmaktadır.

3.5.1. Metal Matrisler

Hafif metaller, kompozitler için matris malzemesi olarak çok uygundur. Bunlar plastiklerden daha yüksek elastik ve dayanıma sahip tokluk ve yüksek sıcaklıklarda özellikleri daha iyidir. Ancak metal matrisli kompozit üretimi daha zordur. Bunlar her takviye elemanı ile iyi ara yüzey bağı oluşturmazlar. Metallerle en kolay bağ oluşturan silisyum karbür ile kaplanmış boron elyaftır, fakat bunlar pahalıdır. MMK 'lerde çok yaygın olarak kullanılan matris malzemesi düşük yoğunluklu, iyi tokluk ve mekanik

özelliklere sahip olan hafif metaller ve alaşımlarıdır. Bu hafif metal alaşımları dayanım ve özgül ağırlık oranlarının iyi olması nedeniyle hafif yapı konstrüksiyonlarda tercih edilirler. Genellikle Al, Ti, Mg, Ni, Cu, ve Zn matris malzemesi olarak kullanılır. Fakat Al ve alaşımları, Ti ve Mg yaygın olarak kullanılır.

Alüminyum ve alüminyum alaşımları

Demir içerikli malzemeler dışında Al ve alaşımları gerek saf gerekse alaşım olarak en sık ve yaygın olarak kullanılan malzeme gurubunu teşkil etmektedir. Bunların etkin kullanılma sebebi olarak,

- Dayanım /özgül ağırlık oranının yüksek olması,
- Elektrik iletkenliği /özgül ağırlığının yüksek olması,
- Atmosfere ve diğer ortamlara karşı korozyon direncinin yüksek olmasıdır.

Bunlara ilaveten, kolay şekillendirilmesi ve ince levha haline getirilmesi diğer bir özelliğidir. Ancak saf alüminyumun oksijene olan yüksek ilgisinden dolayı döküm kabiliyetinin kötü oluşu, daha düşük mekanik özellikler göstermesi ve talaşlı imalatla işlenebilirliğin iyi olmaması ve kaynakla birleştirmenin güçlüğü gibi problemleri oluşturmaktadır. Çizelge 3.1’de saf alüminyumun bazı fiziksel özellikleri gösterilmiştir. Ancak, alaşımlama yapılarak bu özelliklerde iyileşmeler elde edilebilmektedir. Diğer taraftan, alüminyum yorulma dayanımında tahammül sınırı göstermediği için kırılma oldukça düşük gerilmelerde bile gerçekleşir. Düşük ergime noktası dolayısı ile yüksek sıcaklık özelliği de iyi değildir.

Çizelge 3.1. Saf alüminyumun fiziksel özellikleri

Özgül Ağırlığı (g/cm ³)	Ergime Isısı (KJ/kg)	Ergime Sıcaklığı (° C)	Elastik Modülü (Gpa)	Isıl Genleşme Katsayısı (1/K)	Isı İletim Katsayısı (W/mk)
2,78	-390	660	66	24.10 ⁻⁶	230

3.5.2.Seramikler

Seramikler, metal ve metal olmayan elemanlardan meydana gelen inorganik bileşikler olup, doğada kayaların dış etkilere karşı parçalanması sonucu oluşan kaolen, kil ve benzeri maddelerin yüksek sıcaklıkta pişirilmesi ile elde edilen malzemelerdir. Seramikler, gevrek olduklarından mikro yapısal kusurları çentikler ve mikro çatlaklar gerilme yığılmasına yol

açtıklarından çekme dayanımı düşüktür. Basma dayanımları ise çok yüksektir. Ancak mikro yapısal kusurları azaltacak şekilde çok ince çaplı elyaflar üretilerek daha dayanıklı kompozit üretmek mümkün olmaktadır. Bu malzemelerde kayma direnci çok yüksek olduğundan plastik şekil verme olmaksızın gevrek tarzda kırılırlar. Yaygın olarak kullanılan seramik mühendislik malzemeleri olarak SiC, Si₃N₄ ve Al₂O₃ gösterilebilir. Bunlarla kompozit oluşturulduğunda 1200°C' ye kadar kullanılabilir. Bu malzemelerin bazı özellikleri çizelge 3.2'de verilmiştir [27].

Çizelge 3.2. Mühendislik seramiklerin tipik özellikleri

Malzeme Türü	Eğilme (Mpa)	1200°C'de (Mpa)	Ter. Şok (suda)	Tokluğu (joule)
Al ₂ O ₃	440	300	200	4
ZrO ₂	1020	350	350	9
Si ₃ N ₄	880	350	900	6
SiC	500	480	370	4

3.5.3. Seramik takviyeli kompozit malzemelerin sertliği

Toz metal parçaların sertliklerinin ölçülmesi Brinell Sertlik Ölçme Metodu ile yapılır. Ergime ile elde edilmiş metallerde sertlik ile çekme mukavemeti arasındaki doğrusal ilişki toz metal parçalar için söz konusu değildir. Toz metal parçalar gözenekli yapıya sahip olduğundan, gözenek üzerinden yapılacak ölçüm daha geniş bir iz alanı vereceğinden, Brinell Sertlik Değeri daha az olabilir. Bu parça mukavemetinin az olduğunu göstermez. Gerçek sertlik değerini tespit edebilmek için toz metal parça üzerinde değişik noktalardan sertlik ölçümü yapıp ortalaması alınmalıdır. Toz metal parçaların sertliği artan sıkıştırma basıncına bağlı olarak doğrusal bir artış gösterir. Sıkıştırma ile metal tozlarda, ergime yöntemiyle elde edilen parçalara göre daha yüksek bir sertlik elde edilir. Sertlikteki bu artış, tozların sıkıştırılması sırasında meydana gelen soğuk deformasyon sertleşmesinin bir sonucudur [30-33].

Toz metal parçaların sertliği, artan sinterleme sıcaklığına bağlı olarak artış gösterir. Bu da sinterleme sırasında meydana gelen gözenek azalması ve yoğunluk artışındandır. Ancak yapılan çalışmalarda 800 °C üzerindeki sinterleme sıcaklıklarında sertlik değerinin önemli bir artış göstermediği hatta düştüğü gözlenmiştir. Buna sebep ise yüksek sıcaklıklarda tane büyümesi ve yüzey pürüzlülüğüdür. 700 °C altındaki uygulamalarda sertliğin en az olduğu

durum iri tozlardan üretilmiş parçalarda gözlenmiştir. Bu da sertliğin tane büyüklüğüne bağlı olarak değiştiğini göstermektedir [34, 35].

3.5.4. Seramik takviyeli kompozit malzemelerin aşınma direnci

Aşınma, aşındırıcı bir ortamda bulunan malzemenin yüzeyinde zamanla meydana gelen malzeme kaybıdır. Partikül takviyeli metal matrisli kompozitlerin, metal alaşımlarına göre en önemli üstünlüklerinden biride aşınma özellikleridir. SiC, Al₂O₃, TiC, B₄C gibi sert partiküller, metal matrisin aşınma direncini arttırırken, grafit partiküller de yağlayıcı özellik sağlarlar [36]. Yapılan çalışmalar, partikül takviyeli Al matrisli kompozitlerde aşınma direncinin, takviye elemanı miktarı ile doğru orantılı olarak arttığını göstermektedir.

Aşınma direncini etkileyen diğer bir faktör ise matris malzemesinin sertliğidir. Alüminyum ve alaşımları çelik veya dökme demirle mukayese edildiğinde, genelde daha düşük sertliğe sahiptirler. Bu alaşımlar bundan dolayı yoğun aşınmaya maruz kalan yerlerde kullanılamamaktadır. Takviye elemanı ilavesiyle aşınma direnci artmakta, bu sayede de MMK malzemeler aşınma direncinin önemli olduğu uygulama alanlarında kullanılabilmektedirler [37].

4. ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARININ ÖZELLİKLERİ

Alüminyum ve alaşımlarının sağladığı üstün özellikler sebebiyle, tüketimleri büyük bir hızla artmakta ve her geçen gün yeni kullanım alanları ortaya çıkmaktadır.

Alüminyumun fiziksel özellikleri çok düşük miktarlarda dahi olsa safsızlıkların bulunmasından önemli ölçüde etkilenir. Saf alüminyum galvanik seride çok aktif bir metal olmasına karşın, yüzeyinde kolaylıkla oluşan koruyucu oksit tabakası onun yaygın olarak kullanılmasını sağlar. Alüminyum oksitten (Al_2O_3) oluşan bu geçirimsiz, sert ve koruyucu oksit tabakası alüminyumun korozyon direncini önemli ölçüde artırır. Buna bağlı olarak alüminyum saflaştırıldıkça korozyon direnci ve iletkenliği artar. Bu nedenle korozyona karşı oldukça hassas olan alüminyum alaşımları günümüzde saf alüminyum giydirilmesi (cladding) yoluyla korozyondan korunmaktadır. Diğer yandan saf alüminyum oldukça düşük olan mukavemeti soğuk işlemle artırılabilir. Bugün alüminyum ve alaşımları sahip olduğu özellikleri itibarıyla endüstride kullanılan en önemli yapı ve mühendislik malzemelerinden birisi halini almıştır. Saf haldeyken yüksek ısı ve elektrik iletkenliği, korozyon direnci gibi özelliklere sahipken, alaşımlama ile bu özellikler çok daha geniş bir aralığa yayılarak yaygın bir kullanım alanına sahip olmuştur. Bugün endüstride geniş çaplı olarak 100' ün üstünde alüminyum alaşımı kullanılmaktadır. Önemli özelliklerini saymak gerekirse;

Hafifliği: Saf alüminyumun özgül ağırlığı yaklaşık 2,7 gr/cm³ 'tür. Kütlesi demirin % 35'i, bakırın ise % 29'u kadardır. Bu düşük ağırlık özelliği başta uçak ve otomobil endüstrisinde olmak üzere, tüm taşımacılık sanayinde önemli bir konudur.

Mekanik özellikler: *Çeşitli* alüminyum alaşımlarının ısıtılışları sonucu, istenilen şekilde mukavemet, tokluk, sertlik ve diğer mekanik özellikleri geliştirilebilir. Özellikle küçük miktarlarda Mg, Si, Cu ve Zn ilavesiyle mukavemeti daha da artırılan alüminyum alaşımlarında ısıtılış ile bugün çok yüksek çekme mukavemeti değerlerine ulaşılmıştır. Mekanik özelliklerin böyle değişebilir olması büyük avantaj sağlayarak, kullanım alanlarını genişletmektedir.

Korozyon: *Alüminyum* yüzeyler, atmosferik korozyona maruz kaldığında, derhal çok ince (20-25 Å) görünmez bir oksit tabakası oluşur ve bu tabaka daha fazla oksitlenmeyi önler. Alüminyumun bu özelliği yüksek korozyon direncinin temel nedenidir. Birçok aside karşı da aynı direnci gösterir. Ancak bazı alkaliler bu oksit tabakasını tahrip etme özelliğine

sahiptir. Elektrolitik ortamlarda bazı metallerle doğrudan temas etmesi sonucunda galvanik korozyon olabilir. Bu durumda boya ya da yalıtkan bant uygulaması yapılmalıdır.

Toksikolojik reaksiyonlara girmemesi: *Zehirleyici* olmama özelliği, gıda endüstrisinde ya da mutfak malzemelerinde yaygın kullanım alanı bulmasına yol açmıştır. Bu özelliği sayesinde yiyecek ve ilaç ambalajlanmasında, sigara, çay paketlenmesinde geniş çaplı olarak kullanılır.

Isı ve elektrik iletkenliği: Alüminyum ve alaşımları ısı ve elektriği oldukça iyi iletirler. Yüksek ısı iletkenliği (çeliğin 6 katı), ısıtma/soğutma endüstrilerinde, gıda, kimya, petrol, havacılık sektörlerinde alüminyum ısı değiştiricilerinin yaygın olarak kullanımına yol açmıştır. Ticari alüminyum elektrik iletkenliği 37 siemens civarındadır. Elektriksel iletkenliği bakırın % 62'si mertebesinde. Bakırın yoğunluğu $8,9 \text{ gr/cm}^3$ alüminyumun ise $2,7 \text{ gr/cm}^3$ olduğu düşünülürse; ağırlıkça kıyaslandığında alüminyumun bakırdan daha iyi iletken olduğu ortaya çıkar.

Yüksek ısı ve ışık yansıtması: % 80'in üzerinde ışık yansıtma özelliği ile aydınlatmada, yüksek ısı yansıtma özelliği dolayısıyla da çatı kaplamalarında kullanılmaktadır. Bu özelliğinden dolayı ışık reflektörlerinin kaplanması ve aynaların geri yansıtıcılığında kullanılırlar.

Metalotermik reaksiyonlarda kullanımı: *Alüminyum* oksijene olan ilgisinden dolayı, diğer metallerin oksitlerini indirger. Bu özelliği nedeniyle toz alüminyum krom, vanadyum, baryum ve lityum gibi metal oksitleri indirgeyerek bu metallerin üretiminde kullanılır.

Kolay şekillendirilebilirliği ve işlenebilirliği: Kolayca dökülebilir, kağıttan daha ince şekilde haddelenebilir (folyo), çekilebilir (tel, ekstrüzyon ürünleri, profil), dövülebilir. Alüminyum kolayca ve hızlı bir şekilde tornalama, frezeleme, delme uygulamalarına tabi tutulabilir.

Kaynaklanabilirliği: Her türlü birleştirme yöntemi uygulanabilir (kaynak, perçinleme). Ayrıca havacılık ve otomotiv sektöründe yapıştırma uygulamaları da yaygındır.

Çok geniş aralıkta yüzey işlemlerine tabi tutulması: *Koruyucu* bir kaplama gerektirmeyen durumlarda mekanik yüzey işlemleri olarak parlatma, kumlama veya fırçalama birçok durumda yeterlidir. Koruyucu kaplama olarak, kimyasal, elektrokimyasal boya uygulamaları ile eloksal ve elektro kaplamalar uygulanabilir. Uygulamaların büyük

çoğunluğunda yukarıda belirtilen özelliklerden iki ya da daha fazlası bir araya gelerek belirleyici rol oynar. Örneğin, hafifliği ve mukavemeti uçak sanayinde, raylı sistem taşımacılık ekipmanlarında; korozyon direnci ve ısı iletkenliği kimya ve petrol sanayinde, bu özelliklerine ilaveten zehirli olamaması özelliği ile gıda; albenili görünümü, atmosferik koşullara dayanımı ve düşük bakım maliyetleriyle inşaat sektöründe, yüksek yansıtma, mükemmel atmosferik direnç ve hafifliği ile çatı kaplamalarında yaygın kullanım alanı bulmasını sağlamıştır.

Düşük maliyet: Alüminyumun ekonomik yönden avantajı diğer metallere göre büyük bir hızla yükselmektedir. Bunun başlıca nedeni birim ünitesinin maliyetinin diğer metallere göre daha ekonomik olmasıdır. Alüminyumun diğer metallere göre daha hafif olması dökümde büyük bir avantaj sağlar. Aynı boyuttaki diğer metallere göre daha fazla döküm yapabilmek mümkündür. Ayrıca çok yüksek olmayan ergime sıcaklığı, döküm sırasında daha az enerji harcanması ve kalıp aşındırmaması sebebiyle önemli bir tercih nedenidir. Diğer bir avantajı ise alüminyum ve alaşımlarının yüksek atmosferik korozyon direnci sebebiyle kaplamaya ihtiyaç göstermemesidir [22-29, 39].

4.1. Alüminyum Tozlar

Alüminyum tozları 1900'lü yılların başlarında pul ürünler olarak kullanılmıştır. T/M teknikleriyle yüksek mukavemetli, alaşımlı alüminyum parçalarının üretimi ise 20. yüzyılın ortalarına rastlamaktadır. Al tozunun gerçek yoğunluğu ana metalin yoğunluğuna yakındır. Ancak görünür yoğunluğu $0,8-1,3 \text{ g/cm}^3$ olup, bu değer verilen aralıkta boyut dağılımına bağlı olarak değişmektedir. Alüminyumun oksijenle reaksiyona girmesi, toz yüzeyinde Al_2O_3 tabakası oluşturur. Al tozlarının yüzeyindeki bu ince oksit tabakası, tozların sinterlenmesinde olumsuz etkiye sahiptir. Oksit miktarı, toz boyutuna bağlı olarak, ağırlıkça % 0,1-1,0 arasında değişir. İnce tozlar, birim ağırlığa göre artan yüzey alanı sebebiyle, ağırlıkça en yüksek oksit yüzdesine sahiptir. Alüminyum tozları üzerindeki oksit tabakası kalınlığı, farklı atomizasyon şartlarında bile, göreceli olarak sabittir. Al, bu ince oksit tabakası sebebiyle havada kararlıdır. Bununla beraber, ince bölünmüş alüminyum tozları kimyasal olarak reaktiftir [40].

Al tozları, ergiyik haldeki metalden atomizasyon yöntemiyle değişik saflık derecelerinde üretilirler. İşlem sırasında, açık havada kararlı olarak kalmasını sağlayan koruyucu ince bir oksit tabakası oluşturur. Al tozunun şekli, incelmış, çomak şekilli ve yassı yüzeylidir. Al

tozunun katı roket yakıtlarında kullanımında ise bu boyut $10\ \mu\text{m}$ 'nin altına düşmektedir. Al tozlarının rengi çeşitli parlaklık derecelerinde metalik beyazdır. Al tozlarının çok geniş bir kullanım alanı olmasına rağmen başlıcalar şunlardır:

Kaynak elektrotlarında oksijen giderici kaplama olarak, roketler için katı yakıt yapımında (boyutu $10\ \mu\text{m}$ 'nin altındadır), yüksek sıcaklık dayanımına sahip parçaların N_2 altında sinterlenmesinde, sürtünmeli ortamlarda çalışan parçaların üretiminde, roketlerin sürtünen parçaları, fren ve kavramalar, fren balataları, vb. elmas taşlama disklerinde reçine ile karıştırılarak ve elmas takımlarda bağlayıcı olarak, amonyum nitrat gibi maddelerle birlikte patlayıcı karışım imalinde, dökümhanelerde ve demir-çelik sanayinde çelik imalinde kullanılan egzotermik karışımlarda oksit giderici olarak (sıvı metalin içine kireç, soda veya başka bir maddeyle oksit giderici işlevi yapmak üzere püskürtülür), tren rayı gibi büyük parçaların kaynağında kullanılan termit kaynağında ve Cr, Mn, V gibi metaller için oksit önleyici olarak, fişek sanayinde diğer nitrat ve pekloratlarla birlikte renkli ve renksiz havai fişek yapımında, yağ ve su bazlı aydınlatma ve işaret verme maddelerinde, duman oluşturuvcu karışımlarda, kimya sanayinde boya ve mürekkep üretiminde, organik kimya sektöründe metal olmayan bileşik hazırlamada indirgeyici olarak kullanılmaktadır [41].

4.2. Alüminyum Matrisli Kompozit Malzemeler

Geliştirilmiş fiziksel ve mekanik özellikleri, malzeme ve enerji kazancı bakımından hafif olmaları nedeni ile metal matrisli kompozitler (MMK) yeni malzemeler olarak dikkati çekmektedir. Bu özelliklerinin yanında iyi sürtünme ve aşınma özellikleri nedeni ile aşınmaya karşı uygulamalarda sürtünen ve aşınan bölgelerin veya parçanın tamamının bu malzemelerden yapılması giderek yaygınlaşan metal matrisli kompozit uygulamalarındandır [43]. Alüminyum hafif bir metal olması nedeniyle, son yıllarda alüminyum matrisli kompozitler üzerinde yoğun bir araştırma yapılmaktadır. Bu çalışmalarda amaç hafif olan ve üstün özelliklere sahip yapılar elde etmektir. Alüminyum içerisine katılan SiC, TiC, Al_2O_3 v.b. seramik parçacıklar kompozit malzemenin çekme dayanımı, elastiklik sabiti, aşınma dayanımı ve özellikle yüksek sıcaklık dayanımı gibi özelliklerini olumlu yönde etkilemektedir [43, 44].

5. SiC VE ÖZELLİKLERİ

SiC doğada bileşik olarak bulunmamasına rağmen, ana bileşenleri olan silisyum ve karbona bol miktarda rastlanmaktadır. Silisyum karbür genel özellik olarak; 3,21 gr/cm³ özgül ağırlığa, 27,4 GPa sertliğe, 40,1 molekül ağırlığına, $5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ısı genleşme katsayısına, 126 W/m²K ısı iletkenliğe ve kullanılabilir bir elektriksel dirence sahiptir.

SiC çok sert, aşındırıcı bir malzeme olup, yüksek sürünme mukavemetine sahiptir. İndirgen atmosferde, erozyon ve kimyasal etkileşimlerine, karşı mükemmel bir direnç gösterir [45].

Silisyum karbür refrakter uygulamalarındaki özellikleriyle iyi bilinmektedir. Mükemmel bir termal iletkenliğe ve düşük termal genleşme katsayısına sahiptir.

Çizelge 5.1. SiC bazı özellikleri

Elastik modül (GPa)	410
Sertlik, vickers (kg/mm ²)	3100
Ergime sıcaklığı (°C)	2797
Isıl iletkenlik (W/mK)	126

Bu özellikler sonucunda muazzam bir termal şok dayanımı sergiler. Termal iletkenlik kristal yapıda çözünen safsızlıkların varlığından etkilenir. Yüksek saflıkta ticari silisyum karbür elde etmek zordur; çünkü sinterleme için eklenen safsızlıklar veya reaksiyon bağlamada kullanılan silisyumda bulunan safsızlıklar bunu engeller. Sinterlenmiş silisyum karbür, seramik malzemeler içerisinde en dayanıklı olanlardan birisidir. Mukavemetinin sınırlanması kristalit aglomeratlara, aşırı büyümeye, uzamış tanelere ve porozite gibi farklı hatalara bağlıdır. Silisyum karbürün ticarileşmesini sağlamış özelliklerinden birisi sertliğidir.

Acheson, silisyum karbürün sertliğini keşfettiği zaman elması dahi kesebilecek bir yetenekten bahsetmişti. Bu yetersiz bir açıklama dahi olsa silisyum karbür en etkili aşındırıcılardan birisidir. Bor karbür kadar sert değildir ancak silisyum karbür kabuksal bir bileşim sergileyerek malzeme sıyırma işlemlerinde etkili olmaktadır. Silisyum karbürün

sertliği kristalografik yönlere, var olan safsızlıklara ve parlatılmış yüzeyler gibi farklı durumlara bağlı olarak değişir. Ölçüm ortamı dahi sertliği etkileyebilir [46].

5.1. Silisyum Karbürün Kullanım Alanları

Silisyum karbür, ileri teknoloji malzemelerine ihtiyaç duyulan çok yerlerde kullanılmakla birlikte, genel olarak saflık seviyelerine göre; metalürjik, abrasif ve sinter amaçlı olmak üzere, üç ana grupta sınıflandırılmaktadırlar. Yüksek saflıktaki (yeşil renk) silisyum karbür, mühendislik seramiklerde sinter amaçlı kullanılırken, saflığın % 97,5 veya daha düşük olması durumunda, söz konusu malzeme abrasif ve refrakter amaçlı olarak kullanılırlar. Saflığın % 90'ın altına düşmesi durumunda ise, metalürjik uygulamalarda kullanılır.

Yüksek performans seramiklerinde, en çok kullanılan reaksiyon sinterlenmiş ve sinterlenmiş silisyum karbürdür. Bu tür ticari uygulamalarda sertlik, kimyasal saflık ve aşınma dirençli karakteristiklerinden dolayı kullanılır.

Bu uygulamalardan birçoğu, kimyasal işlem endüstrisi için kaplamalar ve valfler, kum boruları için memeler, hidrosiklonlar, lens kalıpları, roket memeleri, spreyci kurutma için aşınma plakalarıdır.

Aşınma, erozyon dirençli silisyum karbür uygulamaları ise havacılık endüstrisinde pompa, taşıma, yağ, yakıt deposu, pompa malzemeleri ve kalıplarda kullanılır. Isı dayanımından dolayı uzay teknolojisinde de yüksek sıcaklık roket meme bağlantılarında, ısı değişim tüplerinde, difüzyon fırını parçalarında kullanılır. Ayrıca seramik motorlarda ve turbo şarj kısımlarda silisyum karbür uygulamaları deneme aşamasındadır. Türbin motorlarında uygulamaları artmaktadır.

Silisyum karbür bilgisayar ciplerinde de kullanılır. Yüksek termal iletkenliklerinden dolayı uzay teknolojisinde lazer aynaları olarak kullanılmakta ve savunma sanayinde çalışmalar yapılmaktadır. Silisyum karbürün balistik etki dayanımı düşük olmasına rağmen, seramik zırh malzemesi olarak da uygulamaları mevcuttur [46].

6. TOZ METALURJİSİ

6.1. Toz Metalurjisinin Tanımı

Toz Metalurjisi (T/M), metal tozların, tam ve/veya yarı ön alaşımlandırılmış metal tozların bağlayıcılar ve yağlayıcılarla birlikte harmanlanarak uygun pekiştirme yöntemleri ve sıcaklıklar kullanılarak arzu edilen şekillerde üretilme süreçlerini içeren oldukça kapsamlı ve çok disiplinli bir malzeme üretim yöntemidir. Toz Metalurjisi modern bir imalat yöntemi olup ileri teknoloji malzemelerinin üretilmesine çok uygundur.

Genelde çok sayıda küçük parçalar için ekonomik üretim sağlar. Elde edilen ürünlerin boyut hassasiyeti oldukça iyidir. Tüm metal işleme teknolojileri içerisinde toz metalurjisi, sunduğu çeşitlilik açısından en kapsamlı şekillendirme ve üretim süreçlerine sahiptir. Toz metalurjisini çekici kılan en önemli unsur, yüksek kaliteye sahip karmaşık şekillerdeki parçaların istenilen toleranslarda kayıpsız ya da çok az kayıpla ekonomik olarak imal edilebilmesidir [47].

Günümüzde T/M' ni endüstriyel üretim aşamalarının hemen tümünde uygulanabilir hale getiren zorlayıcı nedenler vardır. Bu nedenler arasında; malzemeden tasarruf edilmesi, üretilen parçanın mikro yapısında ince tane boyutları ile kimyasal olarak homojenizasyonun sağlanması, karmaşık şekilli parçaların nispeten ekonomik olarak üretilmesi ve tam yoğunluk ile yüksek dayanım performansı gibi faktörler sayılabilir [48].

6.2. Toz Metalurjisinin Avantajları

Toz metalurjisi küçük, karmaşık ve boyutsal hassasiyeti yüksek parçaların seri imalatına son derece uygundur. Belirli derecede gözenek ve geçirgenlik elde edilir. Toz metalurjisi ile üretilen parçaların büyük bir kısmında elde edilen boyutsal hassasiyet ve yüzey kalitesi talaşlı işlem gibi ekstra operasyonlara olan gereksinimleri ortadan kaldırması ve malzeme kaybının çok az olması toz metalurjisi yönteminin ekonomik bir üretim yöntemi olduğunun göstergesidir.

Bazı metallerin ergime sıcaklığı çok yüksek olması ve bu sıcaklıklara ulaşamaması (tungsten, molibden gibi), bazı özelliklerin ancak toz metalurjisi ile sağlanabilmesi (kendi kendine yağlanan yataklar), süper alaşım ve sert metaller gibi önemli malzemelerin bu yöntem ile üretilmesi toz metalurjisini zorunlu kılan başlıca sebeplerdir. Çok sayıda üretim

söz konusu olduğunda en iyi uygulanabilen bir metot olması, boyut kontrolü ve şekil karmaşıklığı toz metalurjisi yönteminin en bariz avantajlarındanıdır.

Toz metalurjisi yönteminin genel olarak avantajları aşağıda maddeler halinde verilmiştir;

- Yüksek malzeme kullanım oranı, düşük malzeme kaybı.
- Yüksek üretim hızları.
- Düşük maliyet
- Düzgün yüzey, yakın tolerans değerlerinin elde edilmesi.
- Karmaşık şekilli parçaların imalatı.
- Yüksek ergime sıcaklığına sahip metallerin imalatı.
- Yüksek yoğunluğa sahip parça üretimi.
- Metal matris kompozit ve metal alaşımları üretimi.
- Üstün mikro yapısal özelliklere sahip parça üretimi.
- Belirli derecede gözeneklilik ve geçirgenlik [49].

6.3. Toz Metalurjisinin Uygulama Alanları

Toz metalurjisi kullanım alanı büyük bir gelişme ve farklılık göstermektedir. Toz metalurjisi kullanım alanı çok yaygındır. Tungsten lamba teli yapımı, kendinden yağlamalı yataklar, otomotiv güç aktarma dişlileri, takım çelikleri, elektrik kontakları, küçük bileşim değişikliğine karşı hassas şekil hafızalı alaşımlar, nükleer güç yakıt elemanları, zırh delici mermiler, yüksek sıcaklık filtreleri, sürtünme elemanları, türbin parçaları ve dişçilik amalgamları. Bunlara ilave olarak, metal tozları şu alanlarda da kullanılmaktadır: boyalar, baskı devreleri, patlayıcılar, kaynak elektrodları örtüsü, katı roket yakıtları, mürekkepler, piller, sert lehim bileşikleri ve katalizörler.

Metalurjik olarak, endüstriyel toz metalurjisi metotlarının hepsi bileşim esnekliği, alaşım elementlerinin en az düzeyde ayrışması ve ince taneli mikro yapıların kolayca elde edilmesi gibi özellikler sunarlar. Toz metalurjisinin diğer bir avantajı da, malzeme kullanım oranının % 100' lere ulaşabilmesi sayesinde kritik ham madde kayıplarının en az düzeye indirilmesidir.

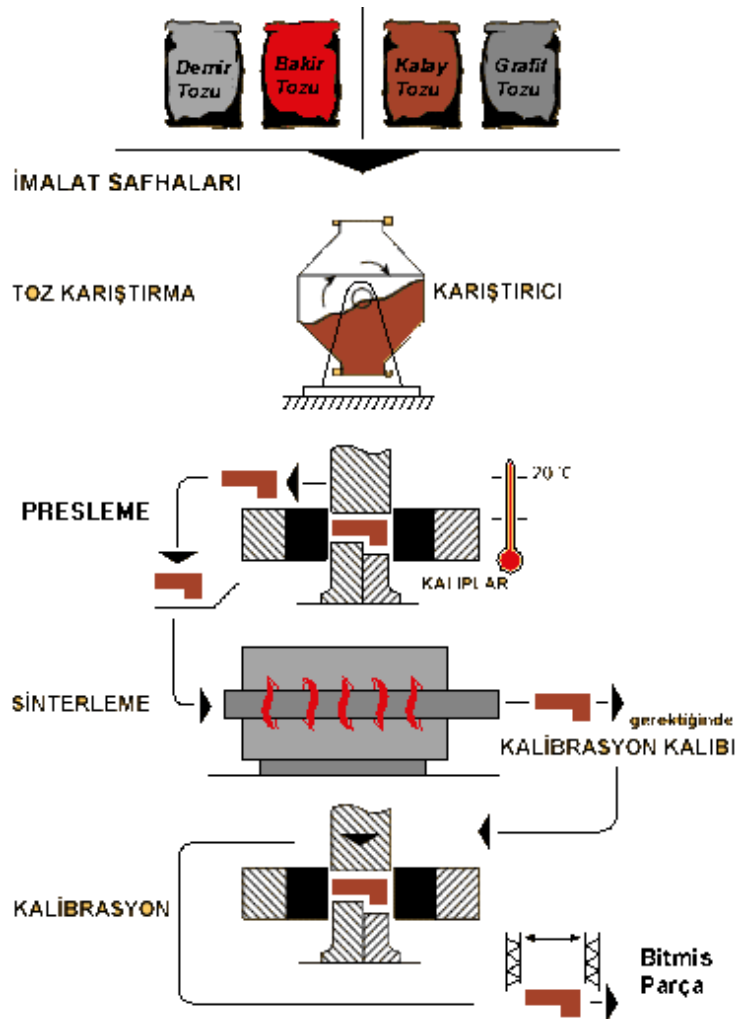
Aynı parçadan çok sayıda üretim söz konusu olduğunda toz metalurjisi en iyi uygulanabilen bir metottur. Böylece tam verimliliğin elde edilmesi sağlanır. Boyut kontrolü ve şekil karmaşıklığı toz metalurjisi yöntemlerinin en bariz avantajlarıdır [50].

6.4. Toz Metalurjisi Yönteminin Temel Basamakları

Gerekli boyut, şekil ve paketleme özelliklerine sahip metal tozunu güçlü, mükemmel ve yüksek performanslı bir şekle dönüştüren toz metalurjisinde temel basamaklar, toza şekil verilmesi veya sıkıştırma işlemi ve sinterleme yolu ile tozların ısı birleştirilmesidir [51]. T/M parçalarının üretiminde genel olarak beş aşama mevcuttur;

- Toz hazırlama
- Presleme
- Sinterleme
- Yağ emdirme ve kalibrasyon (gerekirse)
- Tam yoğunluk işlemleri

Toz metalurjisinde üretim, basit olarak Şekil 6.1’de gösterilen imalat safhalarından meydana gelmektedir.



Şekil 6.1. Toz metal parçaların üretim safhaları

Çeşitli yöntemlerle elde edilen metal tozları, bağlayıcı ve yağlayıcı maddelerin ilavesiyle birlikte belirli bir süre karıştırılır ve uygun tekniklerle tozlar pres kalıplarında sıkıştırılarak "briket" haline getirilir. Parçaların presten çıkmış "ham" halleri ile mukavemetleri çok düşüktür. Mukavemet kazandırmak için, indirgeyici gaz altında, uygun sıcaklıklarda pişirilir. Preslenmiş-piştirilmiş parçaların yoğunlukları genellikle %90'ı geçmez. Yüzey kaliteleri ve boyut toleransları talaşlı imalata göre çok iyidir. T/M parçaların yüksek mukavemetli olmaları istenirse pişirmeden sonra dövülerek yoğunluklarının artırılmaları gerekir. T/M ile üretilen parça tipi binlerle ifade edilmektedir. Talaşlı imalat gerektirmeyen parçalar, sert metaller, takım çelikleri, kendi kendini yağlayan burçlar, gözenekli metaller ve filtreler, sürtünme elemanları, elektrik kontak malzemeleri, grafit fırçalar ve mıknatıslar bunlardan bazılarıdır [52].

6.5. Metal Tozların Üretimi

Metal tozlarının üretiminde çeşitli yöntemler vardır. Tozların imalinde kullanılan yöntemler, tozlara ait bazı özellikleri de tayin eder. Bu yöntemlerden bazıları şunlardır;

1. Mekanik yöntemler

- a) Talaş kaldırma
- b) Değirmende öğütme
- c) Darbe yöntemleri
- d) Mekanik alaşımlama

2. Elektroliz yolu ile üretim

3. Kimyasal yöntemler

- a) Gaz fazı ile ayrıştırma
- b) Termal ayrıştırma
- c) Sıvı fazdan çökeltme
- d) Gaz fazdan çökeltme

4. Atomizasyon yöntemleri

- a) Gaz atomizasyonu
- b) Su atomizasyonu
- c) Santrifüj atomizasyonu

6.6. Tozların Fiziksel Özellikleri

Toz metalurjisi teknolojileri parçacıkların bir araya gelmesiyle oluşan tozlarla başlar. Yoğunlaştırma işleminde önemli girdi olması nedeniyle tozun iyi anlaşılması gerekir.

6.6.1. Toz karakterizasyonu

Parçacık tozun bölünemeyen en küçük birimi olarak tanımlanır. Toz işleme teknolojileri genellikle dumandan büyük (0.01-1 μm) kumdan küçük (0.1–3 μm) parçacıklarla ilgilenir. Kullanılan tozların çoğu, insan saçı çapı ölçüsündendir (25-200 μm). Taramalı elektron mikroskop (SEM), bir tozun farklı özelliklerinin gözlenmesinde kullanılan en iyi araçlardan birisidir. Önemli toz özellikleri aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır;

- Parçacık şekli
- Parçacık boyutu ve dağılımı
- Yüzey alanı
- Parçacıklar arası sürtünme
- Akış ve paketleme
- İç yapı
- Bileşim, homojenlik ve kirlilik

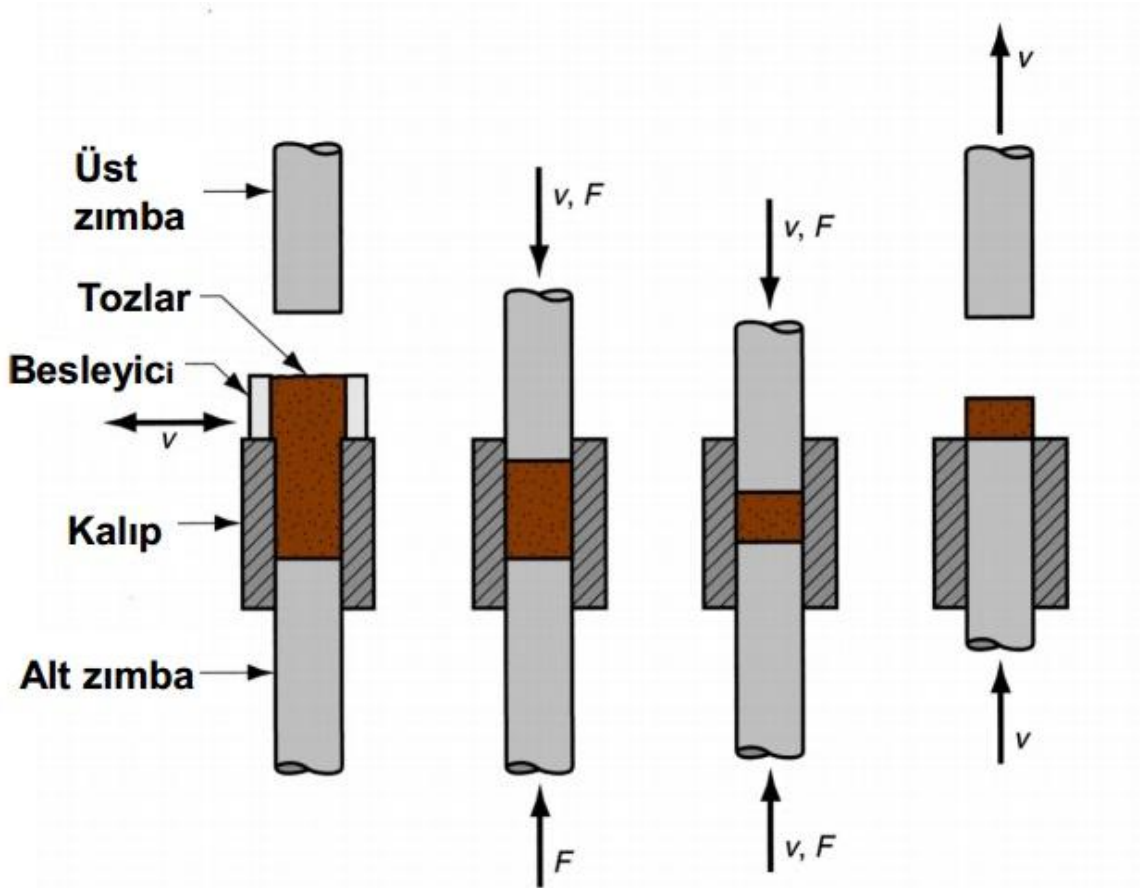
Bu toz özellikleri toz üretimi sırasında alınan kararları yansıtır. Uygulamaya bağlı olarak bu özelliklerden gerekli olanlar ölçülerek tozun amaca uygun olup olmadığı tespit edilir [58].

6.7. Metal Tozların Sıkıştırılması

Sıkıştırılabilirlik ve birleştirme, tozların basınç altında daha yoğun bir hale getirme olarak tarif edilebilir. Tozun sıkıştırılabilirliği, kalıp dizaynının, parça yoğunluğunun tespit edilebilmesinin ve istenen bu yoğunluğu sağlayacak pres seçiminin ana faktörlerindendir. Daha yüksek ham yoğunluğa sahip tozlar daha kısa kalıplar gerektireceği için tercih edilmektedirler. Sıkıştırma sırasında tozların kalıp içerisinde bir kütle hareketi meydana gelir. Sıkışma, genellikle presleme kuvveti doğrultusunda ve kalıp yan yüzeylerine doğru meydana gelir. Düşük yoğunluklu tozlarda temas yüzeyi az olduğundan, toz kütle hareketi daha kolay olacaktır. Sıkıştırma esnasında plastik deformasyonla birlikte tozlardaki gözenek miktarı azalır ve yoğunluk artışı gözlenir. Artan presleme kuvvetine bağlı olarak, presleme sonrası toz numunelerin mikro sertliklerinde gözlenen artış, plastik deformasyon sertleşmesinin bir sonucudur. Yoğunluk artışı, kütle içerisinde hava boşluklarının yerini toz

tanelerinin alması ile gerçekleşir. Artan basınç ile birlikte havanın bir kısmı yapıyı terk etmeyerek gözenekler içerisinde kalır ve iç cephe hasarlarına neden olarak, yüksek basınçlarda artması gereken mukavemetin düşmesine neden olur [59].

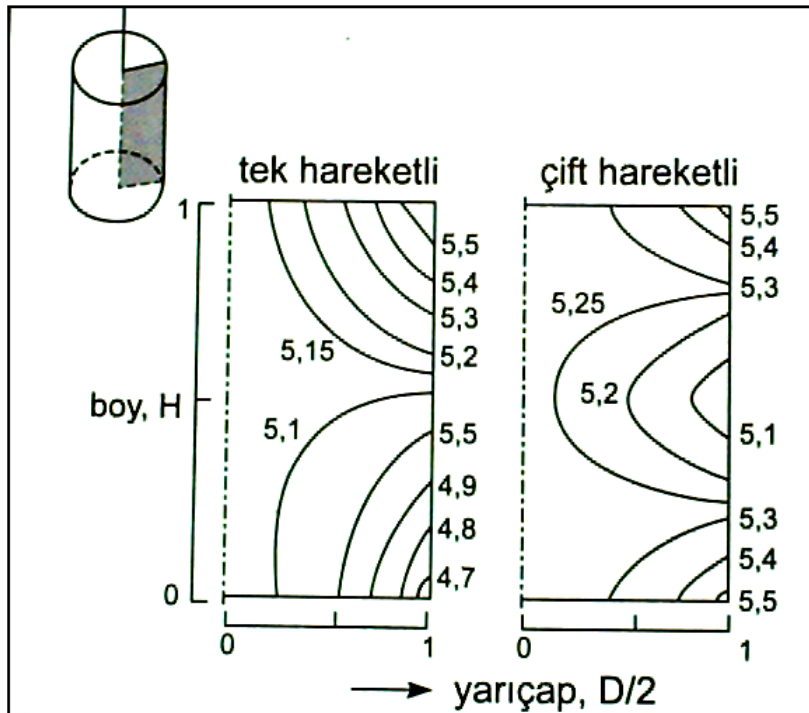
Şekillendirme başlangıcında tozların yoğunluğu yaklaşık görünür yoğunluğa eşittir. Uygulanan basıncın artmasıyla tanecikler arası nokta teması bozulur ve gözeneklilik azalır. Başlangıç olarak temas sayıları, taneciklerin yeniden düzenlenip kayma meydana gelince artar. Artan basınçlarda plastik deformasyon ile birlikte temas yüzeylerinin artmasıyla yoğunluk artar. Böylece basınç temas yüzeylerinde bölgesel deformasyona sebep olur. Deformasyon sırasında meydana gelen soğuk kaynak, sıkıştırma sonrası ham mukavemet artışına sebep olur. Artan basınç ile birlikte gözeneklilik azalır ve temas sayısı artar, böylece bütün toz taneleri soğuk deformasyon sertleşmesine uğrar. Şekil 6.2' de sıkıştırma işlemi kademeli olarak gösterilmektedir [43].



Şekil 6.2. Tozların sıkıştırılmasında işlem sırası

Genellikle, soğuk presleme aşamalarında tam yoğun kütle elde etmek için, tozların sıkışabilirliğini ve akışkanlığını artıran yağlayıcılar kullanılabilir. Kullanılan bu yağlayıcılar, kalıptan kütlenin çıkarılmasını kolaylaştırır, tozlar arasında sürtünmeyi azaltır ve enerji kayıplarını minimuma indirir. Bazı işlem kontrol kimyasalları hem MA sırasında hem de presleme aşamasında işlevsel rol oynar. Kullanılan bazı yağlayıcıların sinterleme sonrası gözenekliliğe ve istenmeyen kimyasal tepkimelere yol açması başlıca problemlerdir. Bu nedenle kullanılan kimyasalların malzemeye uygunluğu önemlidir. Sıcak presleme işlemine tabi tutulan numunelerin yoğunlukları, soğuk olarak üretilmiş olanlara göre daha iyidir. Aynı zamanda sıcak işleme tabi tutulan malzemelerin, sinterleme süresi ve sıcaklıkları aşağılara çekilebilir [72].

Soğuk presleme teorisine bakıldığında, kullanılan presleme çeşidine göre (tek taraflı zımba, yüzer kalıp, izostatik presleme, titreşimli presleme vb.) mamul malzeme ya da ham yoğunluklarında farklılıklar oluşmaktadır. Şekil 6.3'de gözlemlendiği gibi tek yönlü kalıbın eş basınç eğrileri ile, çift yönlü kalıp karşılaştırılmıştır. Gözlemlendiği gibi çift taraflı preslemede, presleme yüzeylerinin iki tarafında da presleme sonrası yoğunluklar aynı ancak tek taraflı preslemede presin bastığı nokta ile sabit kısımdaki yüzey arasında yoğunluk farkı vardır. Preslenen yüzeyin alt kısımlarına doğru inildikçe yoğunluk giderek azalmaktadır [73].



Şekil 6.3. Bakır tozundan sıkıştırılmış silindirlerde sabit yoğunluk çizgileri

Tozun sıkıştırılabilirliğine değişik faktörler etki etmektedir.

- Ana malzemenin sertliği; bazı malzemelerin sertliğinin fazla olması sıkıştırılabilmesi için gerekli olan basınç kuvvetlerinin daha fazla olmasını gerektirmektedir.
- Tozun şekli; tozun şekli ne kadar düzensizse sıkıştırılabilirlik o oranda düşüktür.
- Tozun gözenekliliği; tozun içindeki küçük boşluklar presleme esnasında tozlar içindeki havanın sıkışmasına dolayısı ile tozların bağlanmasına engel olur.
- Boşluksuz tozlar en yüksek sıkıştırılabilme özelliklerine sahiptir.
- Toz boyut dağılımı; aynı boyutlardaki tozların sıkıştırılabilirliği zayıftır.
- Farklı boyutlardaki tozların karışımı ile tozlar arası boşluklar azaltıldığı için daha iyi sıkıştırılabilirlik elde edilmektedir.
- Metalik olmayan kalıntıların mevcudiyeti; oksit indirgeme gibi metalik olmayan malzemeler sertliklerinin çok fazla, yoğunluklarının ise az olması nedeniyle sıkıştırılabilirliği azaltır.
- Katı yağlayıcıların kullanılması; Düşük ağırlıkları buna karşılık çok yer tutan hacimleri dolayısıyla katı yağlayıcıların metal karışıma etkisi sıkıştırılabilirliği artırır.
- Alaşım elementleri ilavesi; Grafit ve sülfür gibi alaşım ilaveleri genellikle sıkıştırılabilirliği artırır.
- Sinterlenmemiş ürün yoğunluğu; ürün için kullanılan ağırlığın, numunenin mikrometre ile ölçülen boyut hacmine bölünmesiyle bulunur [59].

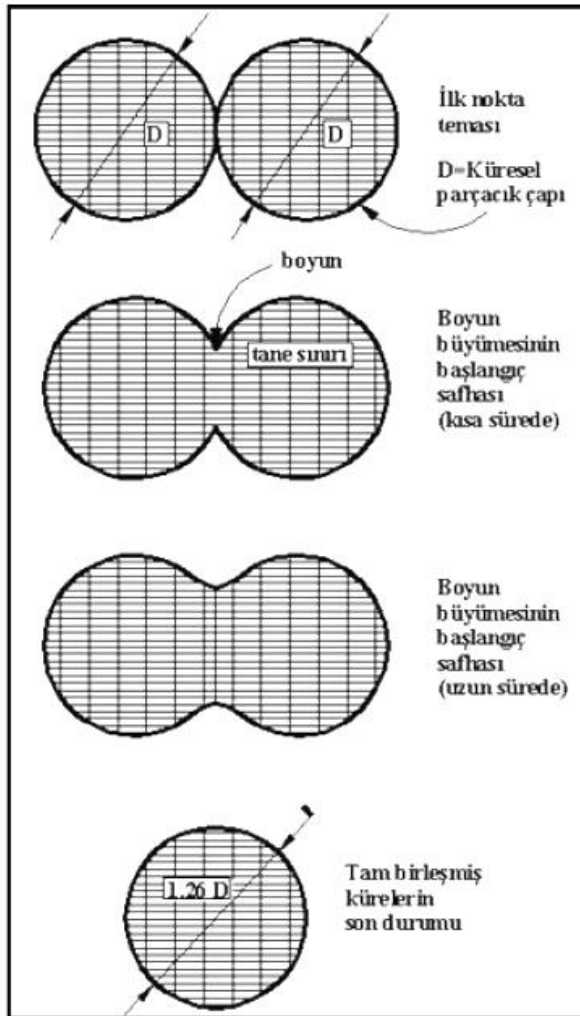
6.8. Metal Tozların Sinterlenmesi

Sinterleme parçacıkların birbirine bağlanmasını sağlayarak önemli ölçüde mukavemet artışına ve özelliklerin iyileşmesine sebep olan ısıtma işlemidir [58]. Bir başka deyişle kalıpta sıkıştırılmış toz kütlenin ergime sıcaklığının altında ısıtılarak difüzyon yolu ile kimyasal bağlanmasını sağlamak ve böylece gözenek miktarını düşürme işlemine tozların sinterlenmesi denir.

Sinterleme sıcaklığı, tek bileşenli sistemlerde metalin ergime sıcaklığının $2/3$ 'ü veya $4/5$ 'i kadar alınır. Çok bileşenli sistemlerde ise sinterleme sıcaklığı ergime derecesi düşük olan

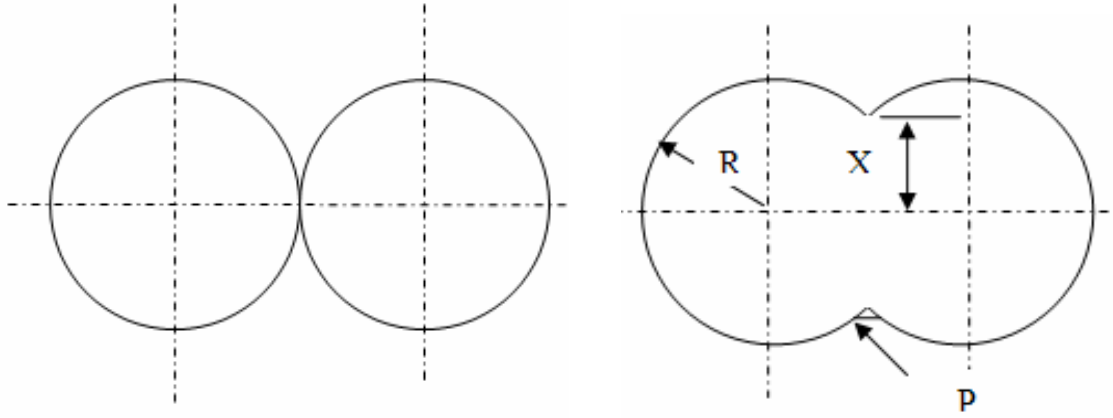
metalin altında tespit edilir [60]. Sinterleme sıcaklığı yükseldikçe sinterleme süresi kısalır. Sinterleme süresi uzun tutulduğunda sıcaklığı düşük tutmak gerekir.

Sinterleme işleminde, yüksek sıcaklıklarda parçacıklar birbirine kaynaşır. Katı hal atomik geçiş olaylarının görüldüğü sinterleme işlemi, ergime noktasının altındaki sıcaklıklarda uygulanmasına rağmen birçok durumda sıvı-faz oluşumu gerçekleşir. Mikro boyuttaki kaynaklaşma, parçacıkların birbirine temas ettiği noktalarında yapışma boyunlarının büyümesi şeklinde oluşur. Bu şekildeki boyun büyümesi toz özelliklerinin değişmesine de neden olur. Sinterleme işlemi esnasında, nokta teması ile başlayan, ara parçacık bağının gelişmesi ile devam eden mekanizmaya çift-küre sinterleme modeli denmektedir (Şekil 6.4). Bu modelde, parçacık teması sonucunda oluşan boyun büyümesiyle yeni tane sınırı oluşur. İki parçacık ilk çapın 1.26 katı olan bir son çapla tek bir parçacık oluşturacak şekilde birleşir [74].



Şekil 6.4. Çift-küre sinterleme modeli

Sinterleme sırasında birbirine temas eden parçalar arasında önce bir boyun büyümesi, ilerleyen sinterleme süresi ile gözeneklerde büzülme meydana gelir ve gözenek kanalları kapanarak, kapalı gözenek şekline dönüşürler. Küresel gözenekler, tane sınırları tarafından yerleştirilirler. Sıkıştırılmamış tozların sinterlenmesinde oluşan boyun yarı çapının parçacık yarıçapına (X / R) oranının 0,3'ten az olduğu durum sinterlemenin ilk aşaması olarak tanımlanır (Şekil 6.5).

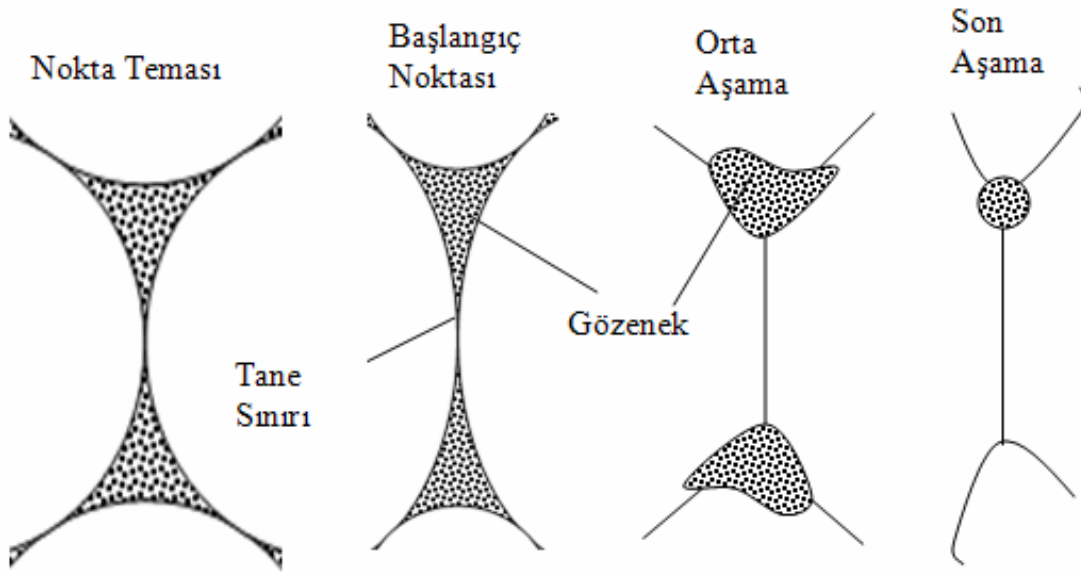


$$P = x^2/2R$$

Şekil 6.5. Sinterleme sonrasında birbirine temas eden parçacıklar

Parçalar arasındaki bağ büyürken mikro yapı Şekil 6.11. 'de görüldüğü gibi değişir. Orta kademedeki ise gözenekler daha düzgün şekillidir ve birbirine bağlı silindirik bir yapıya sahiptir. Orta kademedeki yüzey ve tane bağları enerjisini kapsayan ara yüzey enerjisinden dolayı sıkıştırma özelliklerinin gelişimi gözlenir. Ara kademedeki sonra tane büyümesine bağlı olarak gözenekler birbirinden ayrılabilirler [12].

Tane büyümesi ve gözenek ayrılması, yüksek sinterleme oranı elde edilmesi için istenmeyen bir durumdur. Önce gözenekler kararlı olmayan silindirik şeklinde oluşur. Silindirik gözenekler tane büyümesinde etkili olmayan küresel gözenek şekline dönüşür. Çoğu zaman gözeneklerin tane sınırlarından ayrıldığı mikro yapı oluşur (Şekil 6.6).



Şekil 6.6. Sinterleme aşamaları

Tane içerisindeki gözeneklerin ayrışması sertlik artışına neden olur. Gözeneklerdeki küresel görünüm ve ayrılmış gözenekler sinterlemenin son aşamasının başladığını gösterir. Katı gözenek ara yüzeylerinin giderilmesinden dolayı sinterlemenin son aşamasında hareketler çok yavaştır.

Sinterleme sonrası malzemelerin mekanik ve tüm işlevsel özelliklerine en etkin sonuç parça içerisinde oluşan boşluk ya da gözenek miktarıdır. Her ne kadar bu oluşumlarda presleme basıncı ve malzemenin özellikleri etkinse de, sinterleme sonrası gözeneklilik miktarı da çok önemlidir. Sinterleme sırasında her ne kadar ebatlarda değişiklik istenmese de, boşlukların giderilmesi için katı transfer işlemlerinin olması beklenir. Bunlar; hacimsel difüzyon, tane sınırı difüzyonu, plastik akış ve sıvı akışı şeklindedir [72].

6.9. Toz Metal Parçalara Uygulanan Testler

Toz metal parçaların mekanik mukavemeti şekillendirme sonrası uygulanan ısıl işlemle (sinterleme) sağlanır. Sıkıştırma işlemi ile toz metal parçalarda mekanik bağlanma, sinterleme işlemi ile de kimyasal bağlanma gerçekleşir [25]. Toz metal parçalar ile ergime yoluyla elde edilen parçalar arasındaki en önemli fark toz metal parçaların gözenekli bir yapıya sahip olmalarıdır. Gözeneklilik, sinterleme sıcaklığına, sinterleme atmosferine, presleme basıncına ve tane büyüklüğüne bağlı olarak değiştiğinden, toz metal parçaların özellikleri, ergime yoluyla elde edilen parçalara göre geniş bir dağılım gösterir. Toz metal

parçaların mekanik özellikleri, sertliklerinin ölçülmesi ve çapraz kırılma mukavemetlerinin belirlenmesi, aşınma dirençlerinin ölçülmesi gibi deneyler ile tespit edilir [22, 61].

6.9.1. Toz metal parçaların sertliği

Toz metal parçaların sertliklerinin ölçülmesi Brinell Sertlik Ölçme Metodu ile yapılır. Ergime ile elde edilmiş metallerde sertlik ile çekme mukavemeti arasındaki doğrusal ilişki toz metal parçalar için söz konusu değildir. Toz metal parçalar gözenekli yapıya sahip olduğundan, gözenek üzerinden yapılacak ölçüm daha geniş bir iz alanı vereceğinden, Brinell Sertlik Değeri daha az olabilir. Bu parça mukavemetinin az olduğunu göstermez. Gerçek sertlik değerini tespit edebilmek için toz metal parça üzerinde değişik noktalardan sertlik ölçümü yapıp ortalaması alınmalıdır. Toz metal parçaların sertliği artan sıkıştırma basıncına bağlı olarak doğrusal bir artış gösterir. Sıkıştırma ile metal tozlarda, ergime yöntemiyle elde edilen parçalara göre daha yüksek bir sertlik elde edilir. Sertlikteki bu artış, tozların sıkıştırılması sırasında meydana gelen soğuk deformasyon sertleşmesinin bir sonucudur [61].

7. AŞINMA

Aşınma, genellikle önceden bilinen bir hasar tipidir. Birbiriyle temasta olan malzeme yüzeyleri, oksit filmleri (tabii tabakalar) ve yağlayıcılar ile korunmaktadır. Fakat mekanik yüklemeler altında oksit tabakasının veya yağlamanın bozulması, iki yüzeyin birbiriyle temasına neden olur. Bu temasla oluşan sürtünme, malzemelerin çalışma şartlarındaki ömrünü ve performansını sınırlayan aşınmaya neden olur [62].

Aşınma, hareketli makine parçalarının ömürlerini ve performanslarını azaltan, parçaların bozulmasına ve kullanılmayacak duruma gelmesine sebep olan bir hasar türü olup, makine ve teçhizatın kullanılmasında çok büyük ekonomik kayıplara (enerji, iş gücü, malzeme v.b.) sebep olmaktadır. Bu nedenle makine ve teçhizat tasarımında aşınmanın çok iyi bilinmesi ve dikkate alınması gerekir. Aşınma ile ilgili terminoloji, ASTM 640'da yer almaktadır. Aşınmayı en aza indirmek için uygun yağlama, malzeme ve tasarım seçimi yapılmalıdır [63].

7.1. Aşınmayı Etkileyen Faktörler

- 1) Ana malzemeye bağlı faktörler
- 2) Karşıt malzemeye bağlı faktörler ve aşındırıcının etkisi
 - Ortamın Etkisi
 - Servis koşulları

7.1.1. Ana malzemeye bağlı faktörler

- Malzemenin kristal yapısı
- Malzemenin sertliği
- Elastisite modülü
- Deformasyon davranışı
- Yüzey pürüzlülüğü
- Malzemenin boyutu

7.1.2. Karşı malzemeye bağlı faktörler ve aşındırıcının etkisi

Ortamın etkisi

- Sıcaklık
- Nem

- Atmosfer

Servis Koşulları

- Basınç
- Hız
- Kayma koşulları

7.2. Aşınma Mekanizmaları

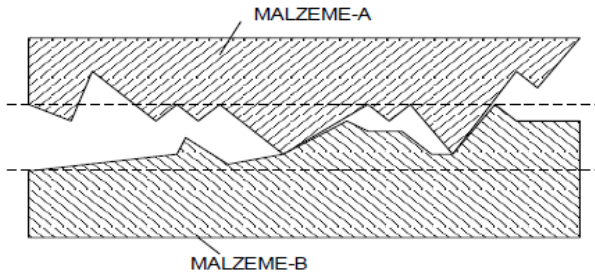
7.2.1. Adhesif aşınma (Yapışma aşınması)

Yapışma aşınması olarak da adlandırılan adhesif aşınma, en sık rastlanılan aşınma türü olmasına rağmen, genellikle hasarları hızlandırıcı etkide bulunmaz. Adhesif aşınma en genel olarak, karşılıklı etkileşim içerisinde birbirlerine göre göreceli olarak hareket eden iki yüzeyin birisinden bir parçacığın koparak diğer yüzeye yapışması sonucunda, bir yüzeyden diğer yüzeye olan malzeme taşınımı olarak tanımlanabilir.

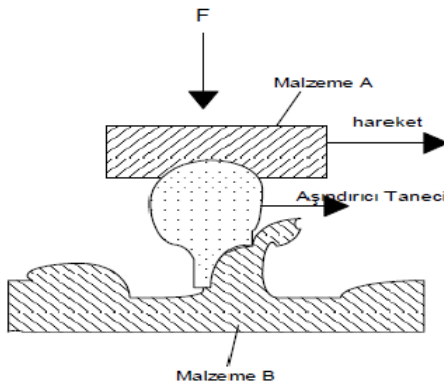
Adhesif aşınma, özellikle birbiri ile kayma sürtünmesi yapan malzeme çiftinde meydana gelen kaynaklaşma olayının bir sonucudur. Birbiri üzerinde kayan teknik yüzeylerin, ancak küçük bir kısmı temas halindedir ve bu küçük temas yüzeylerindeki gerilmeler çok küçük yüklemelerde dahi akma dayanımı değerine ulaşırlar veya geçerler. Böylece, moleküler yapışma kuvvetleri etkisini gösterir. Bu nedenle bir parçadan diğerine parça geçişi, soğuk kaynaklanma ve küçük parçacıkların kesilmesi olayları meydana gelir [64].

7.2.2. Abrasif Aşınma

Yırtılma veya çizilme aşınması olarak da isimlendirilen abrasif aşınma, sistemde hızlı hasara neden olan önemli bir aşınma türüdür. Abrasif aşınma en genel olarak, malzeme yüzeylerinin kendisinden daha sert olan parçacıklarla basınç altında etkileşmesi ile sert parçacıkların malzeme yüzeylerinden parçalar koparması şeklinde tanımlanabilir. Bu mekanizmaya örnek olarak, sisteme dışarıdan giren toz parçacıklarının veya bir motorda oluşan yanma ürünlerinin sebep olduğu aşınma şekli verilebilir. Bu tip aşınmada sert ve keskin parçacık, malzeme yüzeyinden mikron boyutlu talaş kaldırma etkileri gösterirler. Bu aşınma, iki elamanlı ve üç elamanlı olmak üzere ikiye ayrılır [65]. (Şekil 7.1. ve Şekil 7.2).



Şekil 7.1. İki elemanlı abrasif aşınma



Şekil 7.2. Üç elemanlı abrasif aşınma

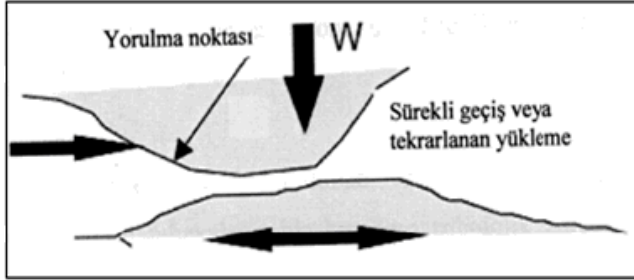
İki elemanlı abrasif aşınma, sürtünen elemanların doğrudan birbiriyle etkileşimleri sonucu meydana gelir. Üç elemanlı abrasif aşınmada ise, aşınan ve aşındıran malzeme arasında serbest ara malzeme olması söz konusu olabileceği gibi, aşınma sonucu yüzeylerden ayrılan parçacıkların birer ara malzeme gibi davranmaları da üçüncü eleman olarak görev yapabilir.

Abrasif aşınmayı etkileyen iki temel faktör, aşındırıcı parçacık ile metal yüzeyi arasındaki sertlik farklılığı ve teması meydana getiren basıncın büyüklüğüdür. Abrasif aşınma hızı, malzeme yüzeyine etki eden normal yük azaltılarak düşürülebilir. Böylece parçacıkların yüzeye daha az batması ve çapak kaldırılması açısından daha az iz bırakması sağlanır [64].

7.2.3. Yorulma aşınması

Yorulma aşınması, sürtünme sırasında oluşan gerilimlerin kırılmaya neden olduğu aşınmadır. Sünük malzemelerde yüzeysel kırılma aşınması meydana gelir. Sürtünmenin olduğu bölgelerde plakalar oluşur. Gevrek malzemelerde kırılmalar, yüksek çekme gerilimlerinin olduğu bölgelerde meydana gelir. Tribolojik zorlamalar genel olarak

yüzeyde görülen büyüklüğü, zamana ve konuma göre değişen mekanik gerilmeler sonucu meydana geldiklerinden, yorulma aşınması birçok aşınma prosesinde görülür [66]. Malzeme yüzeyinde çatlaklar oluşur; bu ise, yüzeyden parçacıkların ayrılması, çukur ve oyukların meydana gelmesine sebep olur (Şekil 7.3).



Şekil 7.3. Yorulma aşınmasının şematik gösterimi

Maksimum kayma gerilmelerinin bulunduğu yerde, plastik deformasyon ve dislokasyon olaylarına bağlı olarak çok küçük boşluklar meydana gelir. Bu boşlukların zamanla yüzeye doğru ilerleyerek büyümesi, yüzeyde küçük çukurların oluşmasına neden olur. Bu tür aşınma daha çok dişli çarklarda, rulmanlı yataklarda ve yuvarlanma hareketi yapan mekanizmaların yüzeylerinde görülür [67].

7.2.4. Eroziv aşınma

Erozyon ortamı ile malzeme yüzeyi arasındaki hızın çok yüksek olması nedeniyle meydana gelen bozunma olayı olarak tarif edilebilir. Gaz veya sıvı ortamında taşınan abrasiv tanelerin yüzeye belirli bir açıda çarpması ile oluşan enerji, katı cismin basınç mukavemetini açtığı zaman, cismin yüzeyinde plastik deformasyon meydana gelerek yüzeyde kırılmalara sebep olur. Bunun sonucunda yüzeyde aşınma meydana gelir. Bu şekilde meydana gelen aşınmaya erozyon aşınması denir. [62, 68].

7.2.5 Difüzyon aşınması

Karşılıklı çalışan malzemelerin kimyasal özellikleri ve karşılıklı malzemeye olan birleşme eğilimleri difüzyon aşınmasının oluşmasını sağlamaktadır. Karşılıklı çalışan malzemelerin sertliği bu aşınmada çok fazla etkili olmamaktadır. Malzemeler arasındaki metalürjik ilişki, asıl aşınma mekanizmasının büyüklüğünü tayin etmektedir. Mekanizma daha çok sıcaklığa bağlıdır ve bu sebeple yüzeyler arasında yüksek basınç ve yüksek kayma hızlarında daha fazla olmaktadır [69].

8. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Çalışmada tozların hazırlanması Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü Süleyman Sarıtaş Toz Metalurjisi Laboratuvarında (SSTML) yapılmıştır. Toz tane boyutu ölçümleri Drogasın İlaçları San. ve Tic. A.Ş. laboratuvarlarında yapılmıştır. Tozların karıştırma işlemleri, tozların preslenme işlemleri, numunelerin yoğunluk ölçüm işlemleri, numunelerin sinterlenmesi, metalografik muayene çalışmaları, numunelerin sertlik ölçümleri, numunelerin aşınma deneyleri ve aşınma sonrası SEM görüntülerinin ve EDS analizlerinin alınması Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

8.1. Malzeme

Deneylerde kullanılan alüminyum alaşım tozunun kimyasal kompozisyonu Çizelge 8.1’de verilmiştir. Alüminyum alaşımının ortalama toz tane boyutu 85,602 μm ’dir.

Çizelge 8.1. Deneylerde kullanılan alüminyumun kimyasal analizi

Alüminyum (Al)	% 82,9-89
Silisyum (Si)	% 11-13
Demir (Fe)	max. % 1,3
Bakır (Cu)	max. % 1
Çinko (Zn)	max. % 0,50
Nikel (Ni)	max. % 0,50
Magnezyum (Mg)	max. % 0,10
Mangan (Mn)	max. % 0,35
Diğer	max. % 0,25

Çalışmalarda kullanılan Silisyum karbür’ün (SiC) ortalama toz tane boyutu 46,73 μm ’dir. SiC yoğunluğu bilindiği gibi 2,66 g/cm³’dür.

8.2. Tozların Vakumlanması

Alüminyum alaşım ve SiC tozlarıyla hazırlanacak numunelerin yüzeyinde oluşması muhtemel oksit tabakasını önlemek için, tozlar vakum pompası yardımıyla, tüp fırında 250 °C’ de 20 dk. süreyle 10^{-2} Pa ile vakumlanmıştır (Resim 8.1).



Resim 8.1. Vakumlama işleminde kullanılan vakum pompası

8.3. Karışım Tozların Hazırlanması

Alüminyum alaşım ve SiC tozlarının birbirini içerisinde homojen olarak dağılımını sağlamak amacı ile ağırlıkça %4, %7, %12 ve %21 SiC içeren dört farklı karışım toz hazırlanmıştır. Hazırlanan karışım tozları Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü laboratuvarında bulunan Turbula marka 3 boyutlu karıştırıcı kullanılarak hazırlanmıştır (Resim 8.2).

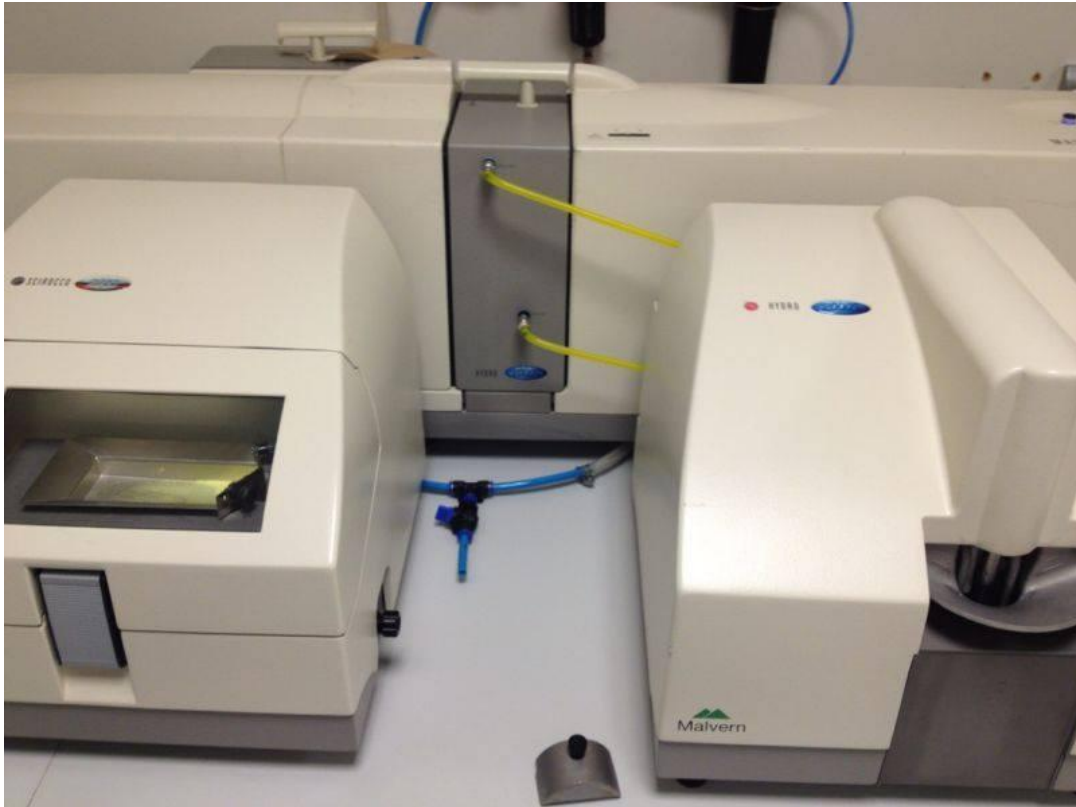
Karıştırma işlemi öncesinde kap içine, kap hacminin %25’i’ ni geçmeyecek şekilde, her bir sefer 100’ er gr. karışım tozları konulmuş ve 15 dk. süreyle 3 boyutlu karıştırıcıda karıştırılmıştır. Bu süre karışım için yeterli olmuştur.



Resim 8.2. Turbula marka 3 boyutlu karıştırıcı

8.4. Karışım Tozların Karakterizasyonu

Alüminyum ve SiC tozlarının ortalama toz boyutları, Drogsan İlaçları San. ve Tic. A.Ş. laboratuvarlarında Malvern Mastersizer Hydro 2000S cihazıyla belirlenmiştir (Resim 8.3).



Resim 8.3. Malvern Mastersizer Toz boyutu ölçüm cihazı

8.5. Tozların Preslenmesi

Çapı 10 mm ve boyu 12 mm olan numuneler 800 MPa basınçta preslenmiştir. Daha önce yapılan çalışmalarda elde edilen en yüksek yoğunluk değerine 800 MPa preslenme basıncında ulaşıldığı görüldüğünden bu değer kullanılmıştır. Tozların preslenme işlemleri Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü laboratuvarında bulunan 250 ton kapasiteli hidrolik preste yapılmıştır (Resim 8.4).

Hacimce farklı oranlarda SiC içeren karışım tozlardan 7' şer adet olmak üzere 28 adet numune ve 7 adet' de takviyesiz alüminyum alaşım tozu olmak üzere toplamda 35 adet numune preslenmiştir.



Resim 8.4. Tozların sıkıştırılmasında kullanılan hidrolik pres

8.6. Numunelerin Ham Yoğunluklarının Ölçülmesi

Preslenen numuneler sinterleme öncesi ve sinterleme sonrası yoğunluklarını karşılaştırmak için ham yoğunlukları ölçülmüştür. Farklı oranlarda SiC içeren ve 28 adet ve 7 adet takviyesiz alüminyum alaşım numunenin presleme sonrası ham yoğunluk değerleri 0,001 g

hassasiyetteki üzerinde yoğunluk kiti bulunan precisa marka hassas terazide ölçülmüştür (Resim 8.5).

Numuneler sinterleme öncesi ve sinterleme sonrası yoğunluklarını ölçerken, suyla temas etmesini önlemek için parafinlenmiştir. Numunelerin ham yoğunluk ölçüm işlemleri Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü laboratuvarında takviye oranlarına göre ölçülen numunelerin ortalama değerleri alınarak farklı takviye oranlarındaki numunelerin ham yoğunlukları belirlenmiştir.



Resim 8.5. Yoğunluk kiti ile ham yoğunluk ölçme

Yoğunluk kitiyle ham yoğunluk ölçme

- Numunenin havadaki ağırlığı ölçülerek (w) darası alınır (Numune üst kefedekken).
- Numune su içindeki alt kefeye konarak tartılır (G)
- Havadaki ağırlık sudaki ağırlığına bölünür ve suyun sıcaklığına göre katalogdan alınan katsayı (Rho) ile çarpılarak numunenin yoğunluğu bulunur.
- Bulunan yoğunluk değeri teorik yoğunluğa bölünerek gerçek yoğunluk bulunur.

$$Yoğ = \frac{w}{G} \times \text{Rho (g/cm}^3\text{)}$$

8.7. Numunelerin Sinterlenmesi

Sinterleme işlemi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü laboratuvarında bulunan PROTHERM marka atmosfer kontrollü tüp fırında 2 saat süre ile azot gazı ortamında 550 °C' de sinterlenmiştir (Resim 8.6). Sinterleme işleminde, her numune grubundan yedişer adet olmak üzere alınan numuneler fırın oda sıcaklığında iken grafit bir kayık içerisinde fırının merkezine yerleştirilmiştir (Resim 8.7). Daha sonra 5 °C/ dak ısınma hızı ile

sinterleme sıcaklığına çıkarılmış ve bu sıcaklıkta 2 saat süreyle bekletilmiştir. Sinterleme sonrası fırın oda sıcaklığına kadar 5 °C/dak'lık soğuma hızında kontrollü olarak soğutulmuştur.



Resim 8.6. Deneylerde kullanılan sinterleme fırını

Numunelerin sinterleme anında oksitlenmesini önlemek için ortamdan sürekli olarak azot gazı geçirilerek koruyucu bir ortamda sinterleme yapılmıştır. Sinterleme sonrası yine bütün numunelerin yoğunluk kitiyle yoğunluk ölçümleri yapılarak sinterleme ile numunelerin yoğunluklarındaki değişimler ortaya konmuştur.



Resim 8.7. Numunelerin sinterleme öncesi yerleştirilmesi

8.8. Sertlik Ölçümleri

Sinterleme sonrası yüzeyde oluşan oksit tabakasını temizlemek için bütün numunelerin yüzeyleri 1200 mesh zımpara ile zımparalanmıştır. Sertlik ölçümleri numune yüzeyinin 5 farklı noktasından alınarak ortalama değerler alınmıştır. Sertlik ölçümleri Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü laboratuvarında yapılmıştır (Resim 8.8 ve 8.9). Numunelerin hem mikrosertlik değerleri hem de makro sertlik değerleri alınmıştır. Mikro sertlik ölçümleri vickers sertlik ölçüm yöntemi kullanılarak HV0,5 skalasında 4,9035 N yük uygulanmıştır. Sertlik ölçümlerinde HV5 skalası kullanılarak 5 sn. boyunca yükleme yapılmıştır. Numunelerin Vickers Sertlik değerleri göz önüne alınarak ölçüm yapılmıştır.



Resim 8.8. Mikro Sertlik Ölçüm Cihazı



Resim 8.9. Sertlik Ölçüm Cihazı

8.9. Metalografik İncelemeler

Numunelerin toz tane şekilleri ve tane sınırları yapısı metalografik incelemelerle belirlenmiştir. Numuneleri metalografik incelemeye hazır hale getirebilmek için öncelikle sinterleme sonrası elde edilen numuneler bakalite gömülerek sırasıyla 400, 600, 800,1000 ve 1200 ‘lük zımparalar ile zımparalama işlemine tabi tutulmuştur (Resim 8.10). Daha sonra bu numuneler parlatma keçesinde 3 µm boyutta elmas pasta ile numunelerin yüzeyleri parlatılmıştır.

Numunelerin tane sınırlarını daha net gözlemleyebilmek için, numunelere alüminyum alaşımlarında kullanılan Keller çözeltisi ile dağlama işlemi yapılmıştır. Tüm bu işlemler sonucunda numuneler metalografik incelemelere hazır hale gelmiştir.



Resim 8.10. Zımparalama işleminin yapıldığı zımpara makinesi

Numunelerin mikroyapı görüntüleri Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü laboratuvarında bulunan Leica DM 4000 m optik mikroskoptan (Resim 8.11) alınmıştır.



Resim 8.11. Leica DM 4000 m marka optik mikroskop

Bu inceleme ile sinterleme öncesi tozların orijinal parçacık morfolojilerinin sinterleme sonrası değişimi ortaya konmuştur.

8.10. Aşınma Deneyi

Numuneler aşınma testleri, Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Numunelere abrasif aşınma uygulanmıştır. Abrasif aşınma testinde, numunelere 10 N (Newton), 20 N ve 30 N' luk yükler uygulanmış ve aşındırıcı olarak 800, 1000 ve 1200'lük Mesh Al_2O_3 zımpara kullanılmıştır (Şekil 8.12).

Aşınma testi, 25 m boyunca $0,2 \text{ m s}^{-1}$ kayma hızında gerçekleştirilmiştir. Testler sırasında meydana gelen ağırlık kayıpları hesaplanmış ve aşınan yüzeyler görüntülenerek numuneler aşınma açısından karakterize edilmiştir. Her bir deney şartı ve numune için 3 adet ölçüm yapılmıştır.

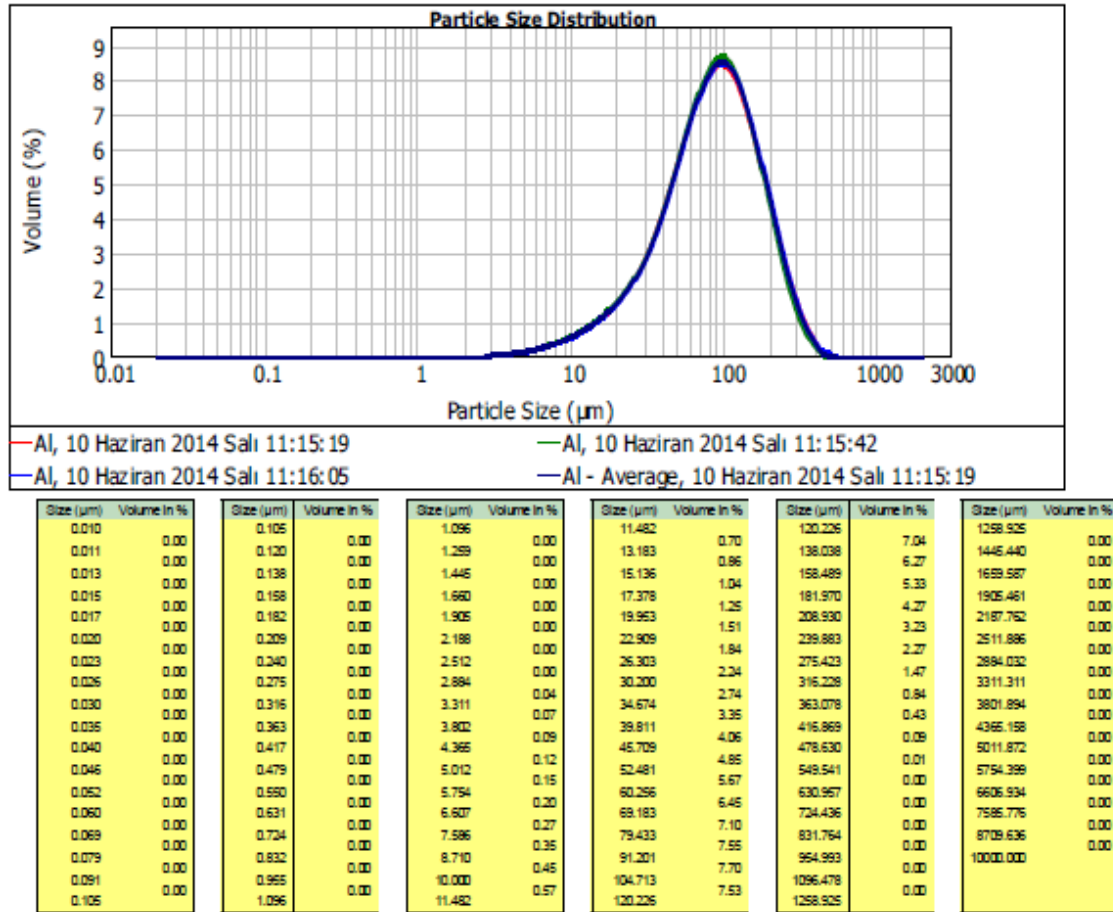


Resim 8.12. Abrasif aşınma test cihazı

9. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

9.1. Toz Boyut Analizi

Şekil 9.1.'de alüminyum tozunun boyut analizi grafiksel olarak gösterilmiştir. Tozların %10, %50 ve %90'ının sahip olduğu çaplar ise çizelge 9.1'de verilmiştir.

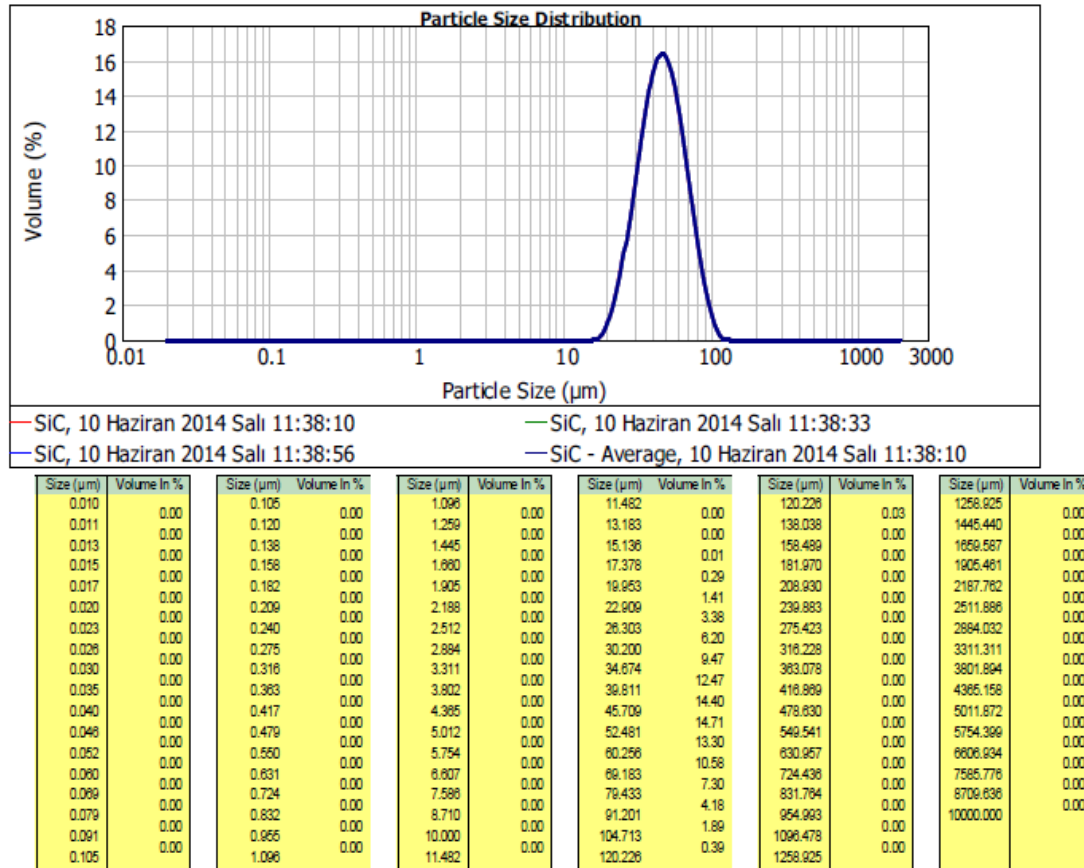


Şekil 9.1. Alüminyum tozunun boyut analizi

Çizelge 9.1. Alüminyum tozunun boyut analizi sonucu

d 50, µm	d 10, µm	d 90, µm
85,602	27,188	197,242

Şekil 9.2' de ise 3 boyutlu karıştırıcıda karıştırma işlemine başlanmadan, başlangıçtaki SiC tozunun boyut analizi grafiksel olarak gösterilmiştir. Tozların %10, %50 ve %90'ının sahip olduğu çaplar ise çizelge 9.2 'de verilmiştir



Şekil 9.2. SiC tozunun boyut analizi

Çizelge 9.2. SiC tozunun boyut analizi sonucu

d 50, μm	d 10, μm	d 90, μm
46,730	29,500	73,742

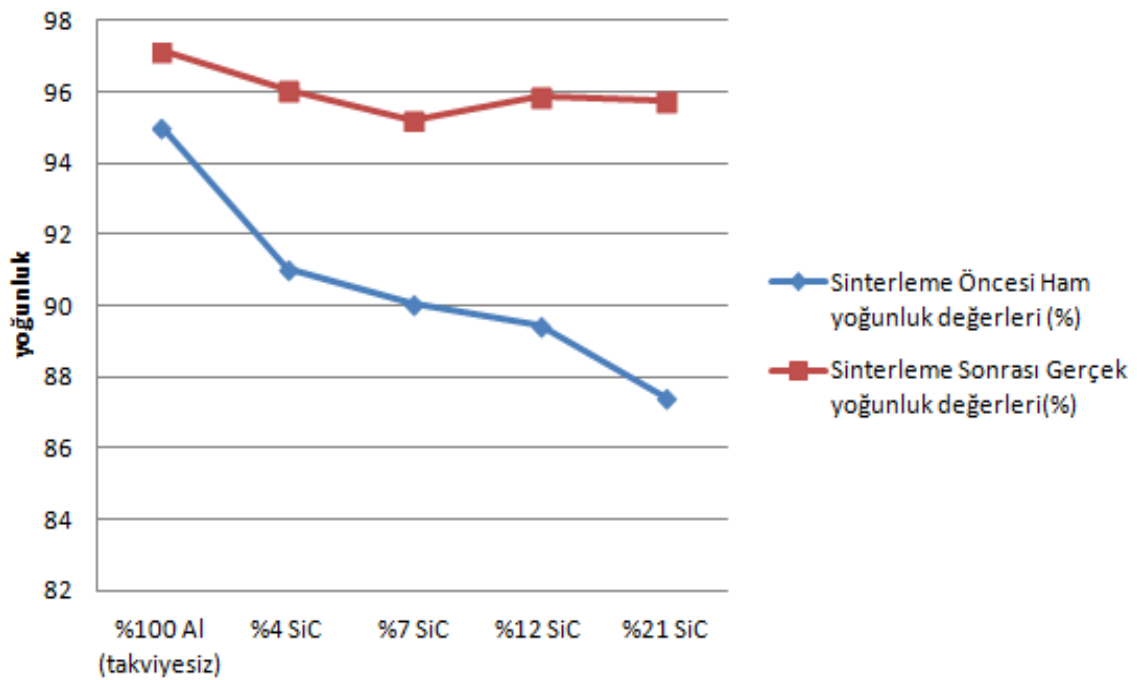
9.2. Yoğunluk Ölçüm Sonuçları

Üretilen pelet numunelerin takviye oranına bağlı olarak sinterleme öncesi ham yoğunluk ve sinterleme sonrası gerçek yoğunluk değişimleri Çizelge 9.3.' de belirtilmiştir. Çizelgede verilen değerler incelendiğinde artan SiC miktarına paralel olarak sinterleme öncesi ham yoğunluk değerlerinde bir düşüş görülmektedir. Bu durumun meydana gelme sebebi numune içerisindeki seramik yapının plastik deformasyon kabiliyetinin düşük olmasıdır. Presleme anında plastik deformasyon kabiliyeti düşük olan seramik yapının miktarındaki artış, ham yoğunluk değerlerinin düşüşüne sebep olmaktadır. Sonuç olarak kompozit malzeme içerisindeki seramik malzemenin oranı arttıkça ham yoğunluk değerleri düşmeye devam edecektir.

Çizelgede verilen sinterleme sonrası gerçek yoğunluk değerleri incelendiğinde, sinterleme sonrasında yapılan yoğunluk ölçümlerinde bütün numunelerin yoğunluklarının belli oranlarda arttığı görülmektedir. Bu durumun sebebi numunelerde meydana gelen difüzyon sonucunda çekmelerin (küçülmelerin) meydana gelmesidir (Çizelge 9.3). Çizelgedeki sonuçlar Şekil 9.3.' te grafik olarak da sunulmaktadır.

Çizelge 9.3. Üretilen kompozit numunelerin sinterleme öncesi ve sinterleme sonrası yoğunluk değerleri

Malzeme	Sinterleme Öncesi Ham yoğunluk değerleri (%)	Sinterleme Sonrası Gerçek yoğunluk değerleri(%)
%100 Al (takviyesiz)	95,0207	97,160
%4 SiC	91,0578	96,0720
%7 SiC	90,080	95,233
%12 SiC	89,4580	96,8905
%21 SiC	87,4499	95,784



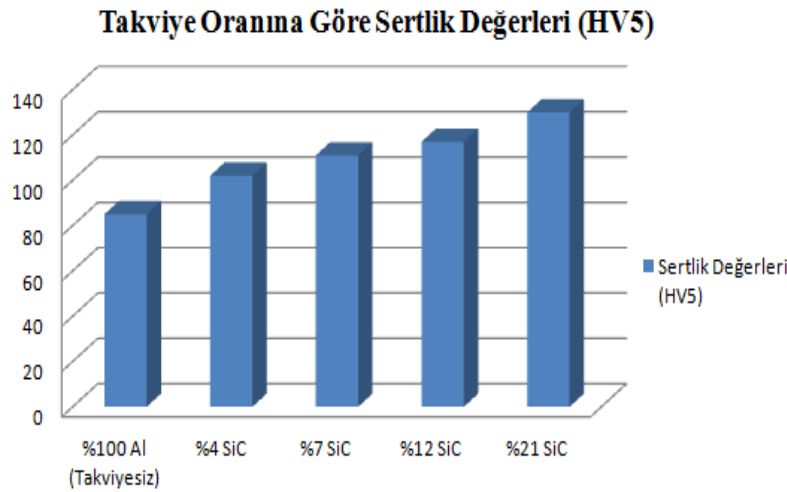
Şekil 9.3. 800 MPa presleme basıncında preslenen numunelerde SiC miktarına bağlı sinterleme öncesi ham yoğunluk değerleri ve sinterleme sonrası gerçek yoğunluk değerleri

9.3. Sertlik Testi Sonuçları

Her bir numuneden 5'er ölçüm alındıktan sonra elde edilen değerlerin ortalaması sertlik değeri olarak alınmıştır. Artan SiC miktarına göre, numunelerde elde edilen sertlik değerlerinde artış gözlemlenmiştir. Bu durum Çizelge 9.4 ve Şekil 9.4' de gösterilmiştir.

Çizelge 9.4. Üretilen kompozitlerin sertlik değerleri

Malzeme	Sertlik Değerleri (HV5)
%100 Al alaşımı (Takviyesiz)	85
%4 SiC	102
%7 SiC	111
%12 SiC	117
%21 SiC	130

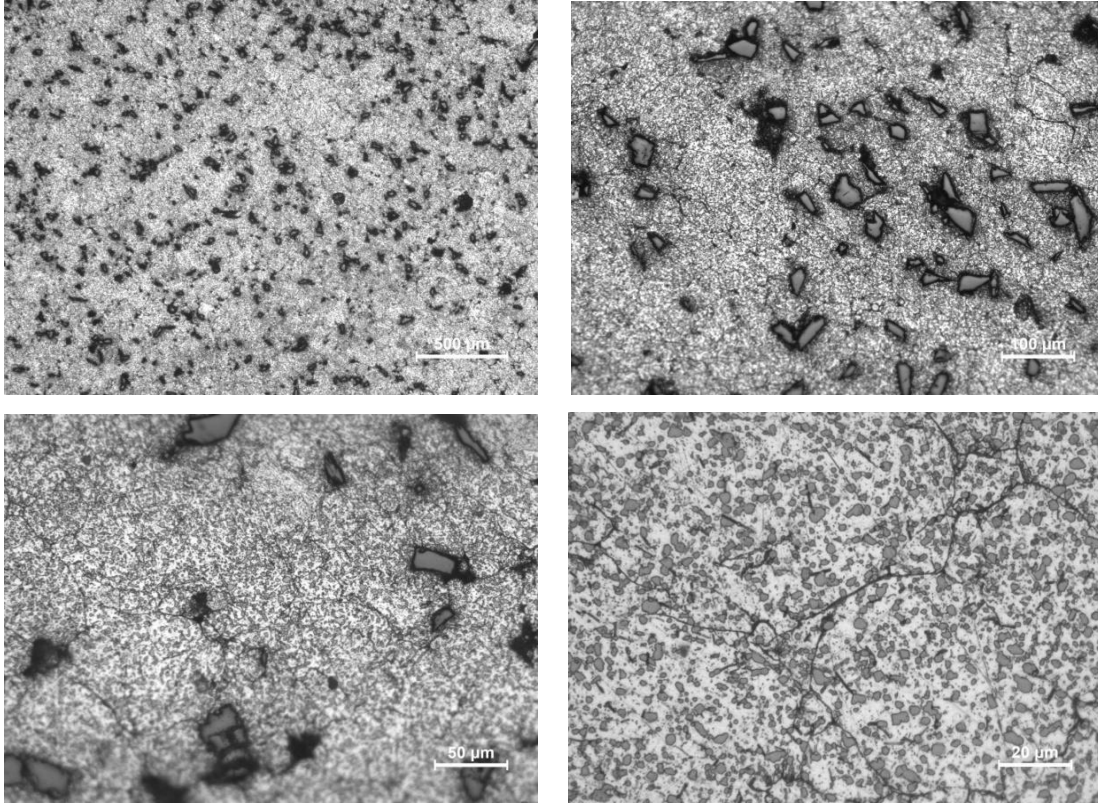


Şekil 9.4. Numunelerin takviye oranına bağlı olarak sertlik değerleri

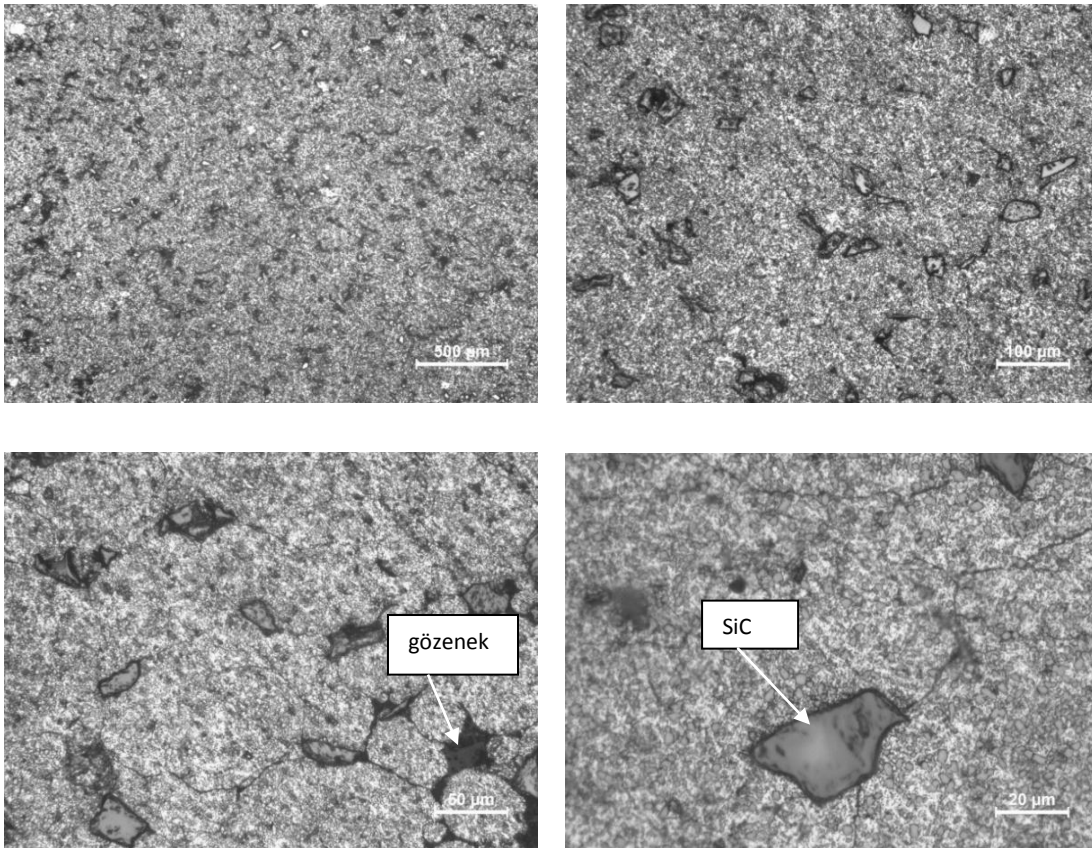
9.4. Metalografik İnceleme Sonuçları

Yapılan metalografik incelemeler sonucunda kompozit malzeme içerisindeki hacimce farklı oranlardaki seramik takviyelerinin (%4, %7, %12, %21) homojen dağılımı gözlemlenmiştir (Resim 9.1, 9.2, 9.3 ve 9.4).

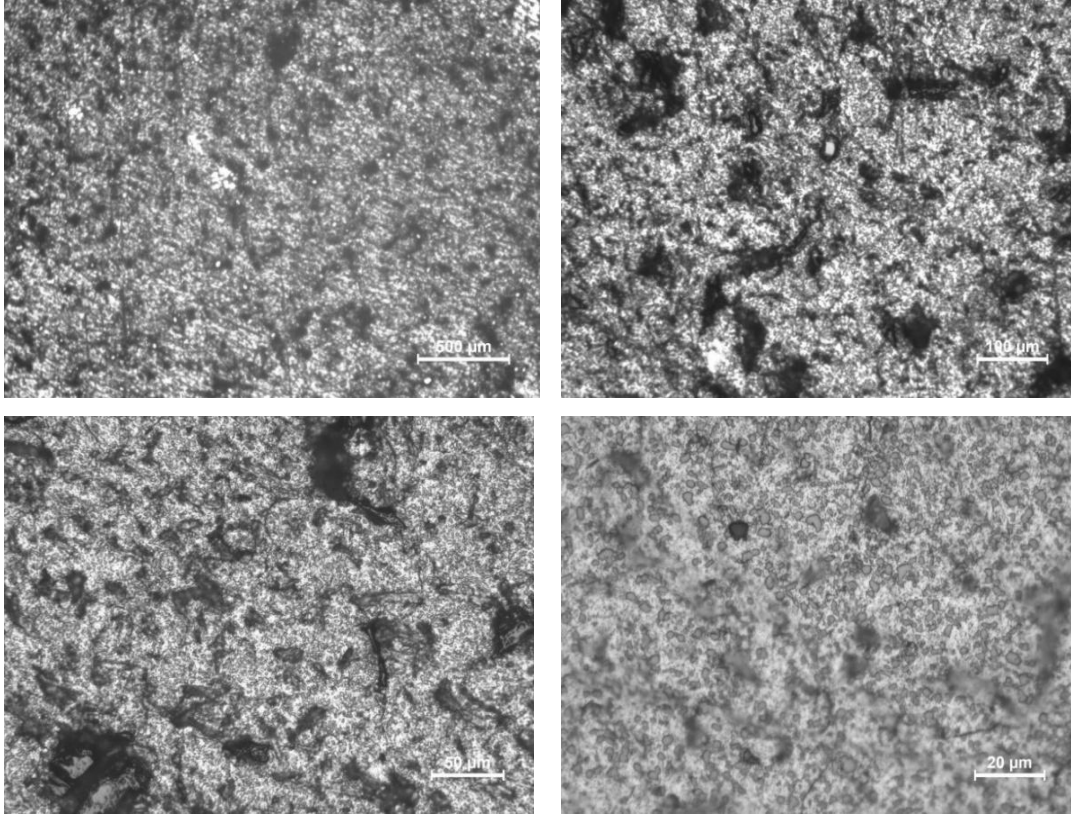
Resim 9.1, 9.2, 9.3 ve 9.4 incelendiğinde, numunelerde SiC toz partiküllerinin değişik şekillerde alüminyuma battıkları görülmektedir. Böylece hem alüminyum parçacıklarının daha kolay bir şekilde bölünüp parçalanması gerçekleşir hem de iki farklı malzemenin birbiri içerisinde daha homojen dağılması gerçekleşmektedir.



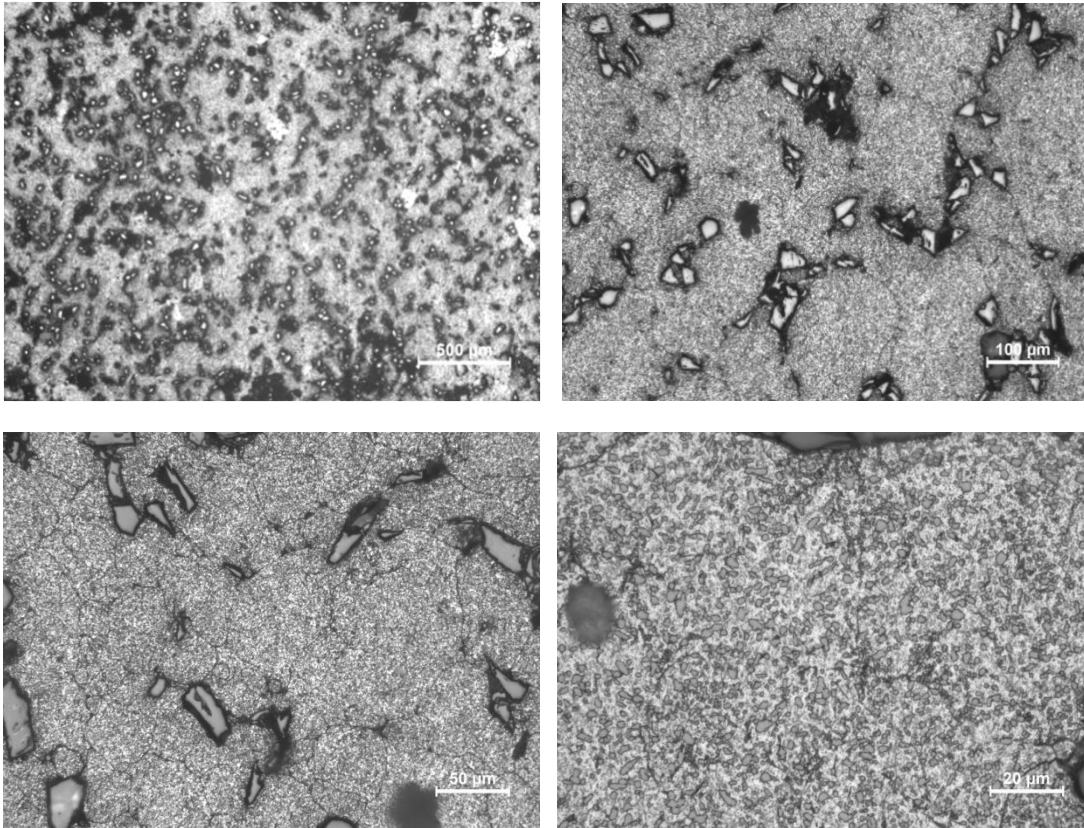
Resim 9.1. %4 SiC içeren numunenin optik resimleri



Resim 9.2. %7 SiC içeren numunenin optik resimleri

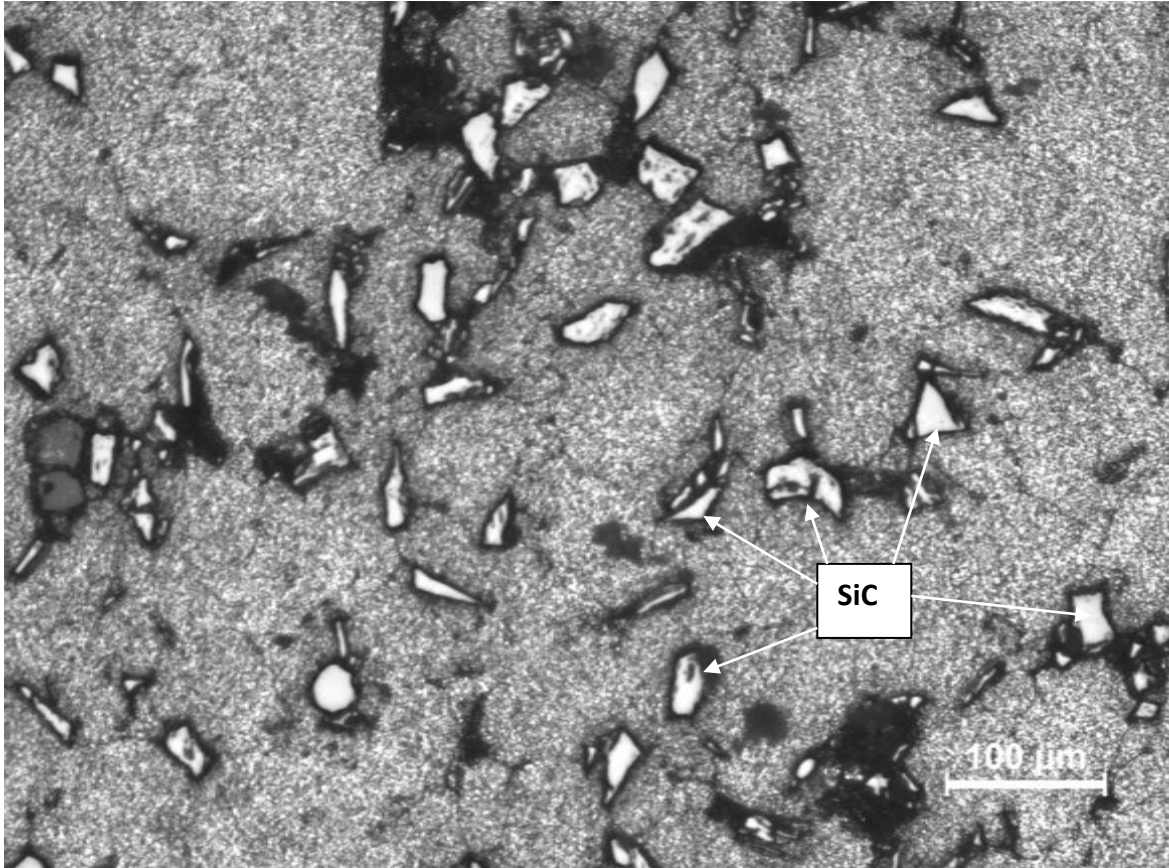


Resim 9.3. %12 SiC içeren numunenin optik resimleri



Resim 9.4. %21 SiC içeren numunenin optik resimleri

Yapı içerisindeki SiC' ler açık bir şekilde görülmekte olup matris içerisinde homojen dağılımının gerçekleştiği görülmektedir. Optik mikroskop görüntüleri incelendiğinde, artan takviye hacim oranlarında bile SiC' ün yapıda homojen bir şekilde dağıldığı görülmektedir. (Resim 9.5). Artan takviye oranlarına bağlı olarak kompozit mikroyapıları kıyaslandığında, takviye dağılımı açısından benzer bir durum sergiledikleri görülmüştür.



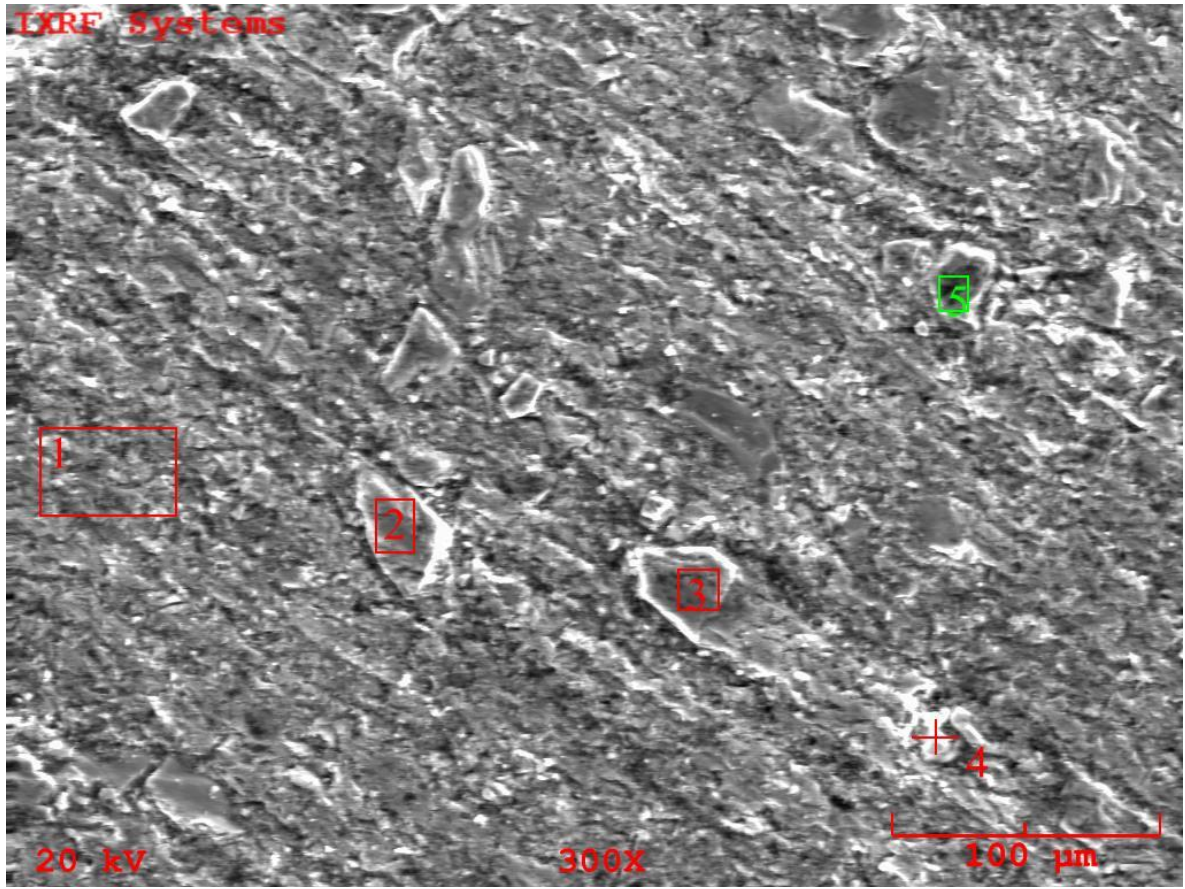
Resim 9.5. %21 SiC içeren numunenin matris içerisinde homojen dağılımını gösteren optik resmi

9.5. EDS Yöntemi İle Element Analizi

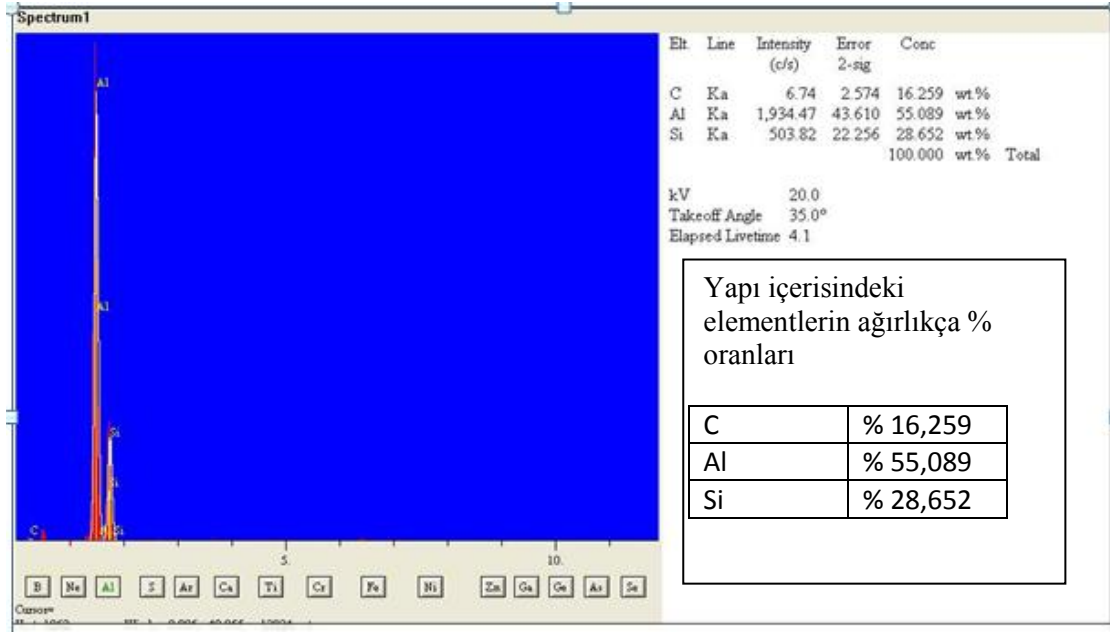
Yapılan deneysel çalışmalarda taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak T/M üretilen parçacık takviyeli metal matrisli kompozit malzemelerin EDS analizleri yapılmıştır. Yapılan analizlerde öncelikle matris/takviye uyumu gözetilerek SiC varlığına yönelik çalışmalar yapılmıştır. Silisyum (Si) varlığından yola çıkılarak SiC tespit amaçlı analizler gerçekleştirilmiştir. Ayrıca A413 matris alaşımında varlığı bilinen Al, Si, Fe gibi alaşım elementlerinin belirlenmesi için analizler gerçekleştirilmiştir.

Kompozit numunelerin SEM görüntüleri üzerinden yapılan EDS analizleri incelendiğinde; Şekil 9.5' deki genel EDS analizine bakılırsa (Al, Si, C oranlarına) takviye malzemesinin

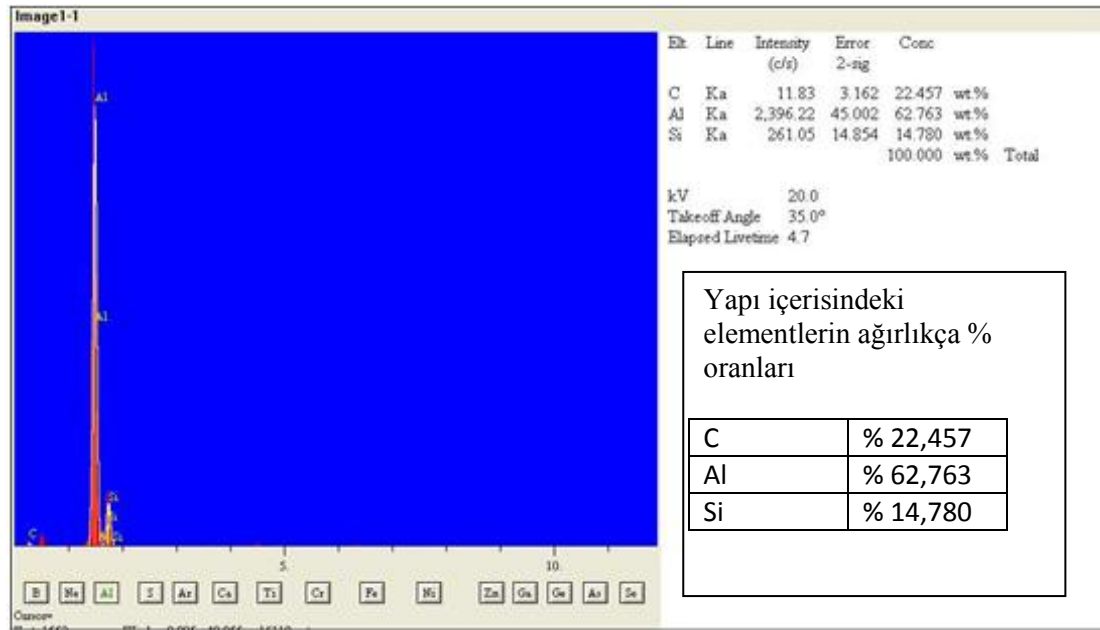
matris malzeme içerisinde homojen dağıldığını söyleyebiliriz. Resim 9.6' deki 2, 3, 5 bölge ve 4 nokta analizlerine bakıldığı zaman, elementel Si tespiti sonrasındaki yüzde değerleri (Şekil 9.7, Şekil 9.8, Şekil 9.9 ve Şekil 9.10), SiC takviye malzemesinin yapıdaki varlığını göstermiştir.. Yapılan diğer nokta ve bölge analizleri sonrasında ise, Resim 9.6 üzerinde belirtilen 1. bölge üzerinden (Şekil 9.6) yapılan incelemeler sonrasında A413 matris alaşımındaki oluşması muhtemel silisyumca zengin bölgelerin ve diğer alaşım elementlerinin varlığı tespit edilmiştir.



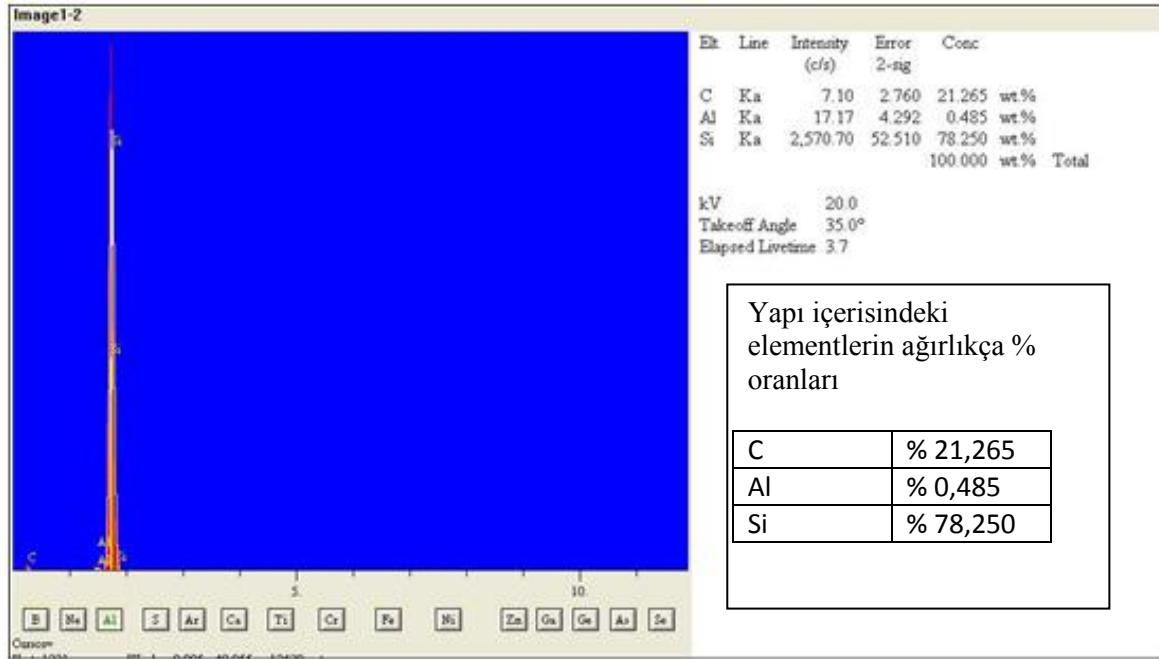
Resim 9.6. %12 SiC içeren numunenin SEM görüntüsü



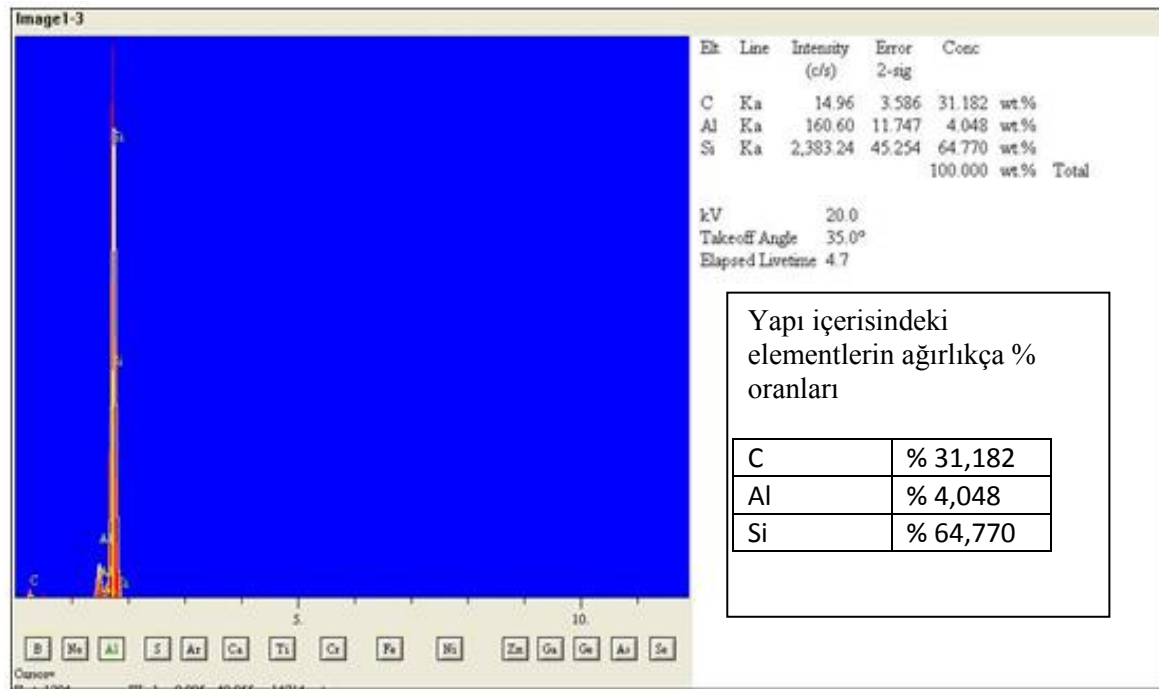
Şekil 9.5. Resim 9.6' deki genel EDS analizi



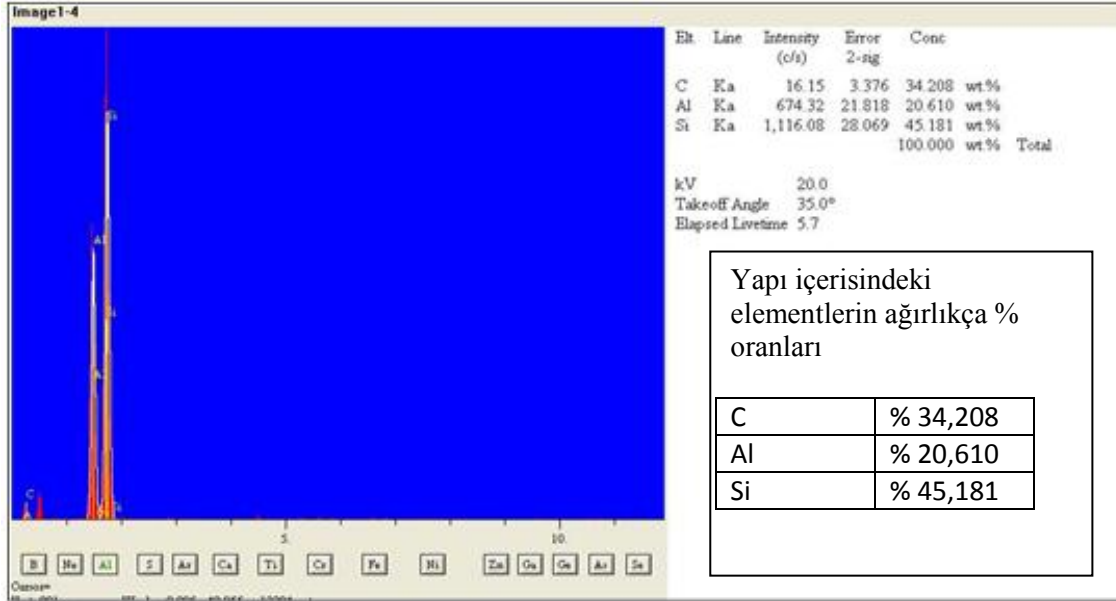
Şekil 9.6. Resim 9.6' deki 1 bölgeye ait EDS analizi



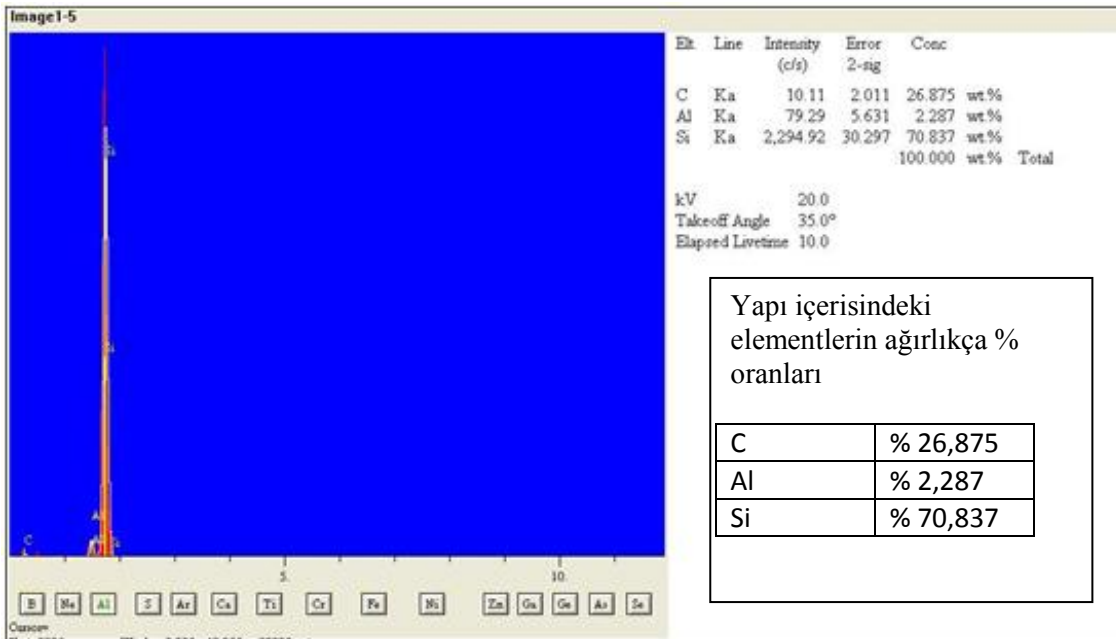
Şekil 9.7. Resim 9.6' deki 2 bölgeye ait EDS analizi



Şekil 9.8. Resim 9.6' deki 3 bölgeye ait EDS analizi

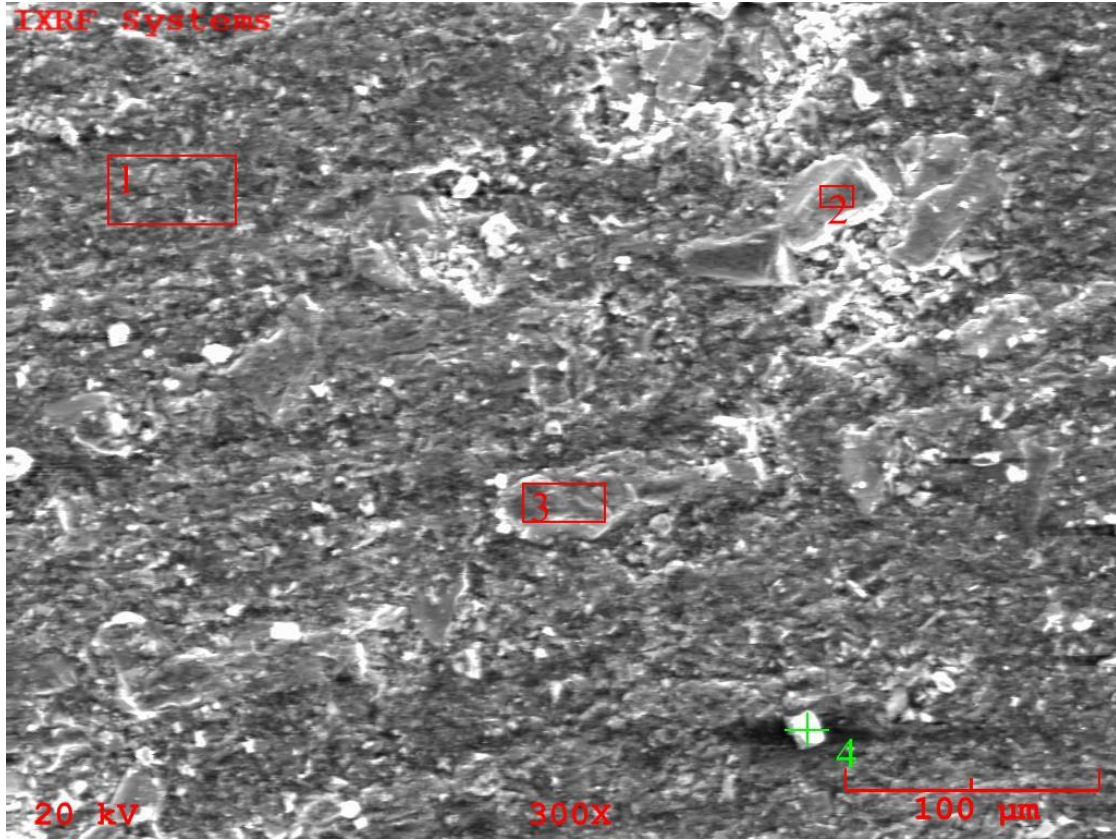


Şekil 9.9. Resim 9.6’ deki 4 noktaya ait EDS analizi

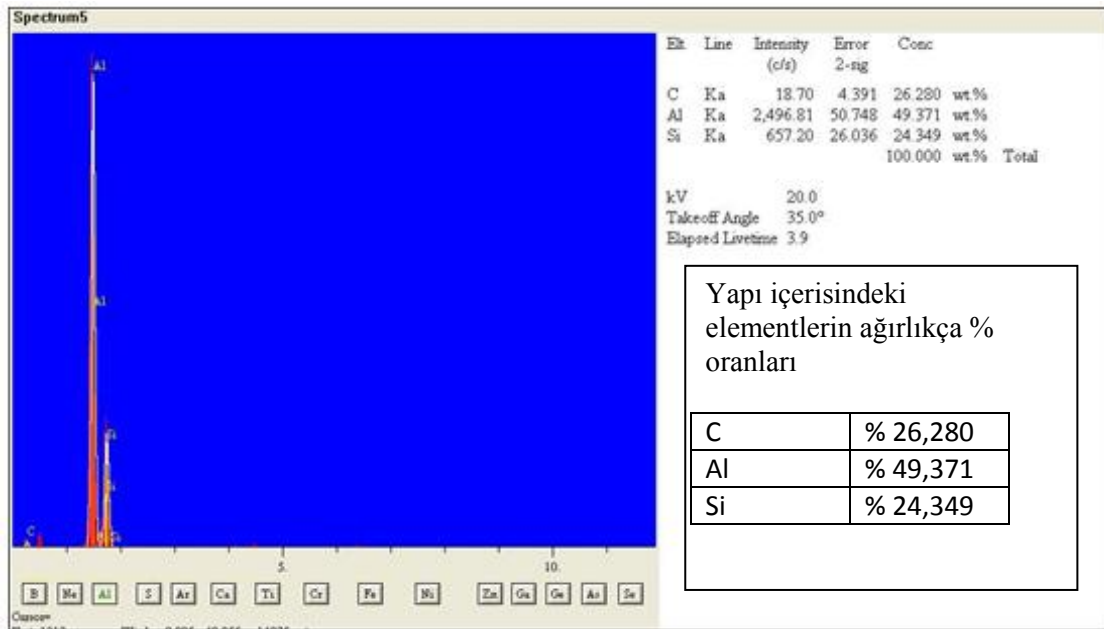


Şekil 9.10. Resim 9.6’ deki 5 bölgeye ait EDS analizi

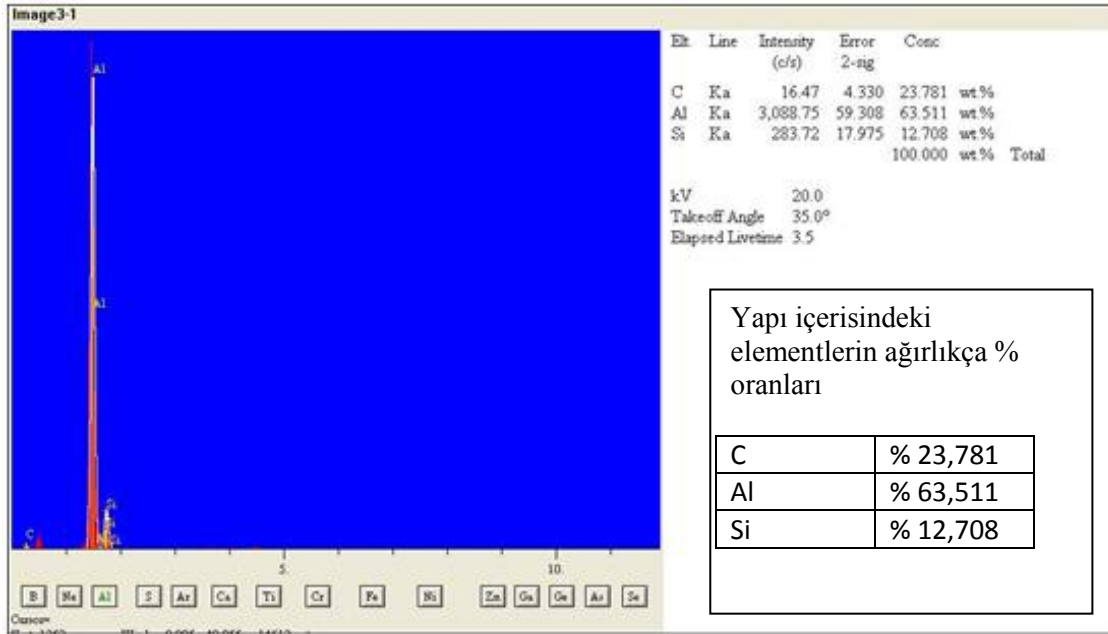
Resim 9.7’ e ait EDS analizleri incelendiğinde, genel EDS ve matris yüzeyini oluşturan 1 bölge göz önüne alındığında (Şekil 9.11 ve Şekil 9.12) yapı içerisinde kayda değer bir oranda bulunan Al, Si, C elementlerinin homojen bir dağılım sergilediği görülmektedir. 2 ve 3 bölgelerin EDS analizi incelendiğinde (Şekil 9.13 ve Şekil 9.14) yapı içerisindeki SiC varlığı kesin bir şekilde görülmektedir. 4 noktanın EDS analizi incelendiğinde (Şekil 9.15) yapı içerisinde belirgin oranda oksijen görülmektedir. Bu durum, malzeme yüzeyinde belirtilen bölgede bir oksitlenme olduğu şeklinde yorumlanabilir.



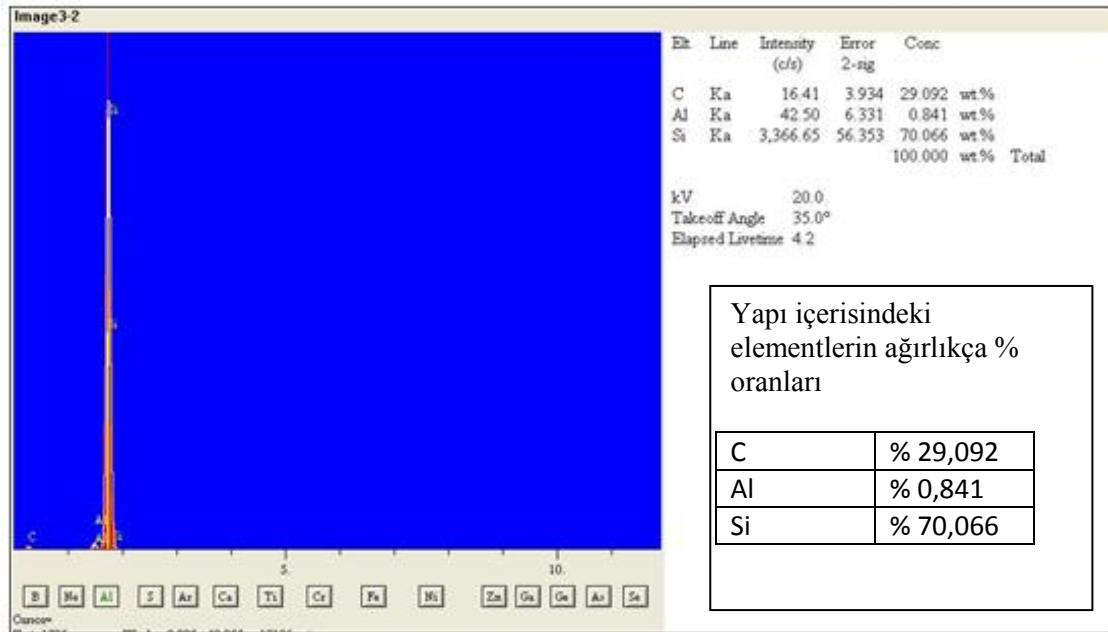
Resim 9.7. %21 SiC içeren numunenin SEM görüntüsü



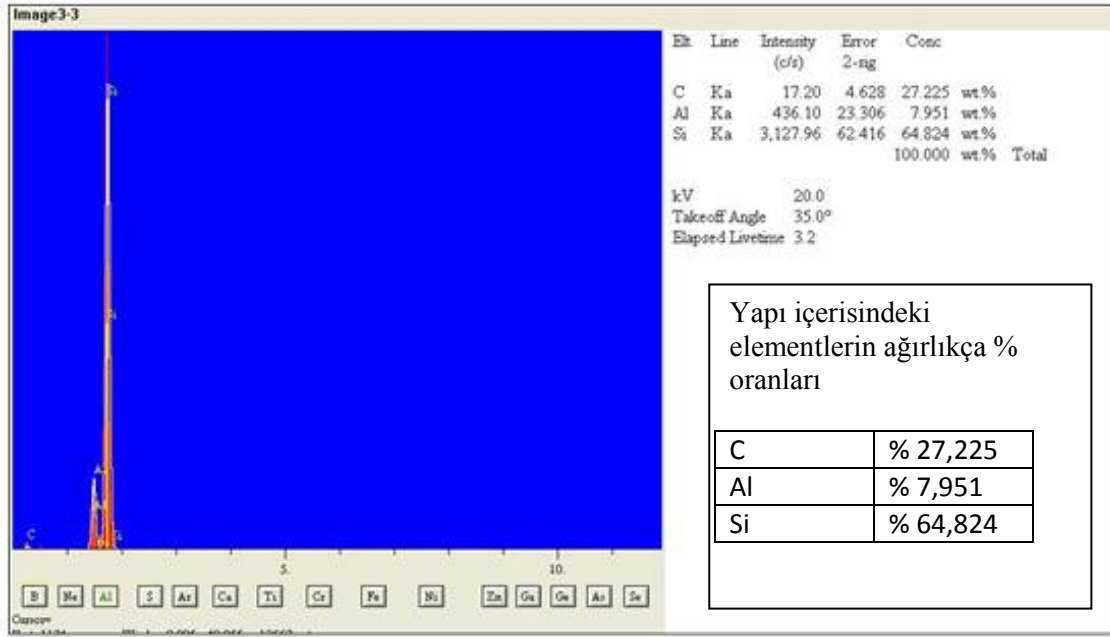
Şekil 9.11. Resim 9.7' deki genel EDS analizi



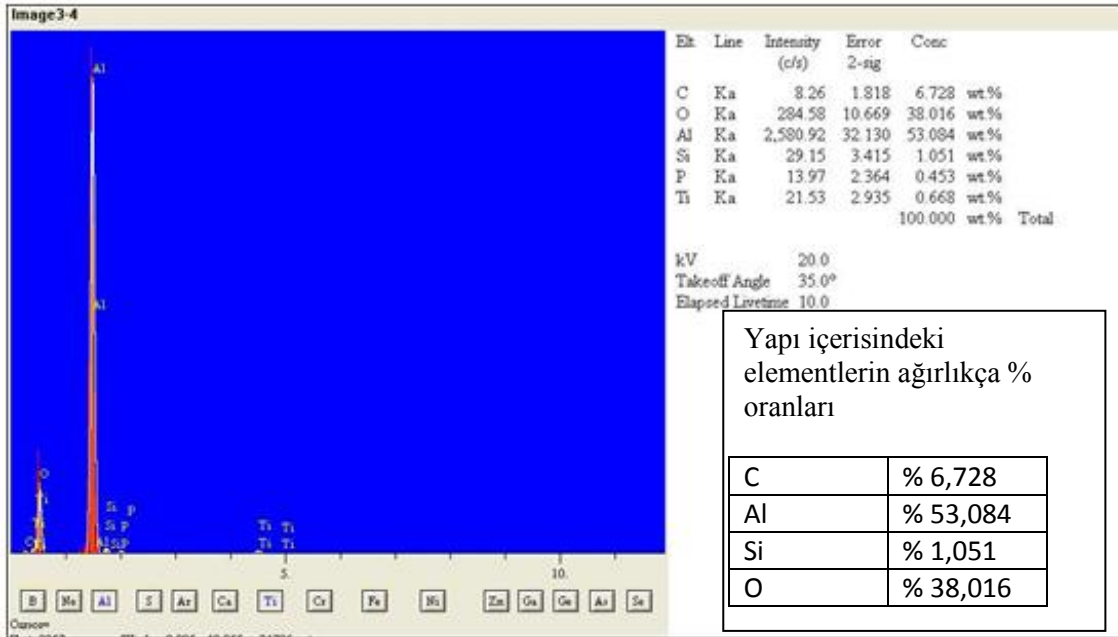
Şekil 9.12. Resim 9.7' deki 1 bölgeye ait EDS analizi



Şekil 9.13. Resim 9.7' deki 2 bölgeye ait EDS analizi



Şekil 9.14. Resim 9.7' deki 3 bölgeye ait EDS analizi

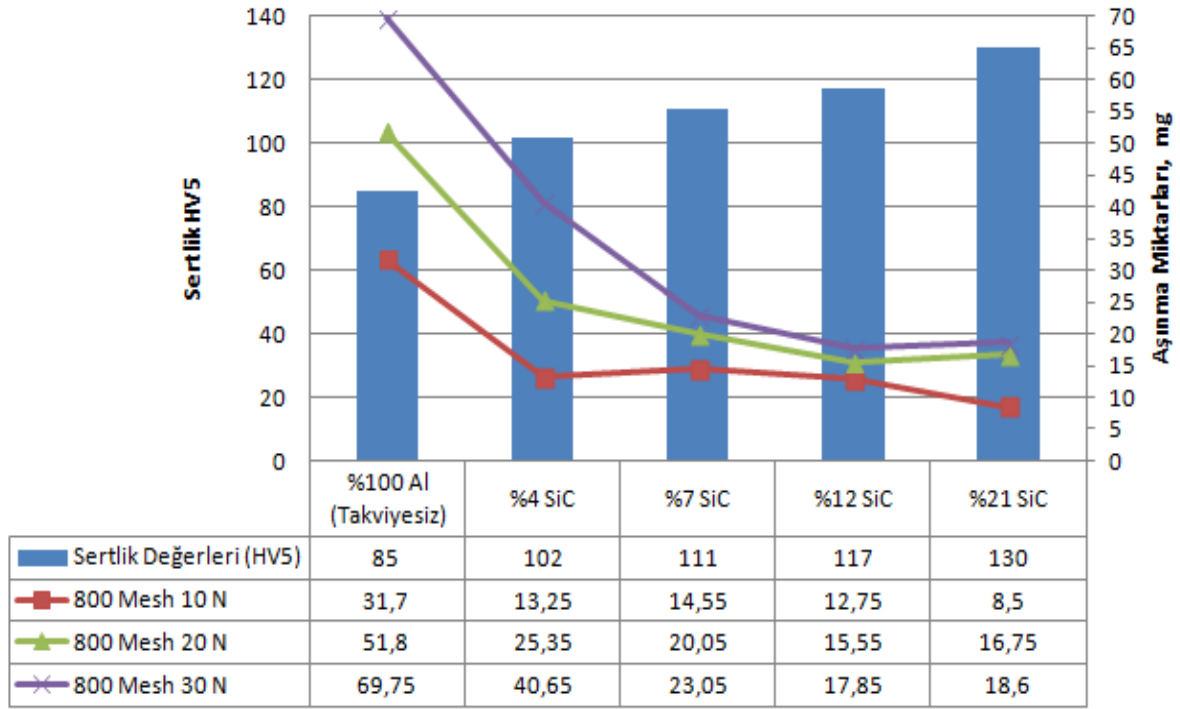


Şekil 9.15. Resim 9.7' deki 4 bölgeye ait EDS analizi

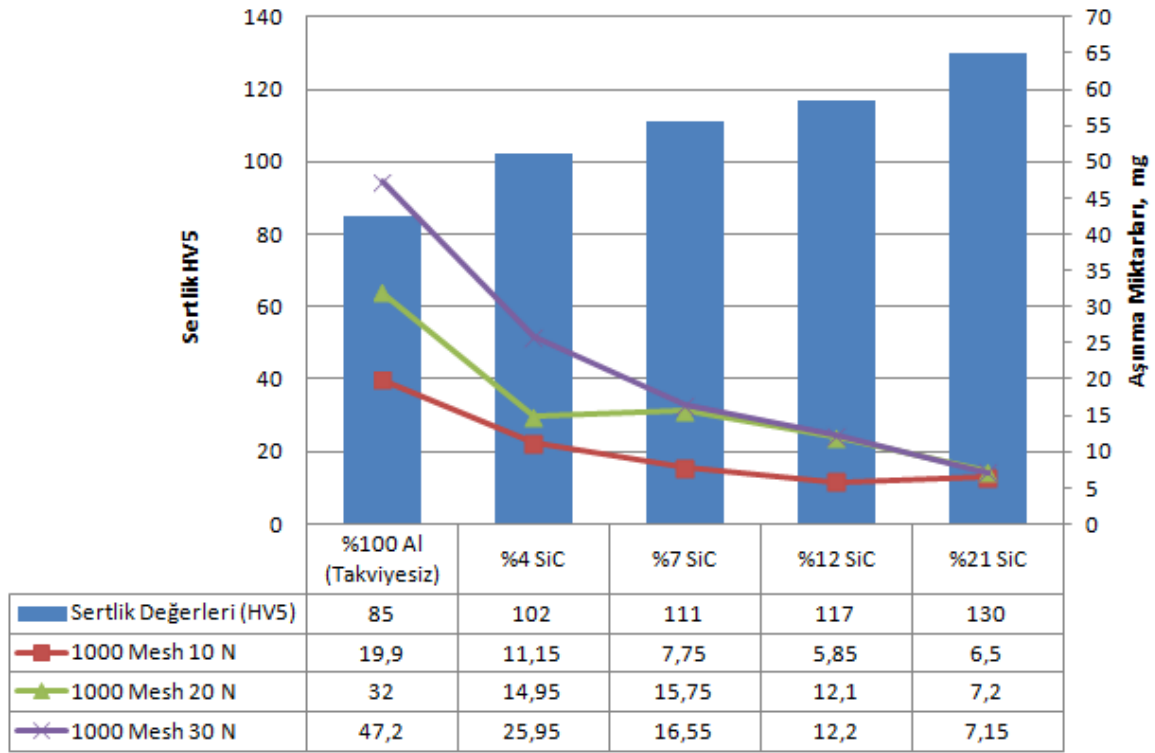
9.6. Aşınma Testi Sonuçları

Numunelerin mikroyapı ve sertlik özellikleri incelendikten sonra, numuneler disk üzerinde pim aşınma test cihazında abrasif aşınma testine tabi tutulmuştur. 800, 1000, 1200 meshlik zımparalar kullanılarak elde edilen sonuçlar grafiksel olarak Şekil 9.16., 9.17., ve 9.18.' de gösterilmiştir. Her bir grafikte uygulanan yükler ve meshler ayrı ayrı dikkate alınarak numunelerin takviye oranına bağlı olarak aşınma miktarları belirlenmiştir.

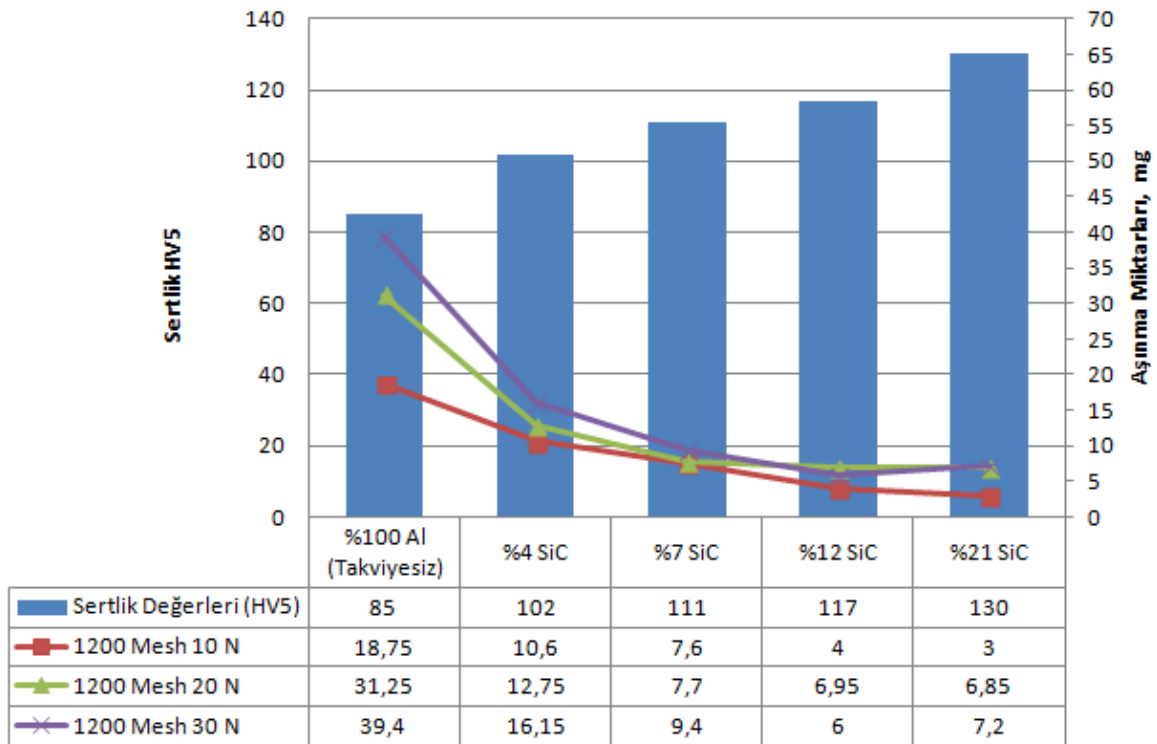
Sonuçlar incelendiğinde, genel olarak kompozit içindeki silisyum karbür (SiC) miktarındaki artışa bağlı olarak numunelerin aşınma miktarlarında azalma görülmüştür. Diğer parametrelere de bakıldığında, numunelere uygulanan yük arttıkça ve aşındırıcının parçacık boyutu büyüdükçe kompozit malzemenin aşınma miktarlarında artış görülmektedir.



Şekil 9.16. 800 mesh zımparada takviye oranlarına göre numunelerin aşınma miktarları



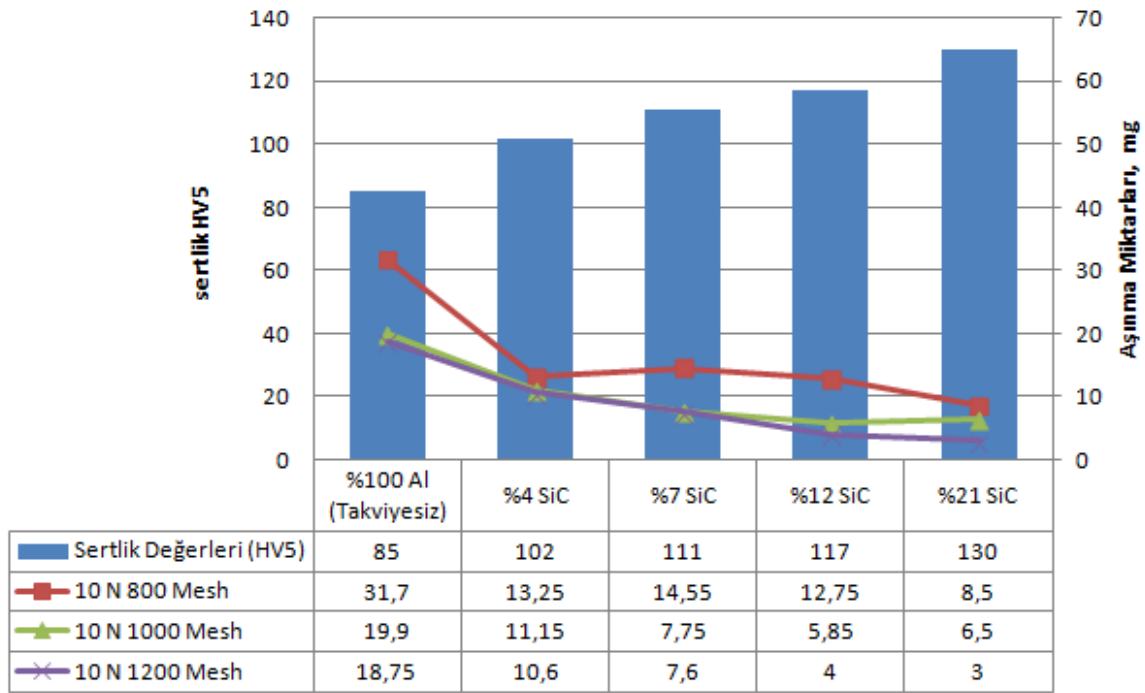
Şekil 9.17. 1000 mesh zımparada takviye oranlarına göre numunelerin aşınma miktarları



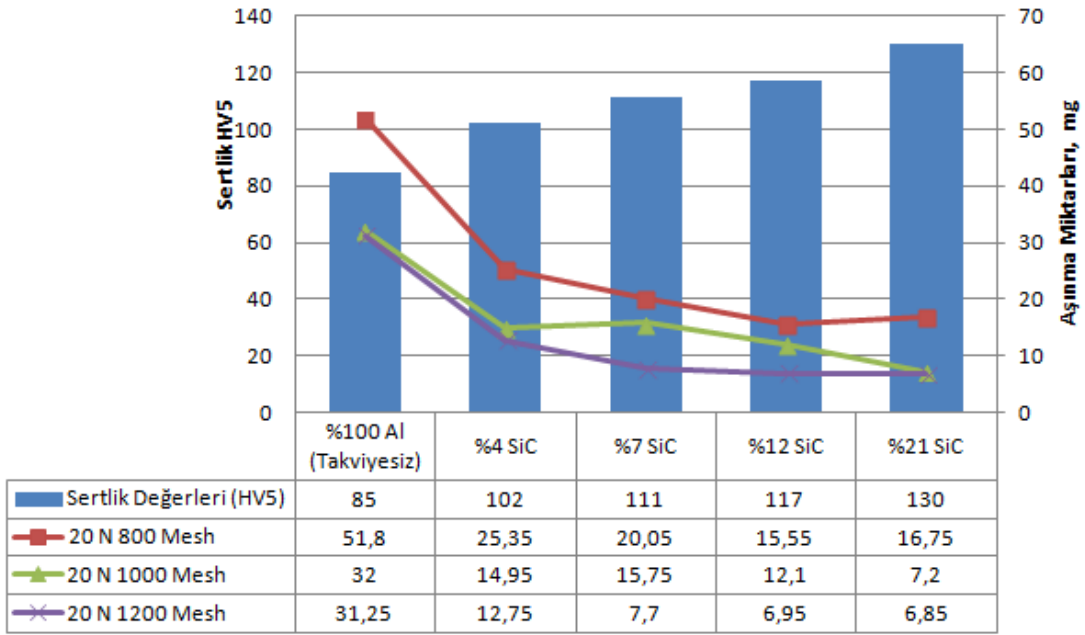
Şekil 9.18. 1200 mesh zımparada takviye oranlarına göre numunelerin aşınma miktarları

Aşındırıcının pürüzlülüğü azaldıkça (1200 mesh zımpara), uygulanan yükte artış olmasına rağmen aşınma miktarlarında çok fazla değişiklik olmamaktadır (Şekil 9.18). Bu durum belli bir yüzey pürüzlülüğünden sonra aşınma direncinin optimum seviyelere geldiğinin göstergesidir. Artan SiC takviyesiyle aşınma miktarları en az seviyelere inmesiyle beraber yüzey pürüzlülüğünün azalması, artan yükün aşınma direncine etkisini azaltmıştır. Bu tip aşınmalara maruz kalan numuneler için aşındırıcının yüzey pürüzlülüğünün en az seviyede tutulmasının çok önemli olduğu görülmektedir.

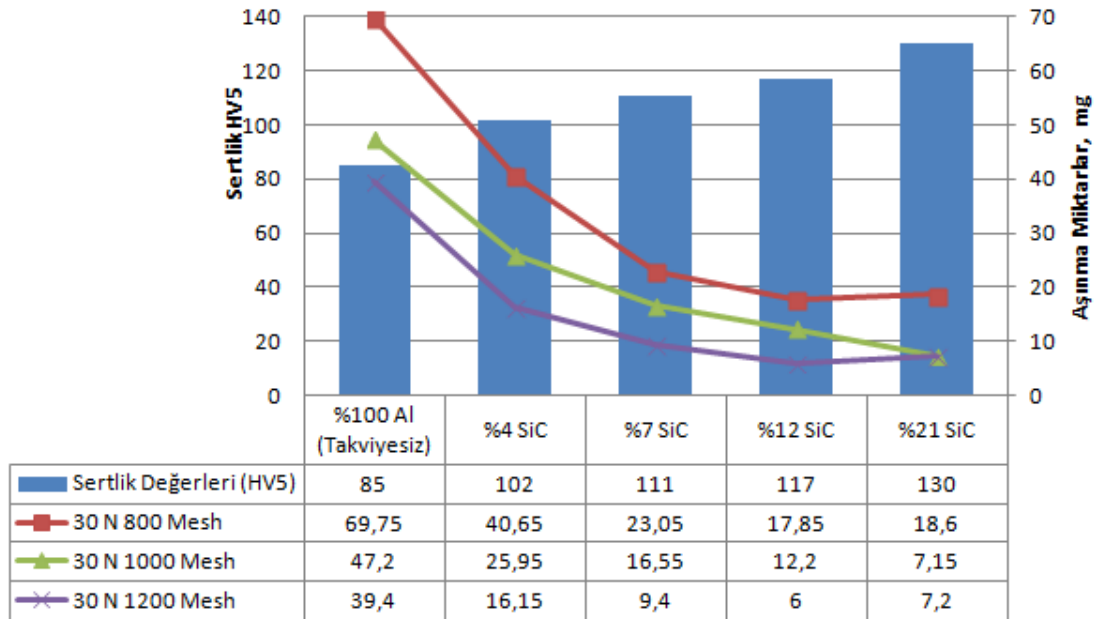
Aşındırılan numunelere uygulanan yükler sabit tutulup, aşındırıcının yüzey pürüzlülüğü dikkate alındığında yüzey pürüzlülüğü azaldıkça numunelerin aşınmaya karşı gösterdiği direnç artmaktadır (Şekil 9.19, Şekil 9.20 ve Şekil 9.21).



Şekil 9.19. 10 N' yük' de farklı meshlerdeki zımparalarda takviye oranlarına numunelerin aşınma miktarları



Şekil 9.20. 20 N' yük' de farklı meshlerdeki zımparalarda takviye oranlarına numunelerin aşınma miktarları



Şekil 9.21. 30 N' yük' de farklı meshlerdeki zımparalarda takviye oranlarına numunelerin aşınma miktarları

Genel anlamda kompozit malzeme içerisindeki seramik miktarının artmasıyla sertlik değerlerinin arttığı görülmektedir. Bu duruma göre aşınma direncinin de olumlu yönde gelişeceği düşünülmektedir. Bu durumun yanı sıra aşınma sertlik dışında birçok parametreye bağlıdır.

Aşınma direnci, malzeme yapısı içerisinde meydana gelen fazların şekline, dağılımına, takviye malzemesinin durumuna göre farklılık göstermektedir. Ayrıca aşınma işleminde, aşındırıcı yüzeyin özellikleri, temas eden malzemeye uygulanan yük ve ilerleme kuvveti etkili parametrelerdir.

Genellikle seramik takviyeli kompozit malzemeler, takviyesiz alüminyum alaşım matrisine göre artan takviye oranına göre artan sertliğin etkisiyle aşınma miktarını azaltmaktadır. Bu çalışmadaki kompozit malzemeler kendi aralarında incelendiğinde ise, alüminyum alaşım malzemeye kıyasla artan takviye miktarına bağlı olarak artan sertliğin de etkisiyle aşınma miktarı önemli ölçüde azalmıştır.

Takviye elemanların kısmen topaklanma eğiliminde olması ve numune yüzeyinde takviyenin çevrelendiği matris hacminin azalmasına bağlı olarak kolayca aşındırılabilmesi durumu ve bu sebeplerden dolayı takviye hacim oranının artmasına rağmen aşınma direncinin azalması gibi durumları yapılan deneysel çalışmalarda görülmemektedir.

Genel anlamda incelendiğinde, aşınma davranışlarında matris içerisindeki takviye hacim oranının (SiC) artmasıyla, çok büyük oranlarda iyileşme görülmüştür. Bu durum, fren diskleri gibi sürtünmeye maruz kalan malzemelerin hangi parametrelerde üretilmesi konusunda önemli veriler vermektedir.

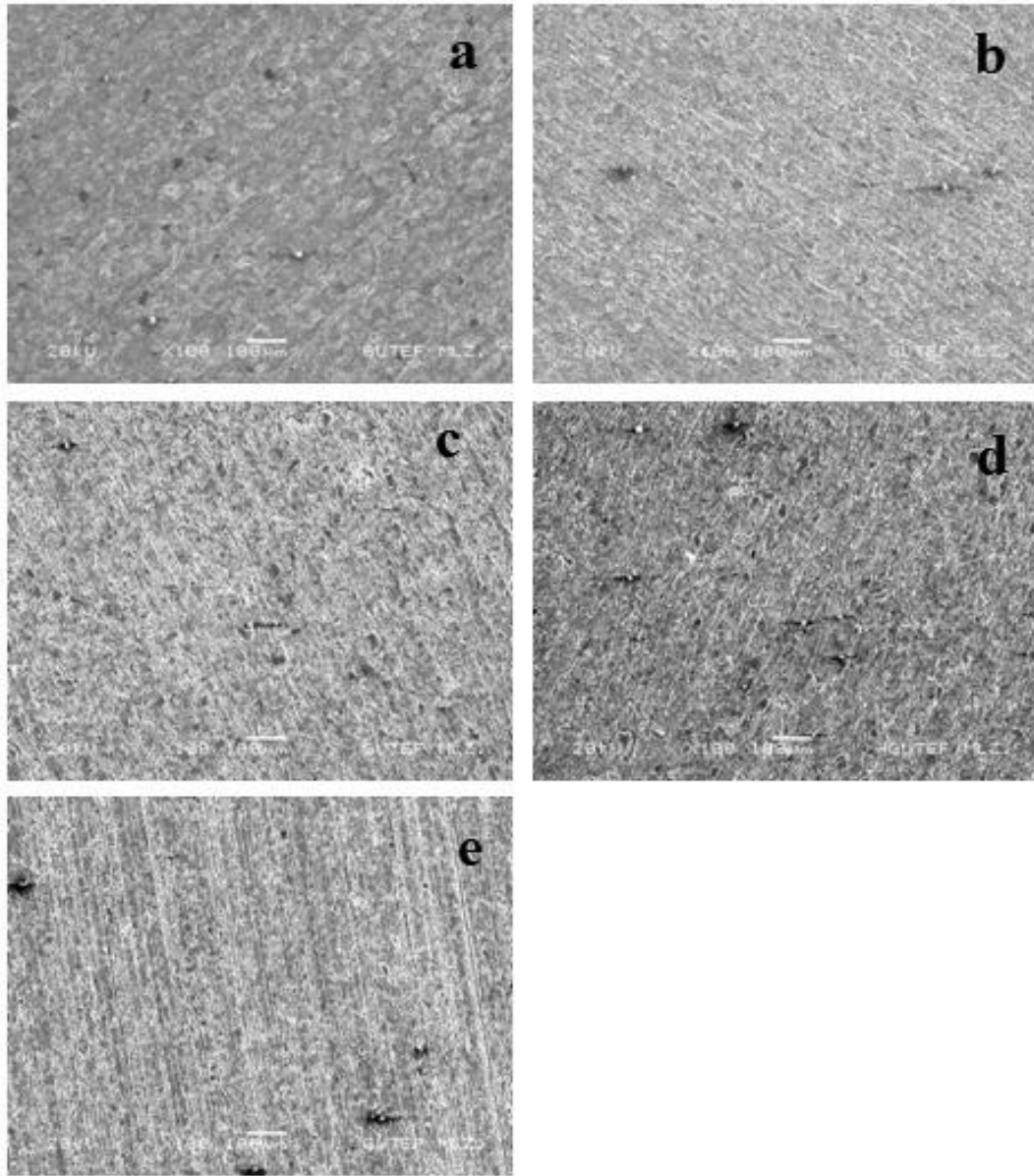
Yapılan aşınma deneyleri sonuçlarına bakıldığında, en iyi sonuçlar %12 SiC ve %21 SiC içeren kompozit malzemede görülmüştür. Buradan hareketle sürtünmeye maruz bir aşınma uygulamasında SiC oranını optimum bir değerde tutmak faydalı olacaktır.

Bu çalışmada T/M yöntemiyle üretilen numunelerin aşınma özelliklerinin alüminyum alaşımdaki takviye hacim oranının artmasıyla önemli ölçüde etkilendiği ortaya çıkmıştır.

9.7. Aşınma Testi Sonrası Numunelerin SEM’ de incelenmesi

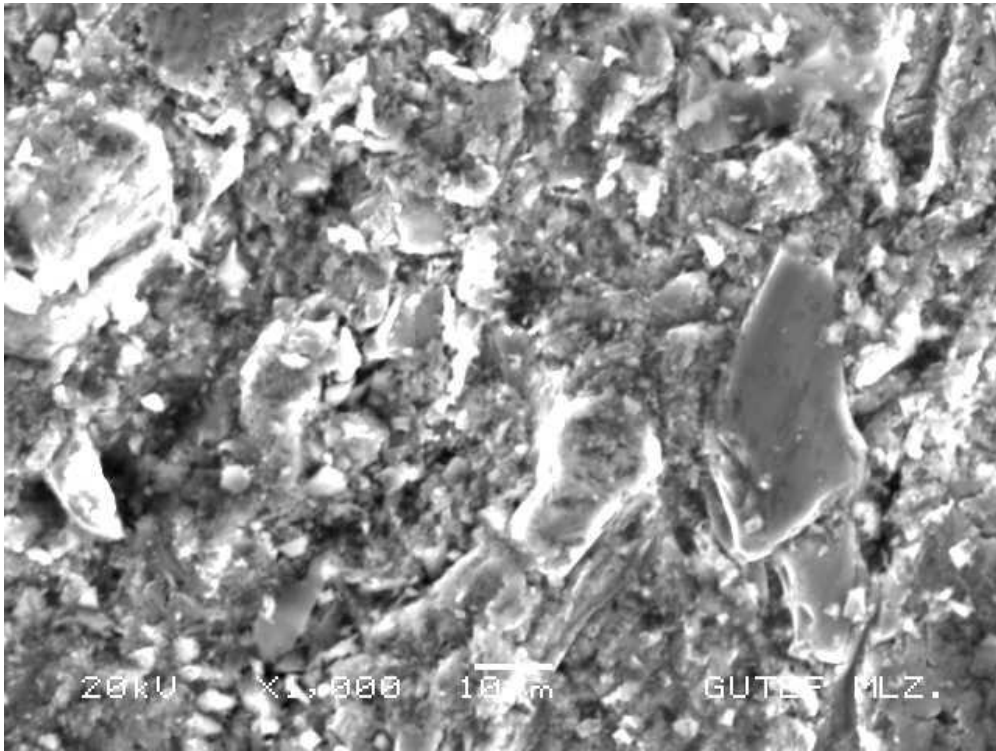
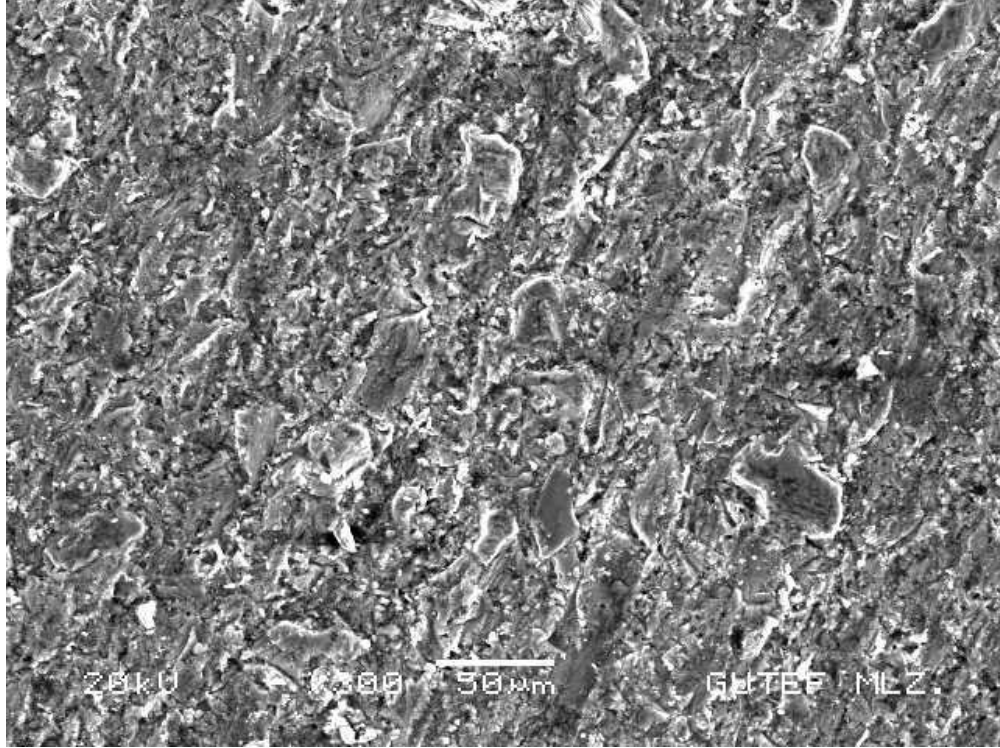
Aşınma sonrası davranışlarını incelemek için, numuneler SEM’ de görüntülenmiştir. Farklı takviye oranlarındaki numuneler (%4, %7, %12 ve %21), 800 Mesh, 1000 Mesh, 1200 Mesh zımpara ile 10 N, 20 N ve 30 N yük olarak belirlenen aşındırıcı parametrelerinin görüntüleri alınarak, aşındırıcının etkisi ve yükün etkisi kıyaslanmış, aşınma sonrası davranışları incelenmiştir.

Resim 9.8.'de görüldüğü gibi 800 mesh zımpara ve 10 N'luk yük uygulandığında, takviye oranlarına göre yüzeyde oluşan aşınma izlerinin küçüldüğü görülmektedir. Uygulanan yük düşük olduğundan yüzeyde oluşan çizikler daha yüzeyseldir. Artan SiC oranıyla birlikte yüzeyde aşınmaya karşı bir direncin arttığı gözlenmektedir. SiC sert bir yapı olduğundan yüzeyde kırılmalar neden olmuştur. %21 SiC içeren numuneye bakıldığında (Resim 9.8.d) artan SiC oranıyla birlikte yüzeyde kırılmaların meydana geldiği ve plastik deformasyon oluştuğu görülmektedir.

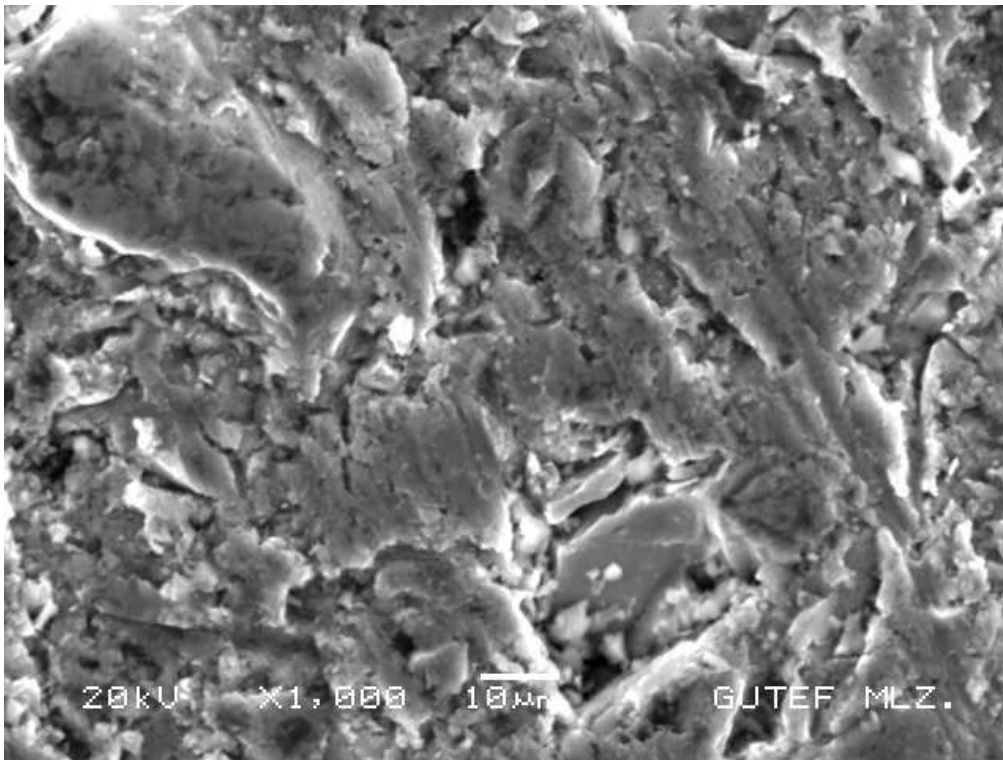
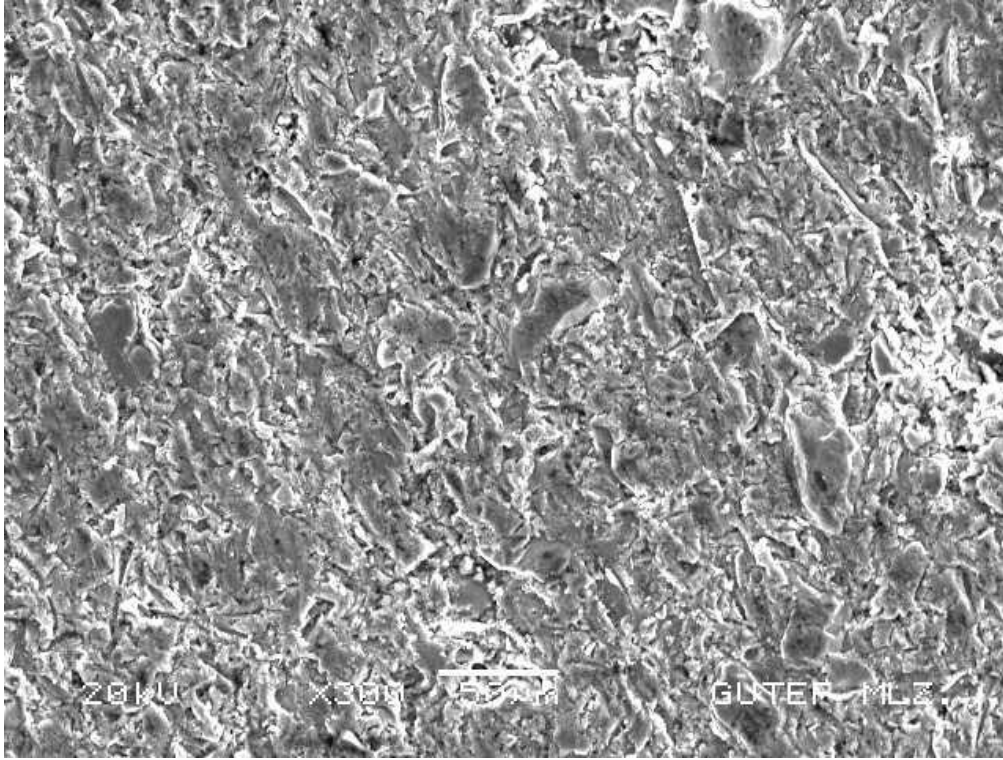


Resim 9.8. Deneysel şartlara bağlı olarak Al alaşım ve farklı oranlarda SiC ilave edilmiş kompozit malzemelerinin 800 Mesh zımpara ile 10 N yük altında aşındırılmış yüzeylerinin görüntüleri; a) %4 SiC b) %7 SiC c) %12 SiC d) %21 SiC e) Al Alaşım (Takviyesiz)

Artan SiC oranı ile birlikte yüzeyde oluşan kırılmalar ve kopmalar Resim 9.9 ve Resim 9.10’ de daha ayrıntılı şekilde gösterilmiştir.

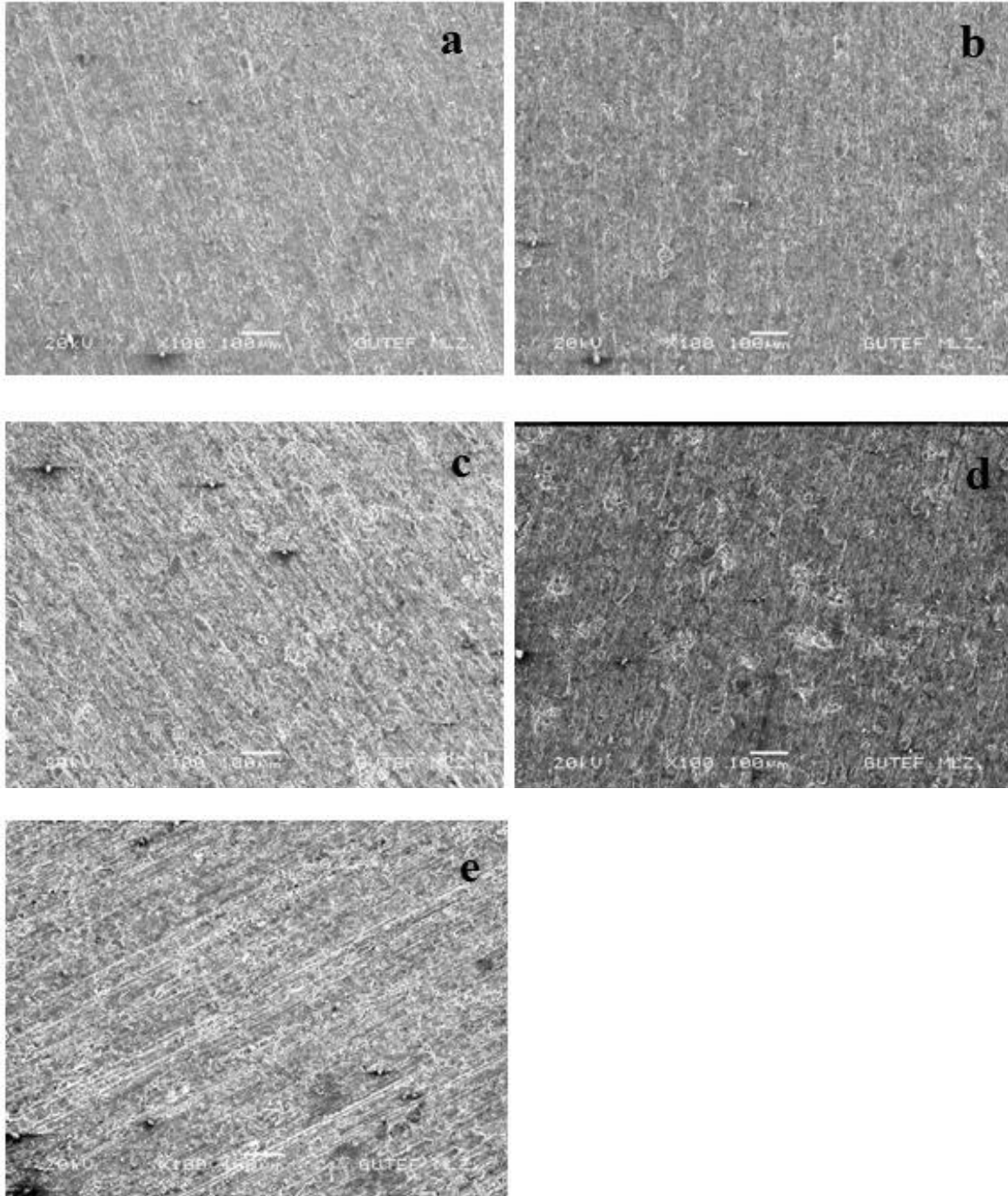


Resim 9.9. %21 SiC içeren numunenin 800 Mesh 10 N’da aşınma yüzey görüntüleri



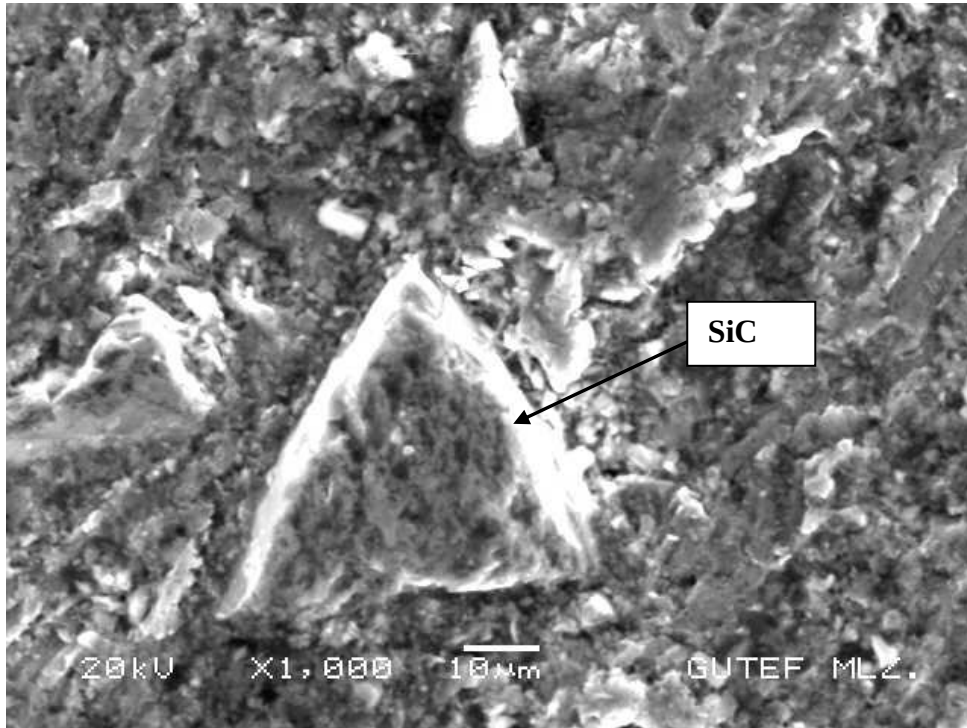
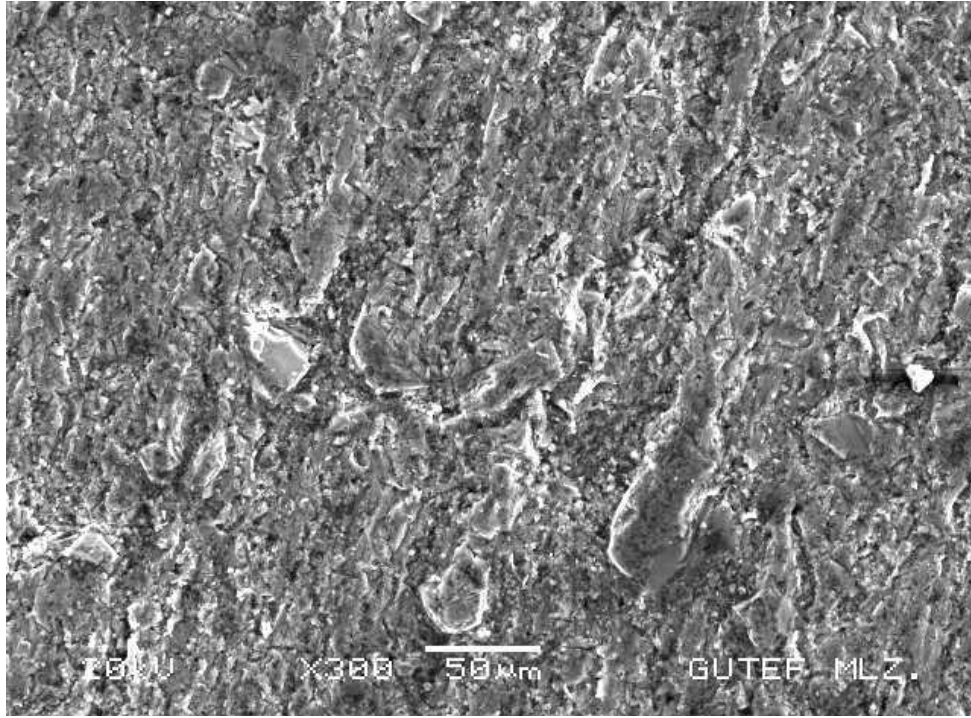
Resim 9.10. %12 SiC içeren numunenin 800 Mesh 10 N’da aşınma yüzey görüntüleri

Çekilmiş olan SEM görüntülerinden anlaşılaçağı gibi 800 mesh zımpara ve 30 N yük altında, yüzeylerde oluşaın aşınma izleri artan yükün etkisi ve artan takviye malzemesinin etkisiyle doğrusal olmaktan çıkıp kopan parçacıklar şeklinde aşınmaların oluştuğı görölmektedir (Resim 9.11).



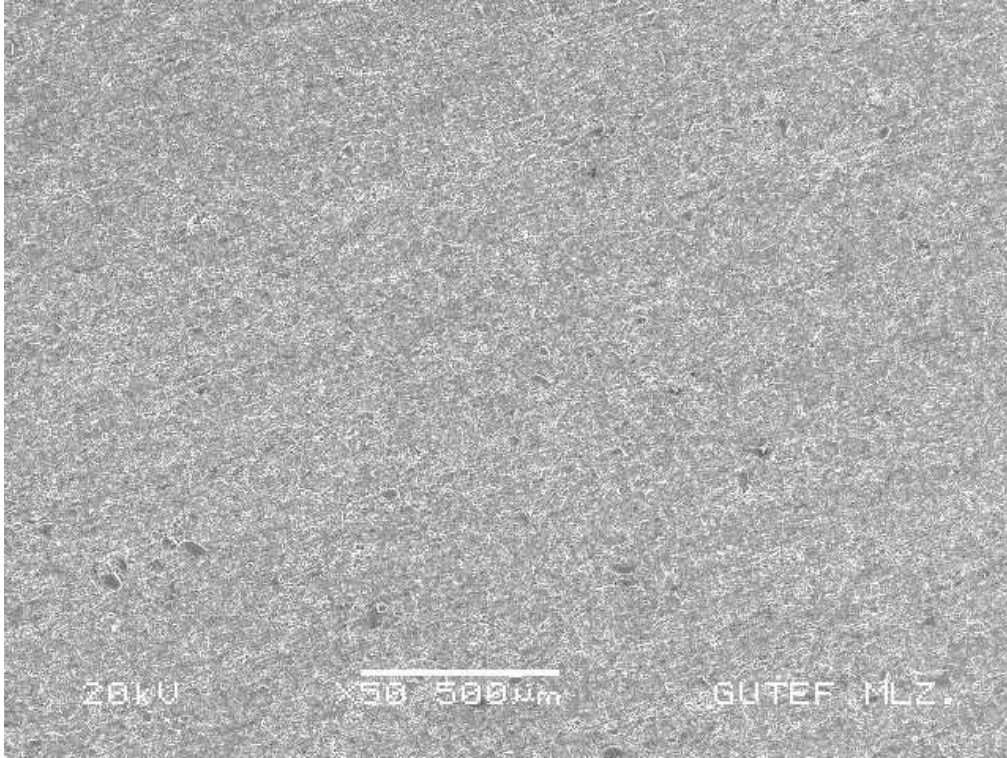
Resim 9.11. Deneysel şartlara bağı olarak Al alaşımları ve farklı oranlarda SiC ilave edilmiş kompozit malzemelerinin 800 Mesh zımpara ile 30 N yük altında aşındırılmış yüzeylerinin görüntüleri; a) %4 SiC b) %7 SiC c) %12 SiC d) %21 SiC e) Al Alaşım (Takviyesiz)

Artan yükün etkisi ve artan takviye hacim oranının etkisiyle yüzeyde meydana gelen kopmalar Resim 9.12’ de görülmüştür.

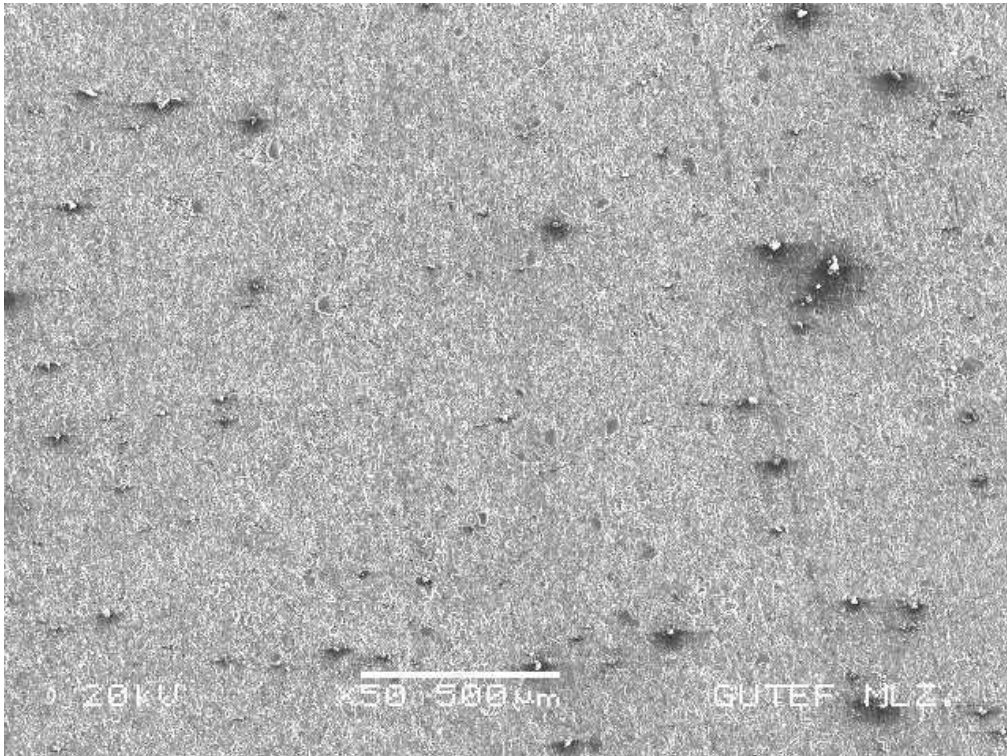


Resim 9.12. %21 SiC içeren numunenin 800 Mesh 30 N'da aşınma yüzey görüntüsü

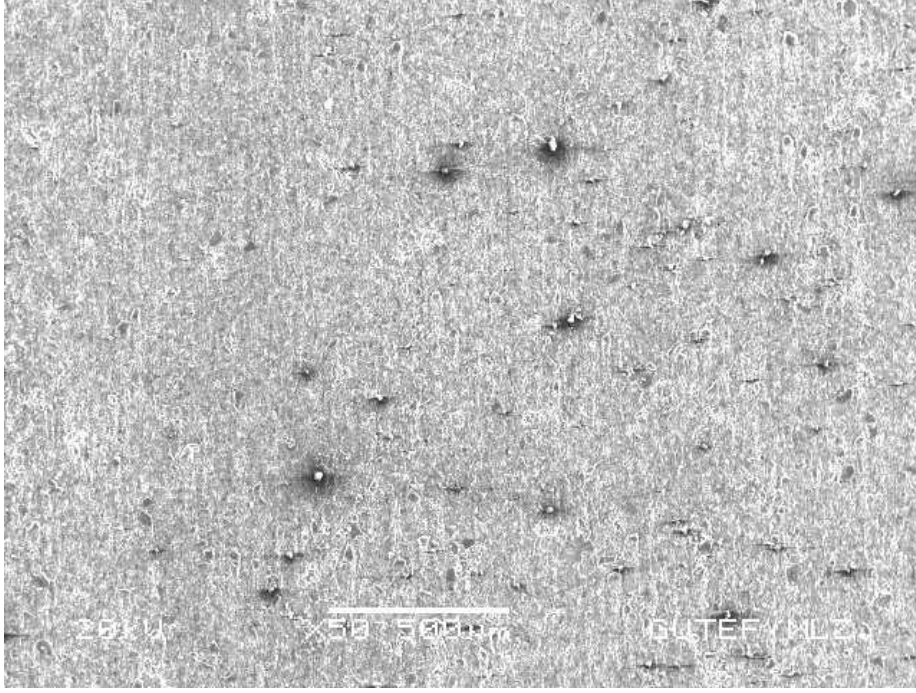
SEM görüntülerinden de görüldüğü gibi artan takviye hacim oranı ile birlikte aşınma direncinin arttığı görülmüştür (Resim 9.13, Resim 9.14, Resim 9.15. ve Resim 9.16). Benzer sonuçlar Çalın, R., Pul, M., Küçüktürk, G., Şeker, U.' nun çalışmalarında görülmüştür [70].



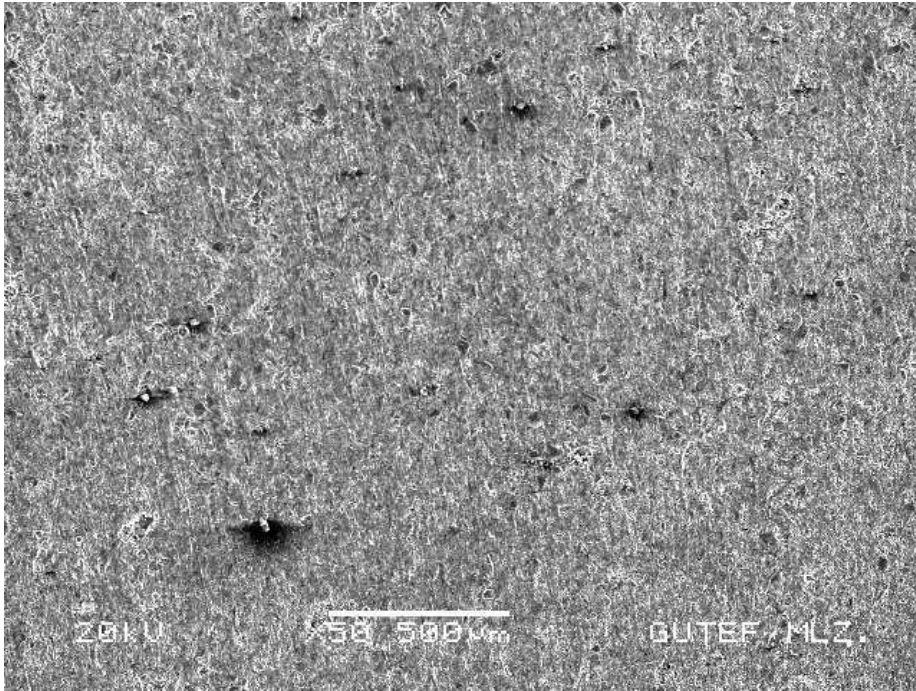
Resim 9.13. %4 SiC içeren numunenin 1000 Mesh 10 N'da aşınma yüzey görüntüsü



Resim 9.14. %7 SiC içeren numunenin 1000 Mesh 10 N'da aşınma yüzey görüntüsü



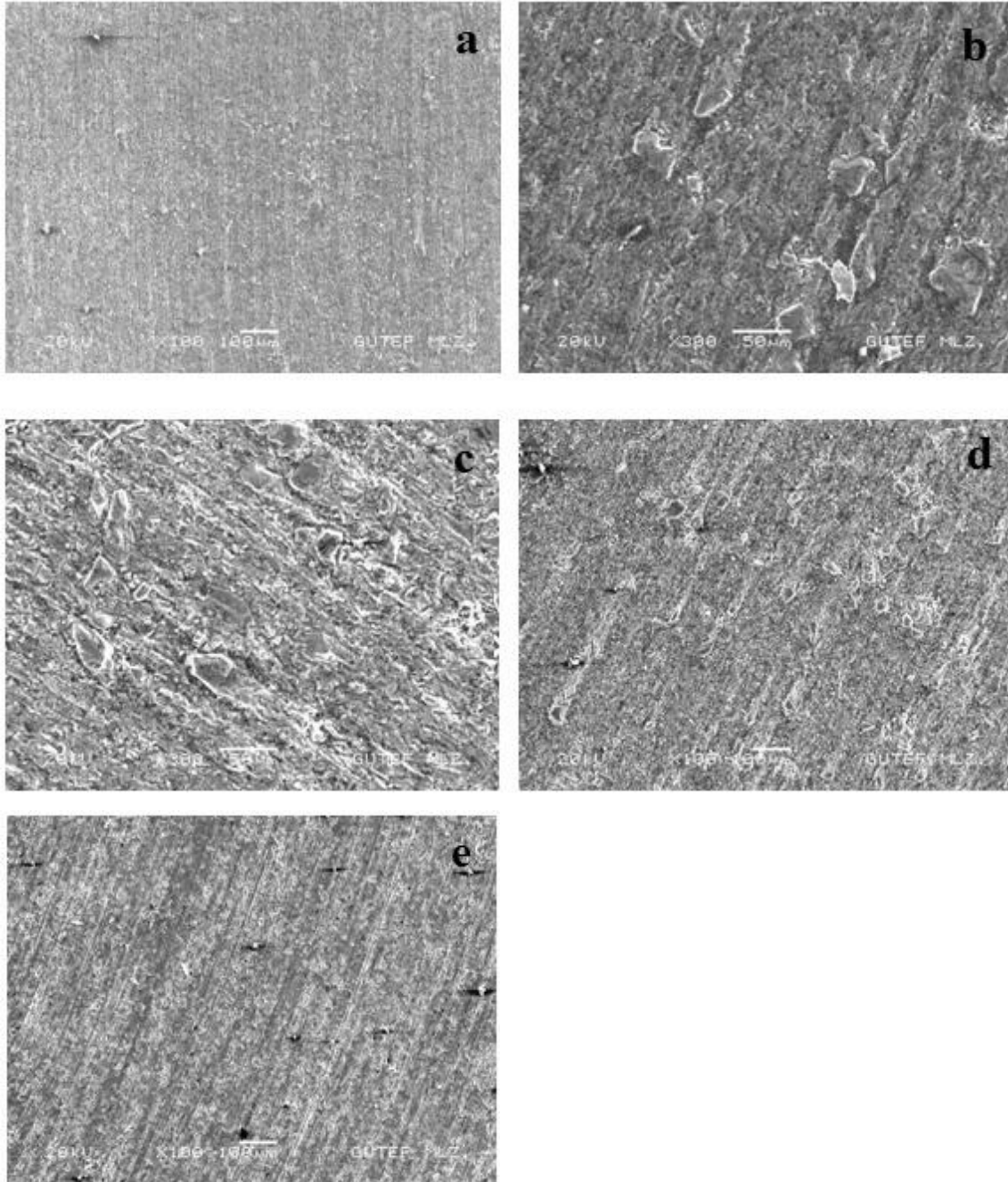
Resim 9.15. %12 SiC içeren numunenin 1000 Mesh 10N’da aşınma yüzey görüntüsü



Resim 9.16. %21 SiC içeren numunenin 1000 Mesh 10N’da aşınma yüzey görüntüsü

Aşındırıcının yüzey pürüzlülüğünün etkisini görmek maksadıyla, 30N yük ve 1200 mesh zımpara kullanılarak gerçekleştirilen testlere ait numunelerin SEM görüntüleri Resim 9.17’de gösterilerek, Resim 9.11’deki 30N yük 800 mesh zımparanın yüzey görüntüleriyle kıyaslanmıştır.

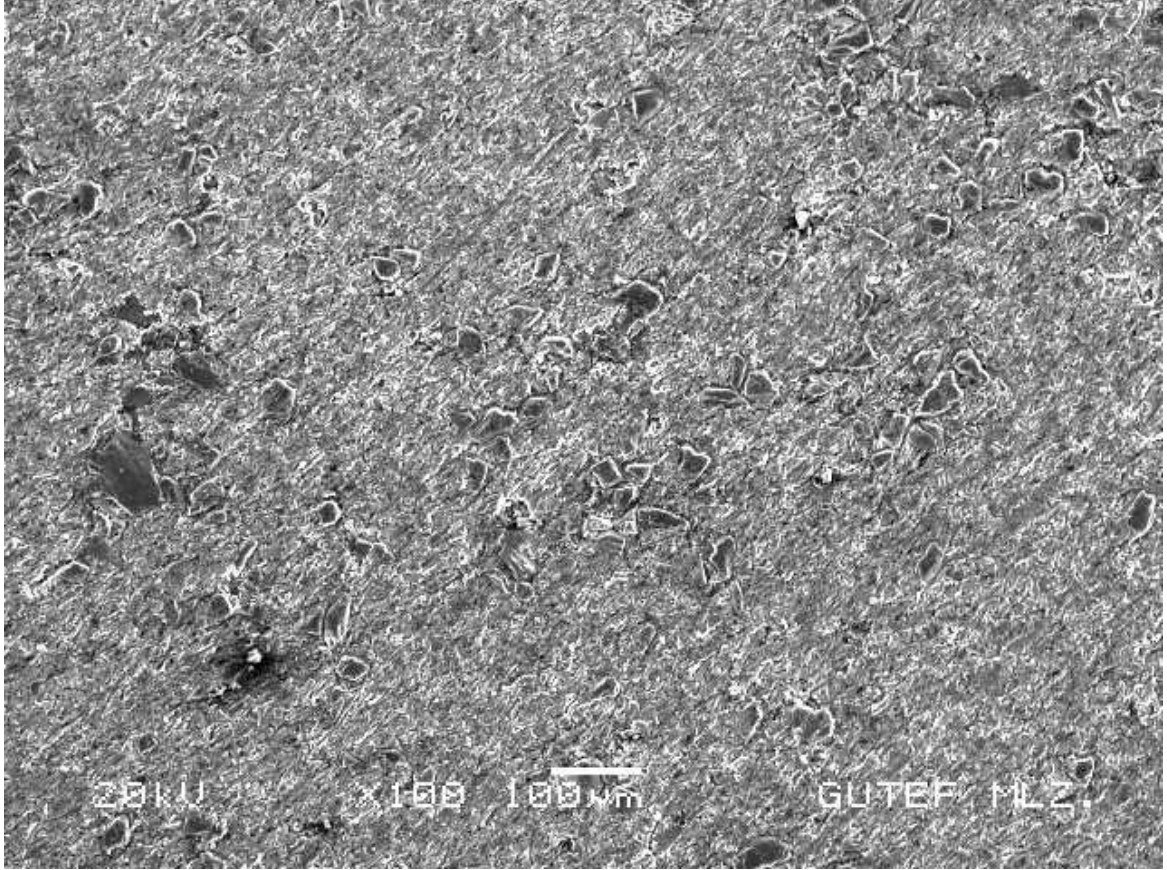
SEM görüntülerinden anlaşılağı gibi numunelere uygulanan yük fazla olmasına rağmen aşınma izleri doğrusal biçimdedir. Yani aşındıran yüzeyin pürüzlülüğü azalınca kuvvetin fazla olmasına rağmen yüzeyden kopmaların azaldığı görülmektedir. Bu tip aşınmalara maruz kalan numuneler için, aşındırıcının yüzey pürüzlülüklerinin mümkün olduğunca düşük tutulması gerektiği sonucuna ulaşılmaktadır.



Resim 9.17. Deneysel şartlara bağı olarak Al alaşım ve farklı oranlarda SiC ilave edilmiş kompozit malzemelerinin 1200 Mesh zımpara ile 30 N yük altında aşındırılmış yüzeylerinin görüntüleri; a) %4 SiC b) %7 SiC c) %12 SiC d) %21 SiC e) Al Alaşım (Takviyesiz)

Resim 9.18, Resim 9.19 ve Resim 9.20.' de %21 SiC içeren numunede 10, 20 ve 30 N' luk yüklerin aşınma yüzeyine etkisi görülmektedir. SEM ile yapılan incelemeler 20 ve 30 N 'luk yüklerde malzeme yüzeyinde sıvanma tabakalarının oluştuğunu göstermektedir. Başka bir deyişle aşınma parçacıkları 10 N 'un üstünde yüklerde basınç etkisiyle yüzeye yapışmakta ve bir sıvanma tabakası oluşturmaktadır. Bu nedenle artan yükle hacim kaybında bir azalma gözlenmiştir. Benzer sonuçları O.Bican, çalışmalarında da gözlenmiştir [71].

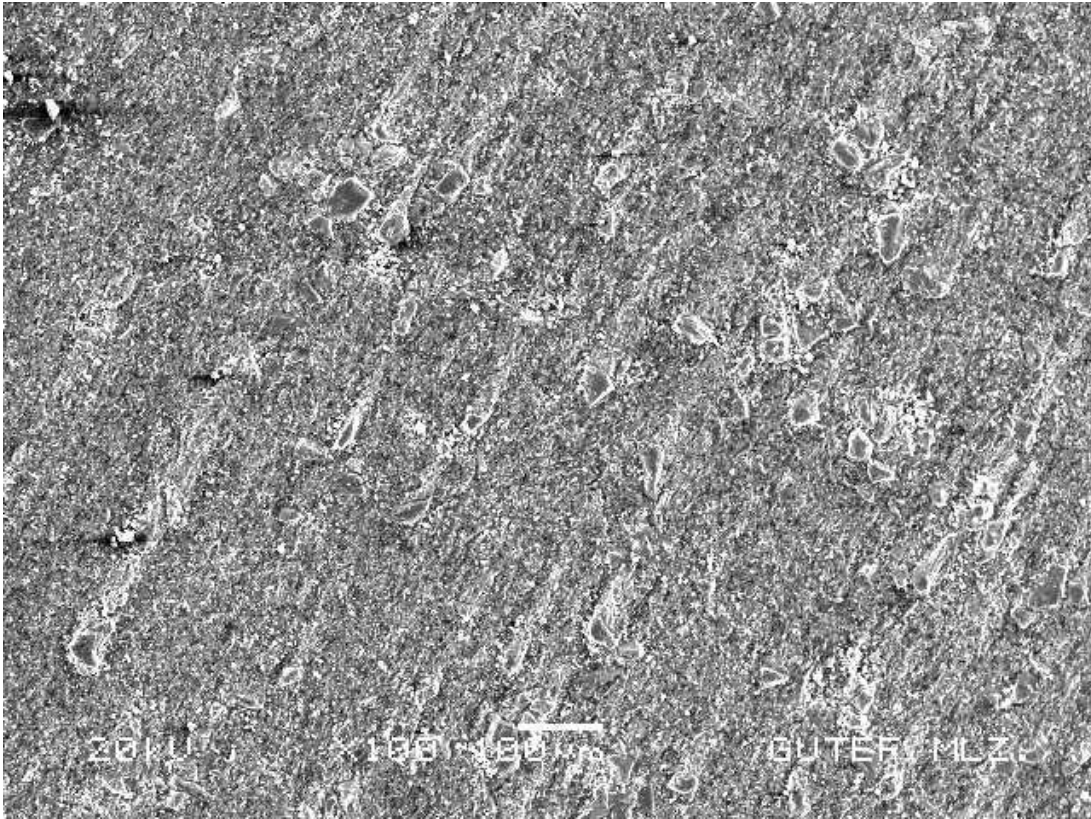
Buradan, seramik katkılı kompozit numuneler kullanıldığı zaman yüzey basıncının uygun bir değerde tutulabilmesi için numunelerin yüzey alanının dikkatlice hesaplanması gerektiği ortaya çıkmaktadır.



Resim 9.18. %21 SiC içeren numunenin 1200 Mesh 10N'da aşınma yüzey görüntüsü



Resim 9.19. %21 SiC içeren numunenin 1200 Mesh 20N’da aşınma yüzey görüntüsü



Resim 9.20. %21 SiC içeren numunenin 1200 Mesh 30N’da aşınma yüzey görüntüsü

Yapılan çalışmada aşındırıcı zımparanın mesh boyutu sabit tutularak yüklerin etkisinin, aşınma davranışına nasıl etki ettiğini, aynı şekilde kompozit malzemeye uygulanan yükleri sabit tutarak, aşındırıcı zımparanın mesh boyutunun malzemenin aşınma davranışına nasıl etki ettiğini SEM’ den alınan görüntülerle incelenmiştir.

10. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada farklı oranlarda SiC ile takviye edilmiş Al alaşımlı kompozit malzeme ile T/M yöntemi ile numuneler üretilmiştir. Elde edilen kompozit malzemenin aşınma davranışları incelenmiştir.

SiC tozlarının ve Al alaşım tozlarının vakumlama işlemine tabii tutulması, numunelerde oluşması muhtemel oksitlenmeyi önlemiştir.

Sinterleme sonrası ham yoğunluk değerlerinde, hacimce farklı oranlardaki SiC takviyeli kompozit malzemelerde sinterleme öncesi gerçek yoğunluk değerlerine göre ciddi bir artış söz konusudur. Bu durum sinterleme işleminin istenilen şekilde olduğunun bir göstergesidir.

En yüksek sertlik değeri beklenildiği gibi %21 SiC takviyeli kompozit malzemede görülmüştür. Takviye malzemesinin matris içindeki oranı arttıkça, kompozit malzemenin sertlik değeri de artmıştır.

Aşınma deneyi sonuçları sonuçlarına göre, aşınma miktarı uygulanan yüke ve aşındırıcı diskin yüzey pürüzlülüğüne paralel olarak artmaktadır. Genel olarak en fazla aşınma beklendiği gibi 800 mesh zımparada 30 N yük uygulandığında, en az aşınma ise 1200 mesh zımparada 10 N yük uygulandığında elde edilmiştir.

Kompozit malzeme kendi aralarında takviye oranlarına göre incelendiğinde, en iyi aşınma direnci %12 SiC ve %21 SiC takviyeli malzemede görülmüştür.

Numuneler SEM’de incelendiğinde aşındırıcının pürüzlülüğü ve yük arttırıldığında aşınmanın şiddetlendiği numune yüzeyinde çiziklerin arttığı ve yüksek yüklerde ise kopmalar şeklinde aşınma gerçekleştiği görülmektedir.

Bundan sonraki çalışmalarda farklı sürelerde mekanik alaşımlama yapılarak Al alaşım ve SiC toz taneciklerinin boyutlarındaki değişimin, numunelerin mekaniksel özelliklerine etkisi incelenebilir.

KAYNAKLAR

1. Anderson, T. (2000). The Advancement of Al within the Welding Fabrication Industry and Its Many Product Design Applications. *Svetsaren*, 2: 3-5.
2. Mathers, G. (2002). The Welding of Aluminium and Its Alloys. *Woodhead Publishing Limited*, Cambridge, UK.
3. Welding Handbook (2004). Welding Processes. *Ninth Edition*, AWS, USA 2(1).
4. Tulgar, E. (1987). Demirdışı Metaller Metalurjisi. *İstanbul Teknik Üniversitesi Yayını*, 352.
5. Arık, H., Türker, M., Sarıtaş, S. (2000). Investigation of the mechanical properties of in'situ Al_4C_3 reinforced aluminium based composites by mechanical alloying technique. *Powder Metallurgy World Congress and Exhibition*, Kyoto/ Tokyo 543-549.
6. Lu, Y.X., Meng, X.M., Lee, C.S. (1999). Advanced particulate materials and processes. *Journal of Materials Processing Technology*, 94: 175-179.
7. Bronsveld, P., Bruinsma, J.Th.De. (1991). Hosson., Mechanical Alloying. *Materials Science and Engineering*, A135: 77-81.
8. MUTLU, İ. (1991). *Alüminyum Matrisli Metal Kompozitlerin Üretilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.
9. Ekşi, A.K., Bircan, D.A. (2006). Mechanical Properties of Cold and Warm Compacted Aluminum Alloys (Al7XXX). *Proceedings of 11th International Materials Symposium*, Denizli,
10. Sonsino, C.M., Schlieper, G., Huppmann, W.J. (1984). Influence of Homogeneity on The Fatigue Properties of Sintered Steels. *Int. Journal Powder Metallurgy*, 20 (1): 45-50.
11. Orhan, A., Kaya G.A., Çalgül, U. (2007). Al Matrisli B_4C Takviyeli kompozitlerin Sıcak Presleme Yöntemiyle Üretimi. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 4: 8-13.
12. Acılar, M. (2002). *Al/SiC kompozitlerin vakum infiltrasyon yöntemi ile üretimi ve aşınma davranışlarının araştırılması*. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 44-62.
13. Ekinci, V.Ş. (2007). *Alümina Takviyeli Alüminyum Matrisli Kompozit Malzeme Üretimi ve Mekanik Özelliklerinin araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 4-5.
14. Straffelini, G., Pellizzari, M., Molinari, A. (2004). ‘Influence of load and temperature on the dry sliding behaviour of Al-based metal-matrix-composites against friction material, *Wear*, 256 754–763.

15. Shorowordi, K. M., Haseeb, A. S. M. A., Celis, J. P. (2004). Velocity effects on the wear, friction and tribochemistry of aluminum MMC sliding against phenolic brake pad. *Wear*, 256 1176–1181.
16. M. Rahimian, N Ehsani, N. Parvin, H. Baharvandi .(2012). Fabrication of Al/Al₂O₃ composites by in-situ powder metallurgy (IPM). *Powder Technology*, 229: 276–284.
17. I. Topcu, H.O. Gulsoy, N.Kadioglu, A.N.Gulluoglu.(2009). Processing and mechanical properties of B₄C reinforced Al matrix composites. *Journal of Alloys and Compounds*, 482: 516–521.
18. M.Boz, A.Kurt. (2007). The effect of Al₂O₃ on the friction performance of automotive brake friction materials International, *Tribology International*, 40: 1161–1169.
19. S. Pournaderi, S. Mahdavi , F. Akhlaghi .(2012). Fabrication of Al/Al₂O₃ composites by in-situ powder metallurgy (IPM). *Powder Technology*, 229: 276–284.
20. M.B. Karamıs, A.A.Cerit , B.Selcuk, F.Nair.(2012). The effects of different ceramics size and volume fraction on wear behavior of Al matrix composites (for automobile cam material. *Wear*, 289: 73–81.
21. Vatangül, E. (2008). *Kompozit Malzemelerin Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi ve Ansys 10 Programı ile Isıl Gerilme analizi*. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İzmir.
22. Hiçyılmaz, N.(1999). *Toz metalurjisi yöntemleri ile elde edilen seramik tanecik destekli alüminyum esaslı kompozit malzemelerin aşınma özellikleri*. Yüksek lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2-4: 134.
23. Çıtak, R. (1998). *Metalik baryum-alüminyum başlangıç tozlarının düşük sıcaklıkta oksidasyonu ile alüminyum matrisli kompozit üretimi*. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 4-26.
24. Sur, G. (2002). *Alüminyum esaslı kompozitlerin üretimi ve işlenebilirliğinin incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 3-42.
25. Zhou, W. And Xu, Z.M. (1997). Casting of SiC reinforced metal matrix composites. *Journal of Materials Processing Tecnology*, 63: 358-363.
26. Da Silva, R., Caldemaison, D., Bretheau, T. (1991). Interface strength effect on the Mechanical properties of compocast aluminium alloys / SiCp composites. *Mechanics and Mechanisms of Damage in Composites and Multi-Materials*, London, 395-406.
27. Akbulut, H., Durman, M. (1995). SiC partikül takviyeli Al-Si metal matrisli kompozitlerin santrifüj dökümü. 8. *Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi*, İstanbul, 687-692.

28. Bağcı, C. (2002). *Mekanik alaşımlama ile üretilen Al-Al₄C₃ kompozit malzeme presleme basıncı ve sinterleme sıcaklığının mekanik özellikler üzerine etkisinin araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 4-47.
29. Şahin, Y. (1999). Kompozit Malzemelere Giriş. *Gazi Kitabevi*, Ankara, 43-55.
30. Sümer, M. (2003). *Mekanik alaşımlama ile üretilen Fe-Fe₃C kompozit malzemede mekanik özelliklerin araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 13-21
31. Chung, W.S., Lin, S.J. (1996). *Ni-coated SiCp reinforced aluminium composites processed by vacuum infiltration*. *Materials Research Bulletin*, 1437-1447
32. Günay, V. (1993). *Si₃N₄ seramiklerin sinterlenmesi*. 7. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, Ankara, 717-722.
33. İnem, B., Gül, F. (1999). Döküm yoluyla SiC takviyeli kompozitlerin geliştirilmesi", Uluslar arası Katılımlı. 2. *Ulusal Toz Metalurjisi Konferansı*, ODTÜ, Ankara, 999-1005.
34. Kohara, S. (1981). Compatibility of SiC Fibers with aluminium. *Proc, Japan U.S. Conference*, , Tokyo, 224-231.
35. Kayalı, E.S., Ensari, C. (1985). Mukavemet Artırıcı İşlemler. *Metallere Plastik Şekil Verme İlke ve Uygulamaları*, İTÜ, 83-148.
36. Cöcen, Ü., Önel, K. (1996). Metal Matrisli Kompozitler: Özellikleri ve Uygulamaları, *Metalurji Dergisi*, 20 (104): 18-31.
37. Akgün, S., Sahin, S., Ukzut, M., Köksal, S. (2004). T/M Yöntemi ile Üretilmiş Al Esaslı SiC, Al₂O₃, SiC+Al₂O₃ Takviyeli Kompozitlerin Aşınma Davranışlarının İncelenmesi. *10.Malzeme Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 443-444
38. Bedir, F., Ögel, B. (2004). SiCp Katkılı Al Kompozitlerin Sertlik, Mikro yapı Özellikleri ve Aşınma Davranışlarının İncelenmesi. *11.Uluslararası Makine Tasarım ve İmalat Kongresi Bildiriler Kitabı*.
39. Hiçyılmaz, N., Aydın, Ş., Sarıtaş, S. (1999). Toz metalurjisi ile üretilmiş alüminyum esaslı tanecikli kompozitlerin mekanik özellikleri. *Uluslar arası Katılımlı 2.Ulusal Toz Metalurjisi Konferansı*, ODTÜ, Ankara, 621- 629.
40. Işiker, V., Ögel, B. (1996). Al-SiC kompozitlerinin üretiminde yatay bilyalı değirmen kullanımı ve parçacık dağılımına etkisi. *1. Ulusal Toz Metalurjisi Konferansı*, Gazi Üniversitesi, Ankara, 377-385.
41. Çöcen, Ü., Önel, K. and Özdemir, İ. (1997). Microstructures and age hardenability of Al-5%Si - 0-2%Mg based composites reinforced with particulate SiC. *Composites Science and Technology*, 139-147.

42. El-Gallab, M. and Sklad, M. (1998). Machining of Al/SiC particulate metal matrix composites, Part 1: Tool Performance. *Journal of Materials Processing Technology*, 83, 151-158.
43. Kurt, A. (1992). Toz metal bronz yatak malzemelerin özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 8-35.
44. Arık, H. (2004). Production and characterization of in situ Al_4C_3 reinforced aluminum-based composite produced by mechanical alloying technique. *Materials and Design*, Elsevier, Ankara, 25. 31-40.
45. Weimer A. W. (1997). Carbide, Nitride and Boride materials synthesis and processing. *Chapman & Hall*, 49-51.
46. Ergün N. (2006). *Borkarbür-Silisyumkarbür kompozitlerinin reaktif sıcak presleme ile üretilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 8-12.
47. Kurbanoglu, C., Durak E., Tunay R.F., Karaaslan R. (2001). Değişken Yüklü T/M Esaslı Kaymalı Yataklardaki Sürtünme Kuvvetinin Ölçülmesi. *TMMOB IV.Ulusal Ölçümbilim Kongresi*, Eskişehir, 33-46.
48. Büyükdavraz, M. (2000). *Sinter Bronz Yatakların Tribolojisi*. Y. Lisans Tezi, S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta,
49. Davitson, J.E. (1984). Compressibility of Metal Powders. Metals Handbook Ninth Edition. *Powder Metallurgy*, Ohio, 7: 286-287.
50. Karataş, Ç. (1997). Metal Tozu Üretim Teknikleri ve Tozların Özellikleri, Makine Tasarım Teorisi ve Modern İmalat Yöntemleri Konferansı. *G.Ü.T.E.F.* Ankara, 389-396.
51. Man, H.C., Kwork, C.T., Yue, T.M. (2000). Cavitation erosion and corrosion behaviour of laser surface alloyed MMC of SiC and Si_3N_4 on Al alloy AA6061. *Surface and Coatings Technology*, Hong-Kong, 132:11-20.
52. P.M. Bronsveld, P. Bruinsma, J.Th. De. (1991). Hosson., Mechanical Alloying. *Materials Science and Engineering*, A135, 77-81.
53. Cambronero, C.E.G., Sanchez, E., Ruiz-Romen, J.M., Ruiz-prieto, T.M. (2003). Mechanical characterization of AA7015 aluminium alloy reinforced with ceramics. *Journal of Materials Processing Technology*, Spain, 143-144:378-383.
54. German, R.M. (1994). Powder metallurgy science 2nd edition. *Metal Powder Industries Federation*, USA.
55. Klar, E. (1984). Atomization. American Society For Metals Metals Handbook Ninth Edition. *Powder Metallurgy*, 7: 25-35.

56. Mabuchi, M., Higashi, K. (2001). An experimental investigation of a superplastic constitute equation in Al-Mg-Si alloy composites reinforced with Si_3N_4 whiskers. *International Journal of Plasticity*, Japan, 17:399-407.
57. Günay, V. (1993). Si_3N_4 seramiklerin sinterlenmesi. 7. *Uluslar arası Metalurji ve Malzeme Kongresi*, Ankara, 717-718.
58. Randall M.German. (2007). *Powder Metallurgy and Particulate Materials Processing*, 5nd ed. (Çev. Sarıtaş, S., Türker, M., Durlu,N.). Ankara, 16-20.
59. Davidson, J.E. (1996). *Compressibility of Metal Powders*. Quebec Metal Powders Ltd., ,London, 286-287.
60. Chung, W.S., Lin, S.J. (1996). Ni-coated SiCp reinforced aluminium composites processed by vacuum infiltration. *Materials Research Bulletin*, 1437-1447.
61. İnem, B., Gül, F. (1999). Döküm yoluyla SiC takviyeli kompozitlerin geliştirilmesi. *Uluslar arası Katılımlı 2. Ulusal Toz Metalurjisi Konferansı*, ODTÜ, Ankara, 999-1005.
62. Yılmaz, M. (1996). *Alüminyum Alaşımlarının Aşınma Davranışları*. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
63. Turhan, S. (2002). *Alüminyumun Mekanik Özelliklerine ve Aşınma Davranışlarına Magnezyumun ve Silisyumun Etkisi*. Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 64.
64. Aytaç, A. (2007). *A356 Alüminyum Alaşımının Yarı Katı İşleme Üretimi Ve Aşınma Davranışlarının İncelenmesi*. Lisans Tezi, Z.K.Ü Üniversitesi Metal Eğitimi Bölümü Döküm Eğitimi Anabilim Dalı, Karabük, 95.
65. Sur, G. (2002). *Alüminyum Esaslı Kompozitlerin Üretim ve İşlenebilirliğinin İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 3-42.
66. Roberts, S. (2002). *Wear. Surface Engineering*, 1-23.
67. Çetin, M. (2005). *Östemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Aşınma Davranışlarının Geliştirilmesi*. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 103-106.
68. Kurtçu, A.(1995). *SiC Katkılı Alüminyum Matrisli Kompozitlerde Aşınma Davranışının İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
69. Özdin. K. (2006). *Alüminyum Esaslı SiC Takviyeli Kompozitlerin Üretimi ve Aşınma Özelliklerinin Araştırılması*. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 19-21.

70. Çalın, R., Pul, M., Küçüktürk, G ., Şeker, U. (2011). Effects of Reinforcement Volume Fraction on the Abrasive Wear Behaviour of AL-MgO Composites Produced by the Vacuum Intfiltration Method. *Journal Engineering Tribology (SCI)*, February, 2:84-90.
71. Bican, O. (2010). *Bakır ve Silisyum İçeren Al-25Zn Esaslı Alaşımların Dökülmüş ve Isıl İşlem Görmüş Durumdaki Yapısal, Mekanik ve Tribolojik Özelliklerinin İncelenmesi*. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
72. German, Randall M. (2007). Toz Metalurjisi ve Parçacıklı Malzeme İşlemleri, 05, Prof. Dr. Süleyman SARITAŞ, Prof.Dr. Mehmet TÜRKER, Doç.Dr. Nuri DURLU, *Türk Toz Metalurjisi Derneği Yayınları*, Ankara, 1-100.
73. Bostan, B. (2003). *Alüminyum-Karbon Tozlarının Mekanik Alaşımlama ve Sonrası İşlemlerle Al4C3 Sentezlenmesi*. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1-35.
74. German, R.M. (1994). Powder Metallurgy Science, 2nd edition, *Metal Powder Industries Federation*, U.S.A, 58-64.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : IŞIK, Erdinç
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 20.08.1986 Ankara
Medeni hali : Bekar
Telefon : 0532 666 86 56
e-mail : erdinc.isik@hotmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Gazi Üniversitesi Müh. Fak. Mak. Müh	2014
Lisans	Erciyes Üniversitesi Müh. Fak. Mak. Müh.	2009
Lise	Ankara Anadolu Lisesi	2004

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2010-2011	İndem Tesisat ve Ticaret A.Ş.	Makina Mühendisi
2011-	Ankara Büyükşehir Belediyesi	Makina Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce
Almanca