ALÜMİNYUM-ALÜMİNA KOMPOZİT MALZEME ÜRETİMİNDE KARIŞTIRMA TEKNİĞİNİN KOMPOZİTİN AŞINMA DAVRANIŞI ÜZERİNE ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Hanife KURT

YÜKSEK LİSANS TEZİ
METAL EĞİTİMİ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAYIS 2010
ANKARA

ALÜMİNYUM-ALÜMİNA KOMPOZİT MALZEME ÜRETİMİNDE KARIŞTIRMA TEKNİĞİNİN KOMPOZİTİN AŞINMA DAVRANIŞI ÜZERİNE ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Hanife KURT

YÜKSEK LİSANS TEZİ
METAL EĞİTİMİ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAYIS 2010
ANKARA

Hanife KURT tarafından hazırlanan Al-Al_2O_3 KOMPOZİT MALZEME ÜRETİMİNDE KARIŞTIRMA TEKNİĞİNİN KOMPOZİTİN AŞINMA DAVRANIŞI ÜZERİNE ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI adlı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Halil ARIK ..……
Tez Danışmanı, Metal Eğitimi A.D.

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

Prof. Dr. Ramazan ÇITAK ……..……
Metal Eğitimi A.D., Gazi Üniversitesi

Doç. Dr. Halil ARIK ……..
Metal Eğitimi A.D., Gazi Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Recep ÇALIN ……..…..……...
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Kırıkkale Üniversitesi

Tarih: 25/05/2010

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

Prof. Dr. Bilal TOKLU ….…….
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

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

Hanife KURT

ALÜMİNYUM-ALÜMİNA KOMPOZİT MALZEME ÜRETİMİNDE KARIŞTIRMA TEKNİĞİNİN KOMPOZİTİN AŞINMA DAVRANIŞI ÜZERİNE ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI
(Yüksek Lisans Tezi)

Hanife KURT

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Mayıs 2010

ÖZET

Bu çalışmada toz metalurjisi üretim yöntemi kullanılarak, ağırlıkça %10 oranında Alümina (Al_2O_3) içeren alüminyum matrisli kompozit malzeme üretilmiştir. Alüminyum ve Alümina tozlarının hazırlanmasında döner değirmen, turbola cihazı ve yüksek enerjili atritörde karıştırma olmak üzere üç farklı yöntem kullanılmıştır. Karıştırma yöntemlerinde, karıştırma süresi 4 saat olarak belirlenmiş ve bu süre sabit tutulmuştur. Karıştırılan tozlar 500 MPa basınç altında preslenerek, Ø 10x25 mm boyutlarında aşınma numuneleri üretilmiştir. Elde edilen numuneler tüp fırın içerisinde, 640 °C ve 660 °C sıcaklıkta, 2 saat süre ile argon atmosferi altında sinterlenmiştir. Üretilen numunelerin sinterleme öncesi yoğunlukları ile sinterleme sonrası yoğunlukları karşılaştırılmıştır. Sinterlenmiş numuneler 10 N, 20 N ve 30 N'luk üç farklı yük ve 100, 220 ve 400 mesh'lik üç tür aşındırıcı kullanılarak abrasiv aşınma testine tabi tutulmuştur. Elde edilen sonuçlar değerlendirilerek karıştırma tekniğinin kompozit malzemelerin aşınma özelliklerine etkisi belirlenmiştir.

Bilim Kodu : **710.1.092**
Anahtar Kelimeler : **Toz Metalurjisi, Kompozit Malzemeler, Aşınma Özellikleri**
Sayfa Adedi : **101**
Tez Yöneticisi : **Doç. Dr. Halil ARIK**

INVESTIGATION OF EFFECTS OF MIXINGS TECNIQUES ON THE WEAR PROPERTIES OF ALUMINUM-ALUMINA COMPOSITE MATERIALS

(M. Sc. Thesis)

Hanife KURT

GAZI UNIVERSITY

INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

May 2010

ABSTRACT

In this study, Al based composite materials contain 10 % Alumina (Al_2O_3) was produced by using powder metallurgy technique. To prepare mixture of Al and Al_2O_3 powders tree different methods were used as milling in turbola, ball mill and high energy atritör for 4 hours. Then mixed powders were compacted at constant pressing pressure (500 MPa) to produce block specimens with dimensions Ø10 x 25 mm. Compacted samples were then sintered at 640, and 660°C for 2 h under argon atmosphere in a tube furnace. Before and after sintering density of samples were calculated and compared. Abrasive wear test of sintered samples were made under three different load (10-20-30N) and three type emery (100-220-400 mesh). All of the results were evaluated. Then effects of mixing technique on the wear properties of composites were determined according to wear results.

Science Code : **710.1.092**
Key Words : **Powder Metallurgy, Composite Materials, Wear Properties**
Page Number : **101**
Adviser : **Assoc. Prof. Dr. Halil ARIK**

TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarım süresince bilgi ve tecrübesiyle beni yönlendiren tez danışman hocam Sayın Doç.Dr. Halil ARIK'a teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmalarımda yardımlarını esirgemeyen Yrd.Doç.Dr. Hasan HASIRCI'ya, Öğrt.Gör. Hanifi ÇİNİCİ'ye, Ersin BAHÇECİ'ye ve laboratuar çalışmalarımda yardımcı olan Arş.Gör. Volkan KILIÇLI'ya teşekkür ederim.

Ayrıca her zaman yanımda olan ve beni her konuda sabırla destekleyen aileme, çalışmalarımda beni yalnız bırakmayan çok değerli eşim Tuncay KURT'a teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET……... iv

ABSTRACT……..... v

TEŞEKKÜR……..... vi

İÇİNDEKİLER…….....vii

ÇİZELGELERİNLİSTESİ……...……....xi

ŞEKİLLERİN LİSTESİ……...……...…….....xii

RESİMLERİN LİSTESİ……...……..xiv

SİMGELER VE KISALTMALAR……...……...……..... xvi

1. GİRİŞ…… 1

2. KOMPOZİT MALZEMELER.…… 4

2.1. Matris Malzemesine Göre Kompozit Türleri……... 6

2.1.1. Polimer matrisli kompozitler……..…… 6

2.1.2. Seramik matrisli kompozitler……..... 6

2.1.3. Metal matrisli kompozitler……...…….. 7

2.2. Matris Malzeme ve Özellikleri……...……. 9

2.3. Matris Olarak Alüminyum……..……...……..12

2.3.1. Alüminyum ve özellikleri……..……...……12

2.3.2. Alüminyum tozlar……..……...……13

2.3.3. Alüminyum alaşımları……..……...…….…… 14

2.3.4. Alüminyum matrisli kompozit malzemeler……..15

2.4. Kompozitlerde Kullanılan Takviye Elemanları……...…… 16

2.4.1. Sürekli fiber takviyeli kompozitler……...19

Sayfa

2.4.2. Kısa fiber takviyeli kompozitler……... 20

2.4.3. Partikül takviyeli kompozitler……..…... 21

2.4.4. Dağılım mukavemetlendirilmiş kompozitler…….……...22

2.4.5. Tabakalı kompozitler…….……... 22

2.5. Takviye Olarak Alümina……...…….. 23

2.5.1. Alümina ve özellikleri……..... 23

2.5.2. Alüminanın kristal yapısı……..... 24

2.5.3. Alüminanın kullanım alanları…….....25

2.6. Kompozitlerin Uygulama Alanları…...……... 25

2.7. Üretim Yöntemleri …...…….....27

2.7.1. Sıvı faz üretim yöntemleri…….....28

2.7.2. Katı faz üretim yöntemleri…….....32

3. TOZ METALURJİSİ……. 33

3.1. Toz Hazırlama…...……..... 34

3.2. Metal Tozların Üretimi…...……..... 34

3.2.1. Mekanik yöntemler…….....35

3.2.2. Kimyasal Yöntemler…….....38

3.3. Tozlardan İstenen Özellikler…...…….....39

3.3.1. Metal tozların Karakterizasyonu…….…..... 39

3.3.2. Fiziksel özellikleri…….…….....40

3.4. Presleme Öncesi Yapılan İşlemler…...……..... 42

3.4.1. Tozun sınıflandırılması…….....42

3.4.2. Harmanlama ve karıştırma…….....42

Sayfa

3.4.3. Yağlayıcı katma……..42

3.5. Metal Tozlarını Presleme…..…….43

3.5.1. Sıkıştırma…….43

3.5.2. Sıkıştırma yöntemleri…. 44

3.6. Metal Tozların Sinterlenmesi…..……. 46

3.6.1. Sinterleme atmosferleri ve etkileri…. 48

3.7. TM Uygulamaları…..……. 48

4. KOMPOZİTLERDE AŞINMA…… 50

4.1. Aşınmayı Etkileyen Faktörler…..……..52

4.1.1. Ana malzemeye bağlı faktörler…. 53

4.1.2. Karşı malzemeye bağlı faktörler ve aşındırıcı etkisi…. 54

4.1.3. Ortamın etkisi…. 54

4.1.4. Servis koşulları…. 54

4.2. Aşınma Türleri…..……..…….55

4.2.1. Adhesif aşınma…. 55

4.2.2. Abrasiv aşınma….57

4.2.3. Oksitlenme aşınması….58

4.2.4. Yorulma aşınması….59

4.2.5. Difüzyon aşınması….60

4.2.6. Erozif aşınma….60

4.2.7. Tribo-oksidasyon aşınması….60

4.2.8. Kazıma aşınması….61

4.3. Aşınma Ölçme ve Değerlendirme Yöntemleri……. 62

Sayfa

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR……...64

5.1. Malzeme……..... 64

5.2. Karışım Tozların Hazırlanması.....64

5.3. Karışım Tozların Karakterizasyonu.....66

5.4. Tozların Preslenmesi..... 67

5.4.1. Blok numunelerin ham yoğunluklarının ölçülmesi…..... 69

5.5. Blok numunelerin Sinterlenmesi..... 70

5.6. Sinterleme Sonrası Numunelerin Mikroyapı Ve Sertlik Ölçümleri..... 71

5.7. Aşınma Testi.....71

5.8. Aşınmış Yüzeylerin Karakterizasyonu..... 72

6. SONUÇ VE TARTIŞMA ……..... 73

6.1. Karışım Tozların Karakterizasyonu.....73

6.2. Yoğunluk Ölçüm Sonuçları..... 74

6.3. Sertlik Ölçüm Sonuçları..... 79

6.4. Aşınma Testi Sonuçları.....79

6.4.1. 100 mesh zımpara ile yapılan test sonuçları…..... 80

6.4.2. 220 mesh zımpara ile yapılan test sonuçları…..... 81

6.4.3. 400 mesh zımpara ile yapılan test sonuçları…..... 83

6.5. Aşınmış Yüzeylerin SEM Çalışması..... 84

7. SONUÇ VE ÖNERİLER……...92

KAYNAKLAR……..... 94

ÖZGEÇMİŞ ……..... 101

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 2.1. Alüminyumun fiziksel özellikleri……... 13

Çizelge 2.2. Kompozitlerde kullanılan bazı takviye elemanlarının özellikleri...…... 17

Çizelge 2.3. Yüksek saflıktaki alüminanın özellikleri...……..... 24

Çizelge 5.1. Karışım tozların hazırlanma koşulları...……..... 64

Çizelge 5.2. Karıştırma işlemleri sonrası toz boyutları...……..…..... 67

Çizelge 6.1. Blok numunelerin yoğunluk değişimi...……..... 75

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 2.1. Kompozitlerde üç bölgenin şematik gösterimi ……. 11

Şekil 2.2. Katı altlık üzerinde duran bir sıvı damlasının katı yüzeyi ile yaptığı temas açısı..... 11

Şekil 2.3. Takviye çeşidine göre bazı kompozit türleri...…….……..... 18

Şekil 2.4. Sürekli fiber takviyeli kompozitin şematik yapısı...…….…..... 19

Şekil 2.5. Kısa elyaf takviyeli kompozitin şematik yapısı...…….…..... 20

Şekil 2.6. Parçacık takviyeli kompozitin şematik yapısı....……...……..... 21

Şekil 2.7.Dağılım mukavemetlendirilmiş kompozit....……..... 22

Şekil 3.1. MA sırasında bilye-toz-bilye çarpışması...……..... 37

Sekil 3.2. MA atritöründe şaft üzerindeki kolların dönme hareketinin şematik görünüşü..... 38

Şekil 3.3. Değişik toz şekillerinin boyut parametreleri....……..... 40

Şekil 3.4. Tek yönlü sıkıştırma kalıbı....……...……..... 44

Şekil 3.5. Çift yönlü sıkıştırma kalıbı....……...……..... 45

Şekil 3.6. Sinterleme aşamaları....……...……..... 46

Şekil 3.7. Sinterleme esnasında preslenmiş parçanın bünyesinde zamanla meydana gelen değişiklikler..... 47

Şekil 3.8. Sinterleme sırasında oluşan malzeme transfer mekanizmaları....……... 47

Şekil 4.1. Metallerin işlenmesinde karşılaşılan temel aşınma mekanizmaları.....… 52

Şekil 4.2. Adhesif aşınmanın meydana gelişinin şematik olarak gösterimi...…...… 56

Şekil 4.3. İki elemanlı abrasiv aşınma....……...… 57

Şekil 4.4. Üç elemanlı abrasiv aşınma....……...……...… 58

Şekil 4.5. Yorulma aşınmasının şematik gösterimi....……...……...… 59

Şekil **Sayfa**

Şekil 4.6. Tribo-oksidasyon aşınmasının meydana gelişi.....61

Şekil 5.1. Döner değirmen.....65

Şekil 5.2. Döner değirmende karıştırma.....65

Sekil 5.3. Mekanik alaşımlama atritörü.....66

Şekil 5.4. Preslemede kullanılan kalıp.....68

Şekil 5.5. Blok numunelerin presleme aşamaları.....68

Şekil 5.6. Sinterlemede kullanılan fırının şematik görünüşü.....70

Şekil 5.7. Aşınma cihazının şematik gösterimi.....72

Şekil 6.1. Yoğunluk değişimini gösteren grafik.....75

Şekil 6.2. Karıştırma tekniğinin sertlik üzerine etkisi.....79

Şekil 6.3. 640 ºC'de sinterlenen numunelerin 100 mesh'lik zımpara ile değişik yüklerle yapılan aşınma testi grafiği.....80

Şekil 6.4. 660 ºC'de sinterlenen numunelerin 100 mesh'lik zımpara ile değişik yüklerle yapılan aşınma testi grafiği.....81

Şekil 6.5. 640 ºC'de sinterlenen numunelerin 220 mesh'lik zımpara ile değişik yüklerle yapılan aşınma testi grafiği.....82

Şekil 6.6. 660 ºC'de sinterlenen numunelerin 220 mesh'lik zımpara ile değişik yüklerle yapılan aşınma testi grafiği.....82

Şekil 6.7. 640 ºC'de sinterlenen numunelerin 400 mesh'lik zımpara ile değişik yüklerle yapılan aşınma testi grafiği.....83

Şekil 6.8. 660 ºC'de sinterlenen numunelerin 400 mesh'lik zımpara ile değişik yüklerle yapılan aşınma testi grafiği.....83

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim **Sayfa**

Resim 3.1. Mekanik alaşımlama atritörü..... 37

Resim 6.1. Başlangıç tozu Al ve Al_2O_3'nın değişik büyütmelerdeki optik mikroskop görüntüleri..... 73

Resim 6.2. Karıştırma işlemi sonucu elde edilen toz numunelerin optik mikroskop görüntüleri..... 74

Resim 6.3. Turbola cihazı ile karıştırılarak hazırlanan blok numunelerin optik mikroskop görüntüleri..... 76

Resim 6.4. Mekanik alaşımlama ile hazırlanan blok numunelerin mikroskop görüntüleri..... 77

Resim 6.5. Değirmende karıştırma ile hazırlanan blok numunelerin optik mikroskop görüntüleri..... 78

Resim 6.6. Alüminyum numunenin 220 mesh zımpara ile 10 N yük altında aşındırılması sonucu oluşan yüzeyin SEM görüntüsü..... 85

Resim 6.7. 660 ºC'de sinterlenen değirmende karıştırma numunesinin 220 mesh zımpara ile 10 N yük altında aşındırılması sonucu oluşan yüzeyin SEM görüntüsü..... 85

Resim 6.8. 660 ºC'de sinterlenen mekanik alaşımlama numunesinin 220 mesh zımpara ile 10 N yük altında aşındırılması sonucu oluşan yüzeyin SEM görüntüsü..... 86

Resim 6.9. 660 ºC'de sinterlenen turbola cihazında karıştırma numunesinin 220 mesh zımpara ile 10 N yük altında aşındırılması sonucu oluşan yüzeyin SEM görüntüsü……..... 86

Resim 6.10. Alüminyum numunenin 220 mesh zımpara ile 20 N yük altında aşındırılması sonucu oluşan yüzeyin SEM görüntüsü..... 87

Resim 6.11. 660 ºC'de sinterlenen değirmende karıştırma numunesinin 220 mesh zımpara ile 20 N yük altında aşındırılması sonucu oluşan yüzeyin SEM görüntüsü……..... 88

Resim 6.12. 660 ºC'de sinterlenen mekanik alaşımlama numunesinin 220 mesh zımpara ile 20 N yük altında aşındırılması sonucu oluşan yüzeyin SEM görüntüsü……..... 88

Resim **Sayfa**

Resim 6.13. 660 ºC'de sinterlenen turbola cihazında karıştırma numunesinin 220 mesh zımpara ile 20 N yük altında aşındırılması sonucu oluşan yüzeyin SEM görüntüsü ……..... 89

Resim 6.14. Alüminyum numunenin 220 mesh zımpara ile 30 N yük altında aşındırılması sonucu oluşan yüzeyin SEM görüntüsü..... 90

Resim 6.15. 660 ºC'de sinterlenen değirmende karıştırma numunesinin 220 mesh zımpara ile 30 N yük altında aşındırılması sonucu oluşan yüzeyin SEM görüntüsü ……..... 90

Resim 6.16. 660 ºC'de sinterlenen mekanik alaşımlama numunesinin 220 mesh zımpara ile 30 N yük altında aşındırılması sonucu oluşan yüzeyin SEM görüntüsü ……..... 91

Resim 6.17. 660 ºC'de sinterlenen turbola cihazında karıştırma numunesinin 220 mesh zımpara ile 30 N yük altında aşındırılması sonucu oluşan yüzeyin SEM görüntüsü ……..... 91

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	**Açıklama**
Al	Alüminyum
Al_2O_3	Alüminyum oksit (Alümina)
Si_3N_4	Silisyum nitrür
SİC	Silisyum karbür
Cu	Bakır
Mg	Magnezyum
WC	Volfram karbür
TiC	Titanyum karbür

Kısaltmalar	**Açıklama**
DK	Değirmende karıştırma
HY	Ham yoğunluk
MA	Mekanik alaşımlama
MMK	Metal matrisli kompozit
PMK	Polimer matrisli kompozit
SMK	Seramik matris kompozit
TK	Turbola cihazında karıştırma
TM	Toz metalurjisi

1. GİRİŞ

Günümüzde geleneksel malzemeler kullanılarak teknolojinin tüm gereksinimlerini karşılamak oldukça zordur. Malzeme bilimcileri tarafından yapılan bilimsel araştırmalar malzemelerin performans ve özelliklerini geliştirmeye yönelik olarak sürekli devam etmektedir. Mekanik, kimyasal ve fiziksel özelliklerdeki önemli gelişmeler; geleneksel termal, mekanik ve termo mekanik işlem metotları ve kimyasal modifikasyonlarla elde edilmektedir. Bununla beraber geleneksel metotlarla üretilen malzemelerden daha güçlü, daha tok ve daha hafif özelliklere sahip malzemelerin gereksinimi, ileri malzemelerin dizaynına ve geliştirilmesine yol açmıştır [1,2].

Endüstriyel malzemelerde aranan özelliklerden bazıları; dayanım, hafiflik ve düşük maliyettir. Malzemelere çeşitli ısıl işlemler yapılarak malzemelerin bazı dayanım değerleri arttırılabilmektedir. Fakat aşınma dayanımı, darbe dayanımı, kırılma tokluğu, hafiflik gibi özelliklerin hepsi aynı anda yapılan ısıl işlemlerle sağlanamamaktadır. Bu amaçla iki veya daha fazla malzemenin istenen özelliklerinin tek malzemede toplanması ile yeni bir malzeme oluşturulmakta ve yeni malzemeye de kompozit malzeme adı verilmektedir [1].

Geleneksel metaller ve alaşımları ile seramik malzemeler, sadece doğal özellikleri sayesinde gelişmiş sistemlerin gereksinimlerini karşılamakta zorlanmaktadır. Ticari malzemelerde bir arada bulunmayan üstün özellikler kompozit malzemelerle sağlanabilmektedir [3,4].

Kompozit malzemeler en az iki malzemenin kombinasyonudur ve bu malzemelerden biri takviye elemanı diğeri ise ana (matris) yapı olarak adlandırılır. Kompozitte takviye elemanı fiber, elyaf ya da parçacık olarak ana malzemenin içine yerleştirilmektedir. Takviye elemanı ve ana yapı kompozit malzemenin türüne göre metal, seramik veya polimer olabilir. Matris malzeme genellikle tok, sünek ve yumuşak, takviye malzemeleri ise hafif, dayanımı yüksek, yüksek elastiklik ve ergime sıcaklığına sahip olmalıdır. Takviyenin tipi, şekli ve miktarı değiştirilebilir,

matris karakteristiği sayesinde metal matrisli kompozitler çok büyük çeşitliliğe sahiptir.

Matris malzemesinin seçiminde başlıca kriterler; sıcaklık, dayanım, yoğunluk ve maliyettir. Örnek olarak Ti çok yüksek mukavemet ve normal sıcaklık gerektiren uygulamalarda kullanılabilir. Bununla beraber Al düşük yoğunluk ve düşük maliyetinden dolayı Ti yerine kullanılabilmesine rağmen yüksek sıcaklıklardaki dayanımı ve mukavemeti Ti'dan daha düşüktür. Matris malzemesinin seçiminde diğer bazı faktörler ise süneklik, kırılma tokluğu ve yorulma direncidir [5].

Mühendislik malzemelerinin yeni bir sınıfı olan metal matrisli kompozitlerde (MMK), malzemelerin özelliklerini iyileştirmek için metal matris içerisine güçlü seramik takviye elemanları eklenmektedir. MMK'lerde matris olarak Al, Ti, Mg, Cu, Ni, Co, Pb, Ag, Zn, Fe, Nb, bronz, süper alaşımlar ve intermetalikler kullanılırken, takviye elemanı olarak Al_2O_3, SiC, B_4C, TiC, karbon, Si_3N_4 gibi elyaf veya parçacıklar kullanılmaktadır.[3,6]

Kompozit malzemelerin üretiminde uygulanabilen başlıca yöntemler; sıvı metal emdirme tekniği, sıkıştırma veya dövme döküm tekniği, basınçlı veya basınçsız infiltrasyon, sıvı metal karıştırma tekniği, hızlı katılaşma yöntemi, yarı katı karıştırma tekniği, plazma püskürtme tekniği, toz metalurjisi tekniği, vakumda presleme tekniği, sıcak presleme ve sıcak izostatik presleme tekniğidir [3].

MMK malzemelerin geniş bir kısmını hafif metal esaslı malzemeler teşkil etmektedir. MMK üretiminde kullanılan en yaygın hafif metal olan alüminyum ve alaşımlarının olmasının nedeni; ağırlık oranlarına göre yüksek dayanımları, korozyon dirençleri gibi üstün özellikleridir [6].

Alüminyum ve alaşımlarının mevcut özelliklerini iyileştirmek için viskers, fiber veya parçacık biçimli sert takviye elemanları kullanılarak alüminyum matrisli kompozit malzemeler üretilmektedir. MMK malzemelerin aşınma performansları ise matris ve takviye elemanının özelliklerine bağlı olarak değişmektedir [3].

Aşınma, makine elemanlarında enerji, malzeme ve zaman kayıplarına yol açan ve dolayısıyla ülke ekonomilerini önemli ölçüde etkileyen istenmeyen bir durumdur. Aşınma zorlamasının yüksek olduğu ve yağlamanın yeterli olmadığı durumlarda aşınmaya karşı dirençli ve sürtünme katsayısı düşük malzeme seçilir. Bu amaçla kullanılan malzeme gruplarından biri de metal-seramik kompozitlerdir [3,4].

Makine parçalarının çalışma ömürleri, aşınmaya karşı direnci yüksek olan malzemelerin üretilebilmesiyle arttırılabilmektedir. Makine hasarlarının analizi, parçaların bozulmalarının % 75' inin sürtünen yüzeylerin aşınması sonucu olduğunu göstermektedir. Yüzeylerin ömürlerinin uzaması için, malzemelerin aşınmaya karşı direncinin arttırılması gerekmektedir [7].

2. KOMPOZİT MALZEMELER

Kompozit malzeme, iki ya da daha fazla sayıdaki aynı veya farklı gruptaki malzemelerin en iyi özelliklerinin, yeni ve tek bir malzemede toplamak amacıyla, makro düzeyde birleştirilmesiyle oluşturulan malzemeler olarak adlandırılırlar. İki malzeme, orijinal malzemelerde elde edilemeyen bir özellik kombinasyonu elde etmek için birleştirilir ve kompozitler üretilmiş olur [7,8].

Kompozit malzemeler alışılmışın dışındaki bükülmezlik, mukavemet, ağırlık yüksek sıcaklık performansı, korozyon direnci, sertlik ve iletkenlikten oluşan kombinasyonları elde etmek için tercih edilmektedir. Kompozit malzemede bileşenlerinin her birinin en iyi özellikleri görülmelidir. Kompozit malzemenin kimyasal yapıları birbirinden farklı en az iki malzemenin birlikteliğinden oluşması ve genellikle belirli bir ara yüzeyle ayrılması gerekmektedir [9,10].

Bu bilgilerin ışığında, en geniş anlamıyla "kompozit" terimini göz önüne alırsak, genel olarak çok kristalli bir metal parçası da çok taneli bir kompozit olarak kabul edilebilir. Bu yüzden kompozit teriminin tanımını sınırlamak gerekir. Aşağıda verilen kriterleri kullanarak bir kompozit tayin etmek mümkündür:

- Yapay olarak üretilmiş olmalıdır,
- Bileşenleri, bir arayüzeyle ayrılabilen kimyasal olarak farklı en az iki malzemenin kombinasyonu olmalıdır,
- Kompozitleri oluşturan farklı malzemeler, üç boyutlu olarak kombine edilmemelidir (Örnek olarak metal kaplamadaki tabakalar veya sandviç yapıların her yerinde aynı metal kullanılmışsa temel kompozit malzemelerin içine girmezler).
- Belirlenen özellikler, kompoziti meydana getiren unsurların hiç biri tarafından tek başlarına başka türlü sağlanamamalıdır [11].

İkiden çok fazla malzemenin makro boyutlarda bir araya getirilmesiyle oluşan kompozit malzemelerde, iki bileşen grubu belirleyici rolü oynar. Süreksiz, daha sert ve daha yüksek dayanım gösteren faz takviye elemanı olarak adlandırılır. Matris olarak adlandırılan ana yapı ise kompozitin birçok özelliğini üzerinde taşır ve çok

sayıda kritik görevi vardır. Matris, takviye elemanlarının yüzeylerini dış ve çevresel etkilere karşı koruyup dirençlerini arttırmakta, kompozit üzerine gelen yükü takviye elemanına homojen olarak dağıtmakta ve kompozit içerisindeki hata ihtimalini azaltmaktadır [10,12,13].

Takviye elemanı, matris içinde homojen olarak dağılarak ve matrisle etkin bir bağ oluşturarak kompozit malzemenin mukavemetini arttırır. Bir kompozit malzemede takviye elemanları matris ile ıslatılarak rijit bir yapı görünümüne girer. Takviye elemanı matris ile ıslatıldıktan sonra oluşan yüzeyin bağlayıcı etkisi ile bütünlüğe ulaşırlar. Ara-yüzey, matrisin ıslatma kabiliyetine bağlıdır [12].

Takviye elemanının temel fonksiyonu gelen yükü taşımak ve matrisin rijitlik ve dayanımını artırmaktır. Yapılan birçok çalışmada takviye malzemesi olarak kullanılan metallerarası bileşikler yüksek akma ve kırılma gerilmesine sahip olup mukavemetlerini yüksek sıcaklıklar üzerinde koruma eğilimindedirler. Yüksek mukavemet ile kullanıldığı yapının çok iyi özelliklere sahip olmasını da sağlamaktadır [14].

Yukarıda belirtilen özellikleri içeren kompozit malzemeler genellikle, matris malzemesine göre; plastik, metal ve seramik matrisli kompozitler olmak üzere üç ana gruba ayrılırlar. Ayrıca takviye elemanlarına göre de; parçacık takviyeli, sürekli elyaf takviyeli, kısa elyaf takviyeli, rastgele düzlemsel yönlendirilmiş takviyeli, tabakalı kompozit olarak sınıflandırılırlar [8].

Kompozit malzemelerde takviye elemanının matris içerisindeki dağılımı kompozitin özellikleri üzerine etkilidir. Örneğin; parçacık takviyeli kompozitlerde takviye parçacıklar matris içerisine üniform olarak dağılırsa özellikler izotropiktir. Fiber takviyeli kompozitlerde ise fiberlerin matris çerisindeki dizilimine göre ya izotropik ya da anizotropik özelliklere sahip, katmanlı kompozitler ise anizotropik davranış gösterirler [15].

Bu bilgiler ışığında kompozit malzemelerin özelliklerini belirleyen dört temel faktör vardır. Bunlar:

1-Matris malzemesinin özellikleri,

2-Takviye malzemesinin özellikler,

3-Ara yüzey özellikleri,

4-Mikro yapı özellikleridir [16].

2.1. Matris Malzemesine Göre Kompozit Türleri

2.1.1. Polimer matrisli kompozitler

Polimerler, metal ve seramiklere göre çok daha karmaşık yapıdaki malzemelerdir. Matris olarak kullanılan polimerler düşük elastik modüle ve düşük kullanım sıcaklığına sahiptirler. Termoset ve termoplastikler olarak iki gruba ayrılan polimer matrisler genelde sürekli fiberlerle kullanılır. Polimer kompozitlerin en önemli özellikleri yüksek mukavemet ve yüksek elastiklik modülüdür, dolayısıyla diğer malzemelere bu yönden üstün durumdadır [9,17,18].

Polimer matrisli kompozit malzemeler çoğunlukla elyaf formunda sert, dayanımlı malzemelerle takviye edilerek oluşturulur. En yüksek mukavemet artışı sürekli elyaf kullanımı ile sağlanmakta ve üretilen kompozit üstün özelliklere sahip olmaktadır. Elyaf miktarı arttıkça kompozit malzemenin mukavemeti de artmaktadır [19,20].

Polimer matrisli kompozit malzemelerin kullanıldığı ortamlarda göz önüne alınması gereken en önemli faktörler sıcaklık ve nemdir. Polimerlerde kullanılan takviye malzemelerinden en önemli olanları; cam fiber, bor fiber ve karbon fiberlerdir [17].

2.1.2. Seramik matrisli kompozitler

Metal dışı minerallerin çeşitli ön işlemlerden geçirildikten sonra yüksek sıcaklıkta sinterlenmesiyle elde edilen tuğladan cama her türden ürüne genel olarak ‘seramik’ adı verilmiştir. Seramik malzemeler ısıya dayanıklı tabiatları ile geniş bir aileye

sahiptirler. Yunanca ismi “keros”;” yanmış nesne”, “islenmesi-çalışılması zor” olarak bilinen oksitler, nitritler bu aileyi oluştururlar [21,22].

Seramik malzemeler, yüksek sıcaklığa ve zor çevre koşullarına karşı dayanıklı olduklarından birçok alanda tercih edilirler. Fakat bu malzemelerin yük taşıma kapasitesi, üretim sırasında oluşan çatlak türünde kusurlarla veya kullanımı gereği içerdiği süreksizliklerle önemli ölçüde azalır [19].

Seramik matrisli kompozitler (SMK); Al_2O_3, SiC, Si_3N_4 gibi seramik matris üzerine seramik veya metal parçacık takviyesiyle oluşan üstün ısıl dayanıma ve mukavemete sahip malzemelerdir. Seramik malzemeler, yüksek sıcaklık ve aşırı korozif ortamlar için çok uygun olmasına karşın, yük altında gevrek davranış gösterirler ve bu davranışları kullanım alanlarını sınırlandırmaktadır. Seramik matrisli kompozitlerin üretimindeki amaç, takviye ve matris malzemesi olarak iki ayrı malzemeyi bir araya getirerek seramik matrisin tokluğunu artırmaktır. Seramik malzemelerin seramik fiberler ile takviye edilmesi durumunda ani kırılmalara karşı dayanım artarken tokluklarının da arttırılması mümkün olabilmektedir. Bu uygulama ile geleneksel seramiklere oranla tokluk 20 kata kadar arttırılabilmektedir [20,23].

SMK’lerin üretimi iki aşamalı olarak gerçekleştirilir. İlk aşamada takviye malzemeleri matris içine verilir ve ikinci aşamada matris yoğunlaştırılır. İnfiltrasyon, sıcak izostatik presleme, sol-jel, polimer piroliz, kimyasal reaksiyon ve toz metalurjisi kapsamında incelenebilecek tüm yöntemler, SMK’lerin üretim yöntemlerine örnek olarak gösterilebilir [18].

2.1.3. Metal matrisli kompozitler

Günümüzde bilimin gelişmesi paralelinde ve günümüzün şartlarına uyacak şekilde, gerek ekonomik gerekse teknik yönden daha uygun malzemeler üretme yoluna gidilmiştir. Bu amaçla metal matrisli kompozit malzemeler üretilmiştir. MMK malzemelerin geliştirilmesi, son 30 yıl içerisinde malzeme bilimindeki büyük yeniliklerden birisi olmuştur [14,23].

Kompozit malzemeler düşük özgül ağırlıklarına karşın mükemmel dayanım özellikleri gösterilebilirler. Ayrıca istenilen dayanım özelliklerinde farklı kombinasyonlarda üretilebilmeleri yorulma tokluk ve yüksek sıcaklıklarda göstermiş oldukları dayanım özellikleri de oksidasyon ve aşınma dayanımlarının yüksek olması gibi nedenler de kompozitlerin tercih sebebi olmuştur [24].

Kompozit malzemelerde metalik matrislerin kullanılmasının sağladığı üstünlükler, metallerin bilinen bazı özellikleriyle ilgilidir. Bunlar;

- Yüksek elastik modül ve çekme dayanımı
- Yüksek tokluk ve darbe özelikleri,
- Sıcaklık değişimleri veya ısıl şoklara karşı düşük duyarlılık,
- Yüzeysel çatlaklara karşı düşük duyarlık ve aşınmaya karşı yüksek dayanım,
- Yüksek elektrik ve ısıl iletkenlik,
- Değişik tekniklerle şekillendirilebilme ve işlenebilme özellikleri [13,16].

MMK'lerin mekanik özellikleri incelendiğinde çok eksenli yüksek gerilmelerin bulunması MMK'lerde matrisin sünekliğini azalttığı tespit edilmiştir. Ayrıca bu gerilmelerle matristeki boşluk büyümesinin çok hızlı olması nedeniyle sünekliği belirleyen etkenin boşluk oluşumu safhası olduğunu düşündürmektedir [25].

Modern kompozitler, takviyenin cinsi, şekli ve boyut miktarı bakımından farklıdır. Kompoziti oluşturan bileşenler, genelde farklı kimyasal bileşime sahiptirler ve birbirleri içerisinde çözünmezler [2,26].

MMK'lerde matris malzemesi olarak Al, Mg, Ti ve bazı süper alaşımlar yaygın olarak kullanılmaktadır. Al ve alaşımları; hafiflikleri, yüksek korozyon dirençleri ve mekanik özelliklerinden dolayı matris malzemesi olarak tercih edilmektedirler. Bu hafif metal alaşımlarının dayanım ve özgül ağırlık oranlarının iyi olması nedeniyle hafif yapı konstrüksiyonlarında tercih edilir. Atmosfere karşı korozyon dayanımlarının da yüksek olması diğer karakteristik özelliklerindendir. Takviye

elemanı olarak en yaygın kullanılanlar ise SiC, Al_2O_3, TiB_2, Si_3N_4, TiC, bor ve grafittir [1,27].

Metal matrisli kompozitlerin özellikle yapısal malzeme olarak yaygın şekilde kullanılmalarını sınırlayan özelliklerden bir tanesi de şekillendirme yeteneklerinin düşük olmasıdır [28].

2.2. Matris Malzeme ve Özellikleri

MMK malzemelerin üretiminde kullanılan matris metallerinde kesin bir ayrım yapmak mümkün değildir. Geleneksel olarak kullanılan tüm metal ve alaşımlarının MMK malzeme üretmek amacıyla matris metali olarak kullanımı mümkündür. Uygun takviye malzemesinin seçimiyle her türlü metal ve alaşım matris malzemesi olarak kullanılabilir. Matris ve takviye elemanı arası fiziksel ve kimyasal uygunluk sağlandığında kullanım yerine ve amacına göre MMK malzeme üretilebilir. Kompozitlerde yaygın olarak kullanılan matris malzemesi düşük yoğunluklu, iyi tokluk ve mekanik özelliklere sahip olan hafif metaller ve alaşımlardır [21,26,29].

En önemli metal matris sistemleri;
- Alüminyum matris
• Sürekli fiberler: bor, silikon karpit, alümina, grafit, çelik
• Süreksiz fiberler: alümina –silika
• Viskers: silikon karpit
• Partikül: silikon karpit, bor karpit
- Titanyum matris
• Sürekli fiber: silikon karpit, kaplanmış bor
• Partikül: titanyum karpit
- Magnezyum matris
• Sürekli fiber: grafit, alümina
• Viskers: silikon karpit
• Partikül: silikon karpit, bor karpit
- Bakır matris

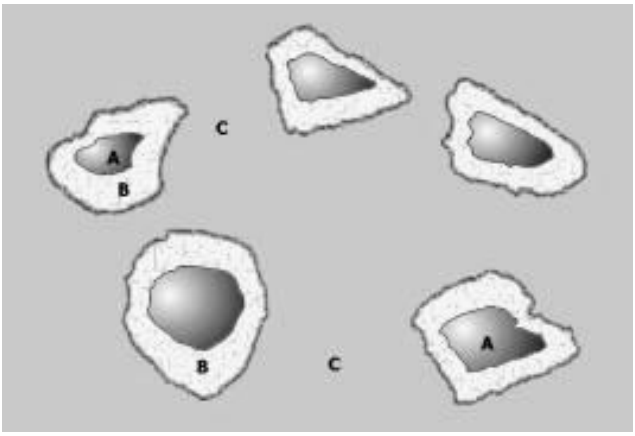
• Sürekli fiber: grafit, silikon karpit
• Tel: niobyum-titanyum
• Partikül: silikon karpit, bor karpit, titanyum karpit [5].

Yoğunluk, mukavemet, aşınma direnci, korozyon direnci, termal karalılık, boyutsal kararlılık termal iletkenlik, kırılma tokluğu, süneklik gibi özellikler dikkate alınarak matris seçimi yapılır. Kompozit malzemeler yüksek mukavemet değerlerine sahip olmalarına karşın gevrek yapıda olmaları ve anizotropik özelliklerinden dolayı gerilme yığılmalarına karşı çok hassastırlar [30,31].

Matris malzemesi olarak kullanılan birçok metal vardır. Bunlara Al, Zn, Cu, Fe, Mg, Ti ve Pb örnek gösterilebilir. Bununla birlikte silisyum karbür (SiC), bor (B), grafit, alüminyum oksit (Al_20_3), volfram (W) ve molibden (Mo) gibi değişik sürekli, kılcal kristalli, parçacık veya elyaflar takviye elamanı olarak kullanılmaktadır. Ancak matris olarak yaygın bir şekilde kullanılanlar Al, Ti, Mg ve bunların alaşımlarıdır. [3,12].

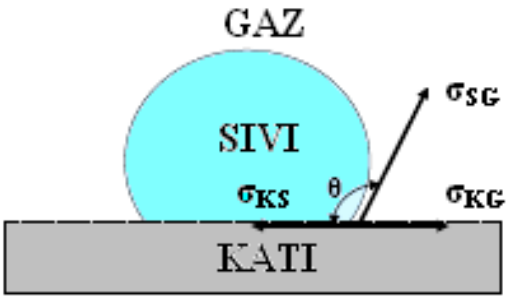
Matris malzemesi seçiminde en önemli etkenlerden biri de, üretilecek kompozitin takviye şeklidir. Takviye olarak sürekli fiberler kullanıldığında, yükün büyük bir kısmı fiberler tarafından taşınacağından, matris alaşımının birincil görevi, yükün fiberlere etkili bir şekilde aktarılmasını sağlamak ve fiberde oluşabilecek hasarlara karşı çatlak oluşumunu azaltmaktır. Bu sebeple, sürekli takviyeli MMK'lerde kullanılan matris malzemeleri seçilirken, mukavemet değerlerinden çok, tokluk değerlerine dikkat edilir. Süreksiz takviyeli MMK'lerde ise, kompozitin mukavemetinde matris malzemesinin mukavemeti etkili olacağından, yüksek mukavemetli matris alaşımları tercih edilmektedir [26].

Yüksek performanslı kompozit malzeme üretiminde matris malzemesi takviye elemanlarının arasına emdirilmeli, takviye elemanını tam olarak ıslatabilmeli, kimyasal veya belli şartlarda yapışma bağı oluşturmalı, mümkün olan düşük basınç ve sıcaklıkta hızlı şekilde katılaşma yapabilmelidir. Matris ve seramik arasında oluşan ara yüzey çok önemlidir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Kompozitlerde üç bölgenin şematik gösterimi; A-partikül, B-arayüzey, C-matris [32].

Metal maddesi kompozitlerin deformasyonu süresince yük transferini ve çatlak direncini sağlayan bölgedir. Sıvının bir katı yüzeyinde sıvı katı arasında temas ederek matris ve takviye malzemesi arasındaki etkileşime, ıslatılabilirlik diyebiliriz. Islatılabilirlik sırasında oluşan şekil ve açılar Şekil 2.2'de verilmektedir [6,8,33].



Şekil 2.2. Katı üzerinde duran bir sıvı damlasının katı yüzeyi ile yaptığı temas açısı [33].

Ara yüzeydeki etkileşim kimyasal bağlanma şeklinde oluşabilir. Bir takviye elemanı yüzeyinin etkili ıslanması için sıvının katı yüzeyinin her tepe ve çukuruna ulaşması sağlanmalıdır. Islatma iki basit denklemle aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$W_a = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_{12}$$

$$\sigma_{12} = \sigma_{KS} + \sigma_{SG}.\cos\theta$$

Hemen hemen tüm MMK sistemlerinde seramik metal arasındaki ıslanmayı arttırmak için sıvı bazı reaktif elementlerle alaşımlandırılır. Bu elementlerin ilavesinin amacı, kimyasal reaksiyonlar oluşturularak metal ve seramik malzemenin birbirine bağlanmasını sağlamaktır. Ancak ara yüzeyde oluşan bu süreksiz tabakalar, kompozitin deformasyonu sırasında çatlak oluşturan bölgeler olarak davranırlar. Arayüzey genelde, element konsantrasyonlarının, kristal yapının, atomik düzenin, elastiklik modülünün, yoğunluğun ve ısıl genleşme katsayısının bir taraftan diğerine değiştiği iki boyutlu bir süreksiz alandır [21,26].

MMK malzemelerde ara yüzey bağ mukavemetini arttırmak için:
a) Islanabilirliği arttırmak
b) Kimyasal etkileşimleri kontrol etmek
c) Oksit oluşumunu minimuma indirmek gerekmektedir [21].

2.3. Matris Olarak Alüminyum

2.3.1. Alüminyum ve özellikleri

Alüminyum demirden sonra en fazla kullanılan metal olmasına rağmen tarihçesi çok yenidir. Alüminyum oksijene karsı aşırı ilgisi nedeni ile çelik üretiminde deoksidan element olarak kullanılır. Alüminyum iyi bir iletken olduğundan elektrik iletkenliği gerektiren yerlerde yaygın olarak kullanılır. Fakat saf alüminyum oldukça yumuşak ve düşük dayanımlıdır. Bu nedenle mühendislik malzemesi olarak alaşımlanmış durumda kullanılır. Al çok iyi soğuk şekillendirilebilir, bu esnada dayanım değeri başlangıç değerine göre iki kata kadar arttırılabilir. Saf alüminyumun fiziksel özelliklerinden bazıları Çizelge 2.1'de görülmektedir [34,35].

Çeşitli alüminyum alaşımlarının ısıl işlemleri sonucu, istenilen şekilde mukavemet, tokluk, sertlik ve diğer mekanik özellikleri geliştirilebilir. Özellikle düşük miktarlarda Mg, Si, Cu ve Zn ilavesiyle mukavemeti daha da arttırılan alüminyum alaşımlarında ısıl işlem ile bugün çok yüksek çekme mukavemeti değerlerine

ulaşılmıştır. Mekanik özelliklerin böyle değişebilir olması büyük avantaj sağlayarak, kullanım alanlarını genişletmektir [17].

Çizelge 2.1. Alüminyumun fiziksel özellikleri [36]

Atom ağırlığı	26,97 akb (atomik kütle birimi)
Yoğunluk (20 °C'de)	2,7 gr/cm3
Atom çapı	1,430 °A
Kafes sistemi	YMK
Ergime sıcaklığı	660 °C
Buharlaşma sıcaklığı	2327 °C
Özgül ısısı	0,214 cal/g
Isı iletme kabiliyeti	0,55 cal/ °C.s.cm
Lineer genleşme katsayısı	26,6x10-6 /°C
Elastisite modülü	7220 kgf/mm2
Elektrik özdirenci (20 °C'de)	0,0266 mm7m
Elektrik iletkenliği (20 °C'de)	37,6 m/mm2

Çeşitli alüminyum alaşımları da uygun ısıl işlemler ile alüminyum şartlarına, deniz suyuna ve diğer korozif maddelere karşı dayanıklı hale getirilir. Alüminyum hava şartlarına dayanıklı, düz çatı uygulamaları, temel suyuna karşı izolasyon, gemi ve uçak imalatında kullanılır. Yüksek mukavemetli fakat atmosfer şartlarına karşı dayanıksız olan alaşımların kaplanmasında kullanılır [9,37].

2.3.2. Alüminyum tozlar

Alüminyum tozlar 1900'lü yılların başlarında pul ürünler olarak kullanılmıştır. Toz metalurjisi (TM) teknikleriyle yüksek mukavemetli, alaşımlı alüminyum parçalarının üretimi ise 20. yüzyılın ortalarına rastlamaktadır. Günümüzde Al tozu yıllık üretim kapasitesinin yaklaşık 200 000 ton olduğu tahmin edilmektedir. Bu kapasitenin tamamına yakını gaz atomizasyonu ile üretilmektedir. Al tozunun gerçek yoğunluğu ana metalin yoğunluğuna yakındır. Ancak görünür yoğunluğu 0,8-1,3 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 tozlar 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 [17,38].

Demir dışı metallerin büyük bir kısmı, bunların oksijen, klor, kükürt gibi elementlerle olan bileşiklerinden elde edilir. En çok kullanılan usul, bu bileşiklerin karbon ile indirgenmesidir. Alüminyum oksit içeren minerallerin doğrudan doğruya indirgenmesi ile metalik alüminyum üretimi için endüstriyel prosesler geliştirilmektedir. Fakat bu prosesler bazı teknik zorluklar nedeniyle henüz endüstriye kolayca tatbik edilememektedir. Bu zorluklar çok aktif bir element olan alüminyumun hem oksijenle hem de diğer elementlerle kolayca birleşmesinden ileri gelmektedir. Metalik alüminyumun karbonla indirgenmesi esnasında, alüminyum karbonla birleşerek alüminyum karbür meydana gelir. Alüminyum oksitten metalik alüminyum üretimi için en uygun usul elektrolizdir [39].

2.3.3. Alüminyum alaşımları

Alüminyum ve alaşımları; düşük yoğunluğa sahip, dış atmosfere karşı dayanıklı, yüksek korozyon direnci ve iyi işleme kabiliyeti olan, ısıl işlemden sonra yüksek çekme mukavemeti, iyi sok direnci, süneklik ve tokluk gibi özellikler gösteren malzemelerdir. Al malzemelerde en önemli alaşım elementleri Mg, Si, Zn ve Cu'dır. Bunlar tek başına veya birkaçı birlikte alaşımda belirli özelliklere ulaşmak için kullanılır. Mühendislik malzemesi olarak en çok kullanılan alaşım, Al-%4 Cu alaşımıdır [1,35,40].

Alaşım elemanların çoğu alüminyumu alaşımlandırarak genelde çökelme sertleşmesi mekanizması ile mukavemet değerlerini önemli ölçüde arttırırlar. Çökelme sertleşmesi demir ve demir dışı malzemelerde uygulanıyor olmasına rağmen, en çok Al alaşımlarının güçlendirilmesinde uygundur diye kabul edilir. Yaşlanma sertleşmesi olarak da bilinen bu mukavemetleşme mekanizması, matris yapı içerisinde ısıl işlem yoluyla, Al_2Cu_2, Al_3Mg ve Mg_2Si gibi sert kimyasal bileşikler oluşturması ve bu bileşiklerin dislikasyon hareketlerini frenlemesi ile mukavemet değerlerinin arttırılması şeklinde gerçekleşir [37].

2.3.4. 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. Alüminyum hafif bir metal olması nedeniyle, son yıllarda alüminyum matrisli kompozitler üzerinde yoğun bir araştırma yapılmaktadır [17,41].

Al ve alaşımları yoğunluklarının düşük, elektrik ve ısı iletkenliklerinin yüksek olması nedeniyle üretim ve imalat sektöründe tercih edilen malzemelerdendir. Ancak Al ve alaşımlarının aşınma dirençlerinin düşük olması, uygulama alanlarını kısıtlamaktadır. Al matrisli kompozitlerin aşınma davranışı incelendiğinde sert tane takviyeli kompozitlerin matris alaşımına göre yüksek aşınma direnci gösterdiği tespit edilmiştir [42].

Alüminyum elde edilmesi, üretimi ve hafifliği nedeniyle bir ileri teknoloji malzemesidir. Ancak kullanım sıcaklığının artmasıyla özelliklerindeki düşüş en büyük dezavantajıdır. Alüminyumun mekanik ve fiziksel özelliklerini iyileştirmeye yönelik şimdiye kadar pek çok araştırma yapılmıştır. Bu yönde yapılan çalışmaların en önemli bölümünü çeşitli seramik esaslı malzemeler katılarak oluşturulan alüminyum matrisli kompozit malzemeler oluşturmaktadır. Bu uygulamalar ergiyik yöntem ve toz metalurjisi yöntemi (katı yöntem) olmak üzere iki şekildedir. İlk uygulama sıvı alüminyum içerisine katı halde seramik esaslı ikinci bir fazın katılması şeklindedir. İkinci yöntemde ise alüminyum ve seramik tozun birbiri içerisine katı

halde katılarak toz metalurjisi metoduyla kompozit malzemenin üretimi şeklindedir Gerek sıvı gerekse katı yöntemle kompozit üretiminde temel hedef ikincil fazın matris yapı içerisindeki homojen dağılımını sağlamaya yöneliktir [26,43,44].

2.4. Kompozitlerde Kullanılan Takviye Elemanları

Metal matrisli kompozit malzemelerin üretiminde değişik takviye malzemeleri kullanılmaktadır. Kompozit malzemeden beklenen özelliklerin elde edilmesi için takviye malzemesinin seçimi, önemli bir konudur. MMK malzemelerin üretiminde, temin edilebilmelerindeki kolaylık, yanında kullanılacakları matris malzemeleri ile uyumluluk, elastiklik modülü, çekme dayanımı, yoğunluk, ergime sıcaklığı, ısıl kararlılık, ısıl genleşme katsayısı, boyut ve şekil, kimyasal bileşim, kristal yapı gibi özellikler göz önünde tutularak takviye malzemeleri kullanılmaktadır [3,26].

Kompozit malzemelerde genellikle silisyum karbür, alümina, zirkon veya bor gibi sert bileşikler takviye elemanı olarak kullanılmaktadır. Fakat granite, sillimanite, korundum vb. doğal mineraller büyük potansiyele sahip olmalarına rağmen takviye elemanı olarak kullanımları çok azdır [2,45].

Takviye elemanı, kompoziti oluşturan en önemli elemanlardan biri olup, kompozit üzerine gelen yükün büyük bir bölümünü taşımaktadır. Yükün takviye elemanına iletilmesi için ara yüzey bağının güçlü olması gerekir. Takviye elemanlarının ıslanamaması durumunda ara yüzey bağlarının oluşumunu engellemesine ve hava boşluklarının oluşmasına neden olur. Seramik ve metallerin termal genleşme arasındaki fark, yüksek dislokasyon yoğunluğuna ve dolaysıyla yüksek mukavemet değerlerinin ortaya çıkmasına sebebiyet vermektedir. Ancak, metal ve seramiklerin yüksek ara yüzey enerji farklılığından dolayı da ıslatılabilirlik temas açısı artmakta ve metal seramik arasındaki bağ mukavemeti düşebilmektedir. Bundan dolayı takviye elemanı seçimi, matris içerisinde yönlendirilme şekilleri ve hacim oranları, kompozitin fiziksel ve mekaniksel karakteristiklerini etkiler [3,8,21].

Takviye elemanları; yoğunluk, üretim kolaylığı, ısıl direnç, kimyasal uyumluluk gibi kriterlere göre seçilmektedir. Özellikle uzay ve uçak sanayinde düşük yoğunluklu, yüksek mukavemet ve modüllü takviye elemanlarının kullanılması kaçınılmazdır. Yüksek modüllü ve yüksek mukavemetli bazı malzemelerin fiber veya viskers şeklinde üretilmeleri zordur ve özel tekniklerin uygulanması gerektiğinden ekonomik değildir. Bunun yanında, metalik kompozitler genellikle yüksek sıcaklık uygulamaları için geliştirildiklerinden yüksek sıcaklıklarda fiberlerin mukavemetlerini koruma özellikleri, oda sıcaklığındaki mekaniksel özelliklerinden daha önemlidir. Çizelge 2.2'de bazı takviye elemanlarının özellikleri verilmektedir [8].

Çizelge 2.2. Kompozitlerde kullanılan bazı takviye elemanlarının özellikleri [46]

Fiber Tipi	Çap (μm)	Yoğunluk (Kg/m^3)	Elastikiyet Modülü (GPa)	Çekme Dayanımı (GPa)
Saffil	3	3300	300	2,0
FP (α-Alümina)	20	3950	380	1,7
Slisyum Karbür	13	3200	390	2,0
Boron	100-200	2600	390	3,4
SiC Kaplı Boron	100-200	2600	400	2,9
Y. Modüllü Karbon	8	1950	358	2,2
Y. Dayanımlı Karbon	6,8	1800	235	2,6

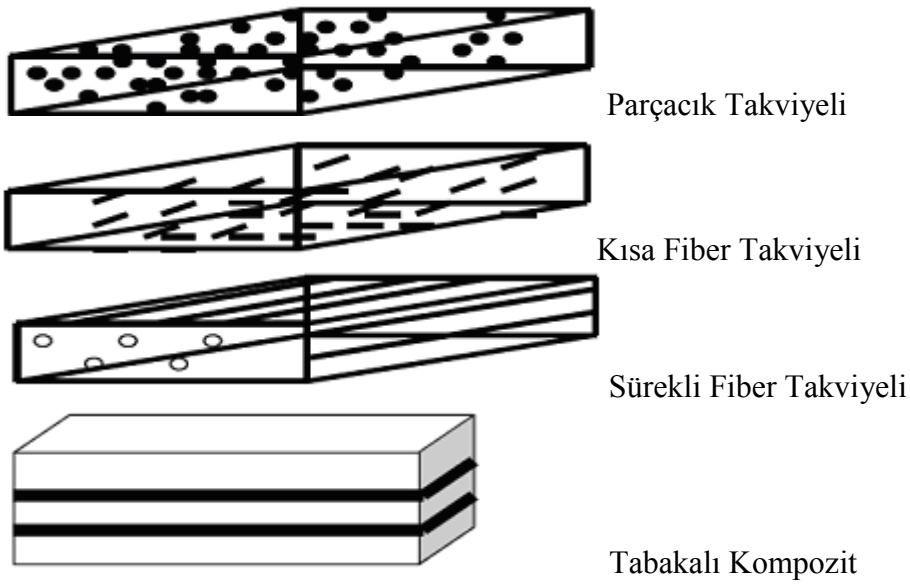
Ayrıca bir takviye elemanı seçiminde farklı kriterler söz konusudur. Bu kriterler;

- Kimyasal bileşim
- Ergime noktası
- Yoğunluk
- Şekil ve boyut
- Difüzite
- Elastikiyet modülü
- Oluşum serbest enerjisi (termal kararlılık)
- Hacim çekmesi
- Üretim kolaylığı, faydası ve kullanımıdır

- Metal matrisli kompozitlerde takviyeler beş esas kategoriye ayrılabilir, bunlar; sürekli fiberler, süreksiz fiberler, viskerler, partiküller ve teller. Tel dışındaki takviye elemanları, genellikle seramiktir [2,5].

Takviye elemanları ana malzeme içerisine farklı şekillerde dizilerek matris malzemenin özelliklerini geliştirirler. Metal matrisli kompozitleri takviye elemanlarının matris malzeme içerisindeki dizilişi ve morfolojisine göre beş ana guruba ayırabiliriz. (Şekil 2.3) Bunlar:

1. Parçacık takviyeli kompozitler
2. Sürekli fiber takviyeli kompozit malzemeler
3. Kısa fiber takviyeli
4. Rastgele düzlemsel yönlendirilmiş takviyeli
5. Tabakalı kompozitler [6,31]

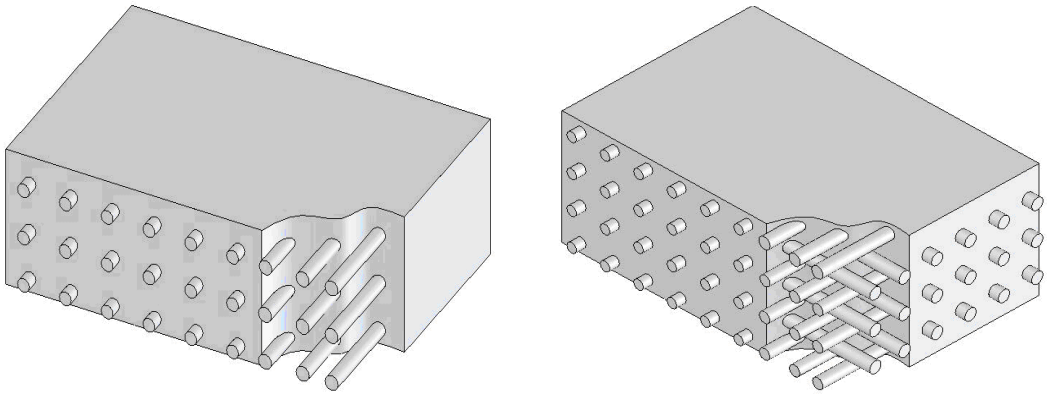


Şekil 2.3. Takviye çeşidine göre bazı kompozit türleri [22]

2.4.1. Sürekli fiber takviyeli kompozitler

Sünek matris içerisine güçlü, bükülmez, kırılgan fiberlerin ilavesi ile fiber takviyeli kompozitlerin mukavemeti, yorulma direnci ve ağırlığa göre mukavemet oranı iyileşmektedir. Fiberler yükün büyük bir kısmını taşırken, matris yükün fiberlere

transferini sağlamakta, süneklik ve tokluk temin etmektedir. Takviyeler farklı yönlenme şekillerine göre dizilebilmektedir (Şekil 2.4) [15].



(a) (b)

Şekil 2.4. Sürekli fiber takviyeli MMK şematik yapısı
(a) Tek doğrultuda yönlendirilmiş
(b) 90° açılı çift doğrultuda yönlendirilmiş

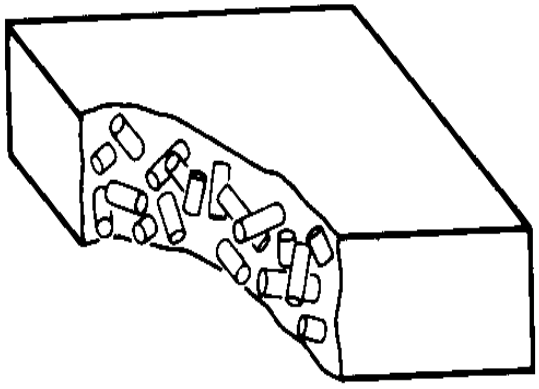
Genellikle özel amaçlı sürekli fiber takviyeli kompozitler, preformların veya tel dizinlerin sıvı emdirilmesi veya preformların difüzyonu yoluyla üretilirler. Sürekli fiber takviyeli kompozitlerin üretimi oldukça karmaşık ve pahalı olmasına rağmen özellikle birkaç uygulama için uzay endüstrisinde vazgeçilmez malzemelerdir [21].

Bu tip kompozitlerde seramik esaslı ve metalik esaslı elyaflar kullanılır. Karbon, bor, SiC ve Al_2O_3 sürekli fiber takviyeli kompozit malzemelerde kullanılan takviye elemanlarının en çok tercih edilenleridir. Çeşitli şekillerdeki uzun fiberler, aynı malzemelerin hacim (bulk) formlarından doğal olarak daha elastik ve daha dayanıklıdır [8,21,27,47].

Sürekli fiber takviyeli kompozitler fiber yönünde oldukça yüksek elastik modülü ve çekme dayanımı vermektedir. Fakat enine kesitlerdeki çekme dayanımı ise oldukça düşüktür. Bu kompozitlerin en önemli dezavantajı bu kompozitlerin elastik üretim yöntemleriyle üretiminin oldukça zor ve pahalı olmasıdır [13].

2.4.2. Kısa fiber takviyeli kompozitler

Bu tür kompozit malzemeler kısa veya süreksiz fiber takviyeli malzemeler olarak adlandırılmaktadır. Kısa elyaf olarak adlandırılan elyaflar yaklaşık 3- 5μm çapında ve 0,5- 6 mm uzunluğunda üretilirler. Şekil 2.5'de kısa fiber katkılı kompozitin şekli verilmiştir. Bu elyafla takviyelendirilen kompozitler, takviye elemanının ergiyik içinde takviye malzemesi ile birleştirilmesi için, sıkıştırmalı döküm yöntemi ile ön şekil verilmiş takviye malzemesine basınçlı olarak ergiyik matris malzemesi emdirilir. Ön şekil halindeki fiberlere ergimiş metal süzdürülürken hacim oranları önem arz ettiğinden fiber oranı en çok % 35 civarındadır. Bu değerin üstündeki uygulamalarda istenilen mekanik ve fiziksel özellikleri elde etmek zorlaşmaktadır. Kısa fiberler genellikle rasgele yönlendirilirler. Sürekli elyaflara göre kısa elyaflı kompozitlerde üretim işleminin hızlı ve maliyetinin düşük oluşu ve şekil verme yeteneğinin yüksek olması nedeniyle tercih edilirler [6,8,21].

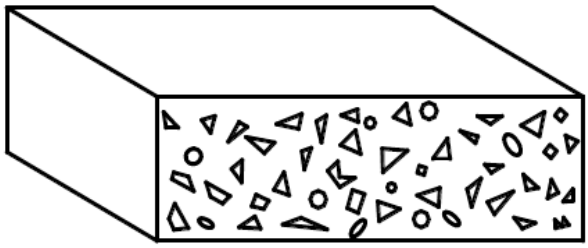


Şekil 2.5. Kısa elyaf takviyeli metal matrisli kompozitin şematik yapısı [46]

Partikül takviyeli kompozitlerle karşılaştırıldığında kısa fiber takviyeli kompozitlerin bir takım dezavantajları vardır. Takviye malzemesinin bir bölgede birikme eğilimi göstermesi topaklanmaya neden olmakta ve homojen bir dağılımın elde edilmesi zorlaşmaktadır [14].

2.4.3. Partikül takviyeli kompozitler

Parçacık takviyeli kompozit malzemelerde belirgin üniform olarak dağılmış sert, gevrek malzeme yumuşak daha sünek matrisle kuşatılmıştır (Şekil 2.6). Metalik malzemelerin sertliklerini, aşınma dirençlerini, yüksek sıcaklıklardaki mekanik özelliklerini geliştirmek için değişik türde oksit, karbür veya nitrür parçacıklarından faydalanılır [15,21].



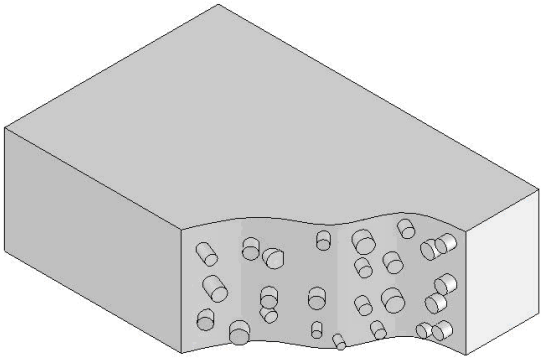
Şekil 2.6. Parçacık takviyeli metal matrisli kompozitin şematik yapısı [46]

Partikül takviyeli metal matrisli kompozitlerde, partikül boyutu 1 μm den büyüktür ve % 5-70 arasında değişen partikül hacim oranlarında kullanılabilen malzemelerdir [23].

Partikül takviyesi malzemenin izotropikliğini bozmadan mekanik özelliklerini geliştirmektedir. Takviye malzemenin kompozit içerisindeki dağılımı, homojenliği yoğunluğu ve üretim esnasında meydana gelen hatalar doğrudan üretim tekniklerine bağlıdır. Bu parametreler MMK'lerin mekanik özelliklerine etki etmektedir. Yapılan çalışmalarda parçacık büyüklüğü, parçacıklar arası mesafe ve parçacık yüzdesinden etkilendiği görülmüştür. Seramik parçacık takviyeli metal matrisli kompozit malzemeler, üstün özel mukavemet ve özel modül, aşınma dayanımı ile yüksek sıcaklık mukavemetine sahiptir [8,14].

2.4.4. Dağılım mukavemetlendirilmiş kompozitler

Bu kompozitler de kısa parçacıklardan oluşur fakat takviye matris içinde rastgele iki boyutlu olarak yönlendirilmektedir. Ön biçimlendirilmiş elyaflar genellikle gelişi güzel veya iki boyutlu yerleştirilerek yönlendirilir (Şekil 2.7). Küçük parçacıklar dislokasyonların hareketlerini engelleyerek belirtilen mukavemetleşme etkisini oluşturur. Normal sıcaklıklarda bu tür kompozitler iki fazlı alaşımlardan daha zayıf olabilmektedir. Ancak sürünme direnci metal ve alaşımlara göre daha üstündür [6,15].



Şekil 2.7. Dağılım mukavetlendirilmiş kompozit

2.4.5. Tabakalı kompozitler

Pek çok diğer malzemelerden meydana gelmektedir. Pek çok tabakalı kompozit düşük maliyet yüksek dayanım veya hafifliği korurken korozyon direncini korumak için tasarlanmaktadır. Diğer önemli uygulamaları ise üstün abrasiv aşınma direnci, gelişmiş görünüm ve mükemmel ısıl genleşme özelliklerini kapsamaktadır [15].

Farklı özelliklere sahip en az iki tabakanın kombinasyonlarından oluşur. Matris içerisine rastgele yönlenmiş elyaflar, tek yönlü elyaflar veya farklı elyaf takviyeli tabakadan oluşabilir. Tabakalı kompozitler için esas sebep bu kompozitin maruz kalacağı yüklere uyum sağlaması için dayanım ve rijitliğin doğrusal bağımlılığından avantaj sağlamaktır. Her tabakanın esas malzeme yönleri istenilen doğrultuda yapılabilmektedir [31].

Tabakalaşma, daha kullanışlı bir malzemeye ulaşmak için bileşiği oluşturan katmanlar ve bağlanan malzemelerin en iyi durumlarını birleştirir. Tabakalaşma ile dayanım, elastiklik, ağırlık, korozyon dayanımı, aşınma direnci, termal izolasyon, akustik izolasyon gibi özellikler geliştirilmektedir. Tabakalı kompozit malzemeler; bimetaller, kaplama yapılmış metaller, tabakalı cam, plastik-bazlı tabakalar ve tabakalı fiberli kompozitlerdir [47].

2.5. Takviye Olarak Alümina

2.5.1. Alümina ve özellikleri

Alüminanın bilimsel keşfi geçen yüzyılda olmuştur. Ancak ticari olarak kullanımı 1907 yılında yüksek alümina seramik üretimine ait bir patentle başlamıştır. Geniş çapta ticari üretimi ve kullanımı 1920'li yılların sonuna dayanmaktadır. Ergimiş alümina % 99.8 Al_2O_3 ihtiva eder ve safiyet yükseldikçe sıcak mukavemet, elektrik ve aşınma direncinde artış kaydedilir [48].

İleri teknoloji seramikleri içinde en çok kullanılan hammadde alüminadır. Mukavemet ve ergime sıcaklığının yüksek, elektrik iletkenliğinin düşük oluşu, alüminanın; refrakterlerde, elektrik yalıtkanlarında, kesici uçlarda, ısı motorlarında, aşınmaya maruz parçalarda ve kompozit malzemelerde çok geniş kullanım alanı bulmasını sağlar. Alümina özellikle yüksek aşınma direnci, düşük yoğunluğu ve yüksek sıcaklık dayanımı ile geniş kullanım alanına sahiptir. Ancak 1000 ^{o}C'nin üzerindeki sıcaklıklarda aşınma hızının yükseldiği bildirilmiştir [20,49].

Günümüzde alümina kimyasalları dünyanın birçok bilimsel, teknolojik ve endüstriyel uygulamalarında araştırılmakta ve kullanımı günden güne artmaktadır. Alümina, kristalografik olarak oksijen iyonlarının alüminyum iyonları tarafından sıkı hegzogonal olarak sarılması ile ifade edilebilir. Dış görünüş olarak beyaz bir tozdur. Alüminanın bazı özellikleri Çizelge 2.3'te verilmiştir [17,19].

Çizelge 2.3. Yüksek saflıktaki alüminanın özellikleri [17]

Termal iletkenlik katsayısı	28W/mK
Yoğunluk	3,98 Mgm^{-3}
Erime sıcaklığı	2050 ^oC
Kaynama sıcaklığı	2080 ^oC
Elastik modülü	~360 GPa
Genleşme katsayısı	7-8.8*10^{-6} m/K
Molekül Ağırlığı	101,96 g/mol
Oluşum serbest enerjisi	-1582,4 kj/mol
Spesifik yüzey alanı	115 m^2g^{-1}
Mikrosertlik	25 GPa

2.5.2 Alüminanın kristal yapısı

Doğal alümina, korundum halinde fakat feldspat ve killerde olduğu gibi genellikle silikatlarla birlikte bulunur. Alümina aynı zamanda, boksit, diaspor, kriyolit, sillimanit, kyanit, nefelit ve diğer birçok mineralin bileşiminde yer almaktadır. Saf alümina, düşük sıcaklıkta birkaç formda bulunur. Fakat bütün bu formlar zaman, kristal boyutu ve atmosfere bağlı olarak, 750–1200 °C arasında α-alüminaya dönüşür. 1600 °C'nin üzerinde yapılan ısıtma bu dönüşümü hızlandırır [17].

Alümina ürünler slip dökümle, ekstrüzyon, enjeksiyon kalıbı, soğuk ve sıcak presle şekillendirilmektedir. Şekillendirmede un, polivinil alkol, mum, lastik lâteks, doğal reçine gibi organik bağlayıcılar ve yağlayıcılar kullanılmaktadır. Alümina, ısıtılmış termo plastik reçineyle karıştırılarak enjeksiyon ile şekillendirildiğinde yüzeyi çok düzgün, hassas ölçülerde parçalar üretmek mümkündür. Şekillendirmede, Al (OH)n gibi inorganik bağlayıcılarda kullanılmaktadır [50].

2.5.3 Alüminanın kullanım alanları

Alüminanın yüksek sertliği ve mekanik dayanımı çalışma esasında aşınmaya maruz kalan makine elemanları ve mühendislik malzemeleri şeklinde olan kullanımını ön plana çıkartmıştır. Alümina başlıca; makine ve tezgahlarda aşınmaya dayanıklı malzeme olarak, kimya endüstrisinde korozyona dayanıklı malzeme olarak, elektronik ve elektro-teknikte izolasyon malzemesi olarak, ısıtma sistemlerinde yüksek sıcaklık malzemesi olarak kullanılmaktadır. Ayrıca optik ve tıp tekniklerinde özel amaçlı kullanım alanları mevcuttur [20].

Erime sıcaklığı 2050 ºC'lerde olup yüksek modüllü alüminyumla iyi karışım yapabilir. Diğer seramik takviye elemanlarında olduğu gibi oluşturdukları kompozitlerde iyi sürtünme ve aşınma davranışı sergilerler. Bu nedenle fren diski, piston, silindir gömleği gibi otomobil parçalarında çokça kullanılırlar. Sanayide ise kor renkli ergimiş alümina (yaklaşık %21 kromoksidin elektrik ark fırınlarında sıcak hava vermesi suretiyle saf alüminadan elde edilen yüksek saflıktaki alüminyum oksittir) ısıl işlemli dövülebilir dökme demirin düzgün taşlanmasında, yüksek hız çeliğinin silindirik taşlanmasında, ısıl işlem görmüş yüksek hız çeliğinden mamul takımların taşlanmasında kullanılabilir [12].

2.6. Kompozitlerin Uygulama Alanları

Günümüzde özellikle otomotiv, uzay, denizcilik, demiryolu taşımacılığı ve spor malzemeleri gibi endüstriyel sanayi alanlarının birçoğunda kompozit malzemelerin geleneksel malzemelerin yerine kullanımı gün geçtikçe artmıştır [24].

Genel anlamda kompozit kullanımının getirdiği 3 temel avantaj vardır:

1- Farklı özelliklerin birleştirilerek daha iyi bir malzeme elde edilmesi,
2- Bu özelliklerin belirli aralıklarda kontrol edilebilmesi,
3- Bileşen fazlarda var olmayan nadir fiziksel özelliklerin elde edilebilmesidir.

İkinci ve üçüncü avantajlar termomekanik özelliklerdeki değişimi ve buna bağlı olarak da yeni uygulama alanlarını tanımlamaktadır. Ancak, teknolojik açıdan kompozitlerin diğer malzemelere olan üstünlükleri yüksek mukavemet ve birim ağırlığa düşen yüksek dayanımlarıdır [51].

Seramiklerin yüksek elastik modülü ve metallerin dayanım/ağırlık ve dayanım/yoğunluk gibi, malzeme özelliklerini önemli olduğu başta havacılık, uzay, savunma sanayi ve otomotiv endüstrisi olmak üzere birçok modern teknoloji kullanan alanlarda klasik metalik malzemelerin yanında yer alarak yapısal malzemelerin kapsamına büyük ölçüde yenilik kazandırmışlardır. Bu özellikleri nedeniyle kompozit malzemelerin üretimi ve mekanik özellikleri ile ilgili çalışmalar önem kazanmıştır. Örneğin mekanik özellikleri geliştirilmiş Al matrisli kompozit kullanılarak üretilen araçlarda ağırlığının %10 oranında düşürülmesiyle yakıt tüketiminde %5 tasarruf sağlanmıştır [13,52].

Elektronik endüstrisindeki uygulamalar için karbon fiber takviyeli bakır bazlı kompozit malzemeler çok yüksek ısı iletkenliği ve iyi aşınma direnci gibi yararlı özellikleri ile karakterize edilirler. Elektronik ön-montajları, lazerler ve bilgisayar mühendisliğinde uygulanan kompozit malzemeler geleneksel elektronik malzemelerle karşılaştırıldıklarında daha yüksek sıcaklıklarda ve daha etkili çalışabilirler [47].

Metal matrisli kompozitleri, birçok mühendislik uygulamalarında kullanmak mümkündür. Ancak metal alaşımıyla karşılaştırıldığı zaman, kompozitlerinin daha yüksek maliyetlerinden dolayı bunların kullanımı, mukavemet-rijitlik artışının maliyet artışından daha önemli olduğu uygulamalarla sınırlanmaktadır.

Üretilen kompozit malzemede maliyet artışına karşılık sağlanan faydanın bir avantaj olup olmadığı önemli bir kriterdir. Performans değerini belirlemede anahtar parametrelerden biri de mukavemet/ağırlık oranı veya özgül mukavemettir [11].

Kompozit malzemelerin en büyük dezavantajları diğer malzemelere oranla daha pahalı olmalarıdır. Bu da, bu tip malzemelerin yeni olmaları nedeniyle üretim yöntemlerinin yerleşmemiş ve üretimlerinin yüksek üretim oranlarına erişememiş olmasından kaynaklanmaktadır. Bu malzemelerde avantaj olarak değerlendirilebileceği gibi bir dezavantaj olabilecek diğer bir durum da, anizotropi gösteren malzemelerin dizayn ve kullanımlarında gösterdiği karmaşıklık ve kısıtlamalardır [23].

2.7. Üretim Yöntemleri

Araştırmacılar yapmış oldukları çalışmalarla, kompozit malzemelerin üretim, mekanik özellikler ve talaşlı imalatla şekillendirilmelerinde karşılaşılan problemleri azaltarak, ekonomik bir malzeme grubunun endüstriyel uygulamalarda kullanımının yaygınlaştırılmasını amaçlamaktadırlar [40].

Üretim metodu, fibere, matrise, üretilecek kompozitin şekline ve istenilen mekanik özelliklerine göre belirlenir. Kompozit üretim metodunun seçiminde, takviye ve matris malzeme, bunlar arasındaki reaksiyonlar, ürün kalitesi ve maliyeti etkili olmaktadır. Çoğu zaman yöntemler birbiri ile rekabet halinde olmakla beraber, her birinin diğerine göre üstünlükleri bulunmaktadır. Ancak tüm kompozit üretim metotları geleneksel alaşım malzeme üretim metodu ile kıyaslandığı zaman, matris ile takviye arasındaki etkileşimler nedeniyle karmaşıklığı dikkati çekmektedir [3].

Üretim sırasında yüksek sıcaklıklarda ortaya çıkabilecek kritik bir hususta matris ve takviye elemanı arasında reaksiyon sonucu oluşan ve eritilmesi gereken ara fazdır. Bazen takviye elemanlarına uygulanan kaplamalar bu ara fazın oluşmasını engellemiştir. Örneğin, bor fiberlerin bor karpit ile kaplanması sayesinde titanyumun bu fiberler ile takviye edilebilmesi sağlanmıştır. Matris ile takviye elemanı arasında Gerçekleşebilecek reaksiyonlar metal matrisli kompozitlerin ortam sıcaklığına bağlı olarak servis ömrünü de belirler [5].

Metal matrisli kompozit malzemelerin üretim yöntemleri, proses süresince metal matrisin üretim sıcaklığına bağlı olarak sınıflandırılmaktadır. Buna göre metal matrisli kompozit malzemelerin üretim yöntemleri şu şekilde sınıflandırılmaktadır.

· Sıvı-faz üretim yöntemleri,

· Katı-faz üretim yöntemleri,

· Çift faz (sıvı/katı) üretim yöntemleri [3].

2.7.1. Sıvı faz üretim yöntemleri

Sıvı faz üretim yöntemleri, takviyenin sıvı matrise katılması (dökümden önce ergiyik metal karıştırma) ya da preformun infiltrasyonu (basınç veya vakum infiltrasyonu, dövme döküm) ile gerçekleştirilir. Bu yöntemler basit ve ucuz olmaları, karmaşık üç boyutlu parçaların üretimini olanaklı kılmaları açısından oldukça caziptir. Temel dökümhane teknikleri, süreksiz takviyeli kompozitlerin üretimine kolaylıkla uyarlanabilir. Sıvı üretim yöntemlerinin başlıca dezavantajları, takviyenin matris tarafından düşük ıslatılması, son üründe, çekme, gaz boşlukları gibi döküm hatalarının görünmesi, takviye ile matris arasında tatmin edici dereceye ulaşmayan bağlanma ve/veya takviyenin aşırı reaksiyonla bozunması sayılabilir [18].

<u>Sıvı metal-seramik partikül karıştırma (vorteks) yöntemi</u>

Bu metot sıvı haldeki üretim tekniklerinin en kolay ve en ucuz olanıdır. Matrisi güçlendirmek için kullanılan takviye elemanı olarak parçacıklar, viskers veya küçük levhacıklar şeklinde katılır [6].

Karıştırma, mekanik, elektromanyetik yöntemler ya da gaz enjeksiyonu yoluyla yapılabilir. Eriyik metal içerisine seramik parçacık karıştırma döküm yöntemi olarak da bilinen bu yöntemin temel prensibi karıştırılmakta olan sıvı metal içerisine, oluşan vorteks ile birlikte seramik parçacıklarının katılması ve bir süre daha karıştırılarak metal kalıplara döküm işleminden ibarettir. Genelde partikül takviyeli MMK malzemelerin üretimi için daha uygun olmasına rağmen kısa fiber veya viskers takviyeli kompozitlerin üretilmesi de mümkündür [18,21].

Bu yöntem genel amaçlı uygulamalarda düşük maliyetli MMK malzeme üretimi için iyi bir potansiyele sahiptir. Ancak bu yöntemde tanecik yüzde oranının artması ve tanecik boyutunun azalması ile üretim işlerinin zorlaştığı ve üretim sonrası incelemelerde gözenek ve tanecik topaklanmalarının arttığı görülmüştür [24].

Sıkıştırma döküm yöntemi

Genel olarak üstün döküm kalitesi, ve yüksek üretim kapasitesine sahip olması gibi özellikleri nedeniyle önemli üretim tekniklerinden birisidir. MMK malzemelerin üretilmesinde sıkıştırma döküm tekniğinin, en önemli, en pratik ve en ümit verici yöntemlerden birisi olduğu bilinmektedir [21,30].

Döküm işlenmiş malzemelerin kullanılabilir parçalara dönüştürülmesinin en kolay yoludur. Bununla birlikte, geleneksel döküm tekniklerinin başlıca sakıncası, gözeneklilik gibi kusurların oluşumudur. Daha da önemlisi, sıcak yırtılmalar, segregasyon kusurları ve bant oluşumu dökülmüş parçaların çalışması esnasında potansiyel çatlak başlangıçtan olabilirler. Bu nedenle, bu kusurları gidermek için yeni döküm teknikleri geliştirilmiştir [3].

Sıkıştırma döküm yönteminde, takviye malzemesi bir kalıp içine yerleştirilmekte ve döküm sıcaklığına çıkarılmış sıvı metal belli bir sıcaklığa ısıtılan takviye malzemesi (partikül, fiber) üzerine dökülmektedir. Yüksek basınca gereksinim duyulduğundan, parçanın boyutu sınırlayıcı bir faktördür. Bir diğer sorun ise, yine yüksek basınçtan dolayı takviye malzemelerine mekanik bir hasar verme ihtimalinin var olmasıdır [18].

Basınç altında karıştırmada; takviye malzemesi ile matris metali arasında ara yüzey bağ mukavemetinin oldukça olumlu yönde etkilendiği rapor edilmektedir. Metal matrisli kompozitlerin üretiminde en yaygın olarak kullanılan takviye elemanı matris çiftleri Al_2O_3- Al, C- Mg ve SiC- Al' dur [6,53].

Kompozit döküm

Partikül, viskers veya süreksiz fiberler ile takviye edilen MMK'ler bu yöntemle üretilmektedir. Sıvı-katı bölgesinde karıştırma ile seramik takviye elemanları alaşıma verilmektedir. Seramik fiber veya partiküllerin alaşıma ilave edilmesinden sonra alaşım yarı sıvı-katı halde geleneksel döküm sıcaklığına çıkıp döküm gerçekleştirilir. Sistemin en önemli dezavantajı sıkıştırma dökümdeki gibi basınç altında katılaştırmaya gereksinim duymasıdır. Aksi halde yüksek oranlara varan poroziteli malzemeler elde edilmesi kaçınılmaz hale gelmektedir [7].

Atomizasyon ve püskürtme şekillendirme

Bu tip üretim yöntemi alüminyum gibi ergime sıcaklığı nispeten düşük olan metallerde uygulanır. Bu üretim metoduyla takviye elemanı üzerine istenilen kalınlığı verecek şekilde ergimiş metal püskürtülerek karmaşık şekilli parçalar üretilebilir. Bunlara ilaveten, fiberler arası mesafenin kontrolü ve fiberlerin daha rahat yönlendirilebilmesi gibi avantajlara sahiptir [6].

Gaz atomizasyonu ile sıvı metal damlacık haline getirilir. Damlacıklar katılaşma fırsatı bulmadan bir kalıpta biriktirilirler. Başka bir nozuldan azot gazı ile seramik tanecikler de kalıba püskürtülürler. Böylece atomize hale gelen metal-partiküller homojen olarak bir alt kalıpta birikir. Sistemin en önemli dezavantajı takviye malzemesi ile anayapı arasında porozitelerin bulunabilmesidir [7].

Basınçlı infiltrasyon

MMK üretim yöntemlerinden biri olan basınçlı infiltrasyon yöntemi, takviyeden üretilen gözenekli preform içerisine sıvı metale basınç uygulanarak infiltre edilmesidir. Yöntemde basınç, sıvı metal yüzeyine uygulanarak sağlandığından kolay bir metottur [54].

Genel olarak hızlı ve yüksek üretim kapasitesine sahip olması ve son ürün şekline yakın üretim imkanı sağlaması gibi avantajları nedeniyle basınçlı infiltrasyon yöntemi MMK üretiminde önemli bir üretim tekniği olmuştur. Bu yöntem ile MMK üretimin de matris malzemesi olarak Al ve Mg ve alaşımları daha geniş kullanım alanı bulmuştur [55].

Ergimiş metal emdirme yöntemi (sıvı infiltrasyon)

MMK malzemelerin üretilmesi için kullanılan değişik döküm yöntemlerinden birisidir. Sürekli fiber ve kısa fiber takviyeli kompozitlerin üretilmesinde kullanıldığı gibi partikül takviyeli MMK malzemelerin üretilmesinde de verimli bir şekilde uygulanmaktadır. Bu yöntemde bağlayıcı ile hazırlanmış ön şekil, bir kalıba yerleştirilir ve daha sonra basınçlı bir gaz ile bu kalıba sıvı metal emdirilir ve katılaşmaya bırakılır. Bu yöntemle üretimde en yaygın olarak kullanılan matris-takviye elemanı ikilisi Al-Al_2O_3, Mg-C, Al-SiC sayılabilir [21].

İlk işlem olarak istenilen profilde ön şekillendirme yapılır. Fiberlerin yönlendirilmesi ve hacim oranı bu aşamada ayarlanır. Ön şekiller kalıp içerisinde bir bağlayıcı ile tutturulduktan sonra kalıp içerisine erimiş metal emdirilir ve katılaşmaya bırakılır. Ergimiş metalin emdirilmesi fiber hacim oranının yüksek olduğu durumlarda biraz daha zordur. Fiberler arası mesafenin az olduğu bu gibi durumlarda ergimiş metal ya basınç altında veya vakumla emdirilir [6].

2.6.2. Katı faz üretim yöntemleri

Katı hal üretim tekniklerinde toz metalurjisi en çok kullanılan yöntemdir. Matris metal tozları ve fiberler beraber karıştırılarak değişik yöntemler ile yoğunlaştırılmakta ve teorik yoğunluğa ulaşmak için takiben sinterlenmektedir. Bu metot genelde değişik fiberler içeren süper iletken kompozitlerin üretiminde kullanılmaktadır [21].

Reaksiyon (in-situ) kompozit üretim teknikleri

Takviye fazın ergiyik malzeme içerisinde çekirdeklendiği yöntemler olarak tanımlanan in situ üretim yöntemleri, ekonomik ve teknik açıdan önemli avantajlar sağlamaktadır. In situ üretim yöntemlerinde, partikül miktarının ve şeklinin kontrol edilmesi mümkündür. Bu durum, kompozit malzemenin özelliklerinin iyileşmesine olanak tanır. Diğer üretim yöntemlerinde görülen ıslatılabilirlik problemi ve matris ve takviye faz arasındaki arayüzey uyumsuzluğu, bu yöntemde görülmemektedir. Ergiyik bileşimi ve reaksiyon kimyası kontrol edilerek karbürler, nitrürler, oksitler, borürler ve silikatlar oluşturulabilmektedir [18].

Bu yöntemle kompozit üretmenin temel avantajı, sıcaklık ve süre ile oluşan karbürlerin hacim oranlarının ve karbür boyutunun kontrol edilebilmesi ve küresel şekilli takviye fazlarının matriste oluşturulabilmesidir. Ancak oldukça yüksek sıcaklıklarda çalışma gereksinimi ve reaksiyon süresinin uzun olması yöntemin temel dezavantajı olarak sayılabilir [21].

Toz metalurjisi yöntemi

1826 yılında Rusya'da çıkarılan platin paralarla bilinen ilk endüstriyel uygulamasına rastlanılan toz metalurjisi yöntemi, MMK'lerin üretiminde kullanılan katı durum prosesleri içinde en yaygın yöntemdir. Toz metalurjisinde, genellikle yüksek ergime derecesine sahip matrisler ile geniş bir oranda matris takviye kompozisyonlarıyla üretimi olanaklı kılmaktadır [7,18].

3. TOZ METALURJİSİ

MMK'ler bir metal matrisle sağlanan hasar toleransı ve toklukla bir seramiğin sertliğine ve yüksek dayanımına sahip olabilen bir malzeme grubu olarak bilinmektedir. Yapısal ve fonksiyonel kullanım alanlarında mukavemetleri, iyileştirilmiş aşınma dirençleri yüksek dayanımları avantajlı termal-fiziksel özellikleri karşılamaya en kuvvetli aday malzeme grubudur. Bu malzemelerin üretim tekniklerin birisi de toz metalurjisidir [56].

Toz Metalurjisi (TM) teknolojisi, metal tozlarının üretimi, tozların karıştırılması, metal ve metal alaşım tozlarını ergitmeden kalıpta preslenerek şekillendirilmesi, sinterlenmesi ve dayanıklı cisimler haline getirme tekniğidir. Türk Standartları Enstitüsü toz metalurjisini "metalurjinin metalik toz veya bu tozların şekillendirilip sinterlenmesiyle ilgili bölümü" olarak tanımlamaktadır [4].

Toz metalurjisinin amacı, mekanik ve fiziko-kimyasal yöntemlerle metal ve metalik alaşımların tozlarını üretmek ve tozlardan ergitmeden basınç ve sıcaklık yardımıyla is parçası üretmektir [7,34].

Toz metalurjisi (TM) modern bir imalat yöntemidir ve ileri teknoloji malzemelerinin üretilmesine çok uygundur. Genelde küçük parçaların çok sayıda ve ekonomik üretimini sağlar. Parçaların özellikleri oldukça dar toleranslarda kontrol edilebilir [9].

Takviye parçacığının boyu, hacimsel oranı, homojen dağılımındaki problemler ile parçacık-matris kimyasal tepkimeleri, döküm yerine TM teknikleriyle rahatlıkla aşılabilmektedir. Yüksek kaliteli ve karmaşık parçaların ekonomik olarak üretilebilmesi, toz metalurjisini cazip kılmaktadır. TM farklı boyut, şekil ve paketlenme özelliğine sahip metal tozlarını sağlam, hassas ve yüksek performanslı parçalara dönüştürür. TM nispeten düşük enerji tüketimine, yüksek malzeme kullanımına ve düşük maliyete sahip otomatikleşmiş işlemleri verimlice kullanır. Toz metalurjisi yöntemi ticari uygulamalar için güçlü bir alternatiftir. Bu teknik ile çok iyi mekanik özelliklere sahip malzemeler üretir [6,57,58].

TM parçalarının üretiminde genel olarak dört asama mevcuttur;
-Toz hazırlama (hızlı soğutulmuş partiküllerin elenmesi, takviyelerle partiküllerin karıştırılması)
-Presleme
-Sinterleme
-Sinterleme sonrası işlemler.(Gaz alma, ekstrüzyon, dövme, haddeleme, Yağ emdirme ve kalibrasyon)(gerekirse) [59].

3.1. Toz Hazırlama

Toz metalurjisinin hangi aşamasıyla ilgili olursa olsun, başlangıç aşamasının tozun üretilmesi olduğu unutulmamalıdır. Bu noktada "toz" kavramı üzerinde durmak yararlı olacaktır. Toz metalurjisinde, 200 bm altında boyuta sahip olan tozlar kullanılır. Seramikler ve polimerler gibi diğer fazlarla birleştirilmiş çoğu örneğe rağmen, tozlar birçok durumda metaliktir. Metal tozları sıkıştırılarak, bir katıdan beklenen özelliklere sahip olacak şekilde yeni bir malzemeye dönüştürülebilir. Toz metalurjisinde kullanılan malzemeler; madenler, alaşımlar, metal tozlarının karışımlarıdır [4].

3.2. Metal Tozların Üretimi

Metal tozların üretiminde çeşitli yöntemler vardır. Tozların imalinde kullanılan yöntemler, tozlara ait bazı karakteristik özellikleri de tayin eder. Bu yöntemlerden bazıları şunlardır;
1. Mekanik yöntemler
a) Talaş kaldırma
b) Değirmende öğütme
c) Darbe yöntemleri
d) Mekanik alaşımlama
2. Elektrolitik ayrıştırma yöntemi
3. Kimyasal yöntemler
4. Atomizasyon yöntemi [34].

3.2.1. Mekanik yöntemler

Bu yöntemlerde darbe, sıkıştırma ve burma kuvvetleri ile karmaşık şekilli tozlar üretilir. Bu yöntemlerle en az maliyetle toz üretimi için, kayma sistemi az olan kimyasal bağları zayıf, karmaşık kristalli yapıya sahip malzemeler ile çok sert ve kırılgan olan metal alaşımları ve seramikler kullanılır. Sünek malzemeler pul şeklinde tozların üretilmesine neden olacağından, genellikle kolay parçalanan, gevrek malzemeler, bu metot ile tozu elde edilecek uygun malzeme gurubunu teşkil ederler [6,9,17].

Talaş kaldırma yöntemi

Bu yöntemde yüksek karbonlu çelik tozları üretilir. Çeşitli talaş kaldırma yöntemleri ile üretilen metal talaşı, kırma ve öğütme gibi işlemlerle inceltilip sonrada reaksiyona sokularak tozlar üretilir. Yeterli gevreklikte olmayan metal parçalar içerisine katık elemanı katılmak suretiyle gevrekleştirilir ve kırılganlık sağlanır [34].

Talaşlı üretimde, daha çok iri ve karmaşık tozlar üretilir. Bu yöntemde oksitlenme, yağlanma, kir tutma ve diğer malzeme hurdaları ile karışarak kirlenme problemleri olabilir. Öğütme de, bir darbeli öğütücü içerisinde metal tel, talaş veya tanelerinin kırılması ile olur. Sünek tanecikler kırılma yerine birbirleri ile soğuk olarak kaynaklanır ve daha büyük tanecik oluştururlar. Günümüzde öğütme işlemi alüminyum gibi sünek metallerden pul toz üretiminde de kullanılır. Bu durumda, soğuk kaynaklanmayı ve yapışmayı engellemek için yağlayıcılar kullanılır [4].

Değirmende öğütme

Öğütme; mekanik kuvvet araçları tarafından partikül boyutunun küçültülmesi olarak tanımlanabilir. Öğütme tekniği genellikle boyut küçültmede etkili bir yöntem olmadığı halde kimyasal yöntemlerle ve diğer yöntemlerle hazırlanan toz karakteristiklerinin kolaylıkla modifiye edilmesi açısından dikkate alınmalıdır [60].

Talaş kaldırma yöntemi ve diğer darbe yöntemleri ile elde edilen tozlar, genellikle köşeli veya pul şeklinde karmaşık görünüme sahiptir. Bu tozlar öğütülerek inceltilebilir. Öğütme işleminde, aşınmaya dayanıklı bilyeler ile birlikte iri taneli toz malzeme öğütücü değirmen içerisine konulur. [17,34,61].

Bu yöntemin dezavantajları arasında, öğütücü bilyelerden kopan parçacıklar nedeni ile tozlarda meydana gelen kirlenme, sıvanma problemi nedeni ile sünek malzemelerin öğütülememesi ve gürültülü bir yöntem olması sayılabilir [62].

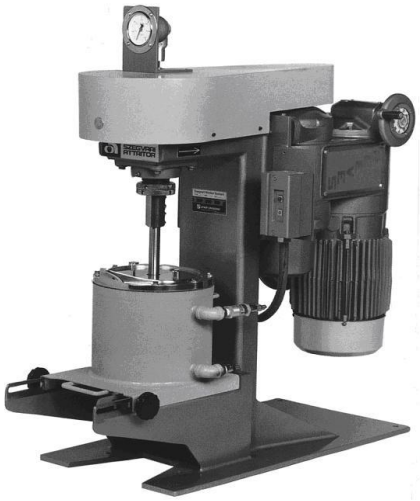
Darbe yöntemleri

Bu yöntem, diğer yöntemlerle elde edilen iri taneli tozların tane boyutunu inceltmek amacıyla kullanılır. Bu yöntemlerde iri taneli tozlar yüksek bir basınç (700 MPa) altında sert bloğa (WC) çarptırılmak suretiyle toz tane boyutu inceltilir. Paslanmaz çelik tozları bu yöntemle elde edilir [17,34].

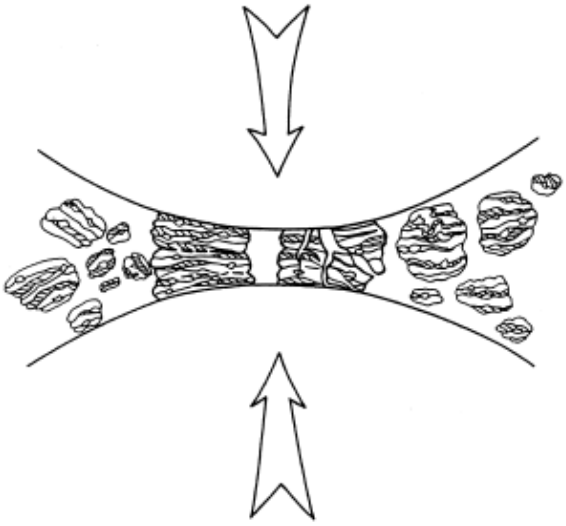
Mekanik alaşımlama

Oksit ya da karbürlerle güçlendirilmiş alaşımların üretilmesinde kullanılan Mekanik Alaşımlama (MA), 1966 yılında J.S. Benjamin tarafından geliştirilmiştir. Mekanik alaşımlama yüksek enerjili atritör kullanılarak yapılan bir düşük sıcaklık alaşım sentezleme yöntemidir (Resim 3.1). Bu yöntemde iki ya da daha fazla elementel toz birbiri içerisinde belli oranlarda karıştırılarak yüksek enerjili atritör içerisine konulur ve mekanik alaşımlama işlemine tabi tutulur. Bu işlemde amaç, sünek matris içerisinde sert oksit ya da karbür oluşturarak, bu seramik fazın matris içerisinde homojen dağılımını sağlamaktır. Bu yöntem ile aşırı miktarda deforme olmuş kompozit malzeme tozu elde edilir [17,34].

Bu işlem asal bir atmosfer ortamında yoğun bir öğütme işlemi ile sürekli olarak plastik deformasyon, kırılma soğuk kaynak ve yeniden kırılma ve kaynaklanma ile çok ince ve son derece homojen yapılar üretilmesi işlemidir (Şekil 3.1) [63].



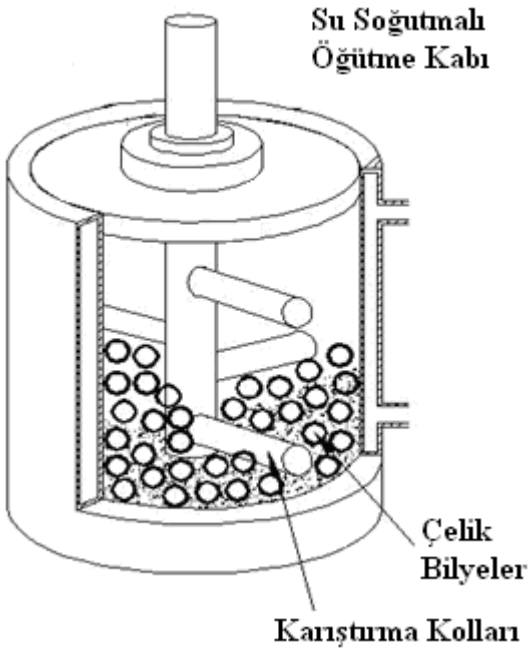
Resim 3.1. Mekanik alaşımlama atritörü [46].



Şekil 3.1. MA sırasında bilye-toz-bilye çarpışması [46].

Bu metotla, bilye içeren yüksek enerjili değirmenle kontrollü, hassas ve homojen dağılımlı kompozit tozlar üretilir (Şekil 3.2). Mekanik alaşımlama ile elde edilen kompozit tozlar ile üretilen malzemelerde, bilinen döküm ya da diğer katı metotlarla elde edilmeye çalışılan malzemelerde ortaya çıkan problemler oluşmaz. Diğer metotlarla üretimi zor ya da imkansız çok karmaşık ve oksit yada karbürlerle güçlendirilmiş alaşımlar üretilebilir [17].

Öğütme süresince sürtünmenin etkisiyle sıcaklık artısından dolayı aşırı derecede oksitlenme meydana gelebilir. Oksitlenmeyi önlemek için öğütücüde organik sıvılar (alkol veya stearat) ve koruyucu asal atmosferler kullanılmalıdır [4].



Sekil 3.2. Mekanik alaşımlama atritöründe şaft üzerindeki kolların dönme hareketi [64].

3.2.2. Kimyasal yöntemler

Metal tozlarının kimyasal yöntemle üretimi, metal oksitlerin (demir, bakır, tungsten, molibden, nikel ve kobalt) CO veya hidrojen gibi indirgeyici gazlarla kimyasal olarak indirgenmesidir [4].

Metal oksitlerini indirgeyerek üretilen tozlar yaygın olarak hidrojen içerisinde indirgenirler. Burada ham malzemeler süngerimsi yapıda meydana gelen tozların kalitesini belirler. Bu metot zenginleştirilmiş maden cevheri ve hadde tufalından üretilen demir tozlarının yanında tungsten, molibden gibi metal tozlarının üretiminde de kullanılır [4].

Elektroliz yolu ile üretim

Elektrolitin kimyasal bileşimi ve mukavemeti, sıcaklık, akım yoğunluğu gibi şartları uygunca seçerek, birçok metal sünger veya toz durumunda katot üzerinde biriktirilebilir. Daha sonraki işlemler olarak, yıkama, kurutma, indirgeme, tavlama ve öğütme gerekli olabilir. Bu yöntemle üretilen metallerin başında bakır gelir, aynı zamanda krom ve magnezyum da bu yöntemle üretilebilir. Elektrolitik tozlar çok saftırlar. Bu yöntemle demir tozlarını da üretmek mümkün olmakla beraber, maliyetin yüksek olması nedeniyle demir tozu üretiminde diğer yöntemler daha avantajlıdır [6].

Atomizasyon yöntemleri

Bu yöntem, ergitilmesi mümkün olan her metalde uygulanabildiği gibi saf ve ön alaşımlanmış metal tozlarının doğrudan doğruya ergimiş metalden elde edilmesinde de basarıyla kullanılmaktadır. Tekniğin esası, bir potanın dibindeki delikten akmakta olan ergimiş metalin üzerine yüksek basınçlı gaz veya sıvı püskürtülmesine dayanır. Gönderilen bu gaz veya sıvı hüzmesi ergiyik haldeki metal demetini farklı boyutlarda çok sayıda damlacıklara ayırır. Daha sonra bu damlacıklar soğuyarak metal tozlarını oluştururlar [4].

3.3. Tozlardan İstenen Özellikler

Seramik malzemelerin üretiminde, son özelliklere etkili olan en önemli parametre kullanılan başlangıç tozlarının özellikleridir. İstenilen kimyasal kompozisyonun her zaman elde edilmesi gerekir. Bu özellikler aşağıda sıralanmıştır [60].

3.3.1. Metal tozların karakterizasyonu

Metal tozlarının üretim teknikleri tozlara ait birçok özelliği tayin eder. Bu nedenle kullanım alanlarına göre değişik metotlarla üretilmiş tozlar, toz metal parçaların üretiminde kullanılabilir. Genelde bir toz metal parçanın üretiminde belli özelliklere

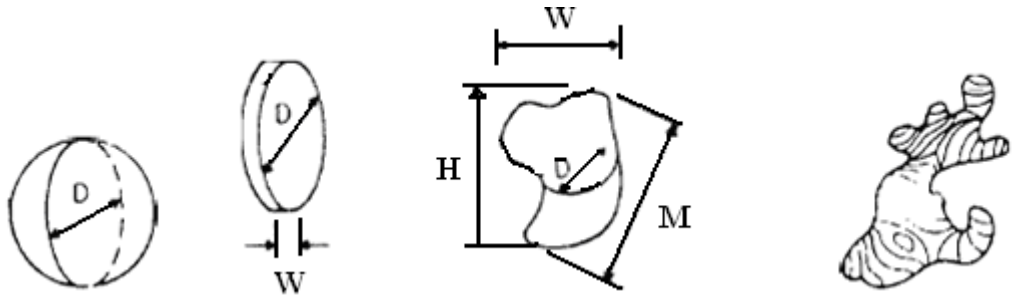
sahip tozlar kullanılır. Metal tozların karakteristik özelliklerini, fiziksel ve kimyasal özellikler olmak üzere iki ana baslık altında incelemek mümkündür [17,34].

3.3.2. Fiziksel özellikleri

Tozların fiziksel özelliklerini, toz tane boyutu, toz tane sekli, tane yapısı, tozların özgül yüzey alanı, görünür yoğunluk ve akış hızı gibi özellikler gelirler. Presleme ve sinterleme özellikleri de bu özelliklerle yakından ilgilidir. Üretilen malzemelerin çeşitli alanlarda güvenli bir şekilde kullanılmaları için, mekanik davranışlarının iyi anlaşılması ve bilinmesi gereklidir. Bu bakımdan çeşitli parçaların tasarımı ve üretimi açısından büyük önem taşımaktadır [17,34,65].

Tane boyutu ve dağılımı

Toz taneciklerinin çeşitli yöntemlerle belirlenen boyutuna toz tane boyutu denilmektedir. Tane boyutu, ölçüm tekniklerine, ölçülmüş olan özel parametrelere ve tane sekline bağlıdır. Tozların tamamının aynı boyutta olduğu söylenemez, ancak ortalama tane boyutundan bahsedilebilir. Toz parçacıklarının şekli karmaşık hal aldıkça toz tane boyutu ölçüm teknikleri de değişir (Şekil 3.3) [17,34].



Küresel Pul Toparlak Karmaşık

Şekil 3.3. Değişik toz şekillerinin boyut parametreleri [34]

Toz tane şekli

Toz üretim yöntemleri ile üretilen tozların şekilleri birbirlerinin aynısı değildir. Üretim yöntemlerine göre toz tane şekilleri küresel, yüksek gözenekli, karmaşık, dendritik, pul ve iğnesel şekillerde olabilirler.

Tozların şekli özellikle tozların akıcılığını etkiler. Küresel şekilli tozlar pul eklindeki tozlara göre iyi akış özelliği gösterirken, genellikle düzgün olmayan şekilli tozlar ise hiç akmazlar. Toz şekli ayrıca tozların, görünür yoğunluk, sıkıştırılabilirlik, ham mukavemet, gerginlik, sinterlenebilirlik gibi özelliklerini etkiler [17].

Toz akış hızı

Tozlar akıcılık özelliğine sahiptir. Pres kalıplarının doldurulma hızı tozların akıcılığına bağlıdır. Bu hız doğrudan preste ki üretim hızını (parça/dakika) verir. Akıcılık toz şekline ve büyüklüğüne (yüzey alanına) bağlıdır. Küresel tozlar, pul tozlara göre daha kolay akmaktadırlar. Tozların akıcılığı Hall Hunisi ile ölçülmektedir [7].

Sıkıştırılabilirlik ve yoğunluk

Sıkıştırılabilirlik tozların yoğunlukları ve akış hızı ile doğrudan ilgilidir. Tozların belirli bir basınçtaki yoğunlukları olan görünür yoğunluk, genel olarak 700 MPa basınçtaki yoğunluk olarak kabul edilmektedir. Görünür yoğunluk toz tane şekli, toz tane boyutu ve tozların yüzey alanı gibi faktörlere bağlı olarak değişir. Teorik yoğunluk ise ergitilerek dökülen malzemenin yoğunluğudur. Ayrıca metal tozlardan parça üretimi sırasında, tozların titreşime maruz kaldıkları düşünülürse, tozlara ait vurgu yoğunluğunun da bilinmesi gerekir. Vurgu yoğunluğu, 50 gr toz kütlesinin, bir kaba doldurularak titreşime maruz bırakılması sonucu elde edilen sıkışık toz kütlesinin, tozun kap içerisinde kapladığı hacme oranlanmasıyla elde edilir [17,66,67].

3.4. Presleme Öncesi Yapılan İşlemler

Tozun sıkıştırılabilirliğini artırmak ve sinterlemeyi kolaylaştırmak için, sıkıştırma öncesi tozlara spesifik özellikler kazandırmak amacı ile bir takım işlemler yapılır. Bunlar;

a) Tozun sınıflandırılması

b) Harmanlama ve karıştırma

c) Yağlayıcı katma [34].

3.4.1. Tozun sınıflandırılması

Tozun sınıflandırılması işlemi, genellikle eleklerle veya havalı sınıflandırıcılarla yapılmaktadır. Metal tozlarını tane büyüklüğüne göre belli değerlere ayırma ve üretilecek parça için uygun olan aralıklardaki tozları seçme işlemidir.

3.4.2. Harmanlama ve karıştırma

Burada, harmanlama ile aynı metalin, aynı kimyasal özelliklere sahip farklı tane boyutundaki tozlarını karıştırmak olarak ifade edilmiştir. Karıştırma ile ise, farklı kimyasal özelliklerdeki tozları birleştirmek kastedilmiştir. Harmanlama, sıkıştırma öncesi, tozların tane boyutu dağılımının kontrolünü sağlamak için kullanılır.

3.4.3. Yağlayıcı katma

Toz tanecikleri arasındaki sürtünmeyi ortadan kaldırarak tozların akıcılığını artırmak ve şekillendirmede meydana gelen enerji kayıplarını azaltmak ve tozun sıkıştırılabilirliğini artırmak için, toz içerisine belirli oranlarda yağlayıcılar katılır. Presleme esnasında toz tanecikleri ve kalıp duvarı arasındaki sürtünme sıkıştırma, basıncının yüksek tutulmasına ve sonucunda kalıp aşınmasına ve yıpranmasına sebebiyet olur. En çok kullanılan yağlayıcıları, çinko stearat, alüminyum stearat, lityum stearat, magnezyum stearat, kalsiyum stearat, stearik asit ve acrawax'tır [34].

3.5. Metal Tozlarını Presleme

Günümüzde toz metalurji teknolojisiyle metal tozlarını belirli basınçlar altında sıkıştırıp daha sonra da bu sıkıştırılmış kütleleri belirli sıcaklıklarda sinterlemek suretiyle imalatı çok güç olan makine parçalarını elde etmek mümkündür [6].

Bir toz kütledeki, toz tanelerinin hepsi aynı boyutta ve şekillerde değildir. Dolayısıyla sıkıştırma öncesi; tozların homojen dağılımını elde etmek amacıyla tozlar yağlayıcılarla birlikte belli bir süre karıştırılırlar. Yağlayıcı ile karıştırılan metal tozları, üretilecek parçanın sinterleme öncesi son şeklini vermek ve istenen oranda gözeneklilik sağlamak amacıyla üretilecek parça şekline göre hazırlanmış kalıplar içerisinde presle sıkıştırılırlar [34].

Yağlayıcı kullanmanın amacı, tozların şekillendirilmesi sırasında toz kütlelerinin kalıp duvarlarını daha az aşındırması, kalıptan daha kolay çıkartılması ve toz taneleri arasındaki sürtünmeleri azaltmak suretiyle tozların akışını kolaylaştırmak, meydana gelecek enerji kayıplarını azaltmaktır. Yağlayıcılar düşük yoğunlukta olduklarından çok az miktarda toza ilave edildiğinde çok büyük bir hacmi işgal edebilir.

Bazı yağlayıcılar yapıştırıcı görevi görüp mukavemet artışına sebep olduğu gibi bazıları ise sinterleme esnasında yanarak gözenek artışına sebep olur ve buna bağlı olarak sinterleme ile artması gereken yoğunluk düşebilmektedir.

Yağlayıcı ile karıştırılan metal tozları, üretilecek parçanın sinterleme öncesi son şeklini vermek ve istenen oranda gözeneklilik sağlamak amacıyla üretilecek parça şekline göre hazırlanmış kalıplar içerisinde presle sıkıştırırlar [6,17].

3.5.1. Sıkıştırma

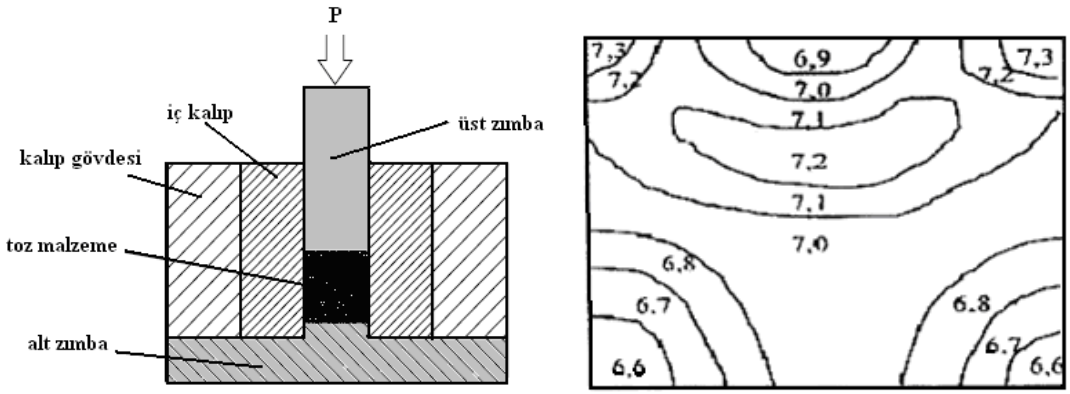
Sıkıştırma sırasında tozların kalıp içerisinde bir kütle hareketi meydana gelir. Sıkışma, genellikle presleme kuvveti doğrultusunda ve kalıp yan yüzeylerine doğru meydana gelir. Sıkıştırma esnasında plastik deformasyonla birlikte tozlardaki

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. Kalıp duvarlarının yağlanması sürtünme kuvvetini düşürerek sıkıştırmaya yardımcı olacaktır. Sıkıştırmadan dolayı meydana gelen toz tanecikleri arasındaki bağlanma ham mukavemeti sağlar [17,68].

3.5.2. Sıkıştırma yöntemleri

Kalıpta sıkıştırma

Basıncın tek veya çift yönlü olarak uygulandığı kalıpta sıkıştırma, en yaygın olarak kullanılan toz şekillendirme yöntemidir. Tek yönlü sıkıştırmada, dikey doğrultuda deformasyonun başlamasıyla, tozlar arası ve toz- kalıp çeperi arasında oluşan sürtünme düzensiz bir basınç dağılımına sebep olmaktadır. Bu sebepten yük, iş parçasına düzenli olarak uygulanmamaktadır (Şekil 3.4)

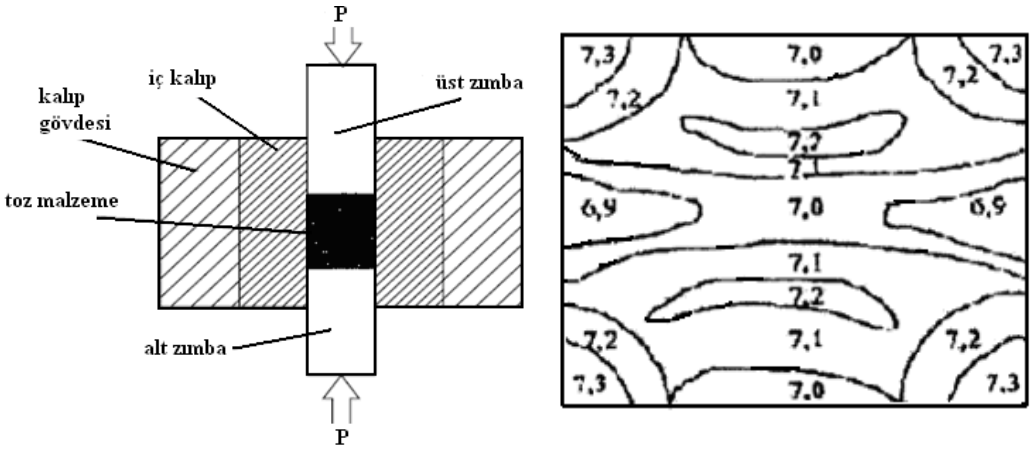


Şekil 3.4. Tek yönlü sıkıştırma kalıbı ve yoğunluk dağılımı [6]

Tek yönlü sıkıştırmada, toz üst zımbanın hareketi ile sabit olan alt zımbaya doğru sıkıştırılır. Bu yöntemde tozlar arası ve toz ile kalıp duvarı arasındaki sürtünme

düzensiz bir basınç dağılımına neden olacağından, sıkıştırılan parçadaki yoğunluk homojen bir dağılım göstermez. Sürtünmeyi en aza indirmek, üniform bir yoğunlaşma elde etmek ve sıkıştırılabilirliği artırmak için yağlayıcılar kullanılır. En çok kullanılan yağlayıcılar çinko stearat, stearik asit ve asetondur [6].

Çift yönlü sıkıştırmada, toz alt ve üst zımbaların birbirine doğru hareketi ile sıkıştırılır. Çift yönlü sıkıştırma ile kalıp içerisinde boydan boya dengeli bir sıkıştırma temin edilir. Bu yöntemle sıkıştırılan parçadaki yoğunluk dağılımı, tek yönlü sıkıştırma ile elde edilen parçaların yoğunluk dağılımından daha homojendir (Şekil 3.5) [6,17].



Şekil 3.5. Çift yönlü sıkıştırma kalıbı ve yoğunluk dağılımı [6]

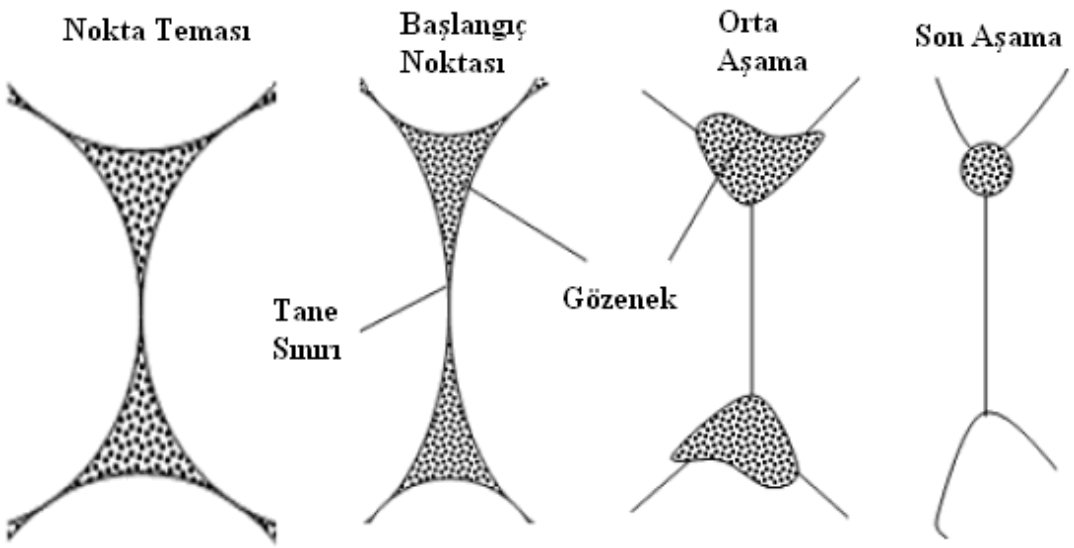
<u>İzostatik sıkıştırma</u>

Toz metal parçalarda daha homojen bir yoğunluk dağılımı elde edebilmek için uygulanan bir yöntemdir. Bilindiği gibi akışkanlarda, bir noktaya etki eden basınç, bütün yönlere aynı değerde iletilir. Bu yöntemde üretilen toz metal parçalar da daha homojen bir yoğunluk dağılımı elde edilebilir. Sıcak veya soğuk olarak yapılabilir. Bu sistemin dezavantajı ise parçanın verilen boyut toleransı içinde tutulmasının güç olmasıdır [6,17].

3.6. Metal Tozların Sinterlenmesi

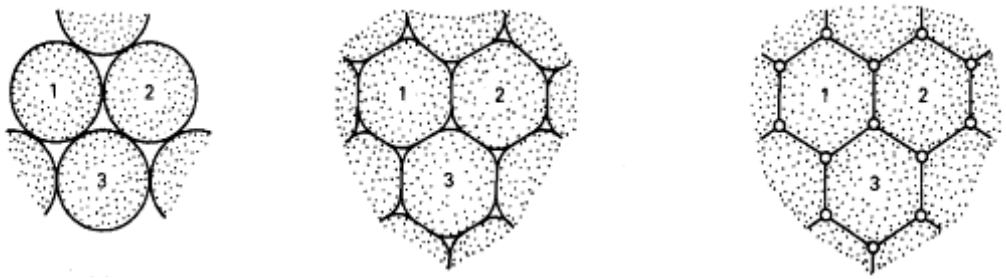
Sinterleme mekanizması tamamen malzemenin taşınımına dayanır ve başlıca atomların yayınması ile viskoz akışı kapsar. Malzemenin taşınımını kolaylaştırmak için işlem ancak yüksek sıcaklıkta gerçekleştirilir. Sinterlemeyi sağlayan itici güç serbest yüzey enerjisindeki azalmadır [48].

Teknik terminolojide sinterleme terimi, metalik veya metalik olmayan anorganik tozlardan oluşan katı ürünlerin ergime sıcaklıklarının 1/2 veya 3/4 üne kadar ısıtılmaları anlamına gelmektedir. Bu işlem esnasında taneler farklı difüzyon mekanizmaları ile bir araya gelirler, zamanla yapı içindeki boşluklar kapanır ve bu nedenle parçada çekmeler oluşur. Sonuçta yoğun bir yapı elde edilir (Şekil 3.6) [51].



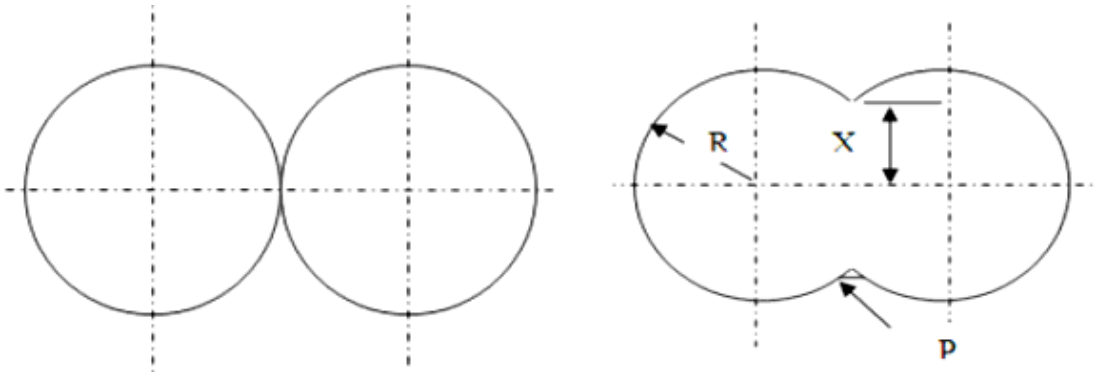
Şekil 3.6. Sinterleme aşamaları

Tozların sinterleme öncesi presleme yoğunlukları sinterleme süresine etki eder. Örneğin sinterleme öncesi presleme ile yüksek yoğunluk verilmiş parçalar daha kısa sürede teorik yoğunluğa erişirler. Sinterleme öncesi yüksek presleme yoğunluğu elde etmek, her zaman ham dayanım ve maliyet açısından pratik ve ekonomik olmayabilir. Çoğu durumda sinterleme karışık şekilli bileşiklerden küresel gereçler üretildiği endüstriyel toz metalurjisi yönteminin son basamağını oluşturur [40].



Şekil 3.7. Sinterleme esnasında preslenmiş parçanın bünyesinde zamanla meydana gelen değişiklikler. Ergime neticesinde partiküller arasındaki boşluklar büyük oranda doldurulmakta) [69].

Sinterleme işlemi sırasında, temas eden parçacıklar arasındaki bağlar kuvvetlenir ve kaynaklaşmalar oluşur. 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. Sıkıştırılmamış tozların sinterlenmesinde oluşan boyun yarı çapının parçacık yarıçapına (X / R) oranının 0,3'ten az olduğu durum sinterlemenin ilk aşaması olarak tanımlanır (Şekil 3.8). Parçalar arasındaki bağ büyürken mikro yapı değişir. Orta kademede ise gözenekler daha düzgün şekillidir ve birbirine bağlı silindirik bir yapıya sahiptir. Orta kademede yüzey ve tane bağları enerjisini kapsayan ara yüzey enerjisinden dolayı sıkıştırma özelliklerinin gelişimi gözlenir. Ara kademeden sonra tane büyümesine bağlı olarak gözenekler birbirinden ayrılabilirler [34]



$P = x^2 / 2R$

Şekil 3.8. Sinterleme sırasında oluşan malzeme transfer mekanizmaları [34]

Sinterlemenin oluşabilmesi için atomların yeterli yayınmaya sahip olması gerekir. Atomik yayınma sıcaklığın bir fonksiyonu olduğundan, sinterleme önemli derecede sıcaklığa bağlıdır. Sinterleme işlemi, yüzey enerjisi ile alakalı olduğundan ince ve düzensiz tozlar için kaba küresel tozlara göre daha çok enerji harcanır [6].

Teknolojide sinterleme esnasında bazı problemlerle karşılaşılır. Bunlar çökme, aşırı yanma, bağlayıcıların yanması, ayrışma reaksiyonları ve polimorfik dönüşümlerin yer almasıdır. Ayrıca sinterleme sırasında tane büyümesi oluşabilir. Bunu önlemek için bazı katkı maddeleri az miktarda karışıma ilave eldir. Sinterleme sıcaklığının çok yüksek tutulması genellikle boşluk absobsiyonuna yol açtığından malzemede şişme meydana getirmektedir [48].

3.6.1. Sinterleme atmosferleri ve etkileri

Sinterleme için gerekli bir atmosfer prensip olarak parçaların ve fırının oksitlenmesini önlemek, yüzey oksitlerini indirgemek, fırında buharlaşan yağlayıcı gazlarını dışarı atmak ve demir karbon alaşımlarında olduğu gibi blok parçaların bileşimini kontrol etmek için kullanılır.

Genellikle bu atmosferler endotermik gaz ve kırılmış amonyaktır. Bununla birlikte saf hidrojen ve ekzotermik gazlarda nadir olarak kullanılır. Atmosferin seçimi, sinterlenecek malzemeye göre tespit edilir. En iyi şartları sağlayacak atmosfer seçilirken ekonomiklik ve güvenirlik gibi diğer faktörlerde hesaba katılır [6].

3.7. TM Uygulamaları

T/M uygulamaları çok çeşitlilik göstermektedir. Talaşlı imalat gerektirmeyen makine parçaları, sinterlenmiş sert mamuller, elektrik kontakları, metallografitik kömürler, manyetik sinter mamuller, kaymalı yataklar, gözenekli metaller ve diş amalgamları gibi çok değişik alanlarda uygulama imkânı bulmaktadır [34].

TM usullerinden faydalanılması başlıca iki sebebe dayanmaktadır. W gibi sert ve tatminkar bir iletkenliğe sahip olan refrakter metaller enteresan kontak malzemelerdir. Fakat bunları ergitme ve döküm yolu ile sünek halde elde etmek teknik bakımdan imkansızdır. Cu ve grafit, Ag ve W gibi pratik olarak birbiriyle birleşemeyen metal ve metalloidlerin iki temel malzemenin elektrik ve mekanik özelliklerini birleştirme arzusudur.

Toz metal yataklar ise TM'nin en önemli uygulama alanlarından birisidir. Yatak elemanında gözenekler yağ deposu görevi yaparlar. Gözenekli yataklar bronz, alüminyum veya demir alaşımları halinde üretilirler. Tozdan son şekle hiçbir talaşlı imalat gerektirmeden geçildiği için TM teknikleri yumuşak magnetik malzemelerin ve mıknatısların üretimin de büyük ekonomi sağlamaktadır. Kutup parçaları, röle göbekleri ve bilgisayar yazıcıları gibi yumuşak magnetik malzemeler demir, demir silikon, demir-fosfor ve demir-nikel alaşımları tozlardan üretilmektedir [7].

4. KOMPOZİTLERDE AŞINMA

Teknikte aşınma denilince, katı cisimlerin yüzeylerinden çeşitli etkenlerle sürekli malzeme kayıplarının ortaya çıkması anlaşılmaktadır. Alman DIN normuna göre (DIN 50320-1979) aşınma, "Kullanılan malzemelerin başka malzemelerle (katı, sıvı, gaz) teması neticesinde mekanik etkenlerle yüzeyinden küçük parçacıkların ayrılması sonucu meydana gelen ve istenmeyen yüzey bozulmasıdır" [27].

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. 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 [46].

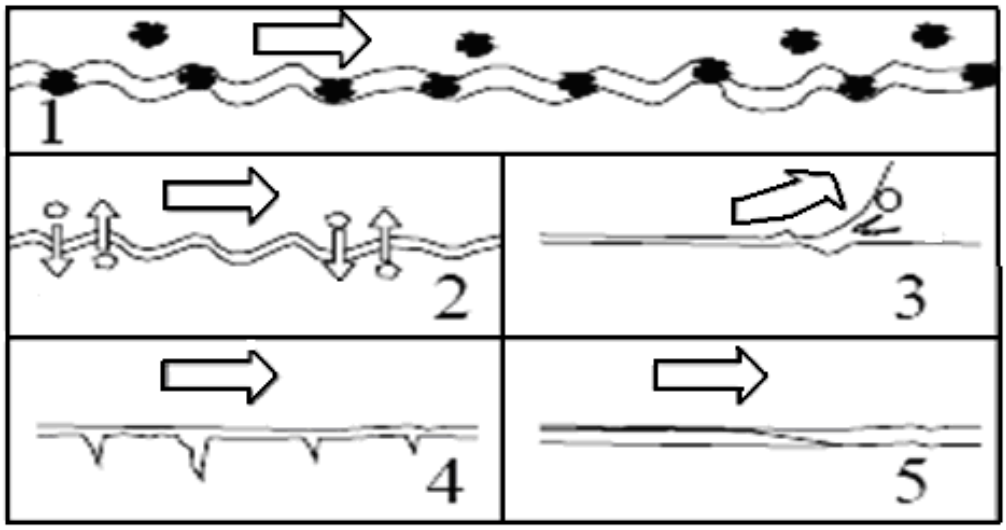
Aşınma endüstride en çok karşılaşılan sorunlardan bir tanesidir. Genellikle pek tehlikeli olmamakla birlikte güç iletimini zorlaştırdığından çalışma verimini düşürmektedir. Aşınma ile malzeme kaybının işletme maliyetlerini yüksek mertebelerde etkilemesi, konstrüksiyon elemanlarının aşınma davranışının bilinmesini akademik olduğu kadar pratik anlamda da her zaman önemli kılmaktadır. Analizler, makine parçalarının bozulmalarının %75'inin, sürtünen yüzeylerin aşınması sonucu olduğunu göstermiştir. Bu durumda makinelerin ömürlerinin uzamasında önemli etkenlerden biri olarak, malzemelerin aşınma mukavemetlerinin artırılması sayılmalıdır. Yapılan araştırmalarda görülmüştür ki MMK'ler yağlamalı kayma şartlarında fibersiz alaşıma göre üstün aşınma dayanımı göstermiştir. Aşınma direnci malzemenin yalnızca içyapısına değil aynı zamanda malzemenin maruz kaldığı şartlara da son derece bağlıdır [27,70].

Aşınmanın yüksek olduğu ve yağlamanın yetersiz olduğu yerlerde aşınma direnci yüksek özellikli malzemeler kullanılarak malzeme ömrü uzatılmaktadır. MMK' ler

bu durumda araştırmacıların dikkatini çekmektedir. MMK'ler iyi aşınma ve sürtünme özelliklerinden dolayı piston, silindir gömleği, fren disk, şaft ve biyel kolu gibi otomotiv ve uçak sanayinde, uzay antenler, elektrik kontaktörleri gibi aşınmanın fazla olduğu yerlerde uygulanabilmektedir [71].

Kompozit malzemelerde takviye elemanlarının kullanılması yumuşak yapı içerisinde sert fazlar oluşturarak, hem aşınma hem de tokluğu artırmaktadır. Aşınma direnci sert partiküllerin miktarına, boyutuna, dağılımına ve matris ile takviye elemanlarının sertliğine ve kırılma tokluğuna bağlı olarak değişmektedir. Kompozitlerin kayma aşınma direnci sadece temas eden yüzeyler arasındaki mekanik özelliklere değil termal ve kimyasal etkileşime de bağlıdır [14,45].

Aşınma yağlı aşınma ve yağsız aşınma diye iki sınıfa ayrılır. Ayrıca sürtünen metal yüzeylerin durumuna göre de türlere ayrılır. Metal metale, metal metal dışı aşındırıcılara, metale sıvı çarpması gibi. Şekil 4.1'de metallerin işlenmesinde karşılaşılan temel aşınma mekanizmaları görülmektedir.



Şekil 4.1. Metallerin işlenmesinde karşılaşılan temel aşınma mekanizmaları;
1. Abrasiv aşınma, 2. Difüzyon aşınması, 3. Oksidasyon aşınması, 4. Yorulma aşınması, 5. Adhesif aşınma [6].

Malzemelerde meydana gelen yıpranma olayının aşınma sayılabilmesi için aşağıda belirtilen şartların tamamının sağlanması gerekir.
- Sürtünmenin olması (izafi hareket),
- Mekanik bir etkinin olması,
- Hareketin yavaş fakat sürekli olması,
- Malzemenin yüzeyinde değişiklik meydana getirmesi,
- Olayın istek dışı gerçekleşmesi [69].

Sistem elemanlarının nem ve korozif etkenlere maruz kalması aşınmayı hızlandırır. Aşınma, çeşitli yönleri ile korozyona benzer. Bu iki hasar tipi de zamanla kendiliğinden gelişir, her ikisinin de oluşumu önceden bir derecede bilinebilir, her ikisinin de çeşitli tipleri vardır. Aşınma da korozyon gibi bir yüzey olayı olduğundan, yüzeyi etkileyen her şey aşınma davranışını da etkiler [27].

Hem sürtünme hem de aşınma aynı tribolojik temas prosesinin sonucu olarak bir arada meydana gelirler. Genellikle düşük sürtünmenin düşük aşınmaya, yüksek sürtünmenin yüksek aşınmaya sebep olduğunu deneysel sonuçlar göstermektedir. Fakat bu durum genel bir kural değildir. Normal aşınma şartlarında birden fazla temel aşınma mekanizmasının aynı anda etki ettiği durumlara sıkça rastlanır [8].

4.1. Aşınmayı Etkileyen Faktörler

Aşınmaya erki eden faktörler genel olarak 4 başlık altında toplanabilir. Bunlar,
1- Ana malzemeye bağlı faktörler
- Malzemenin kristal yapısı
- Malzemenin sertliği
- Elastisite modülü
- Deformasyon davranışı
- Yüzey pürüzlülüğü
- Malzemenin boyutu
2- Karşı malzemeye bağlı faktörler ve aşındırıcının etkisi
3- Ortamın etkisi

- Sıcaklık
- Nem
- Atmosfer

4- Servis koşulları

- Basınç
- Hız
- Kayma yolu [27].

4.1.1. Ana malzemeye bağlı faktörler

Aşınmanın meydana geldiği koşullar göz önünde bulundurularak aşınmaya dayanıklı malzeme seçimi yapmak gerekir. Mikro yapıda bulunan fazlar ve tane boyutu mekanik özellikleri yüksek derecede etkileyen önemli bir faktördür [7].

Malzemenin sertliği ile aşınma direnci arasındaki ilişki belli bir düzeye kadar doğrusal değişim gösterir. Yani sertliğin artması ile aşınma direncide artar. Ancak belli bir değerden sonra sertlik artışı ile aşınmaya karşı direnç artışı görülmez [34].

Elastiklik modülü veya akma sınırı yüksek olan malzemelerde gerçek temas alanı azalmaktadır. Bu durumda yüzeye etki eden yük, sadece pürüzlerin temas ettiği noktalardan desteklenir ve yüzey alanının küçük bir kısmı yükü taşır. Uygulanan yükü sabit olarak kabul edersek pürüzlere gelen yük daha fazla olacağından, deformasyonla birlikte kaynak bağları oluşumu artacaktır. İzafi hareketin etkisiyle oluşan kaynak bağlarının kopmasıyla aşınma artacaktır [69].

Yapılan araştırmalarda, toprak işleme aletlerindeki kesici ağızların zamanla parabolik bir şekil aldığını ve parabolik şeklin aşınmaya karşı daha dirençli olduğunu bulmuştur. Geometrik kesiti ideal daireye yakın olan numunelerin daha az aşındığını ve aşınma sonucunda ideal daireye yaklaşma olduğunu tespit etmiştir [7].

4.1.2. Karşı malzemeye bağlı faktörler ve aşındırıcı etkisi

Katı cisim, sıvı veya gaz olabilir. Karşı sürtünme elemanı ile temel sürtünme elemanı bir "aşınma çifti" oluştururlar. Temel sürtünme elemanı ile karşı sürtünme elemanı arasında katı, sıvı, gaz, buhar veya bunların karışımı şeklinde bir cisim bulunabilir. Örneğin; yüzey arasına girmiş kum taneleri veya aşınma esnasında yüzeylerden kopan parçacıklar da ara madde olarak düşünülebilir [72].

Aşınma deneylerinde çok çeşitli aşındırıcılar kullanılır. Alüminyum oksit (Al_20_3) aşındırıcı taneleri sert ve keskin köşelidir. Silisyum karbür (SiC) aşındırıcı taneleri ise daha sert ve keskin köşeli olmalarına rağmen, alüminyum oksit aşındırıcılara göre aşırı derecede kırılgandırlar [34].

4.1.3. Ortamın etkisi

Vakumsuz bir ortamda gerçekleşen olayda sıcaklık, nem ve atmosfer aşınma üzerinde etkisi olan çevre etkenleridir. Etki eden yükün (kuvvetin) büyüklüğü, şekli (statik, dinamik, darbeli, titreşimli vs.), doğrultusu ve zamana göre değişimi yüklemeyi meydana getirir [69,72].

4.1.4. Servis koşulları

<u>Basınç</u>

Aşınma sistemi içerisinde aşınma yüzeyinin maruz kalacağı basıncın büyüklüğü, birim yüzeye uygulanan kuvvetin büyümesini sağlayacağından, aşınmanın artmasına sebep olacaktır. Araştırmacıların birçoğu kritik bir yükleme miktarına kadar yükün artışı ile hacimsel aşınmanın orantılı bir değişim gösterdiğini açığa çıkarmıştır. Kritik yükleme miktarı, aşınma yüzeyinin soğuk deformasyonla, sertliğin belli bir oranda arttığı değer olarak belirlenmiştir [7].

Hız

Temel sürtünme elemanının karşı sürtünme elemanına göre izafi hareketinin cinsi (kayma, yuvarlanma, çarpma vs.), büyüklüğü, doğrultusu ile verilen bir etkendir [72].

Kayma yolu

Aşınmanın meydana gelmesinde aşınma miktarının belirlenmesinde hareket süresi belirli bir unsurdur. Bu faktörlerden birinin değişmesi aynı zamanda diğer faktörleri de değiştireceğinden sistem üzerinde kompleks bir etki doğacaktır. Bütün teorik ve uygulamalı çalışmalar kayma yolu ile aşınma miktarının orantılı olduğunu belirtmektedir. Kayma hızının artmasıyla hacimsel aşınmanın yavaş olarak arttığını belirlemişlerdir [7,72].

4.2. Aşınma Türleri

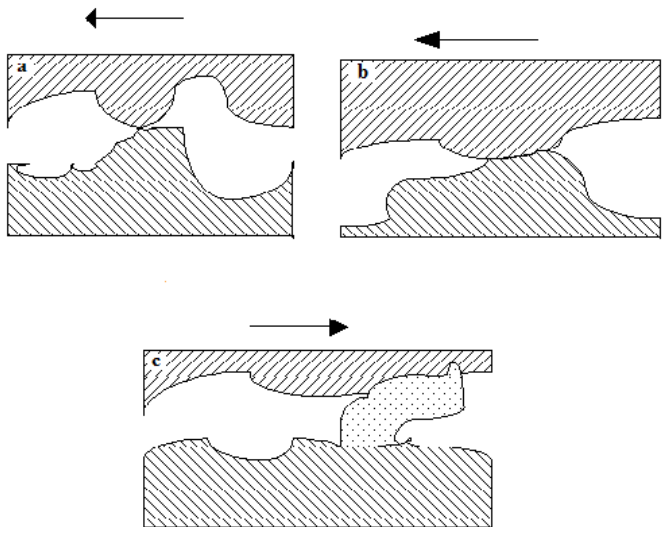
4.2.1. Adhesif aşınma

Benzer kafes yapısına sahip iki metalin, yüzeyleri arasında adhezyon kuvveti söz konusudur. Bu kuvvetin oluşması moleküllerin yaklaştırılmasına bağlıdır. Ovalanma, sürtünme veya kavrama olarak da bilinen adhesif aşınma iki metal yüzeyi, bir başka basınç altında birbiri üzerinde kaydığında oluşur. Yüzey çıkıntısı veya pürüzlülüğü plastik olarak deforme olur ve sonunda bölgesel yüksek basınçla birlikte kaynaklanır. Kayma devam ettiğinde bu bağ kırılır, bir yüzeyde boşluklar ikinci yüzey üzerinde çıkıntılar ve yapışkan parçacıklar, bunların hepsi yüzeylerin daha da aşınmasına katkıda bulunur [3,15].

Eğer adhezyon ile oluşan bağ kuvveti pürüz mukavemetinden daha düşükse, pürüz temas noktalarından kopar ve hiçbir malzeme kaybına neden olmaz. Eğer aksi olursa, yani adhezyon bağın mukavemeti, pürüz mukavemetinden büyük olursa, bu durumda

pürüz kopar ve malzeme kaybına neden olur. Kırılan parçalar ara yüzeyde serbest kalacağı gibi metallerden birine bağlı kalarak taşınabilirler.

Aşınma kuvvetinin meydana gelebilmesi için malzemelerin moleküllerini birbirine yaklaştırmak gerekir, zaten temas halindeki yüzeyler pürüzler vasıtasıyla etkilenirler, dış kuvvetlerin etkisiyle pürüz tepelerine gelecek basınç ve gerilmeler nedeniyle pürüzler plastik deformasyona uğrayacaklardır. Eğer malzemenin deforme olma kabiliyeti çok yüksek ise, mikro adhezyon alanları temas yüzeyine tamamen yayılacaktır. Dolayısıyla yüzeyde absorbe edilmiş sıvı veya gaz molekülleri ve oksit tabakaları parçalanacaktır. Bu sebeple bir parçadan diğerine malzeme geçişi, soğuk kaynaklaşma ve küçük parçacıkların kesilmesi meydana gelir (Şekil 4.2) [69].



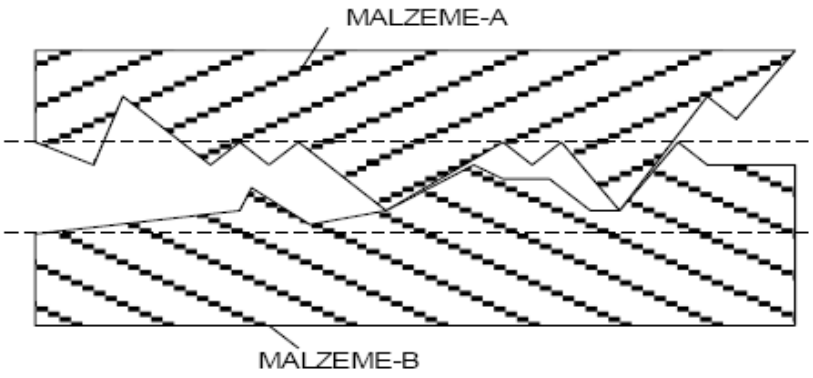
Şekil 4.2. Adhesif aşınmanın meydana gelişinin şematik olarak gösterimi, a) İki çıkıntının buluşması ve bağ oluşumu. b) Bağın koparak bir yüzden diğerine malzeme transferinin oluşumu. c) Uzamış olan çıkıntının diğer yüzeydeki çıkıntıyla etkileşimi sonucunda da yüzeyde kırıntı oluşumu [46].

Aşınma teorisinde, aşınmayı önlemek için tek yolun, çalışan yüzeyleri birbirinden ayırmak olduğudur, fakat diğer bir özellikte bir malzemenin aşınması istenerek balatalarda olduğu gibi diğer malzemenin mümkün olduğu kadar korunmasını sağlamaktır [7].

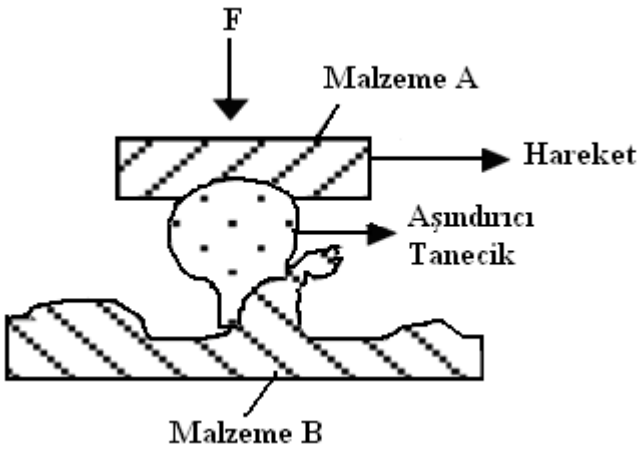
4.2.2. Abrasiv aşınma

Abrasiv aşınma malzeme sert parçacıkların teması ile yüzeyden uzaklaştırıldığında olur. Yüksek sertlik ve yüksek sıcak dayanıma sahip malzemeler bu tür aşınmaya karşı çok dirençlidir. Triboloji bir sürtünme sistemi içerisinde sert malzemenin yumuşak karşıtını çizerek aşındırmasıdır. Sürtünme aşınmasında yumuşak malzeme mikro sabanlama, mikro talaş kaldırma, mikro kırılma ve mikro yorulma yoluyla aşınır [6,15].

Sürtünen iki yüzey arasına dışarıdan giren ya da, iki yüzey arasında oksitlenmeden dolayı meydana gelen daha sert bir maddenin yüzeylerde yaptığı hasar olarak tanımlanır. İki kısımlı abrasiv aşınmaya sürtünen yüzey üzerindeki sert tümsekler sebep olur (Şekil 4.3). Fakat üç kısımlı aşınmada kayan yüzeyler arasında serbestçe yuvarlanan ve kayan sert partiküller bulunur (Şekil 4.4). Abrasiv aşınmayı izah etmek için bazen kullanılan terimler ise "yüksek gerilim abrazyonu" ve "düşük gerilim abrazyonu" dur. Yüksek gerilim abrazyonun da abrasiv partiküllerin kırılma dayanımı aşılır, dolayısıyla aşınma sırasında bu partiküller kırılır. Düşük gerilim abrazyonun da partiküller kırılmadan kalır. Bazı durumlarda sert partiküllerin yüzeye çarpması aşınmaya sebep olur. Bu tür aşınmada sert partiküller yüzey üzerine ya bir gaz akışı veya bir sıvı akışı ile taşınır. Bu tip aşınmaya erozyon denir [7,34].



Şekil 4.3. İki elamanlı abrasiv aşınma [46].



Şekil 4.4. Üç elamanlı abrasiv aşınma[46].

Abrasiv aşınma; bir yüzeyin temas halinde bulunduğu diğer yüzeyden daha sert olduğu durumlarda veya temas bölgesinde sert taneciklerin bulunduğu durumlarda meydana gelir. Abrasiv aşınmayı etkileyen iki temel faktör, aşındırıcı partikül ile metal yüzeyi arasındaki sertlik farklılığı ve teması meydana getiren basıncın büyüklüğüdür. Abrasiv 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 [8,27].

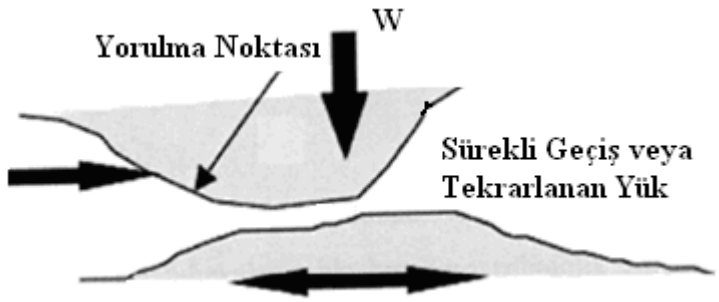
4.2.3. Oksitlenme aşınması

Pek çok malzeme için oksitlenme oldukça farklı olmakla beraber, metalin malzemelerin çoğu için yüksek sıcaklık ve havanın varlığı oksidasyon anlamına gelmektedir. Sürtünme etkisi yüzeyde yüksek sıcaklıkların meydana gelmesine neden olur ve bu sıcaklık artışı kimyasal reaksiyonların sebep olduğu çatlak oluşumunu arttırır. Hava çalışan iki yüzey kenarlarından ve abrasiv aşınmanın neden olduğu kanallardan içeri girme imkânı bulur. Bu tür aşınma yüksek sıcaklık ve dış havayla temas gerektirdiğinden daha çok kuru kayma aşınmasında meydana gelir [3,8,34].

Malzeme yüzeyinin hava ile reaksiyona girerek oluşturduğu yüzey tabakaları (oksit tabakası) aşınmayı azaltmasına rağmen bu yüzey tabakalarının tribooksidasyon sonucu özelliklerinin değişmesi aşınmayı hızlandırmaktadır [27].

4.2.4. Yorulma aşınması

Makine parçalarında tekrarlanan yüklere maruz kalmaları veya düşük düzeyli titreşimden dolayı zamanla yorulma meydana gelir. Özellikle yüzeylerin sürekli ve değişken yüklere maruz kalmaları, yüzeyin hemen altında yorulma çatlakları oluşmasına neden olur. Bu küçük çatlaklar zamanla ilerleyerek, malzemenin yüzeyinden pulcuk şeklinde parçacıkların kopmasına sebep olur (Şekil 4.5). Bu şekilde meydana gelen aşınmaya yorulma aşınması denir [7].



Şekil 4.5. Yorulma aşınmasının şematik gösterimi [46].

Yorulma aşınması, genellikle termo-mekanik bir kombinasyondur. Sıcaklık dalgalanmaları ve karşılıklı kaymanın sık sık durup başlaması neticesinde çalışan yüzeylerin kenarlarına düşen yüklerdeki değişimden dolayı kenarlarda çatlaklar ve kırılmalar oluşur. Yorulma büyük bir çatlağın orijinini başlatabilir ve malzeme yüzeyinden taneciklerin kopmasını sağlayabilir [34].

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 [72].

4.2.5. Difüzyon aşınması

Difüzyon aşınmasında, yüzeylerin karşılıklı çalışması sırasında oluşan kimyasal olaylar daha etkili olmaktadır. Karşılıklı çalışan malzemelerin kimyasal özellikleri ve karşılıklı malzemeyle olan birleşme eğilimleri difüzyon aşınması mekanizmasının oluşmasını sağlamaktadır. Karşılıklı çalışan malzemelerin sertliği bu aşınmada çok fazla etkili olmamaktadır. Mekanizma daha çok sıcaklığa bağlıdır ve bu sebeple yüzeyler arasında yüksek basınç ve yüksek kayma hızlarında daha fazla olmaktadır [34].

Sürtünme sırasında açığa çıkan ısı nedeni ile yüzey sıcaklığının yükselmesi durumunda, sürtünme yüzey bölgesinden atom veya moleküllerin çevreye yayılması ve karşı sürtünme elemanı içine girmesi (difüzyon) seklinde oluşan bir aşınma mekanizmasıdır [64].

4.2.6. Erozif aşınma

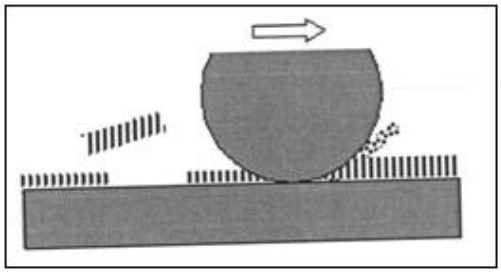
Erozif aşınma ise, aşındırıcı tozların askıda durduğu sıvı veya hava gibi akışkan bir ortam vasıtasıyla malzeme yüzeyine çarpma etkisiyle gerçekleşmektedir. Her bir temas malzeme yüzeyinden küçük bir parçanın kaybına neden olmaktadır. Normal şartlar altında aşınma hızı düşüktür; ancak yüksek sıcaklıklarda, malzemenin akma dayanımı düşmekte ve yüksek akış hızlarında erozif aşınma hız kazanmaktadır [7,69].

Aşındırıcı parçaların büyüklüğü, hızı, şekli, çarpma açısının değeri, erozyon aşınma mekanizmasını etkileyen en önemli faktörlerdir [72].

4.2.7. Tribo-oksidasyon aşınması

Malzemelerin izafi hareketi sırasında, statik ve dinamik sürtünme kuvvetlerinin farklılık göstermesi sebebiyle düşük kayma hızlarında yüzeyler arasında titreşimler meydana gelir. Bu titreşimler yüzeyler arasında bir oksit filminin oluşmasına yol

açar. Bu olaya tribolojik zorlanma esnasında meydana gelmesinden dolayı sürtünme oksidasyonu veya tribo-oksidasyon denir [7].



Şekil 4.6. Tribo-oksidasyon aşınmasının meydana gelişi [72].

Korozif aşınma adı verilen tribo-oksidasyon aşınması durumunda, ana malzeme ile karşı malzeme arasındaki tribolojik zorlanmalardan dolayı meydana gelen kimyasal reaksiyon etkilidir (Şekil 4.6). Malzeme yüzeylerinin hava ile reaksiyona girerek oluşturduğu yüzey tabakaları aşınmayı azaltmasına rağmen bu yüzey tabakalarının tribooksidasyon sonucu özelliklerinin değişmesi aşınmayı hızlandırmaktadır [72].

4.2.8. Kazıma aşınması

Kazıma, korozyonla desteklenen aşınma türleri arasında çok yaygın olan bir aşınma türüdür. Yük altında birbirine temas eden iki yüzey arasında hafif titreşimli hareket sebebiyle oluşmaktadır ve oksit kalıntıları tarafından çevrelenen yüzeyde oyuklanma gibi kendi kendini geliştirir. İki metal yüzey birbirine temas ettiği zaman, yük altında yüzeyde bulunan düzensizlikler sebebiyle yapışma oluşur. Yüzeyde bu yapışma noktalarından koparak kaynaklanmış alanlarda aşınma ürünü kırıntılar yer alır. Bu parçalar çok küçüktür ve oksitlenmek için gerekli ısıya ulaşmış durumdadır. Bu oksit kalıntıları küçük hareketlerin oluşması sebebiyle uzaklaştırılamazlar. Bu parçacıkların abrasiv karakterli olmaları sebebiyle, malzeme oldukça etkili aşınma hızına ulaşmaktadır [69].

4.3. Aşınma Ölçme Ve Değerlendirme Yöntemleri

Daha önceden bahsettiğimiz gibi aşınmada esas olan sabit kayma hızında ve sabit basınç (kuvvet) altında, kütlesel aşınma kaybının kayma yoluna göre tespit edilmesidir. Ayrıca, aşınma süresince, sürtünme kuvveti veya katsayısı, aşınma partiküllerinin şekli, aşınan yüzey sıcaklığı ve yüzey oksidasyonu ile yüzey sertlik değişimleri de değişken olarak kullanılmaktadır [69].

Aşınma deney yöntemlerini genel olarak iki grupta toplamak mümkündür
-Yağlamalı ve yağlamasız bir ortamda ana ve karşı malzemenin (metal-metal) aşınma değerlerinin ölçüldüğü testler.
-Katı, sıvı ve gaz halinde ki maddelerin etkisi altında yalnız karşı malzemenin aşınma değerinin ölçüldüğü testler.

Aşınma ölçümlerinde ağırlık farkı, kalınlık farkı, iz değişimi ve radyoizotop metotları gibi metotlar kullanılmaktadır. Bir sürtünme sisteminde, aşınma miktarlarını ölçmek için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Sürtünme elemanlarının malzeme özelliklerine ve sistemin yapısına bağlı olarak yöntem seçimi yapılmalı veya beklenenleri yerine getirecek şekilde yöntem kombinasyonu geliştirilmesi yoluna gidilmelidir [46].

Ekonomik olması ve ölçülen büyüklüğün alet duyarlılık kapasitesi dahilinde bulunması sebebiyle en çok kullanılan yöntem ağırlık kaybı yöntemidir. Deney numunelerinin her ölçümü için numunenin yerinden çıkarılıp ölçüm yapılması, yani numunenin yerindeyken üzerinden ölçü alınamaması, bu yöntemin dezavantajıdır.

Kalınlık farkı metodu aşınma esnasında oluşacak boyut değişikliğinin ölçülmesi, başlangıç değeriyle karsılaştırılması suretiyle elde edilir. Kalınlık farkı olarak tespit edilen bu değerden gidilerek hacimsel kayıp değeri ve birim hacimdeki aşınma miktarı hesaplanır.

İz değişimi metodunda ise sürtünme yüzeyinde plastik deformasyon metodu ile geometrisi belirli bir iz oluşturur. Deney boyunca bu izin karakteristik bir boyutunun (çapının) değişimi ölçülür. Uygulamalarda iz bırakıcı olarak en çok kullanılan alet Viskers veya Brinell sertlik ölçme ucudur. Elmas piramit veya bilyenin numune üzerinde bıraktığı iz boyutlarındaki değişme mikroskop vasıtasıyla ölçülerek belirlenir [69].

5. DENEYSEL ÇALIŞMA

5.1. Malzeme

Bu çalışmada % 99,7 saflıkta, gaz atomizasyonu yöntemi ile üretilmiş, ortalama toz tane boyutu 56,95 μm olan, ECKART Dorn firmasından temin edilen "ECKA Alüminyum AS 91/S" kodlu Al tozu matris malzemesi olarak kullanılmıştır. Takviye elemanı olarak ise saflık derecesi % 99,52 ve toz tane boyutu 45 μm altı Al_2O_3 tozu kullanılmıştır.

Yapılan çalışmada tozların ve blok numunelerin tartı işlemleri, karıştırma uygulamaları, blok numunelerin sinterlenmesi, aşınma deneyleri, sertlik ölçümleri, metalografik muayene, optik ve elektron mikroskop çalışmaları Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümü laboratuarlarında gerçekleştirilmiştir. Toz tane boyutu ölçümleri ise Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü laboratuarında gerçekleştirilmiştir.

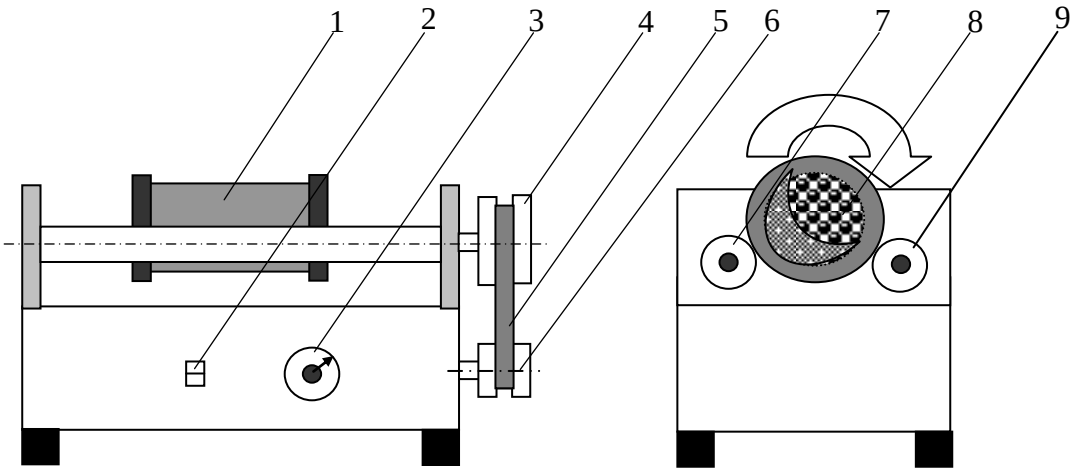
5.2. Karışım Tozların Hazırlanması

Bu çalışmada ağırlıkça % 10 Al_2O_3 içeren üç ayrı karışım toz hazırlanmıştır. Bu karışım tozlar hazırlanırken homojen dağılımı sağlamak amacı ile üç farklı karıştırma tekniği uygulanmıştır. Tozların hazırlanma koşulları Çizelge 5.1'de verilmiştir.

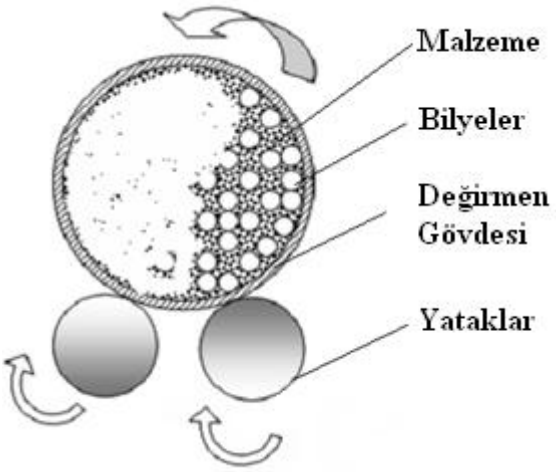
Çizelge 5.1. Karışım tozların hazırlanma koşulları

Karıştırma Tekniği		**Numune**	**Yağlayıcı**	**Bilye/Toz Oranı**	**Süre**
Döner Değirmende Karıştırma	DK	%10Al_2O_3 + Al	–	2/1	4 saat
Turbola Cihazında Karıştırma	TK	%10Al_2O_3 + Al	–	–	4 saat
Mekanik Alaşımlama	MA	%10Al_2O_3 + Al	% 1 Çinko stearat	2/1	4 saat

Karıştırma işlemlerinde döner değirmen, turbola cihazı ve mekanik alaşımlama olmak üzere üç ayrı teknik kullanılmıştır. Birinci kısım karıştırma işlemi döner değirmende (Şekil 5.1) 300 gr bilye kullanılarak 4 saat süre ile yapılmıştır. Döner değirmende karıştırma ile toz üretiminin şematik görünüşü Şekil 5.2'de verilmiştir.



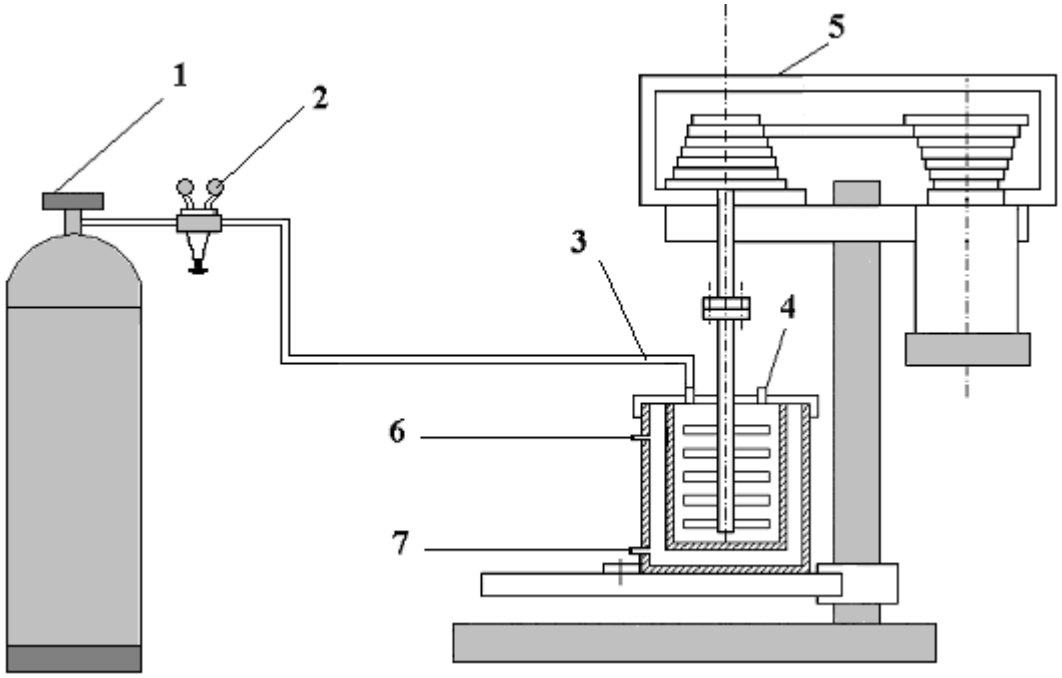
Şekil 5.1. Döner değirmen; 1-Döner silindir, 2-Açma kapama düğmesi, 3 Devir ayar düğmesi, 4-Kasnak, 5-Kayış, 6-Motor mili, 7-Serbest mil, 8-Öğütücü bilyeler, 9-Hareketli mil [73]



Şekil 5.2. Döner değirmende karıştırma [17]

İkinci toz karışım turbola cihazında bilyesiz 4 saat süre ile üç boyutlu olarak karıştırılmıştır. Üçüncü karışım toz ise mekanik alaşımlama atritöründe 300 gr çelik

bilye ile 4 saat süreli karıştırma işlemine tabi tutulmuştur. Alaşımlama esnasında alüminyum tozların bilyelere, atritör kazan yüzeylerine ve karıştırıcı kollara sıvanmasını önlemek için karışım toza ağırlıkça % 1 oranında çinko stearat yağlayıcı olarak eklenmiştir. Ayrıca alaşımlama esnasında aşırı ısınmayı önlemek için sistem sürekli olarak su ile soğutulmuş ve alaşımlama süresince alüminyumun oksitlenmesini engellemek için atritör kazanı içerisinden argon gazı geçirilmek suretiyle ortam inert hale getirilmiştir. Mekanik alaşımlama işleminde kullanılan atritörün şematik görünüşü Şekil 5.3'de verilmiştir.



Şekil 5.3. Mekanik alaşımlama atritörü 1. Argon tüpü 2. Manometre 3. Argon girişi 4. Argon çıkışı 5. Kayış-kasnak tertibatı 6. Soğutma suyu girişi 7. Soğutma suyu çıkısı

5.3. Karışım Tozların Karakterizasyonu

Üç farklı karıştırma işlemi sonrası elde edilen % 10 Al_2O_3 + Al karışım tozlardan numuneler alınarak Malvern Master Sizer-E Ver. 1.2b cihazında toz tane boyutları ölçülmüştür. Ölçüm sonuçları Çizelge 5.2'de verilmiştir.

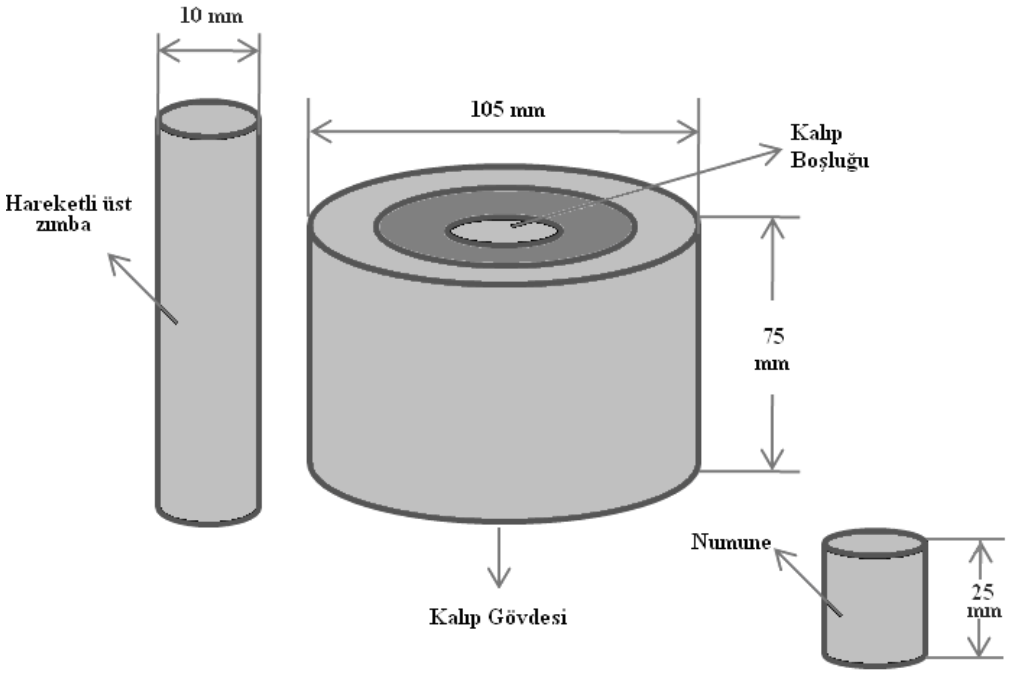
Çizelge 5.2. Karıştırma işlemleri sonrası ortalama toz tane boyutları

Karıştırma Tekniği	Değirmende karıştırma	Turbola cihazında karıştırma	Mekanik Alaşımlama
Ortalama Toz Tane Büyüklüğü (μm)	69,73	72,28	68,68

Numunelerin toz tane şekilleri metalografik inceleme ile belirlenmiştir. Numuneler reçine içerisine soğuk olarak gömülüp 400, 600, 800 ve 1200'lük zımparalar ile zımparalandıktan sonra 6-3 ve 1 mikronluk elmas pasta ile numune yüzeyleri parlatılarak metalografik incelemeler için hazır hale getirilmiştir. Parlatma sonrası numunelerin optik mikroskopta toz tane şekilleri incelenerek fotoğrafları çekilmiştir. Bu inceleme ile karıştırma işlemi öncesi ve sonrası tozların orijinal parçacık morfolojilerinin karıştırma tekniğine göre değişimi ortaya konmuştur.

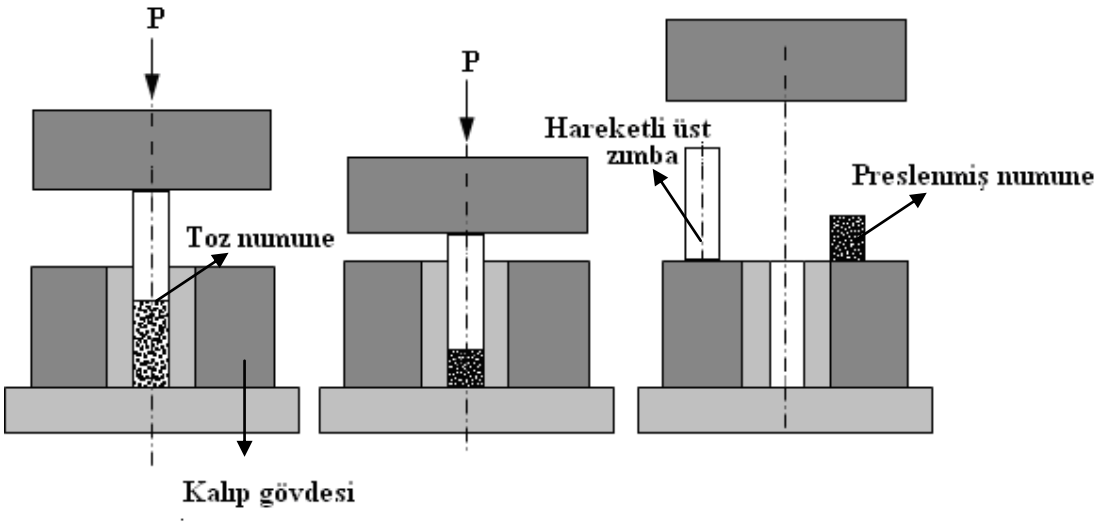
5.4. Tozların Preslenmesi

Numuneler çekme cihazında 500 MPa presleme basıncı ve 2 kN/s presleme hızı ile tek yönlü olarak preslenmiştir. Yapılan uygulamalar sonunda çapı 10 mm ve boyu 25 mm olan numuneler üretilmiştir. Presleme de kullanılan kalıbın şekli şematik olarak Şekil 5.4'de verilmiştir. Presleme işlemi sırasında numunelerin kalıp yüzeyine sıvanmaması için saf alkol ve çinko stearat karışımı kalıp yüzeylerine yağlayıcı olarak kullanılmıştır.



Şekil 5.4. Preslemede kullanılan kalıp

Üç farklı karıştırma tekniğiyle hazırlanan karışım tozlardan 25'er adet olmak üzere 75 adet blok numune preslenmiştir. Ayrıca saf Al tozlardan da aynı şartlarda 18 adet numune preslenmiştir. Presleme aşamaları şematik olarak Şekil 5.5'de verilmiştir.



Şekil 5.5. Blok numunelerin presleme aşamaları

Presleme sırasında kalıp içerisine yüklenecek karışım toz miktarı aşağıdaki şekilde 5,534 g olarak hesaplanmıştır:

Blok numune hacmi $= (\Pi . r^2) . h$

$= 3,14 . 5^2 . 25$

$= 1962,5\ mm^3 = 1,9625\ cm^3$

%10 Al_2O_3 + % 90 Al karışım oranı için;

Ortalama yoğunluk $= 2,70 . 0,90 + 3,97 . 0,10$

$= 2,82\ g/cm^3$ (Teorik yoğunluk)

Kalıba konacak karışım tozun ağırlığı;

Ağırlık $= 1,9625 . 2,82$

$= 5,534$ g

5.4.1. Blok numunelerin ham yoğunluklarının ölçülmesi

Farklı karıştırma tekniğiyle aynı sürelerde karıştırma işlemi gören ve preslenen 9 adet numunenin presleme sonrası ham yoğunluk değerleri 0,001 g hassasiyetteki üzerinde yoğunluk kiti bulunan hassas terazide ölçülmüştür. Her karışım numuneden 3'er tane yoğunluk ölçümü yapılarak ortalama değeri alınmıştır. Yoğunluk ölçme kitiyle ham yoğunluk ölçmede izlenen yol şu şekildedir:

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

• Numunenin havadaki ağırlığı ölçülerek (w) darası alınır (Numune üst kefede iken).

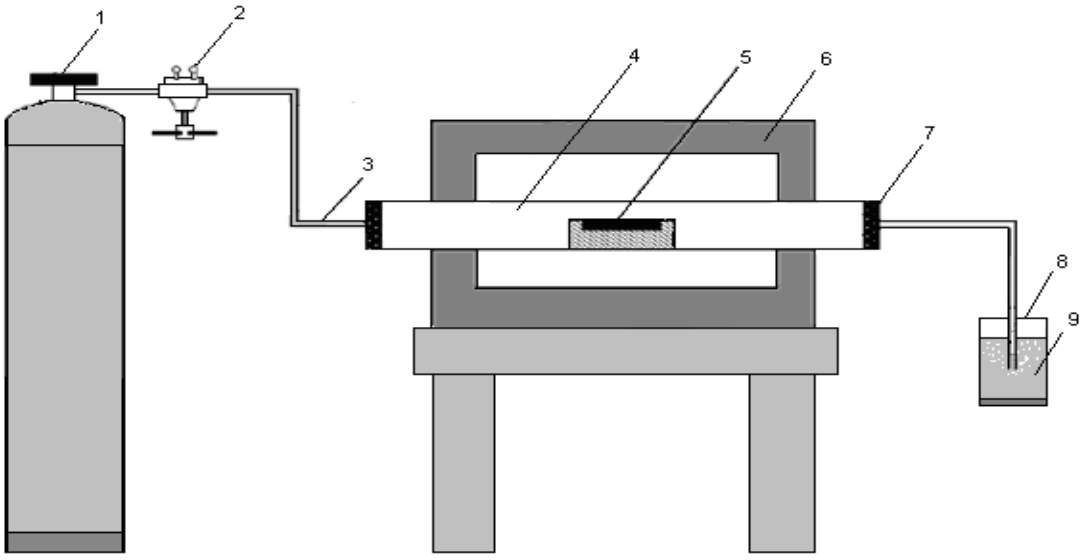
• Numune su içindeki alt kefeye konarak tartılır (G)

• 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. Gerçek yoğunluğa bağlı olarak gözeneklilik yani porozite oranı tespit edilir.

5.5. Blok Numunelerin Sinterlenmesi

Ham yoğunluk ölçümleri sonrası her farklı numune grubundan ve saf Al numunelerden birer adet olmak üzere alınan pilot numuneler PROTHERM FURNACES marka atmosfer kontrollü tüp fırında 2 saat süre ile argon gazı ortamında 640 ve 660 °C' de sinterlenmiştir. Fırın ortamının şematik görünüşü Şekil 5.6'da verilmiştir. Fırın oda sıcaklığında iken blok numuneler grafit bir kayık içerisinde fırının merkezine yerleştirilmiştir. Daha sonra fırın 5 °C/ dk ısınma hızı ile sinterleme sıcaklığına çıkarılmış ve bu sıcaklıkta 2 saat süreyle bekletilmiştir. Sinterleme sonrasında fırın oda sıcaklığına kadar 5 °C/ dk'lık soğuma hızında kontrollü olarak soğutulmuştur. Pilot numunelerin sinterlenmesinin ardından diğer numunelerin de gruplar halinde aynı koşullarda sinterleme işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.6. Sinterlemede kullanılan fırının şematik görünüşü: 1) Argon tüpü 2) Manometre 3) Gaz taşıyıcı hortumlar 4) Seramik tüp 5) Numune 6) Fırın gövdesi 7) Kapaklar 8) Gaz çıkış kontrol kabı 9) Su

Numunelerin sinterleme sırasında oksitlenmesini önlemek için ortamdan sürekli olarak argon gazı geçirilerek koruyucu bir ortam sağlanmıştır. Sinterleme sonrası bütün karışım numunelerden örnekler alınarak yine yoğunluk kitiyle yoğunluk ölçümleri yapılmış ve sinterleme ile numunelerin yoğunluk değişimleri hesaplanmıştır.

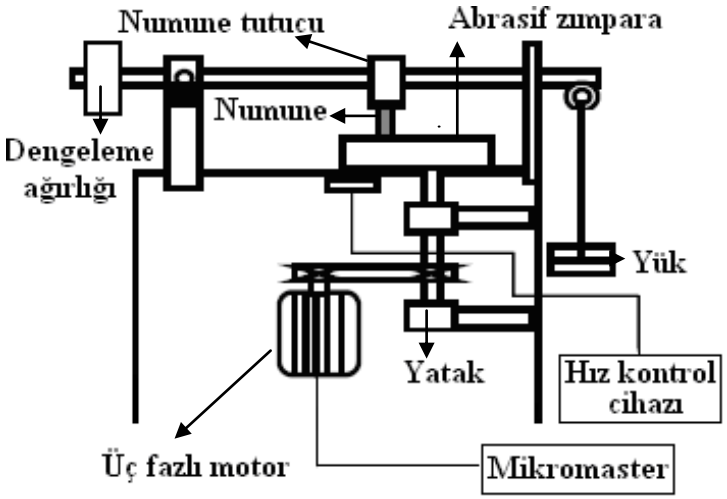
5.6. Sinterleme Sonrası Numunelerin Mikroyapı ve Sertlik Ölçümleri

Blok numunelerin sinterleme öncesi ve sinterleme sonrası metalografik incelemeleri yapılmıştır. Numuneler reçine içerisine soğuk olarak gömülüp 400, 600, 800 ve 1200 mesh'lik zımparalar ile zımparalandıktan sonra sırayla 6-3 ve 1 mikronluk elmas pasta ile numune yüzeyleri parlatılarak metalografik incelemeler için hazır hale getirilmiştir. Parlatma sonrası numunelerin optik mikroskopta incelenerek fotoğrafları çekilmiştir. Bu inceleme ile sinterleme öncesi ve sonrası numunelerin mikroyapı değişimi ortaya konmuştur.

Sinterleme sonrası mikroyapıları incelenen numunelerin sertlik ölçümleri INSTRON WOLPERT TESTOR marka cihazda yapılmıştır. Sertlik ölçümleri 2,5 mm çelik bilye ile 31,25 kgf uygulanarak yapılmıştır.

5.7. Aşınma Testi

Karıştırma tekniği ve sinterleme sıcaklığındaki değişime bağlı olarak üretilen kompozit numunelerin sinterleme sonrasında değişken parametrelere bağlı olarak aşınma özelliklerinin tespit edilebilmesi için aşınma testleri yapılmıştır. Aşınma testlerinde her numune grubuna 10, 20 ve 30 N'luk üç farklı yük uygulanmıştır. Aşınma türü olarak abrasif aşınma, aşındırıcı olarak üç farklı kalınlıkta (100, 220, 400 mesh) zımpara kullanılmıştır. Aşınma test aparatının şematik görünüşü Şekil 5.7'de verilmiştir.



Şekil 5.7. Aşınma cihazının şematik gösterimi [74]

Aşınma testi öncesi bütün numunelerin ağırlıkları hassas terazide ölçülerek test için hazır hale getirilmiştir. Aşınma işlemi kayma mesafesi 10 m, hızı 0,2 m/sn olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Her numune grubundan 18 adet numune alınarak test uygulanmış ve aşınma sonrası tüm numunelerin tekrar hassas terazide ölçümleri yapılarak aşınmaya bağlı ağırlık kayıpları belirlenmiştir.

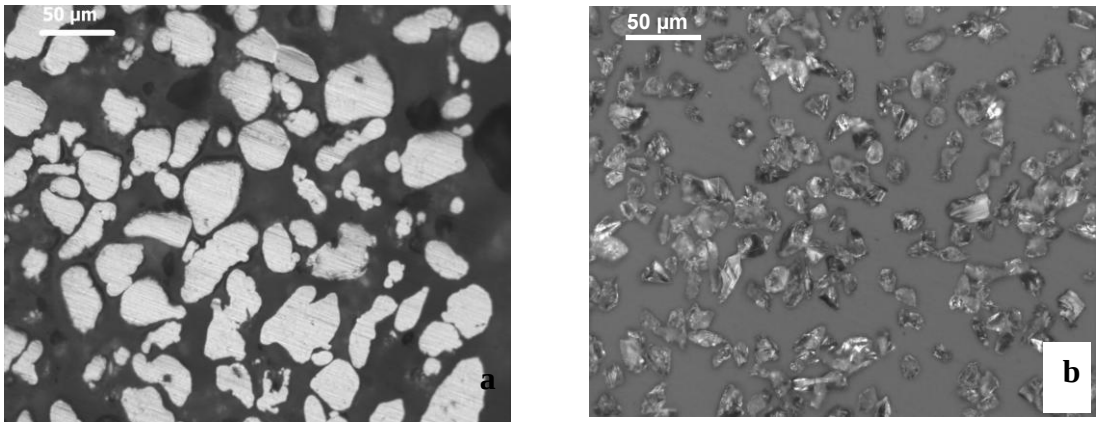
5.8. Aşınmış Yüzeylerin Karakterizasyonu

Aşınma yüzeylerinin karakterizasyonunu belirlemek amacıyla numunelerin SEM görüntüleri alınmıştır. Alınan görüntüler incelenerek oluşan aşınmanın türü ve şekli belirlenmiştir.

6. SONUÇ VE TARTIŞMA

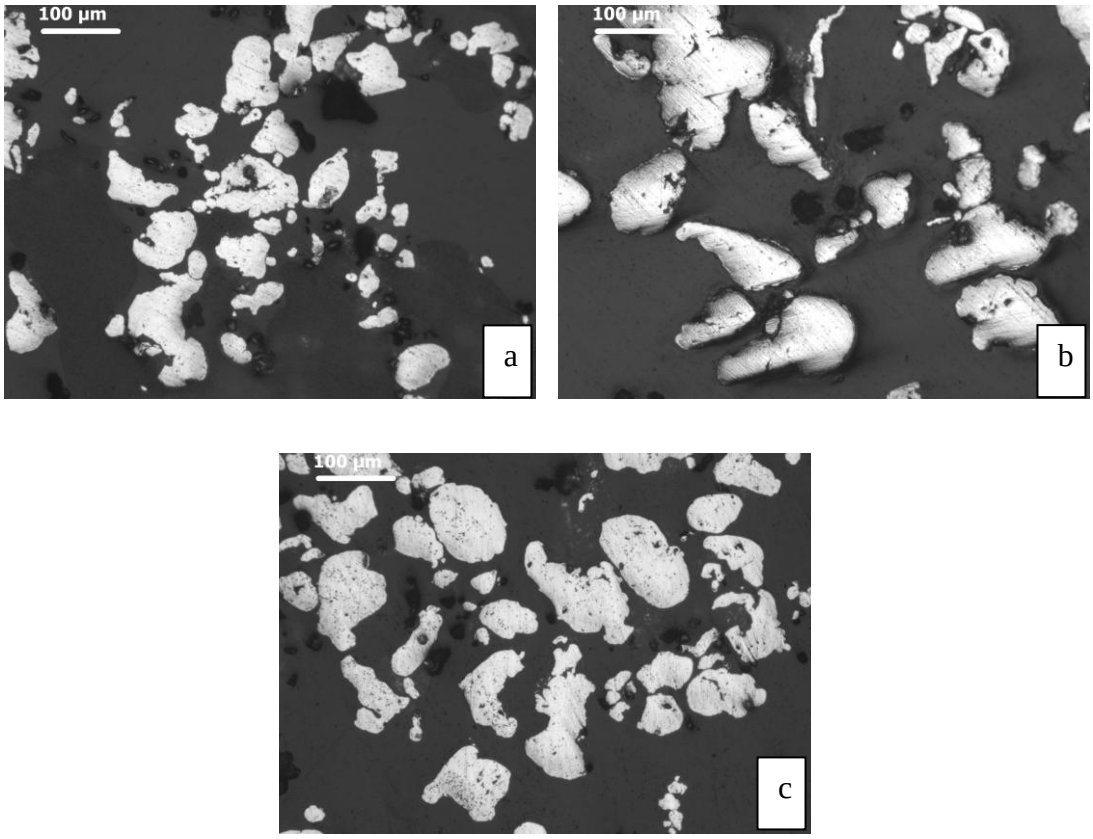
6.1. Karışım Tozların Karakterizasyonu

Karıştırma öncesi kullanılan saf alüminyumun ve alüminanın optik mikroskop ile yapılan metalografik incelemelerinde alüminyumun parçacık şeklinin tam küresel olmadığı görülmektedir (Resim 6.1-a). Takviye elamanı olarak kullanılan alüminanın toz parçacık şekli ise keskin köşeli ve düzgün olmayan geometrik şekillerdedir (Resim 6.1-b). Al ve Al_2O_3'nın toz tane boyut ölçümlerinde ise alüminyumun toz tane boyutu ortalama değeri 56,95 µm ve alüminanın toz tane boyutu ortalama değerleri 15,66 µm olarak ölçülmüştür.



Resim 6.1. Başlangıç tozu Al ve Al_2O_3'nın değişik büyütmelerdeki optik mikroskop görüntüleri (a) Al, (b) Al_2O_3

Üç farklı karıştırma işlemi sonrası toz numunelerin optik mikroskoptan alınan görüntüleri Resim 6.2'de verilmiştir. Turbola ve değirmende yapılan karıştırma sonrası toz şeklinde önemli bir değişiklik gözlenmemiştir. Ancak mekanik alaşımlama sonrası elde edilen tozların tane şekillerinde küresel yapının bir miktar bozulduğu görülmüştür (Resim 6.2-b).

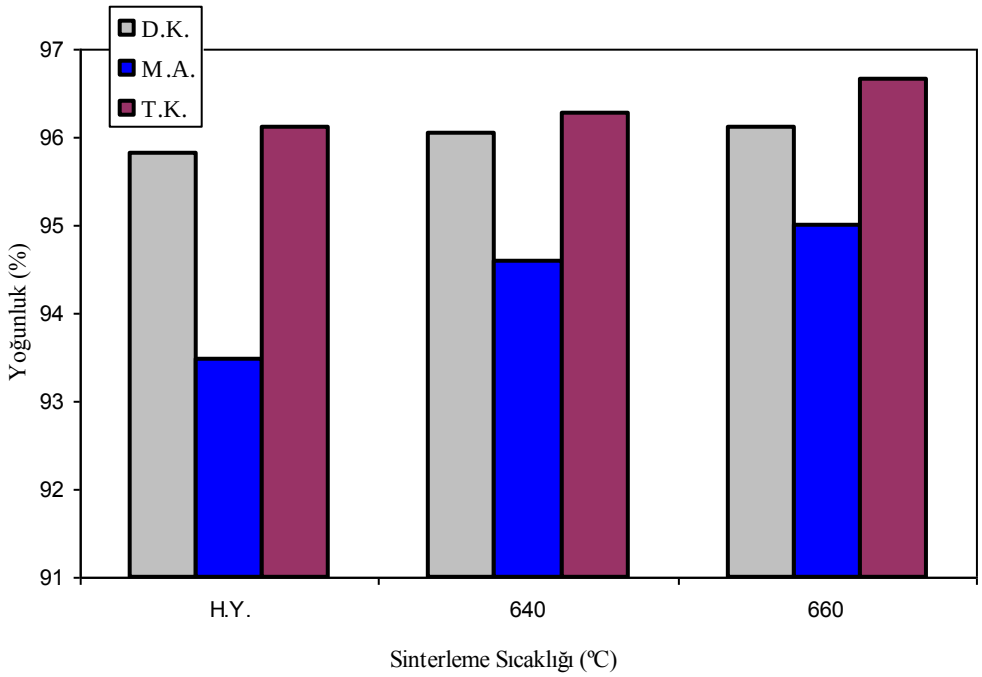


Resim 6.2. Değirmende karıştırma (a), mekanik alaşımlama (b), turbola cihazında karıştırma (c) işlemleri sonucu elde edilen toz numunelerin optik mikroskop görüntüleri

Karıştırma işlemleri sonucunda elde edilen tozların tane boyutları ölçülmüş ve (Bkz. Çizelge 5.2) sonuçlar değerlendirildiğinde toz tane boyutlarında karıştırma işleminin etkisiyle bir miktar artış olduğu görülmüştür.

6.2. Yoğunluk Ölçüm Sonuçları

Sinterleme öncesi üretilen blok numunelerin karıştırma tekniğine ve sinterleme sıcaklığına bağlı olarak yoğunluk değişimleri Şekil 6.1'de görülmektedir.

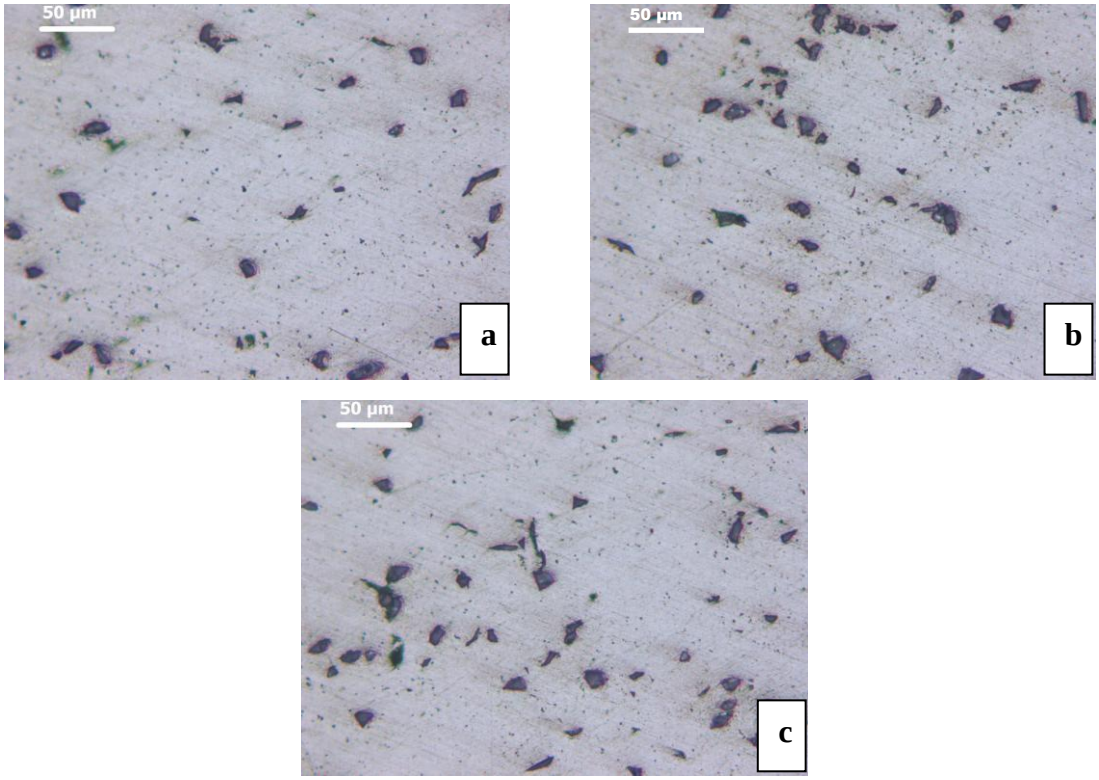


Şekil 6.1. Blok numunelerin karıştırma tekniğine ve sinterleme sıcaklığına bağlı olarak yoğunluk değişimini gösteren grafik

Çizelge 6.1. Blok numunelerin yoğunluk değişimi

Numune Tipi	Sinterleme Öncesi Yoğunluk (%)	640 ºC 'de Sinterleme Sonrası Yoğunluk (%)	640 ºC 'de Sinterleme Sonrası Gözeneklilik Oranı (%)	660 ºC'de Sinterleme Sonrası Yoğunluk (%)	660 ºC 'de Sinterleme Sonrası Gözeneklilik Oranı (%)
Değirmende karıştırma	95,81	96,04	3,96	96,12	3,88
Mekanik alaşımlama	93,48	94,58	5,42	95,00	5,00
Turbola cihazında karıştırma	96,11	96,27	3,73	96,67	3,33

Sinterleme öncesi ortalama yoğunluklar değerlendirildiğinde (Çizelge 6.1) en iyi yoğunluğun turbola cihazı ile karıştırma tekniğinde elde edildiği görülmüştür. Bunun nedeni, turbola ile karıştırılan karışım tozdaki matris yapıyı oluşturan alüminyumun karıştırma esnasında herhangi bir pekleşme ve oksitlenmeye uğramadığından kalıp içerisinde sıkıştırılabilirliğinin daha iyi olmasıdır. Bundan dolayı diğer karışım tozlara göre bu numunelerde daha yüksek ham yoğunluk değerleri elde edilmiştir (Resim 6.3).

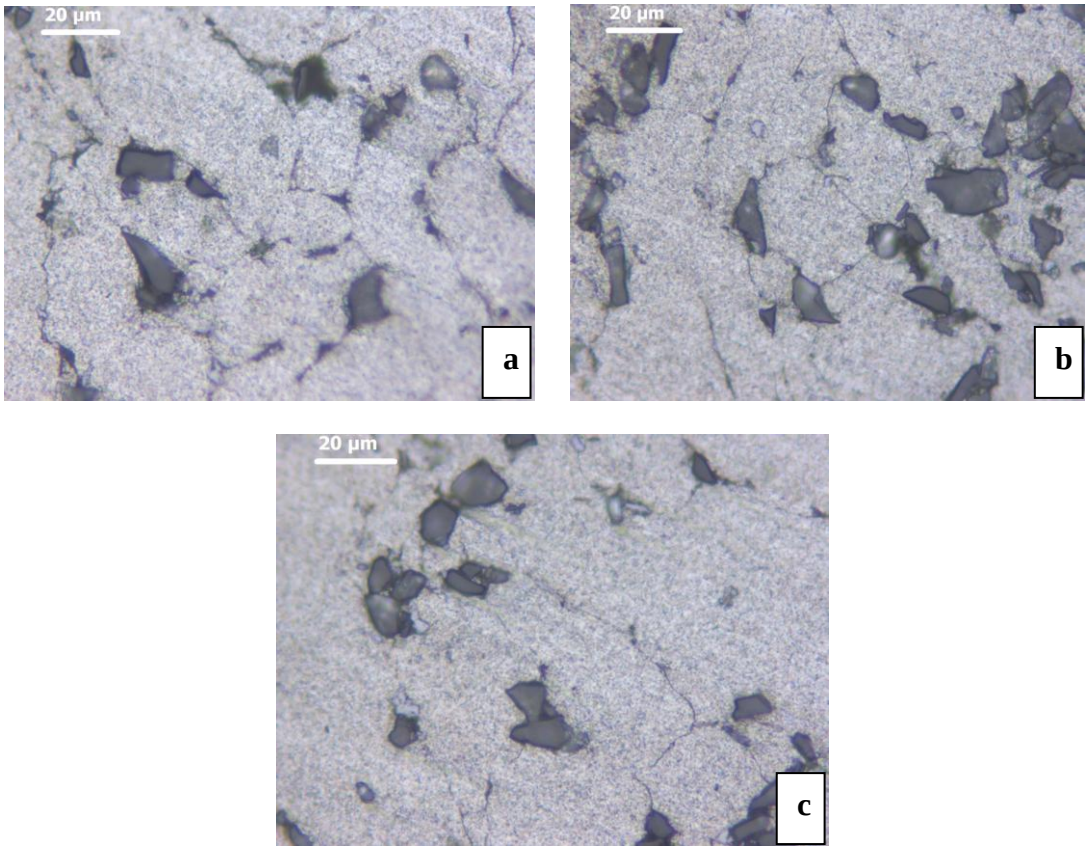


Resim 6.3. Turbola cihazı ile karıştırılarak hazırlanan blok numunelerin sinterleme öncesi (a), 640 ºC'de sinterleme sonrası (b) ve 660 ºC'de sinterleme sonrası optik mikroskop görüntüleri (c)

Yoğunlukları gösteren grafik incelendiğinde mekanik alaşımlama ile elde edilmiş blok numunelerin yoğunluk değerlerinin diğer iki numune türünden daha düşük olduğu görülmektedir. Mekanik alaşımlama esnasında karışım toz plastik deformasyona uğrayarak bir miktar pekleşmiştir. Aynı zamanda koruyucu gaz altında yapılmış olmasına rağmen koruma tam olarak sağlanamadığından bir miktarda oksitlenme olmuştur. Bu sebeplerden dolayı karışım tozun kalıp içerisinde

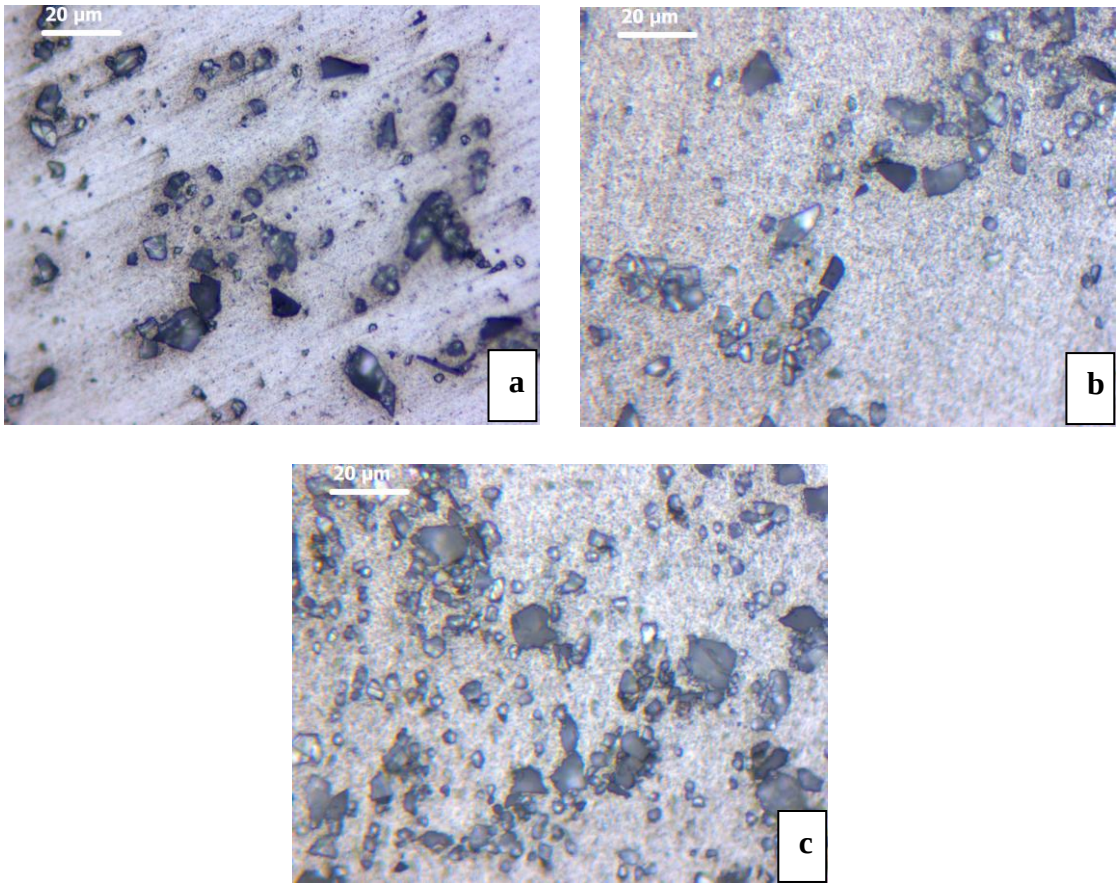
sıkıştırılabilirliği azalmış ve ham yoğunluk değerleri diğer karışım tozlara göre bir miktar düşük çıkmıştır.

Sinterleme sonrasında numunelerin yoğunlukları incelendiğinde mekanik alaşımlama numunelerinin yoğunluğu diğer iki numune türüne göre daha düşük olmasına rağmen, sinterleme ile yoğunluk artış oranının mekanik alaşımlama numunelerinde daha fazla olduğu görülmüştür. Mekanik alaşımlama sırasında tozlarda oluşan pekleşmenin ham yoğunluk değerini düşürmüş ve daha sonra bu pekleşmenin sebep olduğu iç enerjinin sinterleme sırasında sinterlemeye pozitif etkide bulunarak yoğunluğu arttırmıştır. Mekanik alaşımlama numunelerinde sinterleme öncesinde tane sınırları belirgin bir şekilde görülmektedir. 640 ºC'de yapılan sinterleme sonrasında tane sınırlarının sinterleme öncesine göre azaldığı ve 660 ºC'de ise sinterleme öncesine göre bir miktar daha azaldığı görülmektedir (Resim 6.4).



Resim 6.4. Mekanik alaşımlama ile hazırlanan blok numunelerin sinterleme öncesi (a), 640 ºC'de sinterleme sonrası (b) ve 660 ºC'de sinterleme sonrası optik mikroskop görüntüleri (c)

Sinterleme sonrası yapılan yoğunluk ölçümlerinde sinterleme işlemi ile bütün numunelerde belli oranlarda yoğunluk artışı olduğunu göstermektedir. Ancak artış miktarı en düşük düzeyde olan karışımın değirmende karıştırma tekniğinde olduğu görülmektedir (Resim 6.5).



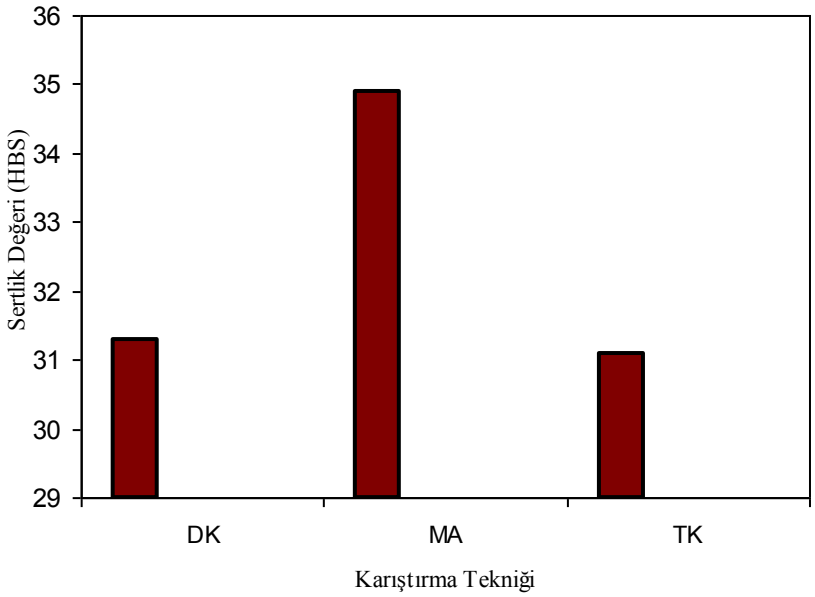
Resim 6.5. Değirmende karıştırma ile hazırlanan blok numunelerin sinterleme öncesi (a), 640 ºC'de sinterleme sonrası (b) ve 660 ºC'de sinterleme sonrası optik mikroskop görüntüleri (c)

Sinterleme sonrası en iyi yoğunluk ve en düşük gözeneklilik yine turbola ile karıştırma tekniğinde elde edilirken en düşük yoğunluk ve dolayısıyla en fazla gözeneklilik mekanik alaşımlama tekniğinde görülmüştür. Sonuç olarak üç çeşit numunede de, her iki sinterleme sıcaklığında ham yoğunluk oranlarına göre yoğunluk artışı sağlanmış olup gözeneklilik azalmıştır.

6.3. Sertlik Ölçüm Sonuçları

Sertlik ölçme işlemi sonucu elde edilen değerlerin ortalaması alınarak ortalama sertlik değerinin karıştırma tekniğine göre değişimi tespit edilmiştir. Bu değerlere göre hazırlanan grafik Şekil 6.2'de verilmiştir.

Grafik incelendiğinde en yüksek sertlik değeri mekanik alaşımlama ile üretilen numunelerde görülmüştür. Bunun nedeni karıştırma işlemi sırasında tanelerde oluşan pekleşme ve tane yüzeylerinde oluşan oksitlenmedir. Diğer karıştırma numunelerinde sertlik değerinin birbirine yakın oranlarda olduğu görülmüştür.



Şekil 6.2. Karıştırma tekniğinin sertlik üzerine etkisi

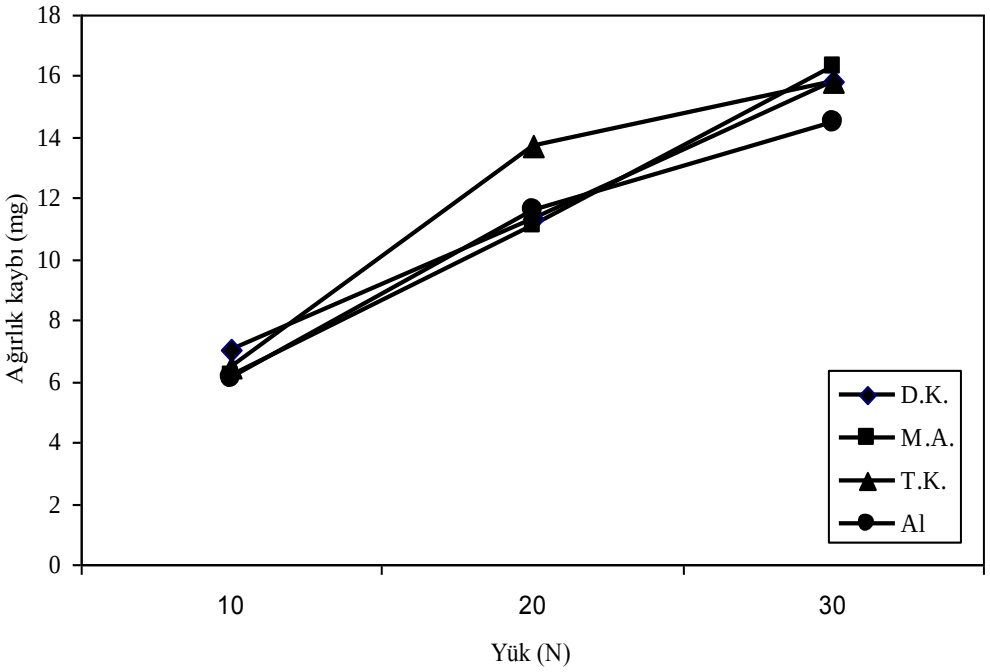
6.4. Aşınma Testi Sonuçları

Üç farklı karıştırma tekniğiyle hazırlanıp 640 ve 660 ºC' de sinterlenen numunelere aşınma testi uygulanmıştır. Aşınma işlemlerinde kayma hızı 0,2 m/sn' de sabit tutulmuş, 10, 20, 30 N olmak üzere üç farklı yük ve 100, 220, 400 mesh kalınlıkta üç farklı aşındırıcı zımpara kullanılmıştır. 640 ºC'de sinterlenen numunelerin aşınma testlerinde genel olarak numunelerin aşınma değerleri saf alüminyumun aşınma

değerlerinden daha fazla çıkmıştır. Bunun sebebi özellikle mikroyapıya bakıldığında numunelerin yeterince sinterlenmediği, bu sebeple aşınmanın daha kolay ve fazla olduğu görülmektedir. 660 ºC' de sinterlenen numunelerin aşınma değerleri ise saf alüminyumun aşınma değerlerinden daha düşük çıkmıştır. Bu durum 660 ºC' de sinterlenmenin daha iyi gerçekleştiğini göstermektedir.

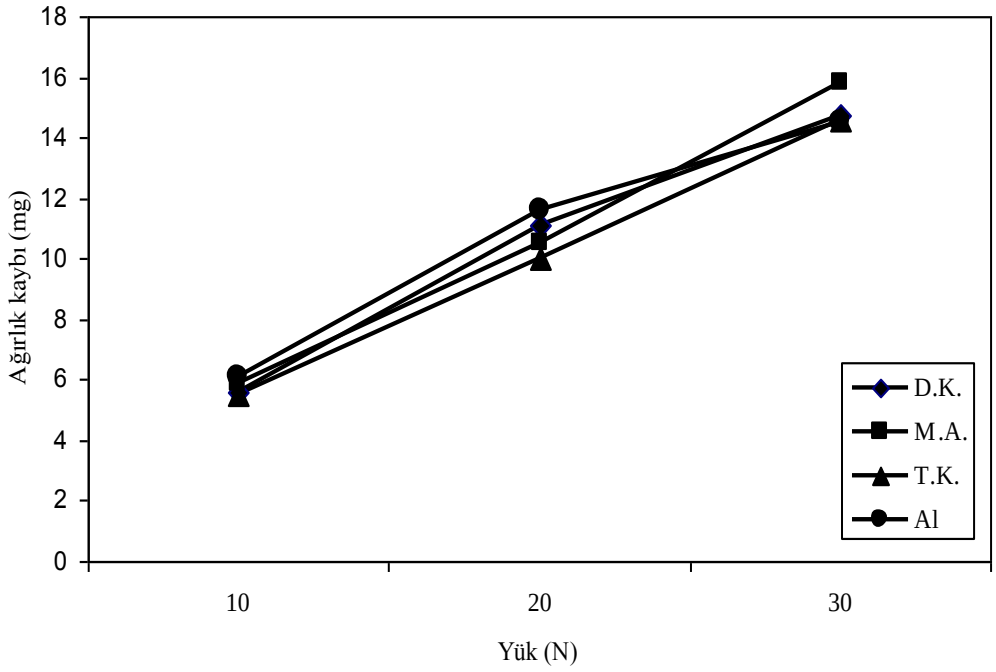
6.4.1. 100 mesh zımpara ile yapılan test sonuçları

Şekil 6.3'de 100 mesh'lik zımpara ile 640 ºC'de sinterlenerek hazırlanan numunelere uygulanan test sonucu numunelerin aşınma davranışları görülmektedir. Karışım numuneler içerisinde en düşük ağırlık kaybı 10 N yük altında turbola cihazı ile karıştırma tekniğinde görülmüştür. En fazla ağırlık kaybı ise 30 N yük altında, mekanik alaşımlama ile üretim tekniğinde görülürken, 30 N'luk yükte bütün numunelerde birbirine yakın oranlarda aşınma gerçekleştiği görülmektedir.



Şekil 6.3. 640 ºC'de sinterlenen numunelerin 100 mesh'lik zımpara ile değişik yüklerle yapılan aşınma testi grafiği

660 ºC'de sinterlenen numunelerin 100 meshlik zımpara ile yapılan aşınma davranışları Şekil 6.4'de görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi sinterleme sıcaklığındaki artışla aşınma davranışında bütün numunelerde belirgin bir iyileşme olmuştur. Bununla birlikte bu test sonucunda da en fazla aşınma miktarının 30 N 'luk yük altında mekanik alaşımlama ile üretilen numunelerde görüldüğü tespit edilmiştir. Ayrıca her iki sıcaklıkta da aşınma miktarı uygulanan yükün artışına bağlı olarak artmaktadır.

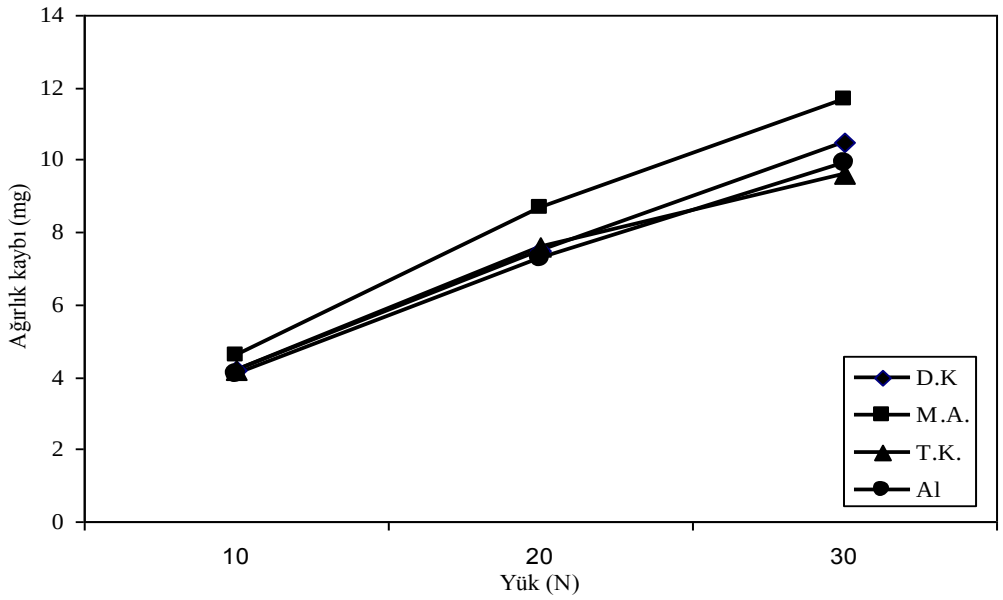


Şekil 6.4. 660 ºC'de sinterlenen numunelerin 100 mesh'lik zımpara ile değişik yükler altında yapılan aşınma testi grafiği

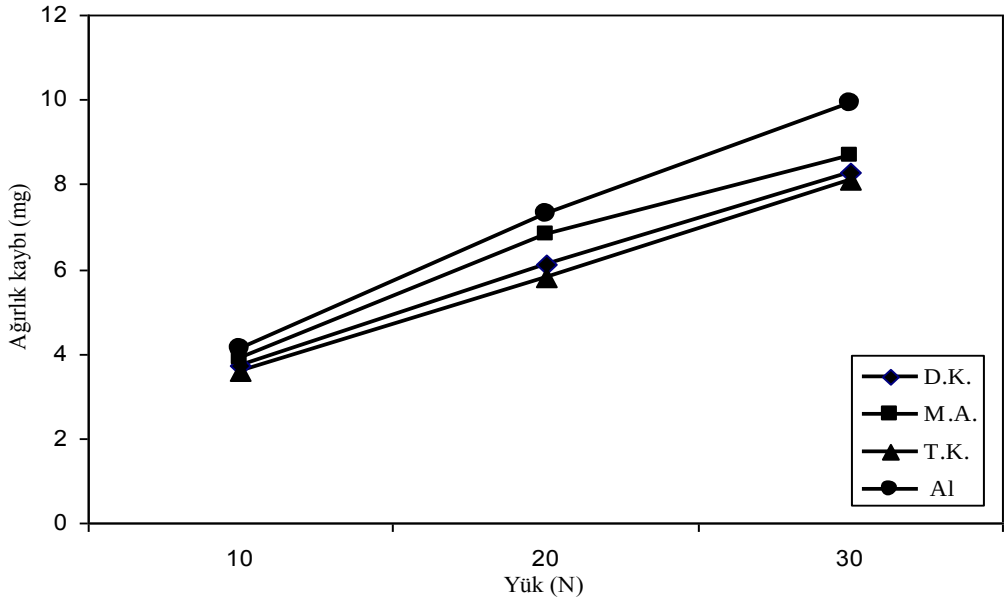
6.4.2. 220 mesh zımpara ile yapılan test sonuçları

640 ºC'de sinterlenen numunelere 220 mesh'lik zımpara ile yapılan aşınma testi sonucu oluşan ağırlık kaybı grafiği Şekil 6.5'de verilmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde en fazla aşınma belirgin bir şekilde mekanik alaşımlamada görülürken diğer numunelerin aşınma değerleri birbirine yakın düzeyde olmuştur. 660 ºC'de yapılan sinterleme sonrası aşındırılan numunelerin grafiği (Şekil 6.6) incelendiğinde ise sinterleme sıcaklığındaki artış ağırlık kaybını düşürmüş olup,

aşınma davranışında iyileşme sağlamıştır. Bu numuneler içerisinde de en fazla aşınma yine mekanik alaşımlama ile üretilen numunelerde görülmüştür. Ayrıca artan yük miktarı ile tüm numunelerde aşınma miktarı artmıştır.



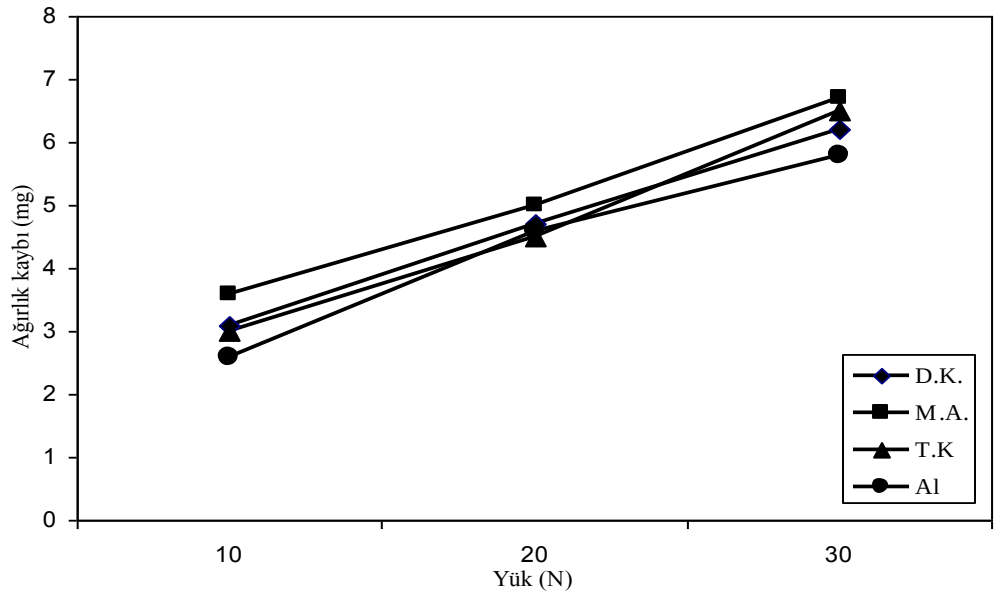
Şekil 6.5. 640 ºC'de sinterlenen numunelerin 220 mesh'lik zımpara ile değişik yükler altında yapılan aşınma testi grafiği



Şekil 6.6. 660 ºC'de sinterlenen numunelerin 220 mesh'lik zımpara ile değişik yükler altında yapılan aşınma testi grafiği

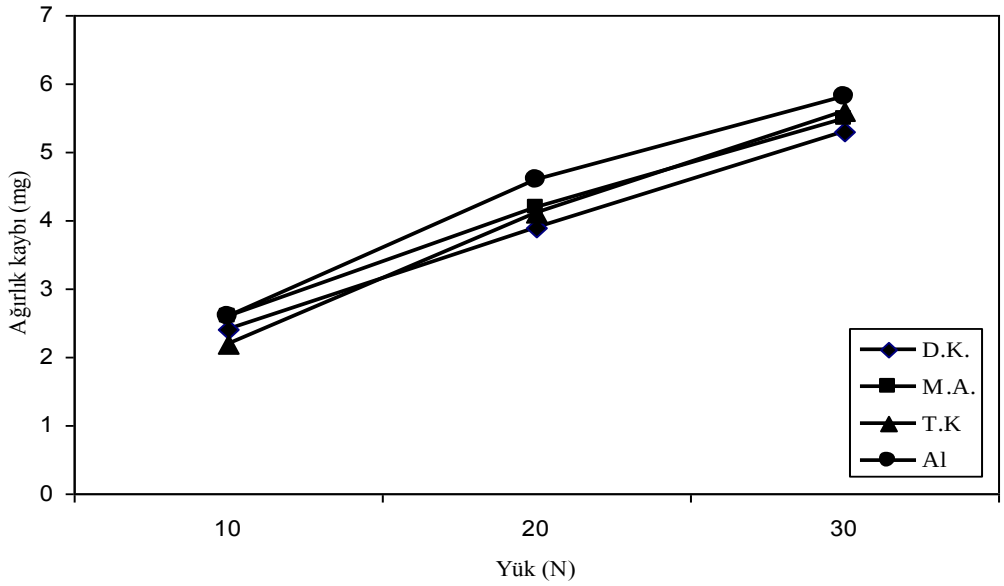
6.4.3. 400 mesh zımpara ile yapılan test sonuçları

Şekil 6.7 ve Şekil 6.8'de ise 640 ve 660 ºC'de sinterlenen numunelerin 400 mesh zımpara ile yapılan test sonuçları grafik olarak görülmektedir



.

Şekil 6.7. 640 ºC'de sinterlenen numunelerin 400 mesh'lik zımpara ile değişik yükler altında yapılan aşınma testi grafiği



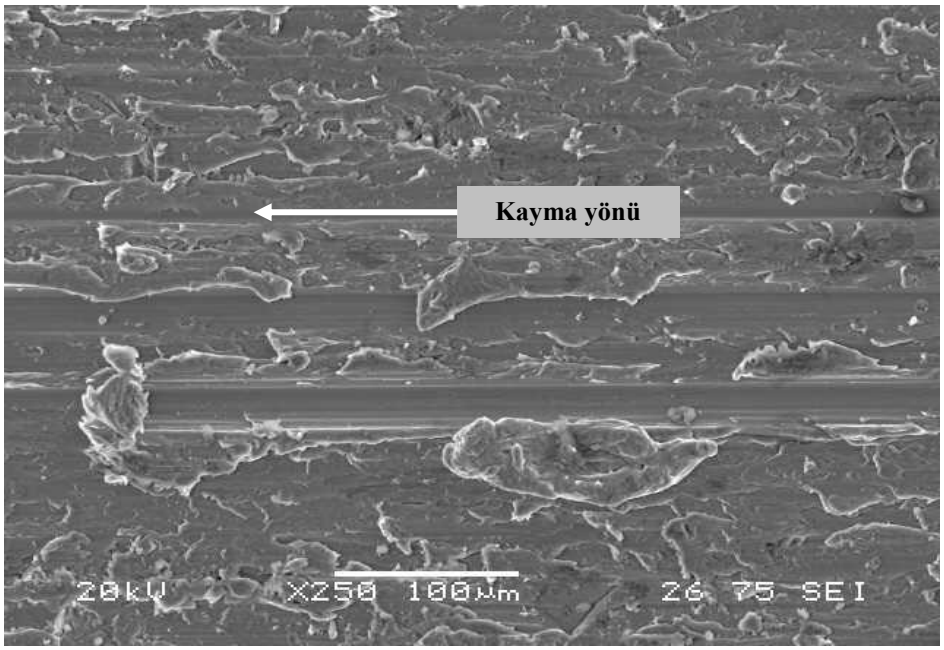
Şekil 6.8. 660 ºC'de sinterlenen numunelerin 400 mesh'lik zımpara ile değişik yükler altında yapılan aşınma testi grafiği

Sonuç olarak karışım numuneler içerisinde en iyi aşınma davranışını turbola cihazında karıştırma ile üretilen blok numuneler sergilemiştir. Bunun nedeni turbola cihazında karıştırma işleminde oksitlenme ve pekleşme olmadığı için ham yoğunluk ve sinterleme sonrası yoğunlukları daha yüksek çıkmasıdır. Mekanik alaşımlamada ise sinterleme yeterli derecede gerçekleşmemiş sıkıştırma sırasında tanelerin pekleşmesi ve tane yüzeylerinde oluşan bir miktar oksitlenme nedeniyle sinterleme istenen seviyede olmamıştır.

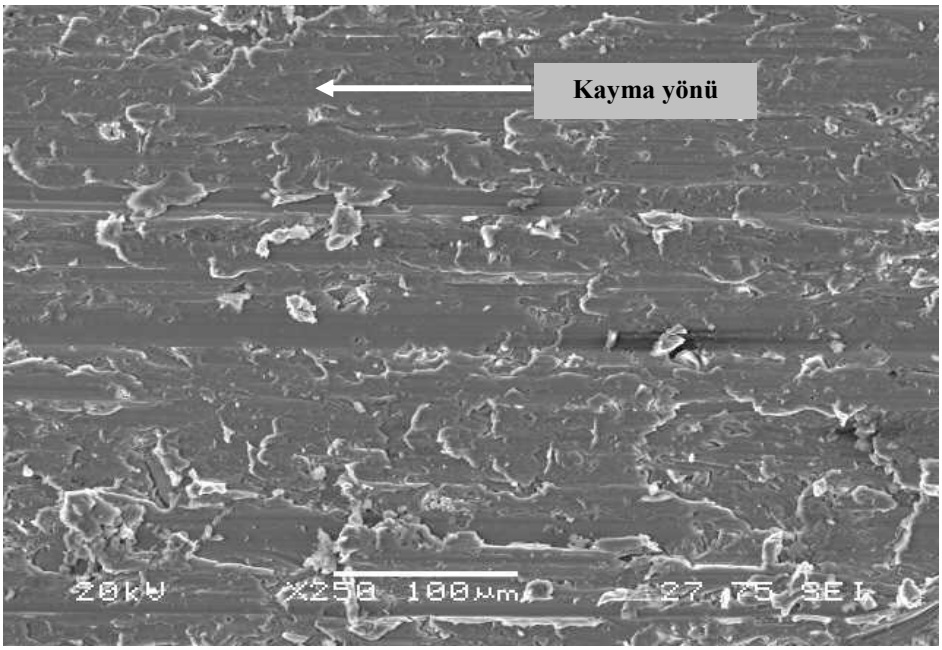
Karıştırma teknikleri tek tek ele alındığında en fazla aşınma miktarı bütün numunelerde 100 mesh'lik aşındırıcı ile 30 N'luk yük altında gerçekleşmiş, zımpara kalınlığı ve yük azaldıkça aşınma miktarı da azalmıştır yani yük artışı aşınmayı artırmıştır. Çünkü yük artışıyla ara yüzey temas basıncı artmakta ve bu durum daha fazla aşınmaya sebep olmaktadır. Ayrıca sinterleme sıcaklığındaki artışın aşınma davranışı üzerinde iyileştirici etkisini olduğu bütün numunelerde görülmüştür.

6.5. Aşınmış Yüzeylerin SEM Çalışması

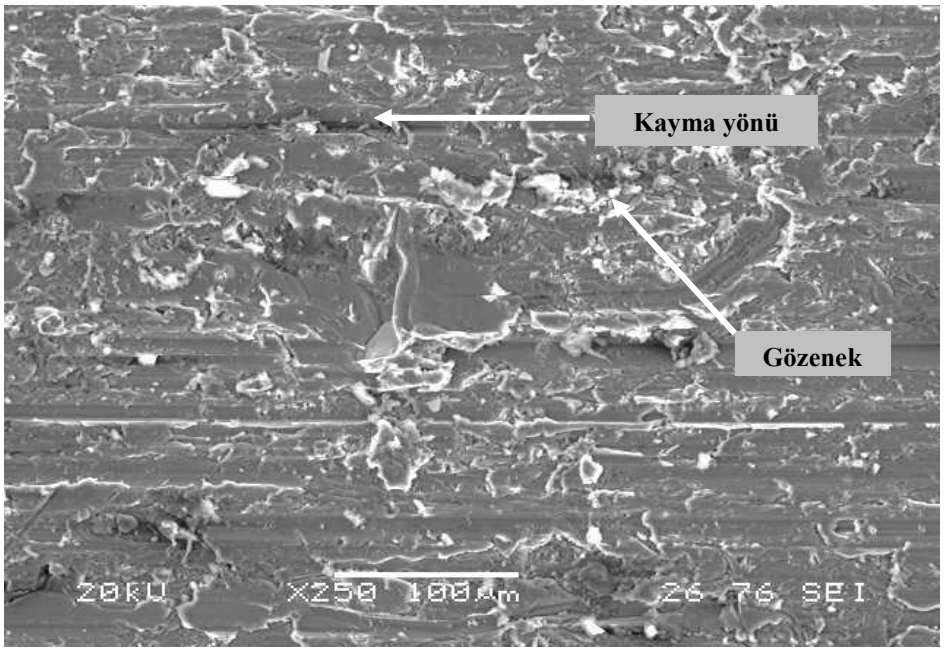
Aşınma yüzeylerinin karakterizasyonunu belirlemek amacıyla 220 mesh zımpara ile aşındırma sonucu oluşan yüzeylere SEM çalışması yapılmıştır. 10 N yük altında yapılan aşınma sonucu elde edilen yüzeyler Resim 6.6, Resim 6.7, Resim 6.8 ve Resim 6.9 da görülmektedir. Resimler incelendiğinde saf alüminyum numunede aşınma izleri daha belirgin olarak görülürken içerisinde Al_2O_3 takviye elemanı bulunan mekanik alaşımlama, turbola ile karıştırma ve değirmende karıştırma ile elde edilen numune yüzeylerinde aşınma izlerinin daha az olduğu görülmüştür. Karışım numunelerin yüzeyinde plastik deformasyonlar ve yırtılmalar görülmektedir. Mekanik alaşımlama ile elde edilen numune yüzeylerine bakıldığında takviye parçacıklarının kopma izleri ve buna bağlı aşınma izleri daha karmaşık olup düzenli ve sürekli değildir (Resim 6.8).



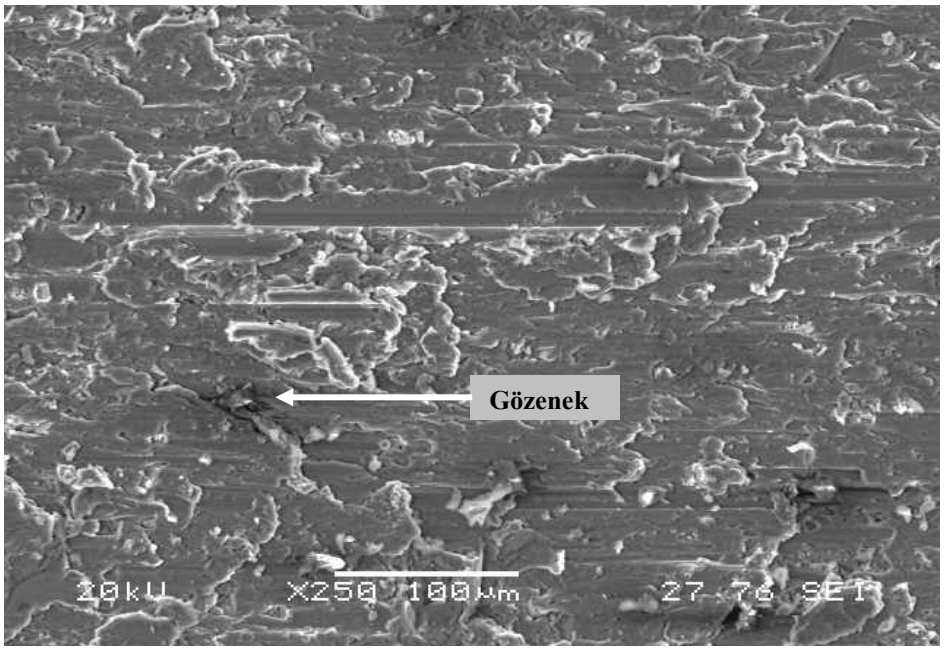
Resim 6.6. Alüminyum numunenin 220 mesh zımpara ile 10 N yük altında aşındırılması sonucu oluşan yüzeyin SEM görüntüsü



Resim 6.7. 660 ºC'de sinterlenen değirmende karıştırma numunesinin 220 mesh zımpara ile 10 N yük altında aşındırılması sonucu oluşan yüzeyin SEM görüntüsü

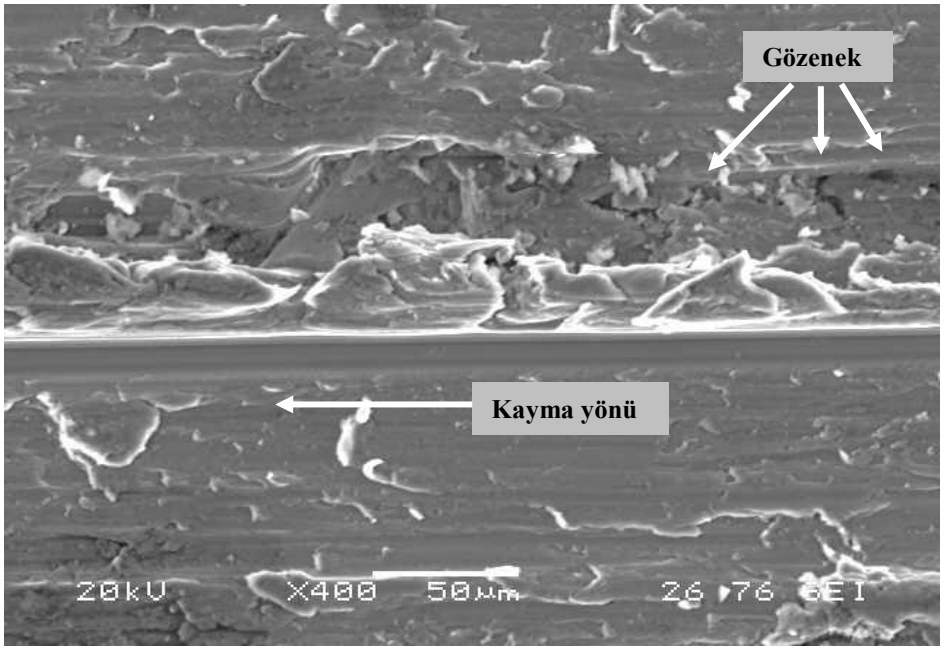


Resim 6.8. 660 ºC'de sinterlenen mekanik alaşımlama numunesinin 220 mesh zımpara ile 10 N yük altında aşındırılması sonucu oluşan yüzeyin SEM görüntüsü

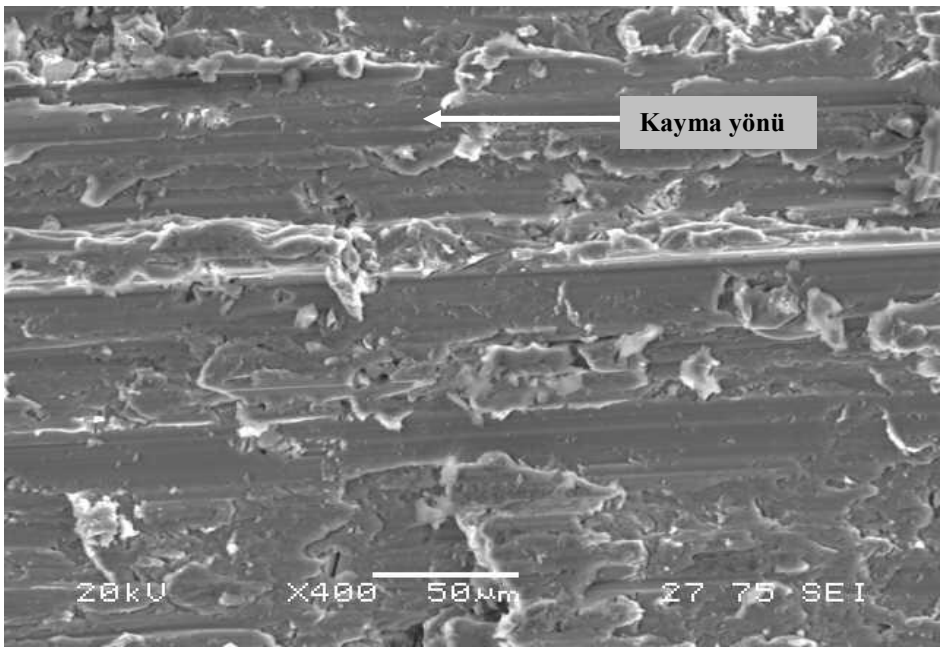


Resim 6.9. 660 ºC'de sinterlenen turbola cihazında karıştırma numunesinin 220 mesh zımpara ile 10 N yük altında aşındırılması sonucu oluşan yüzeyin SEM görüntüsü

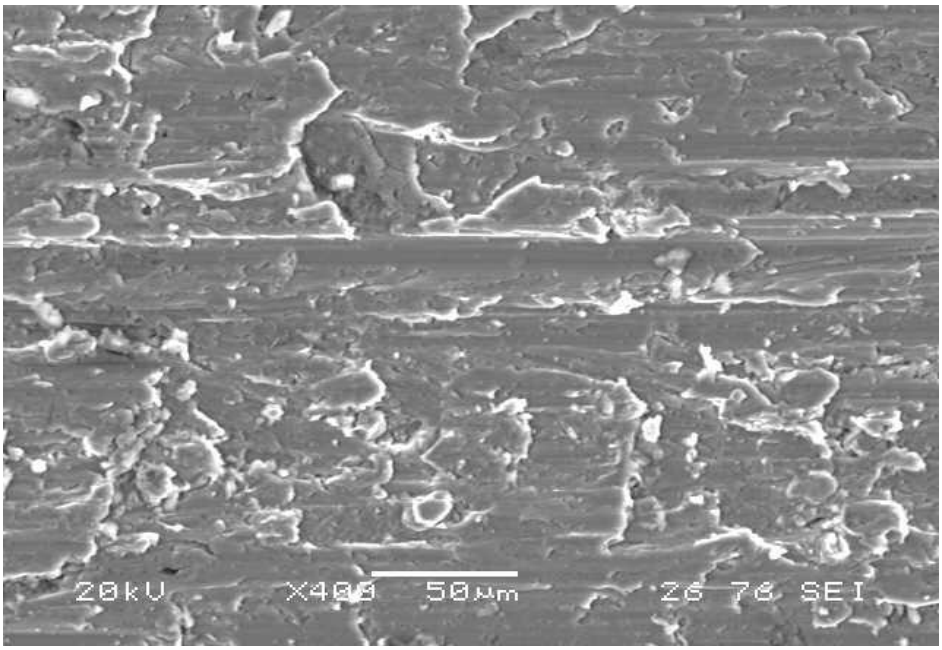
220 mesh zımpara ve 20 N yük altında aşındırılan numune yüzeylerinin SEM görüntüleri Resim 6.10, Resim 6.11, Resim 6.12 ve Resim 6.13'de görülmektedir. Aşınma yüzeyleri incelendiğinde yük artışıyla birlikte aşınma izlerinin de daha belirginleştiği ve derinleştiği görülmüştür. Saf Al numunede yer yer gözenekler bulunmakta ve uygulanan yük artışı ile plastik deformasyonda artış olmuş ve aşınma izleri daha derinleşip sıvanarak aşınma yüzeyi boyunca ilerlemiştir. Değirmende karıştırma ve mekanik alaşımlama numune yüzeylerinde takviye elemanı olan alümina tanelerinin aşınma tesiriyle yüzeyden uzaklaştığı ve yüzeyde aşınma izleri oluşturduğu, koparak ayrıldığı yerlerde ise boşluklar oluştuğu görülmüştür. Turbola cihazı ile karıştırılmış numune yüzeylerinde ise daha fazla plastik deformasyon ve yer yer yırtılmalar görülmektedir.



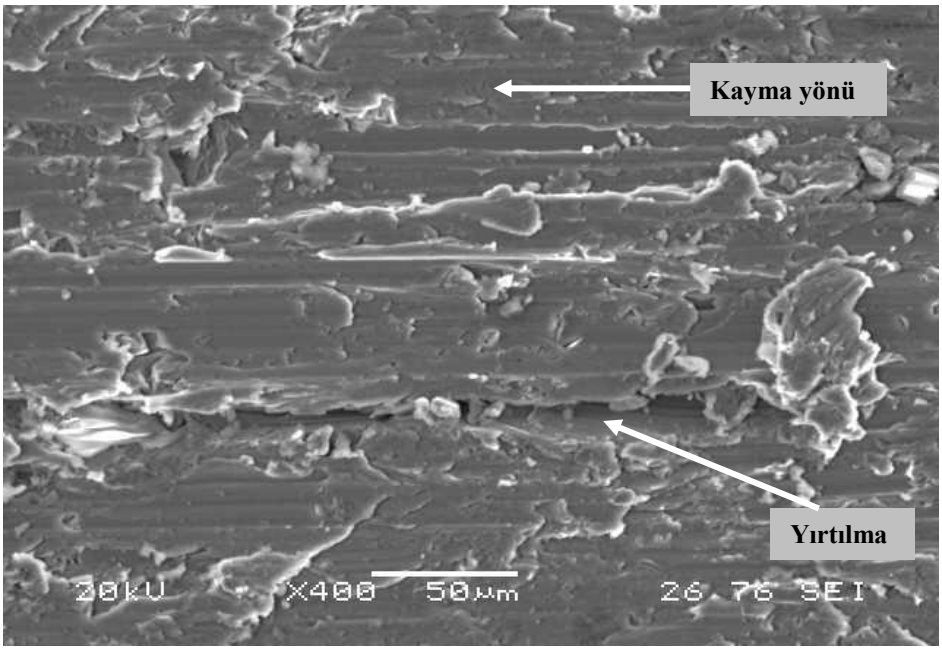
Resim 6.10. Alüminyum numunenin 220 mesh zımpara ile 20 N yük altında aşındırılması sonucu oluşan yüzeyin SEM görüntüsü



Resim 6.11. 660 ºC'de sinterlenen değirmende karıştırma numunesinin 220 mesh zımpara ile 20 N yük altında aşındırılması sonucu oluşan yüzeyin SEM görüntüsü

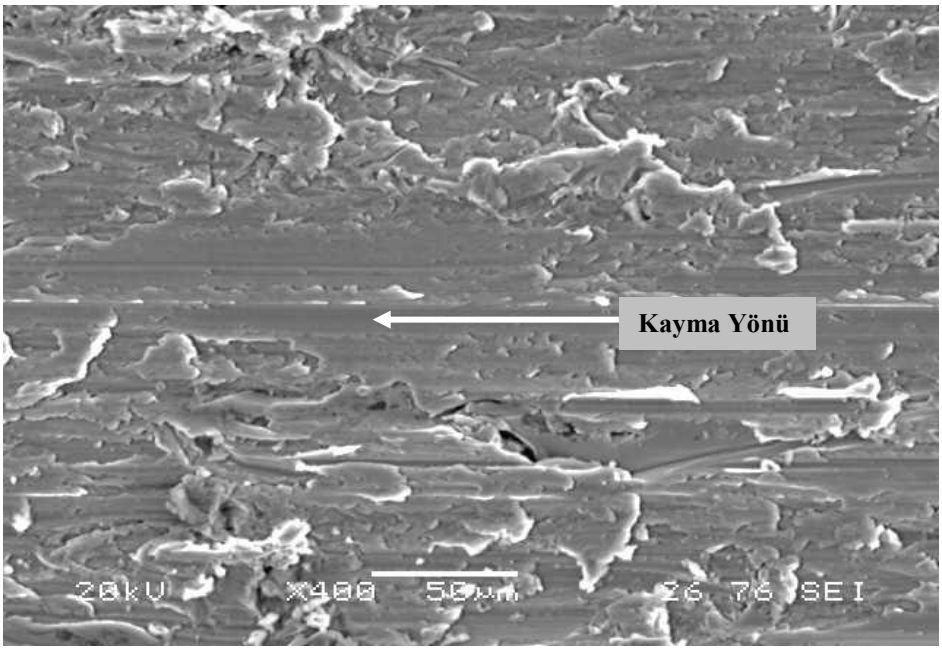


Resim 6.12. 660 ºC'de sinterlenen mekanik alaşımlama numunesinin 220 mesh zımpara ile 20 N yük altında aşındırılması sonucu oluşan yüzeyin SEM görüntüsü

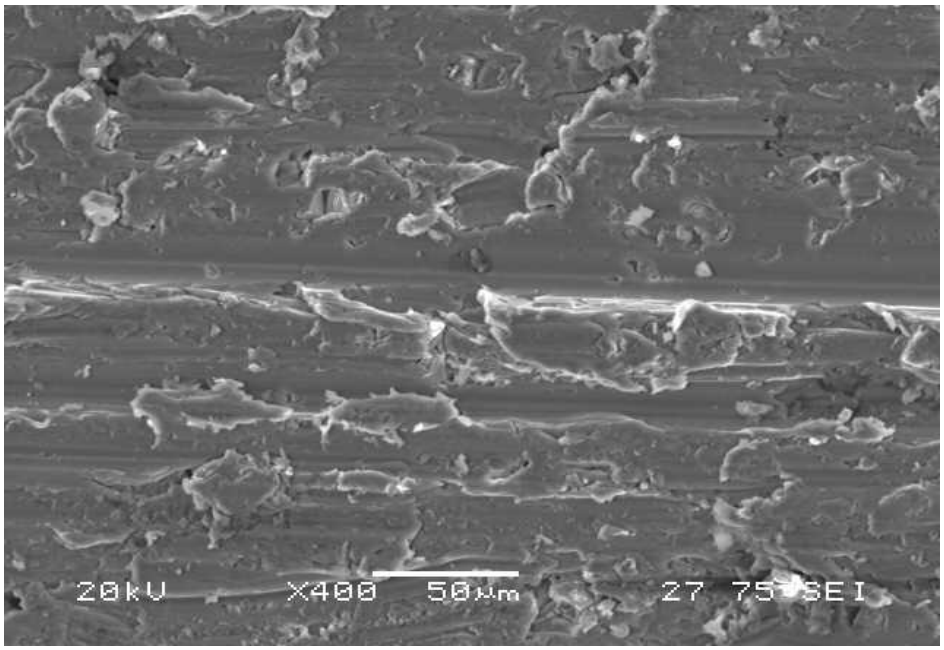


Resim 6.13. 660 ºC'de sinterlenen turbola cihazında karıştırma numunesinin 220 mesh zımpara ile 20 N yük altında aşındırılması sonucu oluşan yüzeyin SEM görüntüsü

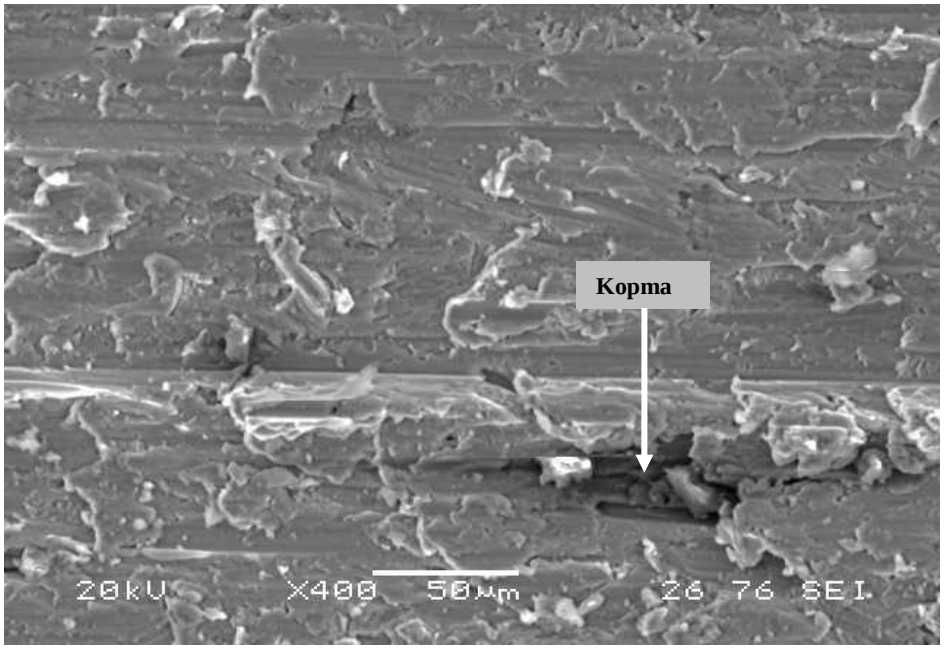
30 N yük altında aşındırılan yüzeyler (Resim 6.14, Resim 6.15, Resim 6.16, Resim 6.17) incelendiğinde ise aşınma yüzeylerinde kopmalar sıvanmalar daha belirgin bir hale gelmiştir. Yer yer taneler arası boşluklar görülmektedir. Mekanik alaşımlama numunelerinde plastik deformasyon izleri daha belirgindir (Resim 6.16). Tanelerde pekleşme olduğu için aşınma yüzeylerinden koparak ayrıldığı görülmektedir. Değirmende karıştırma numunelerin aşınma yüzeylerindeki izler daha homojen dağılım göstermektedir. Turbola numunelerinde 20 N yükte olduğu gibi 30 N yük altında yapılmış aşınma testinde de, sıvanma ve yığılmalar daha belirgin görünmektedir. Bunun sebebi olarak turbola numunelerinin diğer numunelerine göre daha yoğun olması ve daha iyi sinterleştiği için aşınmaya karşı daha yüksek direnç gösterdiği düşünülmektedir.



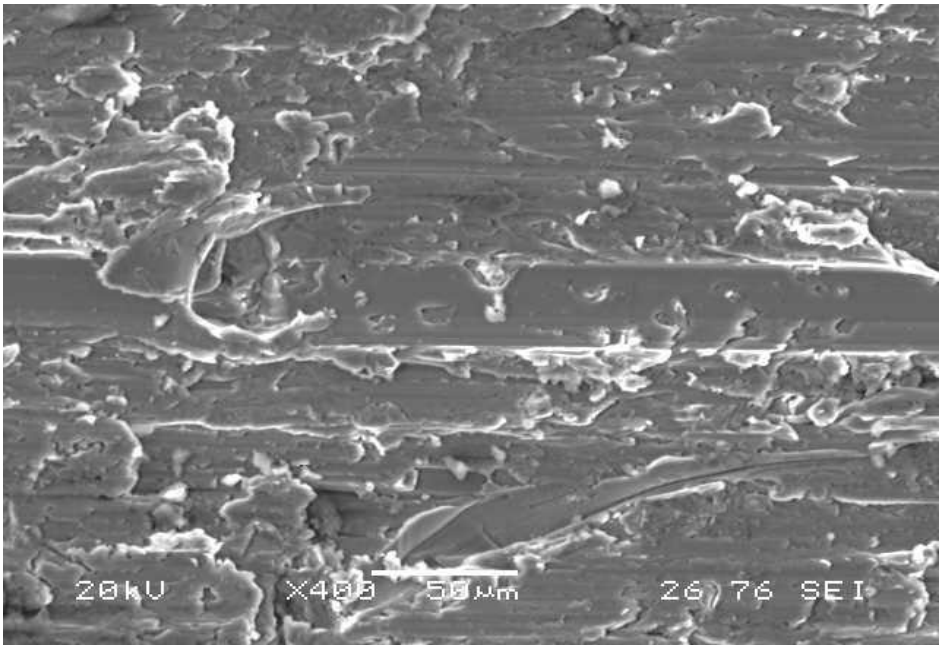
Resim 6.14. Alüminyum numunenin 220 mesh zımpara ile 30 N yük altında aşındırılması sonucu oluşan yüzeyin SEM görüntüsü



Resim 6.15. 660 ºC'de sinterlenen değirmende karıştırma numunesinin 220 mesh zımpara ile 30 N yük altında aşındırılması sonucu oluşan yüzeyin SEM görüntüsü



Resim 6.16. 660 ºC'de sinterlenen mekanik alaşımlama numunesinin 220 mesh zımpara ile 30 N yük altında aşındırılması sonucu oluşan yüzeyin SEM görüntüsü



Resim 6.17. 660 ºC'de sinterlenen turbola cihazında karıştırma numunesinin 220 mesh zımpara ile 30 N yük altında aşındırılması sonucu oluşan yüzeyin SEM görüntüsü

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada değişik karıştırma teknikleri ve sinterleme sıcaklığı kullanılarak Al_2O_3 takviyeli Al matrisli kompozit malzeme üretilmiş ve aşınma davranışları incelenmiştir. Aşınma üç farklı yük altında ve üç farklı aşındırıcı yüzey kullanılarak yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar ve bu sonuçlar ışığında yapılan öneriler aşağıda verilmiştir.

Karıştırma teknikleri karışım tozların parçacık boyutu ve şekli üzerinde ciddi bir değişim ortaya çıkarmamıştır.

Aşınma öncesi sinterlenen numunelerde en yüksek yoğunluk değeri turbola ile karıştırılan numunelerde elde edilmiştir.

Sinterleme sıcaklığındaki artış numunelerin yoğunluklarını artırırken, aşınma davranışını iyileştirmiştir.

640 ºC'de sinterlenen numunelerin aşınma değerleri yüksek çıkmış olup sinterleme sıcaklığı yetersiz kalmıştır.

Bütün numunelerde aşınma miktarı artan yüke bağlı olarak artış göstermiştir.

Aşındırıcının yüzey pürüzlülüğü arttıkça (zımpara kalınlığı 400 mesh'den 100 mesh'e giderken) aşınma miktarı artmıştır.

Hazırlanan her üç karışım numune türünde de en fazla aşınma miktarı 100 mesh'lik zımparada ve 30 N'luk yük altında görülürken en az aşınma 400 mesh zımpara ile 10 N'luk yük altında gerçekleşmiştir.

Genel olarak uygulanan yüke ve kullanılan zımparaya göre en iyi aşınma performansı 660 ºC'de sinterlenen ve turbola cihazında karıştırılarak elde edilen kompozit numunelerde görülmüştür.

Bundan sonraki çalışmalarda; gerek kompozit malzemenin üretiminde gerekse aşınma testindeki parametrelerde değişikliğe gidilerek kompozitin aşınma davranışını iyileştirme yönünde çalışmalar yapılabilir.

KAYNAKLAR

1. Çalıgülü, U., Dikbaş, H., Taşkın, M., "Sıcak presleme yöntemiyle imal edilmiş SiCp takviyeli Al esaslı kompozitlerin difüzyon kaynağında sürenin birleşme üzerindeki etkisin incelenmesi", ***Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Dergisi***, 18(3): 437-443 (2006)

2. Dörtbölük, C., "Alüminyum matrisli kompozit malzemelerin toz metalurjisi yöntemiyle üretilmesi ve karakterizasyonu", Bilim Uzmanlığı Tezi, ***Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Karabük, 17-28 (2006).

3. Kılıç, C., "Sıkıştırma döküm yöntemi ile üretilmiş ve soğuk haddelenmiş $AlMg_3$/SiCp kompozitinin aşınma özelliklerinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, ***Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Edirne, 1-45 (2008).

4. Durmuş, H., "CO_2 lazer kaynağıyla birleştirilmiş alüminyum matrisli kompozitlerin kaynak bölgesinin mekanik özelliklerinin incelenmesi", Doktora Tezi, ***Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Manisa, 1-45 (2006).

5. Eskizeybek, Z., "Paslanmaz çelik elyaf takviyeli alüminyum kompozitlerde yorulma çatlak ilerlemesi", Yüksek Lisans Tezi, ***Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Konya, 1-26 (2006).

6. Bahçeci, E., "Al matrisli α-Si_3N_4 takviyeli kompozit malzeme üretimi ve işlenebilirliğinin karakterizasyonu", Yüksek Lisans Tezi, ***Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Ankara, 1-48, 71-76 (2006).

7. Köksal, F., "Al-Cu-SiC ve Al-Cu-B_4C kompozitlerin sıcak presleme yöntemi ile üretimi ve aşınma özelliklerinin araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, ***Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*** , Isparta, 1-72 (2004).

8. Özdin, K., "Alüminyum esaslı SiC takviyeli kompozitlerin üretimi ve aşınma özelliklerinin araştırılması", Doktora Tezi, ***Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Ankara, 1-22 (2006).

9. Erden, İ. O., "Alüminyum–silisyum nitrür kompozit malzemenin difüzyon kaynağı ile kaynaklanabilirliğinin araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, ***Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Ankara, 1-36 (2005).

10. Eserci, D., "Alümina, zirkonya ve alümina-zirkonya kompozit malzeme üretimi, karakterizasyonu ve etkin difüzyon sabitinin bulunması", Yüksek Lisans Tezi, ***Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Ankara, 1-19 (2007).

11. Atik, E., "Yaşlandırılabilir bir Al-Al2O3 kompozitinde aşınma dayanımı açısından optimum mekanik özelliklerin ve üretim şartlarının belirlenmesi", Doktora Tezi, ***Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Bursa, 4-13 (1994).

12. Şen, O., "TiO_2 partikül takviyeli alüminyum matrisli kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, ***Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Manisa, 6-25 (2005)

13. Uygur, İ., "Saruhan, H., Alüminyum esaslı metal matris kompozit malzemelerin mekanik özellikleri", ***Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi***, 8(1): 167-174 (2004)

14. Muratoğlu, M., Demirel, M., "Cu/Ni_3Al metal matrisli kompozitin kuru kayma aşınma davranışlarının araştırılması", ***5. Uluslar arası İleri Teknolojiler Sempozyumu***, Karabük, 759-764 (2009)

15. Askeland, D. R., "The Science and engineering of materials 2nd ed", Çeviri Editörü Dr. Mehmet Erdoğan, ***Rolla***, Ankara, 457-486, 655-663 (2000).

16. Buytoz, S., "Al matrisli Al_2O_3 takviyeli kompozit malzemelerin katı hal birleştirme teknikleri ile kaynak edilebilirliğinin araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, ***Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Elazığ, 35-42 (1999).

17. Ekinci, V. Ş., "Alümina takviyeli alüminyum matrisli kompozit malzeme üretimi ve mekanik özelliklerinin araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, ***Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Ankara, 1-54 (2007).

18. Toptan, F., "Alüminyum matrisli B_4C takviyeli kompozitlerin döküm yöntemi ile üretimi", Yüksek Lisans Tezi, ***Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, İstanbul, 2-40 (2006).

19. Öztürk, M., "SiC ilaveli alümina seramik kompozitler", Yüksek Lisans Tezi, ***Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Sakarya, 4-77 (2007).

20. Kaya, T., "Sol-jel yöntemi ile ZrO_2-Al_2O_3 seramik kompozit oksit üretimi, karakterizasyonu ve ZrO_2'nin parametrik etkilerinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, ***Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Ankara, 5-20 (2006).

21. Mertgenç, E.," Savurma döküm yöntemiyle metal matriksli kompozit malzeme üretiminin araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, ***Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Afyon, 4-24 (2004).

22. Barlay Ergü, Ö., "Sol-jel yöntemiyle farklı asit oranlarında alümina-zirkonya kompozit malzeme üretimi ve karakterizasyonu", Yüksek Lisans Tezi, ***Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Ankara, 1-17 (2006).

23. Ekici, R., "Alüminyum esaslı SiC partikül takviyeli metal matrisli kompozit malzemelerin darbe davranışlarının incelenmesi", Yüksek lisans Tezi, ***Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Kayseri, 19-47 (2004).

24. Sur, G., Şahin, Y., Gökkaya, H., "Ergimiş metal karıştırma ve basınçlı döküm yöntemi ile alüminyum esaslı tanecik takviyeli kompozitlerin üretimi", ***Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi***, 20(2): 233-238 (2005)

25. Kılıçkap, E., Özben, T., Çakır, O., "Al-SiCp MMK'lerde partikül takviye oranın mekanik özelliklere ve işlenebilirliğine etkisinin araştırılması", ***Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi***, 12 (3): 313-320 (2006)

26. Atmaca, A., "Çelik fiber takviyeli alüminyum metal matrisli kompozit plakaların elasto-plastik gerilme analizi", Yüksek Lisans Tezi, ***Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Ankara, 6-27 (2006).

27. Erdoğan, M., "Çelik takviyeli alüminyum kompozit üretimi ve mekanik özelliklerinin deneysel incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, ***Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, 3-33 (2005)

28. Cöcen, Ü., "Süreksiz katkılı metal matrisli kompozitler bölüm3: Duktilite", ***Metalurji Dergisi***, 21 (109): 46-53 (1997)

29. Arıkan, R., "Saffil (δ- $A1_2O_3$) fiber takviyeli ZA-12 alaşımın sürtünme aşınma davranışları", ***Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi,*** 22 (3): 359-368 (2007).

30. Mindivan, H., Kayalı, E. S., "SiC takviyeli 2618 Al matrisli kompozitlerin aşınma davranışı", ***İTÜ Dergisi***, 6 (2): 63-70 (2007)

31. Dursun, T., Özbay, M., "Tabakalı kompozit levhalarda hasar ilerleme modellemesi", ***Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi,*** 23 (1): 65-68 (2008)

32. Özçelik, Ö., "In-sıtu alümina partikül takviyeli alüminyum matrisli kompozitlerin üretim ve karakterizasyonu", Yüksek Lisans Tezi, ***Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, İstanbul, 1-26 (2007).

33. Tekmen, Ç., "Metal matriksli kompozitlerin sıkıştırmalı döküm yöntemi ile üretimi", Yüksek Lisans Tezi, ***Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, İzmir, 3-54 (2006).

34. Kılıç, E. F., "Alüminyum alaşımlı SiC parçacık takviyeli kompozitlerin toz metalurjisi yöntemiyle üretimi ve aşınma davranışlarının incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, ***Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Ankara, 1-35 (2007).

35. Topbaş, A., "Isıl İşlemler", ***İstanbul***, 391-399 (1993)

36. Sandal, R., "Al-Al_2O_3 kompozit malzeme üretimi ve difüzyon kaynağı ile kaynaklanabilirliğinin araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, ***Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Ankara, 1-5 (2009).

37. Önel, K., "Süreksiz SiC katkılı alüminyum matrisli kompozitler", ***Metalurji Dergisi***, Ankara, 46-53, (1995).

38. Işıker, V., Ögel, B., "Al-SiC kompozitlerinin üretiminde yatay bilyalı değirmen kullanımı ve parçacık dağılımına etkisi", ***1. Ulusal Toz Metalurjisi Konferansı***, Ankara, 377-385 (1996).

39. Şahin, S., "Boksitlerden alümina üretiminde hidroliz prosesinin teknolojisi", ***Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi***, 6 (1):71-77 (2000)

40. Çalıgülü, U., Dikbaş, H., Taşkın, M., Gür, A. K., "T/M yöntemiyle üretilmiş AlMgSi-SiCp kompozitinde sinterleme süresinin aşınma direncine etkisi", ***5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu***, Karabük, 968-972 (2009)

41. El-Gallab, M., Sklad, M., "Machining of Al/SiC particulate metal matrix composites, Part 1: Tool Peraformance", ***Journal of Materials Processing Technology***, 83: 151-158 (1998).

42. Buytoz, S., Eren, H., "Al metal matris kompozitlerin abrasiv aşınma performansına takviye elemanlarının etkisi", ***Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Dergisi***, 19 (2): 209-216 (2007)

43. Bostan, B., "Mekanik alaşımlama ve ekstrüzyon sonrası Al_4C_3 oluşumunun incelenmesi", ***Gazi Üniv. Fen ve Müh. Bil. Dergisi,*** 23 (2): 343-348 (2008)

44. Arık, H., Özkök, Ö., "Si_3N_4 takviyeli alüminyum matrisli kompozit malzeme üretimi ve mekanik özelliklerinin araştırılması", ***4th International Powder Metallurgy Conference***, Sakarya, 761-773 (2005)

45. Özay, Ç., Hasçalık, A., "T/M yöntemi ile üretilen Cu-C-Al_2SiO_5 kompozitinin abrasiv aşınma dayanımı", ***Dumlupınar Üniv. Fen. Bil. Enst. Dergisi***, 2:175-184 (2004)

46. Cebeci, H.A., "Mekanik alaşımlama yöntemi ile üretilen SiC takviyeli alüminyum kompozitlerin aşınma davranışlarının incelenmesi", Bilim Uzmanlığı Tezi, ***Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Karabük, 9-59 (2008).

47. Güçlü, Ö., "Çelik tel katkılı alüminyum kompozitlerin üretimi",Yüksek Lisans Tezi, ***Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,İzmir***, 22-29 (2001)

48. Geçkinli, E., "İleri Teknoloji Malzemeleri", ***İstanbul***, 84-98 (1992)

49. Mimaroğlu, A., Okumuş, S. C., "Sıcak preslenmiş alümina ve silisyum nitrür seramiklerin sürtünme ve aşınması", ***Tr. J. Of Engineering and Environmental Sciences***, 19: 279-284 (1995)

50. Kıran, M., "Alüminanın ekstrüzyonla sekilendirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, ***Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Afyon, 4-18 (2006).

51. Ayas, A., "Al_2O_3-TiC/TiCN kompozit malzemelerin üretim yöntemleri", Yüksek Lisans Tezi, ***Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Eskişehir, 1-27 (2003).

52. Hasçalık, A., "Al_2O_3 oranının Al/Al_2O_3 kompoziti ile AISI 1020 çeliğinin sürtünme kaynağına etkisi", ***Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bilimleri Dergisi***, 15 (2): 245-254 (2003)

53. Şahin, Y., "Kompozit malzemelere giriş", ***Ankara,*** 91-113 (2000).

54. Acılar, M., Gül F., "Basınçlı infiltrasyon yöntemi ile üretilen Al-SiCp kompozitlerde partikül boyutunun abrasiv aşınma davranışına etkisi", ***Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi***, 22 (2): 323-327 (2007)

55. Ahlatçı, H., Candan, E., Çimenoğlu, H., "%60 SiC-Al kompozitlerin aşınma davranışına SiC partikül boyutunun etkisi", ***İTÜ Dergisi***, 2 (3): 37-42 (2003)

56. Özyürek, D., Özbilen, S., Çetinkaya, C., "Mekanik alaşımlama/öğütme yöntemiyle ZrO_2 takviyeli titanyum bazlı (ex-situ) metal matris kompozit malzemelerin üretilmesi ve karakterizasyonu", ***Teknoloji Dergisi***, 7 (3): 517-522 (2004)

57. Türker, M., Özdemir, T. A., Ögel, B. ve Yavuz, A., "Al-SiC tozlarının mekanik alaşımlama değirmeninde öğütme zamanının kompozit toz yapısına etkisinin araştırılması" , ***Uluslararası Katılımlı 2. Ulusal Toz Metalujisi Konferansı***, Ankara, 425-431 (1999).

58. Yavuz, N., Karadere, G., "Toz metal parçaların tasarım özelliklerinin incelenmesi", ***Süleyman Demirel Üniv. Müh. Mim. Fak. Makine Müh. Dergisi***, 1(9): 79-82 (1996)

59. Mazen, A. A, Ahmed, A. Y., "Mechanical Behavior of Al-Al_2O_3 MMC Manufactured by PM Techniques", ***Mat. Eng.***, 7: 393-401 (1998).

60. Şahin, G., "Homojen çöktürme yöntemi ile alümina üretimi", Yüksek Lisans Tezi, ***Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Eskişehir, 3-23 (2006)

61. Akbulut, H., Durman, M., Yılmaz, F., "SiC seramik partikül takviyeli alüminyum-silisyum metal esaslı kompozitlerin üretimi ve özelliklerinin incelenmesi'', ***1. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi***, Ankara, 1183-1192 (1993).

62. Da Silva, R., Caldemaison, D., Bretheau, T., "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 (1991).

63. Sago, A. S., Newkirk, J. W., Brasell, G. M., "Rapid Mechanical Alloying For Metal Powder Production", ***Adv. In PM***, 11-3, (1997).

64. Özkan, S., "Alüminyum matrisli SiC parçacık takviyeli kompozitlerin mekanik alaşımlama yöntemiyle üretimi ve kuru aşınma davranışlarının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, ***Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Ankara, 16-44 (2007)

65. Yılmaz, R., Özyürek, D**.,** **"**Toz metalurjisi ile üretilen Fe-Cu-C esaslı malzemelerin asınma özellikleri", ***5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu,*** Karabük, 1230-1235 (2009)

66. Arık, H., Türker, M. Sarıtaş, S., "Mekanik alaşımlama ile alüminyum matrisli alüminyum karbür (Al_4C_3) kompozit malzeme üretimi", ***Uluslar arası katılımlı 2. Ulusal Toz Metalurjisi Konferansı***, Ankara, 433-439 (1999).

67. Kurnaz, S.C., Akbulut, H., Durman, M., "Saffil (δ- $A1_2O_3$) fiber takviyeli çinko-alüminyum alaşımı metal matrisli kompozitlerin infiltrasyon yöntemi ile üretimi ve özelliklerinin incelenmesi", ***7. Uluslar arası Metalurji ve Malzeme Kongresi***, Ankara, 1155-1163 (1993).

68. Göktaş, A.A., "Al_2O_3-B_4C kompozit seramiklerin sinterlenmesi ve karakterizasyonu", ***Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi***, İstanbul, 1317-1321 (1995).

69. Demirel, M., "Toz metalurjisi yöntemiyle üretilen metal matrisli kompozitlerde ni3al metallerarası bileşik takviyesinin aşınma davranışına etkilerinin araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, ***Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Elazığ, 1-94 (2007)

70. Arıkan, R., "Saffil (δ- $A1_2O_3$) fiber takviyeli ZA-12 alaşımın sürtünme aşınma davranışları", ***Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi***, 22 (3): 359-368 (2007)

71. Güldaş, A., Şahin, Y., Dilipak, H., "Zn-Al esaslı metal matriksli kompozit malzemelerin aşınma davranışlarının incelenmesi", ***Politeknik Dergisi***, 3 (2): 97-102 (2000)

72. Aktaş, H., "Alüminyum matrisli Al_2O_3 parçacık takviyeli kompozitlerin mekanik alaşımlama yöntemiyle üretimi ve kuru aşınma davranışlarının incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, ***Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Ankara, 1-32 (2007)

73. Kurt, T., "Diyatomit'ten karbo-termal indirgeme ve nitrürleme yoluyla silisyum nitrür seramik toz üretimi", Yüksek Lisans Tezi, ***Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Ankara, 65-75 (2002)

74. Çetin, M., Gül, F., "Östemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demirin Abrasiv Aşınma Davranışına Östemperleme İşleminde Soğutmanın Etkisi", ***Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi,*** 21 (2): 359-366 (2006)

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : KURT, Hanife

Uyruğu : T.C.

Doğum tarihi ve yeri : 1980, Gümüşhane

e-mail : sementit55@hotmail.com

Eğitim

Derece	**Eğitim Birimi**	**Mezuniyet tarihi**
Lisans	Gazi Üniversitesi/ Metal Eğitimi Bölümü	2000
Lise	Fatih Sultan Mehmet Lisesi	1996

İş Deneyimi

Yıl	**Yer**	**Görev**
2000-2001	Cizre End. Mes. Lisesi	Öğretmen
2001-2003	Terme End. Mes. Lisesi	Öğretmen
2003-2010	Ali Emine Kahvecioğlu End. Mes. Lisesi	Öğretmen
2010-…….	Atatürk Teknik ve End. Mes. Lisesi	Öğretmen