

**MEKANİK ALAŞIMLAMA YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN SiC TAKVİYELİ  
ALÜMİNYUM KOMPOZİTLERİN AŞINMA DAVRANIŞLARININ  
İNCELENMESİ**




**Hasan Ali CEBECİ**

**Karabük Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Eğitimi Anabilim Dalında  
Bilim Uzmanlığı Tezi  
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK  
Haziran 2008**


**KABUL:**

Hasan Ali CEBECİ tarafından hazırlanan “MEKANİK ALAŞIMLAMA YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN SiC TAKVİYELİ ALÜMİNYUM KOMPOZİTLERİN AŞINMA DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalında Bilim Uzmanlığı Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir. 20 / 06 /2008

	<u>Unvanı, Adı SOYADI (Kurumu)</u>	<u>İmzası</u>
Başkan:	Doç. Dr. İbrahim ÇİFTÇİ (K.B.Ü)	
Üye :	Yrd.Doç.Dr.İsmail KARACAN (K.B.Ü)	
Üye :	Yrd.Doç.Dr. Dursun ÖZYÜREK (K.B.Ü)	

**ONAY:**

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım. 20/06/ 2008

  
Doç. Dr Süleyman GÜNDÜZ  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

*“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”*

Hasan Ali CEBECİ



## **ÖZET**

**Bilim Uzmanlığı Tezi**

### **MEKANİK ALAŞIMLAMA YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN SiC TAKVİYELİ ALÜMİNYUM KOMPOZİTLERİN AŞINMA DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

**Hasan Ali CEBECİ**

**Karabük Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Eğitimi Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. İsmail KARACAN**

**Haziran 2008, 89 sayfa**

Bu çalışmada, Mekanik Alaşımlama / Mekanik Öğütme (MA/MÖ) yöntemi ile farklı oranlarda SiC parçacıkları ile takviyelendirilmiş Al esaslı Metal Matrisli Kompozit (MMK)'ler üretilmiş ve aşınma özellikleri araştırılmıştır.

Deneysel çalışmalarda SiC miktarı hacim bazında % 5, % 10, % 15 ve % 20 olarak belirlenmiştir. MA/MÖ işlemleri titreşimli değirmende 750 Hz hızlarında 10:1 bilya/toz oranı kullanılarak 120 dakikalık sürelerde yapılmıştır. Öğütme işlemlerinde işlem kontrol kimyasalı olarak % 2 stearik asit kullanılmıştır. MA/MÖ tozlar 630 MPa basınç altında soğuk preslenerek 530 °C'de 30 dakika süreyle sinterlenmiştir. Sinterlenen numuneler optik mikroskop altında incelenmiş, yoğunluk ve sertlikleri karakterize edilmiştir. Karakterize edilen numuneler hazırlanarak pin-on disk tipi aşınma cihazında aşınma testleri yapılmıştır. Bu testlerde, 2 m/sn'lik kayma hızı, 500, 1000, 1500 ve 2000 m aşınma mesafesi ve 10, 20 ve 30N yük uygulanmıştır.

## **ÖZET(devam ediyor)**

Yapılan testler sonrasında aşınma yüzeyleri tarama elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmiştir. Aşınma deneylerinde yolun ve yükün artırılmasıyla aşınma miktarı da artmıştır. Yapılan testler sonucunda kompozit içerisindeki SiC miktarı artıkça kompozitin yoğunluk, sertlik ve aşınma direncinin arttığı görülmüştür.

**Anahtar Sözcükler :** Alüminyum Alaşımları, Aşınma, Toz Metalürjisi, Mekanik Alaşımlama, Kompozit Malzemeler, Silisyum Karbür.

**Bilim Kodu** : 626.12.00

## **ABSTRACT**

**M.Sc. Thesis**

### **AN INVESTIGATION INTO THE WEAR BEHAVIOUR OF SiC REINFORCED ALUMINIUM COMPOSITES SYNTHESISED BY MECHANICAL ALLOYING**

**Hasan Ali CEBECİ**

**Karabük University**

**Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**Department of Mechanical Education**

**Thesis Advisor: Asist. Prof. Dr. İsmail KARACAN**

**June 2008, 89 pages**

In this study, Al based metal matrix composites (MMCs) with various amounts of SiC particles were synthesised through mechanical alloying / mechanical milling (MA/MM) and their dry wear properties were investigated.

For the experimental studies, SiC amounts were determined as 5, 10, 15 and 20 % in volume. MA/MM processes were carried out in a vibratory milling unit at 750 Hz using 10:1 ball/powder ratio for 120 minutes. 2 % stearic acid was used in milling as the process chemical. MA/MM powders were cold pressed under 630 MPa pressure and sintered at 530 °C for 30 minutes. The sintered specimens were examined through optical microscopy and their densities and hardness were characterised. The characterised specimens were subjected to dry wear tests on a pin-on disk type wear unit. The wear tests were carried out at a sliding speed of 2 ms for 500, 1000, 1500 and 2000 m wear distances under 10, 20 and 30 N applied load.

## **ABSTRACT (continued)**

The worn specimens were examined under a scanning electron microscope (SEM). The results showed that increasing wear distance and applied load increased the wear rate. The amounts of SiC in the composites were also found to increase the density, hardness and wear resistance of the specimens.

**Key Words** : Aluminium Alloys, Wear, Powder Metallurgy, Mechanical Alloying, Composite Materials, Silicon Carbide.

**Science Code** : 626.12.00



## TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanmasında değerli zamanlarını ayırarak bilgi, tecrübe ve değerli katkılarıyla beni yönlendiren ve bu çalışmamın iyi bir şekilde sonuçlandırılmasında yardımcı olan tez danışmanım sayın Yrd. Doç. Dr. İsmail KARACAN'a ve bu çalışmalarım boyunca her türlü bilimsel katkıları ile beni yönlendiren ve laboratuvarlarındaki cihazları kullanmam için gerekli izni veren ve zamanını ayıran, değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Dursun ÖZYÜREK'e ve değerli hocalarım Prof. Dr. Ulvi ŞEKER, Doç. Dr. İbrahim ÇİFTÇİ, Yrd. Doç. Dr. Halil DEMİR'e, çalışmalarımın her aşamasında katkısını benden esirgemeyen Arş. Gör. Ahmet MEYVECİ'ye, SEM ve laboratuvar çalışmalarında vermiş oldukları destekten dolayı yüksek lisans öğrencileri Alper AYTAÇ ve Erkan KİBAR'a teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her anında yanımda olan, benden maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen değerli aileme en içten sevgi ve saygılarımı sunarım.



## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	v
ABSTRACT .....	vii
TEŞEKKÜR.....	ix
İÇİNDEKİLER.....	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xv
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xix
BÖLÜM 1 GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2 LİTERATÜR ÇALIŞMASI .....	3
BÖLÜM 3 MEKANİK ALAŞIMLAMA .....	9
3.1 MEKANİK ALAŞIMLAMANIN TANIMI VE TARİHÇESİ .....	9
3.1.1 Mekanik Alaşımlamanın Avantajları .....	10
3.1.2 Mekanik Alaşımlama Mekanizması.....	10
3.1.2.1 Sünek-Sünek Alaşımlama/Öğütme Sistemi .....	12
3.1.2.2 Sünek-Gevrek Alaşımlama/Öğütme Sistemi .....	13
3.1.2.3 Gevrek-Gevrek Alaşımlama/Öğütme Sistemi.....	14
3.1.3 Mekanik Alaşımlamada Kullanılan Değirmen Tipleri.....	14
3.1.4 Mekanik Alaşımlamada İşlem Parametreleri .....	17
3.1.4.1 Değirmen Tipi.....	17
3.1.4.2 Öğütme Kazanı.....	18
3.1.4.3 Öğütme Hızı .....	18
3.1.4.4 Öğütme Zamanı.....	19
3.1.4.5 Öğütücü Bilyelerin Tipi ve Boyutu .....	20
3.1.4.6 Bilye-Toz Ağırlık Oranı .....	21
3.1.4.7 Kabın Doluluk Oranı.....	21

## İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
3.1.4.8 Öğütme Atmosferi .....	22
3.1.4.9 İşlem Kontrol Kimyasalları.....	22
3.1.4.10 Sıcaklığın Etkisi .....	23
3.1.5 Metal Tozlarının Sinterlenmesi .....	23
3.1.5.1 Sinterleme Teorisi .....	24
<b>BÖLÜM 4 KOMPOZİT MALZEMELER .....</b>	<b>27</b>
<b>4.1 KOMPOZİT MALZEMELERİN ÖZELLİKLERİ .....</b>	<b>29</b>
4.1.1 Kompozitlerin Mekanik Özellikleri .....	30
<b>4.2 METAL MATRİSLİ KOMPOZİTLER .....</b>	<b>30</b>
4.2.1 Metal matrisli Kompozit Çeşitleri.....	33
4.2.1.1 Parçacık Takviyeli MMK'ler .....	33
4.2.1.2 Sürekli Elyaf Takviyeli MMK'ler.....	34
4.2.1.3 Kısa Elyaf Takviyeli MMK'ler.....	36
4.2.1.4 Rastgele Düzlemsel Yönlendirilerek Takviyelendirilmiş MMK'ler.....	37
4.2.2 MMK Malzemelerin Mühendislik Uygulamaları .....	38
4.2.3 MMK Üretim Yöntemleri .....	38
<b>4.3 METAL MATRİS MALZEMELERİ .....</b>	<b>39</b>
4.3.1 Al ve Al Alaşımları .....	39
4.3.2 Magnezyum (Mg) ve Alaşımları .....	40
4.3.3 Çinko Alaşımları .....	41
4.3.4 Titanyum Alaşımları .....	41
<b>4.4 KOMPOZİTLERDE KULLANILAN TAKVİYE ELEMANLARI.....</b>	<b>41</b>
4.4.1 Boron.....	43
4.4.2 Silisyum Karbürler .....	43
4.4.3 Whiskersler.....	43
4.4.4 Karbon ve Grafit Fiberler .....	44
<b>BÖLÜM 5 AŞINMA.....</b>	<b>47</b>
<b>5.1 AŞINMA .....</b>	<b>47</b>

## İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
5.2 AŞINMANIN TEMEL NEDENLERİ .....	48
5.2.1 Aşınmayı Etkileyen Faktörler .....	49
5.2.1.1 Ana Malzemeye Bağlı Faktörler .....	49
5.2.1.2 Karşı Malzemeye Bağlı Faktörler ve Aşındırıcının Etkisi .....	50
5.3 AŞINMA MEKANİZMALARI .....	50
5.3.1 Adhezif Aşınma (Yapışma Aşınması).....	50
5.3.2 Abrazif Aşınma .....	51
5.3.3 Yorulma Aşınması.....	53
5.3.4 Eroziv Aşınma .....	54
5.3.4 Difüzyon Aşınması.....	54
5.4 AŞINMANIN BAĞLI OLDUĞU FAKTÖRLER.....	54
5.4.1 Malzemenin Cinsi .....	54
5.4.2 Malzemenin Mikro Yapısı .....	55
5.4.3 Malzeme Şekli ve Boyutları .....	55
5.4.4 Ortamın Etkisi (Sıcaklık, nem, atmosfer).....	55
5.4.5 İşletme Koşulları .....	56
5.4 AŞINMA TESTLERİ VE ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ .....	56
BÖLÜM 6 DENEYSEL MALZEME VE METOT .....	59
6.1 MA/MÖ' NİN YAPILDIĞI TİTREŞİMLİ DEĞİRMEN .....	59
6.2 DENEYSEL PARAMETRELER.....	60
6.2.1 Matris Malzemesi.....	60
6.2.2 Takviye Elemanları .....	60
6.2.3 Öğütücü Malzemeler .....	60
6.2.4 Bilye-Toz Oranı (BTO).....	61
6.2.5 İşlem Kontrol Kimyasalı(İKK) .....	61
6.2.6 MA/MÖ Şarj İşlemi .....	61
6.3 NUMUNE HAZIRLAMA VE METALOGRAFİK İŞLEMLER .....	61
6.3.1 Soğuk Presleme .....	61
6.3.2 Sinterleme İşlemleri .....	62
6.3.3 Metalografik numune hazırlama .....	62

## İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
6.3.4 Sertlik ve Yoğunluk Ölçümleri .....	62
6.3.5 Optik Mikroskop İncelenmeleri .....	63
6.3.6 Tarama Elektron Mikroskobu (SEM) İncelemeleri .....	63
6.4 AŞINMA .....	63
6.4.1 Aşınma Test Cihazı .....	63
6.4.2 Karşılık Diski ve Malzemesi .....	64
6.4.3 Aşınma Testleri .....	65
6.4.4 Aşınmanın Miktarının Ölçümü .....	65
BÖLÜM 7 DENEYSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE TARTIŞMA .....	 67
7.1 FARKLI ORANLARDA SiC İÇEREN AL ALAŞIMLARININ MİKROYAPI İNCELEMELERİ .....	 67
7.2 FARKLI ORANLARDA SiC İÇEREN AL ALAŞIMLARININ SERTLİK İNCELEMELERİ .....	 69
7.3 FARKLI ORANLARDA SiC İÇEREN AL ALAŞIMLARININ YOĞUNLUK VE POROZİTE İNCELEMELERİ .....	 70
7.4 FARKLI ORANLARDA SiC İÇEREN AL ALAŞIMLARININ AŞINMA DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ .....	 71
7.5 UYGULANAN YÜKE GÖRE SÜRTÜNME KATSAYISININ DEĞİŞİMİ ....	73
7.6 AŞINMA YÜZEYLERİNİN TARAMA ELEKTRON MİKROSKOBU (SEM) İNCELEMELERİ .....	 74
BÖLÜM 8 SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	79
KAYNAKLAR.....	81
ÖZGEÇMİŞ .....	89

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
3.1 MA sırasında Bilye-Toz-Bilye Çarpışması .....	11
3.2 Mekanik Alaşımamada Kullanılan Başlangıç Tozlarının Temsili Bileşimlerinin Deformasyon Karakteristikleri .....	13
3.3 SPEX Tipi Değirmen.....	15
3.4 Planeter Tipi Bilyeli Değirmen.....	16
3.5 Atritör Tipi (dikey) Bilyeli Değirmen .....	16
3.6 Öğütme Şartlarında Küçük Parçacıkların Kaynaklanma eğilimleri nedeni ile büyük partiküller oluşturması ve sonra kırılarak küçük parçacıkların oluşumu ..	19
3.7 İki küresel parçacığın sinterleme profili.....	24
3.8 Sinterleme basamaklarına göre gözenek yapısındaki değişim.....	25
3.9 Son sinterleme devresinde bir gözeneğin izole edilişi ve kapanması.....	26
4.1 Kompozit malzemelerle bazı metallerin karşılaştırılması .....	28
4.2 Parçacık Takviyeli Metal Matrisli Kompozitin Şematik yapısı .....	33
4.3 Sürekli Fiber Takviyeli MMK Şematik Yapısı .....	35
4.4 Kesikli elyaf takviyeli metal matrisli kompozitin şematik yapısı .....	36
4.5 Rastgele Düzlemsel Olarak Yönlendirilerek Takviyelendirilmiş MMK Yapısı .....	37
5.1 Tribolojik sistemin şematik gösterimi.....	49
5.2 Adhezif aşınmanın meydana gelişinin şematik olarak gösterimi.....	51
5.3 İki elamanlı abrazif aşınma .....	52
5.4 Üç elamanlı abrazif aşınma .....	52
5.5 Abrazif aşınma mekanizması .....	53
5.6 Yorulma aşınmasının şematik gösterimi .....	53
6.1 Titreşimli MA/MÖ Cihazının Şematik Görünüşü .....	59
6.2 Kompozit Parça Üretiminde Kullanılan Kalıp ve Preslenen Parçanın Şematik Görüntüsü.....	62

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
6.3 Aşınma Test Cihazının Şematik Görüntüsü .....	63
7.1 120 Dakika Mekanik Öğütülerek 530 °C de 30 Dakika Sinterlenen Al-SiC Parçalarının Optik Mikroskop Görüntüleri .....	68
7.2 120 Dakika Mekanik Öğütülerek 530 °C'de 30 Dakika Sinterlenen Al-SiC Parçaların Sertlik Değerleri .....	69
7.3 120 Dakika Mekanik Öğütülerek 530 °C'de 30 Dakika Sinterlenen Al-SiC Parçaların Yoğunluk Değerleri.....	70
7.4 120 Dakika Mekanik Öğütülerek 530 °C'de 30 Dakika Sinterlenen Al-SiC Parçaların Porozite Değerleri .....	71
7.5 120 Dakika Mekanik Öğütülerek 530 °C'de 30 Dakika Sinterlenen Al-SiC Parçaların Aşınma Yük, Mesafe ve Ağırlık ilişkisi.....	73
7.6 120 Dakika Mekanik Öğütülerek 530 °C'de 30 Dakika Sinterlenen Saf Al ve SiC Takviyeli Kompozit Malzemelerin Sürtünme Katsayısı Değişimi .....	74
7.7 120 Dakika Mekanik Öğütülerek 530 °C'de 30 Dakika Sinterlenen Saf Alüminyum Parçaların SEM Görüntüleri.....	75
7.8 120 Dakika Mekanik Öğütülerek 530 °C'de 30 Dakika Sinterlenen % 5 SiC İçeren Parçaların SEM Görüntüleri.....	75
7.9 120 Dakika Mekanik Öğütülerek 530 °C'de 30 Dakika Sinterlenen % 10 SiC İçeren Parçaların SEM Görüntüleri.....	76
7.10 120 Dakika Mekanik Öğütülerek 530 °C'de 30 Dakika Sinterlenen % 15 SiC İçeren Parçaların SEM Görüntüleri.....	77
7.11 120 Dakika Mekanik Öğütülerek 530 °C'de 30 Dakika Sinterlenen % 20 SiC İçeren Parçaların SEM Görüntüleri.....	78



## ÇİZELGELER DİZİNİ

<b><u>No</u></b>		<b><u>Sayfa</u></b>
4.1	Kompozit Malzemelerinin Kullanım Alanları .....	30
4.2	MMK Bileşik Gereçlerin Mekanik Özellikleri .....	31
4.3	Saf Alüminyumun Önemli Fiziksel Özellikleri .....	40
4.4	Kompozitlerde Kullanılan Bazı Takviye Elemanlarının Özellikleri .....	42
6.1	Matris Malzemesinin Kimyasal Bileşimi .....	60
6.2	SiC Tozların Özellikleri .....	60
6.3	Öğütücü Bilyelerin Kimyasal Bileşimi .....	61
7.1	120 Dakika Mekanik Öğütülerek 530 °C’de 30 Dakika Sinterlenen Al SiC Parçaların Yoğunlukları ve Porozite Miktarları .....	70



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

$\mu\text{m}$	:	mikronmetre
Al	:	alüminyum
$\text{Al}_2\text{O}_3$	:	alümina
Ar	:	argon
$\text{B}_4\text{C}$	:	boron karbür
Co	:	kobalt
Cu	:	bakır
d	:	çap
dak	:	dakika
dev	:	devir
Ge	:	germenyum
L	:	boy
m	:	metre
Mg	:	magnezyum
mgr	:	miligram
mm	:	milimetre
Mn	:	mangan
N	:	azot
$\text{NH}_3$	:	amonyak
Ni	:	nikel
Pb	:	Kurşun
Si	:	silisyum
SiC	:	silisyum karbür
sn	:	saniye
WC	:	tungsten karbür
$\text{ZrO}_2$	:	zirkonyum oksit
$^{\circ}\text{C}$	:	santigrat derece



## **KISALTMALAR**

- BTO : Bilya Toz Oranı  
İKK : İşlem Kontrol Kimyasalı  
HV : Vickers Sertlik değeri  
MA : Mekanik Alaşımlama  
MMK : Metal Matris Kompozit  
MÖ : Mekanik Öğütme  
N : Newton  
ODS : Oksit Dağılımla Güçlendirilmiş  
SEM : Tarama Elektron Mikroskobu  
ŞO : Şarj Oranı  
TM : Toz Metalurjisi



## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Günümüzde geleneksel malzemeler kullanarak teknolojinin tüm gereksinimleri karşılanamamaktadır. Endüstride malzemeden istenen en önemli özellikler; dayanım, tokluk, hafiflik ve düşük maliyettir. Geleneksel malzemelerde ısıl işlem yapılarak malzemenin bazı dayanım değerleri arttırılmaktadır. Fakat aşınma dayanımı, darbe dayanımı, kırılma tokluğu ve hafiflik gibi özellikler aynı anda sağlanamamaktadır.

Günümüz metal malzemelerinin birçok özellikleri gelişen teknolojinin ihtiyacına cevap verememesinden dolayı, daha üstün özelliklere sahip kompozit malzemeler üretilmeye başlanmış ve bu konuda hızlı bir gelişme sürecine girilmiştir. Kompozit malzemeler klasik malzemelere göre çok daha hafif ve dayanıklıdır. Yapılan çalışmalar neticesinde, bu malzemelerin mekanik, kimyasal ve elektrik özelliklerinin iyileştirilmesi mümkün olmuştur. Kompozit malzemeler yaygın şekilde havacılık, deniz taşıtları, otomotiv, inşaat, askeri ve uzay teknolojisi alanlarında kullanılmaktadır (Tavman 1997, Ramesh et al. 2005).

Malzeme bilimi alanında, yüksek aşınma direnci, yüksek dayanım, düşük yoğunluk, iyi korozyon dayanımı sergileyen hafif malzemelerin geliştirilmesi için çok sayıda çalışmalar yapılmıştır. Önemli endüstri dallarından olan otomotiv, elektronik, spor, havacılık ve uzay gibi uygulama alanlarında performansın arttırılmasına yönelik bu özellikler önem kazanmaktadır (Çiftçi 2003).

Kompozit malzeme, iki veya daha fazla sayıdaki, aynı veya farklı gruptaki malzemelerin en iyi özelliklerini, yeni ve tek bir malzemedeki toplamak amacıyla, makro düzeyde birleştirilmesiyle oluşturulan malzemeler olarak adlandırılır (Durmuş ve Meriç 2003).

Kompozit malzemelerde kullanılan matris ve takviyeden başka malzemenin kalitesini etkileyen diğer bir özellikte üretim yöntemidir. Metal matrisli kompozitlerin üretiminde kullanılan toz metalürjisi yöntemi tüm malzeme üretim teknolojileri içerisinde sunduğu

çeşitlilik açısından en kapsamlı şekillendirme ve üretim süreçlerine sahip bir teknolojidir. Toz metalürjisi metal tozlarının belirli oranlarda bağlayıcı ilavesi ile karıştırılarak oda sıcaklığında ya da yüksek sıcaklıklarda hassas kalıplarda istenilen teknik değerlere uygun basınçlarda preslenmesi ve kontrollü atmosferlerde sinterlenmesi ile parça üretme yöntemidir. Günümüzde geleneksel bir imalat yöntemi olan toz metalürjisi malzemedan tasarruf edilmesine, karmaşık şekillerde sinter parça üretimine, mikroyapısal ve kimyasal homojenizasyon sonucu sinterlenmiş parçada üstün mekanik özelliklerin elde edilmesini sağlamaktadır. Toz metalürjisi ürünlerinin %70'i otomotiv endüstrisinde, %12'si iş makinelerinde, %5'i tarım aletlerinde ve %15'de güncel aletlerde kullanılmaktadır (Rong et al. 1997).

Bu tez çalışmasında saf Al ile farklı hacim oranlarında SiC parçacıkları karıştırılarak argon atmosferinde mekanik öğütme yapılmıştır. Öğütme işlemi titreşimli tip MA/MÖ değirmeninde yapılmıştır. Farklı oranlardaki parçacık takviyesinin kompozit malzemenin aşınma davranışına etkisi araştırılmıştır. Aşınma testleri pin-on-disk tipi aşınma cihazında kuru sürtünmeli olarak ve farklı parametrelerde yapılmıştır. Deneyle sonuçunda aşınma yüzeyleri tarama elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmiştir.



## BÖLÜM 2

### LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Ünlü vd. (2002), Toz metalürjisi yöntemi ile SiC takviyeli Al esaslı kompozitler üretmişlerdir. Üretilen kompozitlerde SiC takviye oranları ağırlıkça %5, %10, %15, %20 olarak seçilmiştir. Bu karışımlar, 500 MPa ve 350 MPa basınçlarda preslenerek ve argon gazı atmosferinde 600 °C 30 dakika sinterleme işlemi uygulanarak kompozit numuneler üretilmiştir. Elde edilen kompozitlerin yoğunluk ve sertlik ölçümleri yapılmış, aşınma davranışları incelenmiştir. Aşınma testleri pin-on-disk düzeneğinde yapılmış, karşı aşındırıcı olarak 600 nolu SiC zımpara seçilmiştir. Aşınma testleri sonucunda presleme basıncı ve takviye oranının artmasının kompozitlerin aşınma direncini iyileştirdiği gözlenmiştir.

Wang et al. (2007), Toz metalürjisi yöntemi kullanılarak SiC parçacıklarıyla takviyelendirilmiş Al-Cu matrisli kompozitler üretmiş ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Elde edilen kompozitler Ar atmosferinde 650, 700, 750 ve 800 °C sıcaklıklarda sinterlenmiştir. Sinterlenmiş kompozitlerin yapısal analizleri için SEM ve XRD teknikleri kullanılmıştır. Sinterleme sıcaklığının; yoğunluk, sertlik ve mikro yapılar üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Yüksek sıcaklıklarda SiC parçacıklarının ara yüzey bağı kurmadığı ve Al<sub>2</sub>Cu bileşiğinin mukavemetinin arttığı gözlenmiştir. Yapılan deneylerde en yüksek mikro sertlik değeri 700 °C ve 80 MPa'da oluşmuştur.

Mondal ve Das (2005), yaptıkları çalışmada, Al alaşımlı SiC parçacık takviyeli kompozitlerin yüksek basınçlı abrazif aşınma davranışlarını; uygulanan yük, takviye boyutu ve hacimsel oranın fonksiyonu olarak inceleyip, matris alaşımının aşınması ile kıyaslamışlardır. Takviye elemanı olarak 25-50 ve 50-80 µm boyutlarında SiC parçacıkları kullanılmıştır. SiC'ün hacimsel oranı ağırlıkça %5-12 arasındadır. SiC parçacık ilavesinin artmasıyla kompozitin abrazif aşınma oranının düştüğü gözlenmiştir. Alaşım ve kompozitin aşınma oranı yüke göre lineer fakat abrazif ebadına göre sabit olup, bir kritik abrazif ebadında geçiş olduğu belirlenmiştir.

Bu çalışmada güçlendirilmemiş Al-20Si-3Cu-1Mg (ASCM) alüminyum alaşımı ve SiC parçacıklarıyla güçlendirilmiş Al-20Si-3Cu-1Mg alüminyum matrisli kompozitler toz metalürjisi metodu ile üretilmiştir. Numuneler 25-175 N yükleri arasında, karşılıklı sürtünmeli deney düzeneğinde 4Cr13 paslanmaz çeliğe karşı ve 0,3-1,2 m/sn kayma hızlarında aşındırılmıştır. Sonuçlar, kompozitlerin kuru kaymada iyi ve sulu kaymada daha az aşınma direncine sahip olduklarını göstermiştir. Kuru kaymada oluklaşma aşınma mekanizması ve sulu aşınmada tribokimyasal aşınmanın baskın olduğu belirtilmiştir. Tarama Elektron Mikroskobu (SEM) ve X-ışınlı Fotoelektron Spektroskopu (XPS), aşınma morfolojisini ve yüzey kimyasını incelemek için kullanılmıştır (Bai and Xue 1997).

Tweed (1991), hacimce % 0-40 silisyum karbür parçacıkları ile takviye edilmiş 2014 alüminyum alaşımli MMK'lerin vakumlu sıcak preslemeyle üretimini incelemiştir. Matris olarak soy gazla atomize edilmiş, ortalama 25 µm büyüklüğünde 2014 alüminyum tozları ve takviye elemanı olarak ortalama 12 µm büyüklüğündeki SiC parçacıkları kullanılmıştır. Tozlar arasındaki ısı iletkenliği iyileştirmek için, soğuk ön presleme yapılmış ve bunun etkisi araştırılmıştır. % 0-10 poroziteli numuneler elde edilmiştir. Düzenli ve kontrollü takviye elemanlı ve porozite miktarlı 2014 alüminyum-SiC kompozitler vakumlu sıcak preslemeyle üretilmiştir. Karışmış toz içindeki sıcaklıkların dengelenme hızı, 11 MPa'lık bir basınçla soğuk ön preslemeyle büyük oranda artmıştır. 2014 alüminyum SiC karışımı tozların gazlarının atılması süresince, gazların atılma hızının ve oluşan toplam gazın 2014 alüminyum toz miktarına bağlı olduğu gözlenmiştir. Kompozitlerin oluşma hızları kalıp sıcaklığı, uygulanan basınç ve SiC toz miktarıyla etkilenmiştir.

Ma et al. (1996) SiC parçacık takviyeli 2024 alüminyum alaşımli kompozitlerin aşınma davranışlarını incelemiştir. Matris olarak ortalama büyüklüğü 60 µm olan 2024 alüminyum alaşımı tozları (% ağırlıkça, Al-4.2Cu-1.47Mg- 0.56Mn-0.02Zr-0.4Si-0.27Fe) ve takviye elemanı olarak ortalama büyüklükleri 3.5, 10 ve 20 µm olan α-SiC parçacıkları kullanılmıştır. Parçacık takviyeli kompozitler hacimce %0, 15, 20 ve 30 oranlarında SiC ile takviye edilmiş ve toz metalürjisi tekniği kullanılarak üretilmiştir. Yapılan sertlik deneyleri sonuçları; kompozitlerin sertliğinin, SiC parçacıklarının hacim oranının artmasıyla arttığını, ancak SiC partikül boyutlarının artmasıyla azaldığını göstermiştir. Alüminyum alaşımının aşınma özellikleri, SiC parçacıklarının eklenmesiyle belirli bir şekilde iyileşmiş ve kompozitlerin aşınma direnci yüksek yük altında takviyesiz alaşımın yaklaşık iki katı olmuştur. Ancak SiC

parçacıklarının hacim oranının ve boyutlarının artmasıyla, kompozitlerin aşınma direnci artmıştır. SiC parçacık boyutlarının kompozitlerin aşınma direnci üzerindeki etkisinin, SiC parçacıklarının hacim oranından daha büyük olduğu gözlenmiştir.

Akoral vd. (2003), toz metalürjisi yöntemiyle, SiC takviyeli alüminyum esaslı metal matrisli kompozitler üretmişler ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Üretilen kompozitlerde SiC takviye elemanı oranları ağırlıkça % 10, 20 ve 30 olarak seçilmiştir. Toz karışımları, 220 dev/dak hızda bilyeli yatay değirmende 6 saat karıştırılarak hazırlanmıştır ve daha sonra 600 MPa'da çift-tesirli bir kalıpta preslenerek blok numuneler üretilmiştir. Elde edilen bu blok numuneler 600, 620 ve 645 °C'de 1 saat Ar atmosferi altında tüp fırında sinterlenerek kompozit numuneler elde edilmiştir. Kompozit numunelerin mekanik deneyleri ve mikro yapı incelemeleri yapılmış ve matris içindeki SiC parçacıklarının dağılımı belirlenmiştir. Kompozit numunelere uygulanan çapraz kırılma testi sonuçlarına ve sertlik değerlerine bakılarak mekanik özellikleri belirlenmiştir.

Hiçılmaz (1999) toz metalürjisi ile üretilmiş alüminyum esaslı kompozitlerin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Toz tane boyutuna göre sınıflandırılmış alüminyum tozları içerisine değişik oranlarda SiC ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> seramik parçacıkları katılarak çeşitli alüminyum toz karışımları elde edilmiş ve katı sinterleme ile kompozit malzemeler üretmişlerdir. Elde edilen bu kompozit numunelerin mikroyapı incelemesi sonucunda sert fazların homojen olarak dağılımları gözlenmiştir. Mikro yapı içerisinde sert faz dışında % 10 oranında gözenek olduğu belirlenmiştir. Mekanik özelliklerin matrisi oluşturan alüminyum tozunun boyutuna bağlı olduğu ve toz boyutu azaldıkça iyileştiği görülmüştür. Sert faz bulunmayan malzemelerin çekme ve darbe özelliklerinin sert faz bulunanlara göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Sert faz miktarı arttıkça kompozitlerin sertliği ve aşınma dayanımı artmıştır.

Akbulut vd. (1993), farklı boyut (75, 63 ve 36 µm) ve hacim oranlarındaki (% 5-20) SiC parçacıklarının Vorteks metodu ile LM13 alaşımına ilâvesiyle Metal Matrisli Kompozitler elde etmişlerdir. Kompozitlere ısıl işlem uygulanmış, döküm halinde ve ısıl işlem görmüş malzemelerdeki sertliğin, artan SiC hacim oranıyla ve azalan parçacık boyutuyla yaklaşık doğrusal bir şekilde arttığı görülmüştür. Fakat artış hızı, ısıl işlem görmüş malzemelerde daha yavaş olarak gerçekleşmiştir. Metalografik incelemeler, SiC parçacık boyutunun artması ile homojen bir dağılım sağlandığını göstermiş ayrıca düşük boyuta sahip parçacık topaklanmasına (agglomerasyonuna) ve porozite oluşumuna yol açtıklarını ortaya çıkarmıştır.

Matriste SiC hacim oranının artmasının mikroyapıyı modifiye ettiği (iyileştirdiği) ve ayrıca %15-20 SiC hacim oranlarında primer Si kristallerinin oluşumuna sebebiyet verdiği gözlenmiştir.

Chung ve Hwang (1994) kuru sürtünme şartlarında takviye parçacık boyutunun ve hacim oranının etkisini incelemiştir. Bu incelemede saf alüminyum matris ve 2-5, 15-25, 70-85 µm boyut aralıklarındaki SiC takviye fazı kullanılmıştır. Takviye hacim oranı % 0-30 arasında değiştirilmiştir. Sabit SiC boyutu için artan SiC miktarı ile aşınma direncinin arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca, sabit SiC hacim oranında, iri parçacık bulunduran MMK'in daha yüksek aşınma direncine sahip olduğu bulunmuştur.

Türker vd. (1999) Al ve SiC tozlardan mekanik alaşımlama tekniği ile daha küçük tane yapılı ve daha dayanıklı kompozit malzeme üretimini araştırmışlardır. Tozlar 1300 dev/dak da açık atmosferli ve su soğutmalı olarak 0.5, 1, 2.5, 5 ve 10 saat MA işlemine tabi tutulmuştur. Alaşımlama zamanı arttıkça toz boyutu küçülmüş ve sertlik artmıştır. Son olarak sertlik 62 HV olmuştur. MA tekniği ile daha küçük tane yapılı, ince parçacık dağılımlı ve daha dayanıklı kompozit malzeme üretimi gerçekleştirilmiştir. İnce dağılımlı parçacıklarla kontrol edilen küçük tane yapısı yardımıyla sıcaklık dayanımında, toklukta, korozyon ve yorulma dayanımında iyileşmeler görülmüştür.

İzciler ve Muratoğlu (2003) Toz metalürjisi metoduyla üretilmiş, hacimce % 25 oranında SiC takviyeli 2124 Al alaşımlı kompozitlerin aşınma davranışlarını, değişik yükler kullanarak test etmişlerdir. Aşındırıcı eleman olarak SiC ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> parçacıkları kullanılmıştır. Aşınma testleri oda sıcaklığında 30, 60 ve 90 N'luk yükler altında yapılmıştır. Uygulanan yükün artması ile aşınma oranının arttığı tespit edilmiştir. Kompozitlerde; SiC parçacıklarıyla yapılan aşındırma olayında meydana gelen aşınmanın Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> parçacıklarıyla yapılan aşındırmaya oranla daha fazla miktarda olduğu belirlenmiştir.

Lim et al, (2003) Mg esaslı ve SiC parçacıkları ile takviye edilmiş kompozitlerin aşınma davranışlarını incelemiştir. Deneyler pin-on-disk tipi aşınma cihazında 10 ve 30 N yükler altında 0,2-5 m/sn kayma hızlarında sertleştirilmiş takım çeliğine karşı yapılmıştır. Kompozitler, düşük yük altında iyi aşınma direnci göstermiş fakat SiC parçacıkların aşınma direnci üzerine etkisi artan yükte olmamıştır. SEM incelemeleri abrasiv, oksitlenme, tabakalaşma, adhezif ve erime aşınma mekanizmalarını göstermiştir.

Arik et al, (2006) Mekanik alaşımlama yöntemi ile üretilmiş, Al-Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> kompozitlerin kuru sürtünme aşınmalarını test etmişlerdir. Mekanik alaşımlama işlemi; 20 saat süre ile 450 dev/dak'da ve 6:1 BTO'da, Ar atmosferinde yapılmıştır. Alaşımlama sonrası 650 MPa presleme basıncı uygulanarak blok numuneler elde edilmiştir. Üretilen numuneler 650 °C'de 20 saat süre ile sinterlenmiştir. Sinterleme sonrası % 92 yoğunlukta ve 314 HV sertlikte MMK'ler elde edilmiştir. Üretilen Al- Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> kompozitlerin kuru sürtünme aşınma testleri pin-on-disk cihazında yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda kompozit numunelerde düşük yüklerde aşınma miktarı düşük, fakat yük arttıkça aşınma miktarında artış gözlenmiştir. Aşınma miktarındaki bu artış, 50 N yükün üzerine çıktıktan sonra matris malzemesi ve takviye elemanı arasındaki yüzey bağı zayıflatacak sınırın üzerine çıktığı için aşınma miktarında ani bir artış gözlenmiştir.

Şahin ve Özdin (2007) SiC ile takviyelendirilmiş alüminyum matrisli kompozit numuneleri, farklı tane boyutlarındaki aşındırıcılar kullanılarak abrasiv aşınma deneyine tabi tutmuşlardır. Abrasif aşınma deneyi pin-on-disk cihazında yapılmıştır. Kompozitin aşınma davranışları esnasında; uygulanan yük, kayma mesafesi ve parçacık boyutu dikkate alınmıştır. Elde edilen aşınma miktarlarına, faktöriyel dizayn yöntemi uygulanmıştır. Bu yapılan tasarım sonucunda, uygulanan yük ve aşındırıcı tane boyutunun artırılmasıyla aşınma miktarında artış gözlenmiştir. Kayma mesafesinin azaltılmasıyla da aşınma miktarı artmıştır. Ayrıca tüm kayma hızları için kompozitlerin tane boyutu arttıkça aşınma miktarları azalmıştır. Aşındırıcı tane boyutu ve uygulanan yükün alaşım matrisi üzerinde daha baskın olduğu gözlenmiştir.

Yılmaz ve Altıntaş (1993), SiC parçacık takviyeli Al-% 5Mg esaslı kompozitleri modifiye edilmiş bir döküm tekniği ile üretmişler ve bu kompozitlerin mikroyapı ve aşınma özelliklerini incelemişlerdir. Takviye elemanı olarak kullanılan ortalama 86 µm çapındaki SiC parçacıklarının yüzeyleri alüminyum içine karıştırılmadan önce 1000 °C'de 1.5 saat süre ile suni olarak oksitlendirilmiş ve yüzeyde parçacıkların alüminyum alaşımı tarafından daha iyi ıslatılmasını sağlayan bir silisyum dioksit (SiO<sub>2</sub>) tabakası oluşturulmuştur. Ayrıca parçacıklar ile matris arasındaki bağı kuvvetlendirmek ve parçacıkların daha iyi ıslanması için alüminyum içine % 5 Mg katılmıştır. Daha sonra döküm halindeki bu kompozitler sıcak ekstrüzyon işlemine tabi tutulmuşlardır. Sonuç olarak döküm tekniği ile üretilen ve sıcak ekstrüzyon işlemi ile özellikleri iyileştirilen SiC parçacık takviyeli alüminyum esaslı kompozitlerde parçacıkların matris içinde homojen bir dağılım gösterdiği ve matris ile

parçacıkların arasında kuvvetli bir bağ oluştuğu ve bu kompozitlerin aşınma dayanımlarının artan SiC parçacığı oranı ile arttığı görülmüştür.

Hanumanth ve Irons (1993), hacimce % 15 SiC parçacıkları ile takviye edilmiş A356 alüminyum alaşımlı MMK'lerin, ergimiş metal karıştırma yöntemiyle üretimindeki parçacıkların alüminyum alaşımı içine katılımını incelemişlerdir. Matris olarak % 7,3 Si ve % 0,33 Mg içeren ve kompozitler için sık sık kullanılan A356 alüminyum alaşımı; takviye elemanı olarak da, ortalama 17 µm çapında yeşil SiC parçacıkları kullanılmıştır. Alüminyum alaşımlı kompozitlerin karıştırma yöntemiyle üretiminde, birinci olarak parçacıkların sıvı metalle ıslanmaması ve ikinci olarak parçacıkların yoğunluklarına bağlı olarak dibe çökme ya da yüzme eğilimi göstermesi gibi iki önemli problemin olduğu belirtilmiştir. Bu çalışmada, parçacıkların ıslanabilirliği problemi üzerinde durulmuştur. Bu çalışma sonucunda, SiC parçacıklarının ergimiş A356 alüminyum alaşımına temasının yavaş olduğu, 15 dakika karıştırıldıktan sonra ergimiş metal içerisine eklenen toplam SiC miktarının yalnızca % 16'sının metale karıştığı, ancak ergimiş metale magnezyum eklenmesiyle bu oranın % 36'ya ulaştığı belirtilmiştir. Metale karışma oranı, metalin yüzey gerilmesini azaltan magnezyumun eklenmesiyle ve bu çalışmada elde edilen 550 dev/dak 'lık optimum karıştırma hızının kullanılmasıyla iyileştirilmiştir.

## BÖLÜM 3

### MEKANİK ALAŞIMLAMA

#### 3.1 MEKANİK ALAŞIMLAMAMANIN TANIMI ve TARİHÇESİ

Son yıllarda geliştirilen metalürjik işlem tekniklerinin içinde mekanik alaşımlama (MA), karmaşık alaşımlarda erime ve katılaşmalardaki pek çok problemlerden kaçınmak ve katı haldeki alaşım tozlara uygulanabilirliği bakımından ilk sıralarda gelmektedir (Kaya 2003).

Klasik alaşımlama işlemleri sırasında karşılaşılan ergime problemleri, heterojenlik ve işlemler sırasında meydana gelen istenmeyen reaksiyonlar MA ile ortadan kaldırılabilir. Aynı zamanda ekonomik ve uygulama alanının geniş olması büyük avantajlar sağlar. Mekanik alaşımlama, tozların paslanmaz çelik kazanlarda sertleştirilmiş çelik bilyeler veya tungsten bilyeler ile istenilen sürelerde öğütülerek ve karıştırarak yapılan bir alaşımlama işlemidir. Oksitlenmeye karşı öğütme sırasında genellikle argon gazı kullanılır. Nitrürleme gibi bir işlem de varsa atmosfer olarak azot kullanılabilir. Eğer kullanılan tozlar yumuşak ise, İKK olarak %1-2 hacim oranında stearik asit ilavesi gerekebilir. Üretilen tozun miktarına, toz boyutuna ve daha birçok parametreye göre üretilmiş değişik amaçlı MA değirmenleri vardır. (Hausner and Smith 1973 and Wang et al, 2007).

Mekanik alaşımlama ilk defa 1966 yılında Benjamin tarafından denenmiştir. Benjamin Ni bazlı alaşımlarda oksit parçacıklarını üniform dağılımı ile yüksek sıcaklık (1000-1300 °C) mukavemeti ile orta ve düşük sıcaklıklarda (600-1000 °C) yaşlandırma sertleşmesi ile yüksek mukavemette malzeme üretmeyi amaçlamıştır (Çıtak 1998). MA sayesinde yüksek sıcaklık dayanımlı oksit parçacıklarıyla takviye edilmiş Ni bazlı süper alaşımlar üretilmiştir. Uygulama sonrasında elde edilen malzemelerle gaz türbinleri içinde arzu edilen özelliklerin sağlanması amaçlanmıştır. Aynı ekip, 1970'lerde farklı denemeler sonucunda bilyeli öğütme tekniği ile en uygun sonuçları almışlardır. Çünkü bu metot sayesinde parçacıkların yüksek deformasyonundan dolayı kırılması ve tekrar soğuk kaynaklanması işleminin ardışıklığı, ince parçacıkların üretilmesine imkân vermektedir. MA yönteminin gelişmesiyle birlikte

kullanım alanları yaygınlaşmıştır. En başta bu gelişmenin öncü sektörleri havacılık sanayi ve otomotiv endüstrisi olmuştur (Suryanarayana 2001).

Mekanik alaşımlama alışlagelmiş metotların aksine tamamen bir katı-hal işlemi olup sert refrakter oksit parçacıklarının yumuşak matris içerisinde homojen bir şekilde dağılımını sağlamaktadır. Alaşımlama için değirmene koyulan metal tozları yüksek hızda çarpışan bilyelerin arasında kalarak birbirine kaynamakta, kırılmakta ve tekrar kaynatarak refrakter oksit parçacıklarının matris içerisinde homojen dağılımı sağlanmaktadır. Bu malzemeler yüksek sıcaklık performansını artırmak için özellikle uzay sanayi ve gaz türbini uygulamaları için geliştirilmiş olmalarına rağmen oldukça yaygın bir kullanım alanı bulmuşlardır (Arık et al. 2000).

### **3.1.1 Mekanik Alaşımlamanın Avantajları**

Mekanik alaşımlama yöntemi, deneysel ve üretim süreleri olarak tüm ikili, üçlü ve çoklu sistemlere kolaylıkla uygulanabilmektedir. Bu yüzden MA tekniği üretim ve ticari anlamda çeşitli avantajlar sunmaktadır (Arık et al. 2000). Bu avantajlar şu şekilde sıralanabilir;

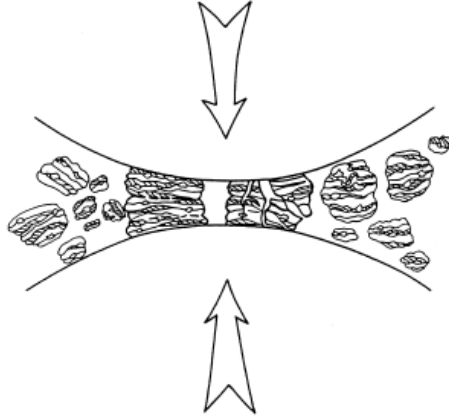
- MA işlemi, bir katı hal işlemi olmasından dolayı, normal ergitme teknikleriyle üretilmesi zor ve/veya olanaksız olan elementlerin (WC-Co gibi) üretilebilmesi,
- Birbiri içinde sıvı fazda (Cu-Pb) veya katı fazda (Fe-Cu) çözünmeyen elementlerin alaşımlanması,
- Oldukça farklı ergime sıcaklığına sahip malzemelerden intermetaliklerin üretilebilmesi,
- Katı-sıvı-gaz şeklinde alaşımlama sırasında oksit, nitrür ve karbürlerin takviye edilebilmesi,
- MA ile elde edilen tozların yapısında tamamen homojenlik sağlanabilmesi,
- Korozyon ve aşınma direnci yüksek, termal kararlılığı gelişmiş uygun malzeme üretilebilmesi,
- Bir seferde oldukça fazla miktarda tozun üretilebilmesi ve alaşımlanması,
- Sinterleme ile birlikte kritik sıcaklıklarda ısı işlem imkânı sağlanması,
- Nano kristalli malzemelerin üretimine elverişlilik,
- İstenilen reaksiyonları oluşturması veya hızlandırması,
- Presleme ve sinterleme işlemleriyle %100'e yakın yoğunlukta parça üretilmesi.



### 3.1.2 Mekanik Alaşım Mekanizması

MA işleminin genellikle homojen dağılıma sahip, kontrollü ve oldukça ince tozlardan oluşan çoğunlukla bir katı hal reaksiyonu şeklinde gerçekleşen kuru ve yüksek enerjili öğütme işlemidir (Fogagnolo et al. 2002). Toz parçacıklarının yüksek enerjili öğütülmesi sırasında sürekli olarak ezilme, soğuk kaynak, kırılma ve yeniden kaynaklanma meydana gelir. İki çelik bilyenin çarpışmasıyla, bilyeler arasında kalan tozlar ezilir. Tipik olarak her çarpışma sırasında yaklaşık 0,2 mg'lik bir yığınla 1000 kadar toz tanesi ezilir. Darbenin etkisiyle toz parçacıklarında plastik deformasyon, çalışma sertleşmesi ve kırılma şeklinde devam eder.

Yüksek enerjili öğütme sırasında, bilyeler birbirine çarpar ve çarpmanın etkisi ile bilyeler arasında kalan tozlar ezilir ve aynı zamanda sert oksit parçacıkları daha küçük parçalar halinde kırılarak yumuşak matris içerisine gömülür. Şekil 3.1'de bilyelerin çarpışması sonucu ezilen ve birbirine kaynayan tozlar görülmektedir (Suryanarayana 2001).



Şekil 3.1 MA sırasında Bilye-Toz-Bilye çarpışması (Suryanarayana 2001)

Toz taneciklerinin birbirlerine kaynaklanmasıyla yeni yüzeyler oluşur ve bu süreklilik tanecik boyutunda bir artışa neden olur. MA işlemi sırasında tozun ortalama boyutu, boyutsal dağılımı, şekli ve diğer yapısal özellikleri işlem sırasında kontrol edilir. MA işlemleri genellikle klasik yöntemlerin, kimyasal reaksiyonların veya ingot metalürjisi gibi metotların kullanımının yetersiz olduğu noktalarda oldukça iyi sonuçlar verir. MA yöntemi ile biri sünek, diğeri gevrek iki farklı malzemenin kırılma, kaynaklanma esasına dayalı ardışık tekrarlar şeklinde homojen ve ince bir yapısal bütünlük sağlanması amaçlanmıştır (Kis and Beke 1996).

Herhangi bir sistemde istenen bir yapının oluşturulması için gerekli zaman; başlangıç toz boyutu, karışımın özellikleri ve MA/MÖ işlemi için kullanılan özel ekipmanların ve bu ekipmanın çalışma parametrelerine göre değişmektedir. Fakat çoğu durumlarda iç yapının (parçacık boyutu, kristal boyutu, lameler alan) incelme oranı işlem zamanı ile kabaca logaritmiktir ve bundan dolayı toz parçacıklarının başlangıç boyutları önemsizdir (Kaya 2003).

Metal ve alaşımlarının MA/MÖ işlemi çok farklı şekilde yapılmaktadır. Bunlar; Sünek-sünek, sünek-gevrek ve gevrek-gevrek sistemlerdir.

### **3.1.2.1 Sünek-Sünek Alaşımlama/Öğütme Sistemi**

Bu sistem MA için ideal bir malzeme kombinasyonudur. Benjamin'e göre alaşımlamanın başarılı olması için en az % 15 sünek bir malzemeye ihtiyaç vardır. Çünkü doğru alaşımlama toz parçacıklarının soğuk kaynak ve kırılmanın tekrarlanmasıyla olur. Eğer parçacıklar sünek değilse soğuk kaynak olmayabilir (Kaya 2003).

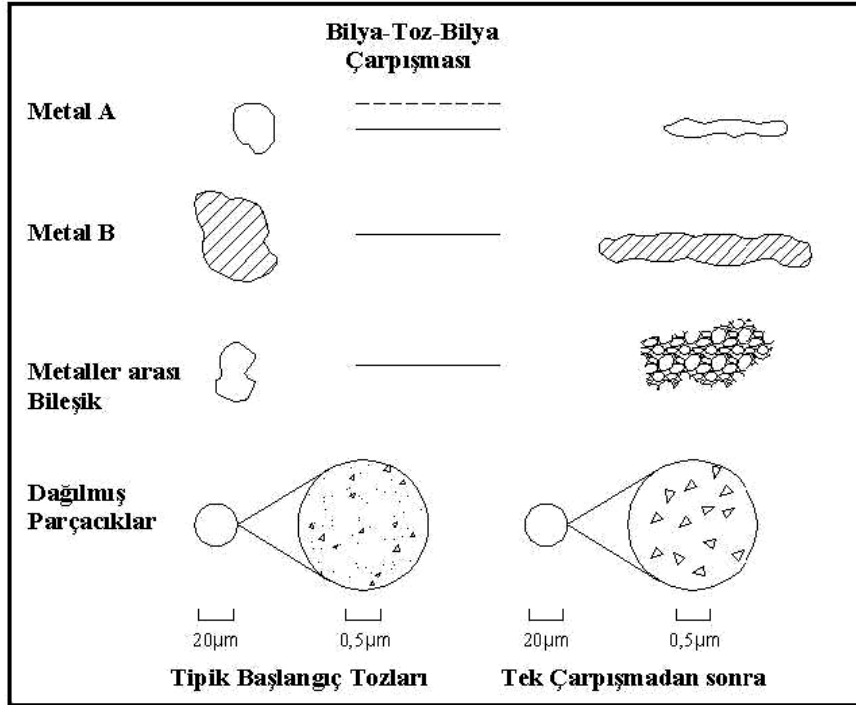
Mekanik alaşımlamanın ilk aşamalarında, sünek malzemelerin bir mikro dövme işlemiyle yassılaştırılarak pul şeklini aldığı görülmektedir. Az miktarda toz, bir veya iki parçacık kalınlığında bilye yüzeylerine kaynak olur. Öğütme malzemeleri yüzeyindeki bu toz kaplama, aşınmaya karşı korunması bakımından bir avantajdır. Fakat öğütme malzemelerinin üzerindeki toz tabakasının kalınlığı, bir heterojen ürün oluşmasındaki sakıncayı yok etmek için minimum seviyede olmalıdır. Sonraki aşamada, bu yassılaştırılan toz parçacıklar birlikte soğuk kaynak olur ve metal bileşiminin yapısı bir lameler kompozit halini alır. Toz boyutundaki artış bu aşamada da görülür.

MA süresinin artmasıyla, kompozit toz parçacıklarında çalışma sertleşmesi, sertlik ve sonuçta da kırılabilirlik artar. Parçacıklar daha eş eksenel şekilde parçalanma sonucunda elde edilir. Bu aşamada difüzyon mesafesindeki (lameller arasındaki boşluklar) azalma, kafes hataları yoğunluğundaki artış ve öğütme sırasında oluşan ısı sebebiyle alaşımlama başlar. Ayrıca sertlik ve parçacık boyutu eğilimi doyma noktasına ulaşır. Bu da sürekli durum işlemi olarak adlandırılır. Bu herhangi bir özel tercihli yönelme olmaksızın eş eksenel parçacık tozlarının birlikte gelişigüzel kaynaklanması sebebiyledir. Daha ileri öğütmelerde doğru alaşımlama katı çözeltiler, intermetalikler ve hatta amorf fazların oluşumu da atomik seviyede olur.

Boşluk katmanları bu aşamada yok olur veya çok incedir ki bu durum artık bir optik mikroskopla görülemez (Kis and Beke 1996).

### 3.1.2.2 Sünek-Gevrek Alaşımlama/Öğütme Sistemi

Geleneksel oksit dağılımla güçlendirilmiş ( ODS ) alaşımları bu kategoriye girer. Çünkü kırılgen oksit parçacıkları sünek bir matris içerisine dağıtılmıştır. Öğütmenin ilk aşamalarında, sünek metal parçacıkların bilye-toz-bilye çarpışmaları ile yassılaştırılır, kırılgen oksit parçacıklar parçalanır (Şekil 3.2). Kırılmış gevrek tozlar, ezilen sünek tozların ve sünek bileşimlerin içinde kalır. Gevrek bileşim, katmanlar arası boşluklar boyunca ve yakın boşluklardan oluşmaktadır.



Şekil 3.2 Mekanik alaşımlamada kullanılan başlangıç tozlarının temsili bileşimlerinin deformasyon karakteristikleri (Suryanarayana 2001)

Daha ileri öğütmede, sünek toz parçacıkları çalışma sertleşmesine uğramış, tabakalar karışmış ve incelmış olur. Toz tanelerinin bileşimi, toz karışımı başlangıç kompozisyonuyla bir noktada birleşir. Eğer bir ODS alaşımında olduğu gibi sünek matriste bu katmanlar çözünemezlerse, devam eden öğütmeyle daha da incilir, katmanlar arası boşluklar azalır ve gevrek tozlar üniform olarak dağılır. Diğer bir ifade ile eğer gevrek faz çözünebilirse

sünek ve gevrek parçacıklar arasında alaşımlamayla kimyasal homojenlik de elde edilir (Özyürek 2002).

Bir sünek sistemde alaşımlamanın olup olmayacağı, sünek matriste kırılğan parçaların katı çözünürlüğüne de bağlıdır. Eğer bir parça demir içindeki boron örneğinde olduğu gibi ihmal edilebilir bir katı çözünebilirliğe sahip ise, alaşımlama mümkün olmaz. Böylece MA sırasında sünek-gevrek parçaların alaşımlanması, yalnız kısa aralık difüzyonunu kolaylaştırmak için gevrek parçaların kırılmasıyla değil aynı zamanda sünek matris parça içindeki katı çözünebilirlik sebebiyle olmaktadır.

### **3.1.2.3 Gevrek-Gevrek Alaşımlama/Öğütme Sistemi**

İki veya daha fazla gevrek malzemedan oluşan bir sistemde alaşımlamanın olması beklenmeyebilir. Çünkü sünek bileşenin olmaması herhangi bir kaynaklanmayı engeller ve bunun olmadığı durumda da alaşımlamanın olması beklenmez. Bununla beraber, Si-Ge ve Mn-Bi gibi bazı gevrek-gevrek sistemlerde alaşımlamanın olduğu da belirlenmiştir (Suryanarayana 2001).

Gevrek tozlar, öğütme sırasında parçalanır ve parçacık boyutları sürekli azalır. Bununla beraber çok küçük boyutlardaki toz parçacıklar sünek bir davranış gösterir ve daha sonra boyut azalması mümkün değildir. Bu ufalanma sınırı olarak adlandırılır.

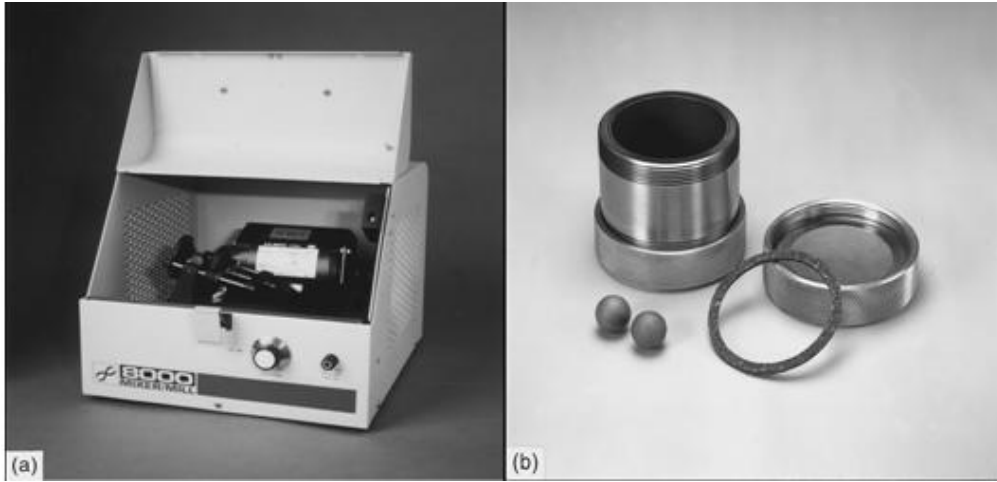
Gevrek malzemelerin öğütülmesi sırasında, malzeme transferine katkıda bulunan muhtemel mekanizmalar; sıcaklık artışı, hatasız yapıda mikro deformasyonu, yüzey deformasyonu ve/veya öğütme sırasında tozlarda hidrostatik gerilim durumuyla oluşabilen plastik deformasyonu içerir.

### **3.1.3 Mekanik Alaşımlamada Kullanılan Değirmen Tipleri**

MA' nın önemli bir kısmını teşkil eden öğütme işlemi, tane boyutunu küçültme, harmanlama ve alaşımlama gibi evreleri kapsar. Bu aşamalarda amaca yönelik çok çeşitli öğütücüler kullanılır. Öğütücüler veya değirmenler kapasiteleriyle, öğütme verimlilikleriyle, soğutma ve ısıtma gibi ek üniteleriyle farklılık gösterirler.

SPEX tipi çalkalayıcı değirmenler bir kerede yaklaşık 10-20 gr arasında toz öğütebilen laboratuvar çalışmaları amacı ile kullanılmaktadırlar. Sahip oldukları hazne, tozu ve öğütme bilyelerini tutar ve dakikada birkaç bin defa ileri-geri ve sağa-sola hareket ile çalışır. Haznenin her bir salınımıyla bilyeler tozlara çarpar ve haznedeki tozu hem öğütür hem de karıştırır. Bilyelerin vuruş kuvveti anormal büyüktür. Bu yüzden, bu değirmenler yüksek enerjili tür olarak düşünülebilir. En son tasarlanan değirmenler, öğütülen miktarı artırmak için tozu eşzamanlı olarak iki haznede öğütme imkânına sahiptirler. SPEX türü değirmenlerin yüksek enerjisinden kaynaklanan sıcaklık artışı ve koruyucu atmosfer karşılaşılan temel problemlerdir (Suryanarayana 2001).

Bu tip MA cihazlarının yeni tiplerinde öğütme zamanını uzatmak için basınçlı soğutma kullanılmaktadır. Resim 3.3'de SPEX değirmen ve öğütme kabı, kapak, conta ve bilyelerden oluşan öğütme seti görünmektedir.



Resim 3.3 SPEX tipi değirmen (a) SPEX bilyeli değirmen, (b) SPEX 8000 tipi karıştırıcının; öğütme kabı, kapak, conta ve bilyelerden oluşan öğütme seti (Suryanarayana 2001)

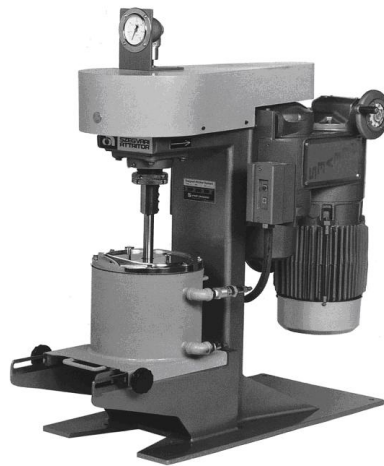
MA deneylerini yapmak için diğer bir öğütücü de "planetary" bilyeli değirmendir (Resim 3.4). Bu değirmende birkaç yüz gram toz bir defada öğütülebilir. Bu değirmenler haznelerinin gezegen gibi hareket etmesinden dolayı "planetary" ismini alırlar. Bunlar dönen bir destek diski üzerine yerleştirilirler ve kendi eksenleri etrafındaki hareketlerini, özel bir mekanizmadan alırlar. Kendi eksenleri etrafında dönen hazneler tarafından oluşan merkezkaç kuvveti ve dönen destek disk tarafından oluşturulan ilave kuvvetle beraber, hazne içinde öğütülen malzeme ve öğütme bilyelerine etki ederler. Hazne ve destek diski zıt yönlerde döndüğü için merkezkaç kuvvetler sırası ile benzer ve zıt yönde etkir.

Bu öğütme, bilyelerin haznenin iç duvarlarından aşağıya doğru kaymasına neden olur. Sürtünme etkisi, öğütülen malzeme ve öğütme bilyelerinin serbest kalıp hazne içerisinde, serbest dolaşması ve karşı duvara çarpmasıyla devam eder. Bu tür değirmendeki bilyelerin doğrusal hızı, SPEX değirmenlerinkinden daha fazla olsa bile, vuruş frekansı, SPEX değirmenlerinde çok daha fazladır. Bu yüzden, SPEX değirmenlere göre daha düşük enerjili değirmenler olarak düşünülebilir.



Resim 3.4 Planeter tipi bilyeli değirmen (Suryanarayana 2001)

Bir diğer MA değirmeni çeşidi olan atritör, içerisinde bir seri karıştırıcılar bulunan dikey bir silindirden oluşur. Biri diğerine dik yerleştirilen karıştırıcılar, kazan içerisindeki bilyelere enerji verir. Bilyelerin kazan (tank, hazne) duvarıyla, birbirleriyle ve karıştırıcı mil arasındaki çarpışmalarıyla toz boyutunun küçülmesine neden olur. Güçlü bir motor karıştırıcıyı çevirir ve bu çevrilen karıştırıcı da sabit silindir içerisindeki çelik bilyeleri ve tozları hareket ettirir. Atritörler, içerisinde bir seferde çok miktarda tozun (0,1 kg'dan 40 kg'a kadar) öğütülebildiği değirmenlerdir (Resim 3.5). MA işlemini farklı atmosferlerde yapmak mümkündür. Aynı zamanda, dış kazan etrafında dolaşan soğutma sıvısı yardımı ile işlem sırasında sıcaklığın kontrolü mümkündür.



Resim 3.5 Atritör tipi (dikey) bilyeli değirmen (Suryanarayana 2001)

Öğütme tankının paslanmaz çelik, alüminyum oksit, silisyum karbür, silisyum nitrür, zirkon, lastik ve poliüretanla kaplı paslanmaz çelikten olanları da mevcuttur.

### 3.1.4 Mekanik Alaşımlamada İşlem Parametreleri

Mekanik alaşımlama karmaşık bir işlemdir. Bu yüzden istenilen ürün fazını veya mikro yapıyı elde etmek için bazı değişkenlerin optimizasyonu gerekir. Tozun son içeriğini etkileyen önemli parametrelerden bazıları şunlardır:

- Değirmen tipi
- Öğütme hücresi
- Öğütme hızı
- Öğütme zamanı
- Öğütücü bilyelerin tipi ve boyutu
- Bilye-toz ağırlık oranı
- Kabın doldurma miktarı
- Öğütme atmosferi
- Öğütme sıcaklığı
- İşlem kontrol kimyasalı (İKK)'dir.

Bütün bu değişkenler birbirinden tamamen bağımsız değildirler. Örneğin, optimum öğütme zamanı değirmen tipine, öğütme elemanının boyutuna, öğütme sıcaklığına, bilyelerin tozla ağırlık oranına vb. bağlıdır. Malzemelerinin boyutu, öğütme sıcaklığı, bilye toz oranı vs. gibi parametrelerde büyük önem arz etmektedir. Bu parametreler ve alaşımlamaya etkileri aşağıda açıklanmıştır.

#### 3.1.4.1 Değirmen Tipi

Mekanik alaşımlama yapmak için çeşitli türde değirmenler kullanılmaktadır. Bu değirmenler; kapasitelerini, işlem hızlarını ve öğütme sıcaklığını değiştirerek işlemi kontrol etme ve tozların kirlenmesini azaltma kabiliyetlerine göre farklılık gösterir. Toz çeşidine, tozun miktarına ve gerekli olan son içeriğine bağlı olarak, uygun bir değirmen seçilebilir. Özellikle, üretilecek tozun oksitlenme karakteristiğine bağlı olarak kullanılacak olan atmosferin seçimi çok önemlidir. Genellikle, SPEX türü karıştırıcı değirmenler fazla

miktarda alaşımlanmış toz üretiminde kullanılırlar. Bundan başka, ticari ve farklı amaçlara yönelik değişik tasarımlı değirmenlerde bulunmaktadır (Suryanarayana1998).

#### **3.1.4.2 Öğütme Hücresi**

Öğütme hücresi, MA uygulanacak malzeme için önemlidir. Çünkü öğütme elemanının haznenin iç duvarlarına çarpmasından dolayı bir kısım malzeme kopup tozun içerisine karışabilir. Bu, tozu kirletebilir veya kimyasal bileşimini değiştirebilir. Sertleştirilmiş çelik, takım çeliği, sertleştirilmiş kromlu çelik, temperlenmiş çelik, paslanmaz çelik, WC-Co çelik ve rulman çeliği öğütme haznesi yapımında en çok kullanılan malzeme türlerindedir (Di L M And Bakker H J 1991). Etkileşim durumuna bağlı olarak kaplama yapılmış kazanlarda kullanılmaktadır. Kazanın seçimi alaşımlanacak malzeme türüne göre değişebilir (Schaffer 1999).

#### **3.1.4.3 Öğütme Hızı**

Mekanik alaşımlama işleminde en önemli etkenlerden biri öğütme hızıdır. Değirmen dönme hızı arttıkça toza aktarılan enerjinin daha fazla olacağı açıktır. Ancak, değirmen tasarımına bağlı olarak ulaşılabilecek maksimum hızda, belirli sınırlamalar vardır. Örneğin, geleneksel bilyeli değirmenlerde artan dönme hızına paralel olarak bilyeler haznenin iç duvarına yapışır ve darbe kuvveti oluşturmak için aşağı düşmezler. Bu yüzden, kullanılan maksimum hız kritik hızdan biraz az olmalıdır ki, bilyeler etkin biçimde çarpışma enerjisi oluşturmak için tepe yükseklikten aşağıya düşebilsinler veya çarpışma süreci etkin olabilsin (Suryanarayana 2001).

Maksimum hız için sınırlama yüksek hızlarda (veya öğütme yoğunluğunda) olmaktadır. Kabin sıcaklığı yüksek değerlere ulaşabilir. Difüzyon tozlardaki alaşımlama ve homojenizasyonu ilerletmek için gereklidir. Bu bazı durumlarda avantaj olabilir. Çünkü artan sıcaklık, öğütme sırasında şekillenen diğer yarı kararlı fazların veya aşırı doymuş katı çözeltilerin ayrışması ve dönüşüm işlemleriyle hızlanır. Sonradan oluşan sıcaklıklarda da tozlar kirlenebilir (Calka And Williams 1992).

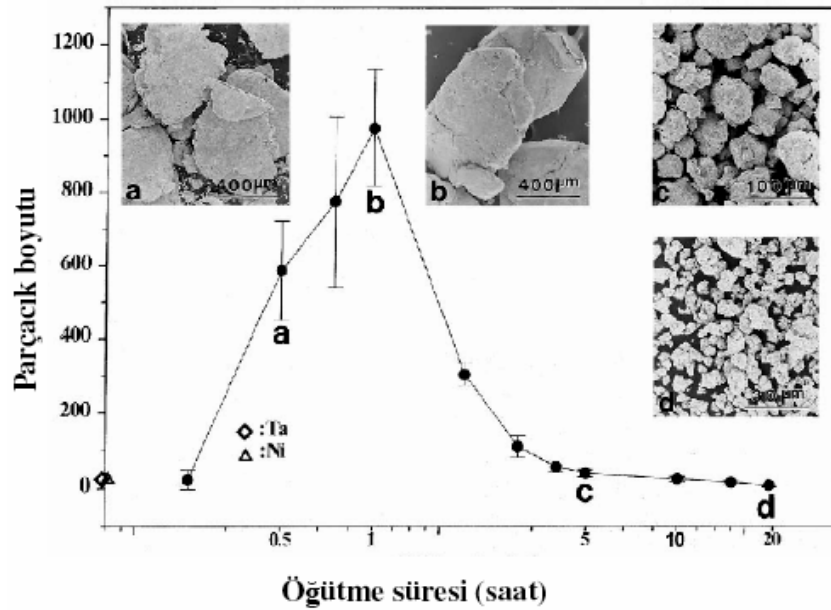
Maksimum hıza diğer bir sınırlama da yüksek hızlarda haznenin sıcaklığının yüksek değerlere ulaşmasıdır. Ayrıca, oluşan yüksek sıcaklık tozu kirletebilir. Farklı tür değirmenlerde erişilen



maksimum sıcaklıklar birbirinden çok farklıdır. Isının olumsuz yönde etkilediği sistemlerde soğutma sıvısı olarak sistemin türüne bağlı olarak gaz veya sıvı kullanılabilir.

#### 3.1.4.4 Öğütme Zamanı

Öğütme zamanı en önemli parametredir. Normalde zaman, toz parçacıkları arasındaki kırılma ve soğuk kaynaklanmanın sabit duruma eriştiği an olarak seçilir. Kullanılan sistemin hızı arttıkça toz boyutu daha kısa sürede küçülür ve homojen bir dağılım elde edilir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6 Öğütme şartlarında küçük parçacıkların kaynaklanma eğilimleri nedeni ile büyük partiküller oluşurması ve sonra kırılarak küçük parçacıkların oluşumu (Özyürek 2002)

Gerekli MA/MÖ zamanı kullanılan değirmen tipine, öğütme yoğunluğuna, bilye-toz oranına ve öğütme sıcaklığına bağlı olarak değişir. Bu zamanlar, yukarıdaki parametrelerin her bir kombinasyonu için ve her özel toz sistemi için belirlenmelidir. Fakat toz gereğinden fazla öğütülürse kirlenmenin artacağı ve bazı istenmeyen fazların oluşacağı bilinmelidir. Bu yüzden tozun sadece gerekli miktarda öğütülmesi ve daha fazla öğütülmemesi istenir (Schaffer 1999).

### 3.1.4.5 Öğütücü Bilyelerin Tipi ve Boyutu

Genellikle öğütme malzemeleri olarak sertleştirilmiş çelik, sertleştirilmiş kromlu çelik, takım çeliği, temperlenmiş çelik, paslanmaz çelik, WC-Co ve rulman çeliği kullanılmaktadır. Bunların dışında özel amaçlı seramik esaslı bilye kullanımı da yaygındır. Bilyelerin, toz üzerine yeterli vuruş kuvveti oluşturabilmesi için yeterli büyüklükte olmaları gerekmektedir. Karışan tozun fazla kirlenmesini önlemek amacı ile öğütme haznesinin ve öğütme elemanının aynı malzemeden yapılmış olması istenir. Kullanılan bilyeler tek tip olabileceği gibi farklı boyutlara sahip bilyelerde olabilir. Bu durumda bilyelerin aynı miktarda enerjiye sahip olmaması söz konusudur. Bu işlem sadece büyük bilye çapından dolayı tozların belirli bir boyutun altına inmediği durumlarda kullanılabilir. Farklı boyuttaki bilyelerin kullanımının, enerji miktarını artırabileceği rapor edilmiştir. Bilyelerin seçimi, genellikle alaşımlama yapılacak tozun yapısına ve kimyasal özelliklerine göre yapılmaktadır (Garliov et al. 1991).

Öğütücü malzemelerin boyutu da öğütmeye etki eder. Genellikle büyük boyutlu öğütme malzemeleri kullanışlıdır. Çünkü ağır bilyeler toz parçacıklarına daha fazla çarpma enerjisi transfer edecektir. Tozların son durumlarının kullanılan öğütme malzemelerinin boyutlarına bağlı olduğu bazı çalışmalarda belirtilmektedir. Örneğin; 15 mm çaplı bilyeler, harmanlanmış Ti-Al toz karışımını öğütmek için kullanıldığında, titanyumdaki alüminyumun bir katı çözültüsü oluşur. Diğer bir ifade ile, 20 mm ve 25 mm çaplı bilyelerin kullanılması, uzun öğütme sırasında sadece titanyum ve alüminyum fazlarının bir karışımı sonucudur (Bostan 2003).

Ayrıca bazı çalışmalar öğütme için 12 mm çaplı bilyeler kullanıldığı zaman amorf faz oluşmadığını, sadece Ti-Al toz karışımı ya 5 mm ya da 8 mm çaplı bilyeler kullanılarak öğütüldüğünde amorf fazın oluştuğunu belirtmektedir (Kis And Beke 1996).

Yapılan çalışmaların çoğunda, sadece tek bir öğütücü bilye boyutu kullanılmasına rağmen, aynı çalışmalarda farklı boyutlarda kullanılan bilyelerle ilgili örneklerde vardır (Bostan 2003). Eğer bilyeler farklı çaplarda kullanılırsa en yüksek çarpışma enerjisinin elde edileceği tahmin edilebilir (Chin and Perng 1997). Öğütmenin ilk aşamasında öğütülmüş olan tozlar öğütücü malzemelerin yüzeyini kaplar ve soğuk kaynak olur. Bu bir avantaj olarak kabul edilir. Çünkü öğütücü malzemelerin aşınması sırasında tozun kirlenme sakıncası ve öğütme malzemelerinin aşırı aşınması da engellenir. Bununla beraber bu seviyenin kalınlığı heterojen bir son ürünün şeklini muhafaza etmek için minimum da tutulmalıdır. Fakat bu toz kaplamanın dezavantajı

tozu ayırmanın oldukça zor olmasıdır ve bu yüzden toz artması düşüktür. Geniş ve küçük boyutlu bilyelerin bir kombinasyonu, öğütme sırasında bilyelerin yüzeyinde kaplanmış toz miktarı ve soğuk kaynak miktarını minimize eder. Bu şartlar altında akmayı iyileştirmek için bilimsel bir açıklama olmamasına rağmen, farklı boyutlardaki bilyelerin kesme kuvvetleri üretmesini, bilyelerin yüzeyinden tozların ayrılmasına yardım edebileceği düşünülmektedir (Kis And Beke 1996).

#### **3.1.4.6 Bilye-Toz Ağırlık Oranı**

Bilyelerin ağırlığının toz ağırlığına oranı (BTO), bazen dolum oranı olarak da adlandırılır. Bu parametre, öğütme işleminde önemli bir değişkendir. Bu birçok araştırmacı tarafından 1:1 gibi küçük değerlerden 220:1 gibi büyük değerlere kadar çeşitli oranlar kullanılmıştır. Genelde, (BTO) 10:1 oranı SPEX değirmen gibi küçük kapasiteli değirmenlerde tozun öğütülmesinde en çok kullanılan orandır. Fakat öğütme büyük kapasiteli, atritör benzeri bir değirmende gerçekleştirilirse, yüksek bir bilye-toz oranı olan 50:1 ya da daha yüksek 100:1 oranı da kullanılabilir. Bu oranın artması elde edilen toplam enerjiye bağlı olarak alaşımlama zamanını azaltırken, tozların kirlenmesi gibi olumsuz etkileri de hızlandırabilir (Suryanarayana 2001)

Bilye-toz oranı ne kadar yüksek olursa gerekli zaman da o kadar kısa olur. Yüksek bilye-toz oranında, bilyelerin ağırlık oranındaki artıştan dolayı, birim zamandaki çarpışma sayısı artar ve sonuç olarak toz parçacıklara daha çok enerji iletilir. Bu yüzden alaşımlama daha çabuk gerçekleşir. Örneğin, bir toz karışımı SPEX değirmende 10:1 oranında 7 saat, 50:1 oranında 2 saat ve 100:1 oranında 1 saat öğütüldüğünde elde edilmektedir. Yüksek bilye toz oranı, her birim zamanda çarpışmaların miktarını artırır ve sonuçta daha fazla enerjiyi toz parçacıklarına transfer eder. Böylece alaşımlama daha hızlı olur (Özyürek 2002).

#### **3.1.4.7 Kabın Doluluk Oranı**

Bilyelerin ve toz parçacıklarının, öğütme kabı içinde serbestçe hareket etmesi için yeterli miktarda bir alanın olması, tozların üzerine etkiyen vurma kuvvetlerini artırır bu da sonuçta toz parçacıklarının alaşımlanmasını hızlandırır. Bu yüzden, haznenin toz ve bilyelerle doldurulma miktarı önemlidir. Bilyelerin ve tozun miktarı çok fazla ise, üretim hızı çok yavaşlar. Bilyelerin etrafta dolaşması için yeterli bir alan yoktur ve bu yüzden vurma enerjisi

düşüktür. Kabın doluluk miktarı az ise, enerji artışından kaynaklanan kirlenme sorunları yaşanabilir. Genelde haznenin %50'si boş bırakılmaktadır (Arık et al. 2000).

#### **3.1.4.8 Öğütme Atmosferi**

Öğütme atmosferi esas olarak tozun kirlenmesine etki eder. Bu yüzden, öğütme sırasında tankın, ya havası boşaltılmalıdır ya da argon ve helyum gibi asal gazlarla doldurulmalıdır. Yüksek saflıktaki argon oksitlenmeyi ve/veya tozun kirlenmesini engellemek için en yaygın kullanılan gazdır. Ayrıca, oksitlenmenin genelde azot atmosferinin varlığı ile engelleneceği veya minimize edileceği belirtilmiştir. Azotun metal tozlarıyla etkileştiği ve sonuç olarak bazı sistemlerde öğütme esnasında kirlenmeyi engelleyemediği görülmüştür.

Özel amaçlar için öğütme sırasında farklı atmosferler de kullanılmıştır. Nitrür oluşturmak için azot ve amonyak yaygın olarak kullanılmaktadır. Hidrojen atmosferi ise hidrid üretmek için kullanılmıştır (Chen and Williams 1996).

#### **3.1.4.9 İşlem Kontrol Kimyasalları**

MA işlemi, deformasyona bağlı kaynaklanma ve kırılma şeklinde gerçekleşir. Özellikle sünek tozların kaynaklanma ve sıvanma eğilimi yüksektir. Bu tozların kırılmaya olan direnci, incelmeyi geciktirir. MA sırasında ilave edilen kimyasallar sayesinde kaynaklaşmanın yanı sıra kırılma da etkin hale gelir. Kullanılan bu kimyasallar; gaz, sıvı ve katı halde olabilirler. İlave edilen kimyasallar genellikle kırılmayı hızlandırırken, yağ türevleri tozlar tarafından emilebilir.

Genelde, ilave edilen miktar % 1,5 civarındadır. İlave edilen kimyasal, yapı içerisinde sürekli olarak kalabildiği gibi, işlem sonrası sinterleme gibi ilave işlemler sırasında bünyeden atılabilir (Suryanarayana 2001).

Kullanılan işlem kontrol kimyasalı, MA sonrası elde edilecek tozun saflık derecesini doğrudan etkiler. Bu etki olumsuz sonuçlara neden olmuyorsa kimyasalın kullanımı işlem süresini kısaltırken, toz boyutunun küçülmesini hızlandırabilir. Aslında, kullanılan kimyasal, kompozisyonun bileşimini her ne kadar değiştiriyorsa da işlem süresini kısaltması kirlenme miktarını azaltmaktadır (Lee and Kwan 1996 and Hong et al. 1994).

Öğütülen tozların tipi; kullanılan İKK'nın miktarı ve yapısına, toz parçacıklarının son ebadına, şekline ve saflığına göre belirlenir. İKK'nın büyük miktarlarda kullanımı normal olarak parçacık büyüklüklerini 2-3 katı kadar düşürür. Gerçekte İKK kullanımı gevrek malzemelerin öğütülmesinde istenmemektedir. Sıvı içinde parçacık boyutundaki homojen dağılımın İKK kullanıldığı zaman kolaylıkla elde edilebildiği Niu'nun çalışmalarında belirtilmektedir. Eğer toz-İKK ağırlık oranı kritik değerinin altında ise parçacık boyutunu artırma, üzerinde ise partikül boyutunu düşürme eğilimindedir (Hong et al. 1994).

#### **3.1.4.10 Sıcaklığın Etkisi**

Öğütme sıcaklığı, öğütülen tozun içeriğinin kararlaştırılmasında bir diğer önemli parametredir. Üretilen son fazın, bir katı çözelti, intermetalik, nanoyapı veya bir amorf faz olmasında, bağımsız olarak alaşım fazlarının oluşumunda difüzyon işlemi etkin olduğundan, öğütme sıcaklığının alaşım sisteminde önemli bir etkiye sahip olduğu söylenebilir.

Genellikle MA işlemleri malzemenin türüne bağlı olarak oda sıcaklığına yakın sıcaklıklarda yapılmaktadır. Genellikle bu sıcaklığın sabit tutulmasında kazan çevresinde soğutucu gaz ya da sıvıların sirkülasyonu sağlanır. Aksi halde sıcaklık artışları hem aşırı miktarda aşınmalara hem de tozun kirlenmesine neden olabilir. MA sırasında ilave edilen İKK'larında ısı artısını engellediğine bilinmektedir (Suryanarayana 1998, 2001).

#### **3.1.5 Metal Tozların Sinterlenmesi**

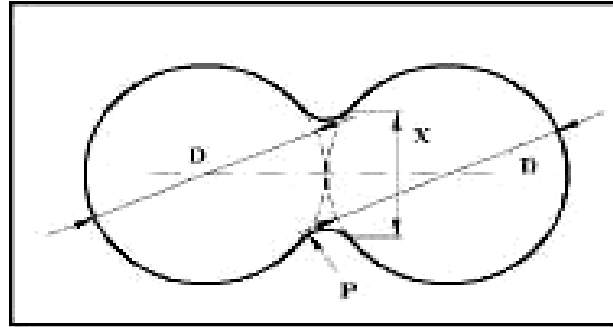
Kalıpta sıkıştırılmış toz kütleyi ergime sıcaklığının altında ısıtılarak difüzyon yolu ile kimyasal bağlanmasını sağlamak ve böylece gözenek miktarını düşürme işlemine tozların sinterlenmesi denir (Sümer 2003). Sıkıştırılarak soğuk şekillendirilmiş tozlar çok yüksek basınçlarda sıkıştırılmamışlarsa, çok kırılabilir olurlar. Hatta yüksek yoğunlukta sıkıştırılmış cisimler dahi, uygulanan küçük gerilimlere dayanamazlar (Calka and Williams 1992). Sinterleme sıcaklığı, tek bileşenli sistemlerde metalin ergime sıcaklığının 2/3'ü veya 4/5'i kadar alınır. Çok bileşenli sistemlerde ise sinterleme sıcaklığı ergime derecesi düşük olan metalin altında tespit edilir. Sinterleme sıcaklığı yükseldikçe sinterleme süresi kısalmır. Sinterleme süresi uzun tutulduğunda sıcaklığı düşük tutmak gerekir (Özyürek 2002).

Sinterleme işlemi esnasında tozlarda, kimyasal değişme, boyutsal değişme, iç gerilmelerinin giderilmesi, toz değişimleri ve alaşımlama gibi etkiler meydana gelmektedir (Sands and Shakspeare 1966).

Sinterleme işleminde, toz taneciklerindeki boyutsal değişimler sonucunda toz özelliklerinde de değişimler olur. Preslenmiş toz parçalar sinterlendiğinde yüksek mukavemet kazanırlar. Mukavemette ve diğer özelliklerde sinterleme sıcaklığının artmasıyla iyileşmeler görülür (Akoral 2003).

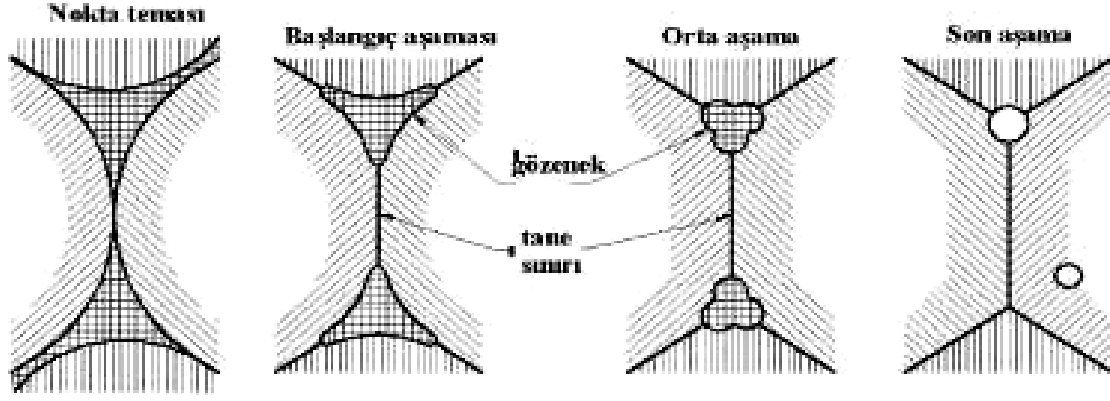
### 3.1.5.1 Sinterleme Teorisi

Presleme işleminden sonra, küresel şekilli toz parçacıklar noktasal olarak temas halindedirler. Şekil 3.7'de iki küresel parçacığın sinterleme profili verilmiştir. Sinterleme işlemi sırasında, temas eden parçacıklar arasındaki bağlar kuvvetlenir ve kaynaklaşmalar oluşur. Sinterleme işleminde, parçacıklarda önce bir boyun büyümesi ve ilerleyen sinterleme zamanı ile gözeneklerde büzülme oluşur. Daha sonra, gözenek kanalları kapanarak gözenekler kapalı gözenek şekline dönüşürler. Şekil 3.8'da sinterleme işlemi sırasında parçacıklar arasındaki bağlarda ve gözeneklerdeki değişimler şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.7 İki küresel parçacığın sinterleme profili (German 1994)

X=boyun çapı, D=küre/parçacık çapı, P=boyun yarıçapı

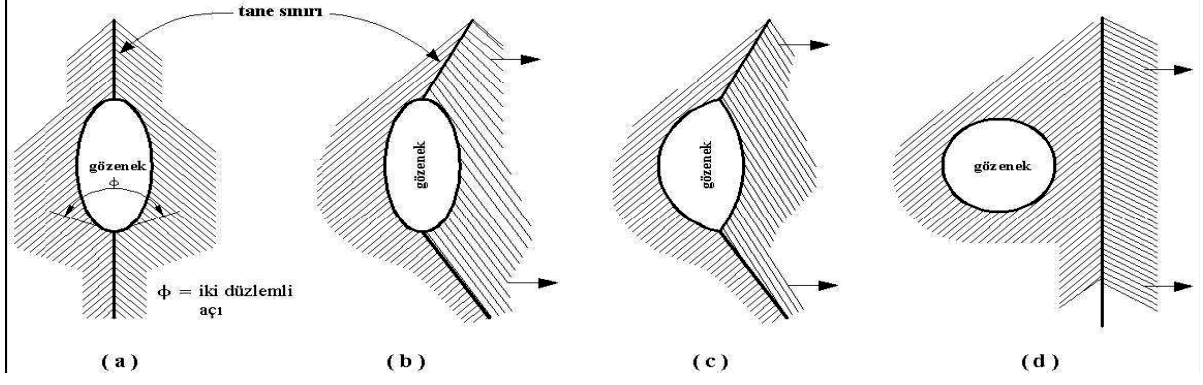


Şekil 3.8 Sinterleme basamaklarına göre gözenek yapısındaki değişim (German 1994)

Sinterlemeyi etkileyen pek çok faktör vardır (Toz boyutu, sıcaklık, alaşım elementleri, ham yoğunluk, sinterleme atmosferi vb.). Sinterleme mekanizmasının etkin olabilmesinde en önemli etken preslenecek ve sinterlenecek tozların yüzeyinde oksit veya sinterlemeyi olumsuz etkileyecek tabakaların oluşmasıdır. Eğer oksit tabakaları oluşmuşsa ve presleme sırasında kırılmamışsa sinterleme hiç olmaz ya da çok verimsiz gerçekleşir (Sands and Shakspeare 1966).

Ancak, sinterleme sonrası malzemenin mekanik ve tüm işlevsel özelliklerine en etkin sonuç parça içerisinde oluşan boşluk ya da gözenek miktarıdır. Her ne kadar bu oluşumlarda presleme basıncı ve malzemenin özellikleri etkinse de, sinterleme sonrası gözeneklilik miktarı da çok önemlidir. Sinterleme sırasında her ne kadar ebatlarda değişiklik istenmese de, boşlukların giderilmesi için katı transfer işlemlerinin olması beklenir. Bunlar; hacimsel difüzyon, tane sınırı difüzyonu, plastik akış ve sıvı akışı şeklindedir (Bostan 2003).

Sinterlemenin ileri aşamalarında toz sınırları kalkar ve tane büyümeye devam eder. Ancak büyümenin ileri safhalarında gözenekler tamamen tane içerisine hapis olur. Bu istenmeyen bir durumdur. Eğer sinterlenen numunede gözenek şekli dairesel hal almışsa sinterlemenin son aşamasına erişildiği anlaşılabilir (German 1994). Bu son aşamada, hiçbir zaman % 100 yoğunluk elde edilmez (Şekil 3.9).



Sekil 3.9 Son sinterleme devresinde bir gözeneğin izole edilişi ve kapanması (German 1994)

Sinterleme işleminde en önemli parametrelerden biri de sinterleme atmosferidir. Sinterleme için gerekli atmosfer prensip olarak parçaların ve fırının oksitlenmesini önlemek, yüzey oksitlerini indirgemek, fırında buharlaşan yağlayıcı gazları dışarı atmak ve demir karbon alaşımlarında olduğu gibi blok parçanın bileşimini kontrol etmek için kullanılır. Endüstride, genellikle oksitlenmeyi minimuma indirmek için koruyucu atmosfer olarak Ar, H veya N gazı kullanılır (Okura et al. 1990).



## BÖLÜM 4

### KOMPOZİT MALZEMELER

Günümüz metal malzemelerinin birçok özellikleri gelişen teknolojinin ihtiyacına cevap veremeyince, daha üstün özelliklere sahip kompozit malzemeler üretilmeye başlanmış ve bu konuda hızlı bir gelişme sürecine girilmiştir. Kompozit malzemeler klasik malzemelere göre çok daha hafif ve sağlamdırlar. Yapılan çalışmalar neticesinde, bu malzemelerin mekanik, kimyasal ve elektrik özelliklerinin iyileştirilmesi mümkün olmuştur. Kompozit malzemeler yaygın şekilde havacılık, deniz taşıtları, otomotiv, inşaat, askeri ve uzay teknolojisi alanlarında kullanılmaktadır (Durmuş ve Meriç 2003).

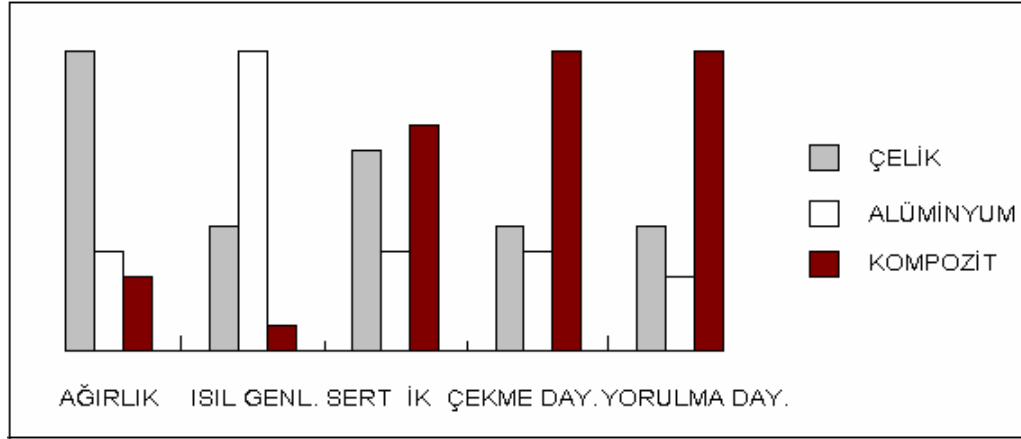
Kompozit malzeme, iki veya daha fazla sayıdaki, aynı veya farklı gruptaki malzemelerin en iyi özelliklerini, yeni ve tek bir malzemede toplamak amacıyla, makro düzeyde birleştirilmesiyle oluşturulan malzemeler olarak adlandırılır (Huda et al. 1995).

Metal matrisli kompozitler (MMK)'in özelliklerini iyileştirmek için metal matris içerisine güçlü seramik takviye elemanları eklenmektedir. En yaygın kullanılan takviye elemanları SiC, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve TiC fiberleri ve parçacıklarıdır. Bu takviye elemanları çekme dayanımı, elastikiyet modülü, aşınma dayanımı ve özellikle yüksek sıcaklık dayanımı gibi özellikleri olumlu yönde etkilemektedir (Huda et al. 1995).

Metallerin süneklik ve tokluğu, seramiklerin yüksek mukavemet ve yüksek elastikiyet modülü özellikleri ile birleştirilmeleri neticesinde son derece önemli mühendislik malzemeleri ortaya çıkmaktadır (Mondal and Das 2005).

Teknolojide kompozit malzemeler 1940'lı yıllarda havacılık sektörüne hizmet vermek üzere geliştirilmeye başlanmıştır. Amaç, çelik ve alüminyum alaşımları gibi konvansiyonel malzemelerin yerine daha düşük ağırlıklı ancak daha mukavemetli, sertlik değeri, aşınma dayanımı ve kırılma tokluğu yüksek malzemelerin geliştirilmesidir (Zhiqiang et al. 2005).

Sürekli elyaf takviyeli tabakalı kompozitler, diğer kompozit tiplerine göre, uçak yapılarında daha yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Şekil 4.1’ de tasarım açısından önemli hususlarda çelik ve alüminyum gibi konveksiyonel malzemelerle kompozit malzemeler karşılaştırılmıştır. Kompozit malzemelerin her alanda üstün özellikleri açıkça görülmektedir.



Şekil 4.1 Kompozit malzemelerle bazı metallerin karşılaştırılması (Armatlı 1999)

Tabakalı kompozit malzemeler, uçak yapılarında özellikle kaplama malzemesi olarak kullanılmaktadırlar. İnce plakalar kendi düzlemleri içinde etkiyen kesme, çekme yüklemelerine karşı koymada çok etkilidirler ve takviyeler arasında kalan kaplama burkulmaya maruz kalmaktadır. Bu çalışmada, düzlemsel yükler etkisindeki kompozit plakaların analizi yapılmıştır. Tabakalı yapının açı dağılımı, düzlemsel gerilme bağıntısının en yüksek değerler ile tespit edilmiştir. Ayrıca, burkulma gerilmelerine maruz ince levhalarda, yapının burkulma mukavemetini en yüksek açı dağılımının belirlenmesini sağlayan bağıntılar geliştirilmiştir.

Uçak yapılarında kullanılmak üzere geliştirilmiş olan ileri kompozit malzemelerde elyaf oranı %70 değerine ulaşmaktadır. Bu yapıları oluşturmak için yarı mamul tabakalar kullanılmaktadır. Yarı mamul levhalardan açılı tabakaların kesiminde oluşan malzeme fire bağıntısı, açı dağılımının bir fonksiyonu olarak geliştirilmiştir. Bu durumda, malzeme maliyetini en küçüklerden istenilen mukavemetin en yüksek değer ile plaka açı dağılımı belirlenebilmektedir (Armatlı 1999).

## 4.1 KOMPOZİT MALZEMELERİN ÖZELLİKLERİ

Kompozit malzemeler çoğunlukla, matris ve destekleyici olmak üzere iki bileşenden meydana gelmektedir.

Kompozit malzeme üretimi ile malzemelerin şu özellikleri geliştirilebilmektedir.

- Dayanım
- Korozyon direnci
- Aşınma direnci
- Estetik özeliği
- Ağırlık
- Yorulma ömrü
- Sıcaklığa bağlı davranışı
- Isı yalıtımı
- Termal iletkenlik
- Ses yalıtımıdır

Bu avantajların hepsini aynı zamanda gerçekleştirmek imkânsızdır. Kullanım yerine ve özelliklerine bağlı olarak gereksinim duyulan özellikler artırılır. Böylece uygun kompozit malzemeler kullanılmaktadır (Armatlı, Hiçyılmaz 1999, Mondal And Das 2005).

Çekme dayanımı gerektiren uygulamalarda daha çok elyafın özellikleri önemli iken yüksek sıcaklığa dayanıklılık gibi uygulamalarda matrisin özellikleri önemlidir. Bazı uygulamalarda da kompozit malzemenin davranışı bileşenlerin hacimsel oranları ile de doğru orantılıdır.

Kompozit malzemelerin dezavantajları göz önüne alındığı takdirde en büyük dezavantajı diğer malzemelere oranla daha pahalı olmasıdır. Bu durum bütün malzemelerin yeni olmaları ve dolayısıyla üretim yöntemlerinin yerleşmemiş ve üreticilerinin yüksek üretim oranlarına erişememiş olmalarından kaynaklanmaktadır. Bu malzemelerde avantaj olarak değerlendirilecek fakat bir dezavantaj olabilecek diğer bir durum da anizotropi gösteren malzemelerin dizaynı ve kullanılmalarında gösterdiği karmaşıklık ve kısıtlamalar

olabilmektedirler. Kompozit malzemelerin ticari olarak kullanımını son yıllarda büyük oranda artmıştır. Çizelge 4.1’ de tipik kullanım alanları verilmektedir.

Çizelge 4.1 Kompozit malzemelerinin kullanım alanları (Armatlı 1999)

Uzay	Uzay yapıları
Hava araçları	Uçak, Motor kutuları, ana girişler, Kanat boşlukları, Ara gövde, Türbin bıçakları
Otomobil	Motor gövdesi, Ara gövde, Piston kolları, Akü plakaları
Elektrik	Motor fırçaları, Pil plakaları
Tıp	Protezler, Tekerlekli sandalye Ortepetiar
Spor	Tenis raketleri, Olta çubukları, Bisiklet ve gövdeleri
Tekstil	Mekikler

#### 4.1.1 Kompozitlerin Mekanik Özellikleri

Ana yapı ve katkı fazının belirlenmesindeki sonsuz seçenek, çok değişik özelliklere sahip kompozitlerin üretimini mümkün kılmaktadır ve özellikle hafifliğin önemli olduğu uygulamalarda pek çok soruna çözüm getirmektedir. Üretilen kompozitler, birbirlerinin açıklarını kapatmakta, her türlü uygulama için geliştirilmiş bir veya birkaç kompozit bulmak mümkün olmaktadır. Kompozitlerin en önemli avantajı, katkı fazı ve ana yapı oranlarının istenen miktarda ayarlanabilmesi ve servis koşullarına en uygun malzemenin üretim öncesi tasarlanabilmesidir.

#### 4.2 METAL MATRİSLİ KOMPOZİTLER

Hafif, mukavemetli ve rijit malzemelere olan gereksinim metal matrisli kompozitlere olan ilgiyi artırmakta ve teknolojik gelişmelerle birlikte büyük ölçekte MMK kullanımını da artmaktadır. MMK’lerde alüminyum, magnezyum, titanyum ve bunların alaşımları ile bazı süper alaşımlar matris malzemesi olarak kullanılırken, sürekli fiber, kısa fiber, whisker veya partikül şeklinde üretilen, örneğin bor, karbon, silisyum karbür ve alümina gibi seramikler veya çelik, tungsten gibi bazı teller takviye olarak kullanılmaktadır. MMK’lerde kompozit

özellikleri, katkı ve matris alaşımlarının özelliklerine ve mikro yapı özellikleri gibi çeşitli etkenlere bağlıdır (Özdin 2006).

Metal matrisli kompozitler genelde iki bileşenden meydana gelmektedir. Destekleyici olarak bor, silikon, karbür, karbon, alüminyum, magnezyum, titanyum ve nikel alaşımları kullanılır. Çizelge 4.2' de bazı MMK bileşik malzemelerin mekanik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 4.2 MMK bileşik gereçlerin mekanik özellikleri (Armatlı 1999)

MMC	Çekme Gerilmesi (MPa)	Süneklik % Uzama
% 50 Bor - % 50 Al	1100	0,5
% 47 SiC - % 53 Al	1462	0,89
% 35 SiC - % 65 Ti	1690	0.96
% 34 SiC - % 66 Mg	1000	0,83
% 15 SiC - % 85 Al	718	0,53

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

Metal Matrisli Kompozitler içerisinde en fazla pazar payına sahip malzeme gruplarını Al ve alüminyum alaşımları teşkil etmektedir (Elliasson and Sandstrom 1995).

Son yıllarda MMK malzemelerin üretilmesinde ve daha pratik olarak uygulamaya aktarılmasında süresiz olarak takviye edilmiş malzemeler tercih edilmektedir. Bunun ana nedeni de takviye malzemelerinin kolay üretilebilmeleri ve kolay temin edilebilmeleridir. Bunun yanında süresiz takviye elemanları ile üretilen MMK'lerin dövme, haddeleme ve ekstrüzyon gibi standart metalürjik işlemlerle şekillendirilebilir olmaları sayılabilir. Süresiz olarak takviye edilmiş MMK'lerin kolay üretilebilir olmalarından dolayı son yıllarda çok değişik alanlarda bu malzemelerin kullanıldığı tespit edilmiştir. Bu uygulamalara birkaç örnek

vermek gerekirse; tenis racketleri, golf sopalarının kafaları SiC Al kompozittir. Piston, biyel kolu gibi otomobil motor parçaları SiC Al ve Saffil Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kısa fiberleri Al kompozitlerden yapılmaktadır (Armatlı 1999).

MMK üretiminde kullanılan matris alaşımları çok çeşitli olabilmektedir. Fakat alüminyum ve alaşımları bu konuda ilk sırayı almaktadır. Bu alaşımların tercih edilebilmelerinin nedeni düşük yoğunluk ve ergime derecesine sahip olmaları ve birçok seramik takviye malzemesini kolay ıslatabilmesinden dolayıdır. Alüminyum saf olarak matris malzemesi amacıyla kullanıldığı gibi alaşım olarak da düşünülebilir. Yüksek aşınma dayanımı ve düşük sürtünme için ticari Al-Si, düşük yoğunluk ve yüksek termal iletkenlik için Al-Mg ve Al-Cu alaşımları matris alaşımı olarak değerlendirmektedir. Alüminyumun dışında en fazla kullanılan metal ve alaşımları da şöyle sıralanabilir, Ti, Mg, Cu, Ni, Pb, Ag, Nb süper alaşımlar (demir esaslı ) ve intermetaliklerdir (Sur 2002).

MMK malzemelerin en önemli üstünlüklerinden biriside matris alaşımlarına göre daha yüksek sıcaklıklarda kullanılabilmesidir. Seramik takviye malzemesi ilavesinin matris alaşımının yüksek sıcaklık mukavemetini artırdığı tespit edilmiştir. MMK malzemelerin bir başka avantajı matris alaşımına göre kullanılan seramik takviye malzemesinin düşük yoğunluktan dolayı kompozitinde yoğunluğunun düşmesidir. MMK malzemelerinin spesifik kullanımları, üretim masraflarının malzemenin kullanım yerlerine göre bir avantaj sağladığı alanlarda bir anlam taşır. (Örneğin bir MMK malzeme türbin motoru olarak kullanılacaksa diğer yüksek sıcaklık motor malzemelerine göre özelliklerinin en uygun olarak geliştirilmesi lazımdır) (Gültaş 1998).

Bu duruma bir örnek, termal çevrimin bir neticesi olarak sürekli W fiberlerle takviye edilen süper alaşımların yorulma ömürlerinin kısalığı nedeniyle kullanılmamalarıdır. MMK' ler bazı dezavantajlarına rağmen hala yüksek sıcaklık malzemesi olarak seramik matris malzemelerden daha fazla ve güvenilir olarak kullanılmaktadırlar. Bunun en önemli sebebi de metal bilimi ve teknolojisinin seramiklerden çok daha ilerde olmasıdır. Böylece havacılık araçlarının çeşitli motor parçalarında MMK'lerin kullanımı, seramik matrisli kompozitlerden daha güvenilir olmaktadır. MMK malzemelerin çok değişik uygulamaları arasında NASA ve Amerika hava kuvvetleri sadece motor parçalarında değil aynı zamanda çeşitli yapısal bileşenlerle de kullanılabilir yüksek performanslı yapısal MMK'ler üzerinde geliştirme çalışmalarına devam etmektedir (Gültaş 1998, Sur 2002).

#### 4.2.1 Metal Matrisli Kompozit Çeşitleri

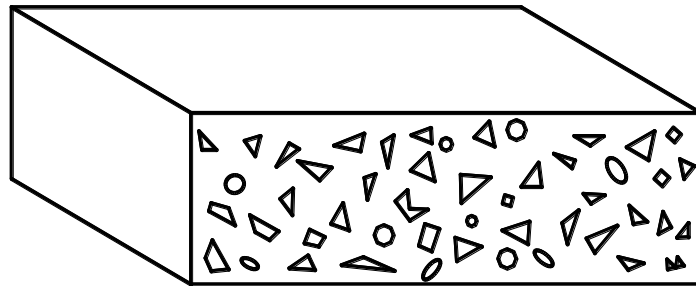
Metal matrisli kompozitleri takviye elemanlarına göre dört ana guruba ayırabiliriz.

- Parçacık takviyeli
- Sürekli elyaf takviyeli
- Kısa elyaf takviyeli
- Rastgele düzlemsel yönlendirilmiş takviyeli

Mühendislikte kullanılan takviye elemanlarının pek çoğu fiber şeklinde üretildiklerinde dayanım ve rijitlikleri (ilkel katı halinden yaklaşık 50 kat daha dayanıklı ve 3 kat daha rijittir) kütle halindeyken gösterdikleri özelliklerden daha üstün özellik ve performans gösterirler. Örnek olarak bir karbon fiber kütle halindeki grafitten yaklaşık 50 kat daha fazla mukavemete sahiptir. Bu özellik whiskerslerde daha da belirgindir. Çapları 5- 25  $\mu\text{m}$  olan fiber matris kompozitlerinin mühendislik performansını etkileyen en önemli faktörler; fiberlerin şekli, uzunluğu ve yönlendirilmesi, matrisin mekaniksel özellikleri ve fiber-matris ara yüzey özellikleridir (Hiçyılmaz 1999, Gültaş 1998).

##### 4.2.1.1 Parçacık Takviyeli MMK'ler

Bu tip kompozitler tek veya iki boyutlu makroskobik parçacıkların veya sıfır boyutlu olarak kabul edilen mikroskobik parçacıkların matris ile oluşturdukları malzemelerdir (Şekil 4.2). Pratikte en çok kullanılan takviye elemanları  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ve  $\text{SiC}$ 'den oluşan seramiklerdir. Seramik parçacık takviyeli metal matrisli kompozit malzemeler üstün, özel mukavemet ve özel modül, aşınma dayanımı ve yüksek sıcaklık mukavemetine sahiptir (Donomoto et al. 1983, Dinwoodie 1987).



Şekil 4.2 Parçacık takviyeli metal matrisli kompozitin şematik yapısı (Gültaş 1998)

Güçlendirilmiş parçacık hacmi, döküm yoluyla üretilen kompozitlerde pratikte karşılaşılan zorluklardan biri parçacık eklendiğinde tozların karıştırılma zorluğu ve eriyik viskozitesinin düşmesidir. Bazen de eriyiğin seramik parçacıkları ıslatmadığı görülmektedir. Islatabilirliğin gerçekleşebilmesi için katı yüzey enerjisinin artırılması, ergimiş metal yüzey geriliminin azaltılması ve katı-sıvı ara yüzey enerjisinin azaltılması gibi tedbirler alınmaktadır. Örneğin, parçacık yüzeyinin kaplanması ve ısıtma işlemi, matris sıvı geriliminin azaltılması için bileşimin ayarlanması gibi yöntemler de uygulanmaktadır. Alüminyum alaşımlarında ıslatmayı iyileştirmek için yaygın olarak kullanılan alaşım elementi magnezyumdur (Gültaş1998, Sur 2002).

Kompozitin dayanımı parçacıkların büyüklüğüne, parçacıklar arası mesafeye ve matrisin özelliğine bağlıdır. Partiküller yapı içerisinde homojen dağıldığında genellikle parçacık hacminin artışı ile kompozitin dayanımını ve aşınma direnci de doğru orantılı olarak artar. Fakat artan takviye oranı ile porozite de artma gözlenir.

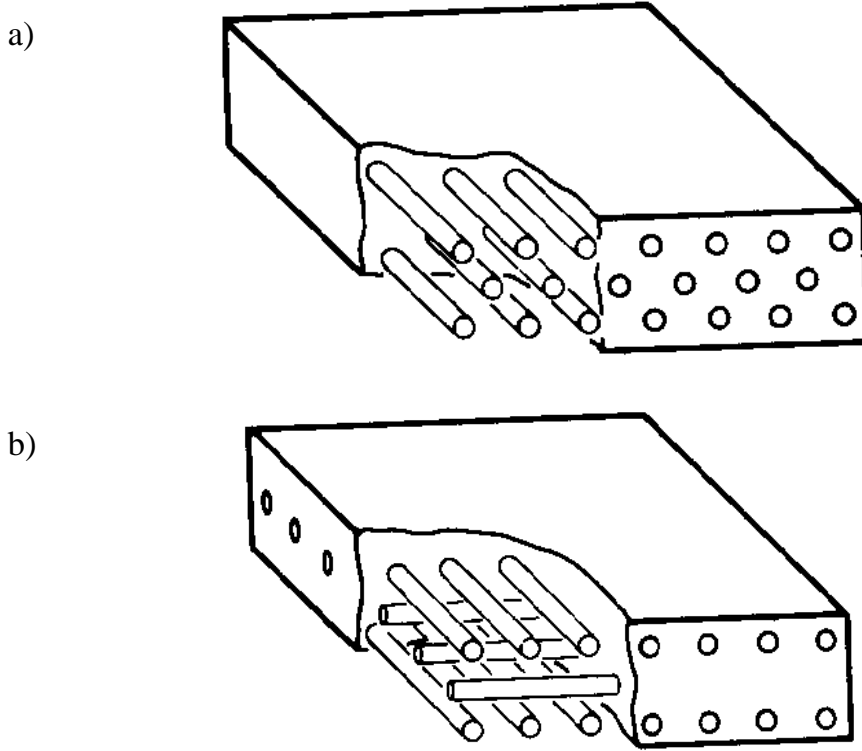
Genellikle döküm yöntemi ile üretilmiş bir kompozitin sünekliği ve dayanımı, toz metalürjisi yöntemi ile üretilmiş kompozitten daha düşüktür. Bunun nedeni takviye elemanlarının matris içerisinde homojen dağılmaması ve tane büyüklüğünün etkisidir. Parçacık takviyeli kompozitler ise izotropik özellik gösterdiğinden homojen dağılımı istenilene çok yakındır. Wolfram karbür, krom karbür, titanyum karbür ve bor karbür en fazla kullanılan karbür türlerindedir. Bağlayıcı olarak kobalt ve alaşımları kullanılır. Mekanik özellikleri bağlayıcının bileşim ve hacim oranına bağlı olarak değişir ve matrisin hacim oranı %35 kadardır (Şahin 2000)

#### **4.2.1.2 Sürekli Elyaf Takviyeli MMK'ler**

Bu tip kompozitlerde seramik esaslı ve metalik esaslı fiberler kullanılır. Sürekli lifler şeklinde olan bu filamentler en büyükleri 100- 20 µm en küçükleri ise 20 µm den daha küçük çaplarda üretilir ve kompozit içinde % 10- 70 gibi farklı hacim oranlarında kullanılırlar. Sürekli fiberler uygulamada kullanıldığı yere ve amaca göre tek filamentler halinde kullanılır. Filamentler kimyasal veya fiziksel buharlaştırma ile kaplama yapılarak üretilirler. İlk üretilen sürekli fiber boron ve silisyum karbür esaslı olmasına rağmen, daha sonraki çalışmalarda, düşük yoğunluk, mükemmel ısı direnci ve dayanıma sahip, karbon, silisyum karbür ve alümina esaslı elyaflar kullanılmıştır (Şahin 2000).



Sürekli fiberler yönlendirilebilme özelliklerinden dolayı, diğer takviye elemanlarına göre bazı üstün özelliklere sahiptir. Tek yönde çekme dayanımına maruz kalan bölgelerde, tek yönde yönlendirilmiş fiberler, fiber doğrultusunda maksimum performans gösterilirler. Buna karşın, fibere dik yönde daha düşük gerilme dayanımı elde edilir. Bunu da karşılamak için Şekil 4.3’ de görüldüğü gibi iki boyutlu ve üç boyutlu ve istenilen açıda yönlendirme yapılabilir.

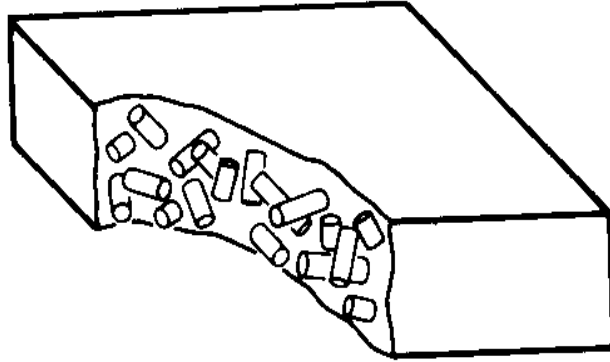


Şekil 4.3 Sürekli fiber takviyeli MMK şematik yapısı (a) Tek doğrultuda yönlendirilmiş, b) 90° açılı çift doğrultuda yönlendirilmiş (Şahin 2000)

Sürekli fiberler çok yönlü yönlendirilebilmek için çoklu filamentler halinde veya dokunmuş halde kalıp içerisine yerleştirilir. Ön ısıtmadan sonra metal emdirilir. Çoklu filament takviyeli MMK genellikle ergimiş metal emdirme yolu ile üretilirler. Metal matrisli kompozitlerde kullanılan diğer sürekli fiber pekiştiriciler, metalik tellerdir. Ağırlığın önemsiz olduğu yerlerde kullanılırlar. Dezavantajları, yüksek sıcaklıklarda oksidasyona karşı zayıf olması ve matristeki bazı alaşımlardan metalik tellerin gevrekleşmesine neden olmasıdır. Bu problemde difüzyon önleyiciler kullanılarak önlenir. Metalik matrislerin pekiştirilmesinde kullanılan metalik teller genellikle tungsten, molibden, berilyum, çelik ve nikel esaslı alaşımlardan üretilirler (Sur 2002).

#### 4.2.1.3 Kısa Elyaf Takviyeli MMK'ler

Kısa fiber veya süreksiz fiber olarak adlandırılan fiberler 0,5- 6 mm uzunluğunda ve yaklaşık 3–5  $\mu\text{m}$  çapında üretilirler. Kısa fiberli kompozitler, takviye elemanının eriyik içinde malzemeye birleştirilmesiyle, sıkıştırılmalı dökme ön şekli verilmiş kalıba basınçlı olarak eriyik emdirilerek üretilirler. Eriyik içinde takviye elemanının hacim oranı, esasında sıvının viskozitesinin yükselmesi ile sınırlıdır. Ön şekil halindeki fiberlere ergimiş metal süzdürülürken hacim oranları önem arz ettiğinden fiber oranı en çok % 35 civarındadır. Bu değer üstündeki uygulamalarda istenilen mekanik ve fiziksel özellikleri elde etmek zorlaşmaktadır. Kısa fiberler genellikle rastgele yönlendirilirler (Şekil 4.4).



Şekil 4.4 Kısa elyaf takviyeli metal matrisli kompozitin şematik yapısı (Hughess 1986)

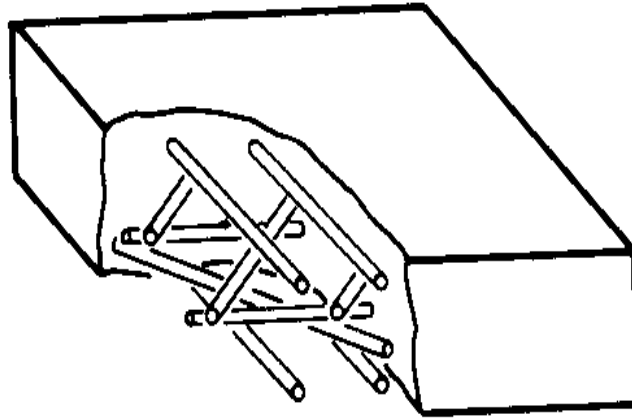
Pres döküm yöntemi kısa elyaflı kompozitleri üretmek için en uygun yöntemdir. Örneğin, saf fiber alümine tabanlı kısa fiberli kompozitler pres döküm tekniği ile üretilirler. Piston başlığı olarak kullanılan kompozitler bu yöntemle üretilirler. Pistonun bu baş kısmında sık karşılaşılan termal yorulmayı önlemek için genellikle takviye elemanı olarak kısa elyaflar kullanılmaktadır. Kısa elyaflı kompozitlerin diğer üretim teknikleri de toz metalürjisi ve plazma püskürtmedir.

Toz metalürjisi ile üretimde mekanik kuvvetlerden dolayı elyaflar da dikkate değer zararlar görülür. Plazma püskürtmeli çökeltme işleminde şekil ve ölçü faktörlerinin sınırlı olması nedeniyle düşük performanslı bir üretim şekli olarak kabul edilir. Sürekli fiberlere göre, kısa fiberli kompozitlerin üretim işleminin hızlı ve maliyetinin düşük oluşu, biçimlendirme ve şekil verme yeteneğinin yüksek olması nedeniyle tercih edilir. Otomobil sanayisinde başarıyla kullanılabilecek bir kompozit türüdür.

#### 4.2.1.4 Rastgele Düzlemsel Yönlendirilerek Takviyelendirilmiş MMK'ler

Rastgele düzlemsel yönlendirilerek takviyelendirilmiş MMK'ler kısa fiberlerden oluşurlar. Fakat bu fiberler matris içinde gelişi güzel ve rastgele iki boyutlu olarak yönlendirilmişlerdir. Bu tip yönlendirilmiş bazı kompozitler sodyum silikat'dan oluşan orta sululukta bir bağlayıcı ile askıya alınarak (tutularak) katı ön şekil haline getirilir, bu işlemden sonra preslenir veya santrifüj sistemi ile iyice sıkıştırılıp kurutularak fırınlanır (Sur 2002).

Ön şekillerdeki fiberler karmaşık olarak yönlendirilebilmelerine rağmen genellikle gelişi güzel veya iki boyutlu yerleştirilerek yönlendirilirler (Şekil 4.5). Bu tip üretim yöntemlerinde ön şekillerin dar alanlar ve küçük oyuklar gibi özel alanlarda yerleştirilip emdirilmesine müsaade etmesi kompozit üretiminde maliyeti düşürür. Bu nedenle, kesintisiz şekilli ergimiş metal emdirilmeli kompozitin üretimi diğer tekniklerle karşılaştırıldığında daha caziptir fakat yer değiştirme ve yönlendirme derecesi (açısı), akış alanına ve işlem durumuna, bunların yanında fiberin boyuna, fiberin hacim oranına ve kalıbın şekline bağlıdır.



Şekil 4.5 Rastgele düzlemsel yönlendirilerek takviyelendirilmiş MMK yapısı(Sur 2002)

Kompozit içinde fiberlerin gelişi güzel yerleştirilmeleri ne kadar düzenli olursa yapı içerisindeki fiber oranı da o kadar artar ve kompozitte matris alanları azaltılmış olur. Kompozitlerin tüm yönlerdeki mekanik özelliklerin fiberlerin yerleştirilmelerine bağlıdır. Fiberler rastgele yerleştirilirken işlem doğru yapılırsa kompozitte tüm yönlerde istenilen mekanik özellikler elde edilir.

#### **4.2.2 MMK Malzemelerin Mühendislik Uygulamaları**

Metal matrisli kompozitler çok sayıdaki yapısal uygulamalarda kullanılmaları için iyi bir potansiyele sahiptirler. Ancak monolitik metal ve alaşımları ile karşılaştırıldıklarında, mukavemet–elastik modül kazanımının yüksek maliyete üstün geldiği uygulamalar dışında MMK’lerin kullanımları yüksek maliyetten dolayı sınırlandırılmıştır (Hiçyılmaz 1999).

MMK üretimin ana amacı matris alaşımının mukavemet ve modülünü arttırmaktır. Bununla beraber matris alaşımları çok değişik varyasyonlardan dolayı değişik elastik modül, mukavemet ve termal genleşme katsayıları vererek arzulanan malzemelerin üretilebilirliğini sağlarlar. En önemli özelliklerden biri ise aşınma dirençlerinin çok iyi olmasından dolayı aşınma dirençlerinin çok iyi olmasından dolayı aşınma uygulamalarında yaygın olarak kullanılabilenleridir (Hiçyılmaz 1999).

#### **4.2.3 Metal Matrisli Kompozitlerin Üretim Yöntemleri**

Hafif metaller, kompozitler için matris malzemesi olarak çok çekicidir. Bunlar plastiklerden daha yüksek dayanıma sahiptirler, yüksek tokluk ve sıcaklıklarda özellikleri daha iyidir. Ancak MMK üretimi zordur, çünkü MMK’ler her elyafla iyi ara yüzey bağı oluşturmazlar. Metal matrisli kompozit malzemeler çok farklı yöntemlerle üretilebilmektedir. Bu yöntemler birbiri ile karşılaştırıldığında çeşitli avantaj ve dezavantajlar göstermektedir. Kompozit malzemelerin kullanım alanına göre ve buna bağlı olarak mekanik ve fiziksel özelliklere göre her bir üretim prosesinin pazar payı mevcuttur. MMK’lerin üretiminde kullanılan teknikler; sıvı hal üretim tekniği, katı hal üretim tekniği ve sıvı-katı hal üretim tekniği olarak üç ana gruba ayrılabilir.

Metal matrisli kompozitlerin üretilmesinde çok değişik sayıda üretim metodu geliştirilmiş olmasına rağmen yaygın olarak kullanılan üretim teknikleri toz metalürjisi, pres döküm, kompozit döküm, basınçlı infiltrasyon, vorteks metodu, santrifüj yöntemi, yönlenmiş katılma teknikleridir (Weeton et al. 1987). Bu yöntemler içerisinde bilinen en eski üretim metodu toz metalürjisi yöntemidir.

### 4.3 METAL MATRİS MALZEMELERİ

Kompozit malzemelerde, matris malzemesi olarak mukavemetli ve hafif metaller kullanılır. En yaygın olanları alüminyum, titanyum ve magnezyumdur. Takviye olarak da berilyum, molibden, çelik ya da tungsten elyaflar kullanılır. Ayrıca SiC kaplı bor elyaflar ve grafit elyaflarda kullanılır. Bu kompozitlerde de diğerlerinde olduğu gibi elyaflar yapıya mukavemet ve tokluk kazandırırken metal matris de elyafları bir arada tutar, gerilmeleri ve yükleri şekil değiştirerek karşılar. Bu kompozitler, yüksek sıcaklık dayanımlarının mükemmelliği nedeniyle, uçak motorlarında kullanılmaktadır.

Ancak metal matrisli kompozitlerin üretiminde bazı problemler söz konusudur. İnce elyaf yapılar kompozit üretiminde ergimiş matris malzemesinin içine yerleştirilir. Reçine matrislerin ergime sıcaklıkları elyaflarınkinden düşüktür. Ancak, metal matrislerin ergime sıcaklıkları yüksek olduğundan problemler yaşanır. Yüksek sıcaklık elyaflara zarar verebilir. Bu nedenle metal matrisler için farklı yöntemler kullanılmaktadır. Elektriksel kaplama işleminde elyafların üzeri metal ile kaplanır. Plazma spreyi ise bir başka kaplama yöntemidir. Metal plazma haline getirilerek elyafların üzerine sprey şeklinde kaplanabilir (Kurtçu 1995).

#### 4.3.1 Al ve Al Alaşımları

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

Bunların etkin kullanılma sebebi olarak;

- Dayanım/özlük ağırlık oranının yüksek olması,
- Elektrik iletkenliği/özlük ağırlığının yüksek olması,
- Atmosfere ve diğer ortamlara karşı yüksek korozyon direncine sahip bulunmasından kaynaklanmaktadır.

Bunlara ilaveten, şekillendirme ve ince levha haline getirilmesi diğer bir özelliğidir. Ancak saf alüminyumun oksijene olan yüksek eğiliminden dolayı döküm kabiliyetinin kötü oluşu, daha düşük mekanik özellikler göstermesi ve talaşlı imalatta işlenebilirliğin iyi olmaması ve kaynakla birleştirmenin güçlüğü gibi problemleri de bulunmaktadır. Çizelge 4.3'de saf

alüminyumun bazı fiziksel özellikleri gösterilmiştir. Ancak, alaşımlama yapılarak bu özelliklerde daha fazla iyileştirebilir. Diğer taraftan alüminyum yorulma dayanımında yorulma sınırı göstermediği için kırılma oldukça düşük gerilmelerde bile gerçekleşir. Düşük ergime noktası dolayısı ile yüksek sıcaklık özelliği de iyi değildir. Ancak Saf alüminyum düşük mekanik dayanımlarına karşılık iyi korozyon dayanımından dolayı kullanılmaktadır.

Çizelge 4.3 Saf alüminyumun önemli fiziksel özellikleri (Sur 2002)

Özgül Ağırlığı (gr/cm <sup>3</sup> )	Ergime Isısı (KJ/kg)	Ergime sıcaklığı (°C)	Elastik modülü (GPa)	Isıl genli. Katsayısı (1/K)	Isı iletim Katsayısı (W/mK)	Elk. İletim Katsayısı (m/Ω.mm <sup>2</sup> )
2.68	390	660	66	24.10-6	230	40

#### 4.3.2 Magnezyum (Mg) ve Alaşımları

Magnezyum (Mg), Alüminyum (Al)' dan daha düşük özgül ağırlığa sahip iken Al kadar mekanik özellikleri iyi değildir. Fakat özgül dayanımı daha iyidir. Bu nedenle uzay araçlarında, yüksek hızlı makine ve nakliye araçlarında kullanılır. Ancak döküm ve talaşlı imalatta oksijene karşı ilgisinin fazla olması, düşük elastik modülü, yorulma, sünme ve aşınma özellikleri düşük olduğundan az tercih edilirler. Saf magnezyumun dayanımı düşüktür (örneğin, döküm halinde çekme dayanımı 110 MPa ve ekstrüzyon halinde 200 MPa). Genellikle hadde ve döküm alaşımları halinde kullanılır. En önemli alaşım elementleri alüminyum ve çinkodur. Yaklaşık %2,5- 8 arasında alüminyum ve %0,5- 4 civarında çinko katılır. Bu elementler aracılığıyla Mg' un dayanımı 300 MPa' a kadar artırılabilir. Magnezyum alaşımları kum kalıba ya da kokil dökümle iyi dökülebilir olduğundan üretimi kolaydır. Magnezyum alaşımlarının, sertleşebilen ve sertleşmeyen türleri mevcuttur. Magnezyum, hegzagonal kafes yapısından dolayı kötü şekillenme özelliğine sahiptir. Ancak talaşlı imalatla şekillendirilmesi diğer metallere göre daha iyidir. Sertleşme işlemi, katı çözültü, tane boyutu kontrolü, çökeltme ve yaşlanma ile gerçekleştirilir. Alüminyum' da olduğu gibi, magnezyumda da alaşım elementlerinin çözülebilirliği oldukça düşük olduğundan katı çözültü sertleşmesi sınırlıdır (Hiçyılmaz 1999, Sur 2002).

### **4.3.3 Çinko Alaşımaları**

Çinko alaşımlarının döküm kabiliyeti çok iyi olması nedeni ile 0.5 mm kalınlığında ince cidarlı, karışık şekilli ve çok küçük çaplı delikler kolaylıkla elde edilebilir. Düşük ergime sıcaklığı nedeniyle kalıpların bozulması çok az olduğundan, çok sayıda parça üretildiğinde daha ekonomik olabilir. Pres dökümle üretilen çinko alaşımları Zamak olarak adlandırılmaktadır. ZA-4, ZA-8, ZA-12 ve ZA-27 olarak kodlandırılır. Bu alaşımların, özellikle düşük devirlerde ve ağır yükleme şartlarında aşınma dirençlerinin iyi olduğu bilinmektedir. Çinko ve alaşımları oda sıcaklığında yorulma dayanımı iyi, fakat düşük sıcaklıklarda çok kırılgandırlar. Bu alaşımların uzun süre kullanımında sünekliği biraz artar ve dayanımı azalır. Çinko ve alaşımlarından imal edilmiş, pres döküm parçalar, genellikle ev mutfak eşyalarında, taşıtlarda ve hassas mekanik parça üretiminde kullanılır.

### **4.3.4 Titanyum Alaşımaları**

Kompozitlerde, titanyum ve alaşımları da yaygın olarak kullanılmaktadır. Yüksek sıcaklık uygulamaları için titanyum alaşımları, özellikle kompresör pervanesi ve diskler için, çok güven vericidir. Ayrıca, titanyum ile yayınım yoluyla matris takviye elemanı arasında, arayüzey bağı sağlanmaktadır. Böyle bir kompozitte 500°C' ye kadar dayanımını sürdürmektedir. Elbette herhangi bir alaşımın plastik matrisle karşılaştırıldığında dezavantajı yoğunluğunun yüksek olmasıdır ki pek çok uygulamalarda yoğunluğun çok önemli bir özellik olduğu bilinmektedir (Sur 2002).

## **4.4 KOMPOZİT MALZEMELERDE KULLANILAN TAKVİYE ELEMANLARI**

Matris malzeme içinde yer alan takviye elemanları kompozit yapının temel mukavemet elemanlarıdır. Kompozit malzemelerde takviye elemanı olarak seramik elyaflar veya parçacıklar kullanılmaktadır. Bunlar plastik ve metal esaslı malzemelerde elde edilemeyen yüksek özgül dayanımlı malzemelere olan talep nedeniyle son yıllarda yaygın olarak tercih edilmeğe başlanmıştır. Günümüzde kompozit yapılarda kullanılan en önemli takviye elemanları sürekli elyaflardır. Bu elyaflar özellikle modern kompozit yapıların oluşturulmasında önemli bir yer tutar (Armatlı 1999).

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 elemanlarını ıslanamaması durumunda ara yüzey bağlarının oluşumunu engellemesine ve hava boşluklarının oluşmasına neden olur. Bundan dolayı takviye elemanı seçimi, matris içerisinde yönlendirilme şekilleri ve hacim oranları, kompozitin fiziksel ve mekanik özelliklerini etkiler (Şahin 1994).

Metal matrisli kompozitler için kullanılan takviye elemanları parçacıklar, sürekli ve süreksiz fiberler, whiskersler vb. dir. Takviye elemanlarını seçimi kompozit için büyük önem arz ettiğinden, takviye elemanlarının özelliklerinin de çok iyi bilinmesi gerekmektedir. Fiberler yoğunluk, üretim kolaylığı, ısı direnç, kimyasal uyumluluk gibi kısıtlara göre seçilmektedir. Özellikle uzay ve uçak sanayinde düşük yoğunluklu, yüksek mukavemet ve modüllü takviye elemanlarının kullanılması kaçınılmazdır.

Bunun yanında, metalik kompozitler genellikle yüksek sıcaklık uygulamaları için geliştirildiklerinden yüksek sıcaklıklarda fiberlerin mukavemetlerini koruma özellikleri, oda sıcaklığındaki mekanik özelliklerinden daha önemlidir. Takviye elemanının metalik matris ile iyi bir ara yüzey bağı oluşturması, matris içerisinde reaksiyona girmemesi gerekir. MMK'lerde yaygın olarak kullanılan seramik takviye elemanları Çizelge 4.4' de gösterilmiştir.

Çizelge 4.4 Kompozitlerde kullanılan bazı takviye elemanlarının özellikleri (Sur 2002)

Fiber tipi	Çap ( $\mu\text{m}$ )	Yoğunluk ( $\text{Kg/m}^3$ )	Elastikiyet modülü (GPa)	Çekme Dayanımı (GPa)
Saffil ( $\delta$ -Alümina)	3	3300	300	2.0
FP ( $\alpha$ -Alümine)	20	3950	380	1.7
Silisyum 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



#### **4.4.1. Boron**

Boron aslında kendi içinde kompozit yapıdadır. Çekirdek olarak adlandırılan ince bir flamanın üzerine bor kaplanarak üretilirler. Çekirdek genellikle tungstendir karbon çekirdek de kullanılmaktadır (Hughess 1986).

Boron fiberler alüminyum ve titanyum ile kompozit oluşturduklarında sıcaklık altında çabuk tepki verir. Alüminyum matrisli kompozitlerin üretiminde yüksek sıcaklık kullanıldığında boron fiber üzerindeki difüzyonu engelleyen tabaka ortadan kalkar. Bor ticari olarak silisyum karbür ve boron karbür ( $B_4C$ ) olarak üretilir. İki katmanlı olan silisyum karbür fiberde silisyum karbür'ün kalınlığı 2,5  $\mu m$  civarındadır ve sıcak presleme esnasında metal matris ile boron' un kimyasal reaksiyona girmesini önler (Şahin 1994) .

#### **4.4.2 Silisyum Karbürler**

Silisyum karbür fiberlerin oksidasyon direnci, yüksek sıcaklıklarda mukavemet ve rijitliğini koruma özelliği bor fiberlerden daha iyidir. Ergimiş alüminyumun SiC fiberler üzerindeki etkisi de bor fiberlere göre çok düşüktür. Bu nedenle alüminyum matrislerin takviyelendirilmesinde kullanılan bor filamentleri SiC ile kaplanır. Bor fiberlere benzer bir yöntemle üretilen silisyum karbürler uzun kristalli yapıya sahip olmalarına rağmen, yüzeyleri bor fiberlerinkinden daha düzgündür. SiC fiberlerin yanında metal matrisli kompozitlerde SiC whiskerslerde kullanılır. Bu SiC whiskersler 20 - 51 x  $10^{-6}$  mm çapında ve 30  $\mu m$  uzunluğunda üretilirler. SiC whiskerslerle üretilen kompozitlerin önemli bir avantajı, ekstrüzyon, haddeleme, kalıpta dövme ve presleme gibi plastik şekil verme tekniklerinin, whiskerslerde mekanik bir hasar meydana getirmeden uygulanabilmesidir (Şahin 2000).

#### **4.4.3 Whiskersler**

Plastik deformasyon tekniklerinin yanı sıra, toz metalürjisi tekniği ile metal matrislerin SiC whiskersleriyle güçlendirilmeleri mümkündür. Karmaşık şekilli parçalar sıcak izostatik presleme ile ekonomik bir şekilde üretilebilirler. Preslenmiş parçalar, minimum düzeyde bitirme işlemine ihtiyaç duyarlar. Kısaca SiC whiskersleriyle pekiştirilmiş metal matrisli kompozitler, klasik şekillendirme tekniklerinin uygulanabildiği tek sistemdir. Bu

whiskerslerle güçlendirilmiş alüminyumun işlenebilirlik özelliği, sürekli SiC, bor ve alümina fiberle güçlendirilmiş esaslı kompozitten daha iyidir (Kök 2000).

#### 4.4.4 Karbon ve Grafit Fiberler

Karbon ve grafit fiberler, düşük yoğunluklu, yüksek mukavemet ve modüllü, ısıl kararlılıkları ve dirençleri yüksek olan takviye elemanlarıdır (Rong et al. 1997). Bu özellikleri nedeniyle cam elyaflardan daha sonra gelişen ve çok yaygın olarak kullanılan bir takviye elemanıdır.

Hem karbon hem de grafit fiberler aynı esaslı malzemeden üretilirler. Ham maddelerden üretildikleri için organik fiber olarak da adlandırılırlar. Ham madde olarak rayon, poliakrilonitril (PAN) ve zift kullanılır, üretildikleri maddeye göre de anılırlar (Hiçyılmaz 1999).

Karbon ve grafit fiberler bir biri yerine kullanılmakla beraber kimyasal bileşimleri arasında fark vardır. PAN esaslı karbon fiberler % 93- 95 arasında karbon içerirken, grafit fiberlerde % 99 ve üstündedir. Üretim sıcaklıklarının farklı oluşu, karbon bileşeninin değişmesine neden olur. PAN esaslı karbon fiberler yaklaşık 1361°C de üretilirken, yüksek modüllü grafit fiberleri 1900- 3000°C sıcaklıklarda üretilirler. Reaksiyon sıcaklıklarının kontrolü ile farklı özelliklerde fiberler üretmek mümkündür. Örneğin, grafit fiberleri yüksek modüllü fiberler veya yüksek mukavemetli fiberler şeklinde üretilebilirler. Yüksek modüllü fiberlerin kopma uzaması, yüksek mukavemetli karbon fiberlerine göre daha düşüktür (Armatlı 1999).

Yüksek modüllü fiberler 1982°C' nin üstündeki sıcaklıklarda üretilirler ve grafit yapıdadırlar. Elastikiyet modülü yükseldiğinde üretim maliyeti artar. Yüksek mukavemetli grafit fiberleri rayondan ve daha düşük sıcaklıklarda üretilirler. Karbon ve grafit pekiştiriciler kompozit malzeme teknolojisinde çeşitli şekillerde kullanılırlar. Bunlar:

- Sürekli lifler ve filament demetleri,
- Ögütülmüş fiberler,
- Elyaf (kırılmış fiberler),
- Tek yönlü pekiştirilmiş fiberler,
- Örgü ve dokunmuş kumaşlar.

Burada sürekli fiberler, sayıları 400- 160.000 arasında değişen iplik demeti şeklinde ve çapları da genellikle 8 µm civarındadır. Süreksiz takviye elemanları, değişik boylarda kesilmiş öğütülmüş fiberlerden oluşur. En kısa fiberler 0,03- 3mm arasında değişen öğütülmüş karbon fiberlerdir. Ortalama olarak boyun çapa (L/d) oranı 30 kadardır. Elyaf şeklindeki pekiştiricilerin boyları genellikle 6,4 mm ve L/d oranı ise 800 civarındadır (Cöcen vd. 1997).

Tek yönlü şeritler, sürekli filamentlerin organik bir reçine ile şerit şeklinde bir araya getirilmesi ile üretilirler. Örgü ve kumaş şeklindeki pekiştiriciler sürekli filamanlardan çeşitli tekstil işlemleri ile üretilirler. Kompleks şekilli parçaların kalıplanması için çok elverişlidir.



## BÖLÜM 5

### AŞINMA

#### 5.1 AŞINMA

Makine parçalarının tamiri için sarf edilen işçilik, tamir işinin kural olarak fazlaca mekanize olmaması nedeniyle bu parçaların imalinde sarf edilen işçilikten önemli miktarda fazladır. Dolayısıyla her geçen gün makine parçalarında aşınmaya karşı daha dayanıklı olma özelliği aranmaktadır. Aşınma derecesinin özellikle tasarım aşamasında hesaplanması parçaların aşınma ömrünün önceden saptanmasında önemli rol oynamaktadır. Başlarda tasarım yapılırken, malzemenin aşınma dayanımı hususunda sadece malzeme sertliği ve yükün meydana getirdiği etkiler göz önüne alınmıştır. Oysaki deneyler malzemenin elastik nitelikleri, parçaların çalışma koşulları (yük, hız, sıcaklık), dış koşullar (yağlama ve çevre) ve parçaların birbiri ile temas şekli tasarım özelliklerinin aşınma üzerinde bir o kadar etkisi bulunduğunu göstermektedir.

Aşınma, genellikle önceden bilinen bir hasar tipidir. Birbiriyle temasta olan malzeme yüzeyleri, oksit filmleri (tabii tabakalar) ve yağlayıcılar ile korunmaktadır. Fakat mekanik yüklemeler altında oksit tabakasının veya yağlamanın bozulması, iki yüzeyin birbiriyle temasına neden olur. Bu temasla oluşan sürtünme, malzemelerin çalışma şartlarındaki ömrünü ve performansını sınırlayan aşınmaya neden olur (Yılmaz 1996).

Aşınma, hareketli makine parçalarının ömürlerini ve performanslarını azaltan, parçaların bozulmasına ve kullanılmayacak duruma gelmesine sebep olan bir hasar türü olup, makine ve teçhizatın kullanılmasında çok büyük ekonomik kayıplara (enerji, iş gücü, malzeme v.b.) sebep olmaktadır. Bu nedenle makine ve teçhizat tasarımında aşınmanın çok iyi bilinmesi ve dikkate alınması gerekir. Aşınma ile ilgili terminoloji, ASTM 640'da yer almaktadır. Aşınmayı en aza indirmek için uygun yağlama, malzeme ve tasarım seçimi yapılmalıdır (Turhan 2002, Sun 2004).

Aşınma, temelde bir yüzey hasarı ve bir yüzey olayıdır. Yüzeyi etkileyen her durum aşınma davranışını etkiler (Kayalı 1987).

## 5.2 AŞINMANIN TEMEL NEDENLERİ

Aşınma, kendisini yavaş yavaş gösteren bir yıpranma faktörüdür. Genellikle makine hasarlarının % 62'sini kullanma hatalarının, % 38'ini ise teknik eksikliklerin oluşturduğu tahmin edilmektedir (Keleştimur 1989).

Aşınmanın başlaması ve devam edebilmesi için sürtünme olmalıdır. Sürtünen iki cismin temas alanı, görünen temas alanından küçüktür. En hassas işleme yöntemleri ile de olsa işlenen katı malzemelerin yüzeyi hiçbir zaman düz değildir. Çünkü imalat tekniğinde tam olarak pürüzsüz düz bir yüzeyin elde edilmesi imkânsızdır. Yüzeyi elde etmede kullanılan kesici ve yontucu araçlar ne kadar itina ile hazırlanırsa hazırlansın, işlem sonucu elde edilen yüzey üzerinde mutlaka belirli büyüklükte pürüzlülük, yani yüzeyde birkaç mikron yüksekliğinde mikroskobik pürüzler bulunur (Cöcen 1997).

Yüzeylerin temas etmesi halinde ise yüzeylerdeki karşılıklı pürüzler etkileşir. İlk temas birkaç pürüz tepeleri arasında oluşur. Pürüz tepeleri arasındaki girintiler temas etmezler. Gerçek temas alanı, temasta olan pürüzlerin toplam alanıdır. Yüklemenin şekli ve yük temas alanının büyüklüğünü etkiler. Yük arttıkça ilk temas eden pürüzler şekil değişimine uğrar, yani ezilir ve bunun sonucu kısa boyutlu yeni pürüzler birbiri ile temas ederler. Yüklemenin temas etmesi ile de pürüz sayısı azalır ve gerçek temas alanı görülen temas alanına yaklaşır (İpek 1992, Odabaş 1991).

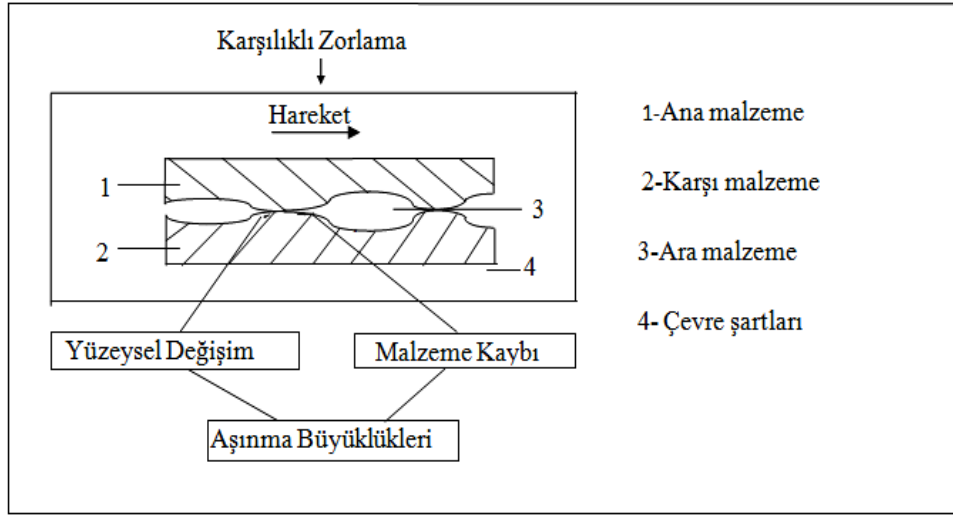
Yüzey pürüzlüğünün artışı ile aşınma direnci azalır (Pigors 1979). Temasta olan cisimlere bağlı hareket yaptırabilmek için sisteme bir enerji girer. Bu enerji yük ve hareket şeklindedir. Giriş ile çıkış arasındaki fark, mekanik titreşime, ısı, ses ve sürtünme enerjisine ve aşınmaya dönüşür (İpek 1992, Odabaş 1991).

Bir aşınma sisteminde;

- Ana malzeme
- Karşı malzeme

- Ara malzeme
- Çevre Şartları

Aşınma olayını iyi bir şekilde analiz edebilmek için aşınma olayını oluşturan temel unsurların bilinmesi gerekir. Tribolojik sistemi oluşturan bu unsurlar aşağıda verilmiştir (Şekil 5.1).



Şekil 5.1 Tribolojik sistemin şematik gösterimi (Güldaş 1998, Turhan 2002)

### 5.2.1 Aşınmayı Etkileyen Faktörler

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

#### 5.2.1.1 Ana Malzemeye Bağlı Faktörler

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

### 5.2.1.2 Karşı Malzemeye Bağlı Faktörler ve Aşındırıcının Etkisi

#### Ortamın Etkisi

- Sıcaklık
- Nem
- Atmosfer

#### Servis Koşulları

- Basınç
- Hız
- Kayma mesafesi (Sur 2002).

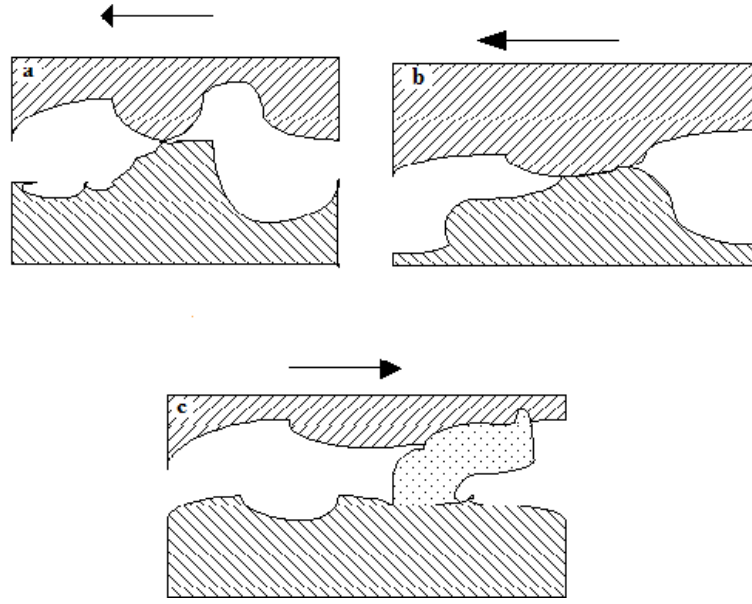
## 5.3 AŞINMA MEKANİZMALARI

### 5.3.1 Adhezif Aşınma (Yapışma Aşınması)

Yapışma aşınması olarak da adlandırılan adhezif aşınma, en sık rastlanılan aşınma türü olmasına rağmen, genellikle hasarları hızlandırıcı etkide bulunmaz. Adhezif aşınma en genel olarak, karşılıklı etkileşim içerisinde birbirlerine göre göreceli olarak hareket eden iki yüzeyin birisinden bir parçacığın koparak diğer yüzeye yapışması sonucunda, bir yüzeyden diğer yüzeye olan malzeme taşınımı olarak tanımlanabilir (Aytaç 2007).

İki ayrı metal yüzeyi basınç altında Şekil 5.2'de olduğu gibi bir araya getirildiği zaman, iki ayrı yüzeyde bulunan karşılıklı çıkıntılar gerek sürtünme neticesinde oluşan ısı, gerekse de soğuk kaynaklaşma etkisi nedeniyle birbiriyle bağ yaparlar. Meydana gelen bu bağ, birleşen çıkıntılarının diğer bölgelerindeki bağ yapısından daha kuvvetli olabilir. Yüzeylerin birbirine karşı olarak yaptığı hareketin devam etmesiyle birleşen iki çıkıntı, bağ kuvvetinin en zayıf olduğu noktadan kopacaktır. Bu kopma kaynak noktasında meydana gelmediği zaman, bir yüzeyden diğer yüzeye malzeme transferi meydana gelir. Bu prosesin çalışma koşullarında birçok kere tekrarlanması ile adhezif aşınma kendisini hissettirecek boyutlara ulaşır (Armatlı 1999, Sur 2002).





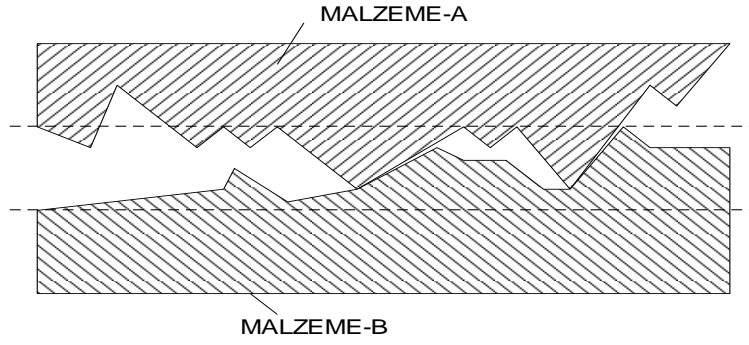
Şekil 5.2 Adhezif aşınmanın meydana gelişinin şematik olarak gösterimi, a ) İki çıkıntının buluşması ve bağ oluşumu. b ) Bağın koparak bir yüzden diğerine malzeme transferinin oluşumu. c ) Uzamış olan çıkıntının diğer yüzeydeki çıkıntıyla etkileşimi sonucunda da yüzeyde kırıntı oluşumu (Chan and Williams 1996).

Adhezif aşınma, özellikle birbiri ile kayma sürtünmesi yapan malzeme çiftinde meydana gelen kaynaklaşma olayının bir sonucudur. Birbiri üzerinde kayan teknik yüzeylerin, ancak küçük bir kısmı temas halindedir ve bu küçük temas yüzeylerindeki gerilmeler çok küçük yüklemelerde dahi akma dayanımı değerine ulaşırlar veya geçerler. Böylece, moleküler yapışma kuvvetleri etkisini gösterir. Bu nedenle bir parçadan diğerine parça geçişi, soğuk kaynaklanma ve küçük parçacıkların kesilmesi olayları meydana gelir (Aytaç 2007).

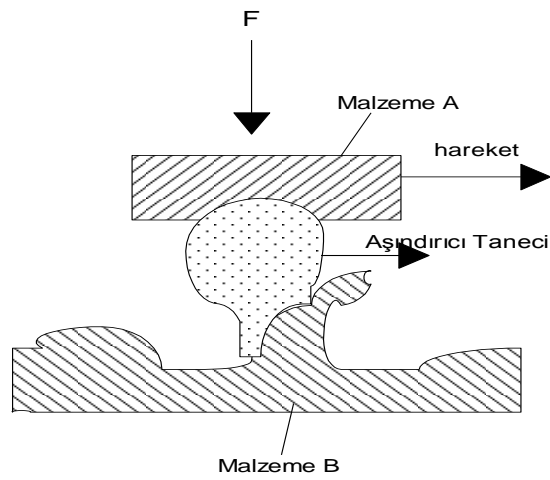
### 5.3.2 Abrazif Aşınma

Yırtılma veya çizilme aşınması olarak da isimlendirilen abrazif aşınma, sistemde hızlı hasara neden olan önemli bir aşınma türüdür. Abrazif aşınma en genel olarak, malzeme yüzeylerinin kendisinden daha sert olan parçacıklarla basınç altında etkileşmesi ile sert parçacıkların malzeme yüzeylerinden parçalar koparması şeklinde tanımlanabilir. Bu mekanizmaya örnek olarak, sisteme dışarıdan giren toz parçacıklarının veya bir motorda oluşan yanma ürünlerinin sebep olduğu aşınma şekli verilebilir (Sur 2002).

Bu tip aşınmada sert ve keskin parçacık, malzeme yüzeyinden mikron boyutlu talaş kaldırma etkileri gösterirler. Bu aşınma, iki elamanlı ve üç elamanlı olmak üzere ikiye ayrılır. (Şekil 5.3 ve Şekil 5.4).



Şekil 5.3 İki elamanlı abrazif aşınma

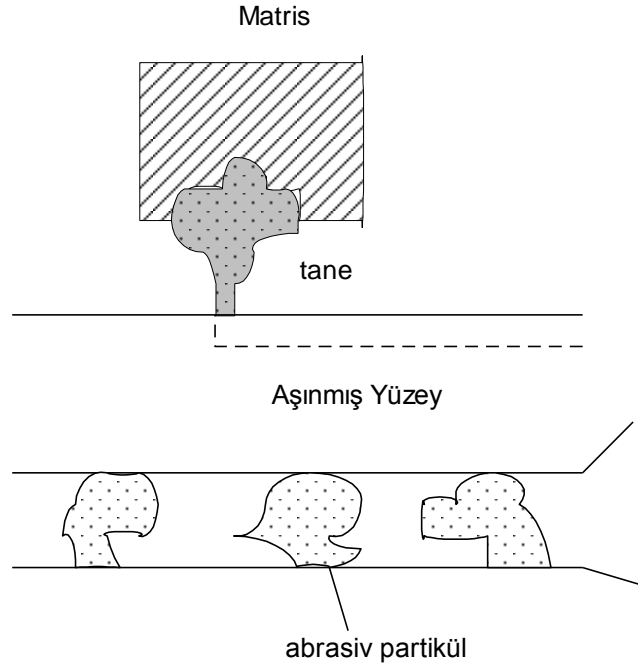


Şekil 5.4 Üç elamanlı abrazif aşınma (Aytaç 2007).

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

Metal-metal sürtünmelerinde aşınma iki elemanlı abrazif veya adhezif olarak başlayıp, üç elemanlı abrazif olarak devam eder. Bu durumda araya giren toz, mineral taneleri, çizilme sonucu serbest hale geçen mikro taşlar ve parçalanmış oksit parçaları üçüncü elemanı (ara malzemeyi) oluşturabilir. Serbest hale geçen mikro talaş parçaları, genellikle ana malzemedenden daha sert olduklarından dolayı aşınmayı hızlandırır .

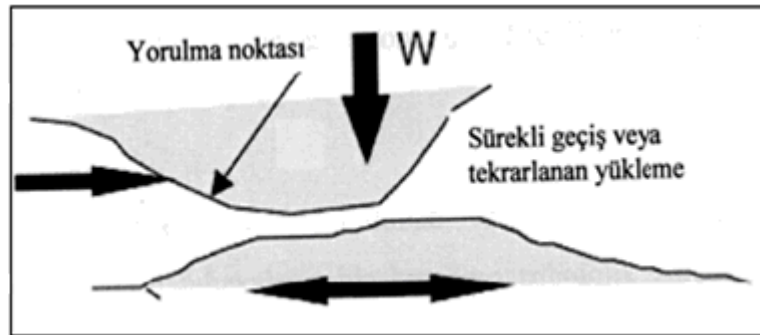
Abrazif aşınmayı etkileyen iki temel faktör, aşındırıcı parçacık ile metal yüzeyi arasındaki sertlik farklılığı ve teması meydana getiren basıncın büyüklüğüdür. Abrazif aşınma hızı, malzeme yüzeyine etki eden normal yük azaltılarak düşürülebilir. Böylece parçacıkların yüzeye daha az batması ve çapak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



Şekil 5.5 Abrasif aşınma mekanizması (Aytaç 2007).

### 5.3.3 Yorulma Aşınması

Yorulma aşınması, sürtünme sırasında oluşan gerilmelerin kırılmaya neden olduğu aşınmadır. Sünek malzemelerde yüzeysel kırılma aşınması veya delaminasyon meydana gelir. Sürtünmenin olduğu bölgelerde plakalar oluşur. Gevrek malzemelerde kırılmalar, yüksek çekme gerilmelerinin olduğu bölgelerde meydana gelir. Tribolojik zorlamalar genel olarak yüzeyde görülen büyüklüğü, zamana ve konuma göre değişen mekanik gerilmeler sonucu meydana geldiklerinden, yorulma aşınması birçok aşınma prosesinde görülür. Malzeme yüzeyinde çatlaklar oluşur; bu ise, yüzeyden parçacıkların ayrılması, çukur ve oyukların meydana gelmesine sebep olur (Şekil 5.6).



Şekil 5.6 Yorulma aşınmasının şematik gösterimi (Roberts 2002)

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 (Çetin 2005).

#### **5.3.4 Eroziyon Aşınma**

Erozyon ortamı ile malzeme yüzeyi arasındaki hızın çok yüksek olması nedeniyle meydana gelen bozunma olayı olarak tarif edilebilir. Gaz veya sıvı ortamında taşınan abrasiv tanelerin yüzeye belirli bir açıda çarpması ile oluşan enerji, katı cismin basınç mukavemetini aştığı zaman, cismin yüzeyinde plastik deformasyon meydana gelerek yüzeyde kırılmalara sebep olur. Bunun sonucunda yüzeyde aşınma meydana gelir. Bu şekilde meydana gelen aşınmaya erozyon aşınması denir. Yumuşak malzemeler erozyon aşınmasına çok elverişlidir. Aşındırıcı parçaların büyüklüğü, hızı, şekli, sertliği ve çarpma açısının değeri erozyon aşınma mekanizmasını etkileyen önemli faktörlerdir (Kurtçu 1995, Yılmaz 1996).

#### **5.3.4 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 aşınmasının oluşmasını sağlamaktadır. Karşılıklı çalışan malzemelerin sertliği bu aşınmada çok fazla etkili olmamaktadır. Malzemeler arasındaki metalürjik ilişki, asıl aşınma mekanizmasının büyüklüğünü tayin etmektedir. Mekanizma daha çok sıcaklığa bağlıdır ve bu sebeple yüzeyler arasında yüksek basınç ve yüksek kayma hızlarında daha fazla olmaktadır (Özdin 2006).

### **5.4 AŞINMANIN BAĞLI OLDUĞU FAKTÖRLER**

#### **5.4.1 Malzemenin Cinsi**

Seçilen malzemelerden, mevcut şartlarda istenilen mekanik ve kimyasal özellikleri göstermeleri istenir. Bu nedenle çalışma şartları gerçeğe uygun bir şekilde belirlenmeli ve

kullanılacak malzemenin türü (çelik, demir, Al vs.) bu şartları karşılayabilecek şekilde seçilmelidir (Aytaç 2007).

#### **5.4.2 Malzemenin Mikro Yapısı**

Malzemenin mekanik ve kimyasal özelliklerini belirleyen en önemli faktör olarak mikro yapı gösterilebilir. Yapıda bulunan fazlar, tane boyutu, şekli, kristal kafes yapısı vb. birçok özelliğe bağlı olarak mekanik özellikler şekillenir. Malzemenin sertliği, akma mukavemeti, sürtünme katsayısı, kopma mukavemeti, elastikiyet modülü gibi birçok özellik mikro yapıyla değiştirilebilir. Bu nedenle hangi metotla malzeme üretilirse üretilsin uygulanan işlem basamakları istenilen mikro yapıya göre şekillendirilmelidir. Örneğin bu döküm yöntemi ise; malzemenin kimyasal bileşimi katılaştırma sıcaklığı ve o sıcaklıktaki kristal kafes sistemi, katılma zamanı, yapılacak ısıl işlem sıralaması ve oluşturulmak istenen fazlar önem kazanmaktadır.

#### **5.4.3 Malzeme Şekli ve Boyutları**

Malzemenin şekli ve boyutu gerçek temas alanını etkilediğinden dolayı aşınmayı da etkiler. Yapılan araştırmalarda, toprak işleme aletlerindeki kesici ağızların zamanla parabolik bir şekil aldığını ve parabolik şeklin aşınmaya karşı daha dirençli olduğu bulunmuştur. Ayrıca geometrik kesiti ideal daireye yakın olan numunelerin daha az aşındığını ve aşınma sonunda ideal daireye yaklaşma olduğu tespit etmiştir (Mutlu 1996).

#### **5.4.4 Ortamın Etkisi (Sıcaklık, nem, atmosfer)**

Atmosfere açık çalışan sistemlerde bu faktörleri çevre şartları oluşturur. Böylece çevre sıcaklığı, ortam basıncı ve ortamda bulunan nem, aşınma sistemini etkileyen en önemli faktörleri oluştururlar. Yüzeyler arasında sürtünme söz konusu olduğuna göre sürtünme kuvvetinin bir kısmı sistemde sıcaklık olarak ortaya çıkacaktır. Özellikle sistemde kuru bir sürtünme mevcut ise ortaya çıkan ısının boyutları oldukça yüksek olmakta, hatta bazı sistemlerde mikro yapı değişikliğine bile sebep olmaktadır.

Araştırmalarda, atmosfer basıncı ve sıcaklığın çeşitli çeliklerin aşınma direncine etkileri incelenmiş ve 300 °C'ye kadar aşınma miktarının fazla etkilenmediği, 350 °C civarında ise

farklı değerlerin çıktığı bulunmuştur. Bu sonuç düşük sıcaklıkta yüzey oksidasyonunun aşınmaya direnç teşkil edecek bir rol oynayabilmesi şeklinde açıklanmıştır. Aynı çalışmada argon gazı, yüksek basınç ve açık atmosfer kullanılmak suretiyle değişik basınç ve sıcaklıklarda çalışılmış ve ortamın etkisi incelenmiştir. Sonuçta sıcaklığın artışının aşınmayı belli bir sıcaklık değerine kadar etkilemediğini daha sonraki sıcaklıklarda etkisini hissettirdiğini göstermiştir (Yılmaz 1996).

#### **5.4.5 İşletme Koşulları (Basınç, hız, kayma yolu)'nın Etkisi**

Aşınma sistemi içerisinde aşınma yüzeyinin maruz kalacağı basıncın büyüklüğü, birim yüzeye uygulanan kuvvetin büyümesini sağlayacağından, aşınmanın artmasına da sebep olacaktır. Araştırmacıların birçoğu kritik bir yükleme miktarına kadar yükün artışı ile hacimsel aşınmanın orantılı bir değişim gösterdiğini ortaya çıkarmıştır. Kritik yükleme miktarı, aşınma yüzeyinin soğuk deformasyonla, sertliğin belli bir oranda değer olarak belirlenmiştir. Hacimsel aşınmanın yük ile doğrusal olarak arttığını, fakat yükün daha fazla artmasıyla birim yük başına düşen aşınma miktarının, belli bir kayma (aşınma) yolundan sonra dengeye geldiğini tespit etmiştir.

Bütün teorik uygulamalı çalışmalar, kayma yolu ile aşınma miktarının orantılı olduğunu belirtmektedir. 0- 0.25 m/sn aralığında kayma hızının artmasıyla hacimsel aşınmanın yavaş olarak arttığını belirlemişlerdir.

Düşük hızlarda ısınma söz konusu değilse aşınma miktarı sürtünme hızına bağlı değildir. Aşınma miktarı, abrazif tanelerin büyümesiyle doğru orantılı olarak artma gösterir (Yılmaz 1996).

### **5.5 AŞINMA TESTLERİ VE ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ**

Endüstride kullanılan alet ve makinelerde aranılan özelliklerden bir tanesi de bunların kullanım ömürleridir. Makine parçalarının çabuk aşınması makinenin ömrünü kısaltarak maliyetini arttırdığı gibi, onarım için geçen sürede üretimin önemli ölçüde aksamasına neden olmaktadır. Bu sebepten dolayı makine üretiminde aşınmaya maruz kalabilecek yerlerde aşınma direnci yüksek malzemeler kullanılmalıdır. Bu malzemelerin tespiti içinde birçok laboratuvar testlerinin yapılması gerekir (Aytaç 2007)

Laboratuvar şartlarında yapılan deneylerde ana malzemenin bir modeli ile çalışılır. Bu model basit bir geometrik şekle sahip olup, fazla bir masrafa gerek kalmadan üretilebilir ve daha sonra bir deney cihazına takılarak, her türlü aşınma ölçme işlemleri bunun üzerinde yapılabilir.

Aşınma deney yöntemlerini genel olarak iki grupta toplamak mümkündür (Sun 2004).

- 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.

ASLE (Amerikan Society Of Lubrication Engineers, 1978) tarafından yüz kadar test sistemi belirlenmiştir. Bu aşınma testlerinde, aşınma ölçüm yöntemleri olarak bilinen 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 (İzciler 2001).

Bir ölçme yönteminden:

- Yüksek hassasiyet
- Kolay ve seri uygulama
- Ekonomik olması beklenen özelliklerdir.





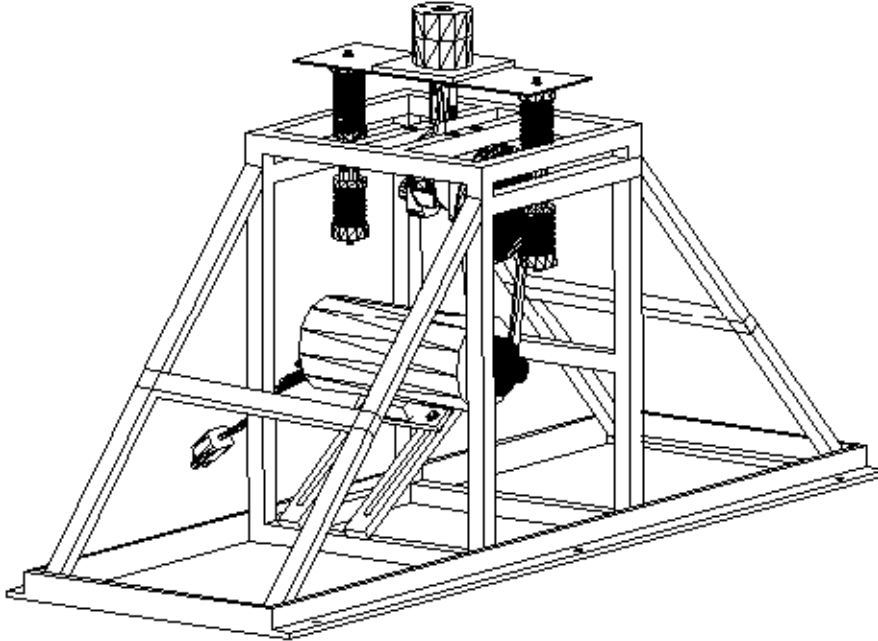
## BÖLÜM 6

### DENEYSEL MALZEME VE METOT

Alüminyum matrisli kompozitlerin aşınma ve sürtünme davranışlarını belirlemek amacıyla tasarımı ve üretimi K.B.Ü. Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Anabilim dallarının atölye ve laboratuvarlarında yapılan pin-on-disk tipi aşınma cihazı kullanılmıştır. Mekanik öğütme yolu ile üretilen Alüminyum bazlı kompozit malzemelerin aşınma davranışları farklı parametrelerde incelenmiştir.

#### 6.1 MA/MÖ'NİN YAPILDIĞI TİTREŞİMLİ DEĞİRMEN

Deneyel çalışmalarda MA/MÖ işlemleri K.B.Ü. Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümü'nde tasarımı ve üretimi yapılan titreşimli Mekanik Alaşımlama/Mekanik Öğütme cihazında yapılmıştır. Şekil 6.1'de deneyin yapıldığı titreşimli MA/MÖ cihazı görülmektedir.



Şekil 6.1 Titreşimli MA/MÖ cihazının şematik görünüşü

Bu cihazda üç fazlı bir elektrik motoru kullanılmıştır. Motor miline takılan kasnaktan alınan dönme hareketi, kayış aracılığıyla krank miline bağlı olan kasnağa iletilir. Dairesel hareket, krank miline bağlı olan biyel kolu ile doğrusal harekete dönüştürülür.

## 6.2 DENEYSEL PARAMETRELER

### 6.2.1 Matris Malzemesi

MA/MÖ değirmeninde matris elemanı olarak kullanılan Al tozu (ortalama toz boyutu 55 µm), su ve gaz atomisasyonu yöntemiyle Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi toz metalürjisi laboratuvarında üretilmiştir. Çizelge 6.1’de matris malzemesinin kimyasal bileşimi verilmektedir.

Çizelge 6.1 Matris malzemesinin kimyasal bileşimi (Sur 2002)

Malzeme	Fe	Cu	Cr	Ni	Mn	Si	Na	K	Kalan
Al	0,14	0,032	0,007	0,007	0,007	0,142	0,844	0,333	Al

### 6.2.2 Takviye Elemanları

Deneyisel çalışmalarda takviye malzemesi olarak hacim bazında %5, %10, %15, %20 oranlarında ortalama 35 µm toz boyutuna sahip SiC parçacıkları kullanılmıştır. Çizelge 6.2’ de SiC tozların özellikleri verilmiştir.

Çizelge 6.2 SiC tozların özellikleri

Malzeme	Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )	Ergime Sıcaklığı (°C)	Isıl Genleşme Katsayısı (10 <sup>-6</sup> /C)	Basma Mukavemeti (MPa)	Sertlik (HV)	Elastik Modülü (10 <sup>3</sup> MPa)
SiC	3.20	2500	5	2000	3000	414

### 6.2.3 Öğütücü Malzemeler

Mekanik alaşımlama/öğütme işlemlerinde çok farklı öğütücü malzemeler kullanılmaktadır. Kullanılan öğütücü bilyelerle öğütme/alaşımlama yapılan hazne arasındaki sertlik farklılıkları aşınma açısından çok önemlidir. Deneyisel çalışmalar için 6 mm çapındaki kromlu çelik bilyeler Ortadoğu Rulman Sanayi’nden (ORS) temin edilmiştir. Üretici firma

katologunda bilyelerin sertlikleri 60- 64 Rc olarak belirtilmiştir. Bu deneyler mekanik öğütme yapılan haznenin sertliği ile hemen hemen aynıdır. Kullanılan bilyelerin kimyasal bileşimi Çizelge 6.2’de verilmiştir. Mekanik öğütme işlemlerinin tamamı 120 dakika süresince yapılmıştır.

Çizelge 6.3 Öğütücü bilyelerin kimyasal bileşimi (Sur 2002)

C	Mn	Si	P	S	Cr	Fe
0.95	0.5	0.15	0.025	0.025	1.30	Kalanı
1.10	Max.	0.35	Max.	Max.	1.60	-

#### 6.2.4 Bilye-Toz Oranı (BTO)

Bilye-toz oranı mekanik öğütmenin daha etkili olmasında önemli bir parametre olarak kabul edilmektedir ve çok farklı oranlarda karışımlar yapılmaktadır. Deneysel çalışmalarda, literatürden Al toz malzemelerde en fazla kullanılan oranı olarak 10:1 bilye-toz oranı (BTO) belirlenmiş ve bütün karışımlarda sabit parametre olarak kullanılmıştır.

#### 6.2.5 İşlem Kontrol Kimyasalı(İKK)

Bütün MA/MÖ işlemlerinde işlem kontrol kimyasalı olarak % 2 stearik asit kullanılmıştır.

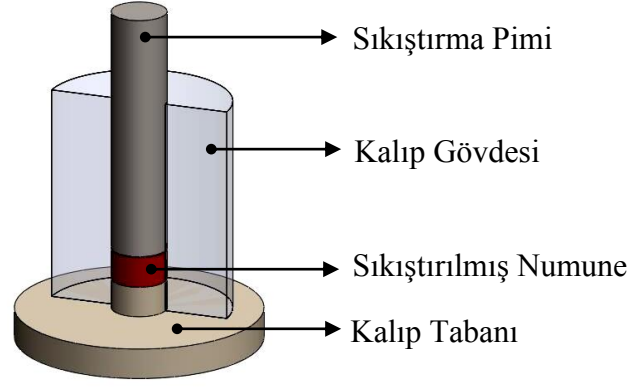
#### 6.2.6 MA/MÖ Şarj İşlemi

Mekanik Öğütme işleminin yapılacağı değirmene yerleştirilen öğütme haznesine toz ve bilye şarjı, glow-box içerisinde, argon ortamında yapılmıştır. Mekanik öğütme işlemi tamamlanan numuneler tekrar glow-box içerisine alınmış, öğütme kabı ve bilyeler argon ortamında alınmıştır.

### 6.3 NUMUNE HAZIRLAMA VE METALOGRAFİK İŞLEMLER

#### 6.3.1 Soğuk Presleme

Üretilen Al SiC kompozit tozlar sinterleme öncesi Şekil 6.2’de verilen kalıp kullanılarak 9 mm çapında ve 6 mm yüksekliğinde silindirik parçalar elde edilecek şekilde tek yönlü olarak soğuk preslenmiştir.



Şekil 6.2 Kompozit parça üretiminde kullanılan kalıp ve preslenen parçanın şematik görüntüsü

### 6.3.2 Sinterleme İşlemleri

Deney numuneleri, “PROTHERM” marka fırında 10 oC/dak’lık sıcaklık artışıyla 530 oC’ye çıkartılmış ve bu sıcaklıkta 30 dakika bekletildikten sonra fırın içerisinde oda sıcaklığına soğutulmuştur.

### 6.3.3 Metalografik Numune Hazırlama

Standart metalografik işlemlerin yapılması için numunelere soğuk (polyester) gömme işlemi yapılmıştır. Soğuk gömme malzemesi olarak “PRESİ” marka soğuk gömme kiti kullanılmıştır. Bu işlemden sonra bütün numuneler “PRESİ” marka Mecapol P262 model cihazında 300 dev/dak (RPM) hızda 180, 320, 600, 800, 1000 ve 1200 SiC zımparalar ile zımparalanmıştır. Bu işlemden sonra bütün numuneler ”PRESİ” marka Mecapol P262 model cihazda 1µm’lik alümina pasta ile parlatılmıştır.

### 6.3.4 Sertlik ve Yoğunluk Ölçümleri

Sertlik ölçümleri için K.B.Ü. Teknik Eğitim Fakültesi döküm laboratuvarlarında bulunan universal “AFFRI” marka RSD251 model cihazda (HV5) yapılmıştır.

Yoğunluk ölçümleri K.B.Ü. Teknik Eğitim Fakültesi Döküm laboratuvarlarında bulunan 1/10000 hassasiyetli “PRECİSA” marka XB220A model yoğunluk ölçüm kitinde Arşimet prensibine göre yapılmıştır.

### 6.3.5 Optik Mikroskop İncelemeleri

Optik incelemeler K.B.Ü. Teknik Eğitim Fakültesi, Döküm Atölyesi Metalografi Laboratuvarlarında bulunan MEIJJ' marka ML7100 model mikroskop ile yapılmıştır.

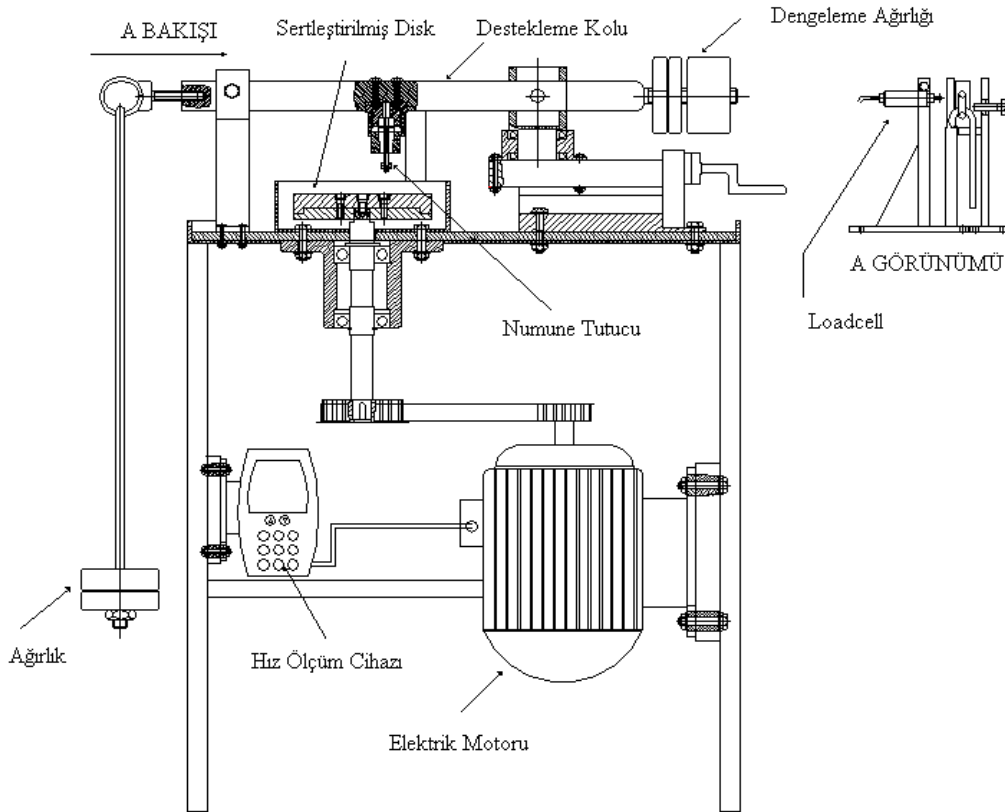
### 6.3.6 Tarama Elektron Mikroskobu (SEM) İncelemeleri

Aşındırılan kompozit parçaların, aşınma mekanizmaları belirlemek amacıyla Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi bünyesindeki "JEOL JSM-6060" tarama elektron mikroskobunda (SEM) incelenmiştir.

## 6.4 AŞINMA

### 6.4.1 Aşınma Test Cihazı

Aşınma ve sürtünme deneylerinde kullanılan Pin-On-Disk tipi standart deney aparatının şematik resmi Şekil 6.3 'de verilmiştir.



Şekil 6.3 Aşınma test cihazı

Bu cihaz her türlü yük ve kayma hızında çalışma kabiliyetine sahip olacak şekilde tasarlanıp, imal edilmiştir. Farklı kayma şartları ve farklı devirlerde çalışabilmek amacı ile sistem hız kontrol cihazına bağlanarak istenilen hızda kullanılabilir hale getirilmiştir. Böylelikle farklı kayma hızları veya sabit kayma hızında her periyotta istenilen devir sayıları hassas bir şekilde ayarlanabilmektedir. Yapılan bu deney cihazında farklı kayma hızında ve değişik yükleme şartlarında numuneler test edilmiştir.

Numunelerin bağlandığı ve yükün asılacağı taşıyıcı kol tek noktadan yataklanmıştır. Numune bağlama aparatı kol üzerine monte edilmiştir. İki ucunda ağırlık bulunan taşıyıcı kolun bir tarafındaki ağırlık, sisteme ağırlık asılmadan önce numune üzerine gelen yükü sıfırlamaktadır. Taşıyıcı kolun diğer ucuna asılan ağırlıklar ile de numune üzerine istenilen kuvvet uygulanabilmektedir. Taşıyıcı kolun bağlandığı yatak hem kendi eksenini etrafında dönebilmekte hem de ileri geri hareket edebilmektedir. Hareketli yatağın ileri geri hareketi ile disk üzerine gelen numune disk merkezinden uzaklaşıp yaklaşabilmektedir. Diski döndüren elektrik motoruna bağlanan hız kontrol cihazı ile motorun değişken devirlere ayarlanabilmesi sağlanmaktadır.

#### **6.4.2 Karşılık Diski ve Malzemesi**

Aşınma deneyinde kullanılacak olan dönel disk için Ç1140 malzemesi seçilmiştir. Bu disk 230 mm çapında ve 20 mm kalınlığında üretilmiş olup 900 °C'ye kadar ısıtılıp suda sertleştirilerek 56 Rc sertliği elde edilmiştir. Sertleştirme işleminden sonra diskler düzlem taşlama işlemi uygulanmıştır. Aşınma deneyi kuru sürtünmeli olarak yapıldığından diskin ve kompozit numunenin yüzeylerinin temiz ve kuru olması gerekmektedir. Bu nedenle teste başlamadan önce her numune ve disk yüzeyi aseton ile temizlenmiştir. Her numune farklı bir iz oluşturacak şekilde yerleştirilerek her test için aynı yüzey kalitesi sağlanmıştır. Tüm izler kullanıldıktan sonra disk yeniden taşlanarak teste hazır hale getirilmektedir.

#### **6.4.3 Aşınma Testleri**

Aşınma testi tasarlanıp imal edilen standart pin-on-disk tipi deney cihazında yapılmıştır. Test cihazının devrinin ölçülmesi için "COMPACT" Marka (Advent optical tachmeter) Takometre (0-1000 dev/dak, 0-5 V çıkış marka) ile dev/dak diskin devir hızı ölçülmüştür. Deney numuneleri 1/10000 hassasiyetindeki "PRESİCA" marka terazide tartılmıştır. Taşıyıcı kol

zerindeki denge ağırlığı ile pime gelen yük sıfırlandıktan sonra kolun diğer ucundaki taşıyıcı kola ağırlığın asılması ile istenilen kuvvet uygulanmıştır. Aşındırma işlemi bittikten sonra numuneler pamuk ile temizlenerek numuneler tekrar tartılmıştır. İlk ağırlık ile aşındıktan sonraki ağırlık arasındaki fark olan kütle kaybından aşınma miktarı hesaplanmıştır.

Aşınma deneylerinde parametrik olarak üç farklı yük (10, 20 ve 30N) kullanılmıştır. Aşınma mesafesi olarak 500, 1000, 1500 ve 2000 metre olarak dört farklı mesafe test edilmiştir. Kayma hızı olarak da 2 m/sn'lik hız sečilmiřtir. Yapılan testler sonunda matris malzemesi ve kompozitlerden oluşan malzemedeki aşınma mekanizmalarını belirlemek amacıyla, aşınma yzeyleeri "JEOL JSM-6060" tarama elektron mikroskopunda (SEM) incelenmiştir.





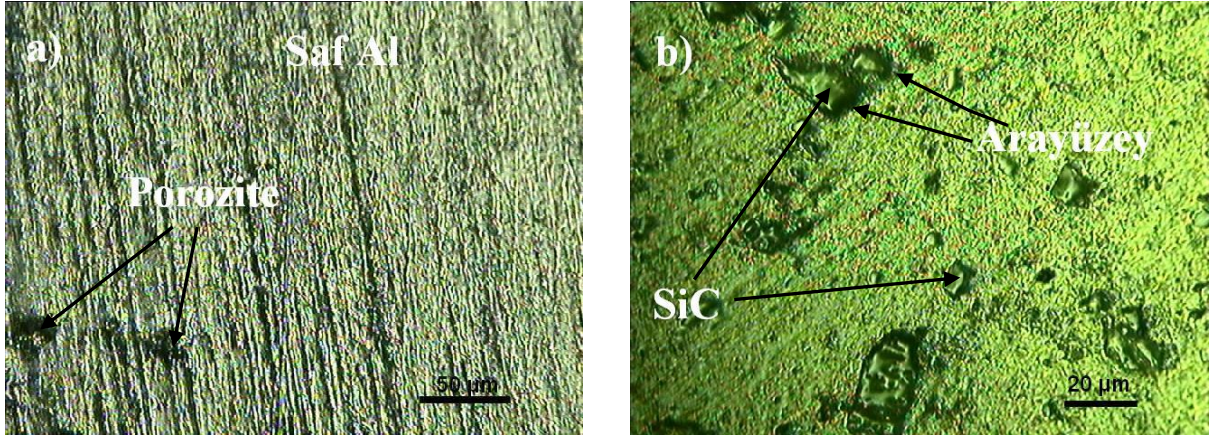
## BÖLÜM 7

### DENEYSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE TARTIŞMA

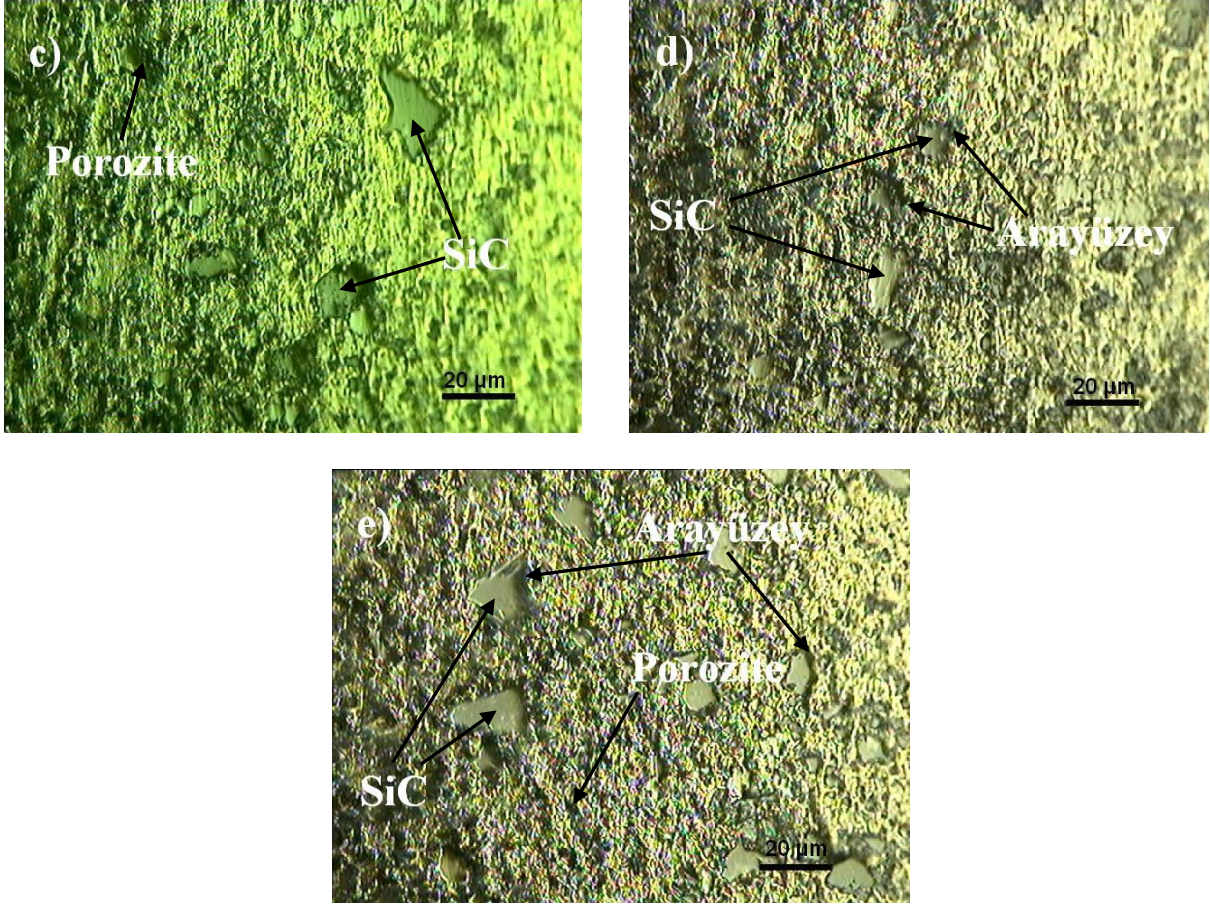
Pin-On-Disk tipi standart bir deney cihazında parçacık takviyeli metal matrisli kompozit malzemelerin (saf Al ve Al-SiC) aşınma davranışları incelenmiştir. Bu deneyler, üç farklı yükte (10, 20, 30 N ) ve dört farklı mesafede (500, 1000, 1500, 2000 metre) yapılmıştır.

#### 7.1 FARKLI ORANLARDA SiC İÇEREN AL ALAŞIMLARININ MİKROYAPI İNCELEMELERİ

Aşınma testleri öncesi saf alüminyum numunelerden ve % 5 SiC, % 10 SiC, % 15 SiC ve %20 SiC takviyeli numunelerden alınan optik mikroskop görüntüleri Şekil 7.1’de verilmiştir.



Şekil 7.1 ( devam ediyor )



Şekil 7.1 120 dakika mekanik öğütülerek 530 °C’de 30 dakika sinterlenen Al-SiC parçalarının optik mikroskop görüntüleri; a) Saf Al, b) % 5 SiC, c) % 10 SiC, d) % 15 SiC, e) %20 SiC

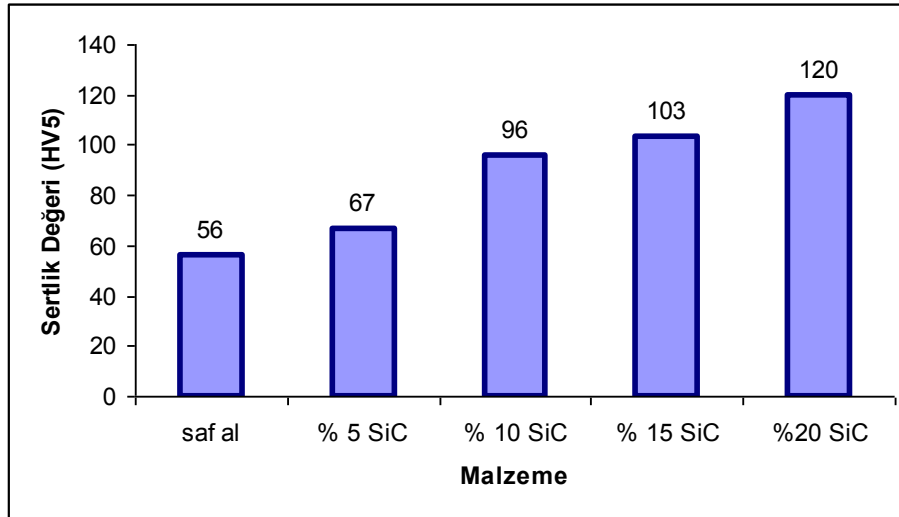
Saf alüminyum numuneden alınan optik mikroskop görüntüsünde (Şekil 7.1a) malzemede sinterleme işlemi esnasında yapıda bir miktar gözenek kaldığı görülmektedir. Şekil 7.1b’de içerisinde % 5 oranında SiC bulunduran numunenin optik mikroskop görüntüsü verilmiştir. SiC takviye fazının, yapıda düzenli şekilde dağılım gösterdiği ve SiC parçacıkları ile alüminyum matris arasında arayüzey olduğu görülmektedir. Şekil 7.1c’de % 10 SiC, Şekil 7.1d’de % 15 SiC ve Şekil 7.1e’de ise % 20 SiC takviyeli kompozit numunelerden alınan optik mikroskop görüntüleri verilmiştir. Bu görüntülerden takviye elemanının matriste homojen bir şekilde dağıldığı anlaşılmaktadır. Bu nedenle iki saatlik mekanik alaşımlama işleminin takviye elemanının yapıda homojen dağılımı için yeterli olduğu düşünülmektedir.

Optik mikroskop görüntülerinden mikro yapılarda bir miktar gözenek kaldığını görülmektedir. Bu gözeneklerin varlığı iki şekilde açıklanabilir. Birincisi, metalografik işlemler sırasında malzemede gömülü olan SiC takviye elemanlarının yerinden sökülüp çıkmalarıdır. Bu durum parçacık takviyeli kompozit malzemelerin metalografisinde zaman

zaman görülen bir olaydır. İkincisi ise, toz metalürjisi yöntemi ile üretimde karşılaşılan bir problemdir. Sinterleme sırasında yapıda bir miktar gözenegin kalması kaçınılmazdır. Bunun nedeni, toz metalürjisi ile üretilen parçaların sinterlemesi sırasında gözeneklerin gidermesi hacim difüzyonuyla gerçekleşmektedir. Hacim difüzyonu mekanizması diğer difüzyon mekanizmalarına göre çok yavaş olarak gerçekleşmektedir. Difüzyonun yavaş gerçekleşmesi malzeme içerisindeki boşlukların sistemden tamamen atılmasını engellemektedir.

## 7.2 FARKLI ORANLARDA SiC İÇEREN AL ALAŞIMLARININ SERTLİK İNCELEMELERİ

120 dakika mekanik öğütülerek 530 °C’de 30 dakika sinterlenen saf Al ve içerisine % 5, % 10, % 15 ve %20 oranlarında SiC parçacıkları katılan kompozitlerin sertlik değerleri Şekil 7.2’de verilmiştir.



Şekil 7.2 120 dakika mekanik öğütülerek 530 °C’de 30 dakika sinterlenen Al-SiC parçaların sertlik değerleri

Şekil 7.2 incelendiğinde artan SiC parçacık oranıyla birlikte sertlik değerlerinde paralel bir artış olduğu görülmektedir. Saf Alüminyumun sertlik ölçümünde 56 vickers olduğu görülmektedir. İçerisine % 5 SiC eklendiğinde sertliğin 67, % 10 SiC’ de 96, % 15 SiC’ de 103, % 20 SiC’ de 120 olduğu görülmüştür. Saf alüminyuma takviye edilen SiC miktarının hacim bazında artışı sertliği arttırmaktadır. Takviye oranı % 20 olduğunda sertliğin saf alüminyuma göre iki kat arttığı görülmektedir. Artan parçacık oranı ile MMK malzemelerin sertliklerinin arttığı daha önce yapılan çalışmalarda da görülmüştür (Akbulut vd. 2003).



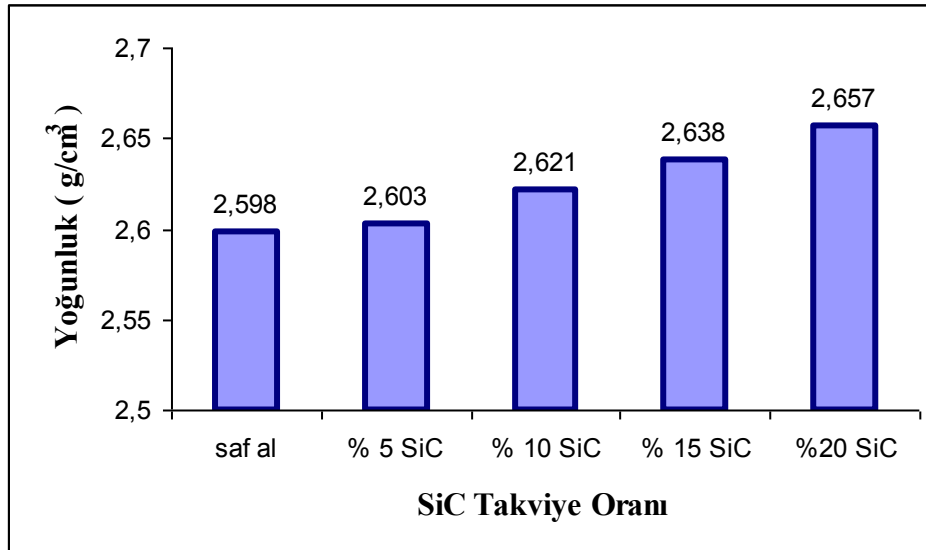
### 7.3 FARKLI ORANLARDA SiC İÇEREN AL ALAŞIMLARININ YOĞUNLUK VE POROZİTE İNCELEMELERİ

MA/MÖ yöntemiyle üretilen Al SiC kompozit numunelerin içerdikleri SiC parçacık % hacim oranına bağlı olarak karışım kuralına göre hesaplanan teorik yoğunlukları ve Arşimet prensibine göre yoğunluk ölçümü yapan terazi ile ölçülen deneysel yoğunlukları Çizelge 7.1’de verilmiştir. Ayrıca malzemelerin teorik ve deneysel yoğunluk farkından hesaplanan, içerdikleri porozite oranları da aynı çizelgede verilmiştir.

Çizelge 7.1 120 dakika mekanik öğütülerek 530 °C’de 30 dakika sinterlenen Al SiC parçaların yoğunlukları ve porozite miktarları

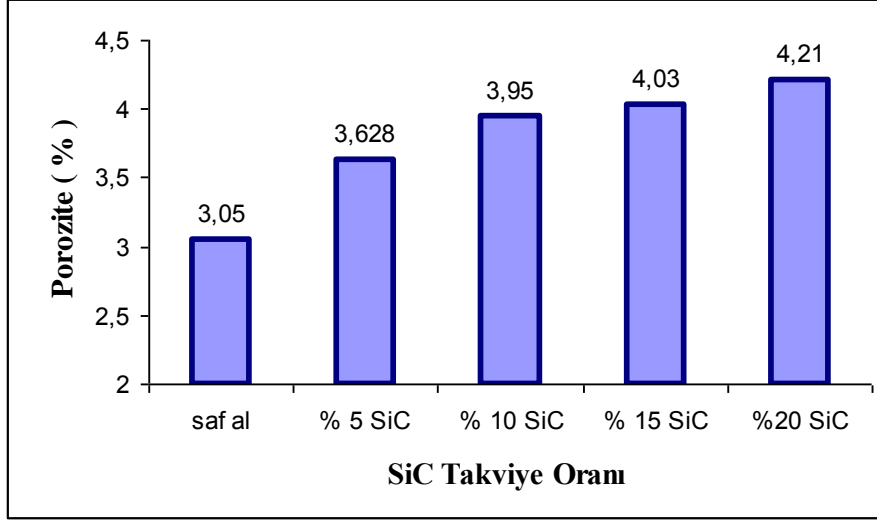
Malzeme	Alaşım Süresi (dakika)	SiC (%)	Teorik Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )	Deneysel Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )	Porozite (%)
Saf Al	120	0	2,68	2,598	3,05
% 5 SiC	120	5	2,701	2,603	3,62
% 10 SiC	120	10	2,729	2,621	3,95
% 15 SiC	120	15	2,749	2,638	4,03
% 20 SiC	120	20	2,774	2,657	4,21

Şekil 7.3’de görüldüğü gibi takviye oranının artması ile ölçülen deneysel yoğunluklarda da doğrusal bir artış olmuştur.



Şekil 7.3 120 dakika mekanik öğütülerek 530 °C’de 30 dakika sinterlenen Al-SiC parçaların yoğunluk değerleri

Çizelge 7.1 incelendiğinde deneysel yoğunluk değerlerinin, teorik yoğunluk değerlerinden düşük olduğu görülmektedir. Bunun sebebi deneysel şartlarda hiçbir zaman %100 yoğunluk elde edilememesidir (German 1994). Takviye oranının artmasıyla yoğunluğun artmasının nedeni; takviye elemanının yoğunluğunun matris malzemesinin yoğunluğundan fazla olmasıdır.



Şekil 7.4 120 dakika mekanik öğütülerek 530 °C’de 30 dakika sinterlenen Al-SiC parçaların porozite değerleri

Şekil 7.4’de görüldüğü gibi takviye oranının artması ile porozite artmıştır. Çünkü takviye oranının artması ile teorik yoğunluk önemli ölçüde artmaktadır. Ancak deneysel olarak takviye elemanı oranının artmasıyla gözeneklerin oluşma olasılığının artmasından ötürü bu yoğunluk artışı teorik yoğunluk artışı kadar yüksek değerlerde olmamaktadır. Bu durum da iki yoğunluk farkından hesaplanan porozitenin artmasına neden olmaktadır (Kök 2000).

#### **7.4 FARKLI ORANLARDA SiC İÇEREN AL ALAŞIMLARININ AŞINMA DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

Mekanik öğütülen Al SiC numunelerin sinterleme sonrasında, artan SiC miktarına paralel olarak aşınma direnci ve sertlik değerlerinin de arttığı görülmektedir. Aşınma işlemlerinde kayma hızı 2 m/sn ‘ de sabit tutulmuş ve 10, 20, 30N olmak üzere üç farklı yük ve 500, 1000, 1500, 2000 metre olmak üzere dört farklı yol uygulanmıştır.

Şekil 7.5a’da 120 dakika mekanik öğütülen saf alüminyum numunenin aşınma davranışları görülmektedir. 10 N yük altında ağırlık kaybı 6 mg iken uygulana yük 30 N’a çıkarıldığında aşınma ağırlık kaybı 8,8 mg olmuştur.

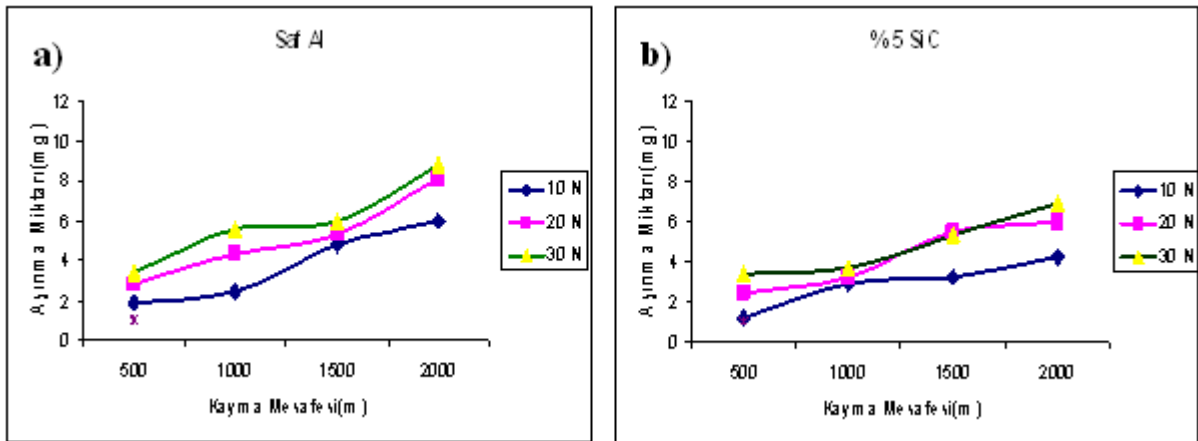
Şekil 7.5b'de saf alüminyum içerisine takviye edilen % 5 SiC'ün aşınma ağırlık kaybına etkisi incelendiğinde ağırlık kaybının saf alüminyuma göre daha az olduğu görülmektedir. Uygulanan yük 10 N iken 4,2 mg olan ağırlık kaybının, uygulanan yükün 30 N'a çıkarılmasıyla 6,9 mg'a çıktığı görülmektedir.

Şekil 7.5c'de saf alüminyum içerisine takviye edilen % 10 SiC'ün ağırlık kaybına etkisi incelendiğinde ağırlık kaybının saf alüminyuma ve % 5 SiC içeren numuneye göre daha az olduğu görülmektedir. Uygulanan yük 10 N iken 3,5 mg olan ağırlık kaybının, yükün 30 N'a çıkarılmasıyla 4,9 mg'a çıktığı görülmektedir.

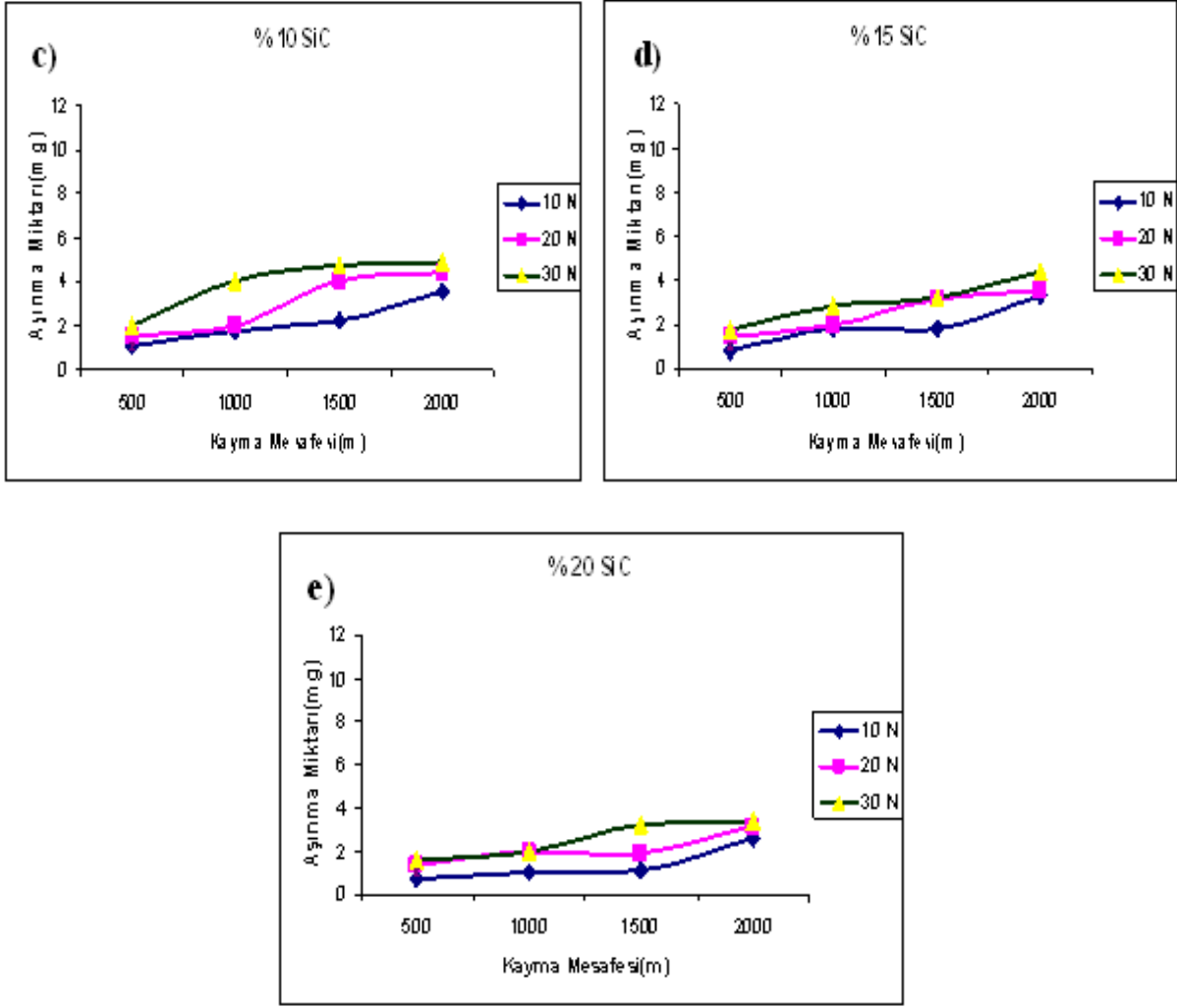
Şekil 7.5d'de içerisinde % 15 SiC içeren numunenin ağırlık kaybı verilmiştir. Uygulanan yük 10 N iken 3,3 mg olan ağırlık kaybının 30 N yük altında 4,4 mg'a çıktığı görülmektedir.

Şekil 7.5e'de ise içerisinde % 20 oranında SiC bulunduran numunenin ağırlık kaybı verilmiştir. Uygulana yük 10 N iken 2,6 mg olan ağırlık kaybının yükün 30 N'a çıkarılmasıyla 3,4 mg olduğu görülmektedir.

Şekiller incelendiğinde en az ağırlık kaybının % 20 SiC içeren numunelerde, en fazla ağırlık kaybının ise saf alüminyum numunelerde olduğu tespit edilmiştir. Yapı içerisine takviye edilen SiC yapının sertliğini arttırdığı aşınma sırasında sert SiC taneciklerinin aşınmaya karşı direnç göstererek saf alüminyuma göre daha az aşınmasına neden olduğu düşünülmektedir. Alüminyum alaşımının aşınma özellikleri, SiC parçacıklarının eklenmesiyle belirli bir şekilde iyileşmiş ve kompozitlerin aşınma direnci yüksek yük altında takviyesiz alaşımınkinin yaklaşık iki katı olmuştur. (Ma et al. 1996).



Şekil 7.5 ( devam ediyor )

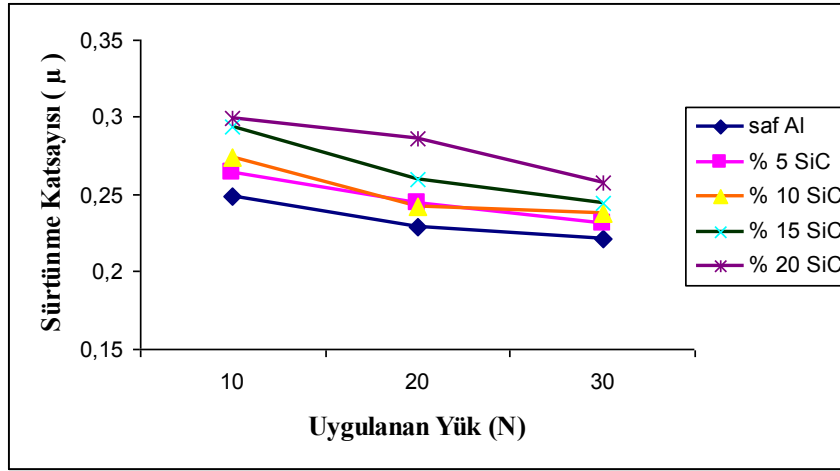


Şekil 7.5 120 dakika mekanik öğütülerek 530 °C’de 30 dakika sinterlenen Al-SiC parçaların aşınma yük, mesafe ve ağırlık ilişkisi a) Saf Al, b) %5SiC, c) %10SiC, d) %15 SiC, e) %20 SiC

Ayrıca bütün numunelerde artan yükle ve kat edilen mesafenin artmasıyla birlikte ağırlık kaybının da arttığı tespit edilmiştir. Çünkü yük arttıkça disk numune ara yüzey temas basıncı artmaktadır. Artan basınç nedeniyle temas yüzeyinin sıcaklığı artar. Sıcaklığın artması da temas yüzeylerinde kaynaklanmaları attırır ve akabinde de bu kaynak tabakaları kırılır. Bu da aşınma miktarının artmasına neden olur (Prasad 1996).

## 7.5 UYGULANAN YÜKE GÖRE SÜRTÜNME KATSAYISININ DEĞİŞİMİ

Saf alüminyum ve SiC takviyeli kompozit numunelerin uygulanan yüke göre sürtünme katsayısı değişim grafiği şekil 7.6’da verilmiştir.

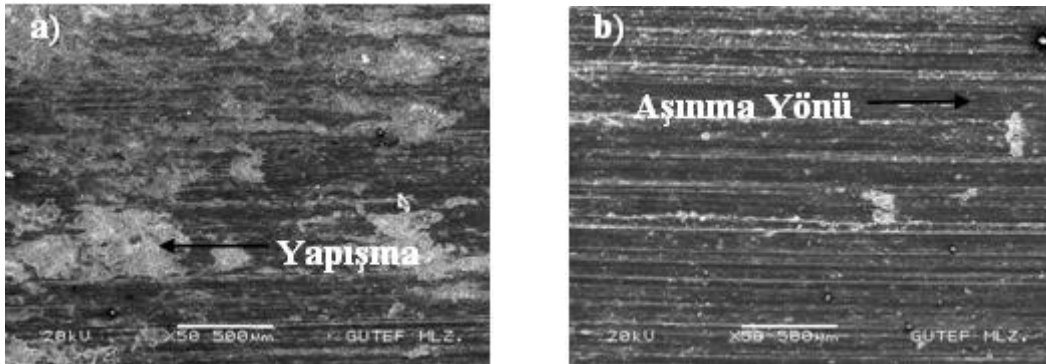


Şekil 7.6 120 dakika mekanik öğütülerek 530 °C’de 30 dakika sinterlenen Saf Al ve SiC takviyeli kompozit malzemelerin sürtünme katsayısı değişimi

Şekil 7.6’daki sürtünme katsayısı grafiği incelendiğinde artan yüklerle birlikte bütün numunelerin sürtünme katsayısının düştüğü görülmektedir. Bunun nedeni ise mesafe arttıkça malzemede termomekanik işlem ve termal nedenden dolayı malzeme yüzeyinde oksit film tabakası oluştuğu düşünülmüştür. Oluşan oksit film tabakası malzeme yüzeyinde yağlayıcı görevini görmektedir ve sürtünme katsayısı azalmaktadır (Oi et al., 2003; Saka et al., 2003; Tu et al., 1998).

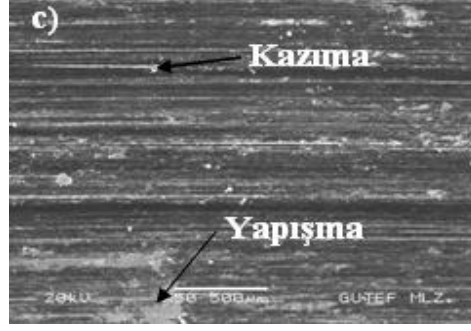
## 7.6 AŞINMA YÜZEYLERİNİN TARAMA ELEKTRON MİKROSKOBU (SEM) İNCELEMELERİ

Aşınma testleri yapılan Saf Al ve SiC takviyeli kompozit malzemelerin sabit bir kayma hızında, soldan sağa doğru kayma yönünde, aşınma yüzeyleri şekillerde görülmektedir.



Şekil 7.7 ( devam ediyor )

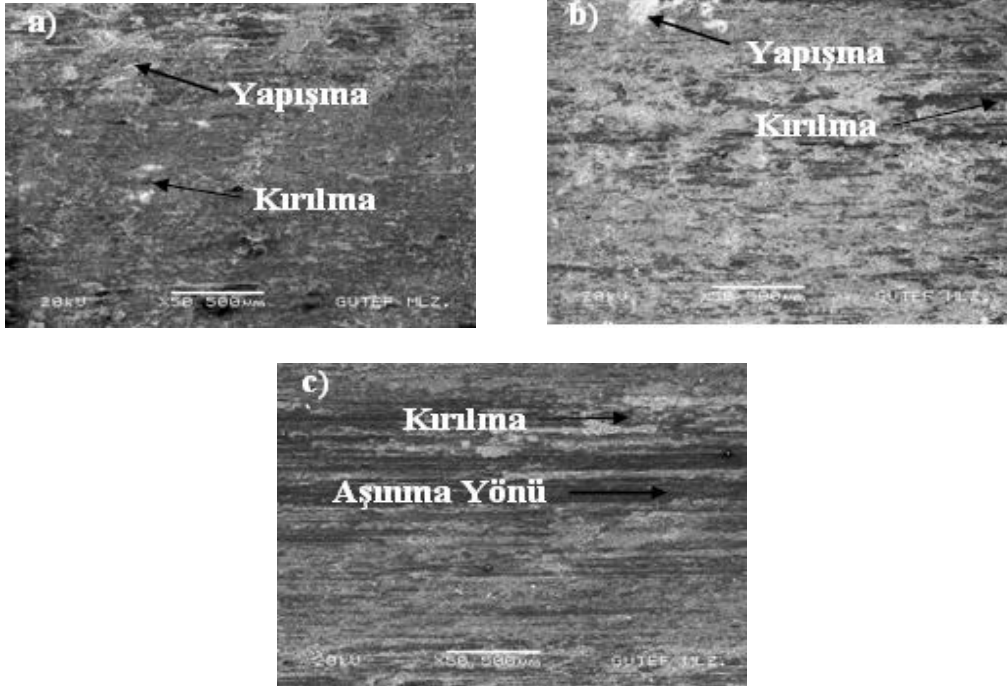




Şekil 7.7 120 dakika mekanik öğütülerek 530 °C'de 30 dakika sinterlenen Saf Alüminyum parçalarının aşınma yüzeyleri tarama elektron mikroskobu(SEM) görüntüleri a. Saf Al 10N, b. Saf Al 20N, c. Saf Al 30N

Saf Alüminyum numunelerin 10 N yük altında oluşan aşınma yüzeylerinin SEM görüntüsü (Şekil 7.7a) incelendiğinde yüzeyden kopan parçacıkların tekrar yüzeye yapıştığı görülmektedir. Uygulanan yük düşük olduğundan yüzeyde aşınma çizgileri daha yüzeyseldir. Şekil 7.7b'de ise uygulanan yükle birlikte yüzeye olan basınç arttığından plastik deformasyon miktarının 10 N'a göre daha fazla olduğu açıkça görülmektedir. Şekil 7.7c'de yüzeyden kopan parçacıklar abrazif aşınma etkisi göstererek kazıma yapmıştır. Ayrıca uygulana yük miktarı arttıkça yüzeydeki plastik deformasyon miktarının arttığı ve daha derin aşınma izlerinin oluştuğu görülmektedir.

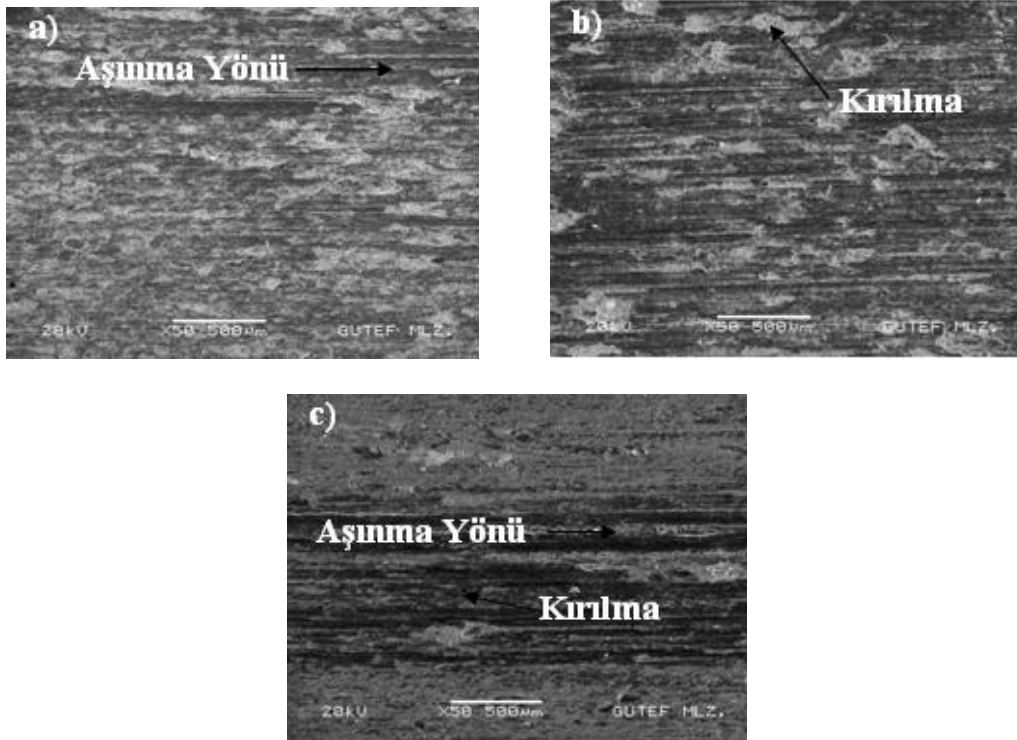
% 5 SiC içeren kompozitlerin aşınma yüzeyleri SEM görüntüleri Şekil 7.8'de verilmiştir.



Şekil 7.8 120 dakika mekanik öğütülerek 530 °C'de 30 dakika sinterlenen % 5 SiC içeren parçalarının aşınma yüzeyleri tarama elektron mikroskobu(SEM) görüntüleri a) % 5 SiC 10N, b) % 5 SiC 20N, c) % 5 SiC 30N

% 5 SiC içeren kompozitlerin 10 N yük altında oluşan aşınma yüzeylerinin SEM görüntüleri (Şekil 7.8a) incelendiğinde yapı içerisine ilave edilen % 5 SiC'ün aşınmaya karşı direnç oluşturduğu görülmektedir. SiC sert bir yapı olduğundan dolayı yüzeyde kırılmalara neden olmuştur. Şekil 7.8b'de uygulanan yük miktarı arttıkça SiC parçacıklarının aşınmaya karşı direncinin artmasına bağlı olarak kırılmaların meydana geldiği görülmektedir. Ayrıca artan yük altında malzeme yüzeyinde yapışmalar görülmektedir Şekil 7.8c'de sert gevrek malzeme yüzeyinde plastik deformasyon olmadan kırılmaların meydana geldiği görülmektedir.

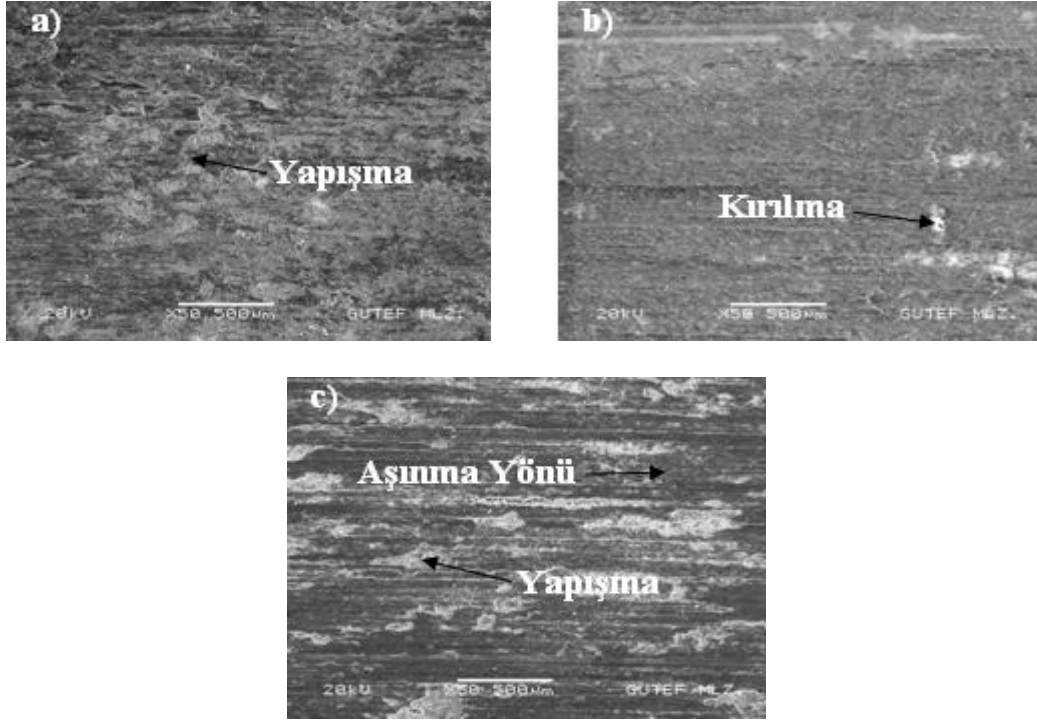
% 10 SiC içeren kompozitlerin aşınma yüzeyleri SEM görüntüleri Şekil 7.9'de verilmiştir.



Şekil 7.9 120 dakika mekanik öğütülerek 530 °C'de 30 dakika sinterlenen % 10 SiC içeren parçaların aşınma yüzeyleri tarama elektron mikroskobu(SEM) görüntüleri a) % 10 SiC 10N, b) % 10 SiC 20N, c) % 10 SiC 30N

% 10 SiC içeren kompozitlerin 10 N yük altında oluşan aşınma yüzeylerinin SEM görüntüleri (Şekil 7.9a) incelendiğinde yapı içerisine ilave edilen % 10 SiC miktarının artmasından dolayı yüzeyde kırılmalar meydana gelmiştir. Şekil 7.9b incelendiğinde yüzeyde kırılmaların meydana geldiği ayrıca plastik deformasyon olayının gerçekleştiği görülmektedir. Şekil 7.9 c'de ise artan yüklerle birlikte numunenin plastik deformasyona uğradığı görülmektedir.

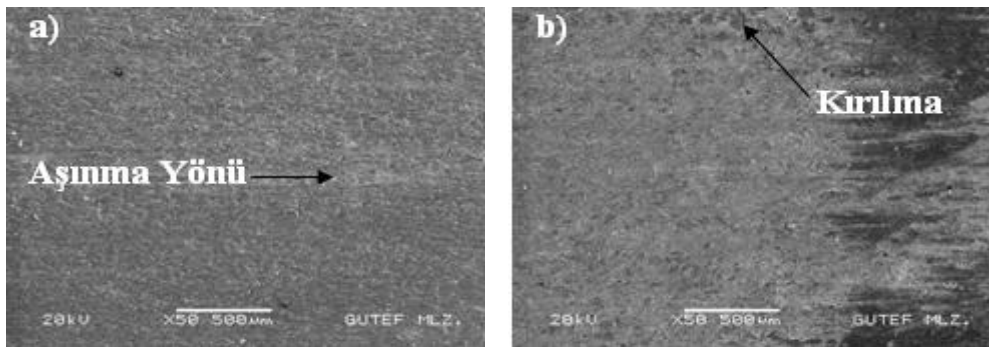
% 15 SiC içeren kompozitlerin aşınma yüzeyleri SEM görüntüleri Şekil 7.10'de verilmiştir.



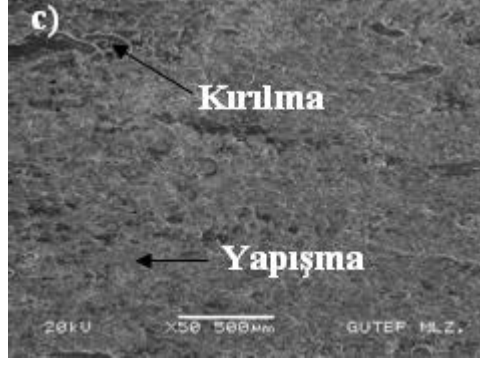
Şekil 7.10 120 dakika mekanik öğütülerek 530 °C'de 30 dakika sinterlenen % 15 SiC içeren parçaların aşınma yüzeyleri tarama elektron mikroskobu(SEM) görüntüleri a) % 15 SiC 10N, b) % 15 SiC 20N, c) % 15 SiC 30N

% 15 SiC içeren kompozitlerin 10 N yük altında oluşan aşınma yüzeylerinin SEM görüntüleri (Şekil 7.10a) incelendiğinde artan SiC miktarıyla birlikte yüzeydeki SiC yoğunluğu çoğalmıştır. SiC yoğunluğundan dolayı ince kırıklar meydana gelmiştir. Şekil 7.10c'de uygulanan yük artışıyla birlikte malzeme yüzeyinin plastik deformasyona uğradığı görülmüştür. Ayrıca yüzeyde kırılmalar da mevcuttur.

% 20 SiC içeren kompozitlerin aşınma yüzeyleri SEM görüntüleri Şekil 7.11'de verilmiştir.



Şekil 7.11 ( devam ediyor )



Şekil 7.11 120 dakika mekanik öğütülerek 530 °C’de 30 dakika sinterlenen % 20 SiC içeren parçaların aşınma yüzeyleri tarama elektron mikroskobu(SEM) görüntüleri a) % 20 SiC 10N, b) % 20 SiC 20N, c) % 20 SiC 30N

% 20 SiC içeren kompozitlerin 10 N yük altında oluşan aşınma yüzeylerinin SEM görüntüleri (Şekil 7.11a) incelendiğinde yapı içerisine ilave edilen % 20 SiC miktarına bağlı olarak sertlik ve aşınma direnci artmıştır. Artan sertlik ve aşınma direnci dolayısıyla yüzeyde kırılmalar meydana gelmiştir. Şekil 7.11c incelendiğinde uygulanan yük miktarının artmasına rağmen yüzeyin plastik deformasyona uğramadığı görülmektedir.

Alüminyum kompozitlerindeki çalışmalarda hem SiC partikülü hem de çubuk ilavesi daha az aşınma oranı bulunmasına neden olmuştur (Cao et al, 1990, Venkataraman et al, 1996).

## BÖLÜM 8

### SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada mekanik alaşımlama yöntemi ile üretilen saf alüminyum ve Al-SiC kompozitlerinin kuru aşınma davranışları incelenmiştir. Bu deneyler, üç farklı yükte (10-20-30 N ) ve dört farklı mesafede (500-1000-1500-2000 metre) yapılmıştır. Yapılan bu çalışmalardan aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

1. Farklı yükler altında yapılan aşınma deneylerinde, aşınma kaybı miktarının artan yükte beraber arttığı görülmüş ve en fazla aşınma kaybı miktarının 30 N yükte olduğu tespit edilmiştir.

2. Sabit kayma hızı ve farklı yüklerde yapılan aşınma deneylerinde saf alüminyumun SiC takviyeli MMK'lerden daha fazla aşındığı gözlenmiştir.

3. MMK içerisine katılan SiC parçacıkları malzemenin aşınma direncini ve sertlik değerlerini arttırmıştır. % 20 SiC içeren kompozit malzemenin sertliğinin saf alüminyumun sertliğinin iki katından fazla olduğu tespit edilmiştir.

4. Üretilen MMK malzemelerin sinterleme sonrası yoğunluk ölçümü sonucunda, deneysel yoğunluklarda doğrusal bir artış görülmüştür. Takviye elemanı % oranının artmasıyla numunelerin yoğunlukları da artmıştır.

5. SiC parçacıklarının % oranının artması sonucu porozite oranları artmıştır.

6. Sürtünme katsayısının, artan yükte ters orantılı olarak azaldığı saptanmıştır. Bunun nedeninin numunelere uygulanan yükün artması ile yüzeyde yağlanma meydana gelerek sürtünme katsayısının düştüğü tespit edilmiştir.

Daha sonra yapılacak çalışmalar için öneriler:

1. MA işleminde; değirmen tipi, alaşımlama atmosferi, BTO gibi parametreler değiştirilerek MMK' ler üretilebilir.
2. Aşınma deneyleri yapılırken kullanılan test üniteleri geliştirilebilir. Isının aşınmaya etkisini daha derin irdelenmek için numunenin ünite üzerinde takıldığı yere ısıl bir fırın yerleştirilebilir.
3. Sistemde kullanılan yük hücresi ve ara yüz kartlar vasıtasıyla, alaşımların sürtünme davranışlarının irdelenmesi yanı sıra sistem üzerine bir deplasman ölçer eklenerek aşınma sırasında numunelerin yükseklik kayıpları elde edilerek aşınmanın algılanmasında ek bir parametreye sahip olunur.
4. Deney esnasında numunenin disk ile temasından oluşan ısıyı ölçmek için sisteme lazer sensör monte edilerek aşınmanın algılanmasında artı bir parametreye sahip olunmuş olur.

## KAYNAKLAR

- Acılar M ve Gül F** (2002) *Politeknik Dergisi*, Cilt: 4 Özel Sayı 21-27.
- Akbulut H, Durman M ve Yılmaz F** (1993) SiC Seramik Partikül Takviyeli Alüminyum-Silisyum Metal Esaslı Kompozitlerin Üretimi ve Özelliklerinin İncelenmesi, 7. *Uluslar arası Metalürji ve Malzeme Kongresi*, Ankara, 1183- 1194.
- Akoral E** (2003) Toz Metalürjisi Yöntemi ile Al-SiC Kompozit Malzeme Üretimi ve İşlenebilirliğinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa, 42-46, 56-57.
- Arık H, Özçatalbas Y and Türker M** (2006) Dry Sliding Wear Behavior of in Situ Al-Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> Metal Matrix Composite Produced by Mechanical Alloying Technique, *Materials and Design*, 27: 799-804.
- Arık H, Turker M and Sarıtas S** (2000) Investigation of the Mechanical Properties of Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> Reinforced Aluminium Based Composites by Mechanical Alloying Techniques, *Proceedings of Powder Metallurgy World Congress*, 1713.
- Armath M K** (1999) Havacılık Kompozitleri ve Mukavemet- Maliyet Analizleri, *Gazi Üniversitesi Merkez Kütüphanesi*.
- Aytaç A** (2007) A356 Alüminyum Alaşımının Yarı Katı İşleme Üretimi Ve Aşınma Davranışlarının İncelenmesi, Lisans Tezi, Z.K.Ü Üniversitesi Metal Eğitimi Bölümü Döküm Eğitimi Anabilim Dalı, Karabük, 95 s.
- Bai M and Xue Q** (1997) Investigation of wear mechanism of SiC particulate reinforced Al-20Si-3Cu-1Mg aluminium matrix composites under dry sliding and water lubrication, *Tribology International*, 30 (4): 261-269.
- Bostan B** (2003) Alüminyum-Karbon Tozlarından Mekanik Alaşımlama ve Sonrası İşlemlerle Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> Sentezlenmesi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1-10.
- Calka A and Williams J S** (1992) Synthesis of Nitrides by Mechanical Alloying, *Materyal Science Forum*, 88-90: 787-794.
- Candan E, Ahlatci H and Çimenoğlu H** (2001) Abrasive Wear Behaviour of Al-SiC Composites Produced by Pressure Infiltration Technique, *Elsevier Wear* 247.
- Cao L, Wang Y and Yao C K** (1990) The wear properties of an SiC-whisker-reinforced aluminium composite, *Wear*, 140: 273-277. 99.
- Chen Y And Williams J S** (1996) Hydrodriving Reactions Induced by Ball Milling, *Materyal Science Forum*, 225-227: 881-888 (1996).

## KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Chin Z H and Perng T P** (1997) Amorphization of Ni-Si-C Ternary Alloy Powder Mechanical Alloying, *Materyal Science Forum*, 235-238: 6-121 (1997).
- Chung S And Hwang B H** (1994) A microstructural study of the wear behaviour of SiC<sub>p</sub>/Al composites. *Tribology International*, 27, 307-314.
- Cöcen Ü, Belevi M ve Önel K** (1997) Tane Silisyum Karbür Katkılı Alüminyum Alaşımı Bazlı Kompozitlerin Aşınma Davranışı, D.E.Ü Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 7. *Denizli Malzeme Sempozyumu*.
- Çetin M** (2005) Östempelenmiş Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Aşınma Davranışlarının Geliştirilmesi. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 103-106.
- Çıtak R** (1998) Metalik Ba-Al Başlangıç Tozlarının Düşük Sıcaklıklarda Oksidasyonu ile Al Matrisli Kompozit Üretimi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2-26.
- Çiftçi İ** (2003) Alüminyum Esaslı Kompozitlerde Takviye Oranı ve Boyutunun Mekanik Özellikler ve İşlenebilirlik Üzerine Etkisinin Araştırılması, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Ankara, 129 s.
- Di L M And Bakker H J** (1991) Phase Transformation of the Compound V<sub>3</sub>Ga İnduced by Mechanical Grinding, *Phsy. C: Condens. Matter.*, 3: 3427-3432.
- Dinwoodie J** (1987) Automotive Applications for MMC's Based on Short Staple Alumina Fibres, *Journal of Composite Materials*, 23-27.
- Donomoto T, Funatani K, Miura N and Miyake N** (1983) Ceramic Fiber Reinforced Piston for High Performance Diesel Engines, *Journal of Composite Materials*, 9-10.
- Durmuş H ve Meriç C** (2003) Metal Matrisli Kompozitlerin Birleştirme Yöntemleri, *Metal Dünyası* Sayı 120.
- Elliasson J and Sandstrom R** (1995) Metal Matrix Composites, *Key Engineering Materials*, Trans Tech Pub., Switzerland, 104-107: 3-36.
- Fair G H and Wood J U** (1993) MA of İron-Aluminium İntermetallics, *Powder metallurgy* 36: 123-128.
- Fındık F** (1988) Kompozit Malzeme Üretim Yöntemleri, *Mühendis ve Makine Dergisi*, Cilt:29 Şubat (1988).
- Fogagnolo J B, Velasco F, Robert M H and Torralba J M** (2002) Effect of Mechanical Alloying on the Aluminium Matrix Composite Powders, *Spain and Brazil*, Vol. 342, pp. 131-143.



## KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Garliov D, Hashimoto H, Park Y H and Sansoucy R J** (1991) Advances in Powder Metallurgy, *Metal Powder Industries Federation, Princeton*, 1, 6: 119-130.
- German R M** (1994) *Powder Metallurgy Science*. 2<sup>nd</sup> edition, Metal Powder Industries Federation, U.S.A., 58-64.
- Güldaş A M** (1998) Aşınma Deney Aparatının Tasarımı, Üretimi ve Metal Matrisli Kompozitlerin Aşınma Davranışlarının Deneysel Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi ,Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Hanumanth G S and Irons G A** (1993) Particle incorporation by melt stirring for the production of metal-matrix composites, *Materials Science*, 28: 2459-2465.
- Hausner H H and Smith W E** (1973) Modern Development in Powder Metallurgy, *Metal Powder Industries Federation, Princeton*, 6: 1-4.
- Hiçyılmaz N** (1999) Toz Metalürjisi Yöntemleri ile Elde Edilen Seramik Tanecik Destekli Alüminyum Esaslı Kompozit Malzemelerin Aşınma Özelliklerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Hong L B, Bansal C And Fultz B** (1994) Nano-Mechanical Properties and Biotribological Behaviors of Nanosized HA/partially-stabilized Zirconia Composites, *Nanostructured Mater*, 4: 949-56.
- Huda M D, Hashmi M S J and El-Baradie M A** (1995) MMCs Materials Manufacturing and Properties, *Key Engineering Materials*, Vol. 104-107, pp. 37-64.
- Hughess D H** (1986) Fibres Reinforcement Composite Materials-Part 2, *The Journal Inst. of Metals and Materials*, 45: 359-365.
- İpek R** (1992) AISI 1020 Çeliğinin, Yüzey Sertleştirme İşlemleri Uygulanarak AISI 5155 Çeliğinin Yerine Kullanılabilirliğinin Deneysel Araştırılması, Doktora Tezi, E. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- İzciler M ve Muratoğlu M** (2003) Wear Behaviour of SiC Reinforced 2124 Al Alloy Composite in RWAT System, *Journal of Materials Processing Technology*, 132: 67-72.
- İzciler M ve Öcal İ** (2001) Yüzey Topografyasına Bağlı Olarak Aşınmanın Ölçümü. *I. Demir-Çelik Sempozyumu Bildirileri-C93*, Ereğli / Zonguldak.
- Kaya H** (2003) Spex Tipi Mekanik Alaşım Cihazının Tasarımı, İmalatı ve Alüminyum Bazlı Kompozit Tozların Üretimi ve Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak, 135.
- Kayalı E S** (1987) Aşınma ve Aşınma Hasarları, *Metalürji Mühendisleri Odası*.

## KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Keleştimur M H** (1989) Makine Yapı Çeliklerinin Abrazif Aşınma Direncinin Yüzey Sertliğine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 14-31.
- Kim S W, Lee U J Han S W, Kim D K, Ogi K** (2003) Heat Treatment and Wear Characteristics of Al/SiCp Composites Fabricated by Duplex Process, Composites Part B, Japan- pp. 737-745.
- Kis V and Beke D L** (1996) Phase Transitions in Cu-Sb Systems Induced Ball Milling, *Materyal Science Forum*, 225-227: 70-465.
- Kök M** (2000) Metal Matrisli ( $Al_2O_3$  takviyeli) Kompozit Malzemelerin Üretimi ve Seramik Takımlarla İşlenebilirliğin Araştırılması, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 43-51.
- Kurt A** (1992) Toz metal bronz yatak malzemelerinin özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 8-35.
- Kurtçu A C** (1995) SiC Katkılı Alüminyum Matrisli Kompozitlerde Aşınma Davranışının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Lee W and Kwan S I** (1996) *J. Alloys and Compounds*, 240: 9-193.
- Lim C Y H, Lim S C and Gupta M** (2003) Wear Behaviour of SiCp-Reinforced Magnesium Matrix Composites, *Wear*, 255: 629-637.
- Ma Z Y, Liang Y N, Zhang Y Z, Lu Y X and Bi J** (1996) Sliding Wear Behaviour of SiC Particle Reinforced 2024 Aluminium Alloy Composites, *Materials Science and Technology*, 12: 751-756.
- Mondal D P and Das S** (2005) High Stress Wear Behaviour of Aluminium Hard Particle Composites: Effect of Experimental Parameters, Particle Size and Volume Fraction, *Tribology International*, 1-9.
- Mutlu H** (1996) Al-SiC Kompozitlerin Termomekaniksel İşlem Sonrası Aşınma Davranışlarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Odabaş D** (1991) Kuru Sürtünme Şartlarında Termomekanik Faktörlerin AISI 3315 Çeliğinin Aşınma Davranışına Olan Etkilerin Teorik ve Deneysel Araştırılması, Doktora Tezi, E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Okura T, Nomura S and Shikakura S** (1990) Solid State Powder Processing, *The Minerals, Metal and Materials Society*, ed. Clouer, A. H., De Barbadillo, J.J., 195.

## KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Özdin K** (2006) Alüminyum Esaslı SiC Takviyeli Kompozitlerin Üretimi ve Aşınma Özelliklerinin Araştırılması, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 19-21.
- Özyürek D** (2002) Mekanik Alaşımlama Yöntemi ile Titanyum Bazlı Metal Matris Kompozit Malzemelerin Üretimi ve Karakterizasyonu, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 21.
- Pigors O** (1979) Abrasiv Verschleißverhalten Von Stählen Bei Gleit – und Wölbewegungen. *Schmierungstechnik*, 10.
- Prasad B K** (1996) Abrasive wear characteristics of a zinc based alloy and zinc alloy/SiC composite, *Wear*, 252 (34): 250-263.
- Qi W X, Tu J P, Liu F, Yang Y Z, Wang N Y, Lu H M, Zhang X B, Guo S Y and Liu M S** (2002) Microstructure and tribological behavior of a peak aged Cu-Cr-Zr alloy. *Materials Science and Engineering*, 343: 89-96.
- Ramesh C S, Anwar Khan A R, Rvikumar N and Savanprabhu P** (2005) Prediction of Wear Coefficient of Al6061-TiO<sub>2</sub> Composites, *Wear*, 259: 602-608.
- Roberts S** (2002) *Wear, Surface Engineering*, 1-23 (2002).
- Rong C, Akira I, Tomoharu S, Hyung S S and Hidenobu M** (1997) The Sliding Wear Resistance Behavior of NiAl and SiC Particles Reinforced Aluminum Alloy With Composites, *Wear*, 213, s. 175-184.
- Saka N, Eleiche A M and Suh N P** (1977) Wear of metals at high sliding speeds. *Wear*, 44: 109-125.
- Sands R L and Shakspeare C R** (1966) Powder Metallurgy *Georgw Newnes Ltd*, London, 40-95.
- Schaffer G B and Mc Cormick** (1999) *Metall Transaction A*, 22: 2789.
- Schelleng R D and Donachie S J** (1983) Mechanical Alloyed Aluminum, *Metal Powder Report*, 38: 357-359.
- Sun Y** (2004) Yüksek Krom ve Nikelli Çeliklerin Aşınma Davranışlarının İncelenmesi Doktora Tezi, 2004, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Sur G** (2002) Alüminyum Esaslı Kompozitlerin Üretim ve İşlenebilirliğinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara 3-42.
- Suryanarayana C** (1998) Powder Metal Technologies and Applications, *Handbook, ASM Materials Park*, 7: 80-90.

## KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Suryanarayana C** (2001) Mechanical Alloying and Milling, *Progress in Materials Science*, 46: 1-184.
- Sümer M** (2003) Mekanik Alaşım İle Üretilen Fe-Fe<sub>3</sub> Kompozit Malzemede Mekanik Özelliklerin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 13-21.
- Şahin S, Özdemir İ ve Ünlü B S** (2002) T/M Yöntemi İle Üretilmiş Al-SiCp Kompozitlerde Üretim Parametrelerinin Aşınma Davranışına Etkisi, 3rd *International Powder Metallurgy Conference*, Gazi Üniversitesi, Ankara, 951- 957.
- Şahin Y** (1994) The Mechanical and Wear Behaviour of SiC Reinforced Metal Matrix Composite, Ph. D.Thesis, *The University of Aston*, Birmingham, 28-31.
- Şahin Y** (2000) *Kompozit malzemelere Giriş* Gazi Kitapevi, Ankara.
- Şahin Y and Özdin K** (2007) A Model for the Abrasive Wear Behaviour of Aluminium Based Composites, *Materials and Design*, 1-6.
- Tavman D H** (1997) Kompozit Malzemelerin Savunma Sanayinde Kullanımı, *Savunma Sanayindeki Teknolojik Gelişmeler Sempozyumu*, Ankara, 5-6.
- Tu J P, Meng L and Liu M S** (1998) Friction and wear behavior of Cu-Fe<sub>3</sub>Al powder metallurgical composites in dry sliding. *Wear*, 220: 72-79.
- Turhan S** (2002) Alüminyumun Mekanik Özelliklerine ve Aşınma Davranışlarına Magnezyumun ve Silisyumun Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 64 s.
- Türker M, Özdemir A T, Ögel B ve Yavuz A** (1999) Alüminyum-SiC Tozlarının Mekanik Alaşım Değirmeninde Öğütme Zamanının Kompozit Toz Yapısına Etkisinin Araştırılması, *Uluslararası Katılımlı 2. Ulusal Toz Metalürjisi Konferansı*, Ankara, 425-431.
- Tweed J H** (1991) Manufacture of 2014 Aluminium Reinforced With SiC Particulate by Vacuum Hot Pressing, *Materials Science and Engineering*, A135: 73-76.
- Uruslu N ve Kayalı E S** (1997) *Hazar Analiz Seminer Notları*, İstanbul.
- Venkataraman B and Sundararajan G** (1996) The sliding wear behaviour of Al-SiC particulate composites, *I. Macrabehaviour, Acta mater.*, 44: 451-460.
- Wang H, Zhang R, Hu X, Wang C A and Huang Y** (2007) Characterization of a Powder Metallurgy SiC/Cu-Al Composite, *Journal of Materials Processing Technology*, 1-16.
- Yılmaz M** (1996) Alüminyum Alaşımlarının Aşınma Davranışları, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

### **KAYNAKLAR (devam ediyor)**

**Yılmaz M ve Altıntaş S** (1993) Parçacık SiC takviyeli alüminyum esaslı kompozitlerin mikroyapı ve aşınma özellikleri, *7. Uluslar arası Metalürji ve Malzeme Kongresi*, Ankara, 1175-1182.

**Zhiqiang S, Di Z and Guobin L** (2005) Evaluation of Dry Sliding Wear Behaviour of Silicon Particles Reinforced Aluminium Matrix Composites, *Materials and Design.*, 26: 454-458.



## ÖZGEÇMİŞ

Hasan Ali CEBECİ 1984’de Karabük’ te doğdu; ilk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı. Safranbolu Endüstri Meslek Lisesi’ nden mezun olduktan sonra 2001 yılında Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Talaşlı Üretim Öğretmenliği Programına girdi; 2005’de mezun oldu. 2005 yılında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalı’nda başladığı Yüksek Lisans Programına devam etmektedir.

### **Adres Bilgileri**

Adres : Çeşme Mah.

Karaüzüm Sok. No: 16

78600 Safranbolu / KARABÜK

Tel : 0505 695 37 08

E-mail : cebecihasanali@hotmail.com