

**T.C.  
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Al-Cu-SiC ve Al-Cu-B<sub>4</sub>C KOMPOZİTLERİN SICAK  
PRESLEME YÖNTEMİ İLE ÜRETİMİ VE AŞINMA  
ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

**FUNDA KÖKSAL**

**Danışman Yrd. Doç. Dr. Fevzi BEDİR**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ISPARTA, 2004**

**Al-Cu-SiC ve Al-Cu-B<sub>4</sub>C KOMPOZİTLERİN SICAK PRESLEME  
YÖNTEMİ İLE ÜRETİMİ VE AŞINMA ÖZELLİKLERİNİN  
ARAŞTIRILMASI**

**FUNDA KÖKSAL**  
0130102022

**Yüksek Lisans Tezi**  
**MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ISPARTA, 2004**

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı :Funda Köksal

Doğum Yeri :Antalya

Doğum Yılı :1977

Medeni Hali :Bekar

### Eğitim ve Akademik Durumu:

Lise :1992-1995 Özel Antalya Lisesi

Lisans :1995-2000 Süleyman Demirel Üniversitesi

Yabancı Dil :İngilizce

### İş Deneyimi:

2000 Kurt Mühendislik

2001-2003 Arke Asansör

2002 Isıtek A.Ş.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü' ne;

Bu çalışma jürimiz tarafından MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI' nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Başkan : .....  
( Ünvanı, Adı ve Soyadı)

Üye : .....  
( Ünvanı, Adı ve Soyadı)

Üye : .....  
( Ünvanı, Adı ve Soyadı)

### ONAY

Bu tez ...../...../20... tarihinde Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen yukardaki jüri üyeleri tarafından kabul edilmiştir.

...../...../20...

**Prof. Dr. Remzi Karagüzel**

**S.D.Ü. FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ**

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü' ne

Bu çalışma jürimiz tarafından MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI' nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Başkan : .....  
( Ünvani, Adı ve Soyadı)

Üye : .....  
( Ünvani, Adı ve Soyadı)

Üye : .....  
( Ünvani, Adı ve Soyadı)

### ONAY

Bu tez ...../...../20... tarihinde Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen yukardaki jüri üyeleri tarafından kabul edilmiştir.

...../...../20...

**S.D.Ü. FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ**

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vii
TEŞEKKÜR.....	viii
SİMGELER DİZİNİ.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
1.1. TM Teknolojisi.....	2
1.2. Metal Tozu Üretim Teknikleri.....	3
1.3. Toz Tane Boyutu Ölçüm Teknikleri.....	4
1.4. Toz şekli.....	5
1.5. Toz akış hızı.....	5
1.6. Sıkıştırılabilirlik.....	6
1.6.1. Tozların Sıkıştırılması.....	7
1.7. TM Uygulamaları.....	8
1.7.1. TM Teknolojisinde Al Alaşımları.....	9
1.7.1.1. Al-Cu Alaşımlarına Uygulanan Çökeltme Sertleşmesi Yöntemi.....	10
1.7.1.2. Al Alaşımlarında Kullanılan Yağlayıcılar.....	18
1.7.1.3. Al Tozlarının Sıkıştırılması.....	18
1.7.1.3.1. Al Tozlarının Sıkıştırılmasında Görülen Olaylar.....	19
1.7.1.3.2. Al Tozlarının Preslenmesi Esnasındaki Fiziksel Özelliklerin Değişmesine Etki Eden Faktörler.....	21
1.7.1.4. Alüminyum tozlarının sinterlenmesi.....	23
1.8. KOMPOZİT MALZEMELER.....	23
1.8.1. Kompozitlerde Kullanılan Ana Yapılar ve Takviye Elemanları.....	24
1.8.2. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması.....	25
1.8.3. Kompozit Malzemeleri İşleme ve Biçimlendirme.....	26
1.8.4. Kompozitlerin Mekanik Özellikleri.....	26
1.8.5. Kompozit Malzemelerde Kritik Hacim Konsantrasyonu.....	27
1.8.6. Alüminyum Esaslı Yüksek Sıcaklık Kompozitleri.....	28
1.8.7. Tanecik Destekleyicili Al Esaslı Yüksek Sıcaklık Kompozitleri.....	29
1.8.8. Metal Anayapılı Kompozitler.....	33
1.8.8.1. Katkı Fazlı MAK Parçacıklarının Mekanik Özellikleri.....	36
1.8.8.2. MAK Üzerindeki İmalat Tekniklerinin Etkisi.....	36
1.8.8.3. Ana Yapı Karışımları.....	37
1.8.8.4. Toz Metalurjisi Metal Ana Yapılı Kompozitler.....	37
1.8.8.5. MAK Malzemelerin Mühendislik Uygulamaları.....	37
1.8.8.6. MAK Malzemelerin Üretim Yöntemleri.....	38
1.8.8.6.1. Sıkıştırma Döküm.....	38
1.8.8.6.2. Kompozit Döküm.....	39
1.8.8.6.3. Atomizasyon Ve Püskürtme Şekillendirme.....	39

1.8.8.6.4. Basınçlı İnfiltrasyon.....	40
1.8.8.6.5. Pelet Metodu.....	40
1.8.8.6.6. Vorteks Metodu.....	40
1.8.8.6.7. Santrifüj Yöntemleri.....	41
1.8.8.6.8. Ultrasonik Titreşim.....	41
1.8.8.6.9. Yönlendirilmiş katılaşma.....	41
1.8.9. Toz Metalurjisinde MAK Kompozitlerin Üretim Basamakları.....	41
1.8.9.1. Karıştırma ve Alaşımlama.....	41
1.8.9.2. Sinterleme.....	43
1.8.9.3. Sıcak İzostatik Presleme(SIP) .....	44
1.8.9.4. Haddeleme.....	45
1.8.9.5. Ekstrüzyon.....	46
1.8.9.6. Toz enjeksiyon kalıplama.....	46
1.8.9.7. Tam Yoğunlaşma.....	46
1.8.9.8. Sıcak Presleme(SP) .....	46
1.8.9.8.1. SP' de Farklı Üretim Parametreleri.....	47
1.8.9.8.2. İşlem İlkeleri.....	48
1.8.9.8.3. İşlem Ekipmanları.....	48
1.8.9.8.4. SP Avantajları.....	50
1.8.9.9. Gaz Giderme.....	50
1.9. SÜRTÜNME VE AŞINMA.....	51
1.9.1. Giriş.....	51
1.9.2. Yüzeylerin Sürtünme Özellikleri.....	51
1.9.3. Aşınma.....	51
1.9.4. Aşınma Olayını Oluşturan Unsurlar.....	52
1.9.5. Aşınmayı Etkileyen Faktörler.....	52
1.9.5.1. Esas sürtünme elemanına bağlı faktörler.....	52
1.9.5.1.1. Malzeme cinsi.....	52
1.9.5.1.2. Malzemenin mikro yapısı.....	52
1.9.5.1.3. Hacimsel ve yüzey sertliği.....	53
1.9.5.1.4. Elastisite modülü.....	53
1.9.5.1.5. Yüzey pürüzlülük durumu.....	54
1.9.5.1.6. Malzeme şekli ve boyutları.....	54
1.9.5.1.7. Soğuk şekil vermenin etkisi.....	54
1.9.5.1.8. Isıl işlem.....	54
1.9.5.1.9. Aşındırıcının etkisi.....	55
1.9.5.2. Karşı elemana bağlı faktörler(tane büyüklüğü, şekli ve dağılımı).....	56
1.9.5.3. Ortama bağlı faktörler(sıcaklık,nem,atmosfer).....	56
1.9.5.4 İşletme koşulları.....	56
1.9.6 Aşınmayı Azaltmak İçin Yapılabilecek İşlemler.....	57
1.9.6.1 Giriş.....	57
1.9.6.2 Malzeme seçimi.....	57
1.9.6.3 Pürüzlülük.....	57
1.9.6.4 Sertlik.....	58
1.9.6.5 Tane boyutu.....	59
1.9.6.6 Yüzey işlemleri.....	59
1.9.6.7 Yağlama.....	60



1.9.6.8 Kontak geometrisi.....	60
1.9.7 Aşınma mekanizmaları.....	60
1.9.7.1 Adhezyon aşınması.....	60
1.9.7.2 Abrazyon aşınması.....	62
1.9.7.2.1. Plastik deformasyonun oluşturduğu abraziv aşınma.....	63
1.9.7.2.2. Gevrek kırılma ile oluşan abraziv aşınma.....	66
1.9.7.3. Abrazyon aşınmasını etkileyen faktörler.....	67
1.9.7.3.1 Partikül sertliği.....	67
1.9.7.3.2 Partikül şekli.....	69
1.9.7.3.3 Partikül boyutu.....	69
1.9.7.4 Yorulma aşınması.....	71
1.9.7.5 Difüzyon aşınma mekanizması.....	71
1.9.7.6 Tribo-oksidasyon aşınması.....	71
1.9.7.7 Erozyon ve kavitasyon aşınma mekanizması.....	72
1.9.7.8. Yenme aşınma mekanizması.....	72
2.KAYNAK ÖZETLERİ.....	73
3.MATERYAL METOD.....	77
3.1. DENEYSEL ÇALIŞMA.....	77
3.2. Toz Karışımlarının Hazırlanması.....	77
3.2.1. Al-Cu Anayapı.....	78
3.2.2. SiC tozu.....	78
3.3. Karışımların Preslenmesi.....	79
3.4. Isıl İşlemler.....	80
3.5. Sertlik Ölçme.....	81
3.6. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçme.....	81
3.7. Aşınma Deneyleri.....	82
3.8. Metalografik İnceleme.....	85
4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	86
4.1. Numunelerin Hazırlanması.....	86
4.2. Yüzey incelemesi.....	86
4.3. Yaşlandırma İşlemi.....	88
4.4 Aşınma Deneyleri.....	89
4.4.1 Aşınma sonrası yüzey filmleri.....	96
4. 5. Sıcak Presleme Sıcaklığının Etkisi.....	101
4.6. Toz Kompozisyonunun Etkisi.....	101
4.7. Yüzey Pürüzlülüğü.....	101
5. TARTIŞMA ve SONUÇ.....	102
6. KAYNAKLAR.....	107
7. EKLER.....	111
7.1. EK-1. Rockwell F Sertlik Değerleri.....	112
7.2. EK-2. Aşınma Testi Öncesi Ve Sonrası Ölçülen Yüzey Pürüzlülük Değerleri.....	113
7.3. EK-3. Kompozitlerin Aşınma Oranları.....	114
7.4. EK-4. Kompozitlerin Aşınma Oranları.....	115
7.5. EK-5. Kompozitlerin Aşınma Oranları.....	116
7.6. EK-6. Kompozitlerin Aşınma Oranları.....	117
ÖZGEÇMİŞ.....	118

## ÖZET

Bu çalışmada, Al-Cu ana yapı olmak üzere, Al-%5 Cu içine hacimce %10, %20, %30 SiC ve %10, %20 B<sub>4</sub>C tozları ilave edilmiş ve toz karışımlarının sıcak presleme davranışı incelenmiştir. Seramik tanecik katkılı kompozitler, saf Al(26,2 µm), Cu(63 µm), SiC (10 µm) ve B<sub>4</sub>C(10µm) tozlarının karışımlarından üretilmiştir. Tozların sıcak pekiştirilmesi tek taraflı dikdörtgen kalıpta azot atmosferi altında gerçekleştirilmiştir. Al-5%Cu (ağırlıkça) bileşimi ana yapı alaşımı olarak seçilmiştir. Karışımların hazırlanmasında elle karıştırma denenmiştir. Toz karışımlarında, ortamda sıvı faz oluşumunu sağlayacak sıcaklıklarda presleme yapılmıştır. Sıcaklık, ötektik sıcaklığın üzerinde seçilmiştir (548°C). Dikdörtgen numuneler 80 bar basınçta ve 575°C sıcaklık aralığında, 15 dakika süre ile sıcak preslenmiştir. Numuneler yaşlanma işlemlerine tabi tutulmuş ve pin-on disk ile aşınma deneyleri yapılmıştır. Aşınma testi öncesi ve sonrası yüzey pürüzlülüğü ölçülmüştür.

Yüksek sıcaklık (575°C) ve ince Al tozu (26,2 µm) kullanımının, üretilen Al-SiC kompozitlerinde mekanik özellikleri iyileştirdiği saptanmıştır. Sonuçlar, katkı fazı oranının artmasıyla, kompozitlerin aşınma dirençlerinin arttığını göstermektedir.

**ANAHTAR KELİMELER:** Toz Metalurjisi, Sıcak Presleme, Al-SiC kompozitleri, Al-B<sub>4</sub>C kompozitleri, Aşınma Direnci

**ABSTRACT**

In this study, Al-Cu is metal matrix composite, %10, %20, %30 SiC and %10, %20 B<sub>4</sub>C composites are added to Al-%5 Cu and their composites hot pressing behaviour is investigated. Reinforcement composites produced from pure Al(26,2 μm), Cu(63 μm), SiC (10 μm) and B<sub>4</sub>C(10μm) powders composites. The hot consolidation of powders are carried out in a single-end rectangular die under nitrogen atmosphere. Al-% 5 Cu composition is chosen as the metal matrix alloy. Powders are mixed by hand mixing. In these composites, hot pressing is made by having liquid phase temperatures. Temperatures are chosen over 548 °C. Rectangular specimens are hot pressed for 15 minutes, at 80 bar and 575 °C. Specimens are aged and wear tests made by pin-on-disc. Before and after wear tests, surface roughness are measured.

It is found that, using high temperatures (575 °C) and finer Al powder (26,2 μm) improves the mechanical properties of the Al-SiC and B<sub>4</sub>C composites. Results show that wear resistance of the composites were increasing as the amount of reinforcing particles were increasing.

**KEYWORDS:** Powder Metallurgy, Hot Press, Al-SiC Composites, Al-B<sub>4</sub>C Composites, Wear Resistance

**TEŞEKKÜR**

Tez alıŐmamda bana danıŐmanlık yapan, konuyla ilgili beni yÖnlendiren ve bilgilendiren, Sayın Hocam, Yrd. Doç. Dr. Fevzi Bedir' e , ODTÜ Malzeme ve Metalurji Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Sayın Prof. Dr. Bilgehan Ögel' e, SDÜ Makine Mühendisliği Laboratuvarı teknisyenlerine ve aileme teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

### Simgeler Dizini

$F_n$  : Kapı duvarı tarafından toza uygulanan kuvvet

P : Uygulanan basınç

A : Kesit alanı

$P_b$  : Uygulanan P basıncı ile elemanın içinden tabanına iletilen basınç

$\sigma$  : Etkili presleme için ortalama sıkıştırma gerilimi

$\alpha$ : Katı eriyik

$\alpha_A$ : Su verilmiş, katı eriyik saklı

$\alpha_B$ : Yaşlanmış, çökme başlamıştır

$\alpha_C$ : Aşırı yaşlanma, çökelmeler büyümüştür

$\alpha_D$ :Tavlama, gren hudutları çökmesi

$\sigma_m$ : ana yapıdaki gerilme

$\sigma_f$ : destekleyicideki gerilme

$e_f$  : destekleyicideki birim uzamadır.

$e_m$  : ana yapıdaki birim uzamadır.

K parametresi fiber hacim oranına

$H_a$  : Aşınmada abraziv sertliği

$H_m$  : metal sertliği

$K_2$  : 0.7-1.0 değerleri arasında bir sabit

$\alpha$  : yarım açısı olan bir koni

P: basınç

W: normal yük

l : yüzey uzunluğu

$\eta$  : Yivden çıkan malzemenin her küçük parçası olarak kabul edilirse

q : partikülün birim kayma mesafesinde oluşturduğu aşınma yıkıntısının hacmi

Q : birim kayma mesafesinde oluşan aşınma yıkıntısının toplam hacmi

H : malzeme sertliği

$\mu$  : kayan kütleler arasındaki sürtünme katsayısı

$m_{Al}$  : Aluminyumun kütlesi

$m_{Cu}$  : Bakırın kütlesi

$m_{SiC}$  : SiC kütlesi

$\rho$  : yoğunluk

V : hacim

$R_a$  : ulaşılabilen ortalama pürüzlülük

$R_{maks}$  : maksimum pürüzlülük

$R_z$  : ulaşılabılır pürüzlülük değeri

W : Aşınma oranı

m= Kütle kaybı

$\rho_{komp}$  : Kompozitin yoğunluğu

D : Zımpara üzerindeki izin çapı

d : Motorun devri

$\rho_{komp}$  : kompozitin yoğunluğu

$m_{komp}$  : kompozitin ağırlığı

$V_{komp}$  : kompozitin hacmi

## Şekiller Dizini

Şekil 1.1. Metal toz şekilleri.....	5
Şekil 1.2. Çapı D ve yüksekliği H olan, silindirik kalıp içerisindeki tozların sıkıştırılması .....	6
Şekil 1.3. TM işlem akış şeması.....	7
Şekil 1.4' da sertliğin, yaşlandırma süresi ve sıcaklığına bağlı olarak değişimini göstermektedir. ....	11
Şekil 1.5. Sertliğin yaşlanma zamanı ve sıcaklığına (T) bağlı olarak değişimi.....	12
Şekil 1.6. Yaşlanma ile sertleşme olayı Al- % 5,65 Cu alaşımı.....	13
Şekil 1.7. Al' ce zengin Al-Cu faz diyagramı.....	15
Şekil 1.8. Denge çökeltisinin $\beta$ fazının formasyonunda değişik bölümlerin şematik gösterimi. ....	15
Şekil 1.9. Önce düz bir kesitte bulunan partiküllerin, preslemeden sonraki durumları.....	22
Şekil 1.10. Kompozit malzemenin elastik modülleri;a)Eksenel elyaf, b)Tabakalı, c)Elastiklik modülünün hacim oranı ile değişmesi.....	26
Şekil 1.11. Bir nokta teması başlangıcı ile sinterleme esnasındaki parçacıklar arası bağların gelişimi .....	44
Şekil 1.12. Rockwell C sertliğinin (RCS) saptanmasının şematik gösterilişi.....	59
Şekil 1.13. Aşınma zaman eğrisi.....	62
Şekil 1.14. İdealleştirilmiş bir konik abraziv partikül ile bir yüzey arasındaki temasın geometrisi a)Profilden, b)Üstten görünüş.....	63
Şekil 1.15. Plastik bir yivin altından yanıl çatlakların gelişmesiyle gevrek bir malzemeden malzeme kopmasının şematik olarak gösterilmesi.....	66
Şekil 3.1. Sıcak pres deney düzeneği.....	79
Şekil 3.2. Yandan görünüş.....	80
Şekil 3.3. Sıcak presleme işlemi.....	80
Şekil 3.4. Fırın .....	80
Şekil 3.5. Yaşlandırma işlemi.....	80
Şekil 3.6. Yağ banyosundan alma.....	81
Şekil 3.7. Suda soğutma.....	81
Şekil 3.8. Yüzey pürüzlülüğü ölçme cihazı .....	82
Şekil 3.9. Aşınma test düzeneği.....	82
Şekil 3.10. Zımparanın yerleştirilmesi.....	83
Şekil 3.11 Numunenin yerleştirilmesi.....	83
Şekil 3.12. Düzeneğin çalıştırılması.....	83
Şekil 3.13. Elle zımparalama.....	85
Şekil 3.14. Cihaz ile zımparalama.....	85
Şekil 3.15. Alumina tozu ile zımparalama.....	85
Şekil 3.16. Elmas suyu ile parlatılması.....	85
Şekil 4.1. Al-Cu $\times$ 500 (Yaş.) .....	87
Şekil 4.2. AA2014 $\times$ 500.....	87
Şekil 4.3. %10 SiC $\times$ 500 .....	87

Şekil 4.4. %20 SiC×500 .....	87
Şekil 4.5. %30 SiC×500.....	87
Şekil 4.6. %10 B <sub>4</sub> C×500 .....	87
Şekil 4.7. %20 B <sub>4</sub> C×500.....	87
Şekil 4.8. Al-SiC, Al-B <sub>4</sub> C, Al-Cu, Al 2014 kompozitlerin 190 °C de yaşlandırma ısı işlemleri.....	88
Şekil 4.9. Al-%5 Cu (10 saat yaşlandırılmış) .....	89
Şekil 4.10. Al-%5 Cu.....	90
Şekil 4.11. Al-% 5 Cu-% 10 SiC (10 saat yaşlandırılmış).....	90
Şekil 4.12. Al-%5 Cu-%10 SiC.....	91
Şekil 4.13. Al-% 5 Cu-%20 SiC(10 saat yaşlandırılmış).....	91
Şekil 4.14. Al-%5 Cu-%20 SiC.....	92
Şekil 4.15. Al-%5 Cu-%30 SiC (10 saat yaşlandırılmış).....	92
Şekil 4.16. Al-%5 Cu-%30 SiC.....	93
Şekil 4.17. Al-%5 Cu-%10 B <sub>4</sub> C (10 saat yaşlandırılmış).....	93
Şekil 4.18. Al-%5 Cu-%10 B <sub>4</sub> C.....	94
Şekil 4.19. Al-%5 Cu (10 saat yaşlandırılmış) .....	94
Şekil 4.20. Al-%5 Cu-%20 B <sub>4</sub> C.....	95
Şekil 4.21. AA 2014 (10 Saat Yaşlandırılmış) .....	95
Şekil 4.22. AA 2014.....	96
Şekil 4.23. AA2014×100 (Yaşl.) .....	97
Şekil 4.24. AA2014×100.....	97
Şekil 4.25. Al-Cu×200 (Yaşl.).....	98
Şekil 4.26. Al-Cu×200.....	98
Şekil 4.27. Al-% 5 Cu-%10 SiC×200 (Yaşl.) .....	98
Şekil 4.28. Al-% 5 Cu-%10 SiC×200.....	98
Şekil 4.29. Al-% 5 Cu-%20 SiC×200 (Yaşl.) .....	99
Şekil 4.30. Al-% 5 Cu-%20 SiC×200.....	99
Şekil 4.31. Al-% 5 Cu- %30 SiC×100 (Yaşl.) .....	99
Şekil 4.32. Al-% 5 Cu-%30 SiC×100.....	99
Şekil 4.33. Al-% 5 Cu-%10 B <sub>4</sub> C×200(Yaşl.) .....	99
Şekil 4.34. Al-% 5 Cu-%10 B <sub>4</sub> C×200.....	99
Şekil 4.35. Al-%5Cu-%20B <sub>4</sub> C×100 (Yaşl.).....	100
Şekil 4.36. Al-% 5Cu- %20 B <sub>4</sub> C×100.....	100



**Çizelgeler Dizini**

Çizelge 1.1 Tipik katı eriyik işlem sıcaklık bölgelerinin ütektik ergime sıcaklıklarına yakınlığı.....	17
Çizelge 1.2. Seramik tanecikli destekleyici içeren Al8009 anayapılı kompozit malzemelerin özellikleri.....	30
Çizelge 3.1. Toz karışımlarının kompozisyonu.....	79

## 1. GİRİŞ

Metal anayapılı kompozitler (MAK), ağırlıkça hafif buna karşılık yüksek esneklik katsayısına ve sertliğe, düşük yoğunluğa, yüksek sıcaklıklara dayanıma, düşük termal genişleme gibi özelliklere sahiptirler. Yüksek sertlik, yüksek ağırlık oranlarından ve korozyona karşı dayanıklılığından dolayı, alüminyum (Al), Toz Metalurjisinde (TM) bir çok kullanım alanına sahiptir.

Silisyumkarbürün (SiC), üretim tekniklerindeki düşük maliyetlerinden dolayı, katkı fazlı Al MAK' larda kullanımı yaygınlaşmıştır. SiC parçacıklarını, Al ana yapıya katmak, alaşımın esneklik katsayısının ve sertliğinin artmasını sağlamaktadır.

MAK' lar da karşılaşılan en büyük zorluk, toz karışımlarının homojen dağılımının sağlanamamasıdır. MAK' ların üretim yöntemlerinin en önemli özelliği homojen dağılımlı mekanik özellikleri sağlamak ve bölümleri yeniden üretilebilir yapmaktır.

Mukavemeti artırma metodları, MAK' ların üretiminde ayrıca önemli olmaktadır. Sıcak presleme (SP) ile iç yapılar kontrol altında tutulabilmektedir. Sıcak presleme için çok çeşitli teknikler geliştirilmektedir (Kaya, 1999).

TM' nin amacı, metal ve metal alaşımların tozlarını ergitmeden, basınç ve sıcaklık yardımıyla, dayanıklı cisimler haline sokmaktır. Sinterleme denilen bu ısıl işlem, ergitmenin yerini tutmakta ve kullanılan metal tozunun ergime noktasının altındaki bir sıcaklıkta yapılmaktadır.

Eski ve orta çağlarda çok sert çelikten yapılmış olan silahlar, kızıl derecede ısıtılan metal parçalarını yaklaştırmak ve sıcakta dövüp birleştirmekle imal edilirdi. 19. asrın sonlarında, endüstride Pt ve iridium gibi yüksek sıcaklıkta ergiyen metallerin kullanılması denenmiştir. Kimyasal bir yöntemle platin toz haline getirilmekte, bu toz çok yüksek basınçta sıkıştırılmakta ve sonra ısıtılmaktaydı. Böylece tozlar masif bir kütle haline gelmekteydi. 1826 da Rusya' da tedavüle çıkarılan platin para, TM' nin ilk endüstriyel tatbikatı olmuştur.

Eğer döküm zorlukla ve önemli kayıplarla yapılıyorsa ve dökümle elde edilen malzemenin sıcakta dövülmesi imkansızsa, metelsel tozlardan itibaren direkt olarak, yani sinterlemeden sonra işlenmelerine lüzum kalmayan parçaların ekonomik olarak imali mümkündür. Ayrıca sinterlenmiş malzemenin yapısı dökümle elde edilmiş parçanın yapısına nazaran daha ince, mekanik özellikleri de daha iyidir.

TM' nin avantajları, fiziksel ve mekanik özelliklerin iyileşmesi (tane büyüklüğü, boşluk olmaması, çekme mukavemetinin artması, iyi işlenme kabiliyeti v.s.), imalatta iktisat, kayıpların azlığı ve ham maddenin iyi değerlendirilmesidir (Ersümer, 1970).

Makine parçalarının çalışma ömürleri, aşınmaya karşı direnci yüksek olan malzemelerin üretilmesiyle artırılabilir. Makine hasarlarının analizi, parçaların bozulmalarının % 75' inin sürtünen yüzeylerin aşınması sonucu olduğunu göstermektedir. Yüzeylerin ömürlerinin uzaması için, malzemelerin aşınmaya karşı direncinin artırılması gerekmektedir.

Aşınma zorlamasının yüksek olduğu ve yağlamanın yeterli olmadığı durumlarda aşınmaya karşı dirençli ve sürtünme katsayısı düşük malzeme seçilir. Bu amaçla kullanılan malzeme gruplarından biri de metal-seramik kompozitlerdir (Hiçyılmaz, 1999).

Bu çalışmada, seramik katkılı Al-MAK' ların aşınma özellikleri araştırılmıştır. Anayapı, saf Al ve Cu tozlarından meydana gelmektedir. Sırasıyla 26,2 µm ve 63 µm tane büyüklüğüne sahip Al ve (Bakır) Cu tozları, 10µm tane büyüklüğüne sahip olan SiC ve Boronkarbür (B<sub>4</sub>C) seramik tozları ile belirli oranlarda karıştırılmış ve azot atmosferi altında sıcak preslenmiştir. Elde edilen kompozitlerin iç yapısı, mekanik özellikleri, sertliği, aşınmaya karşı davranışları araştırılmıştır.

## **1.1. TM Teknolojisi**

TM yönteminin amacı, mekanik olarak fiziksel ve kimyasal yöntemlerle metal ve metalik alaşımların tozlarını üretmek ve tozlardan ergitmeden basınç ve sıcaklık

yardımıyla iş parçası üretmektir. Sinterleme denilen bu ısı işlem toz partiküllerin birbirine bağlanmasını sağlayarak, malzemenin mekanik mukavemetini arttırmakta ve daha dayanıklı malzeme elde edilmesini sağlamaktadır.

Yapılan araştırmalarda TM' nin M.Ö. 3000 yıllarına kadar uzandığı saptanmış ve dünyanın bir çok yerinde metal tozu uygulaması izlerine rastlanmıştır. 1903-1905 yılları arasında, Wolfram (W) ve Molibden (Mo) sinterleme ile endüstriyel imalatı gerçekleştirilmiştir. W' in ergime sıcaklığı 3400 °C, Mo' in ki 2600 °C civarındadır. Çok yüksek ergime sıcaklıklarından ötürü ergitme ve döküm yöntemi ile bu iki metalden tel ve levha üretiminde karşılaşılan zorluklar TM yöntemiyle ortadan kaldırılmıştır (Ersümer, 1970).

## **1.2. Metal Tozu Üretim Teknikleri**

Metal tozlarının üretiminde çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Yöntemlerin seçimi tozu üretilecek malzemelerin özgül özelliklerine bağlı olarak tayin edilmektedir. Değişik yöntemlerle elde edilen tozlar arasında, tane büyüklüğü ve dağılımı, tane şekli, kimyasal özellikler ve fiyat açısından fark vardır. Bu yöntemlerden bazıları; 1)Mekanik üretim yöntemleri, 2)Elektrolitik ayrıştırma yöntemi, 3)Kimyasal yöntemler, 4)Atomizasyon yöntemidir.

Mekanik yöntemle toz üretiminde, daha çok kimyasal bağları zayıf, kayma sistemi az olan karışık kristalli yapılara sahip malzemeler ile çok sert ve gevşek olan metal alaşımları ve seramikler kullanılmaktadır. Kırılgan malzemelerin ince olarak öğütülmesinde daha çok bilyalı öğütücüler kullanılmaktadır.

Elektrolitik ayrıştırma yöntemi ise genellikle saf metal tozu üretmek için kullanılır. Bu yöntemle üretilen tozlar %99,99 ve üzeri saflıktadır ve en çok bakır tozu üretilmektedir. Fe, Ni, Co vb. bir çok metalin tozu elektrolizle üretilmektedir. Kimyasal yöntemlerde ise çeşitli kimyasal toz üretme yöntemleri vardır. Bunlar; 1)Doğrudan indirgeme, 2)Karbonil yöntemi, 3)Çökeltme yöntemleridir. Doğrudan indirgeme, yer kabuğunda bulunan cevherden doğrudan metal tozu üretmektir. W,

Ti, Mo gibi elementlerin tek üretim yöntemidir. Karbonil yöntemi özellikle Ni tozu için geliştirilmiş bir yöntemdir. Nikeloksit, Karbonmonoksit ile reaksiyona sokularak Nikel Karbonil( $NiC_4O_4$ ) gaz, halinde elde edilir. Karbonil molekülleri  $43\text{ }^\circ\text{C}$ ' de yoğunlaştırılarak sıvı hale getirilir. Daha sonra sıvı buharlaştırılarak katı Nikel haline gelir. Demir, bakır, krom, platin ve kobaltın tozları da bu yöntemle üretilmektedir. Çökelme metotlarıyla, bir sıvıdan; çeşitli nitrat, sülfat ve kloritlerden metal tozları çökeltiler. Bir gazdan; gaz ile çökelme reaksiyonları reaktif metal tozlarının üretilmesi için uygundur.

Atomizasyon yönteminde, ergimiş haldeki sıvı metal pota dibindeki dar bir kesitten çıkarken, metal kolonu üzerine, su buharı, basınçlı hava veya başka bir gaz ceryanı gönderilir. Metal kolonu ayrılarak katılaştır ve toz haline gelir. Bu yöntemde elde edilen tozların tane boyutu, ergimiş metal kolonu üzerine gönderilen dağıtıcı hızının basıncına bağlıdır. Basınç arttıkça ergimiş metalin pülverizasyonu artacak ve daha çok sayıda zerrelere ayrılacaktır. Böylece daha ince taneli tozlar elde edilecektir. Yüksek metal sıcaklığı, uzun soğutma zamanı, pülverize edilmiş metal zerrelere damlacık oluşma aşamasını tamamlamasını sağlayarak küresel taneli tozların elde edilmesini mümkün kılacaktır. Hızlı soğumada ise, ergimiş metal zerrelere, damlacık oluşum aşamalarını tamamlamadan katılaşacağından karmaşık şekilli tozlar elde edilir. Metal tozu üretimde kullanılan başlıca atomizasyon yöntemleri ; 1)Gaz jeti atomizasyonu, 2)Su jeti atomizasyonu 3)Santrifüj atomizasyonudur.

### **1.3. Toz Tane Boyutu Ölçüm Teknikleri**

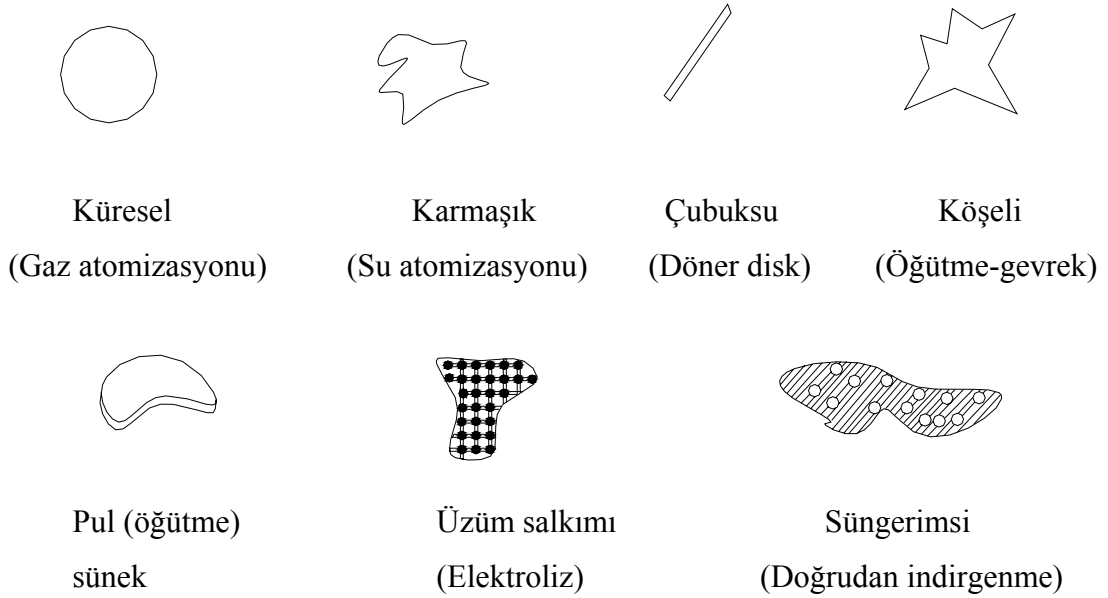
Toz Tane boyutu ölçüm teknikleri olarak; 1) Elek Analizi, 2) Mikroskopik Yöntem, 3) Sedimantasyon, 4) Işık Hüzmesi gibi yöntemler kullanılmaktadır.

Elek analizi, tozların tane büyüklüğünün  $38\text{ }\mu\text{m}$ ' den büyük olması durumunda kullanılabilen bir yöntemdir. Birim alandaki mevcut delik sayısı eleği karakterize eder. Işık hüzmesi, akışkan, birbirinden ayrılmış taneciklerle birlikte detektör sisteminin önünden geçer. Kırılan ışığın şiddeti, tanecik çapıyla ters orantılı olarak

değişmektedir. Kırılan ışığın şiddeti ve açısal bilgilerinin bilgisayar ile analizi, hızlı tane boyutu ölçüm olanağı sağlar. En çok kullanılan çeşidi 1 ile 2000  $\mu\text{m}$  aralığıdır (Sarıtaş 1994).

#### 1.4. Toz şekli

Toz şekli üretim yöntemlerine bağlıdır. Toz şekilleri şekil 1.1' de gösterilmektedir. Toz yüzeyi alanı, toz şekli ve toz büyüklüğüne bağlıdır. Küresel tozlarda toz çapı küçüldükçe 'ölgül yüzey alanı' artar.



Şekil 1.1. Metal toz şekilleri

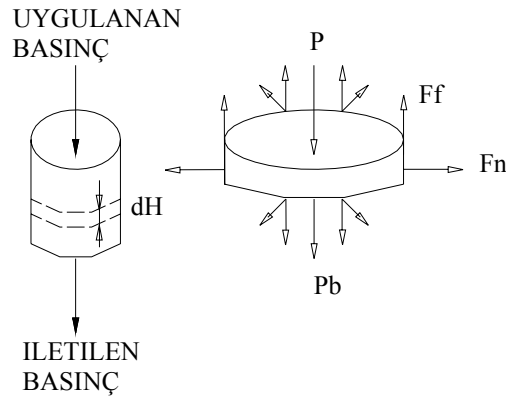
#### 1.5. Toz akış hızı

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

## 1.6. Sıkıştırılabilirlik

Tozların belirli bir basınçtaki yoğunlukları olan görünür yoğunluk, genel olarak 700 MPa basınçtaki yoğunluk olarak kabul edilmektedir. Toz şekli, toz büyüklüğü, yüzey alanına bağlıdır.

Tozun sıkıştırılması esnasında karşılaşılan zorluklardan birisi, kalıp duvarları ile toz taneleri arasında meydana gelen sürtünmedir. Bu sürtünme uygulanan basıncın, tozun kalıp içindeki derinlik mesafesiyle azalmasına neden olmaktadır. Tozların sıkıştırılmasında basınç-mukavemet-yoğunluk ilişkilerini etkileyen çok sayıda önemli tane özellikleri vardır. Bunlar iç ve dış fiziksel özellikler olmak üzere, sertlik, gerilme sertleşmesi, yüzey sürtünmesi gibi malzeme özellikleri, tanecikler arası kimyasal bağ, toz tane boyutu, şekli, yağlama ve sıkıştırma yöntemi özellikleridir (Hiçyılmaz, 1999).



Şekil 1.2. Çapı D ve yüksekliği H olan, silindirik kalıp içerisindeki tozların sıkıştırılması

Silindirik tozun içerisinde sonsuz küçük yüksekliğe sahip toz ele alındığında, bu toza etki eden kuvvetlerin dengesinden,

$$\sum F = 0 = A(P - P_b) + U \cdot F_n$$

Burada,  $F_n$  : Kap duvarı tarafından toza uygulanan kuvvet

$P$  : Uygulanan basınç

$A$  : Kesit alanı

$P_b$  : Uygulanan  $P$  basıncı ile elemanın içinden tabanına iletilen basınç

Etkili presleme için ortalama sıkıştırma gerilimi

$$\sigma = (1 - 2UZH/D) \text{ ' dir.}$$

Etkili presleme için ortalama gerilim yaklaşık olarak

$$\sigma = (1 - 4UZH/D) \text{ ' dir.}$$

### 1.6.1. Tozların Sıkıştırılması

Tozlardan parça üretilmesi çeşitli yöntemlerle olabilir. Şekil 1.3' de TM işlem akış şeması gösterilmektedir.

Şekil 1.3. TM işlem akış şeması



### 1.7. TM Uygulamaları

Eğer döküm zorlukla ve önemli kayıplarla yapılıyorsa ve döküm ile elde edilen malzemelerin sıcakla dövülmesi imkansızsa TM yöntemleri ile, sinterlemeden sonra, talaş gerektirmeden, son presleme ile malzeme istenilen boyuta getirilmektedir. Böylece malzemenin tasarruf sağlamak ve talaşlı imalat maliyetini ortadan kaldırarak parçaların ekonomik olarak üretilmesi sağlanmaktadır.

Sinterlenmiş sert metal alaşımları, ergime sıcaklıkları yüksek karbürler ve birleştirici rolü oynayan kobalt grubundan bir metal veya metaller alaşımından meydana gelen sinterlenmiş mamullere denir. TM yöntemi ile üretilen sert metallerin %70' i kesici takımlarda %10' u madenleri delme aletleri, %10' u tel çekme matris ve maddelerinde, %10' u aşınmaya dayanıklı takımlarda kullanılmaktadırlar .

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

Elektrik fırçaları ince bakır ve grafit tozlarının karıştırılarak kalay çinko ve kurşun ilave edilmesi ve karışımın preslendikten sonra redükleyici bir atmosfer içinde sinterlenmesiyle imal edilmektedirler.

Toz metal yataklar ise TM' nin en önemli uygulama alanlarından birisidir. Yatak elemanında gözenekler yağ deposu görevi yaparlar. Gözenekli yataklar bronz, alüminyum veya demir alaşımları halinde üretilirler.

Tozdan son şekle hiçbir talaşlı imalat gerektirmeden geçildiği için TM teknikleri yumuşak magnetik malzemelerin ve mıknatısların üretimin de büyük ekonomi sağlamaktadır. Kutup parçaları, röle göbekleri ve bilgisayar yazıcıları gibi yumuşak

magnetik malzemeler demir, demir silikon, demir-fosfor ve demir-nikel alaşımları tozlardan üretilmektedir .

Bu gruba gözenekleri birbirine bağlı olan filtreles, alev engelleyiciler, damperler vb. girmektedir. En çok bronz, paslanmaz elik, nikel titanyum ve alüminyum tozları kullanılmaktadır.

Diş dolgu amalgamlarının önemli bileşeni gümüş esaslı metal tozlarıdır. Kalay ve bakır da kullanılır (Sarıtaş, 1994).

### **1.7.1. TM Teknolojisinde Al Alaşımları**

Hafif metalleri TM endüstrisinde kullanım alanı açısından en çok yeri, Al parçaları almaktadır. Al,Ti, Be' un sahip oldukları üstün fiziksel ve mekanik özelliklerinden dolayı, TM endüstrisinde kullanım alanı oldukça geniştir. Birim ağırlıktaki yüksek mukavemet, aşınmaya karşı direnç, iyi yüzey kalitesi ve başka üstün özelliklerinden dolayı Al/TM parçaları, makine ve otomobil endüstrisinde ve alet teknolojisinde kullanılmaktadırlar. Pahalı olan ve uzun zaman gerektiren Al döküm, ekstrüzyon ve talaşlı imalat yöntemlerine göre Al/TM yöntemlerinin ekonomikliği ve bazı üstün fiziksel ve mekanik özelliklerinden ötürü kullanım alanı gittikçe artmaktadır.

Anayapı malzemesi olarak hafif oluşlarından dolayı tercih edilen ve önemli lde mekanik ve korozif özelliklerin iyileşmesini sağlayan Al alaşımlarına  $Al_2O_3$ , SiC,  $SiO_2$  gibi sert seramik partiküllerinin ilave edilmesiyle elde edilen kompozit malzemelerin özellikle abrazyon aşınma direnci artmaktadır (Hiçyılmaz, 1999).

Al' un en önemli özelliği, özgül ağırlığının küçük olması ve böylece hafif metaller sınıfına girmesidir. Kolayca oluşan koruyucu oksit tabakasından dolayı, havanın ve çeşitli kimyasal maddelerin etkilerine dayanıklıdır. Elektriği ve ısıyı iyi iletir. Çok yumuşak ve sünek olduğu için, soğuk şekil verilmesi kolay, talaş kaldırarak işlenmesi güçtür. Al' un erime sıcaklığı düşüktür. Döküm işlemi için saf Al yerine

genellikle alaşımları tercih edilir. Mukavemet değerleri Si, Fe, Ti, Cu, Zn gibi yabancı elemanların etkisiyle artar.

Sıvı Al' un, gazları ve özellikle hidrojeni çözme eğilimi çok fazladır. Bu nedenle 800 °C' nin üstünde uzun süreli eritme yapılmamalıdır. Çözünmüş gazların ayrışması için, eriyiği düşük döküm sıcaklığında bekletmekte yararlıdır. Ancak tamamen gözeneksiz bir döküm elde etmek için, eriyik içine çoğunlukla klor gazı verilir. Cl, mevcut gazları ve ayrıca oluşturduğu klorürler yardımıyla oksit parçacıklarını yüzeye sürükleyerek giderilmelerini sağlar. Bunun dışında sıvı Al' a Ti ya da B bileşiklerini katılarak küçük taneli yapı elde edilebilir.

Dövme Al alaşımları, Cu, Mg, Mn, Zn, Si ve Ni gibi elemanlar içerirler. Çok defa sürekli döküm yoluyla elde edilerek, içindeki yabancı eleman kümeleşmesi azaltılmış olan bloklar, homojenleştirme tavından sonra 480-550 °C' de preslenir (Güleç, 1985).

#### **1.7.1.1. Al-Cu Alaşımlarına Uygulanan Çökelme Sertleşmesi Yöntemi**

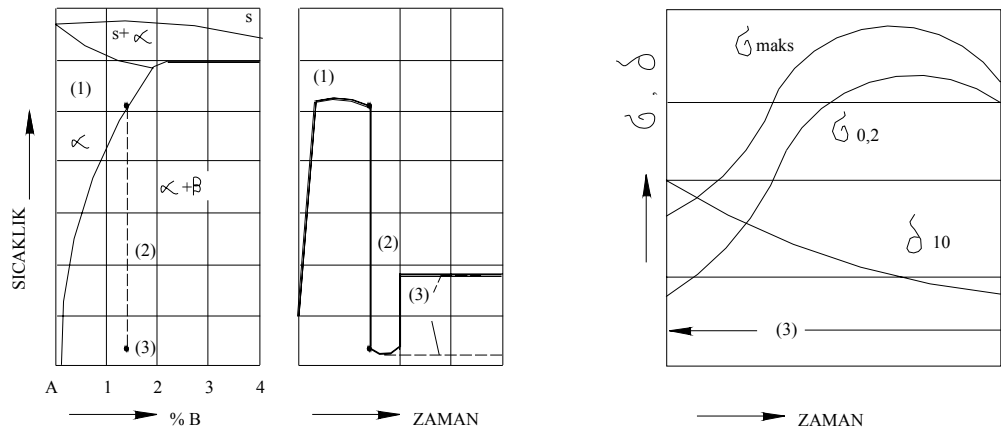
Çökelme sertleşmesinin amacı, çökecek fazı içeren aşırı doymuş tek fazlı katı bir çözelti elde etmektir. Bunun için yaşlanabilir bir alaşım önce solvüs eğrisinin üzerindeki bir sıcaklığa ısıtılmaktadır ve bu sıcaklıkta yapıda yer alan II.faz (örneğin  $\beta$ - fazı),  $\alpha$ -katı fazı içinde tamamen çözününceye kadar tutulmaktadır. Yapının tümü tamamen  $\alpha$ ' ya dönüştükten sonra alaşım aniden soğutulmaktadır. Ani soğuma,  $\alpha$ -fazı içerisinde II.fazın çökmesine izin vermez ve aşırı doymuş  $\alpha$ -katı çözeltisi elde edilmektedir. Çökelen faz tanecikleri ne kadar küçük, yapı içinde ne kadar sık ve homojen olarak dağılmışlar ise mukavemette o kadar artmaktadır.

Al alaşımlarında katı çözeltiler alma sıcaklığı tipik olarak 465 °C ile 565 °C sıcaklıkları arasındadır. Çözelti alma sıcaklığı, alaşımın ergimesine yol açmayacak şekilde seçilmelidir. Çözelti alma sıcaklığı normalden düşük tutulduğunda II. fazın tamamen çözünmesi mümkün olmamakta ve malzeme yumuşamaktadır. Çözeltiye

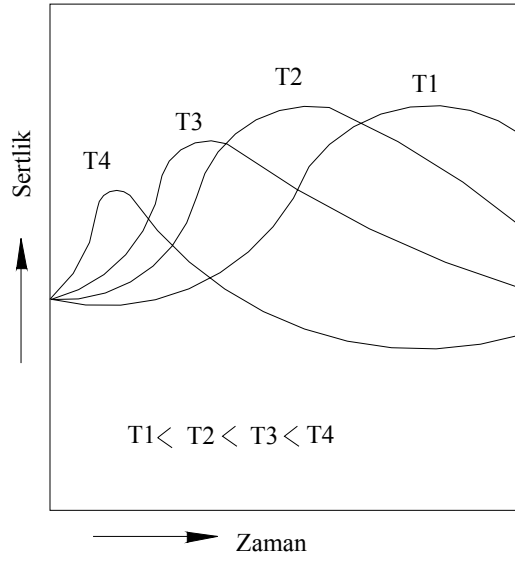
alma işleminde sonra, yaşlandırma işlemi doğal veya suni olarak yapılabilir. Aşırı doymuş  $\alpha$ -fazının içerisindeki  $\beta$ - fazının kısa süre içinde çökmesi için, yayınma hızını arttırmak amacıyla, suni yaşlandırma uygulanmaktadır. Suni yaşlandırma işlemi genellikle düşük sıcaklıkta uzun sürede yapılan bir işlemdir. İşlem  $115^{\circ}\text{C}$  ile  $190^{\circ}\text{C}$  sıcaklıklar arasında ve 5 ile 48 saat arasında değişen sürelerde gerçekleştirilir. Doğal yaşlanma ile, mekanik özelliklerde orta derecede bir gelişme kaydedilmektedir. Oysa, suni yaşlandırmada alaşıma daha yüksek bir mukavemet kazandırılmaktadır.

Yapılan araştırma sonuçları, çözültüye alma sıcaklığı arttığında genellikle akma ve çekme dayanımının arttığını fakat gerilmeli korozyon direncinin düştüğünü göstermiştir.

Çökme işleminden sonra, taneler içerisinde yer alan II.faz tanecikleri genellikle anayapıdan daha sert oldukları için deformasyon esnasında dislokasyon hareketlerini kilitlemekte ve çökeltilerin etrafında dislokasyon halkaları oluşmaktadır. Böylece dislokasyon yoğunluğu artmaktadır. Malzemede mukavemet ve sertliğin artmasının başlıca nedeni budur (Güven ve Delikanlı).



Şekil 1.4' da sertliğin, yaşlandırma süresi ve sıcaklığına bağlı olarak değişimini göstermektedir. Görüldüğü gibi (T) arttıkça yaşlanma çabuklaşır ancak elde edilen maksimum sertlik azalmaktadır.



Şekil 1.5. Sertliğin yaşlanma zamanı ve sıcaklığına(T) bağlı olarak değişimi

Belli bir sıcaklıkta tav süresinin gereksiz uzatılması,  $(\alpha+\beta)$  denge yapısının meydana gelmesine ve dolayısıyla sertliğin azalmasına sebep olur. Bu Aşırı yaşlanma olayıdır.

Çökeltme sertleşmesi demir dışı metallerin alaşımlarına ve özellikle Al alaşımlarına uygulanmaktadır. Bununla beraber karbonlu ve nikelli bazı çeliklerde, nisbeten yumuşak olan ‘demir-nikel martenziti’ elde ettikten sonra bu martenzitik yapıyı yaşlandırarak çok yüksek mukavemet ve tokluk özelliklerine ulaşmak mümkündür(Maraging=Martenzit+Yaşlandırma). %0,03 C, %18 Ni, %7-9 Co, %3-5 Mo, %0,1-0,8 Ti bileşimi maraging çelikleri için bir örnek olarak verilebilir.

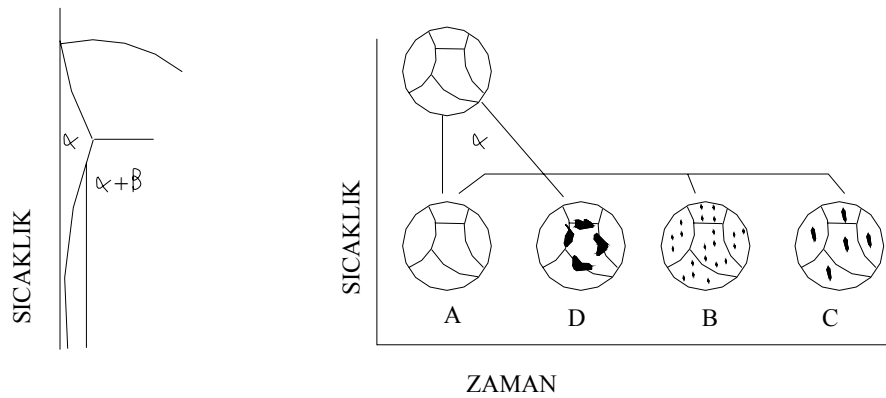
Isıl işlemler fırında yapılır. Sıvı ortam olarak, yüksek alevleme noktalı veya oksitlenmeye dayanıklı yağ(<200 °C), erimiş kurşun (350-900 °C) ve erimiş tuzlar (160-1350 °C) kullanılabilir. Bu banyolar iş parçasının hava ile temasını keserek koruyucu görev yaparlar. Parçaların çabuk ve uniform tavlanması sağlarlar.

Isıl işlem sonunda iş parçası, varılmak istenen amaca göre fırında veya fırın dışında gaz(hava) , yağ ve suda(sırasıyla artan hızlarla olmak üzere) soğutulur. Gerektiğinde yüksek sıcaklıktaki parçalar ilk önce daha düşük ve sabit sıcaklıktaki yağ, kurşun yada tuz banyolarına daldırılıp, yeteri kadar bekletildikten sonra havada soğutulur.

Böylece, buharlaşma noktası yükseltilerek sıcak parça ile sıvı arasında ısı iletimini güçleştiren buhar kabarcıklarının oluşumu hafifletilir.

Cu ve alaşımlarında Cu' ın en önemli özelliği, elektrik ve ısıyı çok iyi iletmesi ve korozyona dayanıklı olmasıdır. Soğuk şekil vermeye çok elverişlidir. Ayrıca 650 °C' nin üzerinde kolaylıkla sıcak şekil verilebilir. Süneklik ve tokluğunu alçak sıcaklıklarda da kaybetmez. Talaş kaldırarak işlenmesi güçtür. Döküm kabiliyeti iyi değildir (Güleç, 1985).

Yaşlandırma uygulamalarında, aşırı doymuş katı eriyiklerin içinde, faz çökelmeleri başlangıcında önemli bir sertlik artışı görülmektedir. Uygulamada çökeltmenin başlangıcı sertliğin artması ile fark edilmiştir. Bu sertleşme zamanla oluştuğu için yaşlanma sertleşmesi veya çökme sertleşmesi adını almaktadır. Bir alaşımın yaşlanarak sertleşebilmesi için şart, alaşım elementi eriyirliğinin sıcaklık ile beraber azalmasıdır ki bu halde aşırı erimiş katı eriyik elde edilir. Yaşlanma ile sertleştirmede önce eritme işlemi yapılır ve ondan sonra su verilir ki aşırı katı eriyik oluşsun. Genel olarak, çökeltme hızının çok yavaş olduğu bir sıcaklığa su verilmektedir. Çökeltmenin kısa sürede oluşması için, su verildikten sonra alaşım ortalama bir sıcaklığa ısıtılmaktadır. Şekil 1.6' da  $\alpha_A$  ve  $\alpha_B$  kademeleri yaşlanarak sertleşmeyi göstermektedir.



Şekil 1.6. Yaşlanma ile sertleşme olayı Al- % 5,65 Cu alaşımı

$\alpha$ : Katı eriyik

$\alpha$ A: Su verilmiş, katı eriyik saklı

$\alpha$ B: Yaşlanmış, çökme başlamıştır

$\alpha$ C: Aşırı yaşlanma, çökelmeler büyümüştür

$\alpha$ D: Tavlama, gren hudutları çökmesi

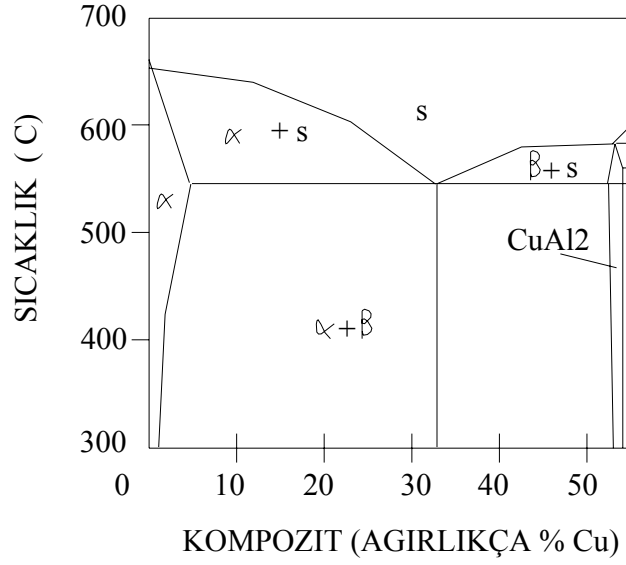
Aşırı doymuş atomlar, belli kristal düzlemleri boyunca toplanma eğilimleri göstermektedirler. Bu eriyiklerdeki Cu atomlarının(eriyecek) toplanması, diğer taraflardaki Cu yoğunluğunu azaltır, daha az aşırı doymuş ve dolayısıyla daha kararlı bir kristal yapısı oluşur.

Bu durumdaki bakır atomları henüz fark edilebilecek bir faz yapmamışlardır. Cu atom sınırlarının iki tarafındaki iki yapı arasında atom bağları vardır. Dislokasyon hareketinin bu düzensiz alanlarda bu sınırlardan geçmesi zordur ve bu sebeple metal sertleşmekte ve yüksek gerilimler altında deformasyona daha dayanıklı olmaktadır.

Aşırı yaşlanmada bölgesel toplanma olayı uzun süre devam ederse gerçek bir çökme ve aşırı yaşlanma veya yumuşama oluşmaktadır (Callister, 1997).

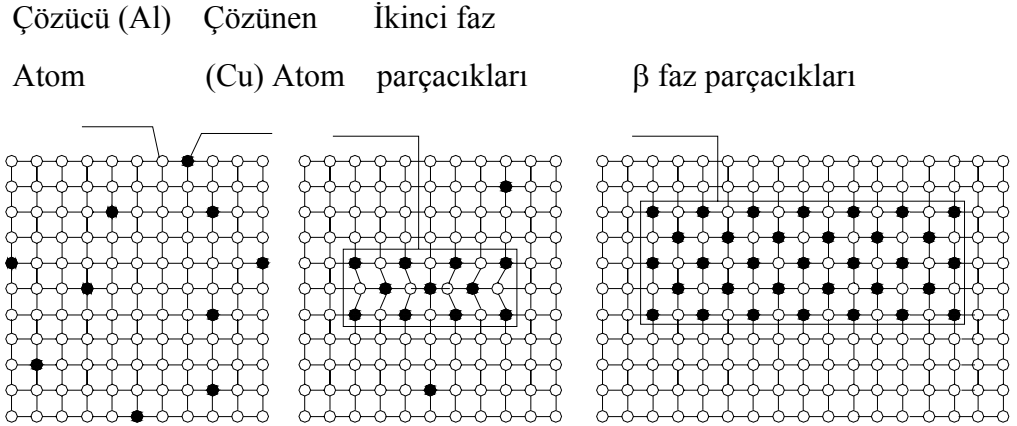
Şekil 1.7' de, Al-Cu faz diyagramı görülmektedir. Ötektik sıcaklıkta(548,2 °C, veya 1018,8 °F), ağırlıkça %5,65 Cu, Al içinde çözünmektedir. Daha düşük sıcaklıklarda, Al katı çözeltilisinde kalan Cu miktarı, denge şartları altında, %1' den daha düşük oranlara da sıcaklığına ulaşarak açıkça azalmaktadır. Bu, çökme sertleşmesinin tipik bir şeklidir. Eğer bu alaşımlardan herhangi biri katı solüsyon fazının yakınında veya içindeki sıcaklıklarda homojenize edilirse, bunların daha düşük sıcaklıklarda yaşlanmayla mukavemetleri artırılabilir (Asm Handbook, volume 3).

Yaşlandırma mekanizmalarından çökme sertleşmesi, genellikle Al alaşımlarının mukavemetini arttırmak için kullanılmaktadır. Sertleştirme mekanizması, Al alaşımları için geniş olarak çalışılmıştır.



Şekil 1.7. Al' ce zengin Al-Cu faz diyagramı

Bir Al-Cu alaşımı için, ağırlıkça Al-%4 Cu bileşimi. İlk sertleştirme bölümü sırasında, bakır atomları küme halinde toplanmaktadır. Bunlar yalnızca bir veya iki atom kalınlığında ve aşağı yukarı 25 atom çapındadırlar.



Şekil 1.8. Denge çöktelisinin  $\beta$  fazının formasyonunda değişik bölümlerin şematik gösterimi. a) Aşırı doymuş  $\alpha$  katı solüsyon. b) Çökelme fazı( $\text{CuAl}_2$ ) c)  $\alpha$  ana yapı fazıyla birlikte  $\beta$  fazı.



İdeal olarak, çökeltme ısıl işlemi için sıcaklık ve zaman, cidarda maksimumun dayanıklılığı ve sertliği elde etmek üzere seçilmelidir. Al-Cu alaşımları için, çevredeki kristal kafes yapısının, plastik deformasyonlar esnasında, dislokasyon hareketlerine, bu distorsiyonlar etkili olarak engeldir, sonuç olarak alaşım daha sert ve güçlü hale gelmektedir.

Perçinler için kullanılan bazı Al alaşımları, bu davranışı göstermektedirler. Bunlar hala yumuşak iken kullanılmaktadırlar, daha sonra sertleştirme yaşına normal çevre sıcaklığında izin verilmektedir. Bu doğal yaşlanma olarak adlandırılmaktadır; suni yaşlanma yükseltilmiş sıcaklıklarda ortaya çıkmaktadır. Çökeltme sertleşmesi, hem mukavemet artırma teknikleri hem de ısı davranışı planlarını içermektedir (Callister,1997).

Al alaşımlarının ısıl işlemleriyle sağlanan değişik özelliklerinin nedeni, sertleştirme fazlarının erime ve çökelmeleridir. Birçok alaşım elemanlarının yüksek sıcaklıklarda katı Al' de erime özellikleri yüksektir. Bu durum Şekil 1.7' da Cu için. %5,65 Cu' lı bir Al alaşımı 548,2 °C' ye ısıtıldığında Cu' ın tümü eriyiğe girmektedir. Alaşım bu sıcaklıkta hızla soğutulursa aşırı doymuş hale gelerek denge şartlarında katı eriyikte tutabileceği miktardan hemen hemen %5,65 aşırı Cu tutar ve Al-Cu bileşik parçacıkları çöker. Bu nedenle Al alaşımlarının özellikleri çökme sıcaklığına bağlı olmaktadır.

Çökeltme ile sertleşme reaksiyonundan yararlanabilmek için önce aşırı doymuş bir katı eriyik meydana getirilmelidir. Bunu sağlayan işleme 'katı eriyik işlemi' adı verilir; alaşımın homojen bir katı eriyik sağlayacak sıcaklığa ısıtıldıktan sonra birdenbire soğutulmasından ibarettir.

Bu işlem esnasında ilk ötektik ergime sıcaklığının aşılmasına dikkat edilmelidir; öte yandan alt limit tam erimenin yer aldığı sıcaklığın üzerinde olmalıdır. Şekil 1' deki %5,65 Cu-Al alaşımında bu noktalar sıra ile 547 °C ve 535 °C' tir. Fakat üretim şartları altında 537-545 °C bölgesi kullanılır; böylece ötektik ergimesine karşı 2 °C' lık, artan erime ve difüzyon hızlarına karşı da düşük limitte 2 °C' lık bir tampon

bölge sağlanmış olur. Tipik katı eriyik işlem sıcaklık bölgelerinin ötektik ergime sıcaklıklarına yakınlığı çizelge 1.1' de üç alaşım için gösterilmiştir.

Çizelge 1.1 Tipik katı eriyik işlem sıcaklık bölgelerinin ötektik ergime sıcaklıklarına yakınlığı

Ötektik ergime noktası aşıldığı takdirde tane sınırlarında ergime başlamakta, malzeme gevrek ve kullanılamaz hale gelmektedir. Bu tehlikeli durum genellikle gözle veya malzemeyi etkilemeyen testlerle görülemez.

Mekanik özelliklere veya korozyon direncine zararlı olabilecek çökelmelerden kaçınmak için katı eriyik işlemi esnasında meydana getirilen katı eriyik, oda sıcaklığında aşırı doymuş bir eriyik oluşturmak üzere hızla soğutulmalıdır; bu, daha sonraki çökme ve sertleştirme işlemleri için optimum şarttır ve genellikle parçaların soğuk suya daldırılmaları ile sağlanmaktadır.

Su verme esnasında büyük çapta çökme olmaması için önce, numunenin 260-400 °C bölgesine soğumaması için fırından, su verme ortamına numunenin taşınması yeteri kadar hızlı olmalıdır.

Pratikte su verme işlemi normal olarak azami su verme gecikmesi(parçanın fırından su verme ortamına getirilişine kadar geçen süre) ve azami su sıcaklığı ile kontrol edilmektedir. Birinci faktör parçanın transferi esnasındaki soğuma hızını kontrol etmekte ve yüksek dayanımlı alaşımlarda parça 400 °C sıcaklığa düşmeden önce tamamiyle su verme ortamına daldırılması esasına dayanmaktadır. İkinci faktör ise en kritik bölge olan 400-260 °C bölgesinde soğuma hızını kontrol etmektir.

400-260 °C bölgesinde soğuma hızı, ürünün hem dayanım ve hem de korozyon özelliklerini büyük çapta etkilemektedir. Korozyon dolayısıyla çekme dayanımı kaybı, 200 °C/sn den büyük soğutma hızlarında minimuma inmektedir. Buna göre kritik bölgede soğuma hızının 200 °C/sn' den daha düşük olmaması gerekmektedir. Soğutma esnasında parçaya sürekli ve sabit bir gerilme uygulandığında, düşük soğutma hızlarındaki direnç kaybının etkisi çok büyüktür.

Parçaların fırından, su verme aşamasına taşınmaları elle veya otomatik olsun, transfer süresi azami su verme gecikmesini aşmamalıdır. Su verme işlemi sonunda, dövme ve döküm parçalar dışındaki üretim için, suyun sıcaklığı 38 °C' yi aşmamalıdır. Bu şart hem daldırmadan önceki su banyo sıcaklığını ve hem de daldırılan kütlenin su hacmine oranını kontrol etmektedir (Çiğdemoglu, 1972).

Al alaşımlarının dizaynındaki amaç, mukavemeti, sertliği, aşınma direncini, yorulmayı arttırmaktır. Bu özellikler üzerindeki etkiler alaşımlama elementlerinin değişik kombinasyonlarına bağlıdır (ASM Handbook, Cilt:2).

#### **1.7.1.2. Al Alaşımlarında Kullanılan Yağlayıcılar**

Alüminyum tozları için kullanılacak yağlayıcılar ile ilgili yapılan araştırmalar, nem ve kül oranı düşük organik yağ asitleri ve mumların iyi performans sağlayan yağlayıcılar olduğu ortaya çıkmaktadır. Yağlayıcı miktarının ağırlıkça %1-2 arasında olması, tozların zımbalara yapışmasını ve kalıp duvarlarına soğuk kaynak olmasını önleyerek, yüksek yoğunluklu TM parçalarının üretilmesini sağlamak üzere yeterli olmaktadır.

#### **1.7.1.3. Al Tozlarının Sıkıştırılması**

Al/TM parçaları düşük basınçlarda sıkıştırılmaktadırlar. Her çeşit sıkıştırma cihazına adapte edilebilmektedirler. Al tozları sadece 165 MPa' lık bir sıkıştırma basıncı uygulanarak % 90 teorik yoğunluğa, 340 MPa' lık sıkıştırma basıncında %95 teorik yoğunluğa ulaşmaktadır. Al tozlarının kolay sıkıştırılabilir olması, TM parça

üreticilerine daha geniş yüzey alanına sahip parça üretme olanağı sağlamaktadır (Hiçyılmaz, 1999).

Tozun kalıplanması genellikle basınç altında yapılmaktadır. Presleme genellikle oda sıcaklığında özel şekilde hazırlanmış çelik matrislerde yapılmaktadır. Tozun plastik özelliklerine göre 1,33 ila 13,33 N/cm<sup>2</sup> arasında değişen basınç tatbik edilmektedir. Sinterlenmiş cisimlerin fiziksel özellikleri üzerinde yapılan araştırmalarda ise bazen 40 N/cm<sup>2</sup>'ye kadar ulaşan basınçlar kullanılmıştır. Soğukta preslemede genellikle basıncın bir veya daha çok doğrultuda tatbik edilmesini sağlayan hidrolik presler veya mekanik presler yer almaktadır.

Sıcakta presleme veya basınç altında sinterleme soğuk presleme ve sonra sinterlemeye nazaran daha az pratiktir. Bu usul, tozların bir matris içine yerleştirilerek sıkıştırılmış parçaların sinterlenmesi esnasında basınç tatbik edilmesinden ibarettir (Ersümer, 1970).

#### **1.7.1.3.1. Al Tozlarının Sıkıştırılmasında Görülen Olaylar**

Al tozlarının sıkıştırılmasında görülen olaylar şöyle sıralanmaktadır:

1-Toz partiküllerinin yüzeyleri genellikle gayri muntazamdır. Dolayısıyla karşılıklı temas yüzeyi çok küçük olmaktadır.

2-Tozların saflığı imalat şekline göre çok değişmektedir; ayrıca partiküller havada çok moleküllü oksit ve gaz tabakalarıyla kaplanmaktadır. Bu ise çekme kuvvetlerinin tesirini engellemektedir.

3-Ergime ile elde edilen bir metal yüzeyini çevreleyen atom tabakasının yapısı, içinde bulunan bir kristalin dış tabakasınınkinden genellikle tamamen farklıdır. Ayrıca taneler arasındaki birim hakiki temas alanına tekabül eden yapışma kuvveti ve ergime ile elde edilmiş bir metal kristalitlerin arasındakinden farklı ve genellikle küçüktür.

Metalsel bir tozdan, basınç tesiri altında katı bir cisim elde edebilmek, basınç yardımıyla yüzeysel kuvvetlerin hiç olmazsa bir kısmından faydalanmak demektir. Fakat bu gibi hallerde mekanik mukavemet çok küçüktür. Buna sebep yukarda izah edilen üç faktörün tamamen yok edilmemesidir. Preslemenin etkileri şöyle sıralanabilir:

- 1-Toz partiküllerinin toplam temas yüzeyi, karşılıklı yaklaşma sonucu artar.
- 2-Basınç tesiri altında, bir çok taneler birbirleriyle sürtünür. Bu ise bir çok noktada oksid ve gaz tabakalarının yüzeylerinin temasını sağlar.
- 3-Toz tanelerinin karşılıklı sıkıştırılmaları çok kısa süreli lokal sıcaklık yükselmelerine sebep olarak atomların temas yüzeyinde yeni ve kısmi bir organizasyon sağlanır(atom hareketleri, sıcakta birleşme).

Presleme esnasında iki ideal durum düşünülebilir. Elastik deformasyon ve plastik deformasyon.

Birinci durumda, tozun ideal elastikliğine ilave olarak, toz mümkün olduğu kadar ince ve çok muntazam, basit şekilli, parlak yüzeyli partiküllerden ibarettir. Presleme tek taraftan, çelik bir matris içinde, ortalama bir basınçta yapılmaktadır. Basınç yavaş yavaş artmaktadır. Bu ideal şartların gerçekleşmesiyle, basınç kalıp içinde, sıvı içindeki hidrostatik bir basınç gibi, muntazam olarak dağılmaktadır. Böylece maksimum sıklık elde edilmektedir. Çekme kuvvetleri, toz partiküllerinin atomsal temasta oldukları noktalara tesir ederler. Presin hareketli pistonu civarında yoğunluk daha büyüktür. Kalıbın titreşmesi de bir avantaj teşkil etmektedir. Partiküllerin tuğla gibi üst üste yığılmalarının iyi olmadığı yerlerde, bilhassa bazı partiküller basıncı bir kubbenin taşları gibi taşınıyorsa, bu kubbe altında bir çok boşluk vardır. Yoğunluğun bu gayrı muntazamlığı göz önüne alınmazsa, yukarda izah edilen ideal presleme usulünde toz partikülleri hiçbir plastik deformasyona maruz kalmazlar. Bu çok basit limit bir hal olduğundan, hiçbir sıvı faz görülmediği kabul edilirse, sonradan yapılacak ısıtma esnasında ortaya çıkacak sinterleme olayları da çok basit olacaktır.

İkinci limit hal yukarıdakilere zıt şartlarda görülmektedir. Toz partikülleri kaba, yüzeyleri gayri muntazam, kompleks, toz çok plastik ve basınç çok yüksekte, partiküllerin tuğla gibi muntazam olarak dizilmesiyle sıklıkta muntazam bir artış sağlanamamaktadır. Elemanter partiküllerinin plastik deformasyonu daha önem kazanmaktadır, yoğunluğun artması partiküllerin birbirlerine yaklaşabilmelerine bağlıdır. Partiküllerin biribirine yapışması, çekme kuvvetlerinin bazı noktalarda değil, fakat bölgelerde tesir etmesiyle ve hacimli parçaların kaba olarak tuğla gibi dizilmeleriyle elde edilmektedir. Bütün bunlardan, bu gibi cisimlerin yüksek mekanik mukavemetlerinin sebebi anlaşılmaktadır.

#### **1.7.1.3.2. Al Tozlarının Preslenmesi Esnasındaki Fiziksel Özelliklerin Değişmesine Etki Eden Faktörler**

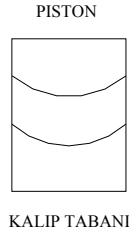
Basıncın tatbik şekli, dış kuvvetin şekline, tozun mahiyetine, tanelerin şekil ve büyüklüğüne, gaz mevcudiyetine, matrisin şekil ve boyutlarına, toz miktarının matris hacmi ile oranına, basıncın tatbik şekline ve bazı ilave maddelerin mevcudiyetine bağlıdır. Bütün bu faktörler, tatbik edilen basıncın noktadan noktaya değişmesine sebep olmaktadır. Bilhassa tozun partikülleri muntazam olmayıp sıkıştırma esnasında birbiri üzerinde sürtünmesiz olarak kaymadıklarından maksimum kompakt bir cisim elde edilemez. Nispeten yüksek olan parçaların preslenmesinde, kalıp cidarlarının etkisi bilhassa görülmektedir. Hidrostatik sıkıştırma şartlarının sağlanması, çok az miktarda toz kullanılmakla mümkündür. Basınç tek taraftan tatbik edilirse, piston civarındaki partiküller diptekilere nazaran daha kuvvetli birleşmektedirler. Önce aynı düz bir kesitte bulunan partiküller, preslemeden sonra(şekil 1.9) deki gibi bombeli bir alan üzerinde bulunurlar. Yoğunluğun, üst kısmında çevrede, alt kısmında ise, merkezde daha büyük olduğu görülür.

Sert alaşımlardan yapılmış matrislerin kullanılması da, sürtünmeyi ve tozun matris cidarlarına yapışmasını azaltır.

R

R

R



Şekil 1.9. Önce düz bir kesitte bulunan partiküllerin, preslemeden sonraki durumları

Sıkıştırılmış parçanın basit bir muayenesi, çok gözenekli bir nötr bölgenin mevcudiyetini ortaya koyar. Bu bölge, numunenin yan dağılımının eşit olmamasıdır. İki eşit ve zıt yönde basınç kullanıldığı takdirde nötr bölge sıkıştırılmış parçanın ortasındadır. Metal tozun sürtünmesi ve matris cidarına yapışma eğilimi ne kadar büyük ise nötr bölge o kadar kendini gösterir. Sıkıştırılmış tozlarda yoğunluk dağılımı eşit olmadığından ve bu eşitsizlik basınç yükseldikçe arttığından; son sinterlemede parça kendini ne kadar çok çekerse yoğunluk o nispette artmaktadır. Preslemenin sebep olduğu yoğunluk farklarının sinterleme esnasında önemli derecede kaybolmaktadır. Bu ise, iki yönden sıkıştırılan silindirlerin kendilerini çektiklerini göstermektedir. Bu olay sinterleme işleminden parçanın işlenmesine lüzum göstermemesi istendiği takdirde bilhassa önem kazanmaktadır.

Partiküllerin birbiri üzerinde kaymasını kolaylaştıran ve yoğunluk bakımından daha muntazam parçaların elde edilmesi istenildiği takdirde, sinterlenmiş malzemenin fiziksel ve kimyasal özelliklerine kötü tesir etmemek şartıyla, mineral veya organik cisimler ilave edilebilmektedir. Bu cisimler sonradan buharlaşmaktadırlar.

İlave edilen maddeler basıncı azalttıkları gibi zor preslenen tozların preslenebilme özelliklerini de iyileştirmektedirler. İlave edilen maddeler basıncı azalttıkları gibi zor preslenen tozların preslenebilme özelliklerini de iyileştirmektedirler. İlave edilen maddeler buharlaşıp uçtuklarından, son bir sıkıştırma yapılmadığı takdirde küçük gözeneklerin ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. Sıkıştırmayı kolaylaştıran maddeler; su, alkol, aseton, eter, benzol, benzin v.b. Bu ilaveler mümkün olduğu kadar az ve mutlaka %1' den küçük olmalıdır (Ersümer, 1970).

#### 1.7.1.4. Alüminyum tozlarının sinterlenmesi

Alüminyum tozlarının sinterlenmesinde araştırmacılar yıllardır çeşitli zorluklarla karşılaşmışlardır. Çünkü;

1- Alüminyum tozları, ne şekilde imal edilirlerse edilsin daima oksit filmleri ihtiva eder. Alüminyum oksit, erime noktasının altında indirgeyici gazlar altında indirgenememektedir.

2-Çoğu zaman iç yağlayıcılar, katı sinter bağları engelleyen çökeltme ürünleri meydana getirirler.

Al/TM alaşımlarının çoğunun sinterlenmesi, ham yoğunluğa ve alaşım kompozisyonuna bağlı olarak 595°C ile 625°C arasında yapılmaktadır. Bu değer, demir esaslı alaşımların sinterleme sıcaklığının yarısı ve bakır alaşımlarının ise 2/3'üdür. Sinterleme zamanı 15-30 dak. arasında değişmektedir. Yüksek sinterleme mekanik özelliklerinden dolayı, sinterleme atmosferleri içerisinden daha çok azot tercih edilmektedir (Hiçyılmaz, 1999).

#### 1.8. KOMPOZİT MALZEMELER

Kompozit malzemeler, iki veya daha fazla malzemenin kullanım yerindeki aranan özellikleri verebilecek daha uygun bir malzeme oluşturmak için birleştirilmesi sonucu elde edilen malzemedir.

Kompozit malzemeler örneklerini doğadan almış olup çok uzun kullanım tarihine sahip olmamakla birlikte çok eskiden beri kullanılmaktadır. Çam ağaçları, kerpiçler kompozit malzemelere örnektir. Sanayide kullanılan kompozitler ise cam fiber reçine (polyester), tungsten, molibden takviyeli Al, karbon çelik fiber takviyeli plastiklerdir.

Kompozit malzemeler çoğunlukla, anayapı ve destekleyici olmak üzere iki bileşenden meydana gelmektedir. Kompozit malzeme üretimi ile malzemelerin



dayanım, korozyon direnci, aşınma direnci, estetik özelliği, ağırlığı, yorulma ömrü, sıcaklığa bağlı davranışı, ısı yalıtımı, termal iletkenlik, ses yalıtımı gibi özellikleri geliştirilebilmektedir.

Kullanım yerine ve özelliklerine bağlı olarak gereksinim duyulan özellikler arttırılmaktadır. Uygun kompozit malzemeler seçilmektedir.

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

Kompozit malzemelerin dezavantajları araştırıldığında en büyük dezavantajının diğer malzemelere oranla daha pahalı olduğu görülmektedir. Bu da malzemelerin yeni olmaları ve dolayısıyla üretim yöntemlerinin yerleşmemiş ve üretimlerinin yüksek üretim oranlarına erişememiş olmalarından kaynaklanmaktadır. Kompozit malzemelerin ticari olarak kullanımı son yıllarda büyük oranda artmaktadır. Uzay yapıları, anten, uçak, motor kutuları, ana girişler, kapılar, kanat boşlukları, ara gövde, piston kolları, akü plakaları, motor fırçaları, pil plakaları, protezler, tekerlekli sandalyeler, ortopedik araçlar, tenis roketleri, olta çubukları, bisiklet ve gövdeleri, mekikler gibi alanlarda kullanılmaktadırlar.

### **1.8.1. Kompozitlerde Kullanılan Ana Yapılar ve Takviye Elemanları**

Anayapı malzemeleri polimerlerden metallere ve seramiklere kadar çok geniş bir alanı kapsamaktadır. Desteklenmiş plastiklerin %80'i polyesterlerdir. Ancak üstün performans gerektiren uygulamalar için epoksiler ve polimidler kullanılmaktadır. Polimerler ana yapı bileşik gereçler kolay imal edilebilir, hafif ve oldukça bol destekleyici içerdiklerinden daha fazla tercih edilirler.

Son yıllarda plastiklerin yetersiz kaldığı uygulamalarda matriks olarak yapılmakta ve iki veya daha fazla bileşenden meydana gelmektedir. Sandviç ve tabakalı

kompozitler tamamen tabakaların birbirine bağlanması ile meydana gelmiş anayapısız kompozitlerdir. Kompozit üretiminde kullanılan reçineler pek çok elemanla takviye edilebilir. Plastik fiberler, metal veya hafif metal fiberler, doğal fiberler, grafit ve karbon fiberler ve cam fiberler en çok kullanılanlardandır.

### **1.8.2. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması**

Fiberli kompozitler, levhasal kompozitler, partikül kompozitler, doldurulmuş kompozitler, tabakalı kompozitler şeklinde genel bir sınıflandırılma yapılabilir. Kompozit malzemeler kullanılan anayapı malzemesine göre üç ana sınıfa ayrılabilirler. Bu sınıflar polimer, seramik, MAK' lardır.

Polimer anayapılı kompozitler, ucuz ve kolaylıkla çalışabilir malzemelerdir. Düşük elastik modüle ve düşük kullanım sıcaklığına sahiptirler. Genelde sürekli fiberlerde kullanılırlar. Bunlardan en önemlileri sürekli fiberlerle takviye edilen polyster ve epoksi reçine matrisleridir. Polimerlerde kullanılan takviye malzemelerinden en önemli olanları; cam fiber, kevler fiber, boron fiber ve karbon fiberlerdir.

Seramik anayapılı kompozitler, çok sert ve kırılındırlar. Yüksek sıcaklıklarda bile yüksek elastik özellikler gösterirler. Düşük yoğunluk özellikleri vardır. Termal şok direncinin ve tokluğunun düşük olduğu malzemelerdir. Kullanımları sırasında ani hasar sergilediklerinden faciaya yol açacak özelliktedir. Seramik fiberleri ile takviye edilmesi durumunda ani kırılmalara karşı dayanımları artarken tokluklarının da artırılması amaçlanmıştır.

Seramik anayapılı kompozitlerin üretimleri iki aşamalı prosestir. Birincisi takviye malzemelerinin anayapı içine verilmesi ve ikincisi ise anayapının yoğunlaştırılmasıdır.

Üretim metotlarının bazıları viskoz infiltrasyon, sıcak presleme, sıvı infiltrasyon, toz metalürjisi içerisinde sayılabilen tüm metotlar, kimyasal reaksiyon, sol-jel ve polimer proliz metotlarıdır.

### 1.8.3. Kompozit Malzemeleri İşleme ve Biçimlendirme

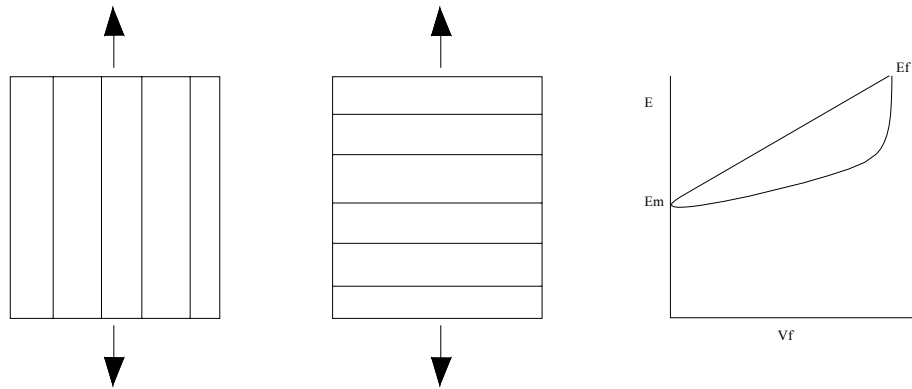
Kompozit malzemelerin yapımı destekleyicilerin istenen yönde yerleştirilmeleri ve anayapının bunları kaplayacak ve yapıştırarak şekilde doldurulmasıyla gerçekleşir. Kompozit malzemelerin talaşlı işlenmesi metallere göre zordur. İşleme zorluğunu destekleyiciler yaratmaktadır. Destekleyiciler kesicilerin aşırı aşınmasına neden olmaktadır.

### 1.8.4. Kompozitlerin Mekanik Özellikleri

Kompozitlerin elastik özelliklerinin bulunmasında şu varsayımlar yapılmaktadır:

- 1-Fiber matriks ve kompozitin elastik davranış gösterdiği,
- 2- Fiber matriks ara yüzeyinin mükemmel olduğu,
- 3- Fiberlerin uygulanan kuvvetle paralel olduğu,
- 4- Fiberlerin uniform dağılım gösterdiği kabul edilmektedir.

Kompozit malzemeyi oluşturan elemanlar elastik davranırlarsa kompozit malzemede elastik davranır. Kompozit malzemenin elastiklik modülü  $E_c$  destekleyici ile ana yapının elastiklik modülleri arasında bir değer alır. Destekleyicinin hacmi  $V_f$  elastiklik modülü  $E_f$  ana yapının hacmi  $V_m$  ve elastik modülü  $E_m$  ise kompozit malzemenin modülü  $E_c$  iki değişik şekilde hesaplanabilir.



Şekil 1.10. Kompozit malzemenin elastik modülleri; a) Eksenel elyaf, b) Tabakalı, c) Elastiklik modülünün hacim oranı ile değişmesi

1.Sürekli elyafın yük yönünde olduğu şekil 1.10' da kompozit malzemedeki ortalama gerilme

$$\sigma_c = \sigma_f \cdot V_f + \sigma_m \cdot V_m \text{ olur.}$$

Burada  $\sigma_f$  destekleyicideki  $\sigma_m$  ana yapıdaki gerilmedir. Yükün çok aşırı olmadığı hallerde destekleyici ve ana yapı aynı miktarlarda uzarlar. Bu durumda;

$$E_c = E_f \cdot V_f + E_m \cdot V_m \text{ olur.}$$

2.Kompozit malzeme tabakalı ve yükün tabakalara dik yönde şekil 1.10' da olduğu halde her elemandaki gerilme eşittir. Ve birim uzama farklı olur.

$$e_c = e_f \cdot V_f + e_m \cdot V_m$$

Burada  $e_f$  destekleyicideki  $e_m$  ana yapıdaki birim uzamalardır. Bu durumda;

$$E_c = \frac{E_f \cdot V_m}{E_m \cdot V_f + E_m \cdot V_m} \text{ olur.}$$

Kısa gelişigüzel fiber yapıları kompozitlerde elastiklik modülü karışım kuralından

$$E_c = K \cdot E_f \cdot V_f + E_m \cdot V_m \text{ dir. } K \text{ parametresi fiber hacim oranına}$$

ve  $E_f/E_m$  oranına bağlıdır ( $K < 1$ ).

### 1.8.5. Kompozit Malzemelerde Kritik Hacim Konsantrasyonu

Tek eksenli olarak takviye edilmiş kompozit malzemeler matriks ve liflerin tokluğuna (dövülebilirliğine) veya kırılma gerilmesine bağlı olarak yük arttıkça dört şekilde deforme olmaktadır.

- 1-Lifler ve matriks her ikisi beraber elastik deformasyona uğrar.
- 2-Lifler sürekli olarak elastik deformasyona uğrar. Fakat matriks plastik olarak deforme olur.
- 3-Lifler ve matriks her ikisi birlikte plastik deformasyona uğrar.
- 4-Kompozit malzeme içindeki lifler ve hemen ardından kompozit malzeme çok az bir deformasyondan sonra kırılırlar.

Kompozit malzemenin kırılması ya fiberin kırılması ile olur veya lifler ve matriksin izafi dövülebilirliğine bağlı olarak kırılırlar.

Eğer lifler kompozit içinde belirli bir minimum miktardan fazla hacimsel konsantrasyona sahip ise, gerilme sonucunda liflerin kendi gerilme limitlerine karşı gelen şekil değişikliklerine ulaştığında malzeme kırılır. Zira lifler anayapıdan daha kırılğandır. Anayapı kadar uzayamazlar. Böylece şekil değiştirme yönüyle lifler daha zayıf kalır.

İyi bir tokluk elde etmek için kompozitin sünek kırılma göstermesi gerekir. Sünek kırılmada kompozit kuvvet altında şekil değiştirir. Uzama belli bir değerin üzerinde olursa fiberler kırılır. Matriksin süneklığe bağlı olarak çatlak yayılmadan uzama devam eder. Kompozit malzeme yüzeyi incelendiğinde yüzeyin düzgün olmadığı görülür.

Fiberin kırılması veya çekilmiş halde bulunması fiberin uzunluğuna bağlıdır. Fiber çok kısa olursa kırılmaz. Matriksten çekilmiş halde bulunur. Fiber yeterli bir uzunluğa sahip ise fiber üzerinde yeterli gerilme oluşacağından fiber kırılır (Hiçyılmaz, 1999).

#### **1.8.6. Alüminyum Esaslı Yüksek Sıcaklık Kompozitleri**

Uçak endüstrisinde performansı yükseltme arzusu, Al esaslı alaşımların yükseltilmiş sıcaklıklardaki özelliklerini yükseltme isteği ve orta sıcaklık uygulamaları için Ti esaslı alaşımların yerini alabilecek alaşım bulma arzusu hızlı katılaştırılmış yüksek

sıcaklık Al-Fe-V-Si alaşımlarının gelişimine neden olmuştur. Bu alaşımlar 2000 ve 7000 Al alaşım serileri ile eşdeğer mekanik özelliklere sahip ve Ti-6Al+4V alaşımlar ile 650°K yaklaşan sıcaklıkla da, özgül mukavemet açısından rekabet edebilen düzeydedir. Aynı şekilde konvensiyonel Al alaşımlarının elastik modülü ve mukavemetini yükseltme isteği, süreksiz destekli Al ve sürekli elyaf destekli Al kompozitlerin gelişimine neden olmuştur. Bu malzemeler çok geniş üretim teknolojilerinden yararlanılarak 2000 veya 6000 Al alaşımları içerisine seramik tanecikler, saçaklar veya elyaf destekleyiciler konularak elde edilmektedir. Destekleyicili alüminyum kompozitlerin, konvensiyonel monolitik alaşımlara göre mukavemeti %15 ila 40 arasında artmaktadır.

### **1.8.7. Tanecik Destekleyicili Alüminyum Esaslı Yüksek Sıcaklık Kompozitleri**

Al-MAK' ların kullanımı çok spesifik uygulamalarda, uçak endüstrisi ve askeri silahlar gibi yüksek maliyet özelliklerine bağlıdır. Al-MAK' lar, piston, silindir gibi otomobil ürünlerinde de kullanılmaktadırlar. Al-MAK' lar için üretme teknikleri: 1- Sıvı faz süreci, 2-Katı faz süreci, 3-TM gibi sınıflara ayrılmıştır. Parçacık katkılı Al kompozitler sıvı faz yoluyla daha kolay üretilmektedirler. Ergitme karıştırma kalıp metodu ucuzdur.

MAK' lar de katkı fazlı malzemelerin birinci fonksiyonu, uygulanmış yükün çoğunu taşımaktır. Ana yapı, katkı fazlarını birbirine bağlamaktadır, iletmektedir ve bireysel katkı fazlarına dış yükleri dağıtmaktadır. Kompozitlerin özelliklerini düzeltme, katkı fazlı ana yapılarda yükün dağılımına ve transferine izin veren, parçacık katkılı ve sıvı Al- MAK' lar kalıplama esnasında önemli olmaktadır. Kompozitler arasındaki bağlar, karşılıklı birbirini eritme veya parçacıkların ve ana yapının reaksiyonlarıyla şekil alabilmektedirler (Shorowordi vd., 2003).

Yükseltilmiş sıcaklık uygulamaları için, hızlı katılaştırılmış Al-Fe-V-Si alaşım anayapısı içerisine, seramik tanecikleri katılarak, tanecik destekleyicili Al esaslı yüksek sıcaklık kompozitleri elde edilmektedir. Bu kompozitler özel toz harmanlama yöntemleri kullanılarak, seramik taneciklerinin 8009 alaşımı içerisine homojen olarak serpiştirilmesi ile üretilmektedir. Genellikle kullanılan karbid destekleyiciler

HfC, NbC, SiC, TaC, TiC WC ve ZrC' dir. Kullanılan SiC destekleyicinin ortalama tanecik boyutu 3 µm civarındadır. Tozların birleştirilmesi esnasında, birleştirme sıcaklığını, hızlı katılaştırılmış anayapının erime sıcaklığının altında tutmak için özel tedbirler alınmaktadır. Vakumda sıcak preslenen briketler, dövme veya ekstrüzyon ile test numunesine dönüştürülmektedir.

Çizelge 1.2' de MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>' ün seçilmesinin nedeni kübik kafes parametresinin yaklaşık olarak Al' un iki katı olmasıdır. Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, Al içerisinde termodinamik olarak karar olduğu ve potansiyel olarak ara yüzey reaksiyon bölgesi oluşturmak için Al ile reaksiyona girmediği için destekleyici olarak seçilmektedir. SiC, Al ile reaksiyona girdiğinden dolayı destekleyici olarak seçilmektedir. AlN, Al içerisinde doğal iç metalik bir form oluşturduğu, Al esaslı iç metalik bileşik için en yüksek elastisite modülü (290 GPa) gösterdiği için seçilmektedir. Diğer refraktör karbidlerin destekleyici olarak seçilmesinin nedeni, kübik kristal yapısına ve Al' dan yaklaşık %10 daha büyük kafes parametresine sahip olmasından dolayıdır (Hiçyılmaz, 1999).

Çizelge 1.2. Seramik tanecikli destekleyici içeren Al8009 anayapılı kompozit malzemelerin özellikleri

Katkılı faz ve ana yapı arasındaki kimyasal reaksiyon, yükün iç yüzeydeki transferine tesir edebilmenin yoludur ve açıkça kompozitin mekanik performansına tesir edebilmektedir.

Kaygan, ince, reaksiyon ürünlerinin devamlı katmanı iç yüzey bağ sertliğini arttırabildiği, katman kalınlık reaksiyonunun artması ve optimal değeri geçmesiyle kompozit sertliğinin düştüğü gözlenmiştir. Kolay kırılır (gevrek) reaksiyon ürünlerinin formasyonu, genleşmedeki belirgin azalmayla ana yapı sonucundaki zararların artmasına neden olmaktadır. Reaksiyon sırasındaki katkı fazlarının azaltılmasının önemli ikincil etkileri sıkça kompozisyonu, mikro yapıyı ve ana yapının özelliklerini değiştirmektedir (Kennedy vd., 2001).

$B_4C$ ,  $SiC$  ve  $Al_2O_3$ (Hacimce %0-20) katkı fazı içeren Al-MAK' lar, incelenmektedir. Karıştırma-kalıplama metodunun imalat yöntemini, sıcak ekstrüzyondan faydalanılması takip etmektedir. Al- $B_4C$  ve Al- $Al_2O_3$  iç yüzeylerinde, reaksiyon ürünü gözlenmemektedir. Kırılma yüzey analizlerinden,  $B_4C$  katkı fazlı Al kompozitinin diğer iki kompozite nazaran daha iyi iç yüzey sınırlarına sahip olduğu görülmektedir.

.Al- $SiC$  ve Al- $Al_2O_3$  kompozitleriyle karşılaştırıldığında, Al- $B_4C$  kompozitlerinin daha iyi parçacık dağılımı olduğu bulunmuştur. Al- $B_4C$  ve Al- $Al_2O_3$ ' te reaksiyon ürünü gözlenmezken, açık bir iç yüzey reaksiyon ürünü Al- $SiC$  yüzeylerinde kompozitlerde bulunmaktadır. Diğer iki kompozitle karşılaştırıldığında,  $B_4C$  katkılı Al kompozitleri daha iyi iç yüzey bağlarının olduğu tespit edilmektedir (Shorowordi vd., 2003).

Al- $SiC$  kompozitlerinin kırılma davranışında tepkimeye girmiş ara yüzeyin etkisi çalışılmaktadır.  $SiC$  parçacıkları ve ergimiş Al arasındaki çeşitli kompozitler hazırlanmaktadır. Kalın reaksiyon katmanları veya yüksek katkı fazlı konsantrasyonlar mukavemeti arttırmaktadır. Böylece kırılmaların daha zor meydana gelmesi sağlanmaktadır.



Ana yapı katkı fazlı ara yüzeyi MAK' lar da, kritik bir rol oynamaktadır. Parçacık katkılı MAK' lar da ara yüzey bağının doğası, ana yapının plastik akışına ve çekirdeklenme, büyüme ve anayapının içinde ki boşlukların birleşmesine etki etmektedir.

Bir kompozitte, ana yapının plastik akışı, katkı fazlı parçacıkların varlığıyla zorlanmaktadır. Kuvvetlice bağlanmış parçacıklarla, genleşebilirliğin azalması sonucu, ana yapının fiziksel deformasyonu azalmaktadır.

Düşük gerginliklerde tozların birleşmelere izin verme, azalmış genleşebilirlikle sonuçlanmaktadır. Anayapı ve kompozitin katkı fazlı tozları arasındaki kimyasal reaksiyonlar, ara yüzeyi bağının yapısı değiştirebilmektedir. Kimyasal reaksiyonlar, metal-seramik bağın kuvvetliliğini arttırmak ve kompozitin çoğu mekanik özelliklerini iyileştirmek üzere meynana gelmektedir. Al/SiC kompozitlerinde, SiC parçacıkları, sıvı Al ile Al karbid ve silikon şekli alma süreci sırasında reaksiyona girebilmektedir. SiC termodinamik olarak Al' un erime noktasının(660°C) üzerindeki sıcaklıklarda dayanıklı değildir. Al/SiC kompozitleri, sıvı faz teknikleriyle özellikle kullanılan yüksek sıcaklıkların sebebiyle tercih edilmektedirler.

Boşluk büyümesini önceden bilmek için bazı basit metotlar geliştirilmektedir. Whitehouse ve Clyne tarafından umut verici modellerden biri önerilmiştir. Onların modeli; katkı fazla, plastik akışta sınırlamaların olması ve katkı fazının varlığıyla ana yapının genleşebilirliğinin değiştirilmesiyle ilgilidir (Tham vd., 2003).

TM yöntemleriyle, toz metal katkılı parçacıklarla hazırlanmaktadır, preslemeyle, kutulama, ekstrüzyon ve SIP' lemeyle sıklık sağlanmaktadır.. TM ile ana yapı içinde katkı fazlıların homojen dağılımını sağlamak mümkündür.

Parçacık katkılı MAK' lar, katkısız alaşımlar üzerinde yükseltilmiş sertlik, ayrıca rijitlikte ve aşınma direncinde sağlam düzelmeler göstermektedirler. Parçacıklar iyi ve düzgün dağıldığında, genleşebilirlik ve mukavemet değerleri saptanabilmektedir. Anayapıya %30-40 SiC ilavesiyle sertlik artmaktadır. Örneğin, 6061 Al alaşımının

rijitliği 70' den 145 Gpa'a %40 SiC ilavesiyle artmaktadır. Bununla birlikte, genleşebilirlik, kırılma sertliği, şekil alabilirlik ve işlenebilirlik, katkı malzemelerinin artmasıyla ilgili olmaktadır. SiC tane boyutunu 100' den 1  $\mu\text{m}$ ' ye düşürmeyle, %20 SiCp katkılı 6061-T6 ana yapı kompozitin mukavemeti 421' den 571 Mpa' a artmaktadır. Katkı fazlı tozun boyutunu arttırmayla, işlenebilirlik yükseltilmektedir. Ayrıca Al alaşımının 7000 serisinde, parçacıklar arası uzaklığın azalmasıyla dayanıklılığın arttığı görülmektedir.

Ultrasonik dalgaların yayımı mikro yapı içindeki çeşitliliğe ve mekanik özelliklere duyarlı olduğu gözlenmektedir. Ultrasonik yayılmış dalgaların hızı, ana yapıya katkı fazı eklenmesiyle artmaktadır (Gür, 2003).

Al-SiC tabanlı, ağırlıkça %18 SiC içeren kompozitlerin, değişik karıştırma hızları kullanarak özellikleri araştırılmaktadır. SiC parçacıklarının ağırlıkça yüzdesindeki artış, poroziteyi ve mikro sertliği arttırmaktadır. Yoğunluklarının azalması, porozite seviyelerindeki artışa bağlı olabilmektedir. Karıştırma hızındaki artış, homojen bir iç yapıyı sağlamaktadır. Fonksiyonel eğilimli malzemelerin uçlarındaki değişik sertlik değerleri, SiC parçacıklarının ağırlık yüzdelerindeki artışa bağlı olabilmektedir (Nai ve Gupta, 2002).

### **1.8.8. Metal Anayapılı Kompozitler**

MAK' lar genelde iki bileşenden meydana gelmektedir. Destekleyici olarak B, Si, Karbür, C, Al ve W elyafı kullanılmaktadır. Anayapı olarak Al, Mg, Ti ve Ni alaşımları kullanılmaktadır (Kaya, 1999).

En homojen karıştırma yöntemi metalürji teknikleridir. Karbon elyafı destekli MAK' lar yüksek sıcaklık uygulamaları için geliştirilmişlerdir. 2800  $^{\circ}\text{C}$ ' ye kadar dayanımlarını kaybetmezler. Roket memesi ve atmosfer girişı parçaları olarak kullanılmaktadırlar. C kompozit malzemelerde sorun, yüksek sıcaklıkta oksitlenmeleridir.

Sürekli fiberlerle takviye edilmiş MAK' lar da hacim oranı % 70' lere kadar arttırılabilmektedir. Bu malzemelerin kullanım alanları daha ucuz ve kolay fiber üretim teknolojisinin gerektiği şekilde gelişmemesinden dolayı sınırlı kalmaktadır.

Son yıllarda MAK malzemelerin üretilmesinde ve daha pratik olarak uygulamaya aktarılmasında süreksiz olarak takviye edilmiş malzemeler tercih edilmektedir. Bu uygulamalara birkaç örnek vermek gerekirse; tenis racketleri, golf sopalarının kafaları SiCp/Al kompozitleridir. Piston, biyel kolu gibi otomobil motor parçaları Si CW Al ve Saffil Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kısa fiberleri Al kompozitlerinden yapılmaktadır.

MAK üretiminde kullanılan takviye malzemeleri temelde; sürekli fiberler, süreksiz fiberler, viskerler, teller, partiküllerdir. Bu malzemeler tipik olarak oksit, nitrit ve karbürler olarak sınıflandırılabilirler. Takviye edilen seramik malzemeler yüksek elastik modüle, düşük yoğunluğa, yüksek ergime sıcaklığına, düşük termal genleşme katsayısına sahip olmalıdır.

MAK üretiminde kullanılan anayapı alaşımları çok çeşitli olabilmektedir. Fakat Al ve alaşımları bu konuda ilk sırayı almaktadır. Bu alaşımların tercih edilmelerinin nedeni düşük yoğunluk ve ergime derecesine sahip olmaları ve bir çok seramik takviye malzemesini kolay ıslatabilmelerinden dolayıdır. Alüminyum saf olarak anayapı malzemesi amacıyla kullanıldığı gibi, alaşım olarak da düşünülebilir. Yüksek aşınma direnci ve düşük sürtünme için ticari Al-Si, düşük yoğunluk ve yüksek termal iletkenlik için Al-Mg ve Al-Cu alaşımı olarak değerlendirilmektedir. Al dışında en fazla kullanılan metal ve alaşımları şöyle sıralanabilir, Ti, Mg, Cu, Ni, Pb, Ag, Nb, bronz süper alaşımlar ve intermetaliklerdir.

MAK malzemelerinin en önemli üstünlüklerinden birisi de anayapı alaşımlarına göre daha yüksek sıcaklıklarda kullanılabilmesidir. Seramik takviye malzemesi ilavesinin anayapı alaşımının yüksek sıcaklık mukavemetini arttırdığı ve anayapı alaşımına göre kullanılan seramik takviye malzemesinin düşük yoğunluğundan dolayı kompozitinde yoğunluğunun düştüğü tespit edilmektedir.

Örneğin bir MAK malzeme türbin motoru olarak kullanılacaksa diğer yüksek sıcaklık motor malzemelerine göre özelliklerinin optimal olarak geliştirilmesi lazımdır. Kompozit performansının geliştirilmesi için en önemli anahtar parametreler, mukavemet-ağırlık oranı veya spesifik mukavemettir. MAK' ların mekanik özelliklerin dışında, oksidasyona karşı direnci ve darbe tokluğu özelliklerinin daha iyi olabileceğidir. Ancak bu konuda MAK malzemelerin belli dezavantajlarının da göz önüne alınması gerekir. Bu dezavantaj genelde MAK malzemelerin, anayapı alaşımlarından daha düşük tokluğa sahip olmalarından ileri gelmektedir. MAK malzemelerde ikinci önemli özellik yorulma özellikleridir. Jet motorlarının kompres kanatları gibi özellikle yüksek sıcaklık çevrimlerinde kullanılan yüksek sıcaklığa maruz kompozitlerde metal yorulması yıkıcı bir özellik sergilemektedir.

Bu duruma bir örnek, termal çevrimin bir neticesi olarak sürekli W fiberlerle takviye edilen süper alaşımların yorulma ömürlerinin kısıllığı nedeniyle kullanılmamalarıdır. MAK' lar bazı dezavantajlarına rağmen hala yüksek sıcaklık malzemesi olarak seramik matriks malzemelerden daha fazla ve güvenilir olarak kullanılmaktadır. Bunun en önemli sebebi de metal bilimi ve teknolojisinin seramiklerden çok daha ilerde olmasıdır (Hiçyılmaz, 1999).

Kullanılan parçanın büyüklüğü ve düzgün dağılımı MAK' ların imalinde kullanılan yöntemle bağlıdır. Parçacıkla kuvvetlendirilmiş MAK' lar tarafından özellikleri kontrol eden ana faktörler; üretim yöntemi, katkı fazlı kompozitler, anayapı alaşımları, katkı fazlı büyüklükler, katkı fazlı dağılımdır. Özellikler ikiye ayrılabilir; Tip A, Tip B.

Tip A özellikleri yoğunluk, termal genleşme ve esneklik katysayısını içermektedir. Bu parametreler direk olarak katkı fazlı tozların kırılma hacmine bağlıdır. Alaşım, imalat yöntemi, büyüklük ve katkı fazlı dağılımının küçük bir etkisi vardır.

Tip B' nin özellikleri sertlik, kırılma sertliği, şekil alabilme, işlenebilirliktir. İç yapı, anayapı alaşımının karışık bir özelliğidir.

MAK' ların üretim yöntemleri iki kategoriye ayrılmaktadır;

1-Katı faz(TM ve dağılım bağları içeren)

2-Sıvı faz

Genellikle sıvı metali elde etmek diğerlerinden daha ucuz ve diğer tozları elde etmekten daha kolaydır. Değişik şekillerde üretilebilir ve döküm teknolojisinde katkı fazlı metaller için kullanım metotları gelişmiştir. Karıştırarak dökme yönteminde partiküller erimiş metal banyosu içinde harekete geçirilir, daha sonra katıya soğutulur. Metalin daha fazla çalışmasında, mesela sıkıştırmada, dağılımın kalitesini ve baskıya boyun eğen külçe yapısını ispat etmek için kullanılmaktadır. Püskürtmeyle, karıştırarak dökmeden daha düzgün bir dağılıma sahip olunmaktadır. Üretim parametrelerinin tam olmayan kontrolü ve ergimiş metal ve katkı fazlı toz arasındaki istenmeyen kimyasal reaksiyonlar sonucu sıvı faz yöntemleri, yeniden üretilemezler.

#### **1.8.8.1. Katkı Fazlı MAK Parçacıklarının Mekanik Özellikleri**

MAK' lar içinde 10  $\mu\text{m}$ ' den 200  $\mu\text{m}$  büyüklüğe kadar olan parçacıkların dağılımını içeren metal anayapının içeriği olarak tanımlanmaktadırlar. MAK' lar da sertleşme mekanizması yöntem esnasındaki plastik deformasyon yüksek dislokasyon yoğunluğuna bağlıdır.

Seramikle katkı fazlı malzemenin ve anayapının termal genişmesinin geniş farklar tarafından farklı termal anlaşmasının sonucu olarak dislokasyonların meydana gelmektedir. Al' nin termal genişmesi SiC' den 10 kat daha büyüktür.

#### **1.8.8.2. MAK Üzerindeki İmalat Tekniklerinin Etkisi**

Parça büyüklüğü, düzgün dağılımların ortaya çıkması, katkı fazlı toz ve metalin doğası, ana yapıdaki ayırım, MAK üzerindeki imalat tekniklerinin etkisidir. TM

teknikleri büyük fleksibillik ve yüksek özellikler sunar fakat yüksek maliyete sahiptirler.

### **1.8.8.3. Ana Yapı Karışımları**

Katkı fazlı alaşımlar, MAK' lar da yüksek sertlik vermektedir. %20 SiC ile alaşımları, katkı fazsız alaşımlara göre daha güçlü özellikler vermektedirler. Katkı fazlı alaşımlarda, mukavemet açıkça artmaktadır. Bu iki olaydan kaynaklanmaktadır. Dislokasyon yoğunluğu ve ana yapı tane büyüklüğü. Katkı fazının iyileştirilmesi dislokasyon yoğunluğunu arttırmakta ve sıcaklık durumlarını takip eden ana yapı tane büyüklüğünü vermektedir (Kaya, 1999).

### **1.8.8.4. Toz Metalurjisi Metal Ana Yapılı Kompozitler**

TM teknolojileri, MAK' ların hepsinin üretimi için kullanılabilir. İyi fiber dağılımları ve çoklu yoğun anayapı iç yapıları ortaya çıkarılabilir, fakat anayapı özelliklerini iyi olarak ortaya çıkarmanın ve üretimde liflerin bozulmasından kaçınmak zordur. Katkı fazlı MAK' ların parçacıklarının yapılması için TM rotaları ortak metottur.

İstenmeyen reaksiyonları en aza indirmekle, düzeltilmiş mekanik özellikler saptanabilir. Bazı durumlarda, TM teknikleri eritme metalürjisiyle hazırlanamayan kompozitlerin hazırlanmasına izin verecektir. TM/Al alaşımları, çoğaltılmış mekanik ve fiziksel özelliklerle beraber çeşitli imalat teknikleri tarafından üretilmektedir (Kaya, 1999).

### **1.8.8.5. MAK Malzemelerin Mühendislik Uygulamaları**

MAK' lar çok sayıdaki yapısal uygulamalarda kullanılmaları için iyi bir potansiyele sahiptirler. Ancak metal alaşımları ile karşılaştırıldıklarında, mukavemet-elastisite modül kazanımın yüksek maliyete üstün geldiği uygulamalar dışında MAK' ların kullanılmaları yüksek maliyetten dolayı sınırlandırılmıştır.

MAK üretimin ana amacı anayapı alaşımının mukavemet ve elastisite modülünü arttırmaktır. Bununla beraber anayapı alaşımları çok değişik varyasyonlardan dolayı değişik esneklik katsayıları, mukavemet ve termal genleşme katsayıları vererek istenen malzemelerin üretilmesini sağlamaktadırlar. En önemli özelliklerinden biri ise aşınma dirençlerinin çok iyi olmasından dolayı aşınma uygulamalarında yaygın olarak kullanılabilirlerdir.

#### **1.8.8.6. MAK Malzemelerin Üretim Yöntemleri**

MAK' ların üretilmesinde çok değişik sayıda üretim metodu geliştirilmiş olmasına rağmen bu üretim yöntemlerini: TM, difüzyon, ekstrüzyon çekme ve döküm yöntemleri olarak dört ana gruba ayırmak mümkündür. MAK' ların en ucuz ve en kolay üretim metotlarından olan döküm ile kompozit üretimin olanakları araştırılmaktadır. MAK' ların üretimi için en çok tercih edilen döküm yöntemleri aşağıdaki gibidir.

1)Sıkıştırma döküm, 2)Kompozit döküm, 3)Atomizasyon ve püskürtme şekillendirme, 4)Basıncılı infiltrasyon, 5)Pelet metodu, 6)Vorteks metodu, 7)Santrifüj yöntemleri, 8)Ultrasonik titreşim, 9)Metalik köpük yöntemi, 10)Yönlenmiş katılma (Hiçyılmaz, 1999).

##### **1.8.8.6.1. Sıkıştırma Döküm**

Sıkıştırma döküm tekniği, en önemli ve en pratik yöntemlerden birisidir. Yapılan araştırmalarda sıkıştırma döküm ile elde edilen MAK malzemelerin ucuz olarak elde edilebilmesinden dolayı, ileride en çok kullanılacak üretim yöntemi olacağı ifade edilmektedir. Sıkıştırma döküm yöntemi, herhangi bir metalin basınç altında katılmasıdır. Bu yöntemle hemen hemen her tipte takviye malzemesi kullanılarak MAK malzeme üretilmesi mümkündür. Takviye malzemesi verilen bir kalıp içine yerleştirilir. Döküm sıcaklığına çıkarılmış sıvı metal belli bir sıcaklığa ısıtılan takviye malzemesi üzerine dökülür. Katılma tamamlanmaya kadar sıvı metal

üzerine yüksek miktarda basınç uygulanır. Basınç altında katılaştırma ile takviye malzemesi ile anayapı metali arasında ara yüzey bağ mukavemeti oldukça olumlu etkilenmektedir.

Sıkıştırma dökümde uygulanması gereken basınç miktarı 50-150 MPa aralığındadır. Bu kadar yüksek miktardaki basınç, fiber ve anayapı arasındaki sürtünme kuvvetlerini yenmek için gerekmektedir. Katılma süresince uygulanan basınç seviyesinde ince taneli, porozitesiz ve pürüzsüz yüzeye sahip malzemeler elde edilebilir. Yalnız yüksek basınçtan dolayı takviye malzemesine mekanik bir hasar verme ihtimali vardır.

#### **1.8.8.6.2. Kompozit Döküm**

Partikül, visker veya süreksiz fiberler ile takviye edilen MAK' lar bu yöntemle üretilmektedir. Sıvı-katı aralığında şiddetli bir şekilde karıştırılan bir alaşım, bünyesinde % 60 kadar sıvı içerdiği durumda karıştırma sebebiyle dendrit kolları kırılmakta ve alaşım akışkanlığı artmaktadır. Sıvı-katı bölgesinde karıştırma ile seramik takviye elemanları alaşıma verilmektedir. Seramik fiber veya partiküllerin alaşıma ilave edilmesinden dolayı sonra alaşım ya yarı sıvı-katı halde geleneksel döküm sıcaklığına çıkıp döküm gerçekleştirilir. Bu teknik kullanılarak % 8 kadar kaplanmamış grafit partikülleri, % 2-30  $Al_2O_3$  SiC partikülleri, % 15' e kadar SiC fiberleri veya viskerleri ve %23' e kadar  $Al_2O_3$  fiberleri başarılı bir şekilde anayapı metaline verilebilmektedir. Sistemin en önemli dezavantajı sıkıştırma dökümdeki gibi basınç altında katılaştırmaya gereksinim duymasıdır. Aksi halde yüksek oranlara varan poroziteli malzemeler elde edilmesi kaçınılmaz hale gelmektedir.

#### **1.8.8.6.3. Atomizasyon Ve Püskürtme Şekillendirme**

Gaz atomizasyonu ile sıvı metal damlacık haline getirilir. Damlacıklar katılma fırsatı bulmadan bir kalıpta biriktirilirler. Başka bir nozuldan azot gazı ile seramik tanecikler de kalıba püskürtülürler. Böylece atomize hale gelen metal-partiküller



homojen olarak bir alt kalıpta birikir. Sistemin en önemli dezavantajı takviye malzemesi ile anayapı arasında porozitelerin bulunabilmesidir.

#### **1.8.8.6.4. Basıncılı İnfiltrasyon**

Vakum uygulanmış bir kalıba gaz basıncı altında sıvı metali doldurmaya dayanmaktadır. Uygulanan basıncın vakumla desteklenmesi sebebiyle hem uygulanacak basınç miktarı düşürülmekte ve hem de porozitesiz kompozitler üretilmektedirler.

#### **1.8.8.6.5. Pelet Metodu**

Önceden sıkıştırma döküm gibi herhangi bir yöntemle hazırlanan peletler sıvı metale yedirilir. Hazırlanan peletler anayapı metali ile aynı bileşime sahip olan metal ile yüksek orandaki (%50-60) takviye malzemesinden meydana gelmektedir. Peletler hazırlanmadan önce takviye malzemeleri genelde Ni veya Cu gibi metallerle kaplanırlar. Kompozitler tekrar ergitilip dökülebilirler. Yöntem ucuz ve pratik bir yöntemdir. Tek dezavantajı ise hazırlanan peletlerin tabakalar halinde oksit içerebilmesidir.

#### **1.8.8.6.6. Vorteks Metodu**

Ergitilen anayapı metalinin içine daldırılan bir karıştırıcı yardımıyla oluşturulan vorteks içine seramik takviye malzemeleri kontrollü olarak verilerek MAK malzemeler elde edilir. Genelde partikül takviyeli MAK üretimi için uygun olmasına rağmen kısa fiber visker takviyeli kompozitlerin üretilmesi de mümkündür. Kompozit dökümden tek farkı ilavelerin daha yüksek sıcaklıklarda gerçekleştirilmesidir. MAK üretim yöntemleri içinde en ucuzu ve en kolayıdır. Karıştırma ve ilavelerin kontrollü atmosferde yapılması şarttır. Proses parametrelerinin iyi kontrol edilmediği durumlarda porozite oranı % 30' lara bile çıkabilmektedir.

#### **1.8.8.6.7. Santrifüj Yöntemleri**

Herhangi bir simetrik parçanın üretilmesi durumunda santrifüj döküm olumlu sonuçlar vermektedir. Metalin santrifüj kalıbına aktarılması esnasında metalle beraber kalıba kontrollü bir şekilde, bir enjeksiyon tabancası ile püskürtülür.

#### **1.8.8.6.8. Ultrasonik Titreşim**

Ergitilmiş metal, yüzeyi aktif olan partiküllere çok şiddetli titreşim uygulayarak emdirilmeye çalışılır. Özellikle Al kaplanmamış grafit partikülleri için uygulaması olan bir sistemdir. Bir banyoda grafit partiküllerinin yüzeyleri ultrasonik vibrasyon banyosunda temizlenir. Yüzeye absorbe olmuş empürite oksit tabakası ve gazlardan arındırılmış olur. Daha sonra yerçekimi ile yüksek hızdaki titreşimlerle metalin grafit partiküllerine nüfuz etmesi sağlanır. Yüksek vibrasyondan dolayı partikül-sıvı metal ara yüzeyindeki boşluklar dışarı atılır.

#### **1.8.8.6.9. Yönlenmiş katılaşma**

Yönlendirilmiş olarak katılaştırılan ötektik kompozitler üzerindeki çalışmaların çoğu nikel ve kobalt esaslı alaşımlar üzerinde olmuştur. Örneğin( $Al_3Ni-Al$  ve  $Al-Al_2Cu$ ) bu metotla TaC visker takviyeli NiTi süper alaşımı ile uçakların motor türbin bıçakları üretilmektedir (Hiçyılmaz, 1999).

### **1.8.9. Toz Metalurjisinde Metal Ana Yapılı Kompozitlerin Üretim Basamakları**

#### **1.8.9.1. Karıştırma ve Alaşımlama**

Harmanlama ile aynı metalin, aynı kimyasal özelliklere sahip farklı tane boyutundaki tozlarını karıştırmak olarak ifade edilmiştir. Karıştırma ile ise, farklı kimyasal özelliklerdeki tozları birleştirmek kastedilmiştir. Harmanlama, sıkıştırma öncesi, tozların tane boyutu dağılımının kontrolünü sağlamak için kullanılır. Örneğin sinterlemeyi kolaylaştırmak için kalın taneli tozların içerisine ince taneli tozların

belirli oranlarda katılması istenebilir. Kaba taneli tozlar daha iyi sıkışma özelliği gösterirken kötü sinterleme özelliğine sahiptirler. Yeni kompozisyonlar elde etmek için farklı kimyasal özellikteki tozlar karışım haline getirilir. Bazı TM parçalarının üretiminde, alaşım formülasyonları elde etmek için elementel toz karışımları kullanılır. Yükselmiş gerilme sertleşmesi oranından dolayı önceden alışıma haline getirilmiş tozları sıkıştırmak elementel tozların belirli oranlarda karıştırılması ile elde edilmiş karışım tozlarının sıkıştırılmasına göre daha zordur. Harmanlama ve karıştırma işlemlerinin olumsuz etkileri de vardır. Gereğinden fazla uzatılmış karıştırma işlemi ile toz taneleri gerilme sertleşmesine maruz kalacak ve preslemenin zorlaşmasına neden olacaktır. Ayrıca bu işlemler esnasında tozların kirlenmesi durumlarını ortadan kaldırmak gerekmektedir. Farklı tane boyutu, şekli ve yoğunluğundaki tozların karıştırılmasından sonra tekrar ayrışma görülebilir. Bu nedenle, karışım tozlarının taşınması sırasında tozları, sarsıntıdan korumak veya tekrar karıştırma işlemine tabi tutmak gerekebilir (Aydın, 1997).

Tane büyüklüğünün dağılımı üzerindeki kontrolü ortaya çıkarmak için tozlar harmanlanabilir. Yeni kompozisyonları şekillendirmek için tozlar karıştırılabilir. Alaşımlıma ve çalışma sertliğinin oranının artması yüzünden, alaşımlandırılmış tozları preslemek temel tozlardan daha zordur (German, 1984).

Homojen karışımların üretiminde orta kısım önemli rol oynamaktadır. Bu orta kısmın kuru gaz veya sıvı olmasına bağlı olarak, komşu partiküller karıştırma sırasında birbirleri üzerinde kaymakta veya yığılma şeklini almaya meyiletmekte veya yumru olmaktadırlar. Tozları nemli atmosferde yumak ve top şekli alırken görmek mümkündür, birbirlerine yapışmaktadırlar. Yığılmalar doğal olarak harmanlamaya engel olmaktadır. Diğer yanda, N veya CO<sub>2</sub> veya vakumun kontrollü atmosferlerde karışımları, nem çeken ve çabuk yanıcı olmalarıyla, karıştırılmış çok iyi tozları düzgün dağılımlı karışımları çok etkili olduğunu göstermektedir .

Mikserdeki tozun hacmi, karıştırma verimini hesaplamaktadır. Karıştırıcı tozla dolduğu zaman, tozun bağlı hareketi engellenmektedir. % 20 ve % 40 arasındaki toz hacmi karıştırıcının hacmi için uygundur. Bilyalı değirmendeki yükün hareketi,

değirmenin kabuğundaki sürtünmeye bağlıdır. Düşük hızlarda abrasiv ufalanma meydana gelmektedir. Bu daha iyi öğütmeye yardımcı olmaktadır (Kaya, 1999).

Karbidler, Nitritler veya Boritlerle güçlendirilen iç metalik ana yapıli kompozitleri, son yıllarda epey dikkat çekmiştir. İç metalik alüminidler ana yapı için benzer kompozitlerde iyi bir malzeme gibi görünür. Yüksek spesifik sertliklerde (sertlik-yoğunluk oranına) ve iyi korozyon dayanımına yükseltilmiş sıcaklıklarda oksidasyon ve sülfid(Kükürt) atmosferi altında, Al-Fe alaşımları avantajlı yönler gösterebilir ve bunlar uçak ve savunma endüstrisi için iyi malzemelerdendir. Bu alaşımların mekanik özellikleri, TiC gibi parçacıklarla kuvvetlendirmeyle ıslah edilebilir.

Elementel tozların bilyalı değirmenle öğütme sırasında, katı faz reaksiyonlarıyla alaşımların şekillendirilmesi, mekanik alaşımlama (MA), sıcak preslemeyle sıkıştırma tarafından takip edilen, bazı kompozitlerin üretiminde etkilidir.

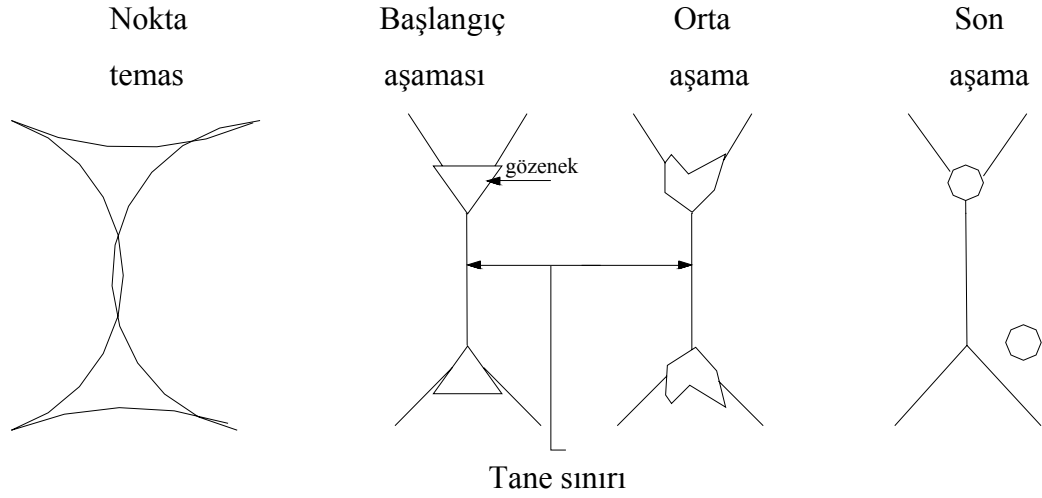
Bu yolla üretilen kompozitler de temiz, kuvvetlendirilmiş iç yüzeyler, anayapı ve katkı fazlı alaşım arasında iyi bağlanma sağlanmaktadır. İyi katkı fazlı alaşımın homojen dağılımı MA süreciyle saptanabilir.

MA ürünleri amorf, kristal veya nanokristal yapılardır. MA tarafından karbidlerin şekil alabilirliği, metal grafit sistemlerinde son on yıl boyunca söylenmektedir (Krasnowski vd., 2002).

### **1.8.9.2. Sinterleme**

Soğukta presleme ile elde edilmiş parçalarda atomik taşınım olayları ile toz tanecikleri arasında bağ oluşturmak amacı ile metalin mutlak ergime sıcaklığının altında yapılan bir ısıl işlemdir.

Sinterleme sırasında karşılaşılan yüzey gerilmeleri, yeni dislokasyonlar yaratmak için yeterli değildir. Bununla birlikte, elektron mikroskobu ince tozların ısıtılması esnasında dislokasyon hareketleri oluşturduğunu göstermiştir (Hiçyılmaz, 1999).



Şekil 1.11. Bir nokta teması başlangıcı ile sinterleme esnasındaki parçacıklar arası bağların gelişimi

### 1.8.9.3. Sıcak İzostatik Presleme(SIP)

Her yönden aynı basınç ile sıkıştırma dır. Homojen yoğunlaşmaya en uygun tekniktir. İzostatik presleme sıvı ile yapılırsa, hidrostatik presleme olarak adlandırılır. (Hiçyılmaz, 1999).

Yakın çalışmalar, bazı yüzeylerde silikon nitride birlikte, istenen özellikleri geliştirmeyi sağlamaktadır. Homojen olmayan ve izotropik olmayan seramikler, fiber katkılı kompozitler gibi, rijit, şekil kontrollü aletlerin bir veya daha çok bölümlerinin üretiminde kullanılabilirler.

Çok güçlü iç atomik bağlar, genellikle yüksek sıcaklığa dayanıklı seramiklerde bulunmaktadır. Bunlar kullanımda, yüksek sıcaklıklarda ve uzun zaman periyotlarında, yüksek sertliğe sahip olma, rijit ve dayanıklı olma gibi, istenen özellikleri verebilmektedir.

Kuvvetli bağlara sahip olmalarından dolayı, seramik bileşiklerde istenen son şekli yaratmak zordur. SP, örneğin visker katkılı kesme aletleri hariç bazı durumlarda düşük maliyetli olmalarından dolayı tercih edilmektedir. Ürünlerin istenilen şekillerle

üretimlerini yapmak zordur. Yüksek sıcaklığa dayanıklı seramiklerin üretimi, mekanik, kimyasal, termal ve şekil özelliklerinden dolayı tercih edilmektedirler.

SIP çoğu durumlarda seramiklerin, sıklık ve şekillendirmeleri için tek çözüm yolu olarak bulunmuştur. Yüksek sıcaklık seramikleri için önemli olan sadece SIP' in SP' den 5-10 kere daha büyük basınç seviyelerinin olması değildir. Ayrıca SIP yöntemi, karışık şekilli bileşikler üretmektedir.

Bir inert gaz (genellikle Argon), basıncı gözenekli yapıya iletme sürecinde kullanılmaktadır. Gaz basıncı, tipik 100-300 Mpa, (her zaman 2000 °C üzerinde ve büyük boy endüstriyel aletlerde) bütün yüzeylere uygulanmaktadır.

Sıklık için kuvvetin artmasını sağlanmalıdır. Malzemedeki kesme kuvvetinin yokluğu ve herhangi bir kalıp sürtünmesinin olmaması, sıcak preslemeden daha yüksek seviyelerde, SIP' i daha güçlü bir sıkıştırma metodu haline getirmektedir. Her zaman seramikleri sinterlemek zordur.

SIP' de, yüksek gaz basıncı, gözenekli yapıya iletildiğinde, maddeyi oldukça rijit ve dış etkilere karşı dayanıklı hale getirmektedir. SIP, yüksek sıcaklık seramiklerinin bazı tiplerinin imali için uygundur (Larker vd., 1999).

SIP tekniklerinin kullanılması toz sıkıştırmasının ve kutunun gömülme hareketi tarafından sebep olduğu bazı problemleri yok etmektedir. Daha düzgün dağılımlı mikro yapı ve özellik üretmek için basınç daha düzgünce uygulanabilmektedir. SIP daha pahalıdır ve daha düzgün ekipmanlara ihtiyaç duymaktadır. Yeni üretim metotları geliştirmek alternatif bir çözümdür (ASM Handbook, Cilt 7).

#### **1.8.9.4. Haddeleme**

Haddeleme, tozların iki silindir arasından geçirilerek sıkıştırılması esasına dayanmaktadır.

### **1.8.9.5. Ekstrüzyon**

Tozlar ekstrüzyon ile yoğunlaştırılabilir. Yoğunluk % 85'i geçmeden tozların akmadıkları görülmüştür. Bu sebeple ekstrüzyon % 100 yoğunlaştırma metodu olarak, presleme sonrası kullanılmaktadır.

### **1.8.9.6. Toz enjeksiyon kalıplama**

Tozlar ile plastik (Bağlayıcı) karıştırılıp ergitilir ve granül haline getirilir. Granül enjeksiyon kalıplama makinesinde kalıba doldurulur. Böylece elde edilen parçadaki solventlerle ve ısı ile çıkarılır. Daha sonra sinterleme ile parça son haline getirilir. Toz şeklinin küresel olması ve toz boyutunun 20 µm altı olması işlemi kolaylaştırır.

### **1.8.9.7. Tam Yoğunlaşma**

Toz metal malzemelerde gözeneğin mevcudiyeti mukavemet artışına en büyük engeldir. Gözeneğin çapı küçüldükçe ve miktarı azaldıkça mukavemet artar. Malzeme içindeki kalıntılarda (oksit, sülfid) mukavemeti düşürür. Gözenekler çekme mukavemetine çok etki etmezler. En kritik etkileri darbe enerjisine ve sünekliğedir. Yorulmada gözenekten hassas olarak etkilenir.

### **1.8.9.8. Sıcak Presleme (SP)**

Bir kalıp içine doldurulan toz kütlesinin sıkıştırılması demektir. Presleme, tek hareketli zımba veya çift hareketli zımba ile yapılabilir. Tek yönlü sıkıştırma yoluyla tam yoğunluğa kavuşmak mümkün değildir. Çift yönlü sıkıştırmada toz alt ve üst zımba tarafından aynı anda sıkıştırılmaktadır.

Bu yöntemde, kalıp duvarı ile toz partiküller arasındaki sürtünme kuvveti, kalıp tabanında bulunan yay gibi esnek elemanın yay kuvvetini yenip kalıbın aşağıya doğru hareket etmesini sağlayarak, tozun taban yüzeyine alt zımbanın, üst zımba ile

eşit şiddetle basınç uygulamasını sağlar. Sıkıştırma işlemi tamamlandıktan sonra TM parçası alt zımbanın yukarı hareketi ile kalıptan çıkarılır.

Yoğunluk dağılımı tek yönlü presleme ile elde edilen parçalara göre daha homojendir. En düşük yoğunluk sıkıştırılmış parçanın orta noktasında bulunur. Yoğunluk dağılımı orta noktadan geçen yatay ve dikey eksenlere göre simetriktir (Hiçyılmaz, 1999).

Basınç, statik veya dinamik olarak ısıtılmış toza bir veya iki yerden zıt yönlerde tek bir eksenden uygulanmaktadır. Oksidasyon veya hava tarafından nitridasyondan sıcak tozları korumak için kontrollü bir atmosfere ihtiyaç vardır. Sıkıştırılmış kutu içinde toz metalin sıcak preslenmesi toz metalin eski sıkıştırma uygulamalarındandır.

SP ile yüksek özellikte ürün elde edilmesine rağmen, kalıbın aşınması, zımba yüzleşmelerinde kalıp duvarlarına sıvı metalin kaynaması bundan dolayı da sıkıştırılmış yüzeylerin bozulması, kutu duvarları ve hareketli burçlar arasındaki boşluktur, numune kaybı, alet aşınması gibi dezavantajları vardır (ASM Handbook, Cilt 7).

#### **1.8.9.8.1. SP' de Farklı Üretim Parametreleri**

Yüksek sıcaklıklarda, plastik deformasyon meydana gelmektedir. Sıvı metalin dağılım oranları, sıvı faz ve alaşım sistemlerinin sıvı ve katı bileşenleri arasındaki iyi ıslatmayla artırılmıştır. Basıncın seçimi toz hacminin özelliklerine bağlıdır. Dayanıklılık, parça büyüklüğü, yüzey durumları, oksit filmlerinin sıvı fazın üzerinde bulunması vb. bu basıncı seçmede önemli rol oynamaktadır.

Yüksek basınç limitleri, tozların soğuk preslenmesi için gerekli olan son basıncı geçmemelidir. SP sıcaklıkları, özellikleri ortaya çıkarmak için yüksek olmalıdır. Basınç altında sıkıştırma en kısa zamanda yapılmalıdır. SP için üretim oranları soğuk presleme ve sinterlemeden daha düşüktür (ASM Handbook, Cilt 7).



### 1.8.9.8.2. İşlem İlkeleri

SP' de ergimiş metal sıkıştırılmaktadır. SP için çeşitli teknikler ortaya konulmaktadır. Yöntemin seçilmesi metalin fiziksel özelliklerine bağlıdır. Bütün SP teknikleri çeşitli ortak özelliklere sahiptir. Aparatlar ve tozları sağlamlaştırma işlemleri ve artık ürünlerin uzaklaştırılması soğuk presleme ve sinterleme operasyonlarından çok farklı değildir (Kaya, 1999).

### 1.8.9.8.3. İşlem Ekipmanları

Dolu yoğunluk, plastik deformasyon, yorulma ve yayılma tarafından meydana getirilmektedir. Zaman önemli bir faktördür. Mukavemet arttırma seçilmiş sıcaklığa ulaşıldığında uygulanmaktadır. Isı transferi ve dengenin meydana gelmesi için yeterli zamana ihtiyaç duyulmaktadır. Sıkıştırma tipi sıkıştırma aletinin dizaynına bağlı olarak seçilmektedir. Sıkıştırma aletleri için uygun metali seçmek, SP' nin en önemli kriterlerinden biridir. Yüksek sıcaklıkta kutunun ve burçların fiziksel durumlarını belirlemek önemlidir.

Plastik deformasyondan ve metalin ergiyerek kaynamasından kaçınmak için, burçlar kuvvetli malzemelerden seçilmelidir. Grafitlerin, Tungsten karbid karışımlarının yüksek sıcaklıklarda, SP' de görevleri bulunmaktadır. Fakat ergimiş metallerin bu amaçlar için kullanılması çok zordur. Ancak düşük sıkıştırma basınçlarında kullanılmalarına izin verilebilir. Grafitler 28'den 42 MPa' a statik basınçtan daha yüksek durumlarda kullanılmazlar. Çelikleri kullanımı 500°C' nin üzerindeki sıcaklıklar için uygun değildir. Fakat yüksek hız çelik zarları 140 MPa' da 800°C' de bazı operasyonlara dayanabilmektedirler.

Kalıbın plastik deformasyonu ve yorulması, enjeksiyon zorluklarına ve parça distorsiyonuna sebep olmaktadır. Kalıbın, basınç yükleri ve zirve sıcaklık altında yüksek gerginliğe ulaşıldığında dayanması için, önceden duvar kalınlıklarının yeterli bir şekilde dizayn edilmelisi gerekmektedir.

Aletlerin yüksek sıcaklıklarda kimyasal reaksiyonları önemlidir. Grafit aletlerde, kontrolsüz atmosferde, oksitlenmeler meydana gelmektedir. Kalıba girişte grafit burçların yanması yük hasarlarını üretmektedir. Mekanik başarısızlık ortaya çıkmaktadır.

SP' de karbonun oksit gazları, metali oksidasyondan korumaktadır, fakat sıkıştırma yüzeyinin karbürizasyonuna sebep olabilmektedir.

Yüksek kompres kuvvetleri kalıp duvarlarının ergimesine sebep olabilmektedir. Bazen burç ve sıkıştırılmış toz metal ayıramaz hale gelebilir. Bunlar büyük kuvvetlerle birbirlerinden ayrılırlarsa düzeltilemez zararlar meydana gelebilir. Kalıp duvarı yağlayıcıları, kalıp yüzeyine aşınmadan kurtulmak için uygulanmaktadır.

Tozun açığa çıkan geniş boş yüzeyinden dolayı, oksidasyonun meydana gelme olasılığı artmaktadır.

Özellikle sıkıştırılmış tozların termal genişmesi yüksekse, tozları kalıbın içindeyken soğutmak zordur. Sıkıştırılmış tozların çevresindeki kalıbın büzülmesi, kalıbın içinden numuneyi çıkartırken, ürünün bozulmasına sebep olabilmektedir.

Presleme sırasında tozu istenen sıcaklığa getirmek SP' nin birinci fonksiyonudur. SP sisteminin sonuçlarını ortaya çıkarmak için; preslenmesi için metale ısı transferini sağlamak, termal denge koşullarını sağlamak, sıkışmış tozun sıcaklığının kontrol edilmesini sağlamak gerekmektedir.

Ön preslemede yüksek yoğunluk sıkıştırması gerekmektedir. Bu şartlar altında, indüksiyon ısıtması hızlı olabilmektedirler. Sıkıştırılmış toz metal, seramik kaplarda veya çelik kaplarda suyla soğutulabilmektedir.

Konveksiyonla veya sıcaklık transferiyle toz sıkıştırma geniş olarak kullanılmaktadır. Konveksiyonla ısıtmak düzgün sıcaklık dağılımını sağlamaktadır. Termokupullar sıcaklığı kontrol etmek için kullanılmaktadırlar (Kaya, 1999).

Kontrollü atmosfere ihtiyaç duyulan SP' de reaktif metal ve alaşım tozlarında, orijinal olarak ayrılmış amonyak içeren, hidrojen veya hidrojen-nitrojen gazı karışımı kullanılmaktadır (Asm Handbook, Cilt 7).

#### **1.8.9.8.4. SP Avantajları**

SP ile düzgün iç yapılı malzemeler imal edilmektedir. Maliyeti düşüktür. Oksitlenmeyen seramikler yapılmaktadır. Bu yöntemle saptanan fiziksel özellikler daha iyidir. Yüksek yoğunluklara bağlı olarak sağlama sağlanmaktadır (Kaya, 1999).

#### **1.8.9.9. Gaz Giderme**

Yüksek performanslı alaşımları için, TM rotalarıyla üretilen tozun gazını gidermek, alaşımın sıklığı tamamlamak için uygulanmalıdır. Toz parçacığı üzerindeki alüminyum oksit yüzeyinin varlığı hidrasyona (nemlendirme) bağlıdır. TM ile Al alaşımlarının mekanik özellikleri, alüminyum oksitin ana yapı içinde düzgün dağılımıyla düzeltilebilir.

Alüminyum alaşımlarının oksitlenmesi ilk olarak atomizasyon (püskürtme) ve depolama sırasında yer almaktadır. Oksitlenme oda sıcaklığında, oksijenin düşük parça basıncı altında yer alır ( $P_{O_2}=10^{-16}$  bar) (Kaya, 1999).

Düzgün bir yapı elde etmek için, alaşım içinde  $O_2$  seviyelerini aza indirmek veya hidratları yok etmek gerekmektedir. Al alaşım tozları içindeki oksitlenme kabul edilemez. Tozların sıkıştırma sıcaklığında veya daha yüksek sıcaklıklarda gazlarının giderilmesi gerekir.

Diğer yanda, sıkıştırma sırasında toz parça yüzeylerinden toplanması, gözeneklilik veya kabarcıklaşma sonuçlarını vermektedir. Genellikle, toz kütlesi ısıtılırken,  $1,33322 \cdot 10^{-8}$  bar basıncın altında kalıbın boşaltılmasıyla tozun gazı giderilebilir (ASM Handbook, Cilt 7).

450°C sıcaklığın tozdan su buharını taşımaya uygun olduğu görülmektedir. Al tozlarının gazını giderme yüksek sıcaklıkta kuru argon atmosferi altında denenmektedir (Kaya, 1999).

## **1.9. SÜRTÜNME VE AŞINMA**

### **1.9.1. Giriş**

İnsanlığın tükettiği toplam enerjinin büyük bir bölümü kayma sırasında meydana gelen sürtünme kayıplarını yenmek için harcanmaktadır. Yapılan konstrüksiyonlarda, daha uygun bağlantı malzemelerinin kullanılması veya daha iyi bir yağlama ile sürtünmenin azaltılabilmesi bugünkü teknolojinin oldukça önemli bir sorunudur.

### **1.9.2. Yüzeylerin Sürtünme Özellikleri**

Sürtünme özelliklerine en büyük etki, sürtünen yüzeylerin tabaka yapılarıdır. Metallerin içinden dışına doğru önce havadaki oksijenin metalle reaksiyonundan oluşan oksit tabakası vardır.

### **1.9.3. Aşınma**

Metal aşınması, metal yüzeyinden plastik deformasyon sonucu parçacık kopması biçiminde görülür. Bunun için iki yüzey arasında genellikle bir sürtünme olması gerekir. Aşınma korozyon, yorulma, sürtünme, çarpma ve aşındırıcı parçacıklar ile bozunma ve kesme içerebilir.

Aşınma yağlı aşınma ve yağsız aşınma diye iki sınıfa ayrılır. Ayrıca sürtünen metal yüzeylerin durumuna göre de türlere ayrılır.

Metal metale, metal metal dışı aşındırıcılara, metale sıvı çarpması v.b. Aşınma miktarı ya da aşınma hızı, aşınma numunesinin hacmi ya da ağırlığında meydana gelebilecek azalmayı içerir.

#### **1.9.4. Aşınma Olayını Oluşturan Unsurlar**

Aşınma olayını oluşturan unsurlar; temel sürtünme elemanı, karşı sürtünme elemanı, ara madde, çevre, yükleme, hareketidir.

#### **1.9.5. Aşınmayı Etkileyen Faktörler**

A-Tribolojik sistemin elemanlarına bağlı faktörler; 1- Esas sürtünme elemanına bağlı faktörler; malzeme cinsi, malzemenin mikro yapısı, hacimsel ve yüzey sertliği, elastiklik modülü, yüzey pürüzlülük durumu, malzeme şekli ve boyutları, soğuk şekil vermenin etkisi, ısıl işlem, 2-Karşı elemana bağlı faktörler; aşındırıcı tane büyüklüğü, tane şekli, tane dağılımı, 3-Ortalama bağlı faktörler; nem, sıcaklıktır.

B-İşletmeye bağlı faktörler;1-Yük, 2-Hareket; kayma yolu, zaman, 3-Kaymanın cinsidir.

##### **1.9.5.1. Esas sürtünme elemanına bağlı faktörler**

###### **1.9.5.1.1. Malzeme cinsi**

Aşınmanın meydana geldiği koşullar göz önünde bulundurularak aşınmaya dayanıklı malzeme seçimi yapmak gerekir.

###### **1.9.5.1.2. Malzemenin mikro yapısı**

Mikro yapıda bulunan fazlar ve tane boyutu mekanik özellikleri yüksek derecede etkileyen önemli bir faktördür.

Lamelli perlitik yapının lameller arası sertliğin fazla olması, tanecikli perlitik yapıya göre aşınma direncini daha fazla artırır.

Mikro yapıya kristal kafes sistemleri olarak baktığımızda diğer kristal yapılara göre daha yüksek olduğu gözlenmiştir.

### **1.9.5.1.3. Hacimsel ve yüzey sertliği**

Sertliğin artmasıyla aşınma direncide artar. Ancak belli bir değerden sonra sertlik artışı aşınmaya karşı direnç artışı getirmez. Ticari saf metallerde aşınma direnci kütlesele sertlik ile doğrusal olarak artmaktadır.

Abrasiv aşınma direncinin genelde sertliğe bağlı olduğu ve sertliğin artması ile iyileştiği kabul edilir. Genel olarak alaşım elementleri, malzemelerin sertlik ve mukavemetlerini arttırmak amacıyla katılır. Örneğin bakır metali içerisine katılan çinko ile sertlik artarken, aynı zamanda aşınma direnci bakırdan daha yüksek olan malzemede elde edilmektedir.

Isıl işlemin etkisi ile malzemelerin aşınma dirençlerini arttırmak için yapılan çalışmalar, malzeme yüzeyinin sertleştirilmesi veya kütlelerinin tamamının sertleştirilmesi üzerinde yoğunlaştırılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalarda aynı sertliğe sahip ısıl işlem görmüş çeliklerin aşınmaya daha az direnç gösterdikleri ve yine aynı çelik, ısıl işlemle farklı sertlik seviyelerine getirildiğinde sertlik ile aşınma direnci arasında doğrusal bir ilişki olmadığı sonucuna varılmıştır. Metallerde yüzey sertliğinin artırılması için ısıl işlem veya yüzeye daha sert bir tabakanın kaplanması ile yüzey sertliği artırılabilir. Bu işlemlerde sadece yüzey sertliği attığı için, malzemenin çekirdeği sünek kalır. Böylece hem aşınmaya karşı direnç artar, hem de darbeli zorlamalara karşı malzemenin mukavemeti artar.

### **1.9.5.1.4. Elastisite modülü**

Malzemelerin elastiklik modülü arttıkça malzemenin aşınmaya karşı direnci daha fazla olur. Bunun nedeni elastiklik ve akma sınırı yüksek olan malzemelerde gerçek temas alanı azalır. Elastisite modülü farklı iki malzemenin aşınmasında, düşük elastiklik modülüne sahip malzemenin, gerçek temas alanı biraz daha fazla olduğu için izafi hareket sırasında bu malzemede soğuk kaynak olma ihtimali artar ve neticede biraz daha çabuk aşınır .

#### **1.9.5.1.5. Yüzey pürüzlülük durumu**

Sürtünme esnasında yüzeyden kopan küçük partiküllerin, büyük bir kısmını yüzeyde bulunan pürüzler meydana getirir. Sürtünme durumunda yüzey pürüzlerine gelen teğetsel gerilmenin, akma sınırını aşması durumunda, burada plastik deformasyon meydana gelerek yüzey pürüzleri tepelerinden koparak aşınmayı hızlandırır.

Sert yüzeyin pürüzlülüğü ile aşınmasının doğru orantılı olduğu ve aşınma hızının sert yüzey üzerindeki pürüzlerin şeklinden az etkilendiği tespit edilmiştir

#### **1.9.5.1.6. Malzeme şekli ve boyutları**

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

#### **1.9.5.1.7. Soğuk şekil vermenin etkisi**

Soğuk şekil vermenin aşınma direncine etkisine geçmeden önce sertliğin aşınma direncine etkisi incelenmiş ve sertliğin artışıyla aşınmanın azaldığı tespit edilmiştir. Soğuk şekil değiştirme sırasında meydana gelen pekleşme malzemenin sertliğinin artmasına neden olur. Böylece artan sertlik ile malzemenin aşınmaya karşı direnci artar.

Sürtünme esnasında verilen enerjinin bir miktarı devamlı olarak soğuk deformasyon meydana getirdiğinden malzeme yüzeyinin pekleşmesine neden olur. Bu pekleşme, malzemenin sertleşmesine ve dolayısıyla aşınmaya karşı dirençlerinin artmasına sebep olur.

#### **1.9.5.1.8. Isıl işlem**

Özellikle çeliklerde ısı işlem sonucu sertlik artarak aşınmaya karşı direnci yükseltir. Sertleştirme işleminden sonra malzemenin iç yapısında gererimle yığılmaları

meydana gelir. Bu gerilme yığılmalarını gidermek için temperleme işlemi yapılmalıdır.

#### 1.9.5.1.9. Aşındırıcının etkisi

Aşınma deneyinde çok çeşitli aşındırıcılar kullanılır. Alüminyum oksit ( $Al_2O_3$ ) aşındırıcı taneleri sert ve keskin köşelidir. Silisyumkarbür (SiC) aşındırıcı taneleri ise daha sert ve keskin köşeli olmalarına rağmen, alüminyum oksit aşındırıcılara göre aşırı derecede kırılırlar.

Yüksek sıcaklıklarda bazı Al ve SiC aşındırıcıların sürtünme katsayıları incelenmiş, neticede SiC'ün sürtünme katsayısının sıcaklığının yükselmesiyle azaldığı bulunmuştur.

Bazı araştırmacılar artan tane büyüklüğüne bağlı olarak aşınma miktarlarının arttığını ve köşeli tanelerin yuvarlak tanelere kıyasla daha fazla aşındırıcı etki yaptığını ispatlamışlardır (Hiçyılmaz, 1999).

Çeşitli aşındırıcılarla deneyler yapmışlar ve aşınmanın, abrasiv tane boyutlarının artması ile 100µm tane boyutuna kadar hemen hemen doğrusal olan bu artışın, bu boyuttan sonra sabit kaldığını göstermişlerdir.

Aşınmada abrasiv sertliği ( $H_a$ ) ile metal sertliği ( $H_m$ ) arasında, aşağıdaki gibi bir ilişkinin varlığı tesbit edilmiştir.

Eğer  $H_a < K_2 \cdot H_m$  ise aşınma yoktur.

Eğer  $H_a > K_2 \cdot H_m$  ise aşınma  $H_a$  'ya bağlı değildir.

$H_a < K_2 \cdot H_m$  durumunda abrasiv aşınma direnci bu sistem için en yüksek değerine ulaşır. Burada  $K_2$  bir sabit olup 0.7-1.0 değerleri arasındadır. Ancak soğuk işlem görmüş malzemelerde yukarıda verilmiş olan  $H_a > K_2 \cdot H_m$  ilişkisi geçerli değildir. Aşındırıcılar, elmas, korindon(%93-97 kristal  $Al_2O_3$ ), zımpara ( $Al_2O_3$  oranı düşük



olan korindon) ve kuvars (kristal  $\text{SiO}_2$ ) doğal aşındırıcılara örnek olarak gösterilebilir.  $\text{SiC}$ ,  $\text{B}_4\text{C}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  gibi yapay aşındırıcılar bileşim, kristal yapısı, tane büyüklüğü, vb. özelliklerinin kontrollü olması nedeniyle daha iyi sonuç vermekte ve böylece doğal olanların yerini büyük ölçüde almış bulunmaktadır. Aşındırıcı parçalar organik yada camlaştırılmış inorganik maddeler yardımıyla birbirlerine bağlanabilirler (Güleç, 1985).

#### **1.9.5.2. Karşı elemana bağlı faktörler(tane büyüklüğü,şekli ve dağılımı)**

Tane büyüklüğü arttıkça, malzemenin aşınmaya karşı direncinin azaldığı ve aşındırıcı tanelerin parabolik şekilli olması, keskin köşeli tanelere göre aşınmayı azalttığı görülmüştür.

#### **1.9.5.3. Ortama bağlı faktörler(sıcaklık,nem,atmosfer)**

Aşınmayı etkileyen önemli faktörlerden biride aşınma ortamının atmosferi, nemi ve sıcaklığıdır. Temas halinde bulunan yüzeylerin sürtünmeden dolayı yüzeylerde bölgesel olarak sıcaklık artışına sebep olur. Yüzeylerde meydana gelen sıcaklık artışı, malzemenin kimyasal, fiziksel ve mekanik özelliklerini değiştirerek malzemenin aşınmaya karşı direncini etkiler. Yapılan araştırmalar sıcaklığın artmasının aşınmayı belli bir sıcaklık değerine kadar etkilemediğini, daha sonraki sıcaklıklarda tesirini hissettirdiğini göstermiştir. Ergime sıcaklığı yüksek olan malzemelerin yüksek aşınma direncine sahip olduğu da tespit edilmiştir. Bazı araştırmacılar yüksek nem oranının, abrasiv aşınma miktarlarının yaklaşık %15 artmasına sebep olduğunu ve su buharının diğer yağlayıcılara benzer olarak abrasyon etkisini arttırdığını belirlenmiştir (Hiçyılmaz, 1999).

#### **1.9.5.4 İşletme koşulları**

Aşınma sistemi içerisinde aşınma yüzeyinin maruz kalacağı basıncın büyüklüğü, birim yüzeye uygulanan kuvvetin büyümesini sağlayacağından, aşınmanın artmasına sebep olacaktır. Araştırmacıların bir çoğu kritik bir yükleme miktarına kadar yükün artışı ile hacimsel aşınmanın orantılı bir değişim gösterdiğini açığa çıkarmıştır. Kritik

yükleme miktarı, aşınma yüzeyinin soğuk deformasyonla, sertliğin belli bir oranda arttığı değer olarak belirlenmiştir. hacimsel aşınmanın yük ile doğrusal olarak arttığını, fakat yükün daha fazla artmasıyla birim yük başına düşen aşınma miktarının belli bir kayma yolundan sonra dengeye geldiğini tespit etmiştir.

Bütün teorik ve uygulamalı çalışmalar kayma yolu ile aşınma miktarının orantılı olduğunu belirtmektedir. Kayma hızının artmasıyla hacimsel aşınmanın yavaş olarak arttığını belirlemişlerdir.

### **1.9.6 Aşınmayı Azaltmak İçin Yapılabilecek İşlemler**

#### **1.9.6.1 Giriş**

Aşınmaya etki eden faktörlerin başında temas yüzeylerinin sertliği ve kimyasal kompozisyonu gelir. Sertlik arttıkça (mukavemet artar) yüzeyden parça kopması zorlaşır. Kimyasal bileşeni birbirine yapışmayı azaltıcı özellikte olursa ve korozyona karşı dayanıklı ise aşınma miktarları azalır (Hiçyılmaz, 1999).

#### **1.9.6.2 Malzeme seçimi**

Aşınma dayanımını arttırmak için birbiriyle temas halinde çalışan parçalarının malzemeleri farklı seçilmelidir. Bu farkı malzemelerin birbiri ile kaynak yapabilme özelliği kötü olduğundan adhezyon aşınmasına olumlu yönde katkıda bulunacaktır.

#### **1.9.6.3 Pürüzlülük**

Genelde yüzey pürüzlülüğü arttıkça kontak noktaları(yükü taşıyacak olan gerçek alan) azaldığı için aşınma miktarı artacaktır. Bunun aksine pürüzsüz sayılabilecek yüzeyde aşınma artıklarının kalabilmesi ve sürtünen iki yüzeyin arasındaki çekim kuvvetinin fazla olması da adezyon ve abrazyon aşınmalarını arttıracaktır. Eğer hareketin yönü pürüzlülüğün yönüne dik ise aşınma miktarı azalmaktadır.

#### 1.9.6.4 Sertlik

Sertliği ölçülecek parçanın yüzeyi yabancı maddelerden arıtılmış, mümkün olduğu kadar pürüzsüz ve düzgün olmalıdır. Eğri yüzeylerde bulunan sonuçların standartlarda belirtilen şekilde bir düzeltme faktörü ile çarpılması gerekir.

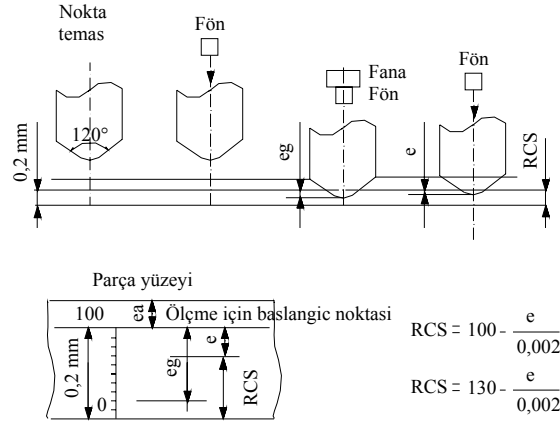
İz büyüklüğünün saptanmasında birbirine dik olan iki (d) değerin ortalaması alınır. Bir parçada birden fazla ölçme yapılacaksa önceki iz civarında malzemenin pekleştiği, ayrıca parça kenarına yakın bir izin (malzemenin yana doğru kolayca akmasından dolayı) daha büyük ve derin olacağı göz önünde tutulmalıdır.

Bu nedenlerle izler arasında veya bir izle parça kenarı arasında izin yaklaşık üç katı kadar mesafe bırakılır. Özellikle ince parçalarda şekil değişiminin parçanın alt yüzeyine kadar ulaştığını gösteren bir belirti varsa daha küçük yük seçilmelidir.

Brinell Sertliği, Vickers Sertliği, Rockwell Sertliği, sertlik ölçme yöntemlerindedir. Rockwell Sertliğinde, deneme ucu olarak sert malzemeler için 120° tepe açılı elmas koni, diğer malzemeler içinde 1/16” çapında sertleştirilmiş çelik bilya kullanılır. Deneyde, deneme ucu malzemeye  $F_{0.01} = 10 \text{ kgf}$  lık bir yükü bastırılarak varılan derinlik başlangıç noktası olarak alınır. Sonra Fana yı eklemek ve en sonra da tekrar  $F_{0.01}$  yüküne dönmek suretiyle bulunan kalıcı derinlik (e) yardımıyla sertlik ifade edilir. Bu durum şekil 1.12’ de gösterilmektedir.

Deney koşullarına göre A, B, C, D, E, F gibi harflerle ayırt edilen Rockwell sertlik türleri vardır. Kısa zamanda uygulanabilmesi ve sonucun doğrudan doğruya okunabilmesi Rockwell sertlik ölçme yönteminin üstünlüklerindedir. Buna karşılık, standart Rockwell deneyleri çok ince parça ve tabakaların sertliklerinin ölçülmesine Vickers kadar elverişli değildir (Parça kalınlığı  $\geq 10 \text{ eg.}$ ).

Ayrıca, yöntem derinlik ölçme esasına dayandığı için, parçanın deney sırasında oynamaması ve ize ek olarak herhangi bir plastik şekil değiştirmeye uğramaması gerekir (Güleç, 1985).



Şekil 1.12. Rockwell C sertliğinin (RCS) saptanmasının şematik gösterilişi (0,2 mm derinlik göstergenin 360 °C' lik dönüşüne karşılıktır ve kadranda 100 bölüm çizgisi vardır.

Aşınma dayanımını arttırmak için alaşımlandırmayla veya ısıl işleme yüzey sertleştirilebilir.

### 1.9.6.5 Tane boyutu

Plastik deformasyona etki eden önemli etkenlerden biride tane boyutudur. Tane boyutu ne kadar küçükse malzeme o kadar mukavim ve toktur.Tane boyutu azaldıkça, mukavemet artmaktadır.

### 1.9.6.6 Yüzey işlemleri

Yüzeyde kimyasal, elektro-kimyasal veya termo-kimyasal metotlarla oluşturulacak tabakalar birlikte çalışan iki metalin arasındaki sürtünme katsayısını ve tutunabilme özelliğini azaltıcı etki yaptığı için, aşınmaya olumlu yönde katkıda bulunur.

Genelde bu işlemler PVD, CVD, termo-kimyasal (sementasyon, nitrasyon, borlama v.b.) elektroliz kaplama ve plazma ile kaplama gibi mekanik özellikleri iyileştirici etkenler yapan işlemlerdir.

### **1.9.6.7 Yağlama**

Aşınmaya karşı alınabilecek en ekonomik ve kolay tedbirdir. Yağlayıcı maddenin görevi sürtünen yüzeyler arasındaki metal-metal sürtünmesi yerine sıvı-metal sürtünmesini sağlamaktır. Hareket hızının fazla olduğu yerlerde (yataklar) yüklü iki yüzey arasında oluşan yağ filmi taşır. Bu yüzden yağlayıcının özellikleri çok önemlidir.

### **1.9.6.8 Kontak geometrisi**

Sürtünen elemanların kontak geometrisi aşınma miktarını etkiler. Aşınma artıklarının iki yüzey arasından dışarı çıkmaları kolaylaştıkça parçaların abrazyon aşınması azalır. Ayrıca yüzeye gelen kuvvet şeklide önemlidir. Normal kuvvete nazaran bileşik kuvvet daha fazla aşınmaya neden olur.

### **1.9.7 Aşınma mekanizmaları**

Genel olarak aşınma, dış etkiler altında, temas yüzeylerinde oluşan fiziksel ve kimyasal değişmelerin sonucudur.

Aşınma olayının mikro yapısı yani moleküller arasındaki fiziki gelişimi incelenirse aşınmanın meydana gelişinin aşağıda tanımlanan belirli birkaç tipte olduğu görülmüştür.

#### **1.9.7.1 Adhezyon aşınması**

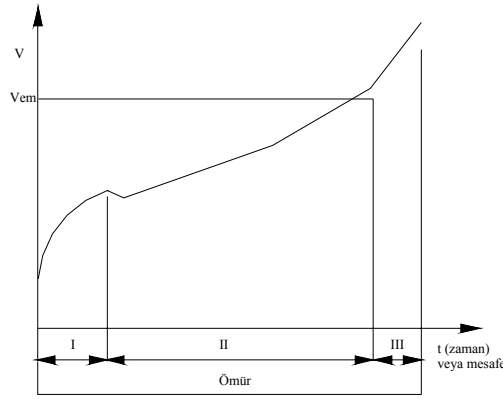
En önemli aşınma türlerinden biri olup, sürtünme elemanlarının temas yüzeylerinde yüksek mekanik gerilme sonucu 'mikro kaynak' bölgelerin oluşması esasına dayanır. Birbiriyle temas halinde ve bağlı harekete sahip parçalarda birinin diğerine malzeme transferi olarak tanımlanır.

Yüzey pürüzlülüğü dolayısıyla gerçek temas yüzeyi, geometrik sürtünme yüzeyinin çok küçük bir parçasıdır. Normal gerilimlerle izafi hareket sırasında oluşan teğetsel

gerilimlerin süper pozisyonuyla; bir micro temas yüzeylerinde mekanik gerilmeler büyük ölçülere ulaşır. Bu ölçüler çoğu zaman sürtünme elemanı malzemesinin akma sınırını aşarak yüzey bölgesini plastik deformasyonlara götürür, adsorbsiyon veya reaksiyon tabakalarını kırarak doğrudan doğruya metalik teması sağlar. Yüksek bölgesel basınç altındaki bu temas ise atomsal bağlantılar ve ‘mikro soğuk kaynak’ bölgeleri oluşturur. Bu bölgeler izafi hareket durumunda, sürtünme kuvvetinin etkisiyle kırılarak yüzeyler arasında taşınır. Bu şekilde meydana gelen malzeme kaybına adhesiv aşınma denir.

Sürtünme esnasında malzemenin yüzeylerinde meydana gelen kaynak bağlarının kırılması tam temas yüzeyinde meydana gelirse malzeme kaybı olmaz. Fakat kırılmanın temas yüzeyinin uzağında herhangi birinin içinde olması durumunda, kırılan parçacıklar bir yüzeyden diğer yüzeye geçerek malzeme transferi meydana gelir. Metallerin birinin diğerine göre yumuşak olması durumunda, meydana gelen kaynak bağı vasıtasıyla kırılma yumuşak malzemede olur ve malzeme transferi sert olan malzemeye doğru oluşur. Fakat yüzeyde bulunan nitrürler ve oksitler koparak yumuşak malzemeye gömülerek sert olan malzemeyi aşındırabilir. Ortamın ısısı, yüzeyin pürüzlülüğü, hareket hızı ve ortamın basıncı aşınmanın şiddetini arttıran temel faktörlerdir. Adhesiv aşınma, bir metal yüzeyinin başka bir metal yüzeyi üzerindeki hareketi sırasında daha yumuşak olan metalin yüzeyindeki pürüzlerin kopması sonucu ortaya çıkar. Bu nedenle Adhesiv aşınmanın söz konusu olduğu durumlarda sökölüp takılması ve tamir olması kolay olan parçanın diğerine göre yumuşak olması tercih edilir. Yapılan çalışmalarda azotlu ortamdaki aşınmanın, karbondioksitli ortamda meydana gelen aşınmadan daha fazla olduğu ispat edilmiştir. Yüzeyler arasında bulunan oksit, CO<sub>2</sub>, nem ve N gibi maddeler adhesiv aşınma, miktarının azalmasını sağlar.

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



Şekil 1.13. Aşınma zaman eğrisi

Şekil 1.13' de, aşınma hacmi  $V$ , çalışma şartlarına bağlı sınır değeri olan  $V_{em}$  ömrü sınırlayan aşınma hacmidir.  $V_{em}$  sınırına yaklaşıncaya yeni bir malzemenin kullanılması gerekmektedir. Aşınma safhaları üç bölgeye ayrılmıştır. 1. Bölgede birbiriyle çalışan parçaların ilk çalışma durumunda meydana gelen rodaj çalışmasıdır. Bu zaman zarfında yüzeylerdeki pürüzlerin giderilmesi için aşınmanın çok olduğu görülmektedir. Genellikle alıştırma süresinin minimum yük altında ve küçük hızlarda yapılması istenir. Rodaj çalışma esnasında özel yağlar kullanılarak rodaj süresi kısaltılır. 2. Bölgede ise, esas çalışma süresince meydana gelen aşınma görülmektedir ve bu aşınma süresi o malzemenin ömrünü tayin eden önemli bir faktördür. 3. bölgede ise, aşınma sonucu meydana gelen boşluklar ve diğer etkiler nedeniyle aşınmanın şiddetini arttırdığı bölge olarak tanımlanır.

### 1.9.7.2 Abrazyon aşınması

Sürtünen iki yüzey arasına dışarıdan giren yada, iki yüzey arasında oksitlenmeden dolayı meydana gelen daha sert bir maddenin yüzeylerde yaptığı hasar olarak tanımlanır.

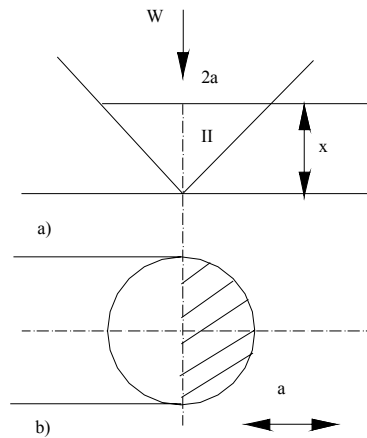
Bu sert maddeler yüzeylerde taşlama işleminde olduğu gibi, bir malzemedan parça kopartılması olayı ile benzer işlemler yaparlar. Sert parçacıkların yumuşak metale batması da abrasiv aşınmaya neden olabilmektedir.

İki, üç kısımlı ve erozyon abrasiv aşınma vardır. İki kısımlı abrasiv aşınmaya sürtünen yüzey üzerindeki sert tümsekler sebep olur. Üç kısımlı abrasiv aşınmada kayan yüzeyler arasında serbestçe yuvarlanan ve kayan sert partiküller bulunur. Erozyonda ise sert partiküller yüzey üzerinde ya bir gaz akışı veya bir sıvı akışı ile taşınır (Hiçyılmaz,1999).

SiC parçacıklı Al-MAK' ların işlenebilirliği araştırılmaktadır. Kesme hızı ve aşınma derinliğinden dolayı aletlerin kesilmesi ve kenarlarının deforme olması analiz edilmektedir. Al ana yapılı SiC parçacıkları, Tungsten Karbid' den daha serttir, bunlar işlenebilirlikte problem yaratabilmektedirler. Alet aşınmasının aşırı olması Al/SiC-MAK' lerin ana problemlerindedir. Al/SiC-MAK' ların SiC parçacıkları, sert yüzeye kontakla gelen, kesme aleti kenarında tekerleğin öğütmesi abrazyon aşınmasına neden olmaktadır. Al/SiC-MAK' ların işlenmesi sırasında, düşük kesme hızlarında aşınma oranı yüksek olmaktadır. 60 ve 150 m/dak arasındaki kesme hızı, Al/SiC MAK' ların işlenebilirliği için tavsiye edilmektedir (Manna ve Bhattacharayya, 2003).

#### 1.9.7.2.1. Plastik deformasyonun oluşturduğu abrasiv aşınma

Bir abrasiv aşınma modeli, plastik deformasyon sonucu malzeme üzerinden küçük parçacıkların ayrılması olayını içerir.



Şekil 1.14. İdealleştirilmiş bir konik abrasiv partikül ile bir yüzey arasındaki temasın geometrisi a)Profilden, b)Üstten görünüş



Bu şekilde, yarım açısı  $\alpha$  olan bir koni olarak idealleştirilmiş olan abraziv partikül sünek bir malzemenin yüzeyi boyunca P basıncı altında sürüklenmektedir. Malzemede bir yiv oluşur ve aşınmanın yivden çıkan küçük malzeme parçacıkları ile meydana geldiği kabul edilir. Partikül tarafından taşınan w normal yükü partikül ve yüzey arasındaki temas alanında P basıncı yaratır. Koni hareket ettirildiğinde temas sadece ön yüzeyde olur.

$$W = \frac{P \cdot \pi \cdot a^2 \cdot \alpha}{2} = 0,5 \cdot P \cdot \pi \cdot \tan^2 \alpha$$

l uzunluğundaki bir yüzey boyunca koninin kayması ile oluşacak yivden çıkan malzemenin hacmi,  $l \cdot a \cdot x$  veya  $l \cdot x^2 \cdot \tan \alpha$  olur. Yivden çıkan malzemenin her küçük parçası  $\eta$  olarak kabul edilirse bu bir partikülün birim kayma mesafesinde oluşturduğu aşınma yıkıntısının hacmi, q ;

$$q = \eta \cdot x^2 \cdot \tan \alpha$$

denklemden  $x^2$  yerine yazılırsa

$$q = \frac{2 \cdot \eta \cdot w}{\pi \cdot P \cdot \tan \alpha}$$

Bir çok abraziv partikül olduğu için ve  $P \approx H$  kabulü ile birim kayma mesafesinde oluşan aşınma yıkıntısının toplam hacmi, Q ;

$$Q = \frac{KW}{H}$$

Burada; H malzemesinin sertliği, W uygulanan toplam normal yük ve K ise  $\eta$  küçük yıkıntı parçacığına ve abraziv partiküllerin geometrisine bağlı bir sabittir. K, boyutsuz aşınma katsayısı, aşınmanın şiddetinin bir ölçüsü olarak kullanılabilir. Metallerin iki kısımlı abraziv aşınmasında K değeri  $5 \times 10^{-3}$  ila  $50 \times 10^{-3}$  arasında alınabilir. Üç kısımlı abrazyon için,  $0,5 \times 10^{-3}$  ila  $5 \times 10^{-3}$  değerlerinden daha küçük

kabul edilir. Kayma aşınmasında olduğu gibi  $K'$  nın yerine bazen daha kullanışlı olan boyutlu aşınma katsayısı,

$$k = \frac{K}{H} \text{ kullanılır. Birimi } \text{mm}^3 \cdot (\text{Nm})^{-1} \text{ dir.}$$

Abrasiv aşınmanın şiddetini ifade etmek için kullanılan diğer bir nicelik enerjidir. Birim hacimdeki malzemeyi koparmak için gerekli sürtünme işi olarak tarif edilebilir.

$$U = \frac{\mu \cdot W}{Q}$$

Burada  $\mu$  sürtünme katsayısı(kayan kütleler arasındaki)  $U \cdot \mu$  ve  $k$  cinsinden de ifade edilebilir.

$$U = \frac{\mu}{k}$$

İki kısımlı abrazyon ile kaldırılan malzemenin hacmi, kayma mesafesi ve normal yük ile doğru orantılıdır.

Abrazyon, malzemelerin yüzeyinde çok yüksek gerilmeler başlatır. Bu kesme gerilmesi kütlenin yüzeyinden içine doğru derinlik arttıkça azalır. Abrazyon ile oluşan plastik akışın neden olduğu kesme gerilmeleri malzemenin aşınan yüzeyinde gerilme sertleşmesine sebep olur. Aşınan yüzeyin sertliği kütlenin iç kısımlarına göre genellikle daha büyüktür (Hiçyılmaz,1999).

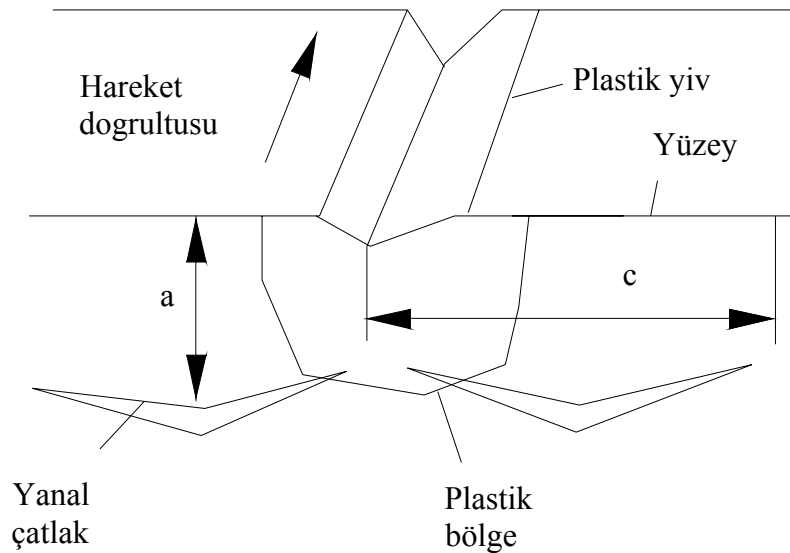
$\text{Al}_2\text{O}_3$  parçacıkları, Al ana yapı içine hacimce %5, 10, 15 oranlarında ilave edilmektedir.  $\text{Al}_2\text{O}_3$  katkılı kompozitlerin iç yapısı araştırıldığında, kompozitin tribolojik davranışının, malzemenin iç yapı özellikleri üzerinde ve yükleme-temas durumlarına bağlı olduğu belirtilmektedir. Yaşlandırılmış  $\text{Al}_2\text{O}_3$  katkılı kompozitlerin 80 ve 220 SiC abrasiv zımparalarla aşınma oranları bulunmaktadır.  $\text{Al}_2\text{O}_3$  katkılı Al' un, 220 SiC zımparasıyla aşınmada aşınma oranı, 80 SiC zımparasıyla aşınmadan daha az olmaktadır.  $\text{Al}_2\text{O}_3$  katkı fazının ilavesiyle aşınma

oranı azalmaktadır. Testlerden 220 SiC zımparasıyla aşınma oranlarının, diğer Al alaşımlarından daha az olduğu görülmektedir.

Abraziv aşınma boyunca  $Al_2O_3$  katkı fazının ilavesinin aşınma direncinde önemli bir artma yarattığı görülmektedir. Bu durum kullanılan abrasiv kağıda bağlıdır. Abraziv taneciklerin boyutuna bağlı olarak, abrasiv parçacıklar yüzeyi plastik olarak deforme etmekte veya kesmektedir. Plastik deformasyonun derinliği uygulanmış yüke ve tane büyüklüğüne bağlıdır. Abraziv aşınma boyunca, plastik gerilmenin derecesi abrasiv yükün altında, abrasiv tane boyutuna, ve uygulanmış yüke bağlı olmaktadır (Yılmaz ve Buytoz, 2001).

#### 1.9.7.2.2. Gevrek kırılma ile oluşan abrasiv aşınma

Abraziv aşınmanın ikinci bir idealize olmuş tasviri incelenecek olduğunda gevrek kırılmanın oluşturduğu bir malzeme kaldırma olayıdır. Gevrek bir malzeme, eğer yeterince büyük bir yük altında kesici olmayan (küresel v.s.) bir kütle ile çentilirse ve temas gerilmeleri elastik olarak kalırsa Hertz koni çatlağı oluşacaktır. Çentikli kütle yüzey boyunca kaydırılırsa tamamlanmamış bir koniksel çatlaklar serisi şekli alır (Hiçyılmaz, 1999).



Şekil 1.15. Plastik bir yivin altından yanal çatlakların gelişmesiyle gevrek bir malzemeden malzeme kopmasının şematik olarak gösterilmesi

### 1.9.7.3. Abrazyon aşınmasını etkileyen faktörler

#### 1.9.7.3.1 Partikül sertliği

Partiküllerin sertliği abrazyon ve erozyonda aşınma oranına etki eder. Sertliği yüzeye nazaran daha düşük olan partiküller daha sert partiküllere göre çok daha az aşınmaya sebep olurlar. Seramik malzemeler genellikle abraziv ve eroziv partiküller olarak küçük deformasyonlar oluşturmak için yeterince sert ve homojen olabilirler ve bunlar ana malzeme olarak veya kaplama olarak kullanıldığı zaman önemli aşınma direnci gösterebilirler (Hiçyılmaz, 1999).

Parçacık katkılı Al ana yapıli kompozitler, katkı fazsız kompozitlere göre daha düşük aşınma oranı göstermektedirler. Anayapıya, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiC, TiC vb. gibi sert parçacıkları ilavesi, malzemenin sertliğini arttırmakta ve aşınma oranını düşürmektedir (Martin vd.,1999).

Sonuçlar kompozitlerin aşınma oranlarının, ana yapı alaşımlarından daha düşük olduğunu, ayrıca da karışım içindeki lal taşının artmasıyla azaldığını göstermiştir. Katkisız alaşım ve katkılı kompozitlerde, aşınma oranları, yük ve kayma hızının artmasıyla artmaktadır. Uygulanmış yük de artış, aşınma şiddetini arttırmaktadır. Lal taşı miktarının artmasıyla, aşınma direncinin zaman ile sürekli arttığı bulunmuştur.

Lal taşı parçacıklarını , Zn-Al' nin ZA-27 alaşımıyla birleştirmek, katkı fazsız alaşımlarla karşılaştırıldığında kayma aşınma direncini düzeltmektedir. Ana yapı alaşımının ve katkı fazlı kompozitin aşınma oranının, uygulanan yükün artmasıyla arttığı görülmektedir. Kompozit numunelerin, ana yapı alaşım numunelerinden daha düşük aşınma oranları gösterdiği not edilmelidir. Her iki kompozitte de lal taşı miktarının artmasıyla aşınma oranı azalmaktadır. Aşınma oranı, yükün artmasıyla artmaktadır.

Yapılan gözlemler Alpas ve Embury' nin yaptığına benzemektedir. Onlar kuru aşındırmada kompozitin, ana yapı alaşımından daha iyi bir aşınma direncine sahip

olduğunu bildirmişlerdir. Gözlenmiş aşınma mekanizmaları, abraziv aşınmayı göstermektedir. Katkılı parçacıkların oranının artması, abraziv aşınmayı azaltmaktadır.

Chung ve Hwang, çalışmalarında SiC oranının artmasıyla, aşınma dayanımının arttığını söylemişlerdir. Alpas'a göre, kompozit numuneler düşük yüklerde abrazyon aşınması göstermektedirler (Ranganath vd., 2001).

Genelde katkısız Al, en az aşınma direnci göstermektedir. Kompozitler ise yüksek sertlik ve ikinci faz hacim konsantrasyonu ile, yüksek yüklerde en yüksek aşınma direncini göstermektedirler.

Otomotiv uygulamalarında Al alaşımlarının kullanımı, demirli alaşımlarla karşılaştırıldığında, düşük sertlik, rijitlik ve aşınma dayanımlarından dolayı sınırlandırılmıştır. Parçacık katkılı Al kompozitler yüksek sertliğe sahiptirler ve aşınma direncini düzeltmektedirler.

10 µm parçacık büyüklüğünde, hacimce %20 SiC katkılı SiC/Al kompozitinin sertliği seramik fazın hacimce artmasıyla, Al ana yapının sertliğinin artmasıyla ve seramik katkılı kompozitin boyutunun azalmasıyla artmaktadır.

Genel olarak TM rotalarıyla üretilen parçacık katkılı Al ana yapı alaşımlarının özelliklerini düzelttiği görülmüştür. Önceki çalışmalar, Al ana yapı kompozitlerin katkılı seramik veya iç metalik parçacıklarla, Ni<sub>3</sub>Al, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>3</sub>Ti, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, SiO<sub>2</sub>, ZrO<sub>2</sub>, Wc, grafit veya SiC gibilerinin aşınma direnci davranışı üzerine kurulmuştur. Kompozitlerin aşınma oranları uygulanan yük ile artmaktadır (Bermudez vd., 2001).

Leonard, SiC parçacık katkılı A357 (Al-Si) alaşımının aşınma davranışını izlemiştir. Onların araştırması katkı fazlı parçacıkların kırılmalarını, aşınmış yüzeyler altında açığa çıkarmaktadır. Sonuç olarak malzeme üzerinde katkı fazlı alaşım, katkı fazsız alaşımdan daha yüksek derinlik bırakmaktadır.

Li ve Tandon, Al-Si/SiC kompozitlerinin yaşlandırma sertleşmesinin, aşınma direncini önemli ölçüde düzeltmediğini gözlemişlerdir.

Strafellini, hacimce %20 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> katkılı 6061 alaşımının kuru sürtünme aşınmasının kalıptan çıkarılmış koşullardaki gibi hem yaşlanmada hem de aşırı yaşlanmada en az olduğu söylenmektedir. Katkı fazı, 6061 Al-MAK' in sertliğini arttırmaktadır.

%10-40 SiC parçacık katkılı Al-SiC' nin davranışı incelendiğinde, Al ana yapının aşınma direnci, SiC' nin hacminin artmasıyla artmaktadır.

Aşınma oranının artmasının, artan yük ile ilgili olduğu görülmektedir. Aşınma direncine bağlı olarak, Al ve %10 SiC yüksek aşınma oranları gösterirken, Al-%40SiC ve Al-7075 (yaşlandırılmış) düşük aşınma oranları göstermektedir (Venkatamaran ve Sundararajan, 2000).

#### **1.9.7.3.2 Partikül şekli**

Aşınma miktarı, önemli derecede partikül şekline bağlıdır. Köşeli partiküller yuvarlak partiküllere nazaran daha büyük aşınmalara neden olurlar. Partikül şeklindeki farklılıklar, aşınma miktarında birçok faktörler yüzünden farklılıklar doğurur. Abraziv partiküllerin köşeli şekilleri henüz nadiren ölçülebilmektedir. Bunun sebebi, kompleks üç boyutlu bir şeklin niteliklerinin tespit edilmesindeki güçlüktür.

#### **1.9.7.3.3 Partikül boyutu**

Abraziv partiküllerin boyutları geniş bir uzanım içindedir. Birçok abraziv ve eroziv aşınma partikülleri 5 ila 500 µm arasında boyuta sahiptir. Parlatmada bunlardan daha küçük partiküller kullanılır. Çok küçük hacimli bir malzemenin akma gerilmesi daha büyük bir hacme göre daha yüksektir. Muhtemelen küçük bir hacimdeki çekirdeklenme veya dislokasyon hareketindeki zorlukların sebebi budur. Deformasyon göstergesi olarak lokal akma gerilmesindeki bu artış, plastik işlemlerle oluşan aşınma miktarının azaltılmaya yöneliktir. Gevrek malzemelerin aşınması

kırılma içerebilir. Bunlarda aşınma miktarı partikül boyutuna daha fazla bağlıdır (Hiçyılmaz, 1999)

Aşındırıcı olarak  $Al_2O_3$  (85-250  $\mu m$ ) kullanılmaktadır. Aşınma oranı, abraziv aşındırıcı  $Al_2O_3$ ' ün boyutuna bağlıdır. 150  $\mu m$ ' den küçük taneli  $Al_2O_3$  ile aşındırıldığında, 13  $\mu m$  SiC parçacıkları, 37  $\mu m$  SiC parçacıklarından daha yüksek bir aşınma oranı göstermektedir. 150  $\mu m$ ' den büyük taneli  $Al_2O_3$  abraziv aşındırıcı ile katkılı 37  $\mu m$  SiC parçacıklarından daha yüksek aşınma oranı görülmektedir.

Al alaşımları, mühendislik uygulamalarında, yüksek sertlik ve ağırlık oranlarından dolayı geniş kullanım alanlarına sahiptir. Ana problem Al alaşımlarının düşük aşınma dayanımıdır. Al' a katkı fazı ilavesi aşınma problemine yönelik bir çözümdür.

Ağırlık kaybı arttıkça, kaydırma mesafesi de lineer olarak artmaktadır. 250  $\mu m$  abraziv  $Al_2O_3$  zımpara ile 85  $\mu m$  abraziv  $Al_2O_3$  zımparadan daha derin ve geniş delikler açılmıştır.

Sıkıştırılmış numunelerin aşınma oranı, abraziv aşındırıcının tane büyüklüğünün artmasıyla artmaktadır.

Daha büyük deformasyon ve daha yüksek miktarda malzemenin aşınma esnasında yüzeyden taşınması meydana geldiğinde,  $Al_2O_3$  abraziv taneciklerin boyutlarının artmasıyla aşınma oranının artması, artırılmış temas baskısına bağlıdır. Abraziv aşınmada SiC parçacıkların boyutu da önemlidir. Abraziv aşınma karşısında iyi abraziv  $Al_2O_3$  tanecikler (<150  $\mu m$ ), SiC parçacıkların boyutlarının azalmasıyla sıkıştırılmışların oranını azaltmaktadır.

Yüzey aşınmasının derecesi (yarıkların derinlik ve genişliği) abraziv  $Al_2O_3$  taneciklerinin boyutlarına ve SiC parçacıklarının mikro yapı içinde bulunmasına bağlıdır.

13  $\mu\text{m}$  SiC parçacıkları, 37  $\mu\text{m}$  SiC parçacıklarından daha yüksek bir aşınma oranına sahiptir. Bu zayıf ara yüzey sınırları Al ana yapı ve iyi SiC parçacıkları arasındaki ilişkiye bağlı olabilmektedir. Porozite düşük ara yüzey bağ sertliğine bağlı olmaktadır. SiC parçacıklarının daha yüksek boyutları (düşük porozite) SiC parçacıkları ve Al ana yapı arasındaki ara yüzey bağında daha iyidir. Yalnız şimdiye kadar bu ara yüzeyin sertliğini ölçmek mümkün olmamıştır. Sonuç olarak Al-%60 SiC (Hacimce) kompozitlerinin abraziv aşınma oranı, 13 ve 37  $\mu\text{m}$  SiC parça boyutu olan, abraziv  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ' ün tanecik büyüklüğü arttıkça artmaktadır. İyi abraziv  $\text{Al}_2\text{O}_3$  taneleri (<150  $\mu\text{m}$ ), 37  $\mu\text{m}$  parçacık büyüklüğüne sahip olan SiC 13  $\mu\text{m}$  parçacık büyüklüğündeki SiC' den daha iyi bir aşınma dayanımı göstermektedir. SiC parçacıklarının (37  $\mu\text{m}$ ) abraziv  $\text{Al}_2\text{O}_3$  aşındırıcıları (>150 mm) esnasında kırılması kompozitlerin aşınma dayanımını düşürmektedirler (Candan vd., 2001).

#### **1.9.7.4 Yorulma aşınması**

Makine parçalarında tekrarlanan yüklere maruz kalmaları veya düşük genlikli titreşimden dolayı zamanla yorulma meydana gelir. Özellikle yüzeylerin sürekli ve değişken yüklere maruz kalmaları, yüzeyin hemen altında yorulma çatlakları oluşmasına neden olur. Bu küçük çatlaklar zamanla ilerleyerek, malzemenin yüzeyinden pulcuk şeklinde parçacıkların kopmasına sebep olur. Bu şekilde meydana gelen aşınmaya yorulma aşınması denir (Hiçyılmaz, 1999).

#### **1.9.7.5 Difüzyon aşınma mekanizması**

Yüzeyler arasında atom alışverişi meydana gelerek mukavemeti düşük olan bir yüzey tabakası meydana gelir. Bu tabaka sürtünmeden ve izafi hareketin devam etmesiyle birlikte esas malzeme yüzeyinden koparak malzeme kaybına sebep olur. Bu difüzyon aşınma mekanizmasıdır.

#### **1.9.7.6 Tribo-oksidasyon aşınması**

Malzemelerin izafi hareket sırasında, statik ve dinamik sürtünme kuvvetlerinin



farklılık göstermesi sebebiyle düşük kayma hızlarında yüzeyler arasında titreşimler meydana gelir. Bu titreşimler yüzeyler arasında bir oksit filminin oluşmasına yol açar. Bu olaya tribolojik zorlanma esnasında meydana gelmesinden dolayı sürtünme oksidasyonu veya tribo-oksidasyon denir.

#### **1.9.7.7 Erozyon ve kavitasyon aşınma mekanizması**

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. Bu erozyon aşınmasıdır Kavitasyon aşınması, izafi hareket halinde bulunan bir sıvı ile katı bir cisim arasında meydana gelir (Hiçyılmaz, 1999).

Al sert parçacıklı kompozitin erozif-korozif aşınma davranışı, değişik hızlarda incelenmiştir. Alaşım ve sert parçacık arasındaki ara yüzey korozyon ve erozyonun etkisi, sinerji altında malzeme taşınmasının sürecinde önemli rol oynadığı gözlenmiştir. Yüksek hızlarda, parçacıklar kırılmıştır. Kırılmış parça ve son olarak numune yüzeyinden çekilmiş, dönüşen yüksek aşınma oranlarına sebep olmuştur. Al alaşımı ve kompozitlerin erozif-korozif aşınma davranışında değişik araştırmacılar tarafından alaşımın korozif koşulları altında, kompozitlerin düşük aşınma direnci gösterdiği bildirilmiştir. Daha yüksek hızlarda ve açılarda, tüm malzeme kaybı daha yüksektir. 900 devir/dakika hızında, kompozitin aşınma oranı, 600 devir/dakikadan 5-10 kat daha büyüktür (Das vd., 1999).

#### **1.9.7.8. Yenme aşınma mekanizması**

Yenme aşınma mekanizması, adhesiv aşınma mekanizmasına benzemektedir. Birbirine kuvvetli bastıran iki metalin yüzeyinde düşük genellikli titreşim hareketinden dolayı, yüzeylerde bulunan pürüzler, yüzeyden koparak aşınmayı meydana getirirler (Hiçyılmaz, 1999).

## 2.KAYNAK ÖZETLERİ

Aydın (1997) yüksek lisans çalışmasında, sınıflandırılmış (-50+106)  $\mu\text{m}$ , (-106+63)  $\mu\text{m}$ , (-45)  $\mu\text{m}$  Al tozları içerisinde, ağırlıkça % 1 ve % 10 oranlarında,  $\text{SiO}_2$  (-45)  $\mu\text{m}$ ,  $\text{SiC}$  (-75+38)  $\mu\text{m}$  ve  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (-45)  $\mu\text{m}$  gibi seramik tanecikleri katmıştır. TM yöntemleri kullanarak seramik destekleyicili Al esaslı kompozit malzemeler elde ederek, malzemelerin yük altındaki mekanik özelliklerini belirlemiştir. Al' nin toz tane boyutu küçüldükçe, kompozit malzemenin mekanik mukavemetinin arttığını, içerisindeki seramik destekleyici oranı arttıkça mekanik mukavemetin düştüğünü gözlemiştir.

Kaya (1999) yüksek lisans çalışmasında, sıcak presleme yöntemiyle üretilmiş olan Al-SiC kompozitlerinin mekanik özelliklerini araştırmıştır. Yüksek sıcaklık (615 °C) ve ince Al tozu (25,4  $\mu\text{m}$ ) kullanımının, üretilen Al-SiC kompozitlerinde mekanik özellikleri iyileştirdiğini saptamıştır.

Hiçyılmaz (1999) yüksek lisans çalışmasında, Al tozları içerisinde ağırlıkça % 1, % 5 ve % 10 oranlarında,  $\text{SiC}$  ve  $\text{Al}_2\text{O}_3$  seramik tanecikleri ayrı ayrı katılarak hazırlamıştır. Kompozit malzemelerin yük altındaki aşınma özellikleri Faleks tipi aşınma tezgahında yapılmıştır. Kompozit malzeme içerisindeki seramik tanecik destekleyici oranı arttıkça, Kompozit malzemenin aşınma direncinin arttığı görülmektedir.

Larker ve Lundberg (1999), Sıcak izostatik preslemeyle (SIP), monolitik ve kompozit yüksek sıcaklıklı seramiklerin net şekle yakın üretimini incelemiştir.

Das, Mondal, Dasgupta ve Prasad (1999), Al-SiC kompozitinin erozyon-korozyon sırasında, malzeme taşınması mekanizmasını anlatmışlardır.

Martin, Rodriguez ve Llorca (1999),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  katkılı, 2014 ve 6061 Al alaşımına, 0,1 m/s hızda, 25 N yük uygulanarak, aşınma testine tabi tutmuşlardır. Parçacık katkılı Al ana yapıllı kompozitlerin, katkı fazsız kompozitlere göre daha düşük aşınma oranı gösterdiğini bulmuşlardır.

Venkatamaran ve Sundararajan (2000), yaptıkları çalışmada, SiC parçacık katkılı A357 (Al-Si) alaşımının aşınma davranışını izlemişlerdir. Onların araştırması katkı fazlı parçacıkların kırılmalarını aşınmış yüzeyler altında açığa çıkarmaktadır. Sonuç olarak malzeme üzerinde katkı fazlı alaşım, katkı fazsız alaşımdan daha yüksek derinlik bırakmaktadır.

Ranganath, Sharma ve Krishna (2001), lal taşı parçalarıyla kuvvetlendirilmiş olan Zn/Al' u aşınma testlerine tabi tutmuşlardır. Aşınma testlerinde 20-50 N yük, 7,35-31,5 m/s hız kullanmışlardır. Sonuçlar kompozitlerin aşınma oranlarının, ana yapı alaşımlarından daha düşük olduğunu, ayrıca da karışım içindeki lal taşının artmasıyla azaldığını göstermiştir.

Bermudez, Matinez, Carrion ve Rodrigez (2001), Al tabanlı sinterlenmiş kompozitlerin mekanik olarak alaşımlandırılmasının, kuru ve yağlı ortamdaki aşınma direncini incelemişlerdir. Kompozitlerin aşınma oranları uygulanan yük ile arttığı gözlenmiştir.

Kennedy , Weston ve Jones (2001), Al-ağırlıkça % 10 TiC MAK' ları , 48 saat için 600 ve 900 °C arasında ısıtma ve 700 °C' de 240 saat tutmayla gerçekleşen reaksiyonları araştırmışlardır. En yüksek reaksiyon oranı 700 °C' de gözlenmiştir ve bu sıcaklıkta, reaksiyon ürünleri, ana yapı içinde büyük Al<sub>3</sub>Ti çökeltileri formunu almıştır ve Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> anayapı içinde bloklanmıştır. 900 °C' de TiC, Al içinde sabit olarak görünmüştür. Saf Al' de, TiC' nin eritme oranı, SiC' nin eritme oranından çok daha az olduğunu tespit etmişlerdir.

Yılmaz ve Buytoz (2001), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> parçacıkları, Al ana yapı içine hacimce %5, 10, 15 oranlarında ilave etmişlerdir. Yaşlandırılmış Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> katkılı Al' un, 220 SiC zımparasıyla aşınmada aşınma oranı, 80 SiC zımparasıyla aşınmadan daha az olduğunu gözlemlemişlerdir.

Candan, Ahlatcı ve Çimenoglu (2001), aşındırıcı olarak Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (85-250 µm) kullanmışlardır. Aşınma oranı, abraziv aşındırıcı Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>' ün boyutuna bağlıdır. 150 µm' den küçük taneli Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ile aşındırıldığında, 13 µm SiC parçacıkları, 37 µm SiC

parçacıklarından daha yüksek bir aşınma oranı göstermektedir. 150 µm' den büyük taneli Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> abrazyon aşındırıcı ile katkılı 37 µm SiC parçacıklarından daha yüksek aşınma oranı görülmektedir.

Nai ve Gupta (2002), Al-SiC tabanlı, ağırlıkça %18 SiC içeren kompozitlerin, değişik karıştırma hızları kullanarak özelliklerini araştırmışlardır. Karıştırma hızındaki artış, SiC parçacık dağılımının homojenliğini arttırdığını göstermiştir. SiC parçacıklarının ağırlıkça yüzdesindeki artış, poroziteyi ve mikro sertliği arttırmıştır.

Krasnowski, Witek ve Kulik (2002), sıcak preslemeyle FeAl-% 30 TiC kompozitini üretmişlerdir. Bu alaşımların mekanik özelliklerinin TiC gibi parçacıklarla kuvvetlendirmeyle ıslah edilebildiğini gözlemlemişlerdir.

Shorowordi, Laoui ve Haseeb (2003), B<sub>4</sub>C, SiC ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Hacimce %0-20) katkı fazı içeren Al-MAK' ları incelenmişlerdir. Tozlar, karıştırılarak dökülmüş ve ardından da sıcak ekstrüzyona tabi tutulmuştur. Al-B<sub>4</sub>C ve Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> iç yüzeylerinde reaksiyon ürünü gözlenmemiştir. Diğer yanda, Al-B<sub>4</sub>C kompozitlerdeki iç yüzeyden uzakta, ikincil faz (Al ve diğer Al içeren fazlar, boron ve karbür) Al ana yapıda bulunmaktadır. Kırılma yüzey analizlerinden, B<sub>4</sub>C katkı fazlı Al kompoziti diğer iki kompozitlere nazaran daha iyi iç yüzey bağına sahip olduğu görülmektedir.

Manna ve Bhattacharayya (2003), dönme sırasında SiC parça katkılı Al-MAK' ların işlenebilirliğini araştırmışlardır. İşlenebilirlik parametrelerinin etkisi, örneğin kesme hızı, besleme ve kesme kuvveti üzerindeki derinlik ve yüzey kriteri ve aşınmayı araştırmışlardır. Kesme hızı ve aşınma derinliğinden dolayı aletlerin kesilmesi ve kenarlarının deforme olmasını analiz etmişlerdir. Al/SiC-MAK' ların SiC parçacıkları, sert yüzeye kontakla gelen, kesme aleti kenarında tekerleğin öğütmesi abrazyon aşınmasına neden olmaktadır. Al/SiC-MAK' ların işlenmesi sırasında, düşük kesme hızlarında aşınma oranı yüksek olmaktadır. 60 ve 150 m/dak arasındaki kesme hızı, Al/SiC MAK' ların işlenebilirliği için tavsiye etmişlerdir.

Tham, Gupta ve Cheng (2003), Al-SiC kompozitlerinin kırılma davranışında tepkimeye girmiş ara yüzeyin etkisi çalışılmıştır. SiC parçacıkları ve ergimiş Al arasındaki çeşitli kompozitler hazırlanmışlardır. Kalın reaksiyon katmanları veya yüksek katkı fazlı konsantrasyonların mukavemeti arttırdığını gözlemişlerdir. Böylece kırılmaların daha zor meydana gelmesi sağlanmıştır.

Gür (2003), SiCp katkılı Al-MAK' ların, ultrasonik hızını araştırmışlardır. Ultrasonik dalgaların yayımı mikro yapı içindeki çeşitliliğe ve mekanik özelliklere duyarlı olduğu gözlenmiştir. Ultrasonik yayılmış dalgaların hızı, ana yapıya katkı fazı eklenmesiyle artmıştır.

Güven ve Delikanlı (2004), AA 2024 Al alaşımının en uygun çökelme sertleşmesi tav sıcaklığını saptanmaya çalışılmaktadırlar. Bu amaçla AA 2024 Alüminyum Alaşımı levha malzemeye; çözeltiye alma bölgesinde 510 ° C, 520 ° C ve 540 ° C sıcaklıklarda katı çözeltiye alma ve soğutma işleminden sonra 150 ° C sıcaklıkta 16 saat süre ile suni yaşlandırma işlemi uygulanmıştır. En yüksek mukavemet ve sertlik artışının, 540 °C de yapılan çözeltiye alma sıcaklığında elde edildiğini tespit etmişlerdir.

### 3. MATERYAL ve METOD

#### 3.1. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu çalışmada üretilen kompozitlerin anayapısı saf Al tozu (26,2  $\mu\text{m}$ ) ve hacimce %5 Cu tozu (63  $\mu\text{m}$ ) karışımlarından oluşmaktadır. Anayapı toz karışımı içerisine hacimce %10 SiC (10  $\mu\text{m}$ ), %20 SiC, %30 SiC, %10 B<sub>4</sub>C (10  $\mu\text{m}$ ) ve %20 B<sub>4</sub>C katkı fazı ilave edilmiştir. Tozlar seramik bir havan içerisinde elle karıştırılmıştır. Tozların homojen karışımını kolaylaştırmak amacı ile bir miktar izopropil alkol ilave edilmiştir. Karışımlar tek yönden basmalı dikdörtgen bir kalıpta ve azot atmosferi altında sıcak olarak preslenmiştir. Presleme işlemi 80 bar basınçta, 575 °C sıcaklığında, 15 dakika süre ile yapılmıştır. Elde edilen kompozitlere yaşlandırma ısıl işlemi uygulanmıştır. Bu amaç ile numunelerin çözündürme ısıl işlemleri 530 °C' de 24 saat süre ile gerçekleştirilmiştir. Çözündürme işlemi sonrası numuneler suya atılarak hızlı bir şekilde soğutulmuştur. Bu aşamadan sonra numunelerin yaşlandırma ısıl işlemleri 190 °C 'de yağ banyosunda gerçekleştirilmiş, belirli zaman aralıklarında Rockwell Sertlik değerleri ölçülmüştür. Dikdörtgen kesitli aşınma numuneleri, 30mm x 40mm x 8mm ebatlarında üretilen Al-Cu, Al-SiC ve Al-B<sub>4</sub>C kompozitlerden kesilmiştir. Her numuneden iki adet aşınma testi deney numunesi çıkarılmıştır. Bu numunelerle birlikte, Al 2014 alaşımına da yaşlandırma ısıl işlemi uygulanmıştır. Al 2014, Al-Cu, Al-SiC ve Al-B<sub>4</sub>C kompozitlerin aşınma dirençleri, Pin-on disk aşınma düzeneği yardımıyla tespit edilmiştir. Numunelerin metalografik incelemeleri yapılmıştır.

#### 3.2. Toz Karışımlarının Hazırlanması

İlk olarak toz karışımlarının ağırlıkları elektronik tartı ile ölçülmüştür. Al tozları içerisine %5 Cu, %10 SiC, %20 SiC, %30 SiC, %10 B<sub>4</sub>C ve %20 B<sub>4</sub>C oranlarında seramik tanecikleri katılarak, toplam 40 gr olan toz karışımları hazırlanmıştır. Karışım oranları çizelge 3.1' de verilmiştir. Bir kaptaki alkol ilavesiyle tozlar karıştırılmıştır. Karışımlar elle 15 dakika süre ile karıştırılarak düzgün dağılımlı

karışım sağlanmaya çalışılmıştır. Toz karışımları bu çalışmada kalıp içine dökülmüş ve sıcak presleme için hazırlanmıştır.

### 3.2.1. Al-Cu Anayapı

%5 Cu katkılı Al tozunun toplam ağırlığı  $m = 40\text{gr}$  , Al ağırlığı  $m_{\text{Al}} = 38\text{gr}$  , Cu ağırlığı  $m_{\text{Cu}} = 2\text{gr}$  ' dir.

### 3.2.2. SiC tozu

Al-Cu-% 10 SiC kompozitinin içerdiği toz miktarları aşağıdaki örnekteki gibi hesaplanmıştır. Kompozit, toplam numune ağırlığı,  $m=40$  gr olacak şekilde hazırlanmıştır.

$\rho = \frac{m}{V}$  eşitliğinde,  $\rho = \text{yoğunluk}(\text{gr}/\text{cm}^3)$ ,  $m = \text{ağırlık}(\text{gr})$ ,  $V = \text{hacim}(\text{cm}^3)$ ' dir.

$$m_{\text{SiC}} = \frac{m_{\text{SiC}}}{m_{\text{SiC}} + m_{\text{Al-Cu}}} (\%)$$

$$m_{\text{SiC}} = \frac{\%10\rho_{\text{SiC}}}{\%10\rho_{\text{SiC}} + \%10\rho_{\text{Al-Cu}}} (\%)$$

formülünden Al- %5 Cu- %10 SiC' nin ağırlıkça yüzde oranı hesaplanmıştır.

$$m_{\text{SiC}} (\%) = \frac{\%10 \cdot 3,2}{\%10 \cdot 3,2 + \%90 \cdot 2,77} = \%11,4$$

$$m_{\text{SiC}} = \%11,4 \cdot 40 = 4,54\text{gr}$$

$$m_{\text{Al-Cu}} = 35,46\text{gr} \text{ ' dir.}$$

Aynı metod kullanılarak %20 SiC, %30 SiC, %10 B<sub>4</sub>C, %20 B<sub>4</sub>C' nin karışımlarda kullanılacak olan ağırlıkları saptanmıştır. Bu değerler çizelge 3.1' de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Toz karışımlarının kompozisyonu

Katkı fazı	Hacim %	Ağırlık %	Al gr	Cu gr	SiC gr	Toplam gr
SiC	10	11,35	33,687	1,773	4,54	40
SiC	20	22,4	29,488	1,552	8,96	40
SiC	30	33,11	25,42	1,34	13,24	40
Katkı fazı	Hacim %	Ağırlık %	Al gr	Cu gr	B <sub>4</sub> C gr	Toplam gr
B <sub>4</sub> C	10	9,2	34,5	1,816	3,68	40
B <sub>4</sub> C	20	18,5	31	1,63	7,4	40
B <sub>4</sub> C	30	28	27,36	1,44	11,2	40

### 3.3. Karışımların Preslenmesi

Karışımlar tek yönden basmalı dikdörtgen bir kalıpta ve azot atmosferi altında sıcak olarak preslenmiştir. Presleme işlemi 80 bar basınçta, 575°C sıcaklığında, 15 dakika süre ile yapılmıştır. SP deney düzeneği Şekil 5.1' de görülmektedir.



Şekil 3.1. Sıcak pres deney düzeneği



SP' nin aparatları ve SP işlemi Şekil 3.2 ve 3.3' te görülmektedir.



Şekil 3.2. Yandan görünüş



Şekil 3.3. Sıcak presleme işlemi

Daha sonra kalıp suda soğutulmuş, kalıp içinden toz metal çıkartılmıştır. Deneysel çalışmada kullanılan bütün Al-Cu, SiC ve B<sub>4</sub>C toz karışımları aynı şartlar altında preslenmiştir. Her tipten ikişer adet olmak üzere, 6 adet numune kesme cihazı yardımıyla kesilmiştir.

### 3.4. Isıl İşlemler

6 adet seramik katkılı numune ve 2 adet AA 2014 alaşım, Şekil 3.4' te görüldüğü gibi, 530 °C' de 24 saat tutulmuştur. Daha sonra bu numuneler suda soğutulmuştur. Seramik katkılı numuneler kesme makinesiyle ikiye bölünmüştür. 12 adet seramik katkılı numune elde edilmiştir.



Şekil 3.4. Fırın



Şekil 3.5. Yaşlandırma işlemi

Seramik katkılı numunelerden 6 tanesi ve 1 adet AA 2014 alaşıma 190°C’ de belirli aralıklarla şekil 3.5’ de görüldüğü gibi yaşlandırma (yağ banyosu) işlemi uygulanmıştır.



Şekil 3.6. Yağ banyosundan alma



Şekil 3.7. Suda soğutma

Şekil 3.6’ da numuneleri yağ banyosundan alma ve şekil 3.7’ de suda soğutma gösterilmektedir. Numuneler suda soğutulduktan sonra sertliklerinin ölçümü için kurutulmuştur.

### 3.5. Sertlik Ölçme

12 adet seramik katkılı numune ve elimizde hazır bulunan 2 adet AA 2014 alaşım sertliklerinin ölçülmesi için hazırlanmıştır. Önce P320 ve daha sonra daha iyi yüzey kalitesi için P1200 sulu zımpara ile yüzeyler temizlenmiştir. Sertlikler, Rockwell F 1/16’’ çelik bilye, 60 kg yük ile ölçülmüştür. 24 saat 530 °C’ de ve 1. , 2. , 4. , 6. , 8. , 10. , 12. , 16. , 20. , 24., saatlerde 190 °C’ de yağ banyosunda tutulan numunelerin sertlik değerleri ölçülmüştür. Bu ölçümler Ek 1’ de gösterilmektedir.

### 3.6. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçme

Yüzey pürüzlülüğü ölçme cihazı ile yüzey numunelerin yüzey pürüzlülüğü ölçülmüştür. Numunelerin  $R_a$ ,  $R_{maks}$  ve  $R_z$  değerleri ölçülmüştür.  $R_a$ : ulaşılabilen ortalama pürüzlülük,  $R_{maks}$ : maksimum pürüzlülük ve  $R_z$ : ulaşılabılır pürüzlülük değeridir.



Şekil 3.8. Yüzey pürüzlülüğü ölçme cihazı

Numune yüzeylerinin pürüzlülük değerleri Şekil 3.8' deki cihaz yardımıyla ölçülmüştür. Bu değerler Ek 2' de gösterilmektedir.

### 3.7. Aşınma Deneyleri

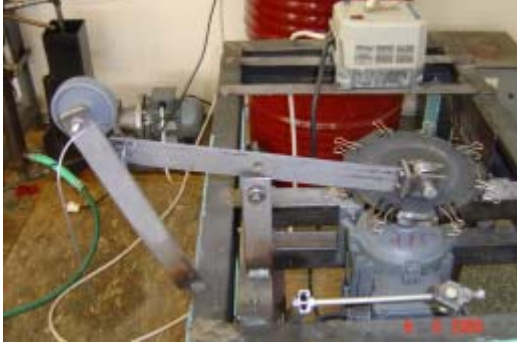
Abraziv aşınma deneyi Pin-on-disk tip aparat kullanılarak yapılmıştır. Numunelerin aşınma deneyleri sırasında yük altındaki davranışları incelenmiştir. Aşınma test düzeneği pin-on-disk şekil 3.9' da görüldüğü gibidir.



Şekil 3.9. Aşınma test düzeneği

Deney kuru şartlarda yapılmıştır. Pin-on-disk' e sırasıyla P220A, P150C, P100D zımparaları ataç yardımıyla şekil 3.10' da görüldüğü gibi bağlanmıştır. Her numune elektronik tartıda tartılarak aşınma testinden önceki ağırlıkları bulunmuştur. Bu 14 adet numune aşınma testine tabi tutulmuştur.

Numuneler Şekil 3.11’ de görüldüğü gibi aparata bağlanmıştır. Daha sonra her bir numune için 2, 4, 6, 8, 10 N yük uygulanmıştır.



Şekil 3.10. Zımparanın yerleştirilmesi



Şekil 3.11 Numunenin yerleştirilmesi



Şekil 3.12. Düzeneğin alıŐtırılması

230 devir/dakika ile 30 saniye süre ile Şekil 3.12’ de görüldüğü gibi cihaz çalıŐtırılmıŐtır. Her test temiz abrazyiv kağıtla yapılmıştır. Dönen diske numuneler temas ettirilmiŐtir.

AŞınma testi sonrası numuneler tekrar elektronik tartı ile tartılarak, ağırlıkları bulunmuştur. AŞınma testi öncesi ve sonrası numunelerin kütle kayıpları Ek 3, Ek 4, Ek 5, Ek 6’ da verilmiştir. AŞınma testi sonrası numunelerin tekrar yüzey pürüzlülükleri llmŐtur. Bu yüzey pürüzlülük değerlerleri Ek 2’ de gösterildiği gibidir. Ağırlık kayıpları esas alınarak aşağıdaki formülden numunelerin aşınma oranları bulunmuştur;

$$W = \frac{m/\rho_{\text{komp}}}{\pi \cdot D \cdot 10^{-3} \cdot d}$$

$$W = \text{Aşınma oranı } \text{mm}^3 \text{m}^{-1}$$

$$m = \text{Kütle kaybı (gr)}$$

$$\rho_{\text{komp}} = \text{Kompozitin yoğunluğu (grmm}^{-3}\text{)}$$

$$D = \text{Zımpara üzerindeki izin çapı (mm)}$$

$$d = \text{Motorun devri (devir/dakika)}$$

Kompozitin yoğunluğu şöyle hesaplanmıştır;

$$\rho_{\text{komp}} = \frac{m_{\text{komp}}}{V_{\text{komp}}}$$

$$\rho_{\text{komp}} : \text{kompozitin yoğunluğu (grmm}^{-3}\text{)}$$

$$m_{\text{komp}} : \text{kompozitin ağırlığı (gr)}$$

$$V_{\text{komp}} : \text{kompozitin hacmi (mm}^3\text{)}$$

Aşınma oranları hesaplanırken, öncelikle Al-Cu- %10 SiC kompozitinin yoğunluğu bulunmuştur.

$$\rho_{\text{komp}} = 0,9 \times \rho_{\text{Al-Cu}} + 0,1 \times \rho_{\text{SiC}} = 0,9 \times 2,77 + 0,1 \times 3,2 = 2,816 \times 10^{-3} \text{ grmm}^{-3}$$

2 N yük altındaki, P220A zımparasıyla aşındırıldıktan sonra %10 SiC' nin aşınma oranı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır;

$$W = \frac{0,021 / 2,816 \cdot 10^{-3}}{\pi \cdot 100 \cdot 10^{-3} \cdot 230} = 0,103 \text{ mm}^3 \text{m}^{-1}$$

Tüm kompozitlerin aşınma oranları bu şekilde hesaplanmıştır. Kompozitlerin aşınma oranları Ek 3, Ek 4, Ek 5, Ek 6' da verilmiştir.

### 3.8. Metalografik İnceleme

Numunelerin aşınma testi sonrası yüzey filmleri mikroskopik inceleme cihazında çekilmiştir. Numunelerin iç yapılarını görmek için mikroskopla inceleme öncesi bazı hazırlıklar yapılmıştır.



Şekil 3.13. Elle zımparama



Şekil 3.14. Cihaz ile zımparalama

Yüzey filmleri çekildikten sonra numuneler önce 500' lük sonra 1200' lük SiC abraziv zımparalar ile şekil 3.13' teki gibi, sulu ortamda yüzey üzerindeki çizgiler kaybolana kadar zımparalanmıştır. Sonrada şekil 3.14' te görüldüğü gibi cihaz ile zımparalanmıştır.



Şekil 3.15. Alumina tozu ile zımparalama



Şekil 3.16. Elmas suyu ile parlatılması

0,3 mikron büyüklüğündeki alümina tozu ile şekil 3.15' de görülen cihazla yüzeyler parlatılmıştır. Elmas suyu ile temizlenmiştir. Şekil 3.16' deki cihaz yardımıyla parlatılmıştır.

## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

### 4.1. Numunelerin Hazırlanması

Yüzeyler alkolle temizlenip, tekrar optik mikroskoba götürülmüştür.

Parlatma işleminden sonra, optik mikroskopta, numuneler sırasıyla incelenerek yüzey incelemesi yapılmıştır.

Yüzey incelenmesi, ODTÜ laboratuvarında, optik mikroskopla, 100, 200, 500 gibi büyütme oranlarında yapılmıştır.

### 4.2. Yüzey incelemesi

MAK' ların özellikleri yalnızca ana yapı, parçacık ve hacimce oranına bağlı değildir, ayrıca, parçacık ve anayapı arasındaki ara yüzey bağı ve katkı fazı dağılımına da bağlıdır.

Aşağıdaki şekillerde, 575 °C' de sıcak preslenmiş numunelerin iç yapısı görülmektedir.

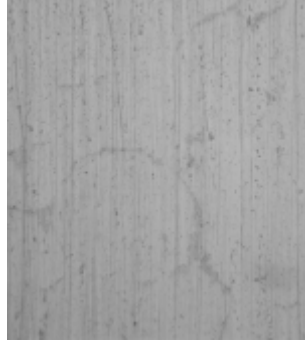
Şekil 4.1' de Al-Cu ana yapı görülmektedir. Al-Cu ana yapıda dağılımın homojen olduğu görülmektedir.

SiC ve B<sub>4</sub>C tozları ana yapıya, %10-%30 aralığında ilave edilmiştir.

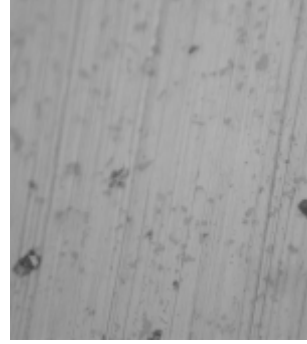
Şekil 4.2' de AA2014 alaşımının iç yapısı görülmektedir. AA2014 alaşımının içerisinde çökelmiş tanecikler bulunmaktadır.

Koyu renkler çökelmiş tanecikleri göstermektedir.

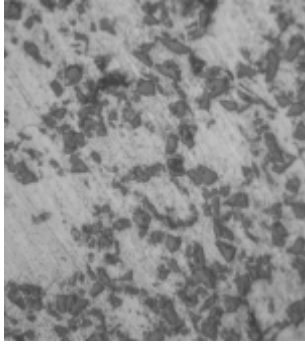
Şekil 4.3' te SiC parçacıklarının Al anayapı içinde düzgün dağıldığı görülmektedir. Numune yüzeylerinde gözenekler gözlenmemektedir. Anayapı ve seramik parçacıkları arasında, SP ile iyi bağlar olduğu görülmektedir. Şekil 4.4' de SiC parçacıklarının üçgen bir şekle sahip olduğu görülmektedir, SiC parçacıkları ana yapı tarafından ıslatılmış ve çevrelenmiştir. Koyu görünümlü parçacıklar, SiC taneciklerini, daha açık olan parçacıklar Al taneciklerini temsil etmektedir. SiC parçacıklarını, Al anayapı bir arada tutmaktadır. SiC parçacıkları anayapı tarafından ıslatılmış ve çevrelenmiştir, SiC parçacıkları anayapı içinde yayılmıştır. Şekil 4.5' te SiC miktarının artmasıyla, daha çok SiC seramik fazı görülmektedir.



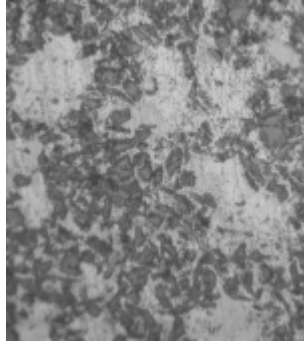
Şekil 4.1. Al-Cu×500 (Yaş.)



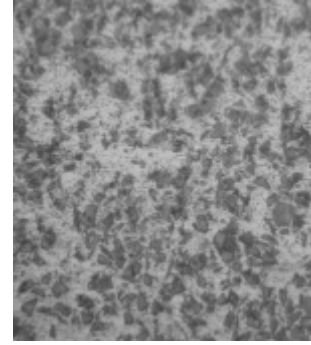
Şekil 4.2. AA2014×500



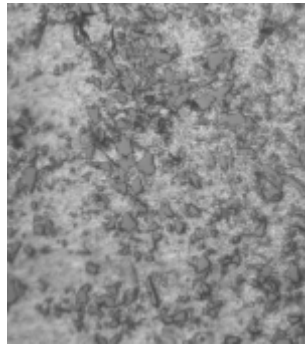
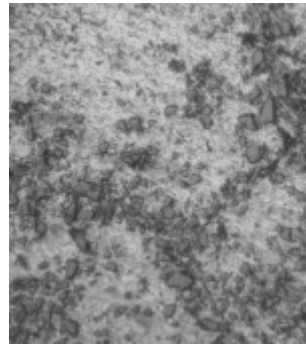
Şekil 4.3. %10 SiC×500



Şekil 4.4. %20 SiC×500



Şekil 4.5. %30 SiC×500

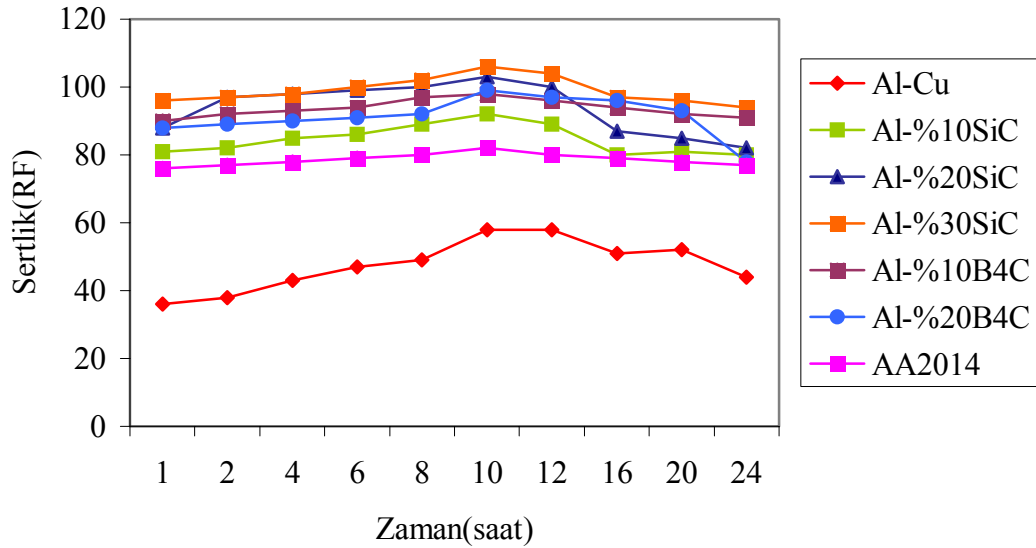
Şekil 4.6. %10 B<sub>4</sub>C×500Şekil 4.7. %20 B<sub>4</sub>C×500



Şekil 4.6' da ve şekil 4.7' de %10 B<sub>4</sub>C katkıli anayapı görülmektedir. Koyu tanecikler B<sub>4</sub>C' yi temsil etmektedir. Daha açık olanlar ise anayapıdır.

### 4.3. Yaşlandırma İşlemi

Kompozitlerin yaşlandırma ısı işlem sertleşmesine karşı gösterdikleri tepki araştırılmıştır. Şekil 4.8 'de Al-Cu, Al-SiC, Al-B<sub>4</sub>C, Al 2014 kompozitlerin 190 °C sıcaklıkta yaşlandırma işlemi sonrası ulaştıkları Rockwell F sertlik değerleri verilmiştir.



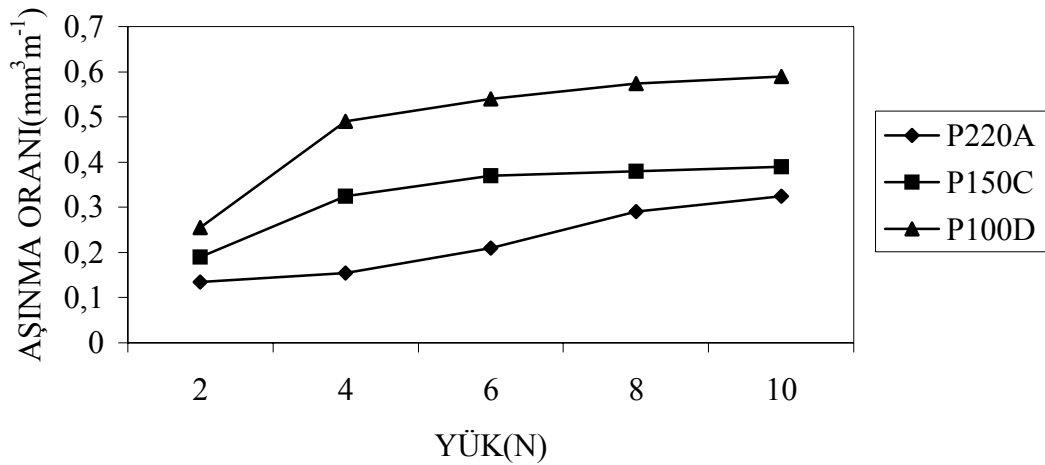
Şekil 4.8. Al-SiC, Al-B<sub>4</sub>C, Al-Cu, Al 2014 kompozitlerin 190 °C de yaşlandırma ısı işlemleri

Şekil 4.8' de görüldüğü gibi kompozitler yaşlandırma ısı işlemine oldukça iyi yanıt vermişlerdir. Maksimum sertlik 10 saat yaşlandırmada görülmüştür. Al-Cu anayapının sertlik değerleri 10 saat içerisinde 36 RF' den 58 RF' ye yükselmektedir. Beklendiği gibi SiC ve B<sub>4</sub>C katkı fazı içeren kompozitlerin sertliği, anayapının sertliğinden her koşulda daha yüksektir. Yağ banyosunda 10 saat yaşlandırma işlemi sonrası, Al-%30 SiC kompozitlerde ulaşılan sertlik 106 RF' dir. Al-%30SiC ve Al-%20SiC kompozitlerin sertliği bu aralık içinde yer almaktadır. Şekil 4.8'de dikkati çeken bir diğer nokta, kompozitlerin yaşlanma eğrilerindeki dalgalanmadır. Katkı

fazının dağılımının sertlik değerlerini etkilediği düşünülmektedir. Belirli bölgelerde nispeten daha fazla katkı fazının olması, sertlik sonuçlarını etkilemiştir. SiC, B<sub>4</sub>C fazının yoğun olduğu noktalarda sertlik değerleri de daha yüksek olmaktadır. Al-Cu numunelerinde benzer dalgalanmaların olmaması, bu varsayımı doğrulamaktadır. Yaşlandırma ısıl işlemleri sonrası kompozitlerin sertliklerinin arttığı görülmüştür.

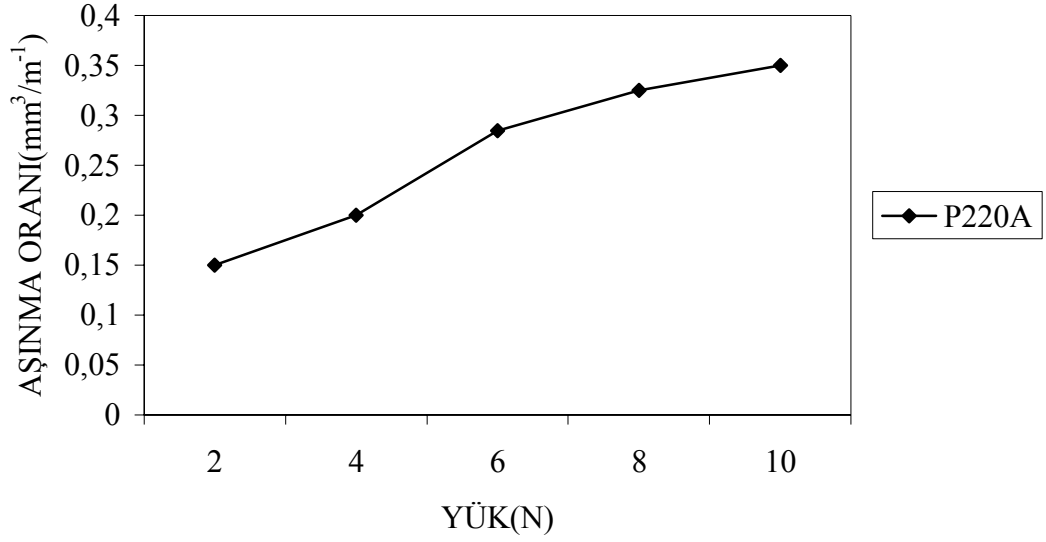
#### 4.4 Aşınma Deneyleri

Bu çalışmada üretilen kompozitlerin mekanik özelliklerini belirlemek amacı ile aşınma deneyi seçilmiştir. Aşınma deneyi için pin-on disk kullanılmıştır. Numunenin gördüğü ısıl işlem, uygulanan yük ve kullanılan zımpara cinsine göre numunelerin aşınma oranı grafikleri aşağıda görüldüğü gibidir.



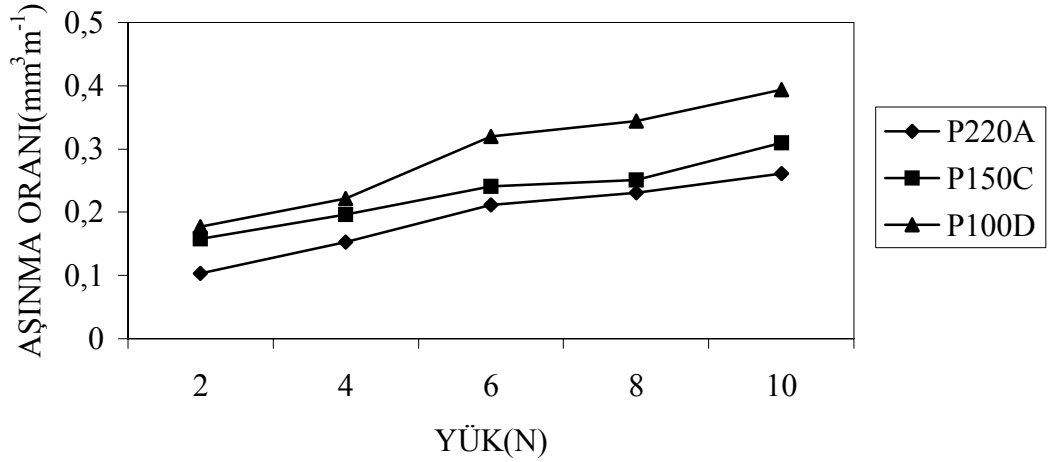
Şekil 4.9. Al-%5 Cu (10 saat yaşlandırılmış)

Şekil 4.9' da, 10 saat yaşlandırılmış, Al-%5 Cu' nun, P220A, P150C, P100D SiC abrazyiv aşındırıcıları ile 2, 4, 6, 8, 10 N yükleri altında, pin-on diskle yapılan testlerle bulunan aşınma oranlarının grafiği görülmektedir. Artan yükler ve abrazyiv aşındırıcının cinsine bağlı olarak aşınma oranı artmaktadır. P100D SiC abrazyiv aşındırıcısı ile diğer aşındırıcılara nazaran daha yüksek aşınma oranı görülmektedir. P220A SiC abrazyiv aşındırıcısı ile diğer aşındırıcılara nazaran daha az aşınma oranı görülmektedir.



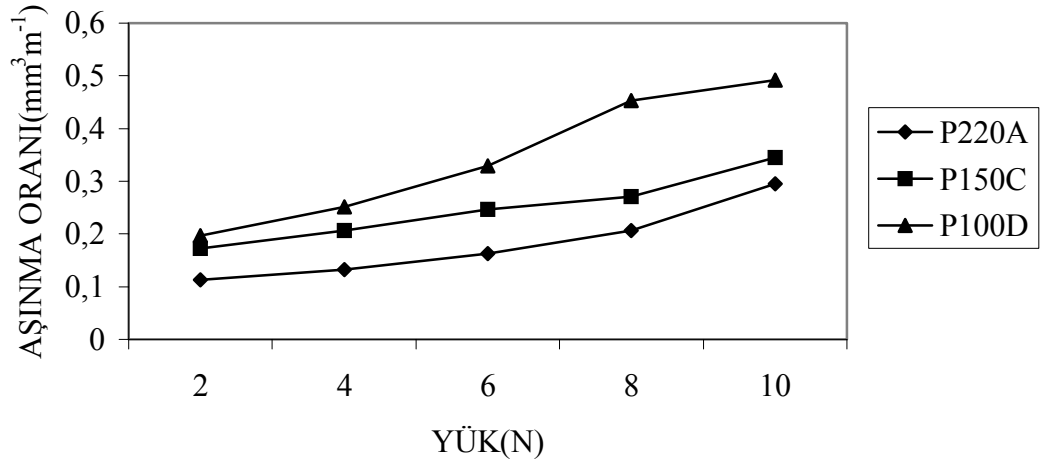
Şekil 4.10. Al-%5 Cu

Şekil 4.10' da Al-%5 Cu' nun aşınma oranı görülmektedir. Artan yüklerle birlikte aşınma oranı artmaktadır. Al-%5 Cu' nun aşınma oranının, Al-%5 Cu (10 saat yaşlandırılmış) ile karşılaştırıldığında, daha yüksek olduğu görülmektedir.



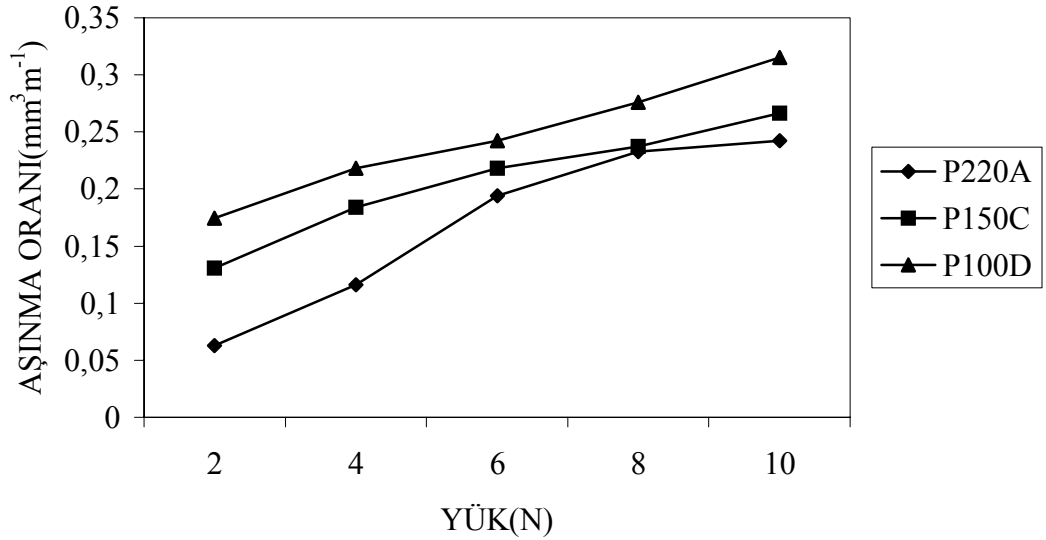
Şekil 4.11. Al-% 5 Cu-% 10 SiC (10 saat yaşlandırılmış)

Şekil 4.11' de Al-% 5 Cu-% 10 SiC (10 saat yaşlandırılmış) kompozitinin aşınma oranları görülmektedir. Artan yük birlikte aşınma oranı artmaktadır. %10 SiC ilavesiyle, Al-% 5 Cu' dan daha az aşınma oranı meydana gelmiştir.



Şekil 4.12. Al-%5 Cu-%10 SiC

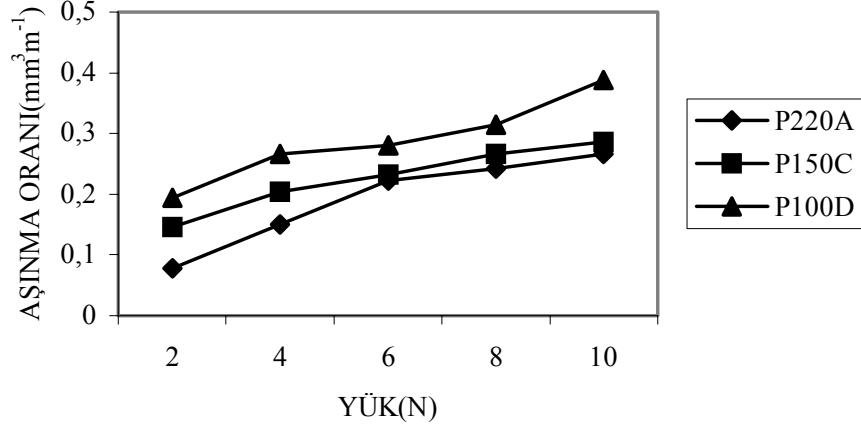
%10 SiC ilave edilmiş kompozitin aşınma oranı, %10 SiC (yaşlandırılmış) ilave edilmiş kompozitin aşınma oranından daha fazladır. Şekil 4.12 ve şekil 4.11 karşılaştırıldığında bu durum görülmektedir.



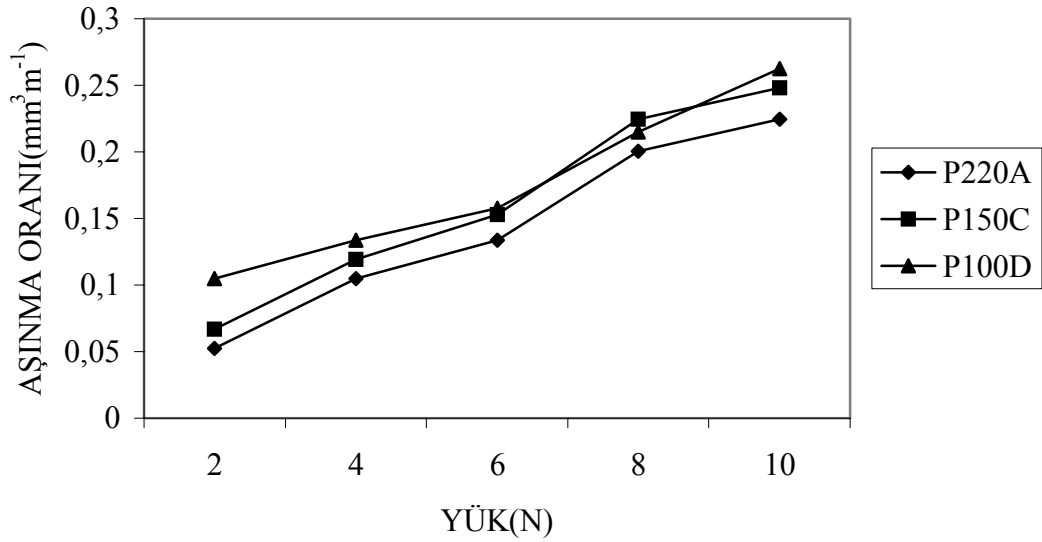
Şekil 4.13. Al-%5 Cu-%20 SiC(10 saat yaşlandırılmış)

%20 SiC ilave edilmiş kompozitin aşınma oranı, %10 SiC ilave edilmiş kompozitin aşınma oranından daha az olmaktadır.

Şekil 4.14 ve 4.15' te katkı fazının oranını artmasıyla aşınma oranının arttığı görülmektedir.

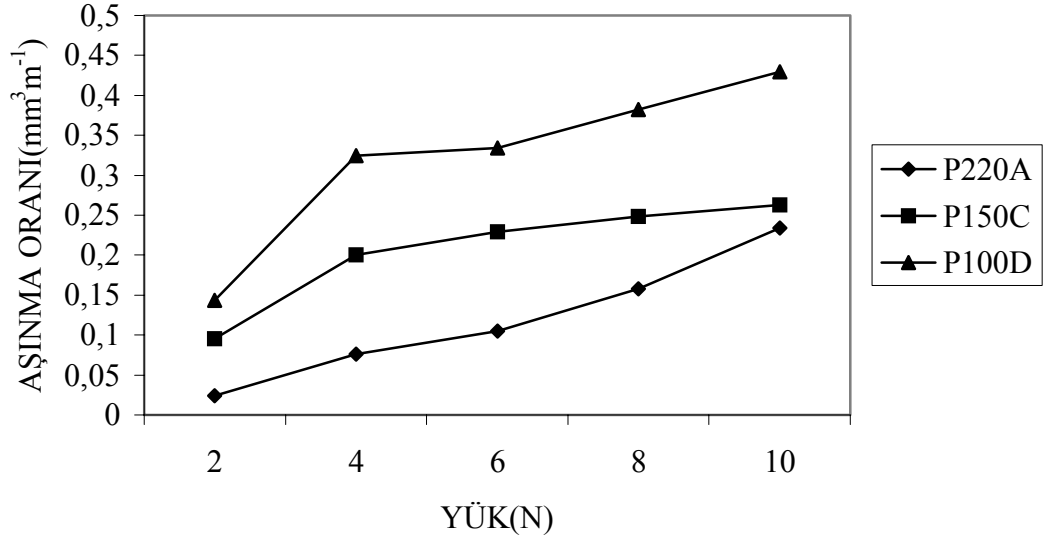


Şekil 4.14. Al-%5 Cu-%20 SiC



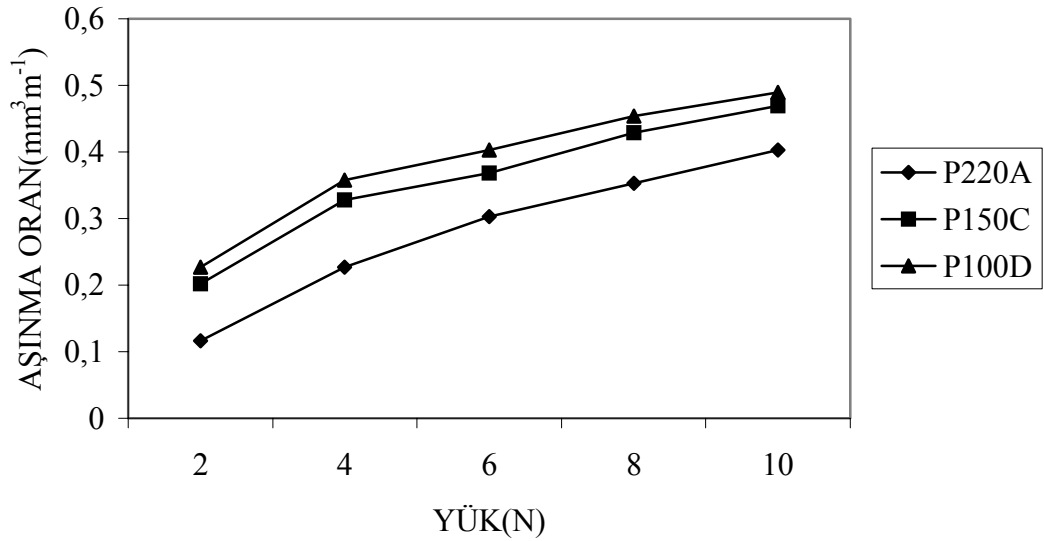
Şekil 4.15. Al-%5 Cu-%30 SiC (10 saat yaşlandırılmış)

Kompozitlerin aşınma oranı, katkı fazı, gördükleri ısıl işlem, yük miktarı, aşındırıcı cinsine göre değişmektedir. Katkı fazının aşınma oranını azalttığı görülmektedir. Şekil 4.15' te görülen %30 SiC (10 saat yaşlandırılmış) katkılı kompozit gördüğü ısıl işlem ve katkı fazında dolayı, Al-% 5 Cu, %10 SiC ve %20 SiC' ye göre daha az aşınma oranı göstermektedir. P220A SiC abrazyv aşındırıcı ile en az aşınma oranı gözlenirken, P100D SiC abrazyv aşındırıcı ile en fazla aşınma oranı gözlenmektedir.



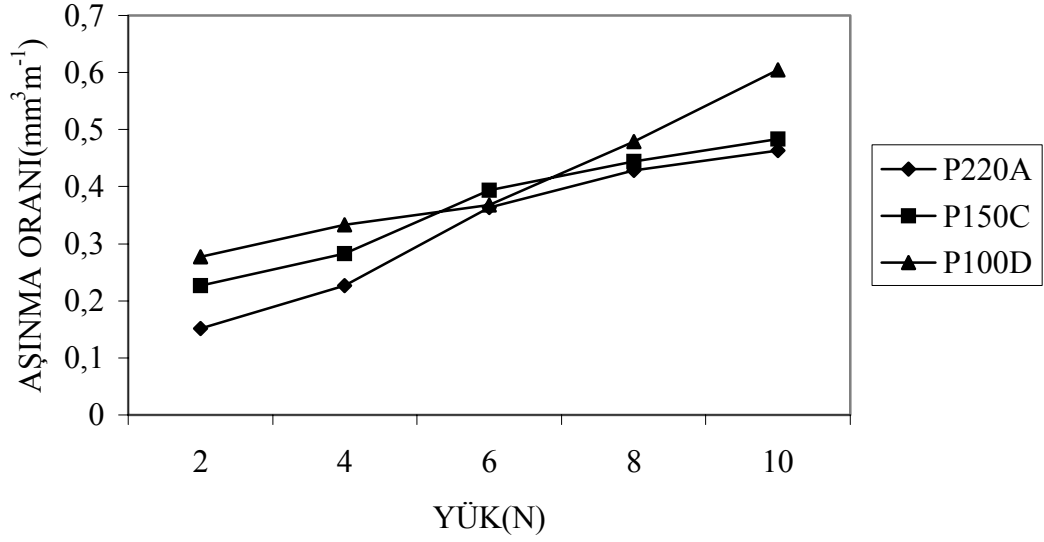
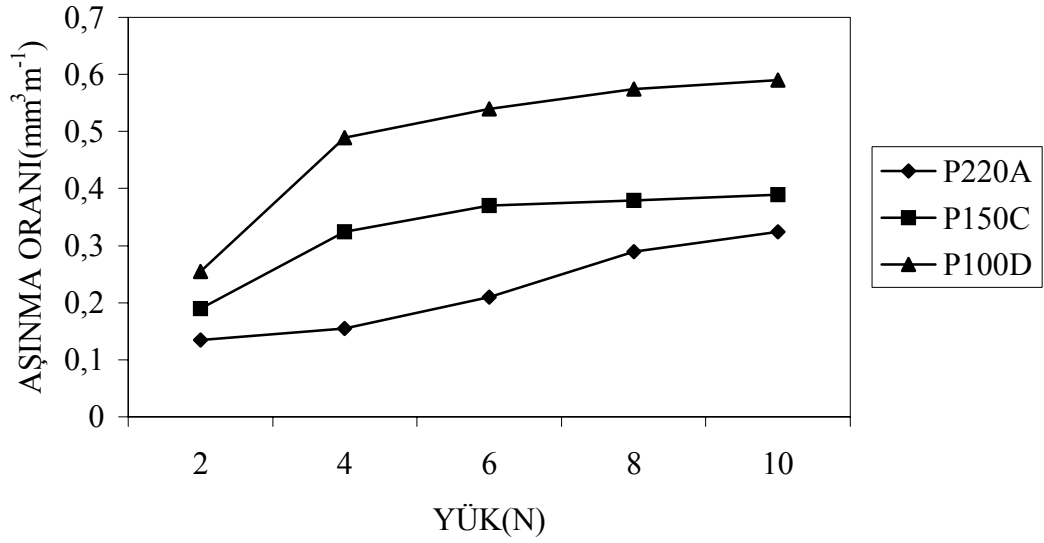
Şekil 4.16. Al-%5 Cu-%30 SiC

Şekil 4.16' da %30 SiC katkı fazlı kompozit görülmektedir. Katkı fazı içinde çökelen parçacıklar, aşınma oranını azaltmaktadır.



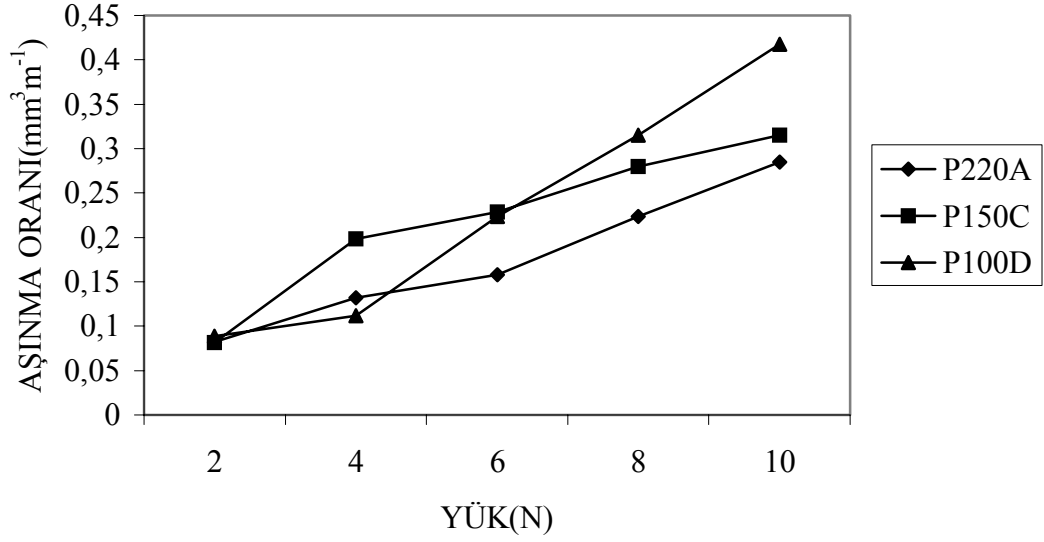
Şekil 4.17. Al-%5 Cu-%10 B<sub>4</sub>C (10 saat yaşlandırılmış)

Şekil 4.17' de %10 B<sub>4</sub>C (10 saat yaşlandırılmış) kompozitinin aşınma oranı görülmektedir. Aşınma oranı yükün artmasıyla lineer olarak artmaktadır. %10 B<sub>4</sub>C (10 saat yaşlandırılmış) kompozitinin aşınma oranının, Al-%5 Cu ile karşılaştırıldığında daha az olduğu görülmektedir. Bu da katkı fazının oranının artmasıyla, aşınma oranının azaldığını göstermektedir.

Şekil 4.18. Al-%5 Cu-%10 B<sub>4</sub>C

Şekil 4.19. Al-%5 Cu (10 saat yaşlandırılmış)

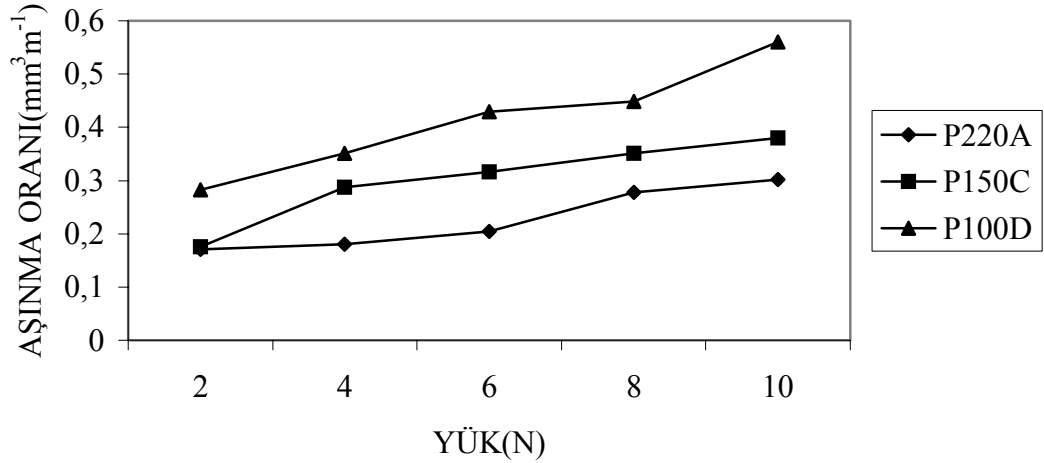
Şekil 4.18 ve 4.19' da %20 B<sub>4</sub>C ve %20 B<sub>4</sub>C (10 saat yaşlandırılmış) katkıli kompozitlerinin aşınma oranları görülmektedir. Yükün artmasıyla aşınma oranı artmaktadır. Gördüğü ısıl işleme göre %20 B<sub>4</sub>C (10 saat yaşlandırılmış) katkıli kompozit, %20 B<sub>4</sub>C katkıli kompozite göre daha az aşınma oranına sahiptir. Her iki kompozitte de P100D SiC abraziv zımparasıyla ve 10 N yük altında en fazla aşınma oranı görülmektedir. P220A SiC abraziv zımparasıyla ve 10 N yük altında en az aşınma oranı görülmektedir.



Şekil 4.20. Al-%5 Cu-%20 B<sub>4</sub>C

Şekil 4.20' de %20 B<sub>4</sub>C katkı fazlı kompozit görülmektedir. Artan yükte birlikte, aşınma oranı da artmaktadır.

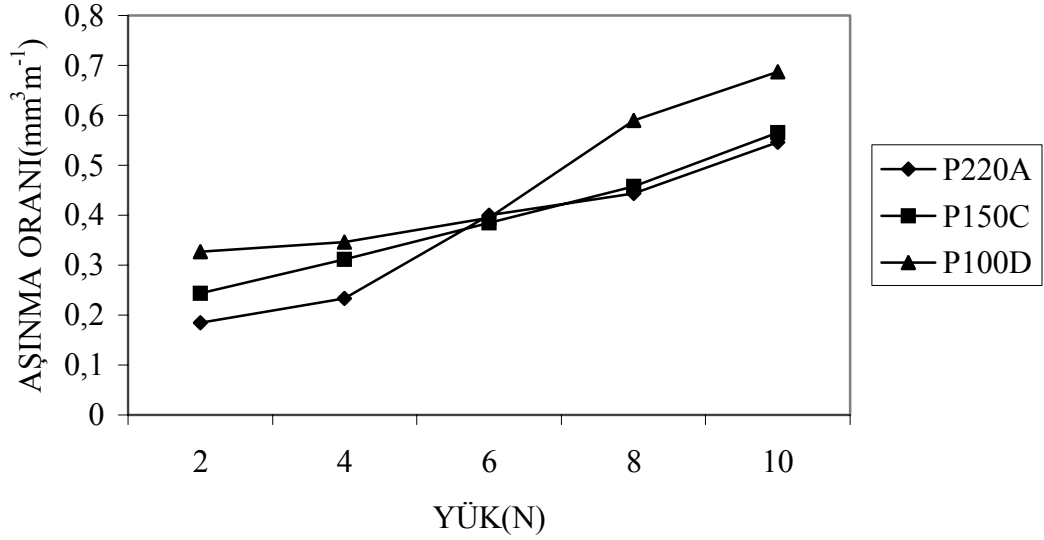
AA 2014(10 SAAT YAŞLANDIRILMIŞ)



Şekil 4.21. AA 2014 (10 Saat Yaşlandırılmış)

Şekil 4.21' de ise AA 2014 (10 Saat Yaşlandırılmış) alaşımı görülmektedir. AA 2014 (10 Saat Yaşlandırılmış) alaşımının aşınma oranı, %20 B<sub>4</sub>C katkı fazlı kompozit ile karşılaştırıldığında, %20 B<sub>4</sub>C katkı fazlı kompozitin aşınma oranının daha az olduğu görülmektedir. Şekil 4.22' de ise AA 2014 alaşımı görülmektedir. AA 2014 alaşımının aşınma oranı, AA 2014 (10 Saat Yaşlandırılmış) alaşımından daha azdır.





Şekil 4.22. AA 2014

Yapılan aşınma deneylerinde artan yük ile birlikte, aşınma doğrusal olarak artmıştır. Elde edilen bütün test numunelerinin aşınma oranı eğrileri, kompozit malzeme içerisindeki destekleyicinin türüne ve ağırlıkça oranına bağlı olarak karşılaştırabilmek için her tip kompozit malzemenin aşınma grafiği çizilmiş ve karşılaştırmalar yapılmıştır.

İçerisinde seramik tanecikleri bulunmayan saf Al' den yapılmış malzemenin aşınma oranının, seramik tanecikleri içeren kompozit malzemeye göre daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Seramik tanecikleri içeren MAK' ların seramik tanecik miktarı azaldıkça aşınma miktarında artma olmuştur.

#### 4.4.1. Aşınma sonrası yüzey filmleri

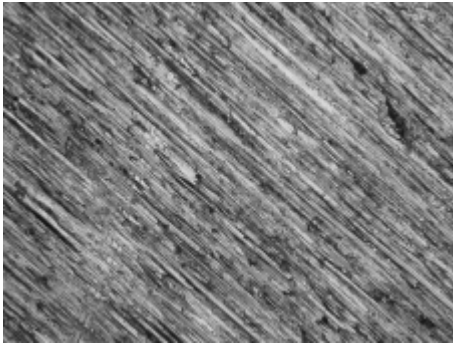
Elde edilen bütün test numunelerinin yüzeylerinde, aşınma testi sonrasında, gözle görülür kazınma ve aşınma ilk aşamada görülmüştür. Ağırlık kaybı meydana gelmiştir.

Deneyler sırasında kompozitten aşınarak kopan parçacıkların aşındırıcılara yapıştığı görülmüştür. Seramik tanecik içermeyen alaşımda yapışma daha fazladır. Seramik miktarı arttıkça, yapışma azalmaktadır. Aşındırıcı üzerine yapışan sert küçük

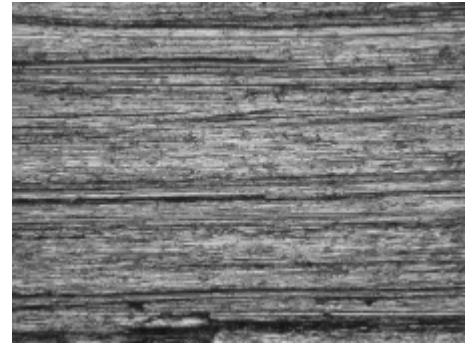
parçacıklar numune üzerinde derin izler oluşmasına ve önemli miktarda ağırlık kaybına neden olmuştur.

MAK' lara yük uygulandığında, parçacıklar çevresindeki dislokasyonların birikmesinden dolayı, parçacıklar etrafında baskı yoğunlaşması meydana gelmektedir. Bu olay yaşlandırılmış MAK' larda görülebilmektedir. Bunlarda boşluklara neden olabilmektedir. Boşluklar, mikro kırılmalara yol açabilmektedir. SiC parçacıkları ve anayapının yapışmamasından dolayı, SiC parçacıkları kolayca yüzeyden çıkabilmektedir. SiC parçacıklarının, abrazyon sırasında, SiC' den parçacık taşınması görünmektedir. Uygulanan yükün artmasıyla, sert SiC parçacıklarının çevresindeki baskı yoğunluğu artmaktadır ve SiC parçacıklarının taşınması kolaylaşmaktadır.

10 saat yaşlandırılmış ve 530 °C' de 24 saat fırında tutulmuş numunelerin aşınma testi sonrası yüzey filmleri, şekil 4.23-4.36 arasında görülmektedir. Yaşlandırılmış katkı fazlı MAK' larda ikinci faz çökelmelerinden dolayı, sertlik artmakta ve aşınma oranı azalmaktadır. MAK' ların sertlikleri, katkı fazı oranının artmasıyla artmaktadır. Numunenin çökelme sertleşmesi metoduyla (yaşlandırma) sertliğinin artmasıyla, aşınma oranı azalmaktadır.



Şekil 4.23. AA2014×100 (Yaşl.)



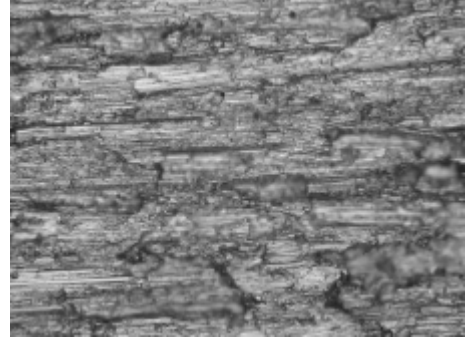
Şekil 4.24. AA2014×100

Şekil 4.23' deki yaşlandırılmış AA2014 numunesi, şekil 4.24' deki AA2014 numunesinden daha az aşınmıştır.

Aynı durum şekil 4.25' teki yaşlandırılmış Al-Cu kompoziti ile şekil 4.26' daki Al-Cu kompoziti arasında görülmektedir. Yaşlandırılmış Al-Cu daha az aşınmıştır. Yüzeyleri daha az tahrip olmuştur.



Şekil 4.25. Al-Cu×200 (Yaşl.)



Şekil 4.26. Al-Cu×200

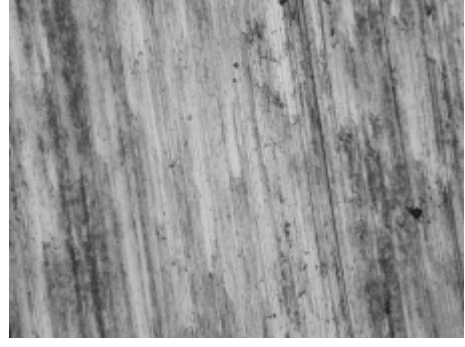


Şekil 4.27. Al-% 5 Cu-%10 SiC×200 (Yaşl.) Şekil 4.28. Al-% 5 Cu-%10 SiC×200

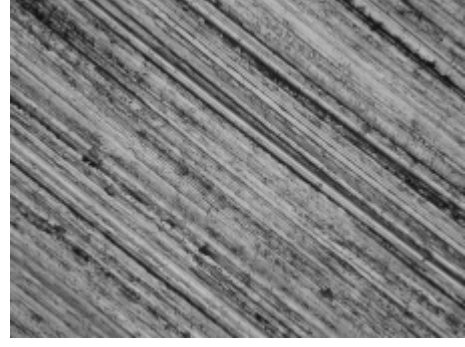
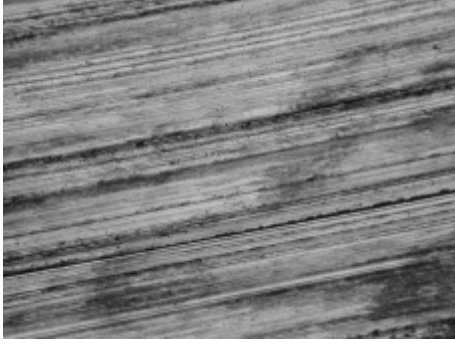


Şekil 4.27 ve 4.29' da, Al-% 5 Cu-%10 SiC (yaşlandırılmış) numunesi görülmektedir. Numunenin yüzeyinde yarıklar oluşmuştur. Bu yarıkların çevresinde, tozların toplandığı görülmektedir. Aşınmış yüzeylerdeki geniş yarıklar, plastik deformasyona sebep olmaktadır.

Katkı fazı içinde hacimce SiC oranının artmasıyla birlikte, kompozitin yoğunluğu artmaktadır. Kompozitin porozitesi, hacimce SiC oranının artmasıyla azalmaktadır. Aynı durum B<sub>4</sub>C içinde geçerlidir. Katkı fazı içinde hacimce B<sub>4</sub>C oranının artmasıyla birlikte, kompozitin yoğunluğu artmaktadır. Kompozitin porozitesi, hacimce B<sub>4</sub>C oranının artmasıyla azalmaktadır.



Şekil 4.29. Al-% 5 Cu-%20 SiC×200 (Yaşl.) Şekil 4.30. Al-% 5 Cu-%20 SiC×200



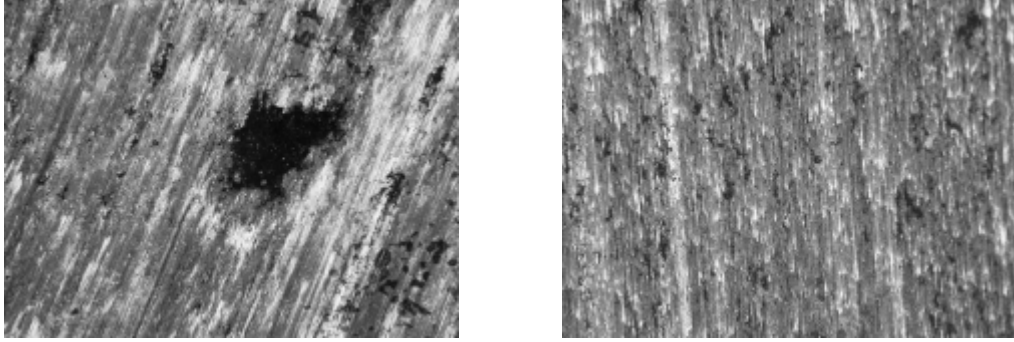
Şekil 4.31. Al-% 5 Cu- %30 SiC×100 (Yaşl.) Şekil 4.32. Al-% 5 Cu-%30 SiC×100

Şekil 4.31' de Al-% 5 Cu- %30 SiC kompozitinin aşınma sonrası yüzey filmi görülmektedir. Al-% 5 Cu- %30 SiC kompoziti, % 10 SiC ve % 20 SiC kompozitleriyle karşılaştırıldığında, aşınmanın, %30 SiC katkılı kompozitte daha az olduğu görülmektedir. Kompozitin katkı fazı oranı arttıkça, aşınma azalmaktadır. Bu da yüzey filmlerinde görülmektedir.



Şekil 4.33. Al-% 5 Cu-%10 B<sub>4</sub>C×200(Yaşl.) Şekil 4.34. Al-% 5 Cu-%10 B<sub>4</sub>C×200

B<sub>4</sub>C katkı fazı oranı arttıkça, aşınma azalmaktadır. Şekil 6.34' deki %10 B<sub>4</sub>C katkılı kompozit, şekil 6.36' daki %20 B<sub>4</sub>C katkılı kompozitle karşılaştırıldığında bu durum görülmektedir.



Şekil 4.35. Al-%5Cu-%20B<sub>4</sub>C×100 (Yaşlı.) Şekil 4.36. Al-% 5Cu- %20 B<sub>4</sub>C×100

Yüzeyler, abraziv SiC zımparasıyla aşındırılmıştır. Abraziv SiC zımparası, numuneyi kesmekte ve üzerinde şekil 6.35' de görüldüğü gibi çukurlar açmaktadır.

Aşınma deneylerinde numuneler pürüzlü görünümünden kurtularak, daha düzgün ve sert hale gelmiştir. Önemli derecede sürtünme ısısı görülmüştür.

Katkı fazı, alaşımın mekanik özelliklerini düzenlemede önemli bir rol oynamaktadır. Aşınma oranı, uygulanan yükün ve abraziv aşındırıcının tane büyüklüğünün artmasıyla artmıştır. Katkı fazlı yapıda, çökeltme sertleşmesinden dolayı meydana gelen ikinci faz çökelmeleri, aşınma esnasında ortaya çıkmaktadır. İkinci faz çökelmeleri, aşınma direncini arttırmaktadır. Bu da, katkı fazlı alaşımın, anayapıdan daha düşük aşınma oranlarına sahip olduğunu göstermektedir. Abraziv aşındırıcılar numuneyi plastik olarak deforme etmişlerdir. Abraziv aşındırıcının tane boyutu büyüdükçe, aşınma artmaktadır. Bu çalışmada 220P-SiC, 150C-SiC, 100D-SiC abraziv aşındırıcılar kullanılmıştır. 100D-SiC abraziv aşındırıcı en büyük tane büyüklüğüne sahiptir. Yük ve abraziv aşındırıcı büyüklüğü, numune yüzeyinin daha fazla hasar görmesinde etkili olmuştur. Yüksek yük ve yüksek abraziv aşındırıcı tane büyüklüğü altında, abraziv aşındırıcının kesme etkisinin artmasından dolayı, geniş ve derin aşınmalar meydana gelmiştir.

#### **4. 5. Sıcak Presleme Sıcaklığının Etkisi**

Daha önce yapılan çalışmalarda numunelerin, 550 °C' nin aşağısında sıcak preslendiğinde, Cu parçacıklarının yok edilemediği görüldüğünden dolayı bu çalışmada sıcak presleme sıcaklığı 575 °C seçilmiştir.

#### **4.6. Toz Kompozisyonunun Etkisi**

Çalışmanın bu bölümünde 6 farklı kompozisyonun özellikleri ortaya çıkarılmıştır. Ana yapının kimyasal kompozisyonu Al-%5 Cu' da sabit tutulmuştur. Bunları referans olarak, %10 SiC, %20 SiC, %30 SiC, %10 B<sub>4</sub>C, %20 B<sub>4</sub>C eklemeleriyle toz kompozisyonlarının yaşlandırma ve aşınma ilgili olan özellikleri incelenmiştir. Ayrıca AA 2014 alaşımında özellikleri incelenmiştir. Katkı fazı miktarı arttıkça numunenin sertliği artmaktadır. Uygulanan ısı işlem sıcaklıklarının yanında, kompozitlerin katkı fazlarının mukavemet değerleri üzerinde etkili olduğu şekilden anlaşılmaktadır.

#### **4.7. Yüzey Pürüzlülüğü**

Aşınma testleri sonrası, yüzey pürüzlülüğü değerleri artmıştır. Bu değerler Ek 2' de verilmiştir.

## 5. TARTIŞMA ve SONUÇ

1. Bu çalışmada, Al-Cu ana yapıya, %10 SiC, %20 SiC, %30 SiC, %10 B<sub>4</sub>C, %20 B<sub>4</sub>C toz karışımları eklenerek, azot gazı altında, sıcak presleme tekniği kullanılarak, 80 bar basınç uygulanarak, birleştirilme yöntemi uygulanmıştır. Bu düzeneği seçmenin amacı, diğer üretim yöntemlerinden daha düşük maliyetli olan bu üretim şeklini geliştirmek, Al-SiC ve Al-B<sub>4</sub>C kompozitlerinin üretim maliyetini düşürmektir.

Kaya (1999), Al-%5 Cu, Al-%5 Cu-%15 SiC, Al-%5 Cu-%30 SiC karışımlarını, SIP ve vakumla SP yönteminden daha düşük maliyetli olduğundan dolayı , azot gazı altında, tek uçlu kalıpla, SP tekniği kullanarak, birleştirme yöntemini uygulamıştır.

Shorowordi, Laoui ve Haseeb (2003), B<sub>4</sub>C, SiC ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Hacimce %0-20) katkı fazı içeren Al-MAK' ları incelenmişlerdir. Tozlar, karıştırılarak dökülmüş ve ardından da sıcak ekstrüzyona tabi tutulmuştur. Al-B<sub>4</sub>C ve Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> iç yüzeylerinde reaksiyon ürünü gözlenmemiştir. Diğer yanda, Al-B<sub>4</sub>C kompozitlerdeki iç yüzeyden uzakta, ikincil faz (Al ve diğer Al içeren fazlar, boron ve karbür) Al ana yapıda bulunmaktadır. Kırılma yüzey analizlerinden, B<sub>4</sub>C katkı fazlı Al kompoziti diğer iki kompozitlere nazaran daha iyi iç yüzey bağına sahip olduğu görülmektedir.

2. Cu sisteminde, ilk sıvı faz, faz diyagramında Al' nin zengin olarak bulunduğu bölümde, 548 °C' de görülmektedir. Numuneler 575 °C' de preslenerek, saf Cu toz parçacıklarının çözünmesi sağlanmıştır. Sıvı fazın yardımcı etkisi dışlanmamakla birlikte, dışarıdan uygulanan bir basıncın, gözeneklerin kapanmasında çok daha etkin olduğu görülmüştür. Al-Cu, Al-SiC ve Al-B<sub>4</sub>C numunelerinin, gözeneksiz olarak azot atmosferi altında preslenebildiği görülmüştür.

Bolay (1998), numune katı fazın meydana geldiği sıcaklığın altında bir sıcaklıkta soğutulduğunda, gözenekler yok olduktan sonra, basınç uygulanırsa, iç yapıda büzülmeden kaynaklanan gözeneklerin görülebileceğinden dolayı sıvı faz kalmayana kadar basıncının uygulanması gerektiğini belirtmiştir. Sıvı fazın, Al-Cu karışımları

için, gözeneklerin yok olması ve artan dağılım oranlarından dolayı, erime ve homojenleştirme mekanizmalarında etkili olduğunu gözlemlemiştir.

Kaya (1999), SP için 550-610 °C olan sıcaklıklar kullanmıştır. Bu sıcaklıklar, kompozitlerin, mekanik özelliklerinin ortaya çıkmasında daha etkili olduğunu gözlemlemiştir.

3. Al-Cu' ya SiC ve B<sub>4</sub>C kompozitlerinin ilavesiyle malzemenin sertliği artmıştır. Al ana yapılar için, SiC ve B<sub>4</sub>C' nin anayapıyla beraber değişik özelliklere sahip olduğu gözlenmiştir. TM yöntemleri ile homojen bir dağılım elde etmek mümkündür.

Şahin ve Acılar (2003), MAK' ların sertliğinin, katkı fazına bağlı olarak, hacimce oranının artmasıyla arttığını gözlemlemiştir.

Venkatamaran ve Sundararajan (2000), SiC parçacık katkılı A357 (Al-Si) alaşımının aşınma davranışını izlemiştir. Onların araştırması katkı fazlı parçacıkların kırılmalarını aşınmış yüzeyler altında açığa çıkarmaktadır. Sonuç olarak malzeme üzerinde katkı fazlı alaşım, katkı fazsız alaşımdan daha yüksek derinlik bırakmaktadır.

Hiçyılmaz (1999), içerisinde seramik tanecikleri bulunmayan saf Al' dan yapılmış malzemenin aşınma miktarı, seramik tanecikleri içeren kompozit malzemeye göre daha yüksek olduğunu gözlemlemiştir. Seramik tanecik içeren MAK' ların, seramik tanecik miktarı azaldıkça, sertliğe bağlı olarak, aşınma miktarında artma olduğunu gözlemlemiştir.

Ranganath, Sharma ve Krishna (2001), lal taşı parçalarıyla kuvvetlendirilmiş olan Zn/Al' u aşınma testlerine tabi tutmuşlardır. Aşınma testlerinde 20-50 N yük, 7,35-31,5 m/s hız kullanmışlardır. Sonuçlar kompozitlerin aşınma oranlarının, ana yapı alaşımlarından daha düşük olduğunu, ayrıca da karışım içindeki lal taşının artmasıyla azaldığını göstermiştir.



4. Katkı fazlı yapıda, çökelme sertleşmesinden dolayı meydana gelen ikinci faz çökelmeleri, aşınma esnasında ortaya çıkmaktadır. İkinci faz çökelmeleri, aşınma direncini arttırmaktadır. Bu da, katkı fazlı alaşımın, anayapıdan daha düşük aşınma oranlarına sahip olduğunu göstermektedir. Yaşlandırılmış katkı fazlı MAK' larda ikinci faz çökelmelerinden dolayı, sertlik artmış ve aşınma oranı azalmıştır. Kompozitlerin genel olarak yaşlanma sertleşmesine olan tepkileri iyidir. 190°C'de yaşlandırılmış TM ürünü Al-%5 Cu anayapının sertlik değerleri 34 RF' den 58 RF' ye, Al-% 5 Cu-%30 SiC kompozitlerin sertlik değerleri 95 RF' den 106 RF ye, Al-% 5 Cu-%20 B<sub>4</sub>C kompozitlerin sertlik değerleri 87 RF' den 99 RF' ye ulaşabilmektedir.

Güven ve Delikanlı (2004), AA 2024 Al alaşımının en uygun çökelme sertleşmesi tav sıcaklığını saptanmaya çalışılmaktadırlar. Bu amaçla AA 2024 Alüminyum Alaşımı levha malzemeye; çözeltiye alma bölgesinde 510 ° C, 520 ° C ve 540 ° C sıcaklıklarda katı çözeltiye alma ve soğutma işleminden sonra 150 ° C sıcaklıkta 16 saat süre ile suni yaşlandırma işlemi uygulanmıştır. En yüksek mukavemet ve sertlik artışının, 540 ° C de yapılan çözeltiye alma sıcaklığında elde edildiğini tespit etmişlerdir.

Li ve Tandon, Al-Si/SiC kompozitlerinin yaşlandırma sertleşmesinin, aşınma direncini önemli ölçüde düzeltmediğini gözlemişlerdir.

Martin, Rodriguez ve Llorca (1999), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> katkılı, 2014 ve 6061 Al alaşımına, 0,1 m/s hızda, 25 N yük uygulanarak, aşınma testine tabi tutmuşlardır. Parçacık katkılı Al ana yapılı kompozitlerin, katkı fazsız kompozitlere göre daha düşük aşınma oranı gösterdiğini bulmuşlardır.

Yılmaz ve Buytoz (2001), yaşlandırılmış katkı fazlı numunelerin aşınma oranlarının, katkı fazsız alaşımlara göre daha az olduğunu belirtmişlerdir.

Venkatamaran ve Sundararajan (2000), %10-40 SiC parçacık katkılı Al-SiC' nin davranışı incelendiğinde, Al ana yapının aşınma direnci, SiC' nin hacminin

artmasıyla artmaktadır. Aşınma oranının artmasının, artan yük ile ilgili olduğu görülmektedir. Aşınma direncine bağlı olarak, Al ve %10 SiC yüksek aşınma oranları gösterirken, Al- %40SiC ve Al-7075 (yaşlandırılmış) düşük aşınma oranları göstermektedir.

Leonard, SiC parçacık katkılı A357 (Al-Si) alaşımının aşınma davranışını izlemiştir. Onların araştırması katkı fazlı parçacıkların kırılmalarını, aşınmış yüzeyler altında açığa çıkmaktadır. Sonuç olarak malzeme üzerinde katkı fazlı alaşım, katkı fazsız alaşımdan daha yüksek derinlik bırakmaktadır.

5. Maksimum sertlik 190 °C' de 10 saat yaşlandırmada görülmüştür. Al-Cu anayapının sertlik değerleri 10 saat içerisinde 36 RF' den 58 RF' ye yükselmiştir. Beklendiği gibi SiC ve B<sub>4</sub>C katkı fazı içeren kompozitlerin sertliği, anayapının sertliğinden her koşulda daha yüksektir. Yağ banyosunda 10 saat yaşlandırma işlemi sonrası, Al-%30 SiC kompozitlerde ulaşılan sertlik 106 RF' dir. Dikkati çeken bir diğer nokta, kompozitlerin yaşlanma eğrilerindeki dalgalanmadır. Katkı fazının dağılımının sertlik değerlerini etkilediği düşünülmektedir. Belirli bölgelerde nispeten daha fazla katkı fazının olması, sertlik sonuçlarını etkilemiştir. SiC, B<sub>4</sub>C fazının yoğun olduğu noktalarda sertlik değerleri de daha yüksek olmaktadır. Al-Cu numunelerinde benzer dalgalanmaların olmaması, bu varsayımı doğrulamaktadır. Yaşlandırma ısıl işlemleri sonrası kompozitlerin sertliklerinin arttığı görülmüştür.

Bedir ve Ögel (2002), katkı fazı ilavesi ve yaşlandırma işlemi ile numunelerin sertliklerinin arttığını gözlemlemişlerdir.

Şahin (2003), ikinci faz parçacıklarının abraziv aşınma esnasında, aşınmaya karşı direnç gösterdiklerini belirtmiştir. Ayrıca, katkı fazlı alaşımların, anayapıya göre daha az aşınma oranı gösterdiğini tespit etmiştir. Abraziv aşındırıcı tane büyüklüğü arttıkça, yüzeylerde daha derin ve geniş yarıklar meydana gelmektedir.

6. Aşınma oranı, uygulanan yükün ve abraziv aşındırıcının tane büyüklüğünün artmasıyla artmıştır. Abraziv aşındırıcının tane boyutu büyüdükçe, aşınma

artmaktadır. Bu çalışmada 220P-SiC, 150C-SiC, 100D-SiC abraziv aşındırıcılar kullanılmıştır. 100D-SiC abraziv aşındırıcı en büyük tane büyüklüğüne sahiptir.

Yılmaz ve Buytoz (2001), 220 SiC zımparasıyla aşınmada aşınma oranının, 80 SiC zımparasıyla aşınmadan daha az olduğunu gözlemlemişlerdir. Aşınma oranı, uygulanan yüklerle birlikte artmaktadır.

7. Yük ve abraziv aşındırıcı büyüklüğü, numune yüzeyinin daha fazla hasar görmesinde etkili olmuştur. Yüksek yük ve yüksek abraziv aşındırıcı tane büyüklüğü altında, abraziv aşındırıcının kesme etkisinin artmasından dolayı, yüzeylerde geniş ve derin aşınmalar meydana gelmiştir.

İzciler ve Muratoğlu (2003), abraziv aşınmada, aşınma oranı ve yük ilişkisini incelemişlerdir. Uygulanan yükün artmasıyla, aşınma oranında artmaktadır. Abraziv aşınma sonucu, numune yüzeylerinde, uzun yarıklar gözlemlemişlerdir. Yüzeylerde plastik deformasyon meydana gelmektedir. Parça kırılmaları ve aşındırıcı yüzeyine yapışmadan dolayı yük kaybı meydana gelmektedir.

Bermudez, Matinez, Carrion ve Rodriges (2001), Al tabanlı sinterlenmiş kompozitlerin mekanik olarak alaşımlandırılmasının, kuru ve yağlı ortamdaki aşınma direncini incelemişlerdir. Kompozitlerin aşınma oranları uygulanan yük ile arttığı gözlenmiştir.

8. Aşınma testleri sonrası, yüzey pürüzlülüğü değerleri artmıştır.

## 6. KAYNAKLAR

ASM Handbook. Properties And Selection: Nonferrous Alloys And Special-Purpose Materials. ASM İnternational, 10.th Edition, Volume 2, 1328s. America.

ASM Handbook. Alloy Phase Diagrams. Volume 3. America.

ASM Handbook. Powder Metallurgy. 9th Edition, Vol. 7. America.

Aydın, Ş., 1997. Toz Metalurjisi Yöntemi İle Elde Edilen Seramik Tanecik Destekleyicili Al Esaslı Kompozit Malzemelerin Mekanik Özellikleri, Gazi Üniversitesi, Y.Lisans Tezi, 112s, Ankara.

Bedir, F., Ögel, B., 2002. Sıcak Preslenmiş Al-TiC Kompozitlerin Üretimi ve Yaşlandırma Isıl İşlemleri. 3. Uluslar arası Toz Metalurjisi Kongresi. Ankara, 4-8.

Bermudez, M.D., Martinez-Nicolas, G., Carrion, F.J., Martinez-Mateo, I., Rodriguez, J.A., Herrera, E.J., 2001. Dry And Lubricated Wear Resistance Of Mechanically-Alloyed Aluminium-Base Sintered Composites. Wear 248, 178-186.

Bolay, K., 1998. A Microstructural Study of Hot Pressed PM Aluminium-Copper and Aluminium-Copper-Siliconcarbide Composites, ODTÜ, Y.Lisans Tezi, 94s, Ankara.

Callister, W.D.,1997. Materials Science And Engineering. The University Of Utah, John Wiley and sons, fourth edition, 852s. Canada.

Candan, E., Ahlatcı, H., Çimenoğlu, H., 2001. Abrasive Wear Behaviour Of Al-Sic Composites Produced By Pressure İnfiltation Technique. Wear 247, 133-138.

Çiğdemoğlu, M., 1972. Metal Alaşımalarının Isıl İşlemleri. TMMOB yayınları, Elif Matbaacılık, No:73, 245s.

Das, S., Mondal, D.P., Dasgupta, R., Prasad, B.K., 1999. Mechanisms Of Material Removal During Erosion-Corrosion Of An Al-SiC Particle Composite. *Wear* 236, 295-302,.

Ersümer, A., 1970. Toz Metallürjisi, Sert Metal Sinterleme. İTÜ, İTÜ Matbaası, 277s.İstanbul.

Geçkinli, E., 1991. İleri teknoloji malzemeleri. İTÜ, İTÜ Matbaası, 287 s.İstanbul.

German, R.M. 1984. Powder Metallurgy Science. Princeton, NJ, Powder Metal Industries Federation, 278s. New Jersey.

Güleç, Ş., 1985. Malzeme, Ders Notları. İTÜ, İTÜ makine fakültesi ofset atölyesi, 33, 98s.İstanbul.

Gür, C.H., 2003. Investigation Of Microstructure-Ultrasonic Velocity Relationship İn SiC<sub>p</sub> Reinforced Aluminium Metal Matrix Komposites. *Materials Science And Engineering A*.

Güven, Ş.Y., Delikanlı, K., 2004. AA 2024 Alüminyum Alaşımına Uygulanan Çökelme Sertleşmesinde Tav Parametrelerinin Mekanik Özelliklere Etkisi. 10. Denizli Malzeme Sempozyumu ve Sergisi Bildiri Özetleri El Kitabı, 36-41.

Hiçyılmaz, N., 1999. Toz Metalurjisi Yöntemi İle Elde Edilen Seramik Tanecik Destekleyicili Al Esaslı Kompozit Malzemelerin Aşınma Özellikleri, Gazi Üniversitesi, Y.Lisans Tezi, 137s, Ankara

İzciler, M., Muratoğlu, M., 2003. Wear Behaviour of SiC reinforced 2124 Al Alloy composite in RWAT System. *Journal of Materials Processing Technology* 132, 67-72.

Kaya, G., 1999. Mechanical Properties Of Pm Al-SiC Composites Produced By Conventional Hot Pressing Method. Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Y.Lisans Tezi, 81s, Ankara

Kennedy, A. R., Weston, D.P., Jones, M.I., 2001. Reaction In Al-TiC Metal Matrix Composites. Materials Science And Engineering A316, 32-38,.

Krasnowski, M., Witek, A., Kulik, T., 2002. The FeAl-30%TiC Nanocomposite Produced By Mechanical Alloying And Hot-Pressing Consolidation. Intermetallics 10, 371-376,.

Larker, T.H., Lundberg, R., 1999. Near Net Shape Production Of Monolithic And Composite High Temperature Ceramics By Hot Isostatic Pressing(HIP). Journal Of The European Ceramic Society 19, 2367-2373,.

Manna, A., Bhattacharayya, B., 2003. A Study On Machinability Of Al/SiC-MMC. Journal Of Materials Processing Technology 140, 711-716,.

Martin, A., Rodriguez, J., Llorca, J., 1999. Temperature Effects On The Wear Behavior Of Particulate Reinforced Al-Based Composites. Wear 225-229, 615-620.

Nai, S.M.L., Gupta, M., 2002. Influence Of Stirring On The Synthesis Of Al/SiC Based Functionally Gradient Materials. Composite Structures 57, 227-233,.

Ranganath, G., Sharma, S.C., Krishna, M., 2001. Dry Sliding Wear Of Garnet Reinforced Zinc/Aluminium Metal Matrix Composites. Wear 251, 1408-1413.

Ravikiran, A., Surappa, M.K., 1997. Effect Of Sliding Speed On Wear Behaviour Of A356 Al-30 Wt. %SiCp MMC. Wear 206, 33-38.

Sarıtaş, S., 1994 Toz Metallürjisi-Bileşik Gereçler-Seramikler, Makine mühendisliği el kitabı, mmo, 2.baskı,I. Cilt,sayfa 63-115.

Shorowordi, K.M., Laoui, T., Haseeb, A.S.M.A., Celis, J.P., Froyen, L., 2003. Microstructure And Interface Characteristics Of B<sub>4</sub>C, SiC And Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Reinforced Al Matrix Composites: A Comparative Study. Journal Of Materials Processing Technology.

Şahin, Y., Acılar, M., 2003. Production and Properties of SiCp-Reinforced Aluminium Alloy Composites. Composites: Part A 34, 709-718.

Şahin, Y., 2003. Wear Behaviour of Aluminium Alloy and Its Composites reinforced by SiC Particles Using Statistical Analysis. Materials and Design 24, 95-103.

Tham, L.M., Gupta, M., Cheng, L., 2003. Predicting The Failure Strains Of Al/Sic Composites With Reacted Matrix-Reinforcement Interfaces. Material Science And Engineering A354, 369-376,.

Malzeme Bilimine Giriş, Lawrence H. Van Vlack, Michigan Üniversitesi(sayfa 337-

Vlack, L.H.V.L., 1981. Malzeme Bilimine Giriş. İTÜ, 448s.İstanbul.

Yılmaz, O., Buytoz, S., 2001. Abrasive wear of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-reinforced aluminium-based MMCs. Composites Science and Technology 61, 2381-2392.

Venkatamaran, B., Sundararajan, G., 2000. Correlation Between The Characteristics Of The Mechanically Mixed Layer And Wear Behaviour Of Aluminium, Al-7075 Alloy And Al-Mmcs. Wear 245, 22-38.

## **7.EKLER**



**ÖZGEÇMİŞ**

Adı Soyadı : Funda Köksal  
Doğum Yeri : Antalya  
Doğum Yılı : 07.01.1977  
Medeni Hali : Bekar

Eğitim ve akademik durumu:

Lise : 1992-1995 Özel Antalya Lisesi

Lisans : 1995-2000 SDÜ Müh. Mim. Fak. Makina Müh. Böl.

Yabancı Dil : İngilizce

İş Deneyimi : 2000 yılı Kurt Mühendislik-Antalya

2001-2002 Arke Asansör-Antalya

2002-2003 Isıtek A. Ş. -Antalya