

150129

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TOZ METALURJİSİ YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN $\text{Cu-C-Al}_2\text{SiO}_5$
KOMPOZİTİNİN ABRASİV AŞINMA DAYANIMININ ARAŞTIRILMASI**

Çetin ÖZAY

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

ELAZIĞ, 2004

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TOZ METALURJİSİ YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN $\text{Cu-C-Al}_2\text{SiO}_5$
KOMPOZİTİNİN ABRASİV AŞINMA DAYANIMININ ARAŞTIRILMASI**

Çetin ÖZAY

Yüksek Lisans Tezi
Makine Eğitimi Anabilim Dalı

Bu tez, 22.01.2004. tarihinde aşağıda belirtilen jüri tarafından oybirliği /oyçokluğu ile başarılı
başarısız olarak değerlendirilmiştir.

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Ahmet Hascalıoğlu

Jye: Yrd. Doç. Dr. Mustafa TAŞKIN

Jye: Yrd. Doç. Dr. Vedat SAĞAR

Jye:

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 28/01/2004. tarih ve
4/4 sayılı kararıyla onaylanmıştır.

TEŞEKKÜR

Bu tezin önerilmesinde ve yönlendirilmesinde benden her türlü yardımlarını esirgemeyen başta danışman hocam, Yrd. Doç. Dr. Ahmet HASÇALIK' a, çalışmalarım sırasında bana zaman ayırıp yol gösteren Mühendislik Fakültesi Metalürji ve Malzeme Müh. Bölümü Öğretim Üyesi Sayın Doç. Dr. Mustafa AKSOY' a teşekkürlerimi arz etmeyi bir borç bilirim.

Ayrıca, derslerinden istifade ettiğim Yrd. Doç. Dr. Ahmet HASÇALIK' a, Prof. Dr. Nazif DİNÇER' e Prof. Dr. M. Mustafa YILDIRIM' a, Yrd. Doç. Dr. Vedat SAVAŞ' a, Prof. Dr. Halis ÇELİK' e, Elektronik Eğitimi öğretim üyesi Yrd. Doç. Dr. Mehmet GEDİKPINAR' a deneysel çalışmalarımda benden yardımlarını esirgemeyen, Makine Eğitimi Bölümü Arş.Gör. Fevzi GÜLÇİMEN' e, Arş.Gör. Ulaş ÇAYDAŞ' a, Metal Eğitimi Bölümü Arş. Gör. Ali Kaya GÜR' e, Arş. Gör. Bülent KURT' a, Arş. Gör. Soner BUYTOZ' a teşekkürü bir borç telakki ederim.

Çetin ÖZAY

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	
İÇİNDEKİLER	I
ŞEKİLLER LİSTESİ	IV
TABLOLAR LİSTESİ	VI
ÖZET	VII
ABSTRACT	VIII
1. GİRİŞ	1
2. TOZ METALURJİSİ	5
2.1. Metal Tozların Özellikleri	5
2.1.1. Kimyasal Özellikler	5
2.1.2 Fiziksel Özellikler	5
2.1.2.1. Toz Boyutu	5
2.1.2.2 Toz Şekli	6
2.1.2.3. Görünür Yoğunluk	7
2.1.2.4. Akış Hızı	7
2.1.2.5. Sıkıştırılabilirlik	7
2.1.2.6. Ham Mukavemet	7
2.1.2.7. Tozların Yanıcılık ve Zehirleyicilik Özelliği	8
2.2. Metal Tozu Üretim Teknikleri	8
2.2.1. Atomizasyon Yöntemi	8
2.2.2. İndirgeme Yöntemi	9
2.2.3. Elektroliz Yöntemi	9
2.2.4. Çökelme Yöntemi	9
2.2.5. Karbonil Yöntemi	10
2.3. Tozların Karıştırılması	10
2.3.1 Kullanılan Yağlayıcılar	10
2.4. Tozların Sıkıştırılması	11
2.4.1. Kalıpta Sıkıştırma	12
2.4.1.1. Tek Hareketli Sıkıştırma	12
2.4.1.2 Çift Hareketli Sıkıştırma	13
2.4.1.3. İzostatik Sıkıştırma	14
2.5. Sinterleme	15
3. AŞINMA	17
3.1. Aşınma Sistemlerinde Temel Unsurlar	17
3.2. Aşınmayı Etkileyen Faktörler	20

2.1. Ana Malzemeye Bağlı Faktörler.....	21
2.1.1. Malzemenin Kristal Yapısı.....	21
2.1.2. Malzemenin Sertliği.....	21
2.1.3. Elastiklik Modülü.....	21
2.1.4. Deformasyon Davranışları.....	22
2.1.5. Yüzey Pürüzlülüğü.....	22
2.2. Karşı Malzemeye Bağlı Faktörler ve Aşındırıcı Etkisi.....	23
2.3. Ortam Etkisi.....	24
2.3.1. Sıcaklık.....	24
2.3.2. Atmosfer ve Nem.....	24
2.4. İşlemeye Bağlı Faktörler.....	24
2.4.1. Yük (Basınç)	24
2.4.2. Kayma ve Kayma Mesafesi.....	25
2.5. Aşınma Direncine Karbürlerin Etkisi.....	25
2.6. Aşınma Direncine Matrisin Etkisi.....	25
3. Aşınma Türleri.....	26
3.1. Adhesiv Aşınma.....	26
3.2. Abrasiv Aşınma.....	28
3.2.1. Oymalı Sürtünme Aşınması.....	29
3.2.2. Öğütmeli Sürtünme Aşınması.....	29
3.2.3. Erozif Aşınma Öğütmeli Sürtünme Aşınması.....	29
3.3. Yorulma Aşınması.....	31
3.4. Korozyon Aşınması.....	33
3.5. Kazıma Aşınması.....	34
4. Aşınma Deney Metotları Ve Ölçüm Yöntemleri	34
4.1. Aşınma deney yöntemleri.....	34
4.2. Pim-Disk Aşınma Test Yöntemi	37
5. KOMPOZİTLER.....	38
5.1. Metal Matrisli Kompozit Malzemeler.....	40
5.1.1. Metal Matrisli Kompozit Malzemeler İçin Matris Malzemeleri.....	40
5.1.2. Metal Matrisli Kompozit Malzemelerde Kullanılan Takviye Malzemeleri.....	40
5.1.3. Matris Malzemeleri ve Matris-Takviye Seçimi.....	41
6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	42
6.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler ve Numunelerin Hazırlanması.....	42
6.2. Metalografik Çalışmalar.....	43
6.2.1. Optik Mikroskop İncelemeleri.....	43
6.2.2. SEM (Scanning Elektron Microscopy) Taramalı Elektron Mikroskobu İncelemeleri.....	43

5.2.3. EDS (Energy Dispersive Spectrograf) Noktasal Analiz Çalışmaları.....	43
5.2.4. X – Işınları Difraksiyonu (X – Ray Diffraction) Çalışmaları.....	43
5.2.5. Mikro Sertlik Ölçümleri.....	43
5.3. Abrasiv Aşınma Deneyleri.....	43
5.DENEY SONUÇLARI VE İRDELENMESİ.....	46
5.1. Metalografik Muayene Sonuçları.....	46
5.2. EDS ve X-ray Sonuçları.....	54
5.3. Mikro sertlik Ölçüm Sonuçları.....	63
5.4. Aşınma Deneyi Sonuçları.....	64
7. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	73
KAYNAKLAR.....	74
ÖZGEÇMİŞ	



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1 Üretim Metotlarına Göre Toz Şekilleri.....	6
Şekil 2.2 Hall akış hunisi	7
Şekil 2.3. Tek Hareketli Sıkıştırma Kalıbı.....	13
Şekil 2.4. Çift Hareketli Sıkıştırma Kalıbı.....	14
Şekil 2.5. İzostatik presleme yöntemleri a) ıslak b) kuru.....	15
Şekil 3.1. Tribolojik Sistem.....	18
Şekil 3.2. Sürtünen iki cisimde aşınmanın temel unsurları.....	19
Şekil 3.3. Temas alanları	20
Şekil 3.4. Teknik saf malzemeler için Elastisite modülü – bağıl aşınma direnci arasındaki ilişki	22
Şekil 3.5. Yüzey pürüzlülüğünün aşınma ve sürtünme katsayısına etkisi.....	23
Şekil 3.6. Takviyesiz LM-13, %15 ve %30 saffil fiber takviyeli alaşımlarda; a) hacimsel aşınma uygulanan yük b) ağırlıkça aşınma-uygulanan yük ilişkisi.....	24
Şekil 3.7. (a) Kayma yolu ile aşınma miktarının değişimi (b) Kaymanın aşınmaya etkisi.....	25
Şekil 3.8. Kaynak bağları ve kopma şekilleri; a) yüzeyde kaynak bağları b) A' dan B' ye malzeme transferi, c) Kopan parçaların serbest hali.....	27
Şekil 3.9. Abrasiv aşınma mekanizması	29
Şekil 3.10. Kaplamaların erezyon hızları üzerine aşındırıcı çarpma açısının etkisi (SiO_2 : 100gr, $300\mu\text{m}$, $\alpha=30^\circ$).....	30
Şekil 3.11. Bir dişli çarkın oyulma aşınma bölgesinin görüntüsü.....	33
Şekil 3.12. Kazımadan kaynaklanan toplam ağırlık kaybında, toplam yer değiştirmenin etkisi	34
Şekil 3.13. Yağlamalı veya yağlamasız adhesiv (metal-metal) aşınma deney yöntemleri.....	36
Şekil 3.14. Abrasiv aşınma deneylerinde kullanılan deney yöntemleri	36
Şekil 4.1.. Takviye elemanı şekline göre kompozit çeşitleri	39
Şekil 5.1. Abrasiv aşınma testi aparatının şematik gösterimi.....	45
Şekil 6.1. 1 nolu numunenin optik mikroskop fotoğrafı	47
Şekil 6.2. 1 nolu numunenin SEM mikroskop fotoğrafı	47
Şekil 6.3. 2 nolu numunenin optik mikroskop fotoğrafı	48
Şekil 6.4. 2 nolu numunenin SEM mikroskop fotoğrafı	48
Şekil 6.5. 3 nolu numunenin optik mikroskop fotoğrafı	49
Şekil 6.6. 3 nolu numunenin SEM mikroskop fotoğrafı	49
Şekil 6.7. 4 nolu numunenin optik mikroskop fotoğrafı	50
Şekil 6.8. 4 nolu numunenin SEM mikroskop fotoğrafı.	50
Şekil 6.9. 5 nolu numunenin optik mikroskop fotoğrafı	51

Şekil 6.9. 5 nolu numunenin optik mikroskop fotoğrafı .	51
Şekil 6.10. 6 nolu numunenin optik mikroskop fotoğrafı .	51
Şekil 6.11. 7 nolu numunenin optik mikroskop fotoğrafı .	52
Şekil 6.12. 7 nolu numunenin SEM mikroskop fotoğrafı .	52
Şekil 6.13. 8 nolu numunenin optik mikroskop fotoğrafı .	53
Şekil 6.14. 8 nolu numunenin SEM mikroskop fotoğrafı .	53
Şekil 6.15. 9 nolu numunenin optik mikroskop fotoğrafı .	54
Şekil 6.16 2 no' lu numunenin B noktasındaki EDS analiz sonucu.	55
Şekil 6.17. 2 no' lu numunenin A noktasındaki EDS analiz sonucu.	55
Şekil 6.18. 2 no' lu numunenin C noktasındaki EDS analiz sonucu.	56
Şekil 6.19. 2 no' lu numunenin D noktasındaki EDS analiz sonucu.	56
Şekil 6.20. 4 no' lu numunenin B noktasındaki EDS analiz sonucu.	57
Şekil 6.21. 4 no' lu numunenin A noktasındaki EDS analiz sonucu.	57
Şekil 6.22. 4 no' lu numunenin C noktasındaki EDS analiz sonucu.	58
Şekil 6.23. 8 no' lu numunenin B noktasındaki EDS analiz sonucu.	58
Şekil 6.24. 8 no' lu numunenin A noktasındaki EDS analiz sonucu.	59
Şekil 6.25. 8 no' lu numunenin C noktasındaki EDS analiz sonucu.....	59
Şekil 6.26. 1 no' lu numunenin X – Ray analiz sonucu.	60
Şekil 6.27. 4 no' lu numunenin X – Ray analiz sonucu.	61
Şekil 6.28. 7 no' lu numunenin X – Ray analiz sonucu.	62
Şekil 6.29. 1, 2, 3 nolu numunelerin yük-ağırlık kaybı ilişkisi.	64
Şekil 6.30. 4, 5, 6 nolu numunelerin yük-ağırlık kaybı ilişkisi.	65
Şekil 6.31. 7, 8, 9 nolu numunelerin yük-ağırlık kaybı ilişkisi.	65
Şekil 6.32. 1, 4, 7 nolu numunelerin yük-ağırlık kaybı ilişkisi.	66
Şekil 6.33. 2, 5, 8 nolu numunelerin yük-ağırlık kaybı ilişkisi.	66
Şekil 6.34. 3, 6, 9 nolu numunelerin yük-ağırlık kaybı ilişkisi.....	67
Şekil 6.35. 1 nolu numunenin 10N yük altında aşınma yüzeyinin SEM fotoğrafı.....	68
Şekil 6.36. 1 nolu numunenin 20N yük altında aşınma yüzeyinin SEM fotoğrafı.	68
Şekil 6.37. 1 nolu numunenin 30N yük altında aşınma yüzeyinin SEM fotoğrafı	69
Şekil 6.38. 6 nolu numunenin 10N yük altında aşınma yüzeyinin SEM fotoğrafı.	70
Şekil 6.39. 9 nolu numunenin 10N yük altında aşınma yüzeyinin SEM fotoğrafı	70
Şekil 6.40. 9 nolu numunenin 20N yük altında aşınma yüzeyinin SEM fotoğrafı.....	71
Şekil 6.41. 9 nolu numunenin 30N yük altında aşınma yüzeyinin SEM fotoğrafı	71
Şekil 6.42. 6 nolu numunenin 30N yük altında aşınma yüzeyinin SEM fotoğrafı.	72

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Standart elek takımı.....	6
Tablo 3.1. Yükleme Ve Hareket Değişikliklerinin Sistemi Etkilemesi	19
Tablo 3.2. Bazı aşındırıcılar ve bunları sertlik değerleri.....	23
Tablo 3.3. Metallerin yapışmasını (adhesyonunu) etkileyen faktörler.....	28
Tablo 3.4. Abrasiv aşınma proseslerinin içerdiği tipik aşınma hızları.....	31
Tablo 3.5. ASTM tarafından geliştirilmiş birkaç test metodu.....	35
Tablo 4.1. Metal Matrisli Kompozitlerde Kullanılan Bazı Takviye Elemanlarının Özellikleri.....	41
Tablo 5.1. Hazırlanan numuneler ve hacimce % karışım miktarları	42
Tablo 6.1. Deney numunelerinde X- ışınları difraksiyonu ile belirlenen piklerin bileşikleri.....	63
Tablo 6.2. Numunelere ait mikro sertlik değerleri.....	63
Tablo 6.3. Numunelerin ağırlık kaybı miktarları.....	64



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TOZ METALURJİSİ YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN Cu-C-Al₂SiO₅ KOMPOZİTİNİN ABRASİV AŞINMA DAYANIMININ ARAŞTIRILMASI

Çetin ÖZAY

Fırat Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Eğitimi Anabilim Dalı

2004, Sayfa : 73

Bu çalışmada Cu tozuna hacimce %5, %10, %15 oranında C ve Al₂SiO₅ katılarak toz metalurjisi yöntemi ile üretilmiş olan Cu-C-Al₂SiO₅ kompozitinin abrasiv aşınma davranışı üzerinde karbon ve alüminyum silikat takviye partiküllerinin etkisi araştırılmıştır.

Deneyisel çalışmalarda, numunelerin mikroyapıları optik mikroskop, Taramalı elektron mikroskobu SEM (Scanning Elektron Microscopy), EDS (Energy Dispersive Spectrograf) noktasal analiz ve X – Işınları difraksiyonu (X – Ray Diffraction) ile incelenmiş ve mikro sertlikleri ölçülmüştür. Numunelerin aşınma dirençleri farklı yüklerde (10N, 20N, 30N) özel olarak imal edilmiş olan pin-on-disk aşınma test cihazında tespit edilmiştir. Yapılan testler sonucunda, bakır matrisine katılan takviye partiküllerinin hacim oranının artmasıyla aşınma oranının arttığı ve en iyi aşınma direncini hacimce %5 C ve Al₂SiO₅ katkılı numunenin gösterdiği saptanmıştır.

Çalışma yedi bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde konuya giriş yapılarak ilgili literatür ve çalışmanın amacı verilmiştir. İkinci bölümde toz metalurjisi yöntemi tanımlanmıştır. Üçüncü bölümde aşınma mekanizması, çeşitli aşınma tipleri ve aşınmayı etkileyen faktörler sunulmuştur. Dördüncü bölümde, kompozit malzemeler ve özellikleri verilmiştir. Beşinci bölümde, malzeme ve metod tanımlanmıştır. Altıncı bölümde, sonuçlar tartışılmış ve son bölümde de genel sonuçlar ve öneriler sunulmuştur.

Anahatar Kelimeler : Toz metalurjisi, silikat, abrasiv aşınma

ABSTRACT

Master Thesis

THE INVESTIGATION OF ABRASIVE WEAR OF Cu-C- Al_2SiO_5 COMPOSITE PRODUCED BY POWDER METALLURGY PROCESS

Çetin ÖZAY

Firat University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Education

2004, Page : 73

In this study, the effect of C and aluminium silicate (Al_2SiO_5) on abrasive wear of Cu-C - Al_2SiO_5 composite produced by powder metallurgy, containing 5, 10, 15 vol % C and Al_2SiO_5 in Cu matrix was investigated.

In the experiments, microstructures of the samples were examined by optical and scanning electron microscopy (SEM), Energy Dispersive Spectrograph (EDS), X- Ray diffraction analysis were carried out and microhardnesses were measured. Wear resistances of samples were determined using different loads (10N, 20N, 30N) by pin on disc wear test machine developed for this experiment. As a result of experiments, it has been found that with the increasing content of reinforcing elements, wear rate increased and the 5 vol. % C and Al_2SiO_5 reinforced sample showed the highest wear resistance in the experiment conditions.

The study consist of six chapters. In the first chapter of study, introduction, literature related to the subject and purpose of study were given. In the second chapter powder metallurg process was described. In the third chapter the mechanism of the wear, various wear types and factors affecting the wear were presented. In the fourth chapter, composite materials and its properties were given. In the fifth chapter material and method were described. In the sixth chapter the results were discussed and in the final chapter, conclusion and recommendations have been presented.

Keywords : Powder Metallurgy, Silicate, Abrasive Wear

1. GİRİŞ

Günümüze kadar kullanılan malzemelerin ihtiyaçları tam anlamıyla karşılayamaması ileri teknoloji grubunda yer alan metal matrisli kompozitlerin geliştirilmesi ihtiyacını doğurmuştur. Fakat bu tür malzemelerin kullanım sahalarının genişleyebilmesi için, üretimden kullanım alanlarına kadar, aşınma davranışı gibi pek çok özelliklerinin tespit edilmesi için birçok çalışmanın yapılması gerekmektedir.

En genel hali ile mekanik ve kimyasal etkilerden dolayı malzemedan istenmeyen partikül kaybı olarak ifade edilen aşınma makine parçalarında sıkça karşılaşılan bir hasar şeklidir. Seramik parçacık katkılı metal matrisli kompozitler içerdikleri sert katkıdan dolayı aşınmaya dayanımlı malzemeler olarak düşünülmektedir.

Son yıllarda, yüksek elektrik ve ısı iletkenliğe sahip ve aynı zamanda yüksek sıcaklıklara dayanımlı malzemeler önem kazanmıştır. Saf bakır yüksek elektrik ve ısı iletkenliğe sahip olmasına karşın, çekme, sürünme ve sertlik gibi mekanik özellikleri düşüktür. Bu bakımdan yüksek çekme mukavemetli ve sert bakır esaslı malzeme geliştirilmesi önemlidir. Bakırın mekanik dayanımı matris içerisine homojen olarak dağılmış sert parçacık takviyesi ile veya yaşlandırma ısı ışılemi ile artırılabilir (Tjong ve diğ. 1999). Kompozit malzemelerde genellikle silisyum kabür (SiC), alumine, zirkon veya bor gibi sert bileşikler takviye elemanı olarak kullanılmaktadır. Fakat; doğal minareller: granite, sillimanite, korundum vb. büyük potansiyele sahip olmasına rağmen takviye elemanı olarak kullanımları çok azdır (Sinhg, ve diğ. 2002). Kompozit malzemelerde takviye elemanlarının kullanılarak, yumuşak yapı içerisinde sert fazlar elde ederek hem aşınma ve hem de tokluk artırılabilir.

Çökelti ile sertleştirilmiş bakır matrisli kompozitler döküm ve toz metalurjisi ile üretilmektedir. Toz metalurjisi tozların karıştırılması, paketlenmesi ve sinterleme işlemlerinden ibarettir. Geleneksel ergitme ve döküm yönteminde ise; eriyik bakır ve seramik parçacıklar arasında ısılanma özelliğinin yetersiz kalmasında dolayı homojen dağılım sağlanmamakta; ayrıca yoğunluk farkları eriyikte segragasyona sebep olmaktadır (Moustafa ve diğ. 2001). Bu yüzden toz metalurjisi yöntemi bakır matrisli parçacık takviyeli kompozit üretimi için ideal bir yöntemdir.

Kompozit malzemeler; yüksek mukavemet, sertlik, yüksek sıcaklığa karşı dayanımı ve iyi aşınma direnci gibi özelliklerinden dolayı otomotiv endüstrisinde fren balatası, piston, silindir vb. ayrıca enerji ve spor malzemeleri üretiminde de kullanılmaktadır (Sinhg, ve diğ. 2002).

Toz metalurjisi ile üretim yönteminin geçmişi 4000 yıl önceye kadar eski Sümerlere dayanmaktadır. Özellikle 20. yy' ın başlarında endüstriyel bir işlem olarak kullanılmaya

başlanan bu yöntem, günümüzde çok değişik alanlarda genişleyerek yaygınlaşmıştır. Konu ile ilgili yapılan güncel araştırmalar, aşağıda özetlenmiştir.

J.A. Larsen yapmış olduğu çalışmada malzemenin sertliği ile ana malzemeye katılan alaşım elementlerinin cins ve miktarı arasında sıkı bir ilişki olduğunu ve genelde takviye elementlerinin malzemelerinin mukavemetini ve sertliğini arttırdığını belirlemiştir (Larsen 1990).

S.F.Moustafa, Z.Abdel-Hamid ve A.M.Abd-Elhay, yapmış oldukları çalışmalarda, 10 dakika süre ve 360 d/dak. karıştırma hızıyla karıştırılmış ,600 Mpa basınçta soğuk preslenmiş ve 900 C°'de hidrojen atmosferinde sinterlenmiş SiC ve Al₂O₃ takviyeli Cu matrisli kompozit elektroliz yöntemiyle ince bir nikel tabaka ile kaplanmıştır. Elde edilen numunenin mikroyapı ve mekanik özelliklerini araştırmışlardır (Moustafa ve diğ. 2002).

S.R.Dong, J.P.Tu ve X.B.Zhang yapmış oldukları çalışmalarda Cu matrise nano boyutta karbon takviye ederek, elde ettikleri numunelerin aşınma ve sürtünme davranışlarını araştırmışlardır. Aşınmış yüzeylerin SEM ve X-RAY analizlerini incelemişlerdir. Karbon boyutunun, kayma yüzeyinde koruyucu bir oksit filmi oluşturarak aşınmayı azaltmakta önemli olan bir faktör olduğunu saptamışlar, takviye yoğunluğunun artmasıyla kompozitin aşınma oranının azaldığını belirlemişler ve %12-15 C/Cu oranının en ideal bileşim olduğunu tespit etmişlerdir (Dong ve diğ. 2001).

M.İzciler ve M. Muratoğlu yapmış oldukları çalışmalarda toz metalurjisi yöntemiyle üretilen % 25 SiC takviyeli 2124 Al alaşımlı kompozitin farklı gerilme aşınma davranışlarını incelemişlerdir. Aşındırıcı olarak Al₂O₃ ve SiC aşındırıcılarını seçmişlerdir. Aşınma testlerini 30, 60 ve 90 N ağırlıklarda oda sıcaklığında gerçekleştirmişlerdir. Yükün artmasıyla aşınma oranının arttığını gözlemlemişler, SiC partikülleriyle gerçekleştirilen aşınmaların Al₂O₃ partiküllerine nazaran daha yüksek olduğunu belirlemişlerdir (İzciler ve diğ 2002).

S.C. Tjong ve K.C. Lau yapmış oldukları çalışmalarda sıcak izo statik presleme yöntemiyle saf bakır ve TiB₂ partikül takviyeli kompozitlerin abrasiv aşınmalarını araştırmışlardır. Saf bakırın yumuşak olmasından dolayı aşınma kaybının büyük oranda olduğunu ve TiB₂ takviyeli kompozitlerin daha iyi aşınma direnci gösterdiğini belirlemişlerdir (Tjong ve diğ . 1999).

S.C. Tjong ve K.C. Lau yapmış oldukları çalışmalarda sıcak izo statik presleme yöntemiyle saf bakır ve SiC partikül takviyeli bakır kompozitlerinin aşınma davranışlarını araştırmışlardır. Saf bakırın büyük oranda aşınma kaybı gösterdiğini ve SiC partikül takviyeli bakır kompozitlerinin daha iyi aşınma direnci gösterdiğini belirlemişlerdir (Tjong ve diğ.1999).

J.P.Tu, L.K. Meng ve M.S. Liu yapmış oldukları çalışmalarda toz metalurjisi yöntemi ile üretilmiş takviyesiz bakır alaşımları ve Cu-Fe₃-Al kompozitlerinin kuru kayma aşınma davranışlarını araştırmışlardır. Temas basıncı ve kayma hızı parametrelerinin etkilerine bağlı olarak aşınma kayıplarını belirlemişler (Tu ve diğ. 1998).

S.F. Moustafa, S.A. El-Badry, A.M. Sanad ve B. Kieback yapmış oldukları çalışmalarda Cu/C kompozitleri yada Cu kaplanmış ve Cu kaplanmamış C tozlarından oluşan kompozitlerinin sürtünme ve aşınmalarını araştırmışlardır. Cu/C kompozitlerinin saf bakıra nazaran daha düşük aşınma oranı ve sürtünme katsayısına sahip olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca Cu kaplanmış C kompozitlerin en düşük aşınma oranını gösterdiğini belirlemişlerdir (Moustafa ve diğ. 2002).

S.C. Tjong ve Z.Y. Ma yapmış oldukları çalışmalarda toz metalurjisiyle üretilmiş çeşitli tane boyutlarındaki SiC partikül takviyeli Al kompozitlerinin yüksek sıcaklıklarda sürtünme yorulması davranışlarını araştırmışlardır. Küçük SiC partikül takviyeli Al kompozitlerinin saf Al' den daha iyi sürtünme yorulması direnci gösterdiğini ve aşınma direncini artırdığını belirlemişlerdir (Tjong ve diğ. 1998).

Z. Alpugan yapmış olduğu çalışmada, toz metalurjisinde parçaların ham mukavemetinin tanecik yüzeylerindeki düzensizliklerin mekanik bağlanması ile meydana geldiğini ve sıkıştırma sırasındaki plastik deformasyonun mukavemeti artırdığını ifade etmiştir (Alpugan 1981).

S.C. Tjong ve K.C. Lau yapmış oldukları çalışmalarda sıcak izo statik presleme yöntemiyle % 5, 10, 15, 20 TiB₂ partikül takviyeli Cu kompozitleri ve Al-%4 Cu alaşımları üretmişlerdir. Bu numunelerin abrasiv aşınma davranışlarını ve mekanik özelliklerini belirlemişlerdir. TiB₂ takviye partiküllerinin oranının artırılmasıyla kompozitlerin sertliklerinin abrasiv aşınma dirençlerinin ve akma gerilmelerinin arttığını belirlemişlerdir (Tjong ve diğ. 1999).

B. Roebuck ve A.E.I. Forno yapmış oldukları çalışmalarda 2014-Al alaşımları için TiB₂ takviye partiküllerinin SiC takviye partiküllerine göre malzemeyi daha dayanıklı yapmak açısından ve aşınma direncini artırması ile daha etkili bir takviye elemanı olduğunu ifade etmişlerdir (Roebuck ve diğ. 1991).

S. Atamert yapmış olduğu çalışmada malzemelerin kristal yapılarının aşınma direncine etkisini araştırmıştır. Sıkı paket yapıya sahip malzemelerin aşınma direncinin diğer kristal yapılara göre daha büyük olduğunu gözlemlemiştir (Atamert 1989).

M. Muratoğlu yapmış olduğu çalışmada aşınma direncini etkileyen faktörlerin başında sertliğin geldiğini, sertlik ile aşınma direnci arasında belli bir düzeye kadar doğrusal bir değişim olduğunu ifade etmişler (Muratoğlu 1997).

H. Keleştimur yapmış olduğu çalışmada aşınma sırasında verilen enerjinin bir kısmının sürekli olarak soğuk deformasyon meydana getirerek, malzeme yüzeyinin pekişmesine sebep olduğuna; eğer gerçek yüzey basıncı ile şekil değiştirme mukavemeti arasında bir denge olursa aşınmanın azalacağını bir müddet sonra sabit olarak devam edeceğini ifade etmiştir (Keleştimur 1989).

M. Muratoğlu yapmış olduğu çalışmada aşınma sırasında sürtünme kuvvetinin bir kısmının sistemde sıcaklık olarak ortaya çıktığının, özellikle kuru bir sürtünme mevcut ise ortaya çıkan ısıнын boyutunun oldukça yüksek olduğunu hatta bazı malzemelerde mikro yapı değişimine kadar sebep olacağını ifade etmiştir (Muratoğlu 1997).

Y. Özmen, A.Ç. Can ve T. Aksoy yapmış oldukları çalışmada sıcaklığın aşınma esnasında yüke bağlı olarak aşınma miktarına olan etkilerini araştırmışlardır (Özmen ve diğ. 1991).

M. Singh, D.P. Modi, A.K. Jha yapmış oldukları çalışmada, döküm yöntemiyle üretilmiş alüminyum alaşımı ve %10 sillimanite katılmış alüminyum alaşımlarını, farklı uygulama yüklerinde, aşındırıcı tane boyutlarında ve aşınma mesafelerinde şartları altındaki abrasiv aşınma davranışlarını incelemişlerdir. Artan uygulama yükü, aşındırıcı tane boyutu ve aşınma mesafesinde aşınma kaybının arttığını belirlemişlerdir (Singh ve diğ. 2002).

Sonuç olarak, ilgili çalışmalarda takviye partikülü olarak SiC ve Al₂O₃ üzerinde yoğunlaştığı, buna karşın silikat grubu seramiklerle ilgili çalışmaların oldukça sınırlı olduğu görülmektedir. Bilindiği gibi, seramik malzemelerin çoğu silisyum ve oksijen atomlarının birbirine çeşitli şekilde bağlandığı silikat yapılarına sahiptir. Silikatlar düşük maliyetleri, kolay bulunmaları ve diğer özellikleri nedeniyle bir çok endüstri kolunda kullanılmaktadır. Alüminyum silikatlar ise, refrakter malzemeler ve seramik yapımında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bakır, genellikle düşük sertliğe sahip olmasından dolayı aşınma dayanımı düşük olmasına rağmen, bakır esaslı kompozitler elektrik ve ısı özelliklerinden dolayı özellikle elektrik ileten sürtünme temaslı uygulamalar için önem arz etmektedir. Bu çalışmada; toz metalurjisi yöntemi ile bakır matris içerisinde farklı oranlarda grafit ve seramik takviyesi ile elde edilmiş malzemelerin abrasiv aşınma dayanımlarının incelenmesi amaçlanmıştır.

2. TOZ METALURJİSİ

2.1. Metal Tozların Özellikleri

Metal tozlarının bir çok özellikleri üretim tekniklerine göre belirlenmektedir. Bu sebeple toz metalürjisi parçalarının kullanım alanlarına göre belirlenmektedir. Bu değişik metotlarda üretilen tozlar kullanılmaktadır. Toz metalurjisi tekniklerinin başarısı, kullanılan tozların tane olarak ve kütle olarak fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlıdır (Sarıtaş, 1994).

Kimyasal ve fiziksel özellikleri tespit etmek için numune toza ihtiyaç vardır. Numune, toz kütlenin tüm kesitinden alınarak kütleyle ait özellikleri doğru olarak vermelidir. Bunun için özel numune alıcıları üretilmiştir. Bu alıcılar bir tüp şeklinde ve açılır kapanır pencereler açılarak tüpün içine toz dolar. Bu tozlar harmanlanıp bölücülerle parçalanarak özellik tespiti yapılır.

2.1.1. Kimyasal Özellikler

Kimyasal özelliklerden tozun bileşim ve saflığı anlaşılmaktadır. Bilinen kimyasal analiz teknikleriyle tozların bileşimleri ve içerisindeki istenmeyen maddeler tespit edilir.

Genellikle tozların içerisinde üretim sırasında kimyasal indirgeme sonucu yabancı parçacıklar karışır. Yeterli indirgenmemiş toz taneciklerinde oksit kalıntılarına rastlanabileceği gibi tane sınırlarında da oksitler görülür. Ayrıca tozların hava ile teması sonucunda tozlar oksitlenebilir. Bu durum tozlar için istenilmemektedir. Çünkü sıkıştırma esnasında tozların yoğunlaşma davranışını olumsuz yönde etkilemektedir.

2.1.2 Fiziksel Özellikler

Tozların fiziksel özelliklerini toz boyutu, toz şekli, görünür yoğunluk, akış hızı, sıkıştırılabilirlik, ham mukavemet ve sertlik gibi özellikleri belirler. Presleme ve sinterleme özellikleri de yakından ilgilidir.

2.1.2.1. Toz Boyutu

Toz boyutunun tespiti için genellikle elek analizi yapılmaktadır. 1970 yılında ASTM tarafından kabul edilen standart elek takımı Tablo 2.1 de verilmiştir.

Ölçüm döküm kumu tane büyüklüğü tespiti gibi yapılır. 45' nin altındaki tane büyüklükleri için elek metodu iyi netice vermez. Çok ince tozlar için çökelme (sedimantasyon), ışık dağılması, Fisher- elek altı yöntemleri kullanılır.

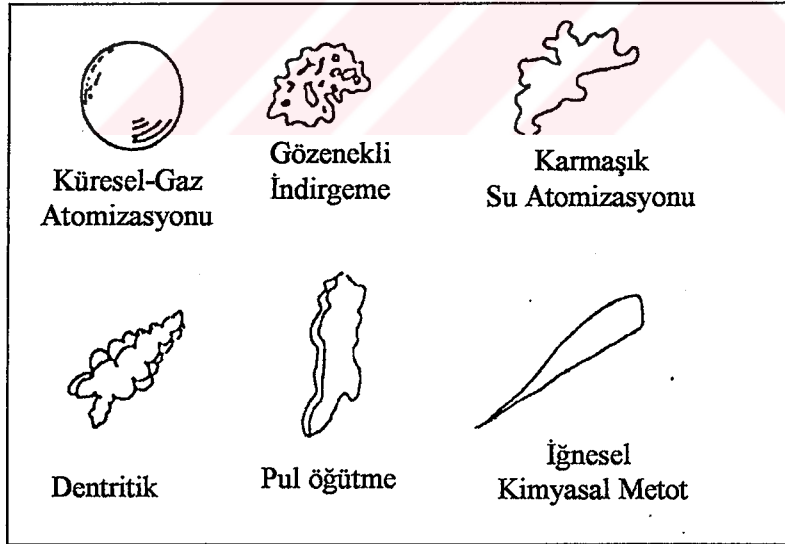
Elek hiçbir zaman tozun gerçek boyutunu ölçmez, sadece belirli bir değerden büyüktür veya küçüktür diye ayırır. Tozların tamamını aynı boyutta olduğu da söylemez, ancak ortalama tane boyutundan söz edebilir (Kurt, 1992).

Tablo 2.1. Standart elek takımı.

Elek No, mesh	Delik μm
30	600
40	425
50	300
60	250
80	180
100	150
140	106
200	75
230	63
325	45

2.1.2.2 Toz Şekli

Metal tozlarının en önemli iki temel özelliği toz şekli ve büyüklüğüdür. Toz üretim teknikleri, üretilen tozların şekillerini belirler. Şekil 2.1.' de görüldüğü gibi. Toz şekli tayini ışık ve elektron mikroskoplarıyla yapılmaktadır.



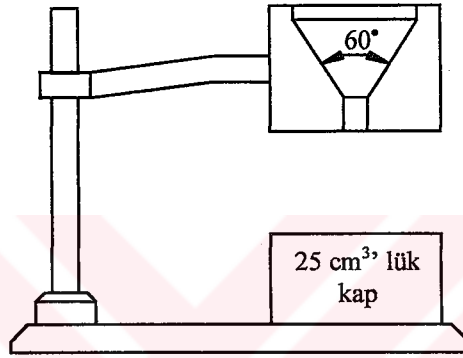
Şekil 2.1 Üretim Metotlarına Göre Toz Şekilleri

Tozları şekilleri, biçimlendirmede çok etkilidir. Akış, görünür yoğunluk, yoğunlaşma kabiliyeti ve ham mukavemet toz şekline büyük bir derecede bağlıdır.

2.1.2.3. Görünür Yoğunluk

Görünür yoğunluk, belli bir hacimdeki gerçek toz kütesinin yoğunluğudur ve gr/cm^3 olarak ifade edilir. Pres kalıplarının tasarımında en önemli toz özelliğidir. Görünür yoğunluk; toz şekline, büyüklüğüne ve şekilleri küresellikten uzaklaştıkça görünür yoğunluk azalır.

ASTM-B212 ye göre görünür yoğunluk tayini Şekil 2.2.'de görülen Hall hunisi ile yapılır. 30-35 cm^3 kuru toz Hall hunisine doldurulur ve altına yerleştirilen 25 cm^3 'lük kaba akıtılır. Düz bir cetvelle taşan tozlar dökülür. Kaptaki tozlar tartılır ve gr/cm^3 olarak görünür yoğunluk tayin edilir.



Şekil 2.2 Hall akış hunisi (Saritaş, 1994)

2.1.2.4. Akış Hızı

Akış hızı, 50 gr kuru tozun Şekil 2.2'de görülen Hall hunisinden kendi halinde akış zamanıdır. Akış hızı seri imalatla kalıbın doldurma zamanı ile doğrudan ilgili olduğundan çok önemlidir. Küresel tozların akış hızları çok iyidir. Ancak, küresellikten uzaklaştıkça akış hızı düşer. Pul şeklindeki tozlar kolay akmazlar ve kalıpları doldurmak zordur (Saritaş, 1994).

2.1.2.5. Sıkıştırılabilirlik

Belirli bir metal tozu kütesinin basınç altında yoğunlaşma kabiliyetinin ölçüsüdür. Sıkıştırılabilirlik tozun biçimlendirme sırasındaki davranışını belirlediğinden çok önemlidir.

Bir tozun sıkıştırılabilirliği; tozun sertliğine, şekline, tane boyutu dağılımına ve kullanılan yağlayıcılara bağlıdır.

2.1.2.6. Ham Mukavemet

Sıkıştırılmış toz kütesinin pişirmeden önceki mukavemetidir. Ham mukavemet tozların birbirlerine kilitlenmelerinden ve kısmen soğuk kaynaklaşmadan oluşur. Sıkıştırıldıktan sonra

toz kütlesinin boyutlarını koruyabilmeleri ve taşınabilmeleri için ham mukavemet çok önemlidir.

2.1.2.7. Tozların Yanıcılık ve Zehirleyicilik Özelliği

Birçok toz çeşidi düşük denilebilecek sıcaklıkta, bazıları da oda sıcaklığında oksijenle birleşerek ateşlenebilirler. Oda sıcaklığında oksijenle reaksiyona girerek yanan tozlara profirik toz denir (Ünal, 1995). Ateşleme yönüyle 50 mikronun altındaki parçaların özellikle tehlikeli olduğu söylenebilir.

İnsan vücuduna solunun ve sindirim yolu ile alınan tozları vücutta birikmesi neticesi tehlikeli rahatsızlıklar ortaya çıkmaktadır. Radyoaktiflik gösteren tozlar ise özellikle tehlikelidir. Bu tehlikelere maruz kalmamak için gerekli emniyet tedbirleri alınmalı, havalandırma, temizleme sistemleri mükemmel olmalı, gerek duyulursa emniyet maskeleri ile çalışılmalıdır.

2.2. Metal Tozu Üretim Teknikleri

Metal tozların üretiminde çeşitli yöntemler vardır. Tozların imalinde kullanılan yöntemler tozlara ait bazı özellikleri de tespit eder. Bu yöntemlerden bazıları şunlardır:

- Atomizasyon yöntemi
- İndirgeme yöntemi
- Elektroliz yöntemi
- Karbonil yöntemi
- Çökeltme yöntemi

2.2.1. Atomizasyon Yöntemi

Atomizasyon bir sıvıyı damlacıklara ayırma işlemidir (Hausner, 1982). Bu tanıma göre sıvı haldeki her metal atomize edilebilir. Sıvı metal demetinin basınçlı akışkanlar ile veya mekanik olarak parçalanması ile oluşan damlacıklara katılarak metal tozu haline getirilmesidir. Basınçlı akışkan olarak su veya gaz kullanılan atomizasyon çeşidi genellikle iki akışkanlı atomizasyon olarak adlandırılır. Alternatif olarak metal demetini parçalamak için merkezkaç kuvveti de kullanılır.

Kullanılan bütün tozların %80 den fazlası atomizasyon yöntemi ile üretilir. Diğer üretim tekniklerine göre tane şekilli, tane büyüklüğü ve dağılımının kontrolü çok kolaydır. Özellikle alaşım tozları üretiminde bu yöntem çok uygundur (Kurt, 1992).

Atomizasyon yöntemi ile metal tozları üretmede kullanılan değişik yöntemler vardır. Atomizasyon türleri şunlardır:

- Su jeti atomizasyonu

- Gaz atomizasyonu
- Santrifüj atomizasyonu
- Vakum atomizasyonu
- Ultrasonik gaz atomizasyonu

2.2.2. İndirgeme Yöntemi

İndirgeme yöntemi ile genellikle metal oksitlerin (demir, bakır, tungsten, molibden, nikel, kobalt) hidrojen içinde yada katı karbon ile indirgeme en çok metal tozu üretme tekniği olmuştur.

Bu yöntem genellikle demir tozu üretiminde kullanılır. Toz halinde öğütülen oksitler indirgeyici atmosfer altında uygun sıcaklıklara kadar ısıtılarak indirgenirler. En ucuz indirgeyici ortam karbondur, ancak hidrojen de bu amaç için kullanılmaktadır. 1900 yıllarında İsviçre’de geliştirilen Höganus metoduna göre magnetit ($Fe_3 O_4$), kok, kireç taşı karışımı $1260^{\circ}C$ ’de 68 saat bekletilerek demir tozu üretilmiştir. Kireç taşı kükürdü absorbe eder. Fırında indirgeme sırasında Co gazı yanarak ısı verir. Elde edilen demir tozları bu sıcaklıkta birbirlerine kaynak olarak kekleşirler. Ancak soğutulduktan sonra öğütülerek istenilen toz büyüklüğüne kırılmaları kolaydır. Tozlar sünger görünüşünde olduğundan “sünger demir “ olarak bilinir.

2.2.3. Elektroliz Yöntemi

Çeşitli metallerin tozları elektroliz yöntemiyle elde edilebilir. Elektroliz hücresinde, katod üzerinde olan metal birikmesi ya gevrek bağlantılı tozlar halinde (bakır ve gümüş gibi) yada sıkı ancak gevrek tabaka halinde (demir ve mangan gibi) oluşur. Her iki halde de katoda toplanan metal kolaylıkla öğütülerek ince toz haline getirilebilir.

Bu metotla üretilen tozları yıkanarak elektrolitten ve tuzlardan iyice temizlenmesi gerekir. Kurutma, inert gaz altında yapılarak oksitlenme önemlidir. Elektroliz yöntemi çok temiz toz üretmesine rağmen kullanım alanı tozların pahalı olmasından dolayı sınırlıdır.

2.2.4. Çökelme Yöntemi

Çeşitli sıvı ve gazlardan faydalanarak kimyasal yollarla metal tozları üretmek mümkündür. Metal iyonları kapsayan eriyiklerden daha az asal olan başka bir elemanla kimyasal yer değiştirme yöntemiyle metal tozları üretilebilir. Örneğin kimyasal reaksiyon sonucu bakır tozlarının demirle yer değiştirmesi gibi. Bu yöntem hidro-metalürji olarak bilinir. Çökeltiden önce bir hidroksit çökeltir, daha sonra bu hidroksit ısıtılarak parçalanır. Halen bakır, nikel ve kobalt tozu hidro-metalürji ile üretilmektedir.

2.2.5. Karbonil Yöntemi

Karbonil yönteminde demir, nikel ve Co gazı etkisinde karbonillerini veren metallerin tozları yüksek seviyeli, hep üniform şekilde küresel taneli yapıda elde edilir. Co, Fe, MG, Ni uygun sıcaklıkta Co gazı etkisinde karbonille parçalanarak ve tane boyları 2 ile 10 µm olan son derece ince tozlardır.

2.3. Tozların Karıştırılması

Tozlar, dengeli homojen bir karışım verecek şekilde itina ile karıştırılmalı ve bu karışımın, kalıbın bütün bölgelerine akacak şekilde olmalıdır. Bunu başarmak için tozlar hassas bir şekilde tartılmalı, Grafit gibi metal olmayan tozlar ile birlikte karıştırıcıya konulmalı ve katılan yağlayıcı da % 0.5-1.5 arasında olmalıdır. Karışma zamanı ve karıştırma, sonradan gelecek işlemlerde malzeme davranışlarına ve üretilen parçanın özelliklerine etki eder. Kalıbın aşınmasını en aza indirmek ve sıkıştırma basıncını azaltmak için yağlayıcının bütün tanelere yapışması gerekir(Dixon, 1971).

Toz karıştırılması V veya Y tipi karıştırıcılar adıyla bilinen çift konili karıştırıcılarda yapılır. Karıştırma, tozların tane boyutuna ve şekline göre birikmesini önlerken, akış karakteristiği ve görünür yoğunluğunu da değiştirir. Ayrıca taneciklerin nispeten kırılmasına, yuvarlaklaşmasına ve yüzey pürüzlülüğünün giderilmesine sebep olabilir. Gerektiğinde fazla karıştırma taneciklerin plastik deformasyonuna sebep olabilir. Bu da tozun sıkışabilme özelliğini azaltıp, şekillendirme sırasında gerekenden fazla soğuk işlem gerektirir.

Karıştırma genelde toza yağlayıcı veya alaşım elemanı ilavesi gerektiğinde yapılır. Temel amaç farklı yapıdaki malzemelerden tekdüze bir elde edilmesidir. Sinterleme dahil bütün işlem kademelerin değerlendirilmesi yapılmadan yeterli derecede karışma yapıp yapılmadığına karar vermek oldukça güçtür(Alpugan, 1981).

Karıştırılan tozlar, sinterlemeden sonra delik oluşturabilecek herhangi bir yabancı maddenin veya yağlayıcı birikintisinin, tozun içine girmemesi için korunmalıdır. Toz karışımları preslenmeden önce iki önemli özelliği olan; akma hızı ve görünür yoğunluğu kontrol edilmelidir(Sarıtaş, 1995).

2.3.1 Kullanılan Yağlayıcılar

Toz ile kalıp yüzeyi arasındaki sürtünme nedeniyle, şekillendirme enerjisinde büyük kayıplar oluşur. Bunun yanı sıra bitişik tanecikler arasında, toz ile zımbalar ve maşalar arasında, zımbalar ile kalıp yüzeyi arasında da sürtünme vardır. Ayrıca kalıptan çıkartma sırasında parça ile kalıp iç yüzeyi arasındaki sürtünme de önemlidir. Bir karıştırma yapılacak olursa, parça kalıptan çıkarılırken karşılaşılan güçlükler yanında, şekillendirme işlemi oldukça kolaydır. Bu

nedenlerden dolayı hem şekillendirme hem de kalıptan çıkarmada etkili olacak ve sinterlemeyi bozmayacak bir yağlama düzenine ihtiyaç vardır.

Metal tozuna, toz şeklinde yağlayıcı karıştırıldığında, bu yağlayıcı tozun her tarafına dağılmış olur. Ancak bu durumda yağlayıcının toz kütlesi içinde kaldığı ve etkisiz olduğu görüşü yaygındır. Ayrıca yağlayıcılar sıkıştırılmamış tozun özelliklerini de kötü etkileyebilir.

Metal steoratlara, strearik asit ve balmumu gibi kullanılan yağlayıcılar, ergime noktası düşük organik bileşiklerdir. Bu bileşiklerin yoğunlukları düşük olduğundan, yüzde ağırlıkça küçük miktarlarda ilave edilmeleri büyük hacimlere karşılık gelir.

Yağlamanın diğer bir şeklide, sadece kalıp yüzeylerinin yağlanmasıdır. Böylece yağlayıcı, gerek duyulduğu yerde kullanılmış ve tozun özelliklerini de etkilememiş olur. Yağlayıcı kalıba elle uygulanacağı gibi püskürtme de kullanılabilir. Endüstriyel uygulamada otomatik yağlama yapılır, kalıp yağlamada kullanılan yağlayıcı malzeme, genellikle süspansiyon şeklindedir.

Etkili bir yağlayıcı, parçayı kalıptan çıkarma basıncını (Buna sıyırma basıncı denir.) azaltmalıdır. Yağlayıcı oranı artıkça sıyırma basıncı o derece azalma gösterir. Ayrıca kalıp malzemesinin bileşimi, sertliği ve yüzey özellikleri de sıyırma basıncını etkiler. Aynı sıkıştırma basıncı ve aynı yağlayıcı şartlarında sıyırma basıncı karbür kalıplarda çelik kalıplara göre daha düşük olmaktadır. Sıyırma basıncı tozun tane büyüklüğü ile de ilişkilidir. Küçük tane boyutu sıyırma basıncını artırır. Çünkü bazı tanecikler kalıptaki küçük boşluklara girerek sürtünmeyi artırır (Alpugan,1981).

2.4. Tozların Sıkıştırılması

Kalıplara doldurulduktan sonra belli bir basınca maruz kalan tozların briket şeklini alacak, gerekli plastik özelliğin olması gerekir. Bu işlem esnasında her toz tanesi basınç kaldırıldıktan sonra da bağlı kalacak şekilde çok sıkı sıkıştırılmalıdır. İyi derecede bir sıkışma için tozlarda plastik özellik, pres ve kalıpta da yüksek sıkışma özelliği gereklidir.

Sinterlenmiş makine parçalarının kaliteli üretilmesine etki eden önemli faktörlerden biri de, presleme teknikleridir. Sıkıştırılmamış tozların hacmi, sıkışmış tozların hacminden daha büyüktür. Bu hacim oranı uygulanan basınçtaki yoğunluğa ve gözenekliliğe bağlıdır. Bu hacim oranı bir çok yapısal parçalar için 2,5/1 ve 3/1 arasındadır.(Dixon,1971).

Toz metallurjisiyle üretilen makine parçalarının şekli ve boyu üzerindeki kısıtlamalar sıkışma işlemleri ile olur. Metal tozlarını preslemek için bir çok uygun yöntem vardır. Fakat bunlardan çok azı eş dağılımlı yoğunluk sağlayabilir. Özellikle karışık şekilli parçalarda bu daha da zordur (Herman, 1978).

Metal tozlarının briketlenmesini:

- Kalıpta Sıkıştırma
- İzostatik Sıkıştırma
- Yüksek enerjili Sıkıştırma
- Ekstrüzyola Sıkıştırma
- Titreşimle Sıkıştırma olarak gruplara ayrılabilir.

2.4.1. Kalıpta Sıkıştırma

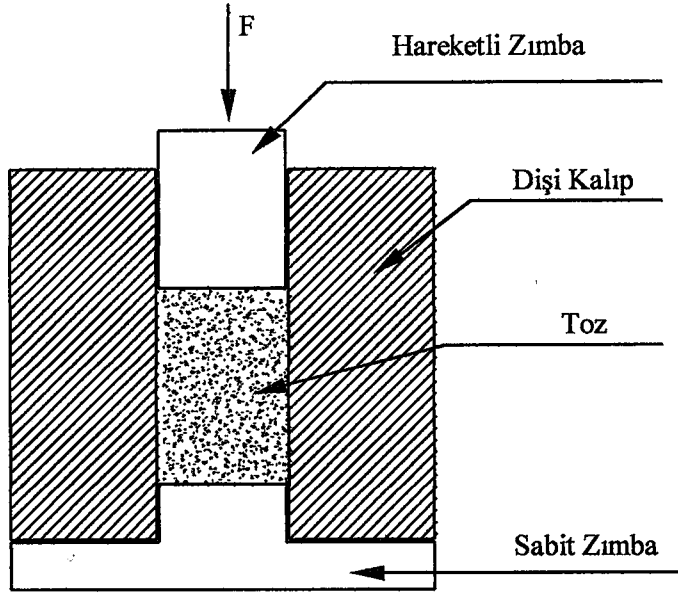
2.4.1.1. Tek Hareketli Sıkıştırma

Tek hareketli sıkıştırmada oluşan dikey doğrultuda deformasyonun başlamasıyla; tozlar arası toz kalıp çeperi arasında oluşan sürtünme ve çap arasında düzensiz bir basınç dağılımına sebep olur. Sonuç olarak; uygulanan yük, iş parçasına düzenli olarak uygulanmamaktadır. Dolayısıyla iş parçasındaki yoğunluk homojen bir dağılım göstermemektedir. Yoğunluk, hareketli zimbaya doğru giderek azalmaktadır. Yoğunluktaki bu azalma iş parçasının boy/çap oranına bağlıdır. Bu etki disk ya da rondela gibi parçalarda problem olmamasına karşın kalın parçalarda önemli bir problemdir.(Sarıtış ve diğ., 1988).

Bu kalıp tipinin basitliğı kalıp fiyatı yönünden önemli bir avantajdır. Bununla birlikte briketi kalıptan çıkarmak diğere yöntemlere göre biraz daha zordur. Parçanın kalıptan çıkarılması şu iki temel üzerine olur:

- 1- Kalıp sabit olup, alt zimba yükselerek parçayı kalıp boşluğundan dışarı atar.
- 2- Alt zimba sabit kalırken kalıp aşağı çekilerek parça çıkarılır.

Tek yönlü sıkıştırma istenilen yoğunluk dağılımı verilmediğinden, parçanın alt ve üst bölgelerinde eşit sıkıştırılmasını sağlamak, çift hareketli sıkıştırmayla mümkün olur.(Alpugan, 1981).

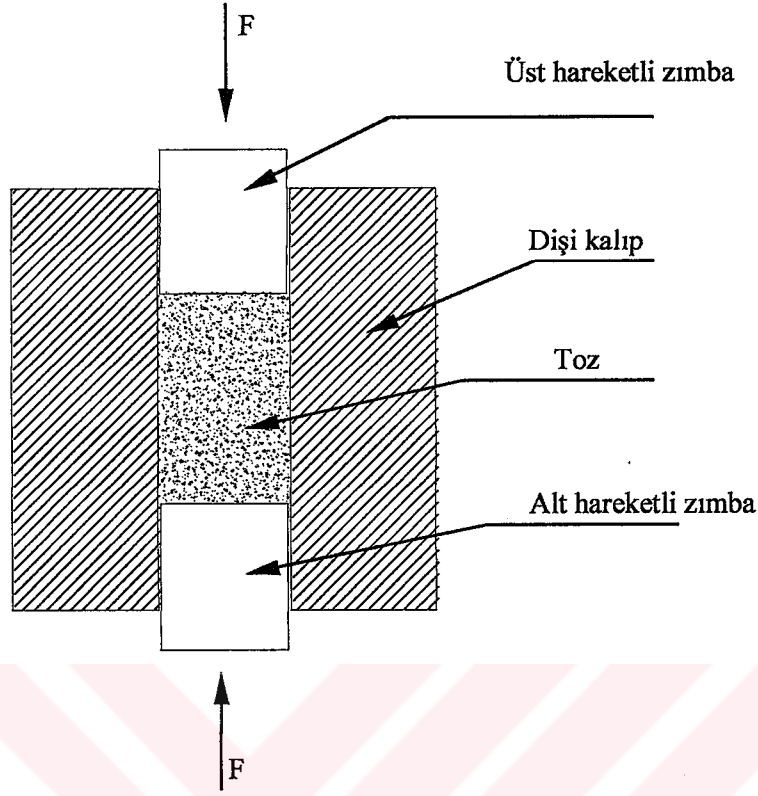


Şekil 2.3. Tek Hareketli Sıkıştırma Kalıbı

2.4.1.2 Çift Hareketli Sıkıştırma

Çift hareketli sıkıştırmada toz, birbirine zıt yönde hem alt hem de üst zimba tarafında aynı anda sıkıştırılmaktadır. Her bir yönde eşit veya farklı miktarlarda hareket veya basınç uygulanabilir(Alpugan,1981). Çift hareketli sıkıştırma ile kalıp içerisinde boydan boya dengeli bir sıkıştırma temin edilebilir. Kalıp alttan bir yayla desteklenerek de çift yönlü sıkıştırma gerçekleştirilebilir. Burada yay kuvveti pres kuvvetine adapte edilmelidir. Preslenecek parçaların dik kesitlerinin kademeli olması preslemede güçlük çıkarır. Bir parçanın kalıptan rahatlıkla çıkarılması da parçanın şekline bağlıdır. Çift hareketli sıkıştırmanın en önemli avantajı, briket kesitinin her yüksekliği için pres kontrolü uygun kalıp hareketinin olabilirliğidir(Herman, 1978).

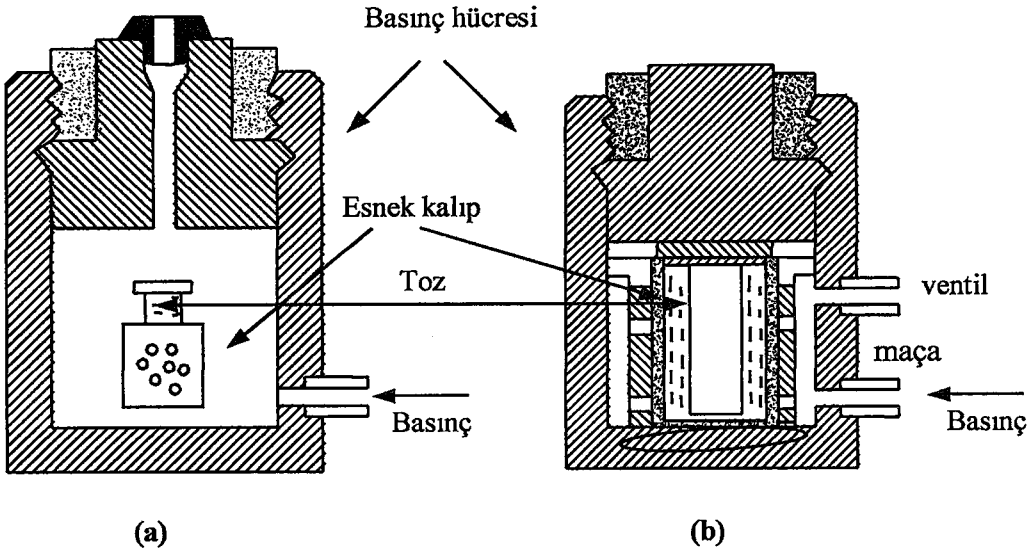
Çift hareketli sıkıştırmada alt ve üst zimbanın her ikisine de basınç uygulanır. Bu çift yönde hareket eden özel bir tip pres gerektirir. Toz metalurjisinde kullanılan özel pres kalıpları, önceden belirlenen toz miktarlarının hassasiyetle yerleştirilmesine, ardından sıkıştırılmasına ve preslenen briketin çıkarılmasına uygun olmalıdır. Bu nedenle preslerin doldurma ve çıkma pozisyonlarının olması ve bunların her ikisinin de otomatik olarak arka arkaya gelmesi gerekir.



Şekil 2.4. Çift Hareketli Sıkıştırma Kalıbı

2.4.1.2. İzostatik Sıkıştırma

İzostatik sıkıştırma, tozların bir akışkan basıncı ile sıkıştırılmasıdır. Sıkıştırma genellikle bir yağ yada su içinde ve oda sıcaklığında (CIP) (Cold Isostatic Pressing) yapılır. Parçanın şeklinde esnek bir kalıp hazırlanır ve içi tozla doldurulur. İçindeki hava boşaltılır ve gerekli sızdırmazlık sağlandıktan sonra basınç kazanına atılır. İzostatik sıkıştırmada kalıp sürtünmeleri olmadığından ve basınç her yerde eşit olduğundan yoğunluk dağılımı ve mekanik özellikleri izotropiktir. Yöntemin dezavantajları hassas boyutsal tolerans elde edilmemesi ve yavaş olmasıdır. Bununla beraber 700 MPA'a kadar basınçlarda ve 1200 °C ye kadar sıcaklıklarda izostatik sıkıştırma ile her türlü refrakter metal ve seramik biçimlendirilebilir. Süper alaşım uçak türbini diskleri ve takım çeliği kütükleri başlıca örnekleridir(Sarıtaş,1985).



Şekil 2.5. İzostatik presleme yöntemleri
a) ıslak b) kuru.

2.5. Sinterleme

Sinterleme, metaller ve seramiklerin üretiminde uygulanan en eski yöntemlerden biridir. Bugün genellikle metal tozu, seramik tozu ve son zamanlarda bazı polimerler için kullanılmaktadır. Soğuk olarak biçimlendirilmiş toz metal malzemeler çok kırılgandır. Toz taneleri basınç altında mekanik olarak birbirini kilitlemişlerdir ve kısmen de soğuk kaynak olmuştur. Ancak her iki mekanizma ile de oluşacak mukavemet parçaya yük taşıma özelliği vermez. “Ham Mukavemet” olarak adlandırılan bu mukavemetin parçanın taşınması ve stoklanması için gerekli mukavemet kadar olması yeterlidir.

Soğuk biçimlendirilmiş metal tozları ergime sıcaklıkları altında, kaynak oluşması sıcaklığında pişirildikleri zaman toz taneleri arasında metalurjik bağ oluşur ve parçanın mukavemeti ham mukavemetini 100 katından daha yüksek değerlere ulaşır. Pişirmenin başarılı olabilmesi için toz tane yüzeylerinin oksitlerden temiz olması gereklidir. Pişirme sırasında ortamdaki hava yok edilmeli ve koruyucu atmosferler kullanılmalıdır. Pişirme atmosferi olarak genellikle indirgeyici gazlar kullanılmakta ve böylece toz yüzeylerinde önceden oluşmuş oksit tabakaları pişirme sırasında indirgenmektedir. Hidrojen en iyi indirgeyici gazdır, ancak pahalıdır. Bugün hidrojen üretici ortam olarak kırılmış amonyak kullanılmaktadır. Kırılmış amonyakta % 25 inert azot ve %75 indirgeyici hidrojen vardır. Ayrıca indirgeyici Co gazını içeren hidrokarbon atmosferler de pişirmede kullanılmaktadır. Doğal gazın hava ile karıştırılarak kontrollü yakılmasıyla elde edilen “endo- gaz” ve “enso- gaz” ortamlar bu tip atmosferlerdir.

Demir esaslı malzemelerin pişirilmesi 1100 °C – 1200 °C arasındaki sıcaklıklarda kırılmış amonyak ve endo gaz içinde yapılmaktadır. Pişirme sırasında:

- Tozlar arasında metalurjik bağ oluşur.
- Toz yüzeylerinde oksitler indirgenir.
- Yağlayıcı olarak eklenen grafit demire yayılarak malzemenin son karbon seviyesini oluşturur.
- Kısmi yoğunlaşma olur.



3. AŞINMA

Günümüz sanayisinde yaygın olarak kullanılan tribolojik sistemlerde korozyon ve yorulma sorunlarıyla birlikte görülen üçüncü büyük bir problem vardır ki; bu da aşınma olayıdır. Aşınma olayı teknik bir problem olduğu kadar ekonomiyi de yakından ilgilendirir duruma gelmiştir. A.B.D.'de yapılan bir araştırma sonucunda, çeşitli aşınma mekanizmalarıyla meydana gelen malzeme kaybının değerinin yıllık yüz milyar dolar olduğu tespit edilmiştir. Bu da brüt milli hasılanın %6-7'sini oluşturmaktadır.

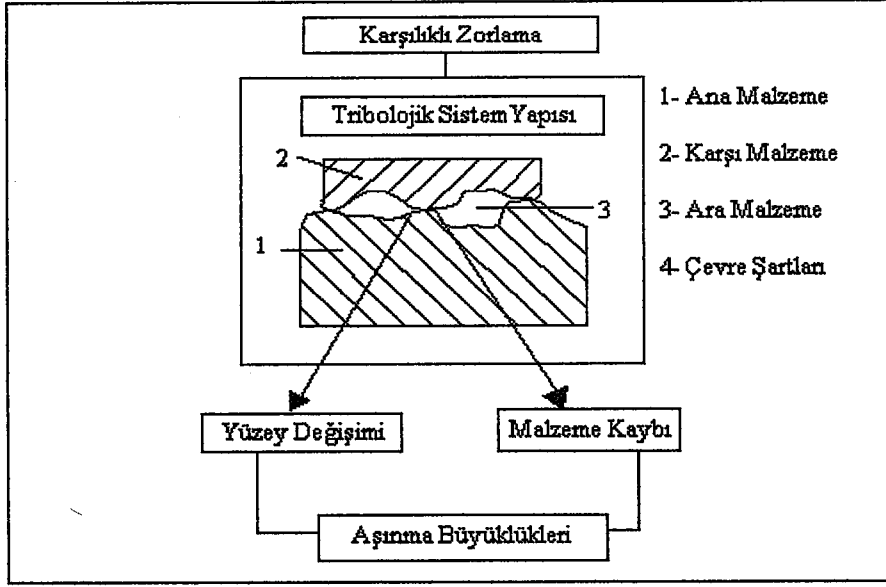
Teknik anlamda aşınma; cisimlerin yüzeylerinde, mekanik etkenlerle (mekanik bir sebep veya mekanik bir enerji) mikro taneciklerin kopup ayrılması sonucu malzemede istenilmeyen bir değişikliğin meydana gelmesi olayıdır. (Demirci 1982, Gediktaş 1970, Gürleyik 1975,). DIN 50320'ye göre aşınma; katı cisim yüzey bölgesinden zorlanma sonucu sürekli ilerleyen malzeme kaybı şeklinde ifade edilmiştir. Moore'a göre (1974) aşınma; kullanılan malzemelerin yüzeylerine gaz, sıvı ve katıların teması neticesinde çeşitli etkenlerle malzemenin yüzeyinden mikro tanelerin kopması sonucu meydana gelen yüzey bozulması olarak tanımlanmıştır.

3.1. Aşınma Sistemlerinde Temel Unsurlar

Bir aşınmada temel unsurlar şunlardır:

- a) Ana malzeme (Aşınan)
- b) Karşı malzeme (Aşındıran)
- c) Ara malzeme
- d) Yük
- e) İzafi hareket
- f) Çevre

Bütün bu unsurların oluşturduğu sistem, teknikte "Tribolojik Sistem" diye adlandırılır. Bir Tribolojik sistemin standartlara uygun şematik olarak gösterimi Şekil 3.1' de görülmektedir.(Pekin ve diğerleri; Duman, 1993).



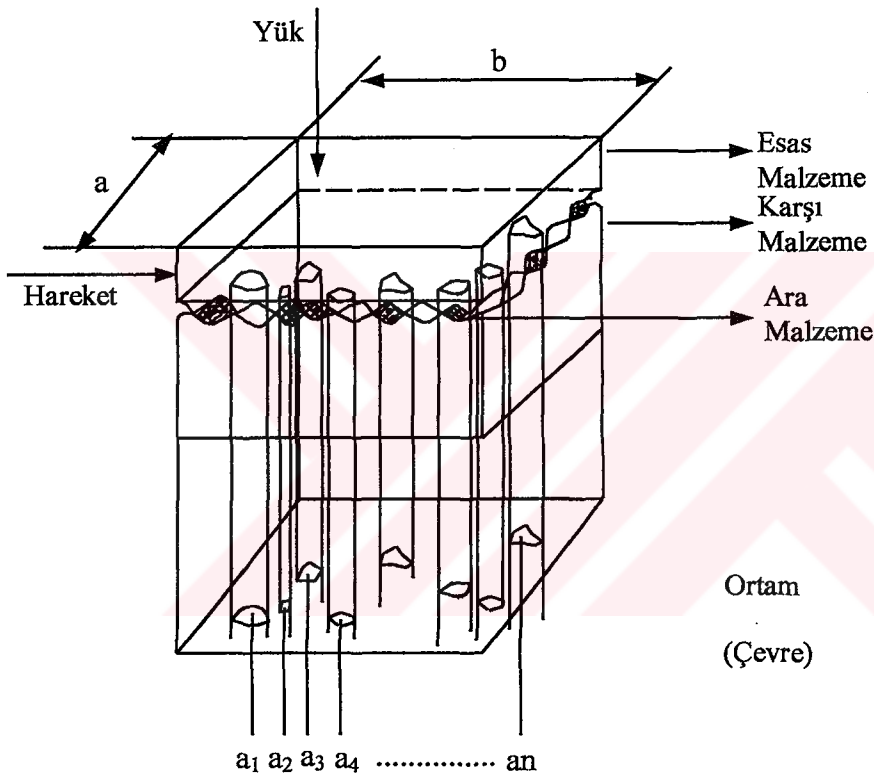
Şekil 3.1. Tribolojik Sistem.

- a) Esas Malzeme (Aşınan):** Fiziksel ve kimyasal özellikleri yanında, yüzey yapısı, şekil durumu tamamen belli olan ve aşınma özelliği ile incelenen katı cisim şeklinde tanımlanabilir.
- b) Karşı malzeme (Aşındırılan):** Aşınmanın meydana gelmesinde başlıca öneme sahip olan karşı sürtünme elemanı, katı bir cisim, sıvı veya gaz olabilir. Bu eleman temel sürtünme elemanı ile birlikte bir aşınma çiftini oluşturmaktadır.
- c) Ara Malzeme:** Esas sürtünme elemanı ile karşı sürtünme elemanı arasında katı, sıvı, gaz, buhar yada bunların karışımı şeklinde bulunan maddedir. Örneğin bu ara maddeyi, yüzeyler arasına herhangi bir nedenle girmiş kum taneleri olabileceği gibi, aşınma esnasında kopan parçacıklar da ara maddesi görevi üstlenebilir.
- d) Yük:** Etki eden kuvvetin büyüklüğü, türü (statik, dinamik, darbeli veya titreşimli olup olmadığı) doğrultusu ve zamana göre değişimi yüklemenin şiddetini belirleyen etmenleri oluşturur.
- e) İzafi Hareket:** Temel sürtünme elemanın karşı sürtünme elemanına göre izafi hareketinin cinsi (kayma, yuvarlanma veya çarpma etkilerinden hangisinin ağırlıkta olduğu), büyüklüğü ve doğrultusu ile belirlenir.

İzafi hareket ve yükleme değişkenleri sistemi etkileyen en önemli giriş büyüklüklerini meydana getirirler. Bunların etkisiyle yapıda bazı değişimler meydana gelirken, sürtünme ve aşınma ile gerçekleşen kayıplar ortaya çıkar. Bu durum arasındaki ilişki Tablo 3.1' de görülmektedir.

Tablo 3.1. Yükleme Ve Hareket Değişikliklerinin Sistemi Etkilemesi (Czichos, 1977).

Başlangıç (Giriş) Büyüklükleri	Tribolojik Olay Sırasında Değişen Faktörler	Sonuç Büyüklükleri
Sürtünme elemanlarının yapısı	Yüzey Pürüzlülüğü Değişimi	Yapı Değişimi
Yükleme	Ara Maddesi	Fiziksel Kimyasal Özellikler (Mukavemet, gerilmeler) iç
Hareket	Sıcaklık Değişimi	-
		Sürtünme Kuvveti
		Aşınma Miktarı



Şekil 3.2. Sürtünen iki cisimde aşınmanın temel unsurları (Kragelsy, 1960).

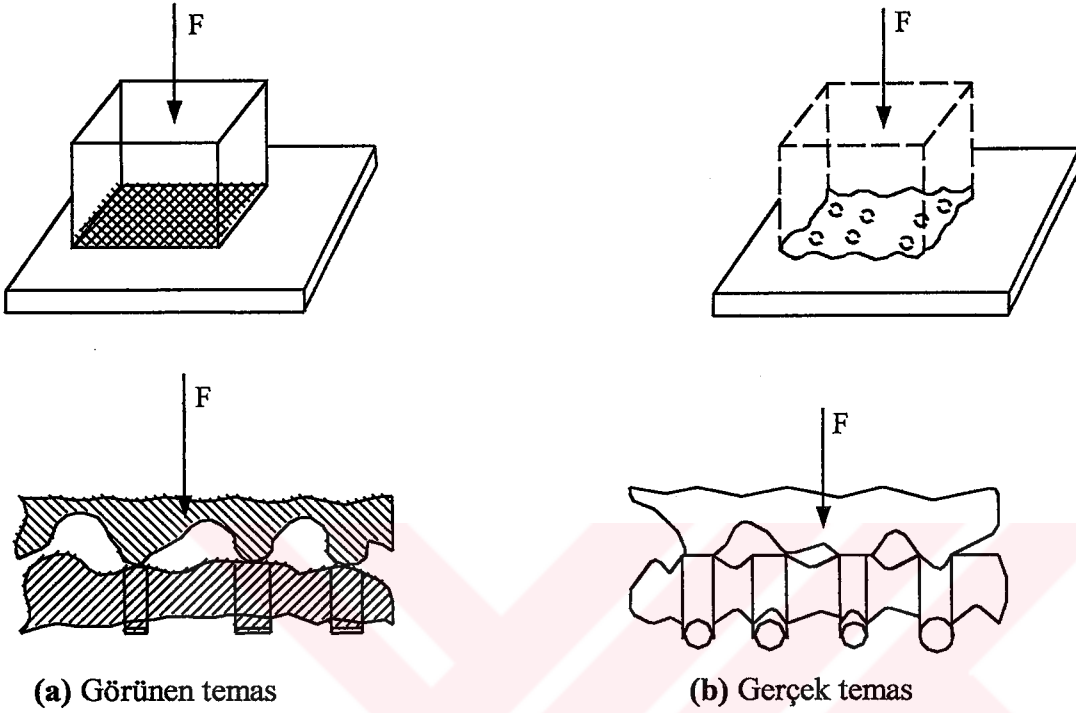
Diğer bir tribolojik sistemin standartlara uygun şematik olarak gösterimi Şekil 3.2' de gösterilmektedir. Birbiriyle temas eden iki cismin gerçek temas yüzeyi, görülen temas yüzeyinden küçüktür. Çünkü temas yüzeyleri ne kadar düzgün işlenirse işlensin yüzeyde mutlaka pürüz dediğimiz çıkıntıların bulunduğu bir gerçektir. Pürüzlerin arasındaki girintiler ise temas alanı dışında kalır. Şekil 3.3'ten de görüldüğü gibi, görünen temas alanı,

$$S = e \times b \text{ (birim kare) iken ;}$$

Birim temas yüzeyi, pürüzlerin temas yüzeylerinin toplamıdır. Gerçek temas alanı;

$$S_g = a_1 + a_2 + a_3 + a_n \text{ şeklindedir.}$$

Buradan da anlaşılacağı üzere görünen (geometrik) temas alanı (S), gerçek temas alanından (S_g) daima büyüktür ($S > S_g$) (Şekil 3.3.) (Kragelsky, 1960).



Şekil 3.3. Temas alanları (Kragelsky, 1960).

3.2. Aşınmayı Etkileyen Faktörler

Aşınmayı etkileyen faktörler birçok farklı şekilde sınıflandırılmaktadır. Bu faktörler, aşağıda dört grup halinde verilmiştir.

1- Ana malzemeye bağlı faktörler

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

2- Karşı malzemeye bağlı faktörler ve aşındırıcının etkisi

3- Ortamın etkisi

- Sıcaklık
- Nem
- Atmosfer

4- Servis koşulları

- Basınç
- Hız
- Kayma yolu (Kayalı ve diğ. 1997).

3.2.1. Ana Malzemeye Bağlı Faktörler

3.2.1.1. Malzemenin Kristal Yapısı

Malzemelerin kristal yapılarının aşınma direncine etkisinin araştırılmasıyla, sıkı paket yapıya sahip malzemenin aşınma direncinin, diğer kristal yapılara göre daha büyük olduğu gözlenmiştir (Atamert, 1989). Buna örnek olarak kobalt gösterilebilir. Ergime sıcaklığı 1495 °C olan saf kobaltın yüksek sıcaklıklarda yüzey merkezli kübik (YMK) ve düşük sıcaklıklarda sıkı paket hegzagonal (SPH) olmak üzere iki allotropu mevcuttur. Saf kobaltta YMK→ SPH ($\alpha \rightarrow \epsilon$) dönüşümü 417 °C’de olmaktadır.

3.2.1.2. Malzemenin Sertliği

Aşınma direncini etkileyen faktörlerin başında gelen sertlik ile aşınma direnci arasındaki ilişki bir düzeye kadar doğrusal değişim gösterir. Yani sertliğin artmasıyla aşınma direnci de artar. Ancak belli bir değerden sonra sertlik, aşınmaya karşı yeterli direnci sağlamayabilir (Muratoğlu, 1997).

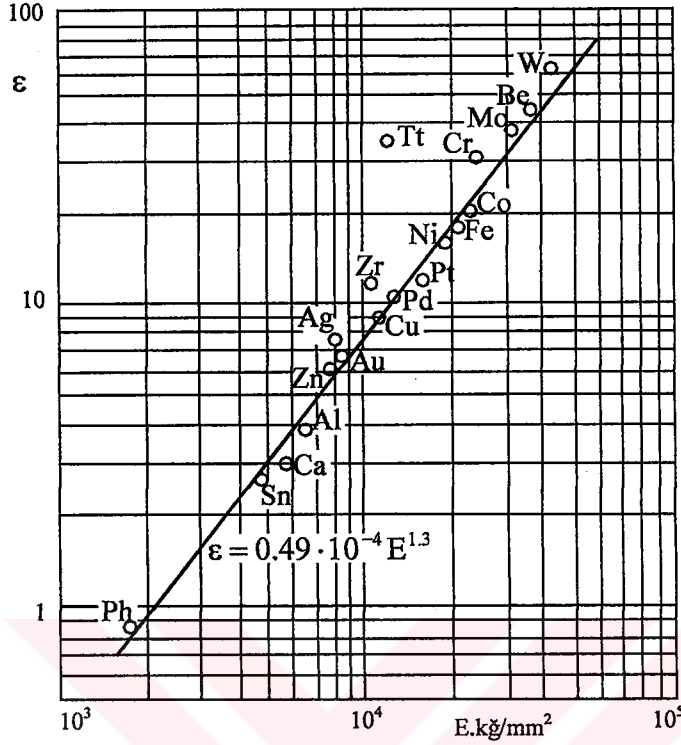
Malzemenin sertliği ile ana malzemeye katılan alaşım elementlerinin cins ve miktarı arasında sıkı bir ilişki vardır. Genelde alaşım elementleri malzemelerinin mukavemetini ve sertliğini artırır (Larsen, 1990).

3.2.1.2. Elastiklik Modülü

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

Khruchov ve Babichev’in yaptıkları araştırmalarla, saf metaller için aşınma direncinin elastiklik modülüne bağlı olduğunu, fakat bu ilginin ısıtma işlem görmüş çelikler için geçerli olmadığını ileri sürmüşlerdir.

Özet olarak malzemelerin elastiklik modülleri ile aşınma dirençleri arasında bir ilişki vardır ve bu ilişki, malzemenin elastiklik özelliğiyle açıklanabilir (Keleştimur, 1989).



Şekil 3.4. Teknik saf malzemeler için Elastisite modülü – bağıl aşınma direnci arasındaki ilişki (Keleştimur, 1989).

3.2.1.4. Deformasyon Davranışları

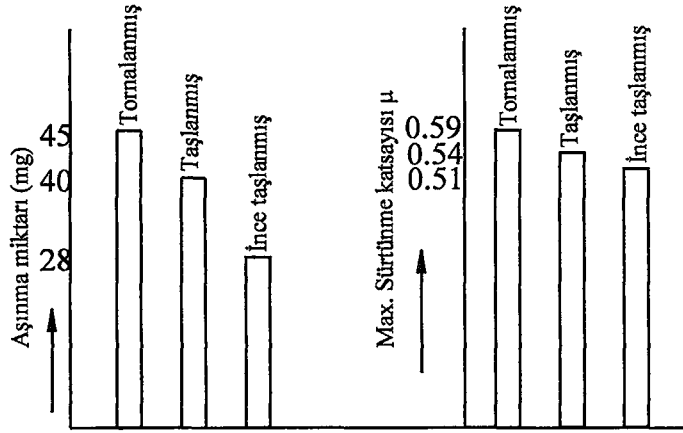
Soğuk şekil değiştirme işlemi sertliği etkilediği için aşınma direncini değiştirmektedir. Malzemenin mekanik özellikleri soğuk deformasyonla geliştirilebildiği gibi, aşınma direnci de soğuk şekil değiştirme ile sertleştirilmiş malzemelerde hissedilir derece gelişmektedir.

Soğuk şekillendirme sırasında malzeme yapısında meydana gelen pekleşme malzemenin mekanik özelliklerini etkilemektedir.

Aşınma sırasında verilen enerjinin bir kısmı sürekli olarak soğuk deformasyon meydana getirerek malzeme yüzeyinin pekişmesine sebep olacaktır. Eğer hakiki yüzey basıncı ve şekil değiştirme mukavemeti arasında böyle bir denge söz konusu olursa aşınma azalacak bir müddet sonra sabit olarak devam edecektir (Keleştimur, 1989).

3.2.1.5. Yüzey Pürüzlülüğü

Yüzey pürüzlerinin büyüklüğü veya küçüklüğü yani yüzeyin pürüzlülük derecesi, temas davranışını etkileyeceğinden aşınma ve sürtünme olayını etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Yüzeylerin kaba işlenmiş olması gerçek temas alanını azaltacağından yüzeyde tek bir pürüze gelen yükün artmasına ve dolayısıyla aşınmanın artmasına sebep olur.



Şekil 3.5. Yüzey pürüzlülüğünün aşınma ve sürtünme katsayısına etkisi.

3.2.2. Karşı Malzemeye Bağlı Faktörler ve Aşındırıcı Etkisi

Laboratuvar deney ortamlarında çok çeşitli aşındırıcılar kullanılır. Aşındırıcı tanenin ; boyutu, sertliği ve şekli aşınma hızında önemli derecede rol oynar. Tablo 3.2’de bazı aşındırıcılar ve bunları sertlik değerleri verilmektedir.

Tablo 3.2. Bazı aşındırıcılar ve bunları sertlik değerleri.

Aşındırıcı Cinsi	Mikro Sertlik (kg/mm ²)	Dayanabildiği Sıcaklık(°C)
Elmas	10.000	700-800
Bor karbürü	3700-5000	700-800
Silisyum karbür	2300-2600	1300-1400
Alüminyum oksit	2000-2300	1700-1800

Alüminyum oksit (Al_2O_3) aşındırıcı taneleri sert ve köşelidir. Silisyum karbür (SiC) aşındırıcı taneleri ise daha sert ve köşeli olmalarına rağmen, alüminyum oksit aşındırıcılarına göre kırılırlar. Yüksek sıcaklıklarda bazı Alümine ve Silisyum karbür aşındırıcıların sürtünme katsayıları incelmış, neticede silisyum karbürün sürtünme katsayısı sıcaklığın yükselmesiyle azaldığı bulunmuştur.

Yüzeyler arasında sürtünme söz konusu olduğuna göre sürtünme kuvvetinin bir kısmı sistemde sıcaklık olarak ortaya çıkacaktır. Özellikle sistemde kuru bir sürtünme mevcut ise ortaya çıkan ısının boyutları oldukça yüksek olmakta, hatta bazı malzemelerde mikro yapı değişikliklerine bile neden olmaktadır. Co - Co çiftinin sıcaklığa bağlı olarak, belli bir sıcaklıktan sonra değişik mikro yapıya sahip olması sıcaklığın aşınması üzerindeki etkisi karakterize etmesi bakımından ilgi çekicidir (Muratoğlu, 1997).

3.2.3. Ortam Etkisi

3.2.3.1. Sıcaklık

Hafif aşınma bölgesinde artan sıcaklık yüzeyin sertliğini düşürdüğü, plastik deformasyonu kolaylaştırdığı ve oksidasyona yol açtığı için aşınma miktarını artırmaktadır. Şiddetli aşınmada ise çevre sıcaklığının aşınmaya katkısı, yüzeyin özelliğini iyileştirdiği için olumlu yönde olmaktadır (Özmen ve diğ., 1991).

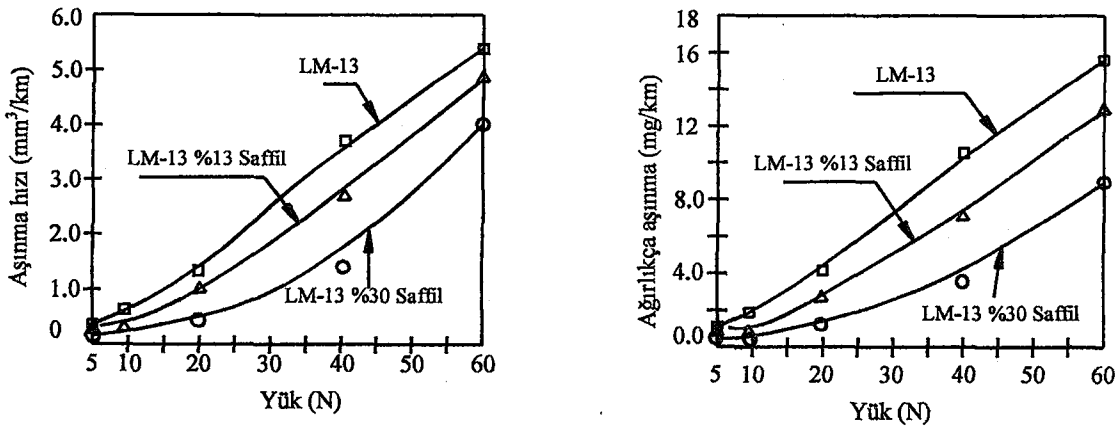
3.2.3.2. Atmosfer ve Nem

Atmosferde bulunan oksijen yüzeyde koruyucu oksit tabakası oluşturur. Ortam olarak soy gaz (argon vb.) kullanıldığı taktirde oksit oranı azalacaktır. Bu oksit tabakasının yüzeyden koparılmasıyla metal teması oluşur ve parça adhezyona uğrar. Aynı zamanda atmosferdeki bağıl nem oranı da aşınmayı etkilemektedir. Bağıl nem oranı arttıkça sürtünme katsayısı azalmakta, dolayısıyla aşınma miktarı düşmektedir.

3.2.4. İşlemeye Bağlı Faktörler

3.2.4.1. Yük (Basınç)

Tribolojik sistem içerisinde yükün artmasıyla temas alanı da artacaktır, dolayısıyla yüzeylerdeki sürtünmenin artmasıyla aşınmada artacaktır. Etkileşen çiftler üzerine gelen, yükün cinsi aşınma oranını değişik şekillerde etkiler. Statik yükler, yüzeye sabit bir etki yaparken dinamik yükler daha değişik bir etkide bulunurlar. Yataklarda ve çoğu mekanik elemanlarda kullanılan bakır alaşımları-çelik çifti, dinamik yüke maruzdur, dinamik yükün titreşim genliğinin artması ile aşınma azalmaktadır.

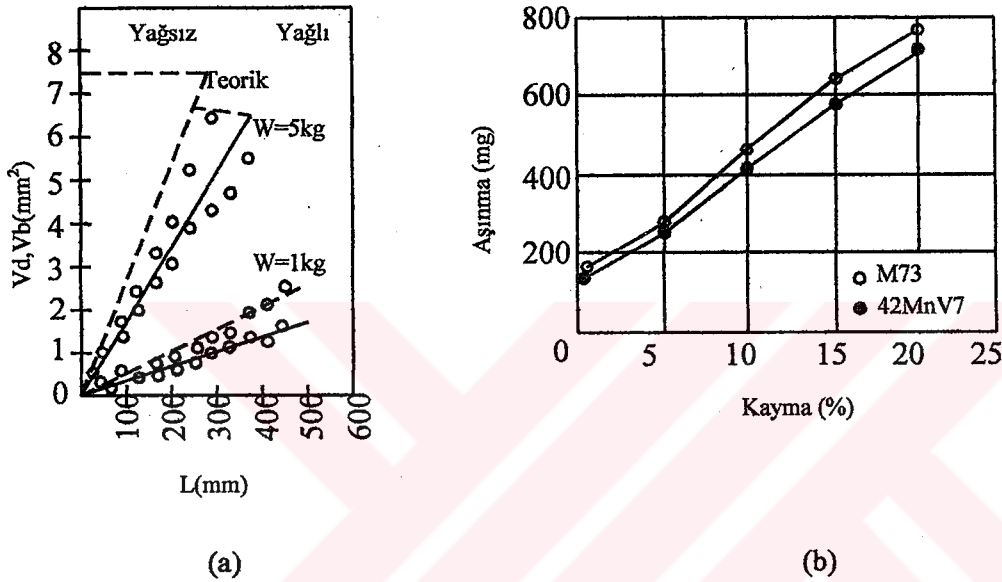


Şekil 3.6. Takviyesiz LM-13, %15 ve %30 saffil fiber takviyeli alaşımlarda; a) hacimsel aşınma-uygulan yük b) ağırlıkça aşınma-uygulan yük ilişkisi (Yılmaz, 1997).

3.2.4.2. Kayma ve Kayma Mesafesi

Yağlamalı ve yağlamasız şartlarda aşınma hacmi, kayma mesafesiyle orantılıdır. Kayma mesafesi arttıkça aşınmada artar. Bütün hacimsel aşınma eşitliklerinde kayma yolu, aşınma ile orantılı olarak ifade edilmiştir.

Hisakado'nun deneysel ve teorik çalışmaları büyük bir uyum göstererek, kayma mesafesi ile aşınma miktarının orantılı olduğunu belirtmektedir. Şekil 3.7' de teorik hesapları deneysel neticelerine göre aynı kayma mesafesinde aşınmanın daha fazla olacağını göstermişse de çok az farklılıkla neticeler benzeşmektedir (Hisakado, 1976).



Şekil 3.7. (a) Kayma yolu ile aşınma miktarının değişimi (b) Kaymanın aşınmaya etkisi.

3.2.5. Aşınma Direncine Karbürlerin Etkisi

Alaşımların mikro yapılarında bulunan karbürler alaşımın aşınma direncini arttırmada önemli bir rol oynamaktadırlar. Mikro yapıda bulunan karbür miktarının artması ve karbürlerin irileşmesi abrasiv aşınma direncini arttırmaktadır. Matris/Karbür ara yüzeyinin mukavemeti, karbürler arası mesafe ve abrasiv aşındırıcı ile farklı sertlikteki karbürlerin mevcudiyeti de alaşımların abrasiv aşınma direncini etkilemektedir. Karbürlerin çok küçük ve sık dağılımı malzemenin sertliğini artırarak aşınma hızını azaltabilir. Aşındırıcı parçacıkları karbürlerden daha sert olması, aşınma esnasında karbürlerin kesilmesine ve çatlamasına sebebiyet verebilir. Bu durumda aşınmanın direncinde bir azalma görülür (Çimenoglu ve diğ., 1991).

3.2.6. Aşınma Direncine Matrisin Etkisi

Matrisin tarafında yeteri desteğin sağlanmasıyla abrasiv aşınma sırasında karbürlerin dökülmesi önlenmediği söylenebilir (Nobel, 1986). Çoğu durumlarda bilhassa ağır abrasiv aşınma şartları altında çatlaklar önce karbür/matris ara yüzeyindeki yüksek gerilme

konsantrasyonlarından dolayı bu bölgelerde başlamaktadır. Daha iyi abrasiv aşınma direncinin matris fazının artan mikro sertliği ile elde edilebileceği düşünülebilir. Her ne kadar sert ve saf metallerdeki sertlik ve aşınma direnci arasındaki ilişki doğrusal olsa da, çok bileşenli alaşımlar için hiçbir basit kural bulunmamaktadır. Abrasiv aşınmada ise aşınmış yüzeylerde deformasyon sertleşmesiyle aşınmış yüzeyin sertliğini arttıracak ve aşınma direncini aşınan yüzeyin sertliği ile daha iyi belirlenecektir. Matris mukavemeti katı eriyik sertleşmesi ile de artırılabilir. Bazı araştırmacılar yüksek mukavemetli matrisin, karbürlere daha iyi bir destek sağlayabileceğini ve ince partiküllerin daha erken dökülmesi önleyebileceğini ileri sürmektedir (Rakayby ve diğ, 1986).

3.3. Aşınma Türleri

Aşınma olayına etki eden faktörlerin değişik kombinasyonları değişik aşınma tiplerine sebep olmaktadır. Bu bakımdan aşınma çeşitli şekillerde sınıflandırılmıştır.

1- Adhesiv aşınma

2- Abrasiv aşınma

- a) Oymalı sürtünme aşınması
- b) Öğütmeli sürtünme aşınması
- c) Eroziv aşınma

3- Yorulma aşınması

4- Korozyon aşınma

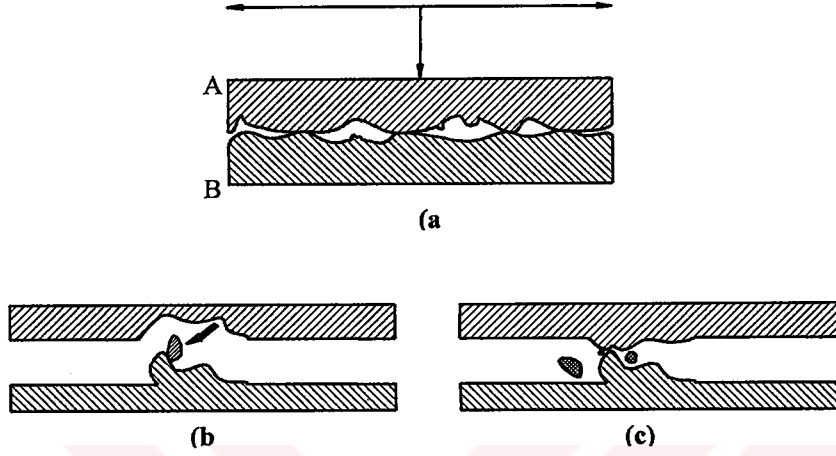
5- Kazımalı aşınma

3.3.1. Adhesiv Aşınma

Yapışma aşınması olarak da bilinen adhesiv aşınma, birbiri üzerinde hareket eden cisimlerin temas yüzeylerinde oluşan kaynak bağlarının kırılması suretiyle meydana gelir. Teorik olarak, birbirleriyle temasta bulunan benzer yapıları iki metalik yüzey arasında adhesyon kuvveti dediğimiz bir çekim kuvveti vardır. Bu kuvvetin meydana gelebilmesi için malzemelerin moleküllerini birbirine yaklaştırmak gerekir, zaten temas halindeki yüzeyler pürüzler vasıtasıyla etkileşirler, dış kuvvetlerin etkisiyle pürüz tepelerine gelecek basınç ve gerilmeler nedeniyle pürüzler plastik deformasyona uğrayacaklardır. Eğer malzemenin deforme olma kabiliyeti çok yüksek ise, mikro adhezyon alanları temas yüzeyine tamamen yayılacaktır. Dolayısıyla yüzeyde absorbe edilmiş sıvı veya gaz molekülleri ve oksit tabakaları parçalanacaktır.

Bahsedilen bu parçalanmalar neticesinde malzeme molekülleri direk temasa geçerek bölgesel kaynak bağlarının (soğuk kaynama) oluşmasına neden olur. İzafi hareketin de yardımıyla yüzeydeki sıcaklık yükselip ergime noktasına kadar ulaşması, oluşan kaynak

bağlarının veya malzeme yüzeyinde parça kopmasına neden olur. Bu metalik parçacıklar, iki yüzey arasında serbest halde kalabilecekleri gibi metallerden birine de bağlı halde bulunabilirler (Şekil 3.8). Böylece malzeme kaybı (aşınma) meydana gelir.



Şekil 3.8. Kaynak bağları ve kopma şekilleri; a) yüzeyde kaynak bağları
b) A' dan B' ye malzeme transferi, c) Kopan parçaların serbest hali.

Robinwicz ve Tabor aşınma ve yağlayıcılar üzerine bazı çalışmalar yapmışlar ve yüzeylerde yağlayıcı olmazsa yüzeye dik olan yükün artışına bağlı olarak, aşınmanın da lineer olarak arttığını bulmuşlardır. Yüzeye yağlayıcı uygulanması durumunda ise, malzeme transferinin azalması kadar, sürtünme katsayısının da düşürüldüğünü gözlemlemişlerdir. Skorski çoğu metaller için yapışma sabitinin sürtünme katsayısı ile ilişkili olduğunu göstermiştir ve malzeme transferindeki azalmanın şüphesiz olarak, yapışmanın boyut ve sayısındaki azalmanın bir sonucu olduğunu göstermiştir. Bu çalışmalar adhesiv aşınmanın bazı genel özelliklerinin çıkarılmasında faydalı olmuştur. Bunlar;

- 1- Aşınma miktarı normal yük ile orantılıdır.
- 2- Aşınma miktarı kayma mesafesiyle orantılıdır.
- 3- Aşınma aşınan yüzeyin sertliği ile orantılıdır.

Metalografik çalışmalar sonucunda belirlenen başlıca özelliklerden biri de, malzeme taşınımının yumuşak metal yüzeyinden sert olan metal yüzeyine doğru olmasıdır.

Adhesiv aşınmanın etkisini azaltmak için düşünülen birçok faktör vardır. Bunlar içerisinde yağlayıcı uygulaması tatmin edicidir ve malzeme seçiminde en çok çalışılan konular arasındadır. Araştırmalar ve deneyler sonucunda adhesiv aşınmanın azaltılmasında bazı uygulamaların faydalı olduğu görülmüştür.

Bunlar;

1- Malzeme çiftleri düşük katı çözünürlüğe sahip olmaları adhesiv yapışmada alaşımlamanın çok etkili bir parametre olduğu belirlenmiştir.

2- Malzemenin diğer özelliklerini bozmayacak şekilde sert olması gerekmektedir. Genelde sert metaller çok zor plastik davranış gösterirler ve daha düşük sürtünme katsayısına sahiptirler. Skorski, metallerin yapışmasını etkileyen faktörleri Tablo 3.3' de görüldüğü gibi özetlemiştir(Yılmaz,1997).

Tablo 3.3. Metallerin yapışmasını (adhesyonunu) etkileyen faktörler.

Özellik	Tür veya Büyüklük	Adhesyon Katsayısı
1- Yüzeye yardımcı bir madde sürme	Yüksek	Düşük
2-Kristal sistemi	Kübik	Yüksek
	Hegzagonal	Düşük
3- Deformasyon sertleşmesi katsayısı	Yüksek	Yüksek
4- Sıfık	Yüksek	A
5- Sertlik	Yüksek	Düşük
6- Elastik modül	Yüksek	Düşük
7- Ergime sıcaklığı	Yüksek	Düşük
8- yeniden kristalleşme sıcaklığı	Yüksek	Düşük
9- Atomik yarıçap	Düşük	Düşük
10- Yüzey enerjisi	Yüksek	B

3.3.2. Abrasiv Aşınma

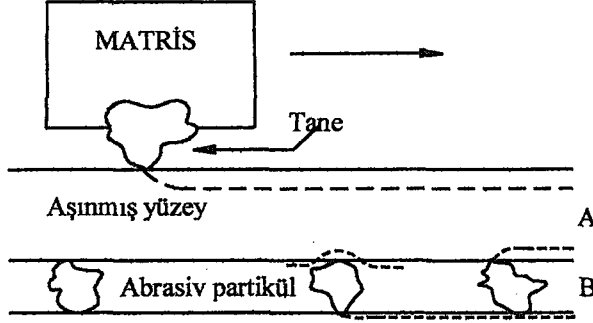
Çok hızlı bir şekilde gelişen, etkisini anında belli eden ve çok yüksek aşınma hızına sahip olan ve de sistemin hasarına sebep olacak şekilde gelişen bir aşınma türüdür.

Abrasiv aşınma, uygulanan yük ve hareketin etkisiyle, sürtünen iki cisimden daha sert olan cismin, pürüzleri veya taneler vasıtasıyla diğer cismin yüzeyini çizerek üzerinden mikro talaş kaldırması olayıdır. Bu aşınma, iki elemanlı ve üç elemanlı olmak üzere iki şekilde oluşur.

Sürtünen cisimlerin, direkt olarak karşılıklı etkileşimleri sonunda meydana gelen abrasif aşınma, iki elemanlı aşınma türüdür. Eğer ara yüzeyde sürtünme elemanlarını çizerek tahrip edecek sert tanecikler de bulunuyorsa bu tür abrasiv aşınmaya, üç elemanlı aşınma denir. Bu tanecikler ara yüzeye dışardan girebilecekleri gibi, aşınma sonucu yüzeylerden ayrılan parçacıklar da birer üçüncü eleman olarak görev yaparlar.

Açılmalardan da anlaşılacağı gibi abrasiv aşınmayı etkileyen iki temel faktör, aşındırıcı partikül ile metal yüzeyi arasındaki sertlik farklılığı ve teması meydana getiren basınç büyüklüğüdür.

Bir malzemenin diğ er bir malzeme tarafından abrasiv aşınmaya tabi tutulabilmesi için en önemli şart, sürtünme sırasında aşındıran malzemenin sertliğinin aşınma malzemesi sertliğinden daha fazla olması gerekir. şekil 3.9' da abrasiv aşınma mekanizması şematik olarak gösterilmiştir ( imenog lu ve diğ., 1991).



şekil 3.9. Abrasiv aşınma mekanizması ( imenog lu ve diğ., 1991).

Genel olarak abrasiv aşınma türleri üç ana grupta toplanmaktadır. Bunlar, oymalı sürtünme aşınması, öğütmeli sürtünme aşınması ve erozyondur. Birçok karakteristik açıdan birbirlerine benzemelerine rağmen, tek tek incelendiklerinde birbirlerinden önemli farklılıklar sergiledikleri gözlenir.

3.3.2.1. Oymalı Sürtünme Aşınması

Oymalı sürtünme aşınması, kütlesel bir şekilde yüzeyin deformasyonu sonucunda oluşan bir aşınma türüdür. Aşırı yüklemeler etkisi ile meydana gelen oymalı sürtünme aşınmasına örnek olarak, ağır koşullar altında çalışan kazıcı, kırıcı gibi maden ara larındaki görülür.

3.3.2.2. Öğütmeli Sürtünme Aşınması

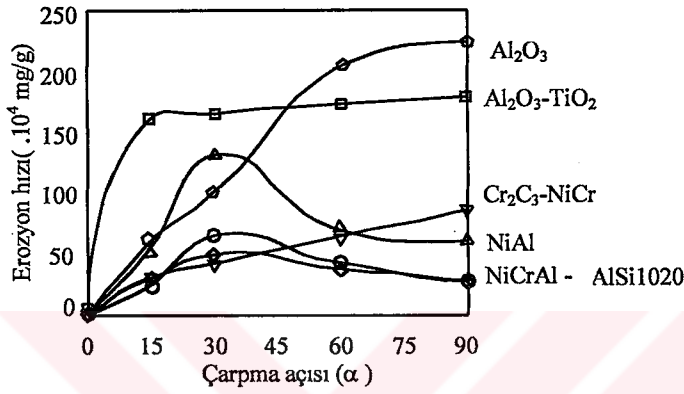
Öğütmeli sürtünme aşınması, iki yüzeyin birbiri üzerinde hareket etmesi sonucunda ortaya çıkar ve ara yüzeyde abrasyona dayalı parçacıklar bulunmaktadır. Bu ara yüzeyde yer alan parçacıklar, ya bir yüzeyden aşınarak gelir yada her iki yüzeyin birlikte aşınması sonucu ortaya çıkar.  rnek olarak bilyalı değirmenler gösterilebilir.

3.3.2.3. Eroziyon Aşınması

Eroziyon aşınması ise, aşındırıcı tozların askıda durduğu sıvı veya hava gibi akışkan bir ortam vasıtasıyla malzeme yüzeyine çarpma etkisiyle gerçekleşmektedir. Her bir temas malzeme yüzeyinden küçük bir parçanın kaybına neden olmaktadır. Normal şartlar altında

aşınma hızı düşüktür; ancak yüksek sıcaklıklarda, malzemenin akma dayanımı düşmekte ve yüksek akış hızlarında erozif aşınma hız kazanmaktadır.

Erozif aşınmada yüzeye çarpan partiküllerin çarpma açısına göre her malzeme farklı aşınma dayanıklılığı gösterir. Örneğin küçük püskürtme açısında yumuşak ve deforme olan malzemeler büyük aşınma gösterirken, sert ve gevrek malzemelerde büyük püskürtme açılarında aşırı zorlanarak maksimum aşınma gösterirler. Ayrıca aşınma miktarı püskürtülen maddenin sertliğine, püskürtme hızına ve partikül miktarına bağlı olarak değişim gösterir.



Şekil 3.10. Kaplamaların erozyon hızları üzerine aşındırıcı çarpma açısının etkisi (SiO₂ : 100gr,300µm, α=30°) (Yılmaz,1997).

Abrasiv aşınmayı minimuma indirmek için aşınmaya uğrayan malzemenin diğer malzemeye göre çok daha sert olması istenir. Bu özellik şu metotlarla sağlanabilir.

- Alaşımlama ile malzemelerin sertlikleri iyi bir şekilde arttırılabilir.
- Isıl işlem uygulamaları yine malzemenin sertliğini önemli ölçüde değiştirebilir.
- Malzemelerin yüzeylerine dışardan müdahale ederek sert yüzey tabakası oluşturulabilir. Buna örnek olarak elektro-kaplama, alev püskürtme, nitrasyon, plazma sprej gibi birçok uygulama örnek olarak verilebilir (Yılmaz, 1997).

Tipik abrasiv aşınma uygulamaları ve aşınma miktarları Tablo 3.4' de verilmiştir.

Tablo 3.4. Abrasiv aşınma proseslerinin içerdği tipik aşınma hızları.

Mekanizma	Aşınma Miktarı(mils/h)
1- Oymalı sürtünme aşınmasında ostenitik mangan çeliği	
a) Darbeyle toz üretiminde kullanılan çekiçler	5-1000
b) İş makinalarının dalıcı dişleri	5-500
c) Kaba cevher kazıyıcılarının aşındırıcı bıçakları	5-100
d) Top milli kepçe ağızları	4-15
e) Silis cevherinin kırılması için kırıcı bantlar	2-20
f) Kaba silis cevherinin tutulmasında kullanılan oluk bantlar	0,1-10
2- Öğütme aşınmada düşük alaşımlı yüksek C' lu çelikler	
a) Silis cevherinde kullanılan bilyeli ve çubuk bantlar	0,5-5
b) Islak öğütülmüş silis cevherinin aşındırma bilyelerinde	0,15-0,45
c) Islak öğütülmüş ham çimento çamurunu öğütücü bilyeler	0,05-0,15
d) Kuru öğütülmüş çimento klinkerlerindeki bilyeler	0,005-0,015
3- Eroziv aşınmada perlitik beyaz dökme demir	
a) Kum püskürtme nozilleri	100-1000
b) Kum taşıma bantları	50-250
c) Aşındırıcı mineral çözeltilerinin pompalanmasında kullanılan vanalar	0,1-5
d) Abrasif mineral çözeltilerinde ajitasyon ve flotasyon pervaneleri	0,05-1
e) Kum çözeltilerinde vida tipi sınıflandırıcıların aşınan pabuçları	0,05-0,2

Abrasiv aşınmayı minimuma indirmek için aşınmaya uğrayan malzemenin diğer malzemeye göre çok daha sert olması istenir. Bu özellik şu metotlarla sağlanabilir.

- Alaşımlamayla malzemelerin sertlikleri iyi bir şekilde artırılabilir.
- Isıl işlem uygulamaları yine malzemenin sertliğini önemli ölçüde değiştirebilir.
- Malzemelerin yüzeylerine dışardan müdahale ederek sert yüzey tabakası oluşturulabilir.

Buna örnek olarak elektro-kaplama, alev püskürtme, nitrasyon, plazma sprey gibi birçok uygulama örnek olarak verilebilir (Yılmaz, 1997).

3.3.3. Yorulma Aşınması

Mühendislik malzemelerinde yorulma olayı, tekrarlanan zorlamalar altında ve zamanla meydana gelir. Bu olay daima yüzeyden başlar.

Oyuklanma aşınması olarak da adlandırılan yorulma aşınması, metal yüzeyinin yorulması sonucunda ortaya çıkan bir hasardır. Yüzey bölgesi titreşimli bir zorlanmaya maruz kaldığında veya sürtünme elemanları tekrarlanan gerilmelerle etkileştiklerinde bu gerilmelerin sebep olduğu mikro çatlaklar vasıtasıyla yorulma aşınması dediğimiz metal yüzeyinde pulcuklar şeklinde malzeme ayrılmaları meydana gelir (Akkurt, 1977).

Yüzeyin yorulma kusurunun karakteristiği normal yorulmadan bazı farklılıklar göstermektedir. Bu farklılık, yüzey yorulması kütleli yorulma dayanımı sınırını göstermez.

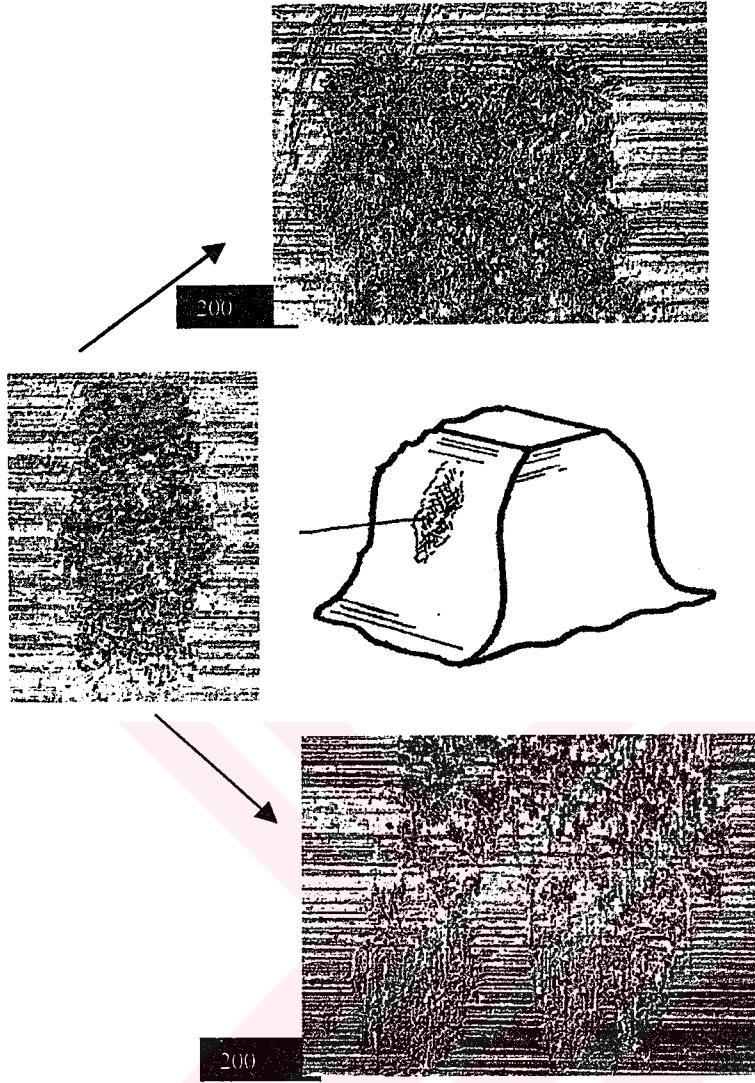
Çatlaklar yüzeyin hemen altında, maksimum Hertz gerilmesine ulaşıldığı zaman yüzeyin altında bulunan bir inklüzyon köşesiyle birleşerek gerçekleşmektedir. Son teknolojik gelişmelere bağlı olarak çok temiz malzemelerin üretilmesiyle malzemedeki inklüzyon sayısı

düşürülebilmektedir. Çalışmalar inklüzyon dokusunun, segregasyonun, bant teşekkülünün ve kalıntı ostenit miktarının oyuklanmayı etkilediğini göstermiştir. Bu aşınma tipi, daha çok dişli çarklarda, rulmanlı yataklarda ve kam mekanizmaları gibi yuvarlanma hareketi yapan elemanların yüzeylerinde meydana gelir. Aşağıdaki fotoğraf' da bu tip aşınmaya maruz kalmış hassas zaman ayarlı mekanizmalarda kullanılan bir dişli çark görülmektedir. (Blau ve Budinski, 1999).

Yuvarlanma ve kayma şeklinde yüzey hareketinin yüzeyde oluşacak çatlağın yüzeyde mi, yoksa yüzeyin hemen altında mı başlayacağı hakkında bize bilgi verir. Yalnızca yuvarlanma, yüzeyin hemen altında maksimum kayma gerilmesi meydana getirmektedir (Yılmaz, 1997).

Şekil 3.11' de Hassas zaman ayarlı mekanizmalarda çalışan yüksek karbonlu ve yüksek kromlu takım çeliğinden yapılmış bir düz dişlinin oyulma aşınmasına maruz kalmış bölgesinin fotoğrafı görülmektedir (Blau ve Budinski, 1999).





Şekil 3.11. Bir dişli çarkın oyulma aşınma bölgesinin görüntüsü (Blau ve Budinski,1999).

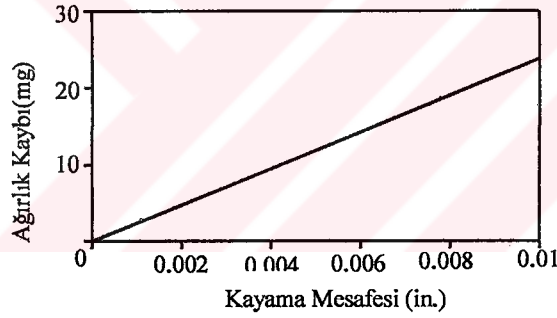
3.3.4. Korozyif Aşınma

Tribolojik zorlanmalar sırasında meydana gelen kimyasal reaksiyonlar sonucunda malzemelerin temas yüzeyleri arasındaki küçük genlikli titreşimlerin sebep olduğu bir oksit filmi oluşur. Yüzeyde absorbe edilmiş bazı maddelerin reaksiyonu sonunda meydana gelen bu oksit tabakasına tribo oksidasyon denir. Bu şekilde oluşan tribo oksidasyon tabakası, sürtünme ile parçalanarak abrasiv etki göstererek aşınmayı hızlandırır. Parçalanarak serbest hale geçen oksit parçacıklarının kalktığı bölgede tekrar oksitlenme görülür ve olay süreklilik kazanır (Gediktaş, 1970).

3.3.5. Kazıma Aşınması

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

Relatif hareketin oldukça küçük boyutlu partiküllerin oluşmasına sebep olacak şekilde gerçekleşmesi gerekir. 10^{-6} cm' lik bir yer değiştirme bu hasara yol açabilir. Ancak, uygulamada bir inç' in birkaç binde biri kadar bir titreşimle oluştuğu görülmüştür. Şekil 3.12' de yumuşak çelikte toplam ağırlık kaybının yer değiştirme mesafesi ile değişimi görülmektedir (Yılmaz, 1997).



Şekil 3.12. Kazımadan kaynaklanan toplam ağırlık kaybında, toplam yer değiştirmenin etkisi (Yılmaz, 1997).

Tahmin edilebileceği gibi kazıma hasarının toplam miktarı yolun artışına bağlı olarak artacaktır. Küçük abrasif parçalar aşınmaya neden oldukları zaman başlangıç kademesi hariç lineer bir davranış gösterir.

3.4. Aşınma Deney Metotları Ve Ölçüm Yöntemleri

3.4.1. Aşınma Deney Yöntemleri

Aşınma araştırmaları, laboratuvar şartlarında ana malzemenin bir modeli ile yapıldığı gibi gerçek işletme şartlarında da yapılabilir. İşletmelerde, ya aşınmaya maruz kalan elemanın üzerinde bizzat belli süre boyunca gözlem yapılmakta veya o şartlarda kullanılabilecek boyut ve özelliğe haiz başka bir malzemelerin aşınması gözlenebilmektedir.

İşletme şartlarının devamlı değişkenliği göz önünde tutulursa, bu tür denemelerin tekrarlanabilirliği oldukça zayıf bir ihtimaldir. Dolayısıyla neticelerin mukayesesinde güçlük ortaya çıkmaktadır. Ancak bu tür deneyler, işletme şartlarına benzer şartları laboratuarda tesis ederek, hangi değişkenlerin aşınmayı nasıl etkilediği tespit edip, bu sonuçların uygulamaya aktarılması sağlanılabilir.

Aşınmanın birçok tipi ve makine parçaları için problem olan aşınmada birçok farklı durum olduğu için aşınma test metodlarının birçok tipi vardır.

ASTM (American Society for Testing and Materials) ve ASLE (American Society of Lubrication Engineers) tarafından yüz kadar deney sistemi belirtilmiştir. ASTM tarafından standartlaştırılmış bazı aşınma test metodları tablo 3.5'te verilmiştir (Blau ve Budinski, 1999).

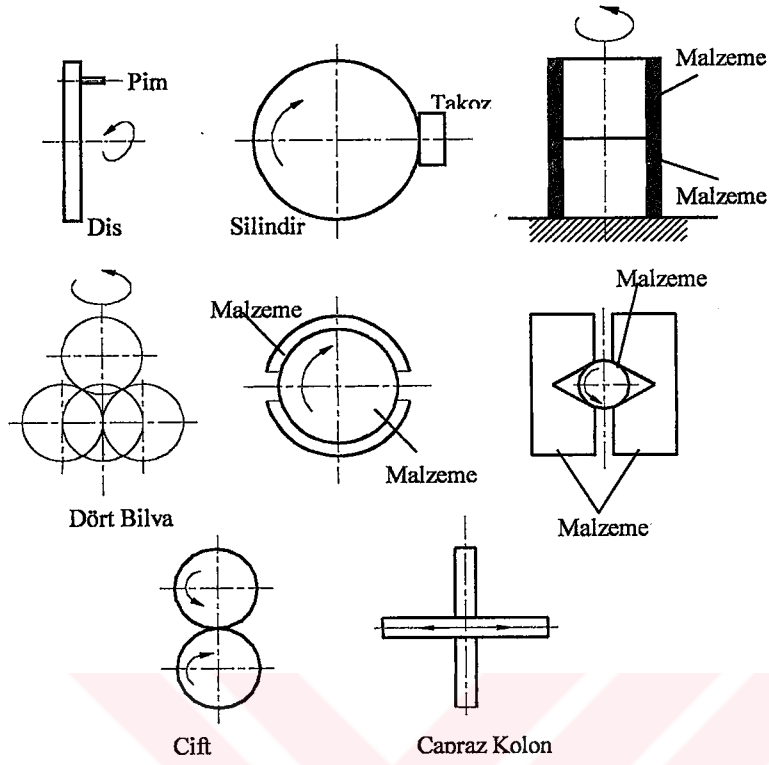
Tablo 3.5. ASTM tarafından geliştirilmiş birkaç test metodu.

Test kodu	Testin Tipi
D-4172	Yağlayıcı sıvıların aşınma önleme özelliklerinin testi
D-4170	Yağlayıcı greslerle yıpratma aşınmasının önlenmesi testi
G-32	Titreşimli kavitasyon erozyon testi
G-65	Kuru kumlu plastik tekerlekli abrasyon testi
G-73	Sıvı vuruşlu erozyon testi
G-76	Gaz jeti kullanılarak katı parçacık çarptırılmasıyla meydana getirilen erozyon testi
G-77	Yüksek dirençli malzemeler için blok-on-ring aşınma testi
G-81	Çene ezicili öğütücülerin abrasyon testi
G-99	Pin-on-disk testi
G-105	Islak kumlu plastik tekerlekli abrasyon testi
G-132	Pin abrasyon test metodu
G-133	İleri geri kaymalı aşınma testi

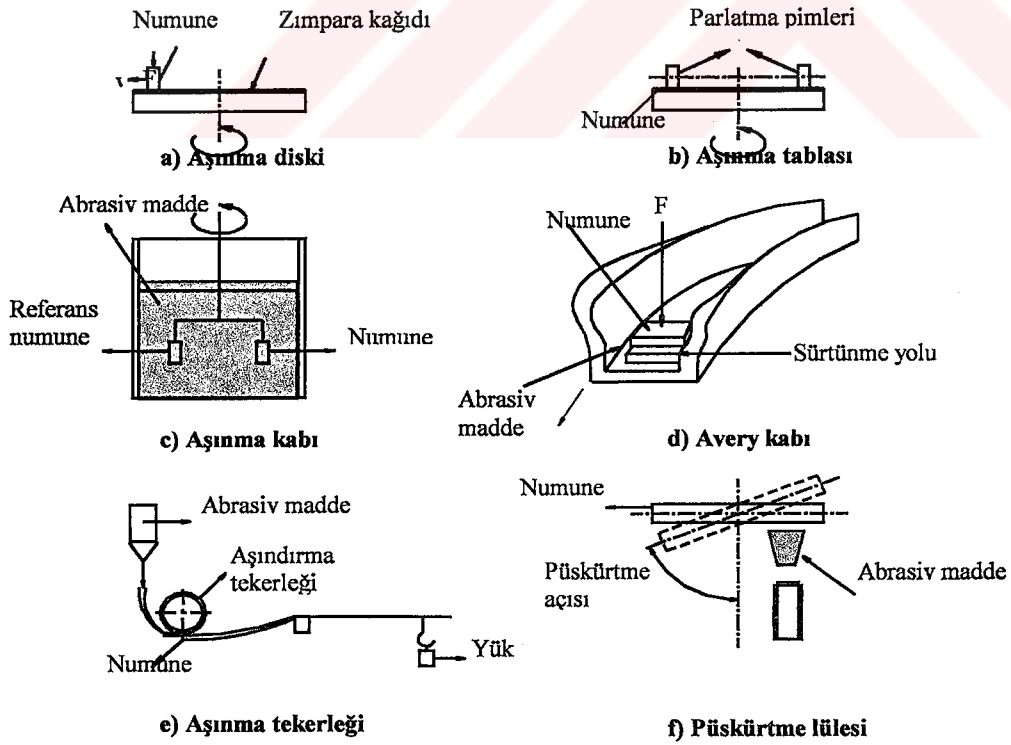
Aşınma deney yöntemlerini genel olarak iki grupta toplamak mümkündür.

a) Yağlamalı ve yağlamasız bir ortamda ana ve karşı malzemenin adhesiv (metal-metal) aşınma değerlerinin ölçüldüğü deneyler. Bu deney yöntemlerinden en çok kullanılanlar Şekil 3.13' te verilmiştir.

b) Katı, sıvı ve gaz halindeki maddelerin etkisi altında yalnız karşı malzemenin aşınma değerinin ölçüldüğü test metodları Şekil 3.14' de verilmiştir (Yılmaz, 1997).



Şekil 3.13. Yağlamalı veya yağlamasız adhesiv (metal-metal) aşınma deney yöntemleri (Yılmaz, 1997).



Şekil 3.14. Abrasiv aşınma deneylerinde kullanılan deney yöntemleri (Yılmaz, 1997).

Aşınma veya aşınma direnci, kayma yolu, kuvvet veya basınçla meydana gelen kütleli veya hacimsel kayıp olarak esas alınır. Aşınmayı karakterize eden test değişkenleri olarak kuvvet veya basınç, yüzey pürüzlülüğü veya sürtünme katsayısı, sıcaklık, kayma hızı, aşınma ortamı (kuru, yağlı, nemli, korosiv, abrasiv) ve temas şekli sayılabilir. Test sonuçları üzerinde son derece etkili olan malzeme ve malzeme çiftinin özellikleri de çok büyük oranda değişken ve test sonuçlarını etkilediği düşünülürse, neden bu kadar çok aşınma test yönteminin olduğu da anlaşılır.

Aşınma ölçme yöntemleri de, aşınma değişkenleri kadar çoktur. Bu kadar farklı test yöntemlerinin sonuçlarını birbiriyle mukayese etmek ve bunlar arasında bir ilişki kurmak kolay değildir. Bu nedenle her bir testin kendi şartlarında değerlendirilmesi gerekir. Genellikle elde edilen bilgiler bireysel kalır ve bilimsel genelleme yapılamaz. Ancak karşılaştırma için standart bir karşı malzeme ile aşınma testi yapıldığında değerlendirmeler bilimsellik kazanmış olur.

Bu nedenle, aşınma test yöntem ve değişkenlerinde bir sınırlama ya da standardizasyona gidilmiştir. Örneğin, aşınma değerinin gösterilişi DIN 50321 de ve aşınma test yöntemi olarak da en çok kullanılan pim- disk mekanizması ASTM G99' da tarif edilmiştir. Abrasiv aşınma testlerinde genellikle karşı malzeme olarak standart grit ölçülerine zımpara kağıtları kullanılmaktadır (İpek ve Karamış, 1999).

3.4.2. Pim-Disk Aşınma Test Yöntemi

Bu yöntemde, karşı malzeme olarak dönen bir disk, pim ise test numunesidir. Numune (pim), üzerine uygulanan bir yükü veya herhangi bir mekanizma ile karşı malzemeye (diske) basınçla temas ettirilir temas çizgisel sayılabilir. Numunenin aşınma profili dairesel olur. Aşınma, belirli bir kuvvet ve kayma hızında, kayma yoluna göre malzeme kaybı yanında pim disk üzerinde oluşan aşınma izinin analizi ile değerlendirilmektedir.

Ayrıca sisteme ilave edilen düzeneklerle, çoğunlukla strain-gage ve termo kupol kullanılarak sürtünme katsayısı ve sıcaklık değişimi ve dağılımı tespit edilmektedir (İpek ve Karamış, 1999).

4.KOMPOZİTLER

Teknolojinin hızla gelişmesi, beraberinde malzeme biliminde de gelişmelerin hızlanmasını sağlamıştır. Fakat bu gelişme, yeryüzünde bulunan ham maddelerin sınırlı olması, malzemelerin fiziksel ve kimyasal özelliklerinden dolayı, teknolojinin gelişmesine ayak uyduramamıştır. Uzay araçlarının yapımına geçilen asrımızda bilim adamları çağın yenilikleri ile birlikte mevcut malzemelerin özelliklerinden, günümüzün şartlarına uyacak şekilde, gerek ekonomik gerekse teknik yönden daha uygun malzemeler üretme yoluna gitmektedirler. Bu amaçla, kompozit malzemeler araştırılmakta ve üretilmektedir.

Günümüz bilimsel gelişmelere tamimiyle kapısını açmış bulunmaktadır. Teknoloji şartlarına uygun olarak, malzeme üretim yöntemlerinin geliştirilmesi ve dolayısıyla yeni tür elemanların bulunması da paralelinde artmaktadır. Denizcilik, havacılık ve otomotiv endüstrisinde kullanım alanlarına göre özellikle hafif ve dayanıklı malzemelere olan ihtiyaç, bu ilerlemenin en önemli faktörleridir. Bununla beraber yüksek sıcaklıklarda dayanıklı ve boyutsal olarak şekil değiştirmeyen malzemelere olan gereksinim de, malzemelerin üretim yöntemlerinin bulunması ve geliştirilmesinde önemli bir etken teşkil etmektedir.

Mühendislik malzemeleri genellikle, metaller, seramikler ve plastikler olmak üzere üç ana gruba ayrılır. Kompozit malzeme, genel tanım itibariyle, biri matris diğeri takviye olmak üzere iki veya daha fazla malzemenin karışımından oluşan, oluşturulan karışım malzemesinin, kendisini oluşturan matris alaşım veya alaşımların mekanik veya fiziksel özelliklerinden farklı bir malzeme türü olarak tanımlanmaktadır.

Kompozit malzemelerin en büyük avantajı, kendini oluşturan malzemelerin istenilen özelliklerini bir araya getirmesidir. Bu tür malzemelerin üretilmesindeki faktörler, aşağıda sıralanmıştır:

1. Dayanım,
2. Kırılma tokluğu,
3. Isıl iletkenlik,
4. Elektriksel iletkenlik,
5. Fiyat,
6. İmalat kolaylığı,

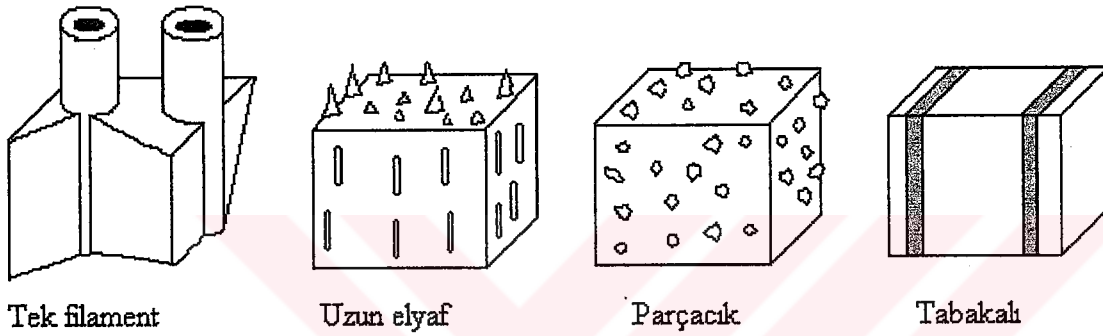
Kompozit malzemelerin sınıflandırılması farklı biçimlerde yapılabilmektedir. Fakat en çok yapılan sınıflandırma çeşidi, matris malzemesi ve takviye elemanlarının şekline ve cinsine göre yapılan sınıflandırmadır.

1. Matris malzemesine göre kompozit malzemeler
 - a. Metal matrisli kompozit malzemeler,

- b. Seramik matrisli kompozit malzemeler,
- c. Polimer matrisli kompozit malzemeler,
- d. C/Grafit matrisli kompozit malzemeler.

2. Takviye elemanlarının şekline göre kompozit malzemeler

- a. Tek filament takviyeli kompozit malzemeler,
- b. Uzun veya kısa elyaf takviyeli kompozitler,
- c. Tane (parçacık) takviyeli kompozitler,
- d. Tabaka (laminat) takviyeli kompozitler.



Şekil 4.1. Takviye elemanı şekline göre kompozit çeşitleri (Donald, 1988).

Kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini belirleyen dört temel faktör vardır.

Bunlar:

1. Matris malzemesinin özellikleri,
2. Takviye malzemesinin özellikleri,
3. Ara yüzey özellikleri,
4. Mikro yapı özellikleridir.

Kompozit malzemelerin üretilmesinde matris malzemesi olarak bütün mühendislik malzemeleri kullanılmakla birlikte, takviye malzemesi ise denenerek ve araştırılarak bulunmaktadır. Al, Mg, Si ve Ti gibi malzemeler hafif ve sünek olmalarından dolayı metal matrisli kompozitlerde matris malzemesi olarak çok fazla kullanılmaktadır (Çıtak, 1998).

Araştırmalarımız, tane takviyeli metal matrisli kompozit malzemeler ve üretilebilirliği üzerine olacağı için, yalnızca bu tür malzemeler ve üretim yöntemleri bilgi verilecektir.

4.1.Metal Matrisli Kompozit Malzemeler

4.1.1. Metal Matrisli Kompozit Malzemeler İçin Matris Malzemeleri

Metal matrisli kompozitlerin tanımından da anlaşılacağı üzere, matris malzemesi her çeşit mühendislik malzemesi olmakla birlikte, takviye malzemesi ise tek filament, fiber, parçacık veya tabakalı olabilmektedir. Bunlardan Al, Ti, Mg, Cu, Fe, Co, Mo ve Ni gibi metal ve alaşımları en çok kullanılan matris malzemeleridir. Matrisin en önemli görevi; basit bir tanımla, takviye elemanını bir arada tutmak, malzemeye gelen darbeleri veya yükleri takviye elemanlarına aktarmak, kırılma tokluğunun iyileştirmek, takviye elemanı ile uyum sağlamak, takviye elemanlarını aşınmaya ve korozyona karşı korumaktır. Aşınma ve korozif özelliklere karşı direnç gösterme, kırılma tokluğunun başlıca nedenleri oldukları bilinmekle birlikte, matris malzemeleri metal matrisli kompozitlerin akma, basma, sürünme, kayma ve termomekanik özelliklerini de belirler (Kamat, 1998).

Günümüzde metal matrisli kompozitlere büyük ilgi duyulmaktadır. Bunun başlıca sebeplerinden birisi, ekonomik ve yüksek kaliteye sahip malzeme üretim yöntemlerinin geliştirilmesidir. Metalik kompozitler üzerinde yapılan çalışmalar, özellikle yüksek sıcaklıklarda kullanılabilecek yüksek mukavemetli, rijit malzemelerin geliştirilmesi yönünde yoğunlaşmaktadır.

Kompozit malzemelerde metalik matrislerin kullanılmasının sağladığı üstünlükler, metallerin bilinen bazı özellikleri ile ilgilidir.

Bunlar:

1. Yüksek mukavemet ve yüksek elastiklik modülü,
2. Yüksek tokluk ve darbe özellikleri,
3. Sıcaklık değişimleri veya ısıl şoklara karşı düşük bir duyarlılık,
4. Yüksek yüzey dayanımı ve yüzey hatalarına karşı düşük duyarlılık,
5. Yüksek elektriksel ve ısıl iletkenlik,
6. Değişik tekniklerle şekillendirilebilme ve işlenebilme özellikleri.

4.1.2. Metal Matrisli Kompozit Malzemelerde Kullanılan Takviye Malzemeleri

Kompozitlerin mukavemet ve tokluğunu etkileyen faktörler; takviyeler, matrisler ve matris ile takviyeler arasındaki ara yüzeydir. Metal matrisli kompozitlerde kullanılan başlıca takviye elemanları Al_2O_3 , SiC, TiB_2 , TiC, WC, W ve C gibi seramik malzemelerdir. Takviye elemanlarından beklenen özellikler; düşük yoğunluk, yüksek elastik modülü, yüksek çekme mukavemeti, ergime sıcaklığı, ekonomiklik ve en önemlisi matris malzemesi ile uyumluluktur.

Tablo 4.1. Metal Matrisli Kompozitlerde Kullanılan Bazı Takviye Elemanlarının Özellikleri
(Çıtak, 1998).

Takviye Elemanı	Elastik Modülü (GPa)	Poison Oranı	Çekme Mukavemeti (GPa)	Yoğunluk (gr/cm ³)	Ergime Sıcaklığı (°C)
Al ₂ O ₃	430	0.24	-	3.8	2040
B ₄ C	480	-	2.1	2.5	2350
SiC	450	0.17	-	3.2	-
TiB ₂	350-370	0.13-0.19	-	4.5	-
TiC	230-430	0.19	-	4.9	-
WC	530	-	-	15.7	-
W	405	0.29	1.7-3.9	19.3	3387
C	380-690	-	2	2	3677

4.1.3. Matris Malzemeleri ve Matris-Takviye Seçimi

Matrisler, bağlayıcı eleman görevi görürler. Matrislerin asıl görevleri, takviye elemanlarını bir arada tutmak ve işlem sırasında malzeme yüzeyini mekanik hasarlardan korumaktır. Matris, takviye elemanlarına gelen yükü transfer eder ve dağıtır. Böylece takviyeler, yükün büyük bir kısmını taşırlar. Yükün transferi, matris ve takviye arasındaki birleşmeye bağlıdır. Metal matrisli kompozitlerde alüminyum, magnezyum, titanyum, nikel ve nikel-kobalt gibi metaller ve alaşımları matris olarak kullanılmaktadır. Fakat yoğunluğunun düşük oluşu, ucuz olması sebebiyle kolay bulunuşu, çeşitli alaşım formlarında bulunabilmesi ve oldukça iyi mekanik özellik kombinasyonlarına sahip olmasından dolayı, matris olarak, en çok alüminyum kullanılır. Ancak yüksek sıcaklıklarda çalışılması durumunda alüminyumun ergime sıcaklığının düşük olmasından dolayı (660 °C), titanyum ve alaşımlarının ile magnezyum ve alaşımlarının matris malzemesi olarak kullanılması mümkün olmaktadır.

Metal matrisli kompozitlerde en ciddi problem; matris ile takviye arasında kimyasal bir uyum sağlamaktır (Ellis, 1996). Takviyelerin, matris içerisinde kolay ve homojen dağılması için bir ön ısıtma gereklidir. Bazen takviyeler, yüksek sıcaklığa maruz kaldıkları taktirde, matris ile takviyeler arasında, takviyelerin özelliklerini bozacak şekilde bir etkileşim meydana gelebilir (Lienert, 1993; Çam, 1998; Samuel, 1988; Zhu, 1988). Örneğin; karbon fiberler alüminyum karbür (Al₄C₃) oluşturacak şekilde alüminyumla reaksiyona girerler. Bu reaksiyon ise kompozit malzemenin mukavemetini düşürür. Benzer şekilde bor, bor fiberleri (TiB₂) oluşturmak üzere titanyum ile reaksiyona girer. Fakat bu reaksiyon, borun silisyum karbür (SiC) ile kaplanmasıyla önlenir.

5.DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler ve Numunelerin Hazırlanması

Deneylerde, kompozitin matris fazında, yoğunluğu 8.9 kg/ dm^3 ve ergime sıcaklığı 1083°C olan, ayrıca yüksek ısı ve elektrik iletkenliği, korozyon direncine sahip, soğuk şekillendirilme ile çekme dayanımı arttırabilen bakır tozu (Baydur, 1979) kullanılmıştır.

Takviye elemanları olarak, özellikle son zamanlarda sık kullanılmaya başlanan (Singh vd, 2002), yüksek sıcaklık dayanımı ile fiziksel ve kimyasal aşınma dayanımı gösteren ve refrakter sanayisinde (tuğla, çelik ve cam endüstrisinde, çimento fırınlarında, seramik ve petro – kimya alanlarında) yaygın olarak Al_2SiO_5 kullanılmıştır (www.maden.org.tr/disten) ve oldukça yumuşak, dokunumu yağsı ve ince levhalar halinde bükülme özelliğine sahip, yağlayıcı olan grafit (Barbara, 1980) kullanılmıştır.

Bu deneysel çalışmalarda, ortalama $1- 43 \mu\text{m}$ tane boyutundaki bakır tozuna, $1- 60 \mu\text{m}$ luk tane boyutuna sahip alüminyum silikat (Al_2SiO_5) ve karbon (C) tozları takviye edilerek, numuneler hazırlanmıştır. Numunelerin karışımları, 10^{-5} hassasiyetine sahip bir terazi kullanılarak bakır tozuna, hacimce %5, %10 ve %15 oranlarında alüminyum silikat (Al_2SiO_5) ve karbon (C) tozları katılarak hazırlanmıştır. Hazırlanan bu karışımlar tarafımızca imal edilen özel bir mekanik karıştırıcı ile 15 dakika süre ile karıştırılarak, homojen karışımların elde edilmesi sağlanmıştır.

Hazırlanan bu karışımlar; imalatını yapmış olduğumuz kalıp içerisine boşaltılarak presle 600 MPa basınç altında soğuk preslenerek, $\emptyset 13 \times 15 \text{ mm}$ ebatlarında numuneler elde edilmiştir. Elde edilen bu numuneler, tasarımını yapmış olduğumuz yardımcı aparatlarla atmosfer kontrollü hale getirilen fırın içerisinde argon gazı ortamında 900°C de 60 dakika süreyle sinterlenmiş, yine aynı ortamda soğutulup sinterleme işlemi tamamlanmıştır. Tablo 5.1’ de, deneylerde kullanılan 9 farklı numunenin karışım oranları görülmektedir.

Tablo 5.1. Hazırlanan numuneler ve hacimce % karışım miktarları

Numune No	Karışım Oranları (hacimce)
1	Cu-% 5 C-% 5 Al_2SiO_5
2	Cu-% 5 C-%10 Al_2SiO_5
3	Cu-% 5 C-%15 Al_2SiO_5
4	Cu-%10 C-% 5 Al_2SiO_5
5	Cu-%10 C-%10 Al_2SiO_5
6	Cu-%10 C-%15 Al_2SiO_5
7	Cu-%15 C-% 5 Al_2SiO_5
8	Cu-%15 C-%10 Al_2SiO_5
9	Cu-%15 C-%15 Al_2SiO_5

5.2. Metalografik Çalışmalar

5.2.1. Optik Mikroskop İncelemeleri

Deney numunelerinin mikroyapılarını ve oluşmuş fazları belirlemek amacıyla yapılacak olan metalografik incelemeler için numuneler; 80 mesh' ten 1200 mesh' e kadar su zımparalarına sırasıyla tutularak yüzeyleri temizlenmiştir. 1200 meshlik zımparadan geçirilen numuneler, 1µ ve 6µ'luk elmas pastadan geçirilip, saf alkolle silinerek metalografik manada parlatma işlemi gerçekleştirilmiştir. Parlatılan numuneler, Fe₃Cl çözeltisi kullanarak dağlanmıştır. Dağlama işlemi sonrasında numunelerin mikroyapı fotoğrafları, Olympus marka optik mikroskopta çekilmiştir.

5.2.2. SEM (Scanning Elektron Microscopy) Taramalı Elektron Mikroskobu İncelemeleri

Yüzeyleri dağlanan numunelerin SEM mikroskobu incelemeleri, Erciyes Üniversitesi TEKMER Teknoloji Araştırma-Geliştirme Merkezi'nde bulunan OXFORD marka taramalı elektron mikroskobunda (SEM) yapılmıştır. SEM mikroskobunda mikroyapıdaki fazlar, matris ve karbür dağılımları incelenerek çeşitli büyüklükte fotoğraflar çekilmiştir. Ayrıca numunelerin aşınma sonrası çizik yüzey fotoğrafları çekilmiştir.

5.2.3. EDS (Energy Dispersive Spectrograf) Noktasal Analiz Çalışmaları

SEM mikroskobunun bir ünitesini oluşturan EDS cihazında, numunelerin mikroyapılarında görülen fazların, matrisin ve karbürlerin noktasal olarak analizleri yapılarak, pikleri grafik halinde alınmıştır.

5.2.4. X – Işınları Difraksiyonu (X – Ray Diffraction) Çalışmaları

Numunelerdeki karbürlerin ve fazların cinsi Erciyes Üniversitesi TEKMER Teknoloji Araştırma-Geliştirme Merkezi'nde bulunan Urucaker marka X – Ray cihazında tespit edilmiştir.

5.2.5. Mikro Sertlik Ölçümleri

Numunelerdeki fazların ve matrislerin sertliklerinin belirlenmesi amacıyla mikro sertlik ölçümü yapılmıştır. Sertlik ölçümleri, Fırat Üniversitesi Müh. Fak. Metalürji ve Malzeme Müh. Laboratuvarında bulunan MHT-10 Leica Q 500/W markalı cihazda Vickers Skalası'nda 10 gr yük ve 10 sn süre uygulanarak gerçekleştirilmiştir.

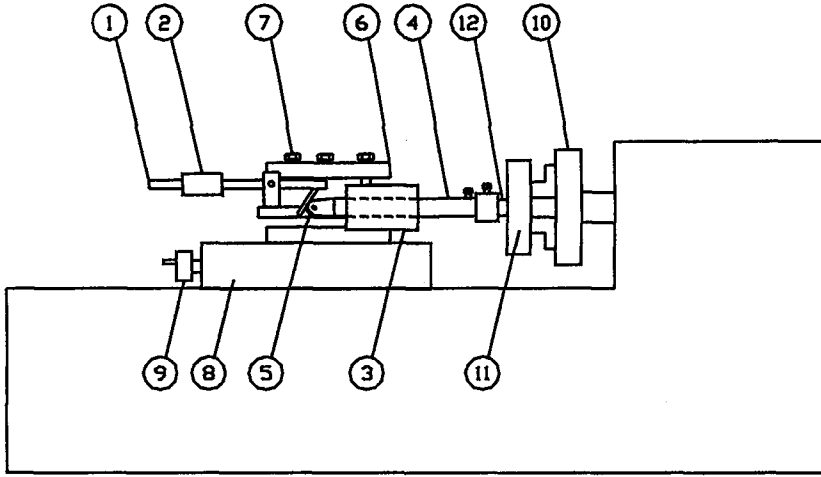
5.3. Abrasiv Aşınma Deneyleri

Toz metalurjisi ile üretilen Ø13x15 ebatlarında hazırlanan numunelerin aşınma deneylerinin yapılabilmesi için torna tezgahına monte edilebilen Şekil 5.1' de görülen bir

aşınma deney seti geliştirilmiştir. Geliştirilen bu deney cihazında; abrasiv aşındırıcı olarak 80 mesh' lik silisyum karbür (SiC) zımpara kağıdı kullanılmıştır. Kullanılan bu aşındırıcı, Şekil 6.21' de görülen 11 nolu diske monte edilmiş ve bu disk de tornanın aynasına bağlanmıştır. Numune ise numune tutucuya bağlanarak, tornanın sportuna yerleştirilmiş olan mekanizmadaki hareketli mile cıvata ile bağlanmıştır.

Aşınma deneylerine başlamadan önce, deney cihazının yük koluna uygulanacak yüklerin kademeleri tespit etmek için, dijital bir terazi vasıtasıyla kalibrasyon yapılmıştır. Deney cihazının ileri geri ve sağa sola hareketleri tornanın sportuyla sağlanarak, aşındırma işlemleri yapılmıştır. Abrasiv aşındırma testine tabi tutulacak numuneler, 90 dev/dak ile dönen aşındırıcı üzerinde 0.4 mm/dev adım ile dıştan merkeze doğru 30 m' lik spiral bir yolda ilerlemektedir. Uygulanan yükler 10 N, 20 N, 30 N olarak değiştirilmiştir.

Deney numuneleri aşındırma aparatına bağlanmadan önce 10^{-5} gr hassasiyetteki bir dijital terazide tartılarak okunan değerler not edilip daha sonra aparata bağlanmış ve aşındırma işleminden sonra numuneler sökölerek alkol ve basınçlı hava ile numuneler temizlendikten sonra tekrar tartma işlemi yapılmıştır. Bu işlemler her yükte her numune için üç kez tekrarlanmış ve her işlemde de yeni bir aşındırıcı kullanılarak elde edilen ağırlık kayıplarının aritmetik ortalaması alınmıştır.



Şekil 5.1. Abrasiv aşınma testi aparatının şematik gösterimi

- 1- Yük Kolu
- 2- Yük
- 3- Numune tutucusunun burcu
- 4- Numune tutucu kolu
- 5- Mafsal
- 6- Torna kateri
- 7- Cıvata
- 8- Torna sportu
- 9- Torna sport tamburu
- 10- Torna aynası
- 11- Disk
- 12- Numune

6.DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

6.1. Metalografik Muayene Sonuçları

Toz metalurjisi yöntemi ile üretilmiş, farklı % hacim oranlarında, Cu matrisli Al_2SiO_5 ve C takviyeli numunelerin, SEM ve optik mikro yapı fotoğrafları Şekil 6.1-6.15' te verilmiştir. Fotoğraflar genel olarak incelendiğinde, mikroyapının Cu matris içerisine homojen dağılmış Al_2SiO_5 partikülleri ve Al_2SiO_5 ile Cu taneleri etrafında yayılmış C partiküllerinden oluştuğu görülmektedir. Bunun sebebinin, karbonun yağlayıcı özelliği olmasından dolayı, tozların karıştırılması esnasında diğer partiküllere yapışması olduğu düşünülmektedir.

Şekil 6.1 ve Şekil 6.2'te 1 no' lu numuneye ait optik ve SEM fotoğrafları sırasıyla verilmiştir. Şekil.6.3'te 2 no' lu numunenin optik mikroyapı görünümü verilmiştir. Fotoğrafta açık gri renkli bölgeler ana matrisi, gri renkli bölgeler ana matris içerisinde homojen bir şekilde dağılan Al_2SiO_5 partiküllerini, siyah bölgeler de C partiküllerini göstermektedir. Aynı numuneye ait SEM mikroyapı görünümü Şekil 6.4'te daha açık bir şekilde görülmektedir. Bu fotoğrafta koyu gri renkli bölgelerde (a noktası) ana matrisi, siyah bölgeler (b noktası) karbon partiküllerini beyaz bölgeler (c noktası) alüminyum silikat partiküllerini göstermektedir. Bu bölgelerden (a, b ve c noktası) alınan EDS analizleri de bunu doğrulamaktadır; ayrıca fotoğraf üzerinde gösterilen d noktası da ara yüzeyi göstermektedir. Özellikle 2 nolu numunenin optik fotoğrafında ana matris içerisinde iki farklı faz gibi görünen bölgeler; tozların preslenmesi esnasında ana matrisin plastik deformasyona uğramasıyla oluşan ikizleme sonrası yapı görünümüdür.

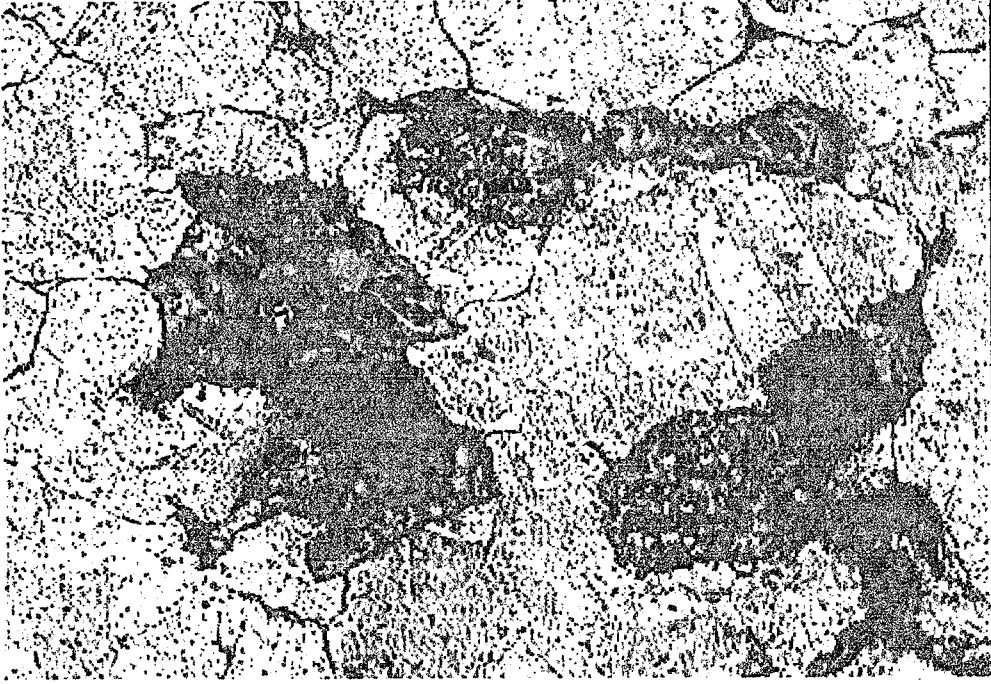
3 no' lu numuneye ait optik ve SEM mikroyapı fotoğrafları Şekil 6.5 ve 6.6.'da verilmiştir. Fotoğraflar incelendiğinde, alüminyum silikat partiküllerinin hacim oranının arttığı ve ana matris içerisinde homojen bir şekilde dağıldığı görülmektedir.



Şekil 6.1. 1 nolu numunenin optik mikroskop fotoğrafı .



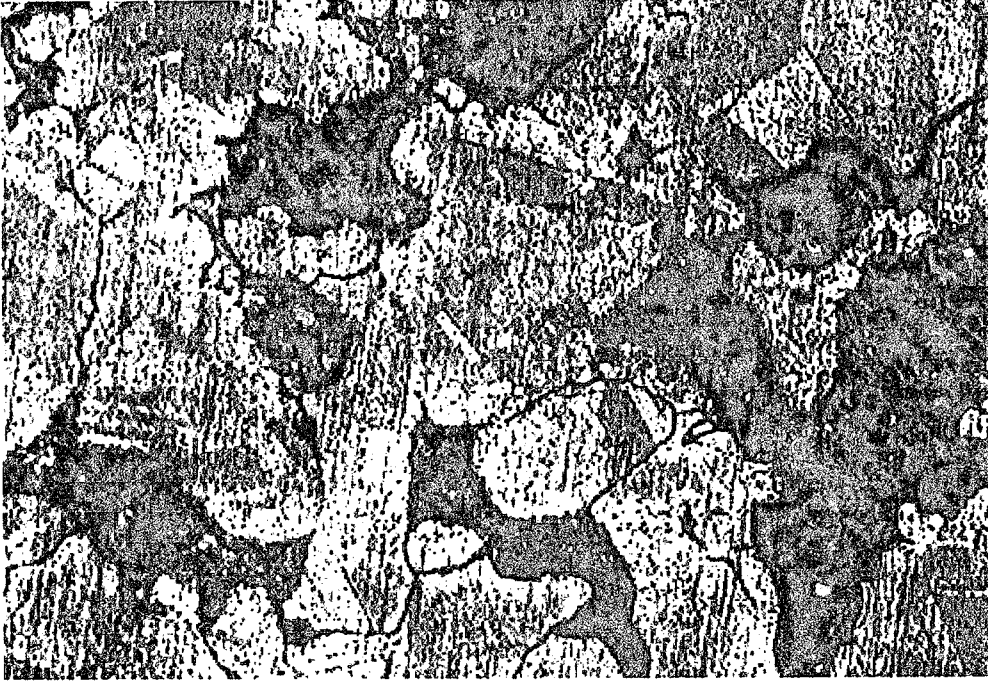
Şekil 6.2. 1 nolu numunenin SEM mikroskop fotoğrafı .



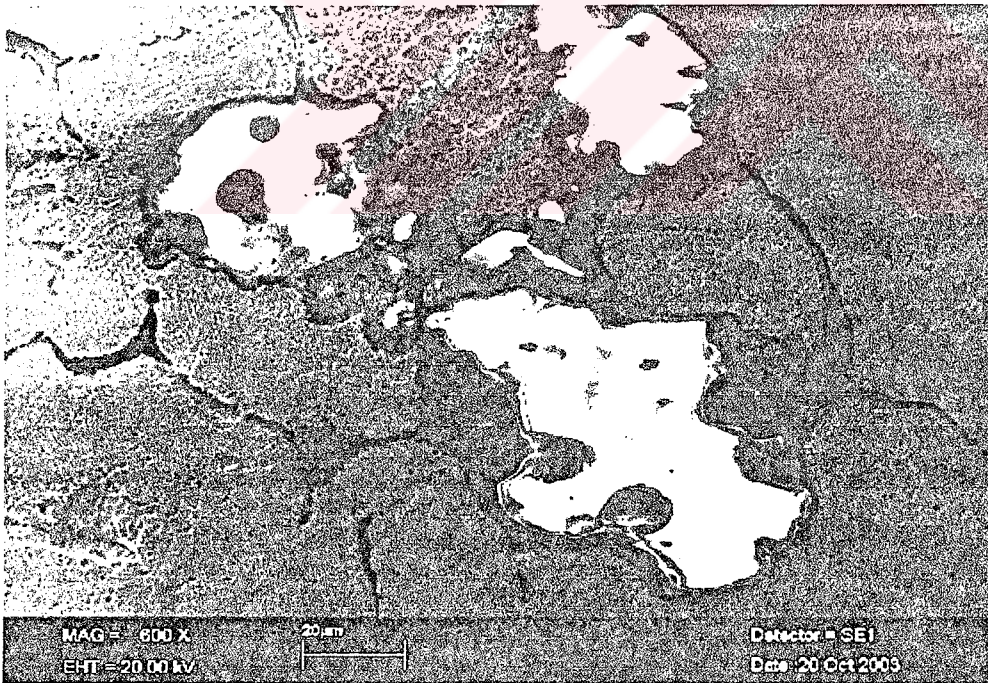
Şekil 6.3. 2 nolu numunenin optik mikroskop fotoğrafı .



Şekil 6.4. 2 nolu numunenin SEM mikroskop fotoğrafı .



Şekil 6.5. 3 nolu numunenin optik mikroskop fotoğrafı .

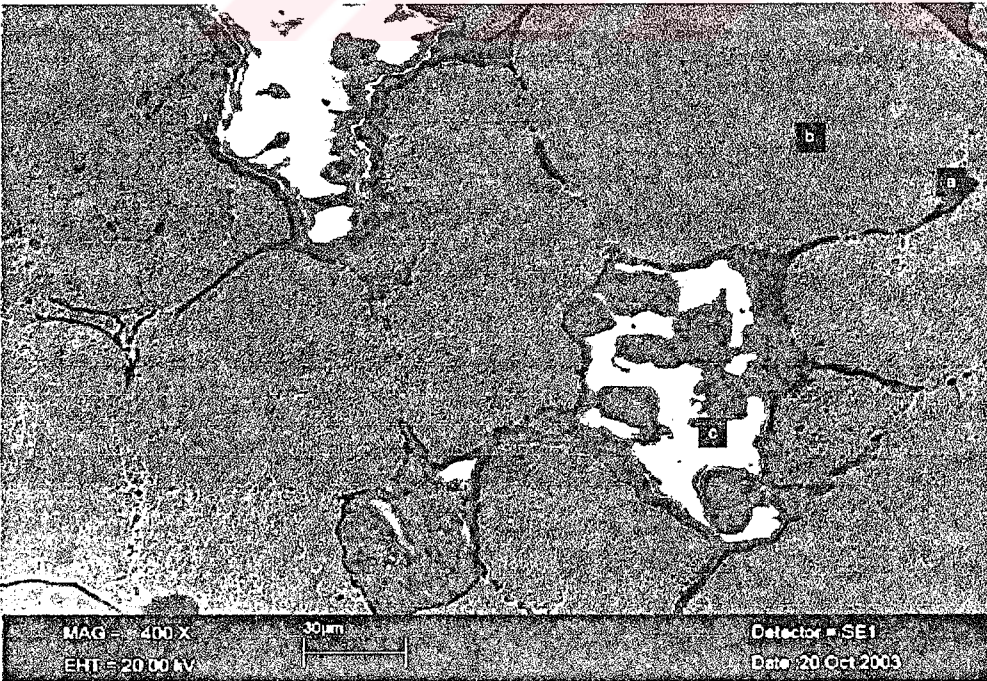


Şekil 6.6. 3 nolu numunenin SEM mikroskop fotoğrafı .

%10 sabit C ve sırasıyla %5 - %10 ve %15 Al_2SiO_5 hacim oranlarındaki 4, 5 ve 6 nolu numunelere ait mikroyapı SEM ve optik fotoğrafları Şekil 6.7, 6.8, 6.9 ve 6.10'da verilmiştir. Fotoğraflar incelendiğinde, mikroyapıda herhangi farklılığın olmadığı, fakat alüminyum silikat hacim oranının arttığı görülmektedir.

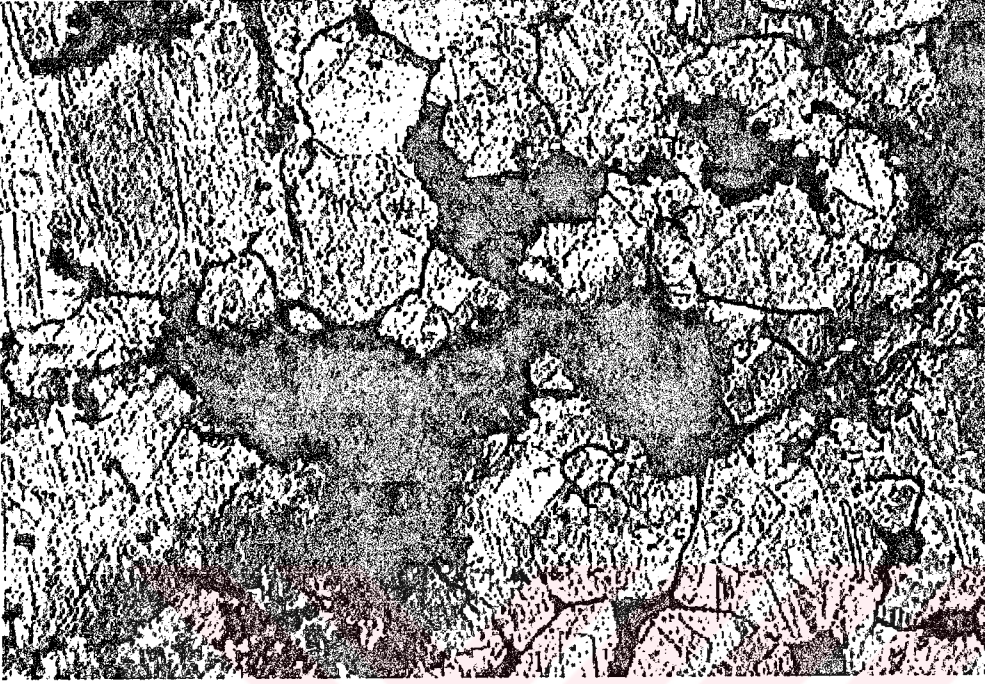


Şekil 6.7. 4 nolu numunenin optik mikroskop fotoğrafı .

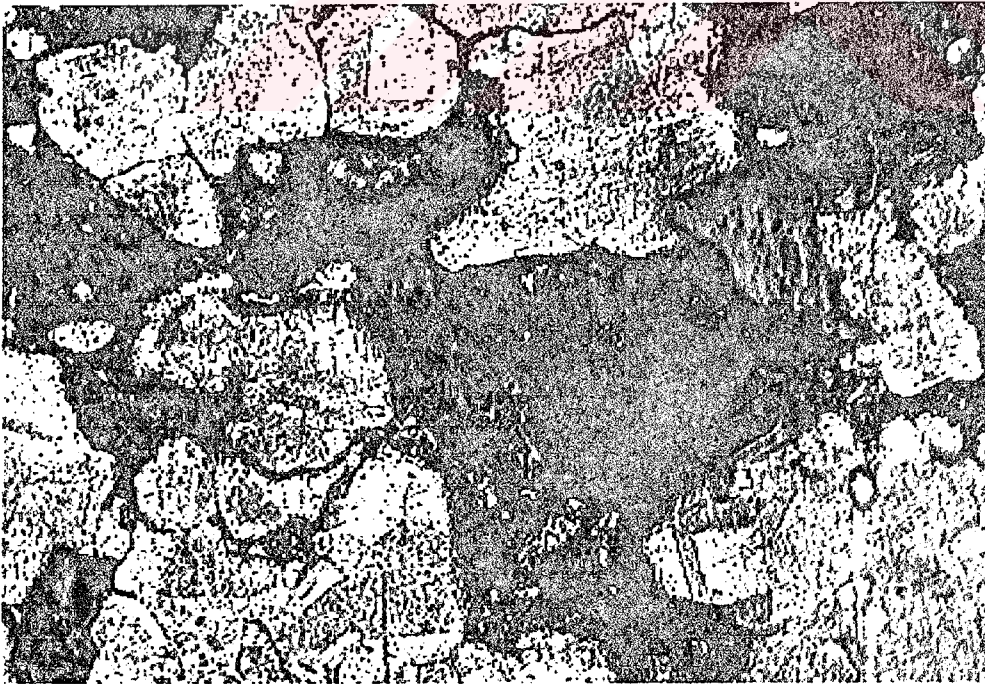


Şekil 6.8. 4 nolu numunenin SEM mikroskop fotoğrafı .

5 nolu numunenin optik fotoğraflarında alüminyum silikat partiküllerinin 4 nolu numuneden daha yoğun bir şekilde ana matris içerisine dağıldığı görülmektedir.

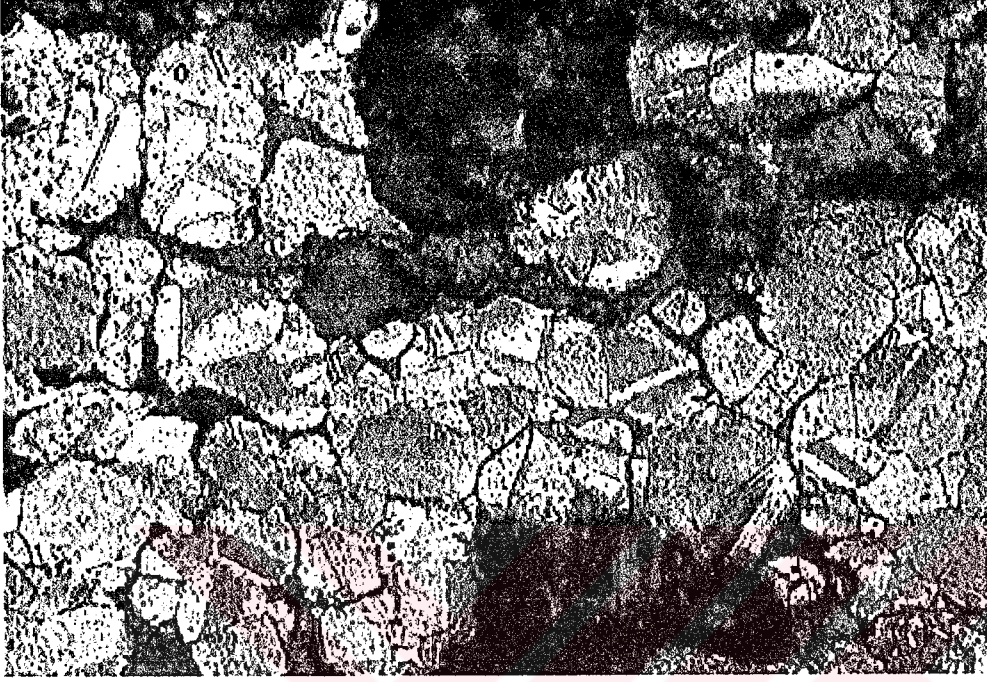


Şekil 6.9. 5 nolu numunenin optik mikroskop fotoğrafı.

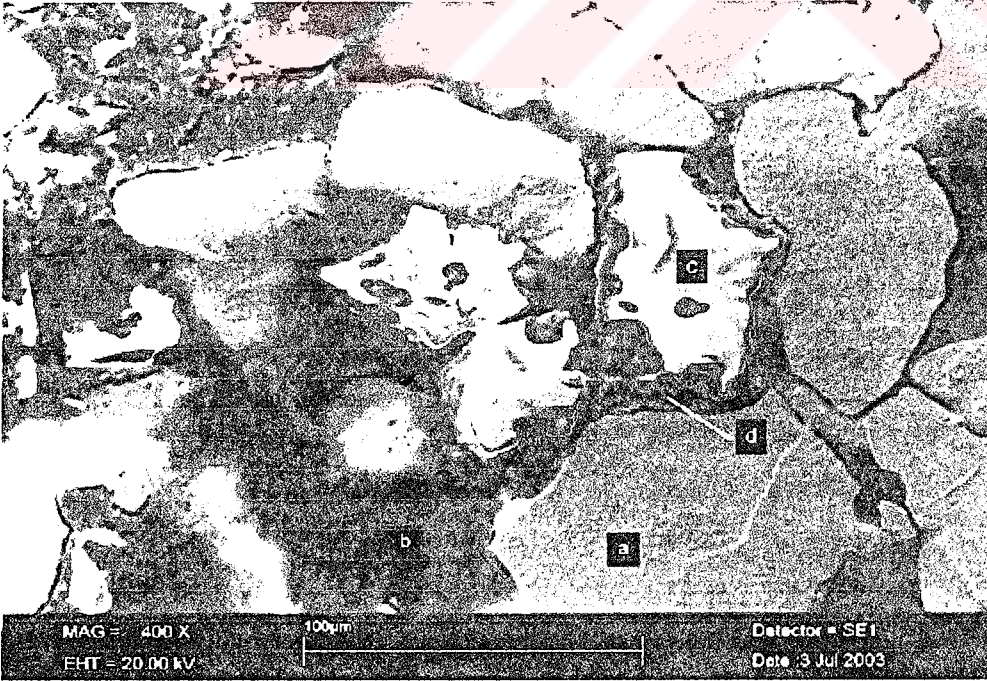


Şekil 6.10. 6 nolu numunenin optik mikroskop fotoğrafı .

%15 sabit C ve sırasıyla %5 - %10 ve %15 Al_2SiO_5 hacim oranlarındaki 7, ve 8 no' lu numunelere ait mikroyapı SEM ve optik fotoğrafları Şekil 6.11, 6.12, 6.13 ve 6.14'te verilmiştir.

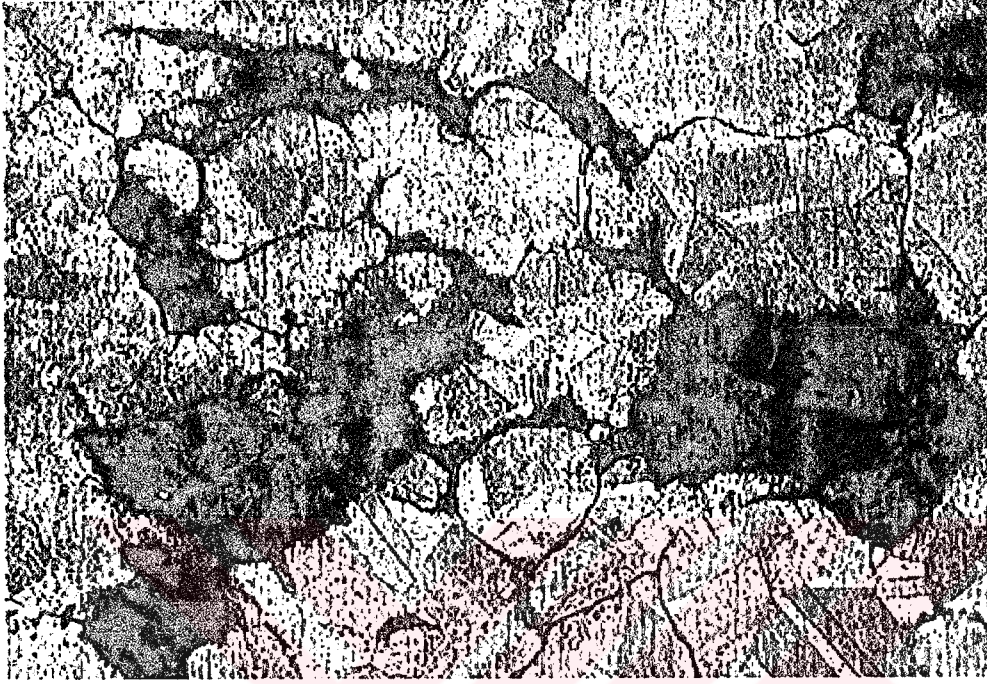


Şekil 6.11. 7 nolu numunenin optik mikroskop fotoğrafı.

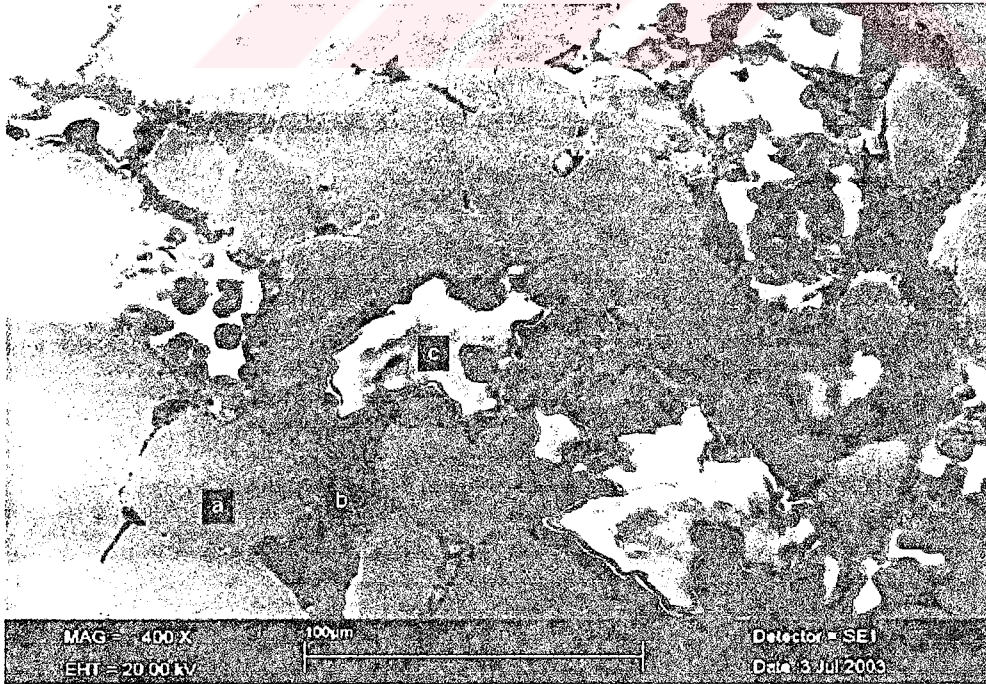


Şekil 6.12. 7 nolu numunenin SEM mikroskop fotoğrafı .

Fotoğraflarda, bazı bölgelerde karbon partiküllerinin ana matris ve alüminyum silikat partiküllerinin tane sınırlarında ve bazı bölgelerde de kendi başlarına toplandıkları görülmektedir.

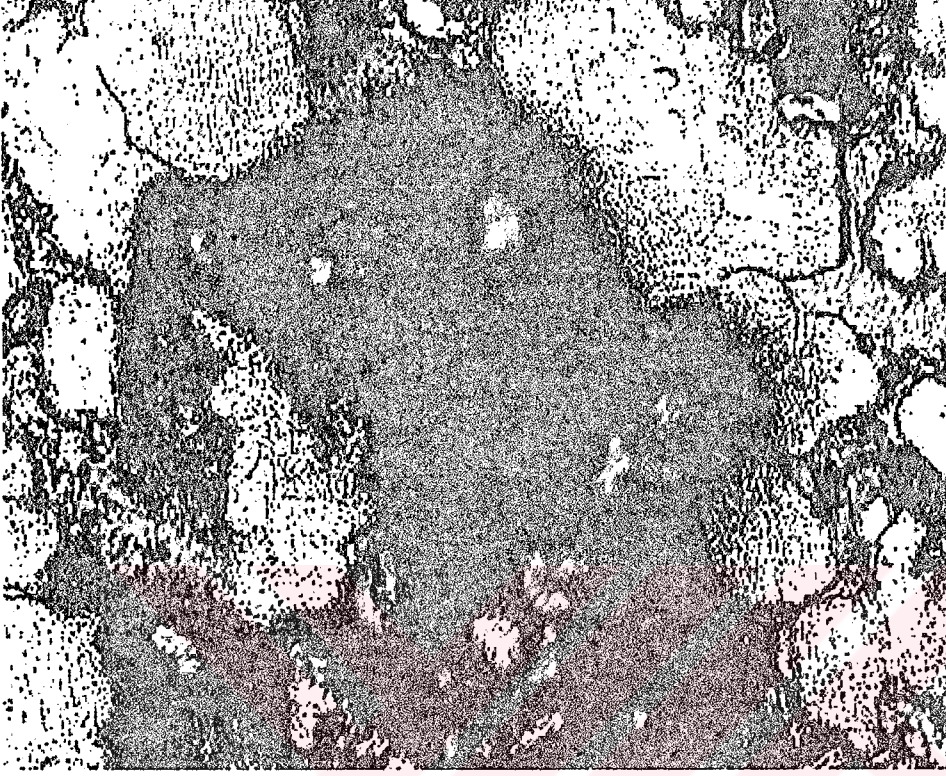


Şekil 6.13. 8 nolu numunenin optik mikroskop fotoğrafı .



Şekil 6.14. 8 nolu numunenin SEM mikroskop fotoğrafı.

Şekil 6.15'te 9 no' lu numuneye ait mikroyapı genel görünümünü veren Optik fotoğrafı verilmiştir.

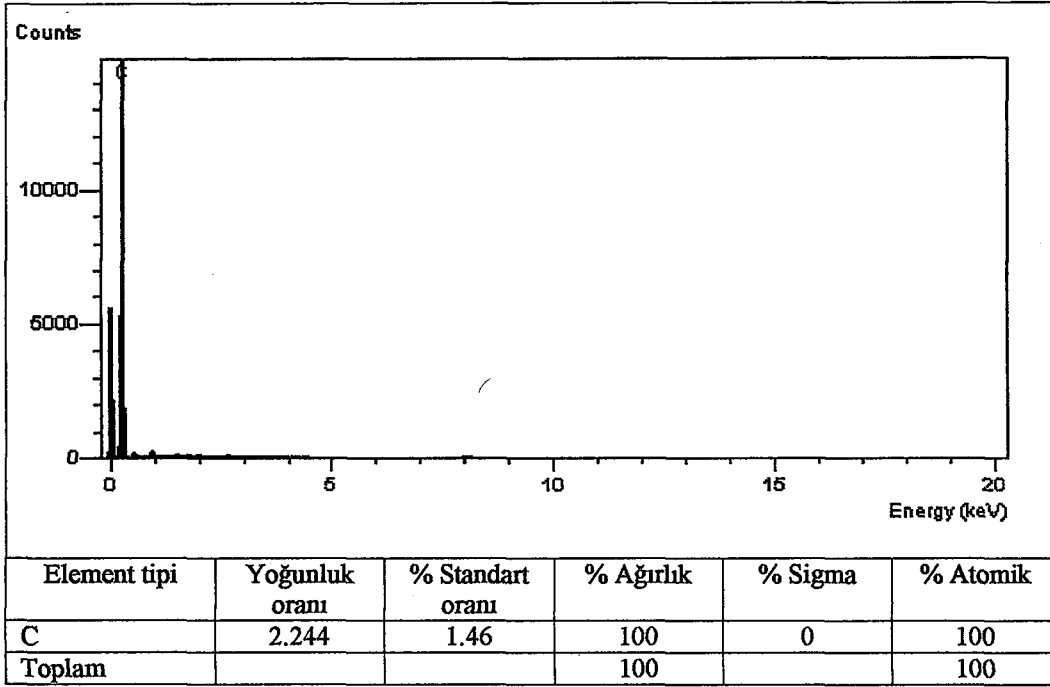


Şekil 6.15. 9 nolu numunenin optik mikroskop fotoğrafı .

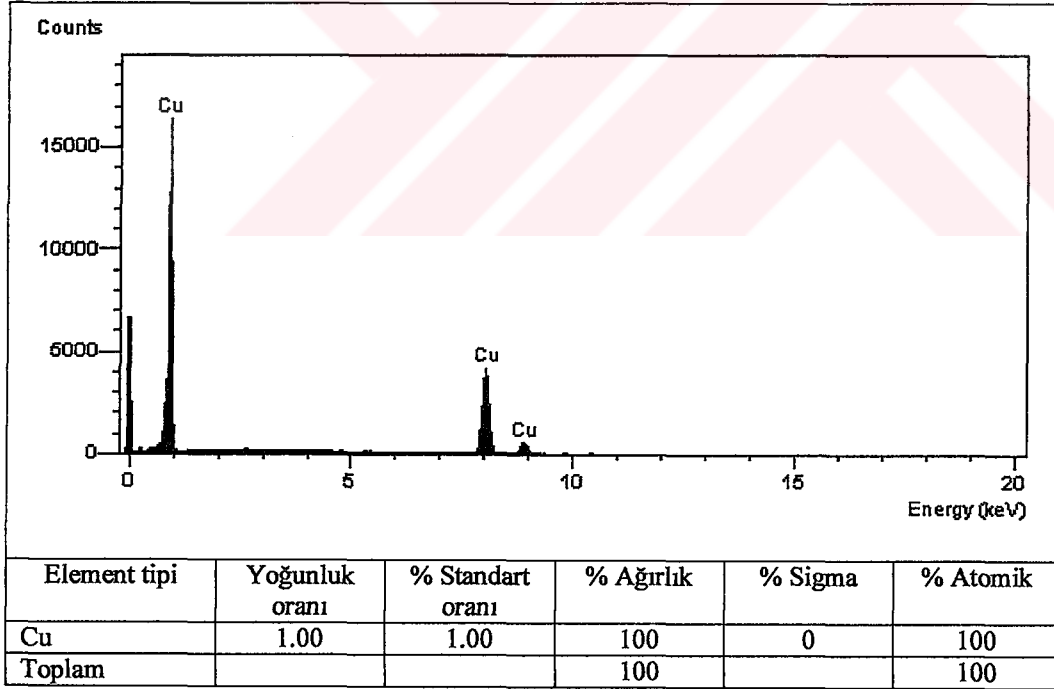
Toz metalurjisi yöntemi ile üretilmiş Cu esaslı ve Al_2SiO_5 , C takviyeli numunelerin mikroyapı değerlendirmeleri ve kendi aralarında yapılan kıyaslamalar sonucunda; takviye partiküllerinin hacim oranının kompozitin yapısal özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu gözlenmiştir. Tozların karıştırılması işlemi sonrasında karbon partiküllerinin yağlayıcı özelliğine bağlı olarak Cu ve Al_2SiO_5 tanelerinin etrafında toplandıkları, SEM ve optik mikroyapı fotoğraflarında görülmektedir.

6.2. EDS ve X-ray Sonuçları

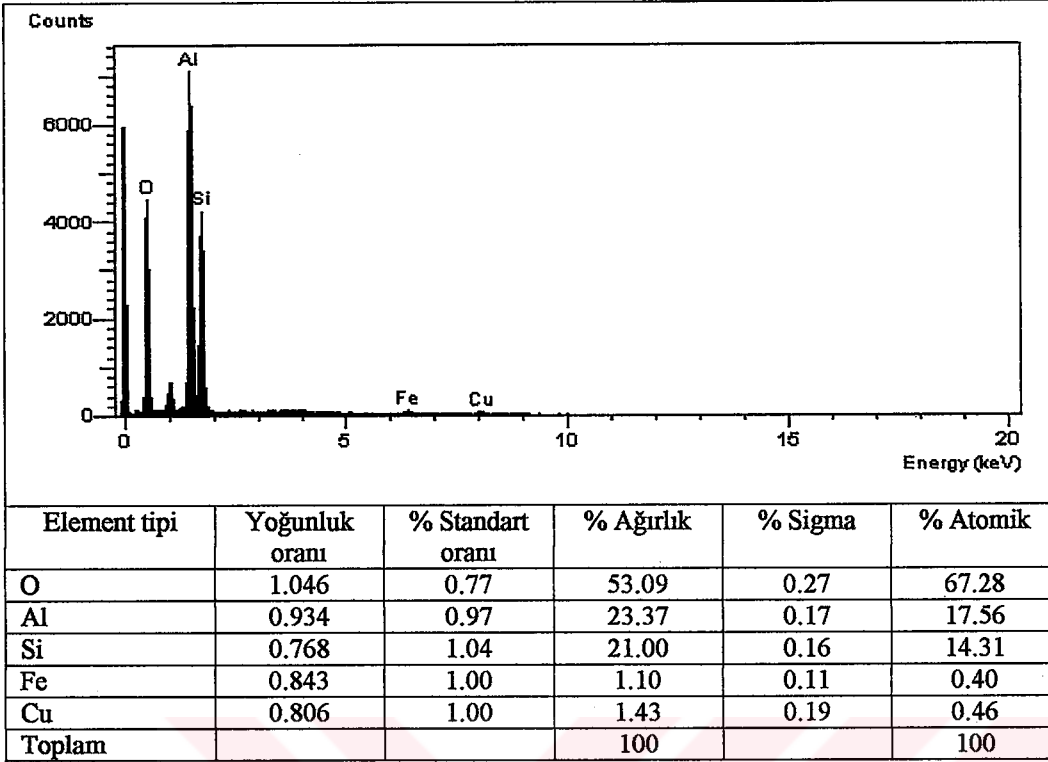
Şekil 6.4' de verilen 2 no' lu numunenin SEM mikroyapı fotoğrafında belirtilen b, a, c ve d noktalarından alınan EDS analiz sonuçları sırasıyla Şekil 6.16, 6.17, 6.18 ve 6.19 ' da verilmiştir.



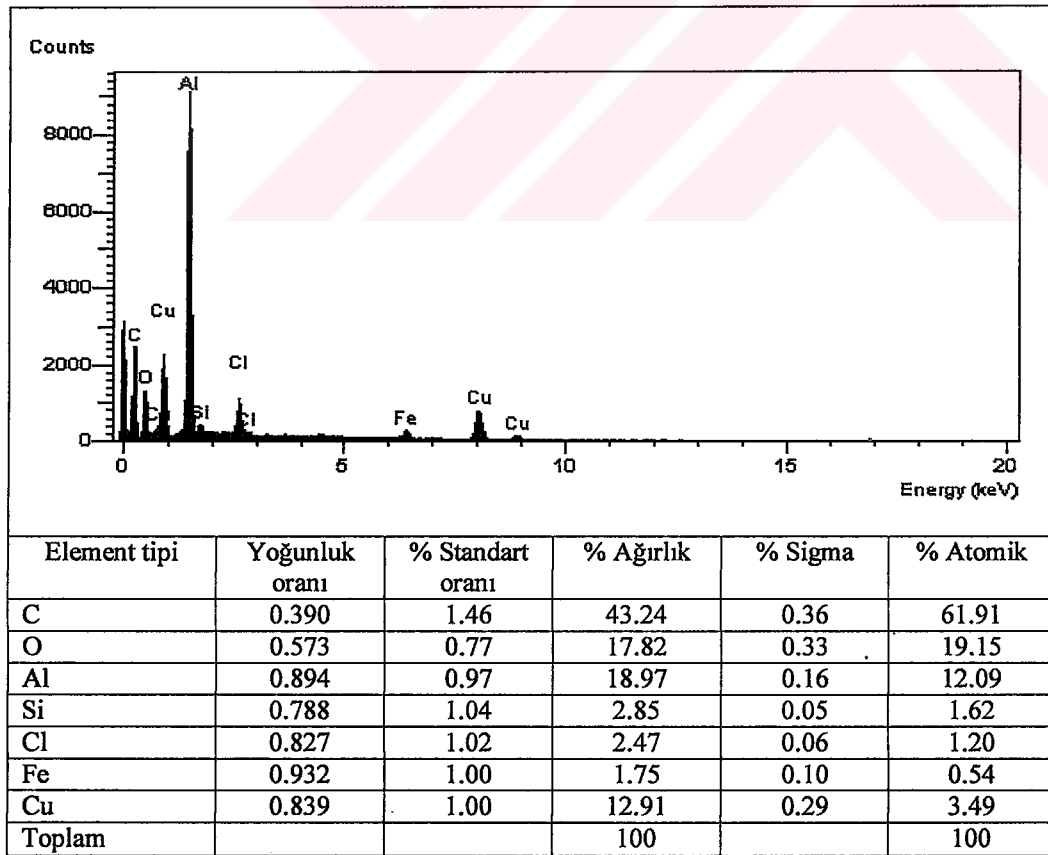
Şekil 6.16 2 no' lu numunenin B noktasındaki EDS analiz sonucu.



Şekil 6.17. 2 no' lu numunenin A noktasındaki EDS analiz sonucu.

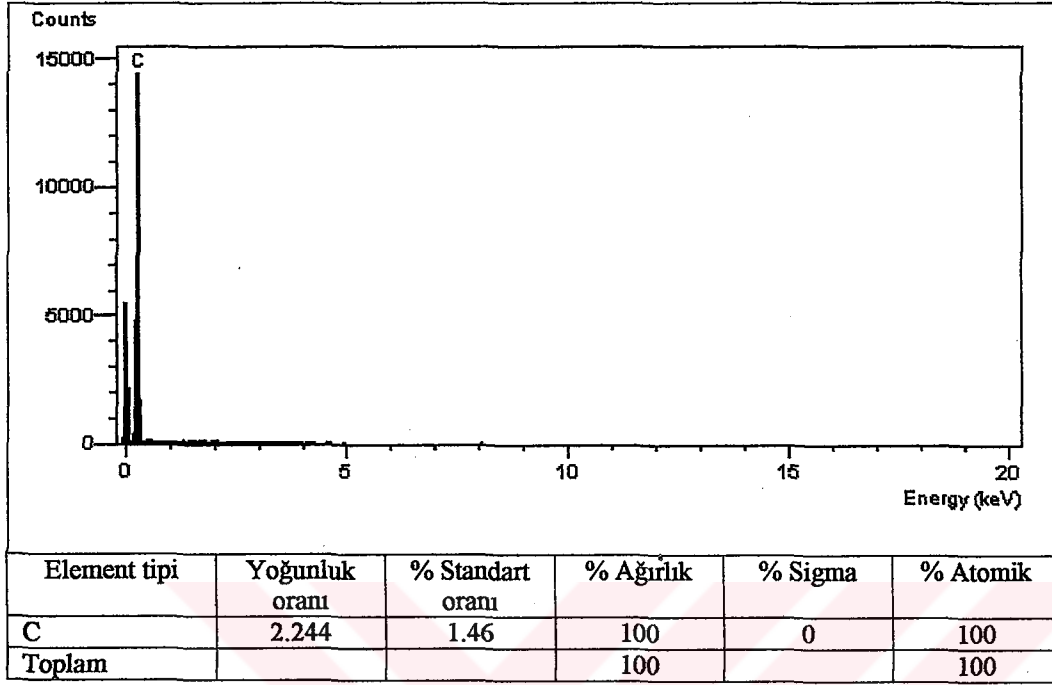


Şekil 6.18. 2 no' lu numunenin C noktasındaki EDS analiz sonucu.

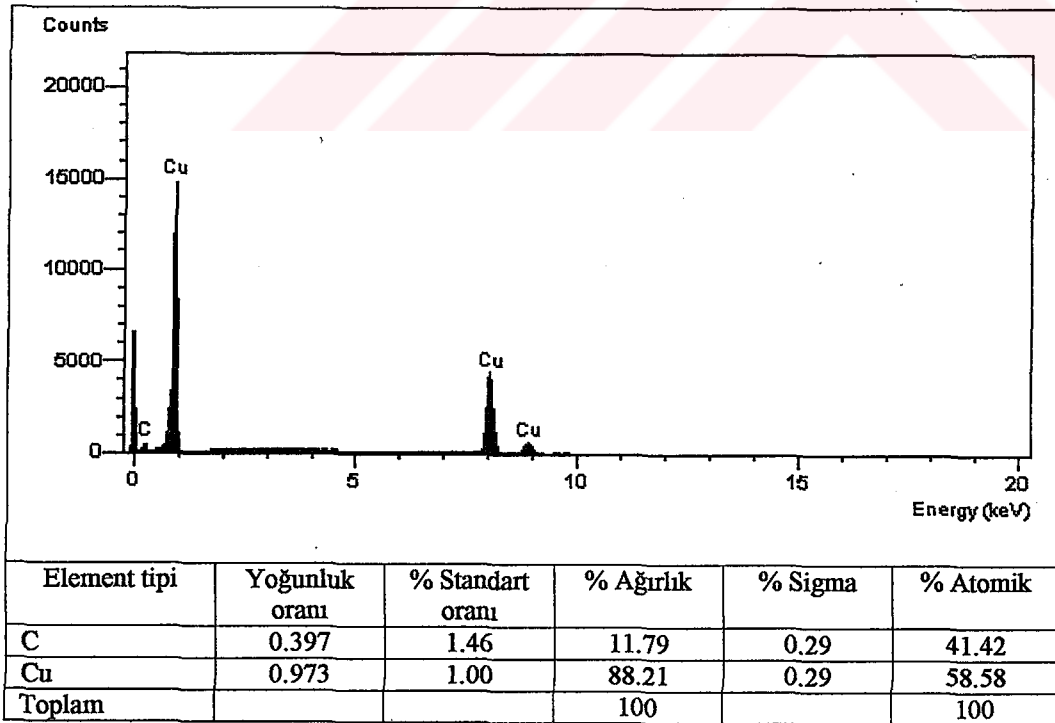


Şekil 6.19. 2 no' lu numunenin D noktasındaki EDS analiz sonucu.

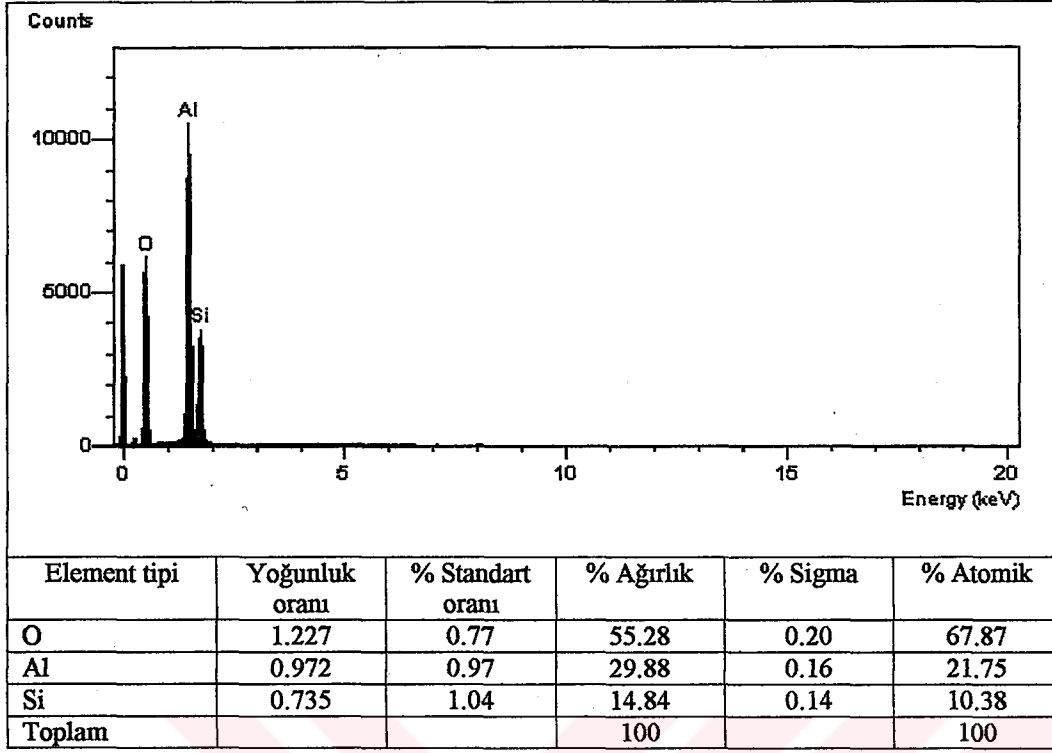
Şekil 6.8' de verilen 4 no' lu numunenin SEM mikroyapı fotoğrafında belirtilen b, a ve c noktalarından alınan EDS analiz sonuçları sırasıyla Şekil 6.20, 6.21 ve 6.22' de verilmiştir.



Şekil 6.20. 4 no' lu numunenin A noktasındaki EDS analiz sonucu.

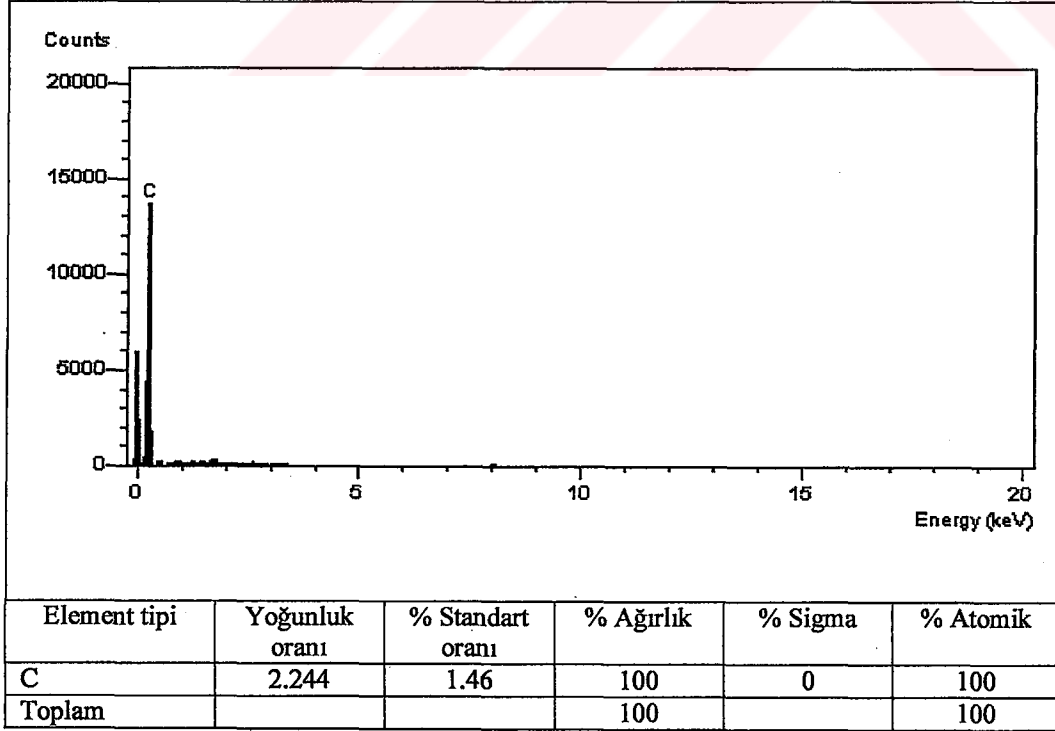


Şekil 6.21. 4 no' lu numunenin B noktasındaki EDS analiz sonucu.

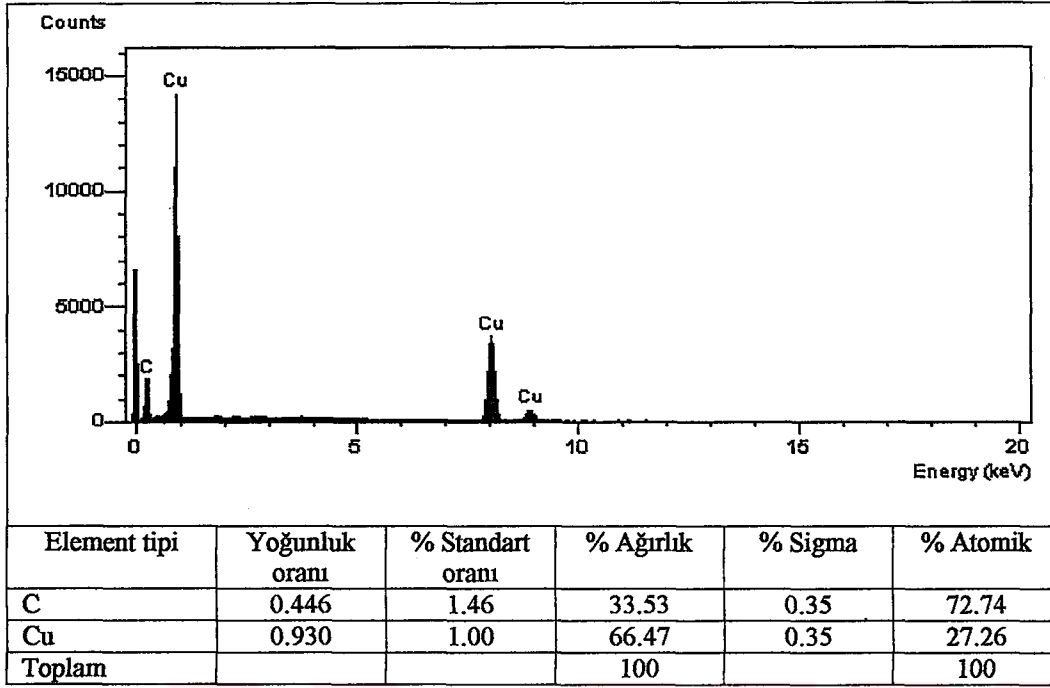


Şekil 6.22. 4 no' lu numunenin C noktasındaki EDS analiz sonucu.

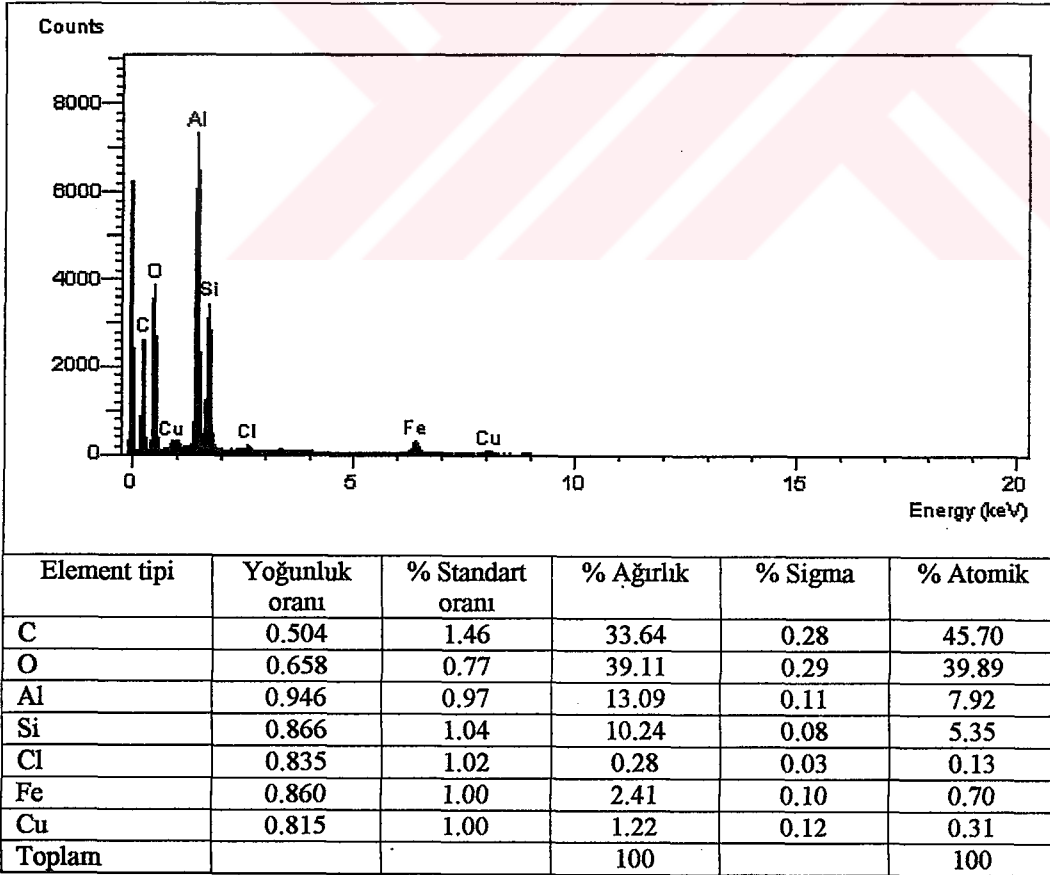
Şekil 6.8' de verilen 8 no' lu numunenin SEM mikroyapı fotoğrafında belirtilen b, a ve c noktalarından alınan EDS analiz sonuçları sırasıyla Şekil 6.23, 6.24 ve 6.25' te verilmiştir.



Şekil 6.23. 8 no' lu numunenin B noktasındaki EDS analiz sonucu.

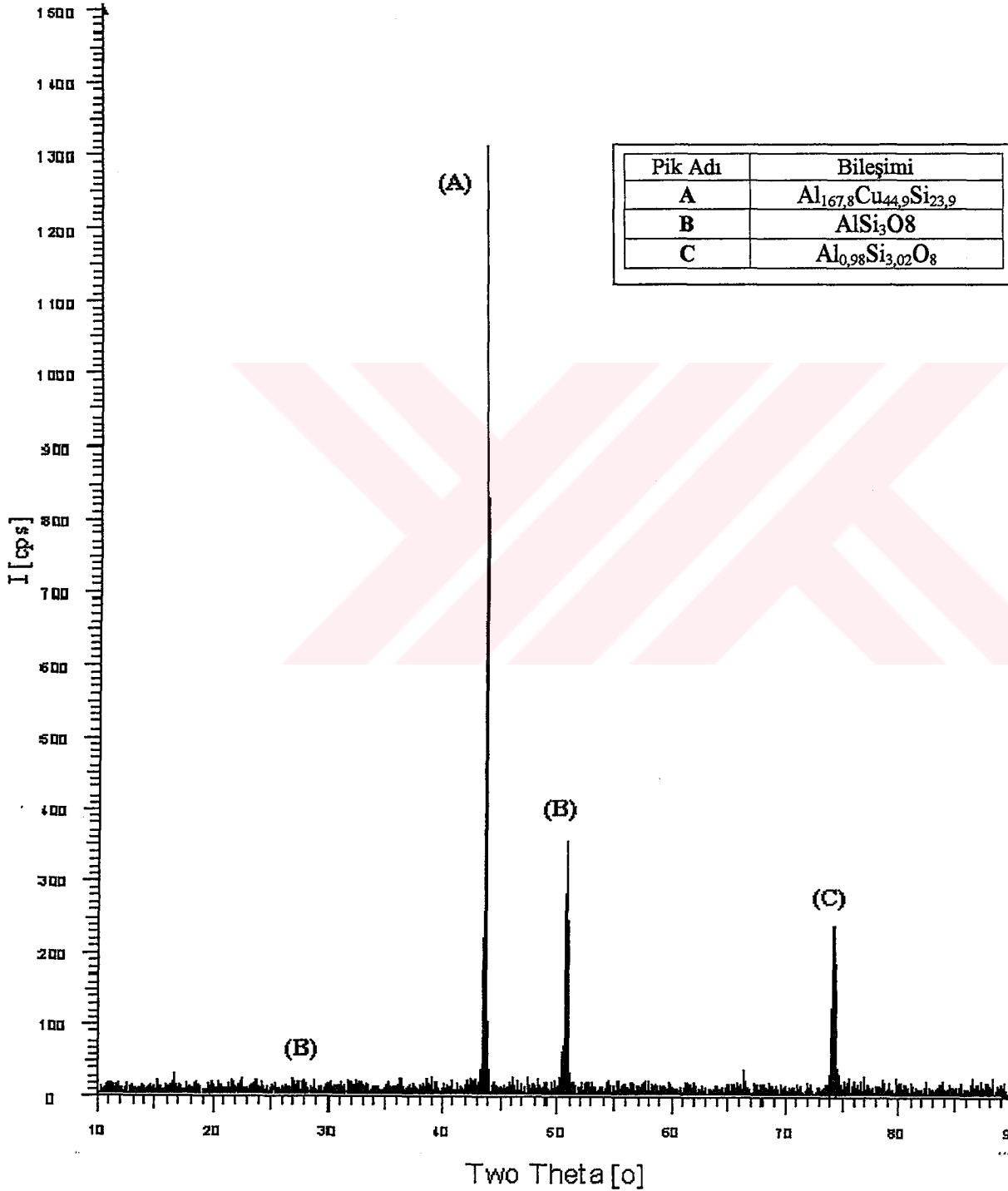


Şekil 6.24. 8 no' lu numunenin A noktasındaki EDS analiz sonucu.

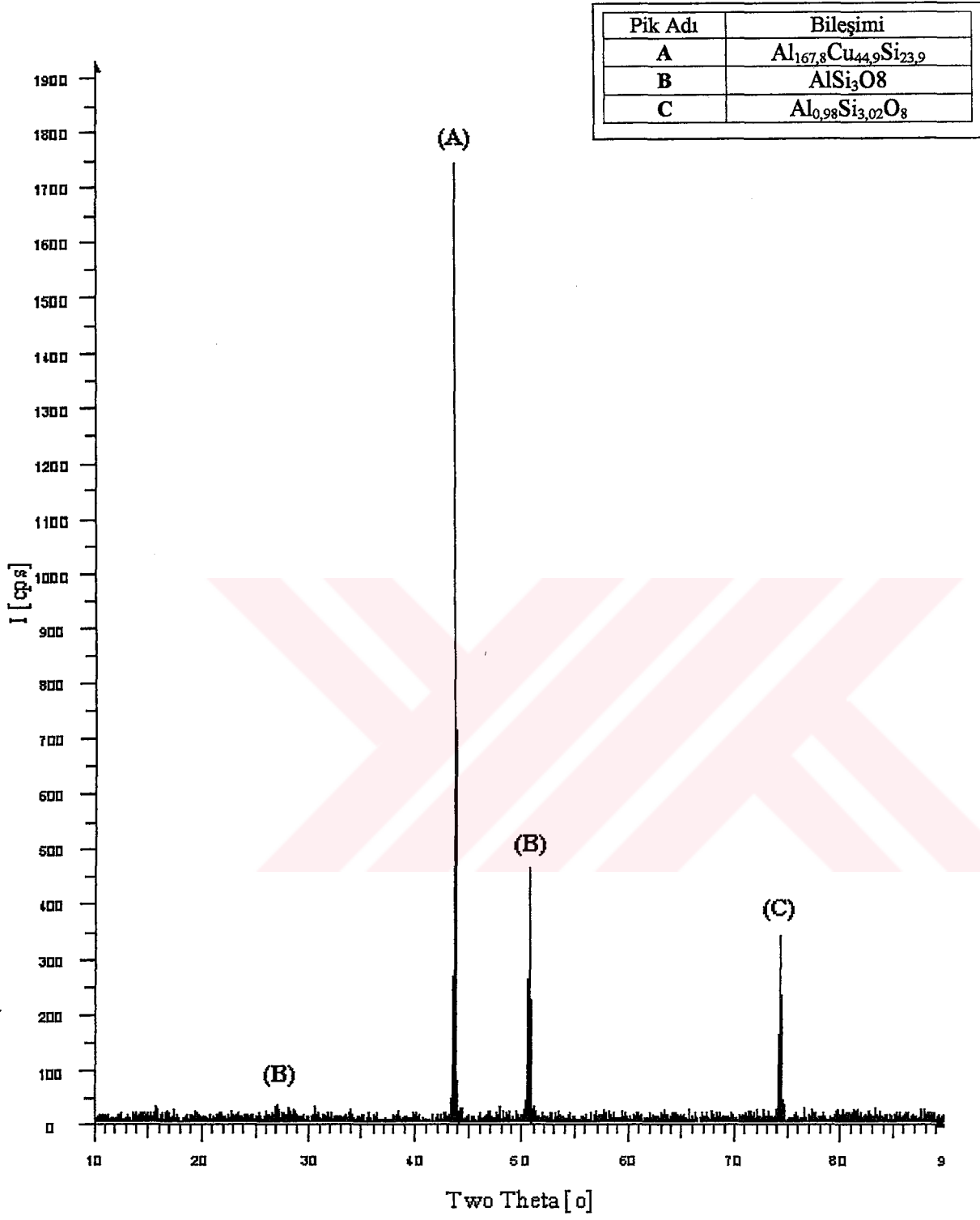


Şekil 6.25. 8 no' lu numunenin C noktasındaki EDS analiz sonucu.

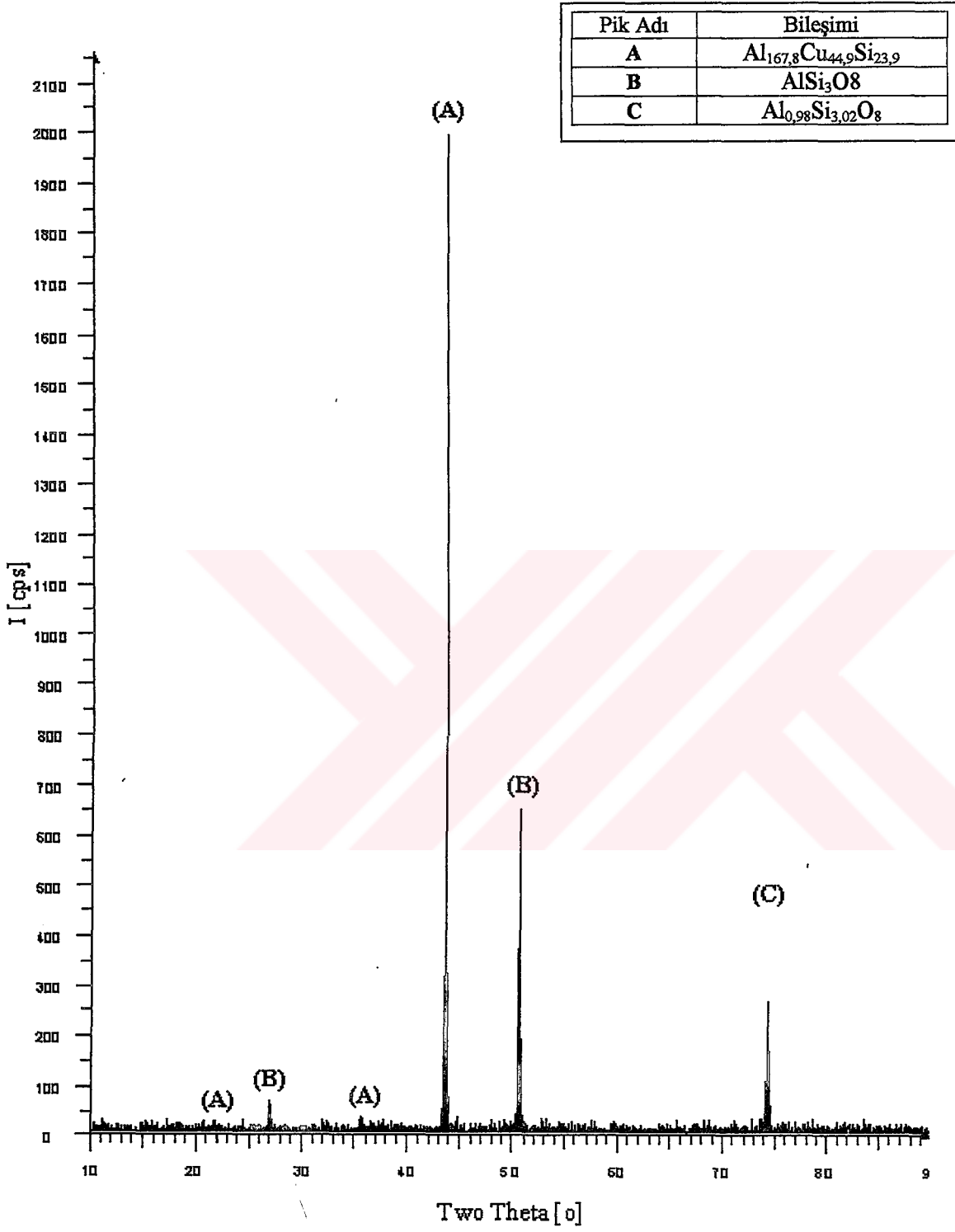
2, 4 ve 8 no' lu numunelerin EDS analizleri birlikte dikkate alındığında, % C miktarının artmasına paralel olarak, ana matristeki C oranının da arttığı görülmektedir. Ayrıca dağılayıcı olarak kullanılan Fe_3Cl çözeltisinden dolayı yapılan EDS analizlerinde Fe ve Cl elementleri de görülmektedir. 1, 4 ve 7 no' lu numunelerin X – Ray analiz sonuçları sırasıyla Şekil 6.26, 6.27 ve 6.28' de verilmiştir.



Şekil 6.26. 1 no' lu numunenin X – Ray analiz sonucu.



Şekil 6.27. 4 no' lu numunenin X – Ray analiz sonucu.



Şekil 6.28. 7 no' lu numunenin X – Ray analiz sonucu.

1, 4 ve 7 no' lu numunelerin X-Ray analizleri sonucunda çıkan piklerin bileşimleri Tablo 6.1' de verilmiştir.

Tablo 6.1. Deney numunelerinde X- ışınları difraksiyonu ile belirlenen piklerin bileşikleri.

Pik Adı	Bileşimi
A	$Al_{167,8}Cu_{44,9}Si_{23,9}$
B	$AlSi_3O_8$
C	$Al_{0,98}Si_{3,02}O_8$

Sinterleme işlemi sonrası numuneler üzerinde alınan X-ray sonuçlarına göre numunelerde $Al_{167,8}Cu_{44,9}Si_{23,9}$, $AlSi_3O_8$, $Al_{0,98}Si_{3,02}O_8$ bileşikleri ana yapı içerisinde tespit edilmiştir. Numunelerin Optik ve SEM fotoğrafları üzerinde bu bileşiklerin tanımlanması mümkün olamamıştır.

6.3. Mikro sertlik Ölçüm Sonuçları

Numunelerin ana matris üzerinden Vickers cinsinden ölçülen mikro sertlik değerleri Tablo 6.11' de verilmiştir. Sertlik ölçümlerinde 10 gr yük kullanılmıştır. Tablo 6.2'de görüldüğü gibi, alüminyum silikat oranının artmasına rağmen karbon oranın da artmasıyla numunelerin sertlik değerinin bir miktar azaldığı görülmektedir.

Tablo 6.2. Numunelere ait mikro sertlik değerleri.

Numune No	Matris Sertliği (Mikro sertlik HV)
1	148
2	146
3	132
4	141
5	125
6	122
7	110
8	108
9	94

6.4. Aşınma Testi Sonuçları

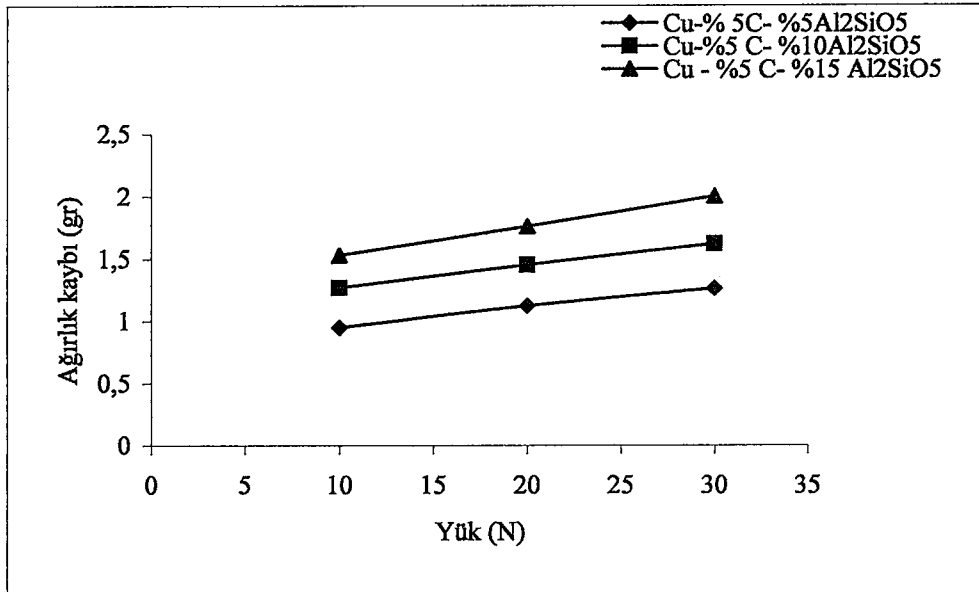
%5, %10 ve %15 hacimsel oranlarda Al_2SiO_5 ve C takviyeli Cu matrisli kompozit numunelerin 30 m aşınma mesafesinde, 10, 20 ve 30 N aşınma yükü kullanarak yapılan aşınma testlerine ait aşınma deneyleri öncesi kaydedilen ağırlıkların deney sonrası ölçülen ağırlıklara olan farkının alınması ile elde edilen gram cinsinden ağırlıkça aşınma miktarları Tablo 6.3' te verilmiştir.

Tablo 6.3. Numunelerin ağırlık kaybı miktarları (gr).

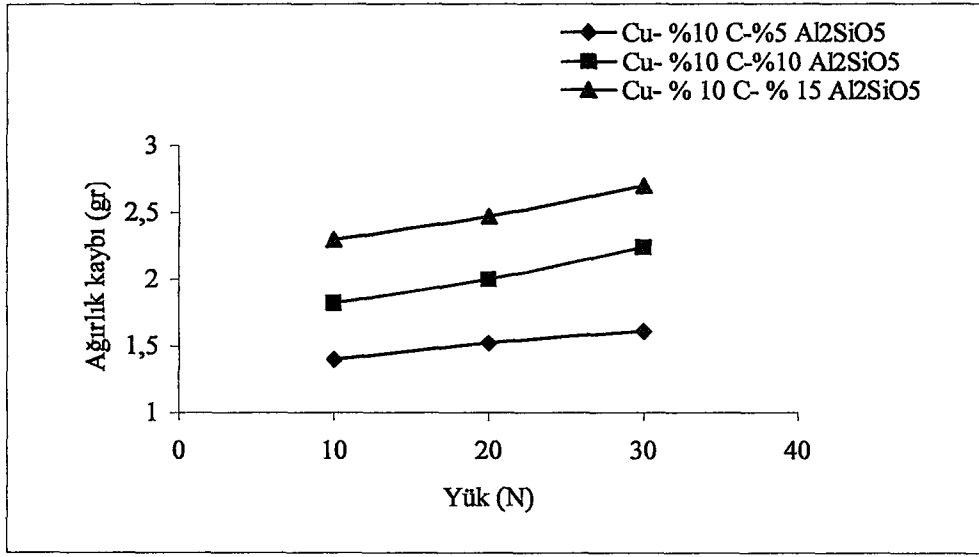
Numuneler	Yük		
Al_2SiO_5 'in Artmasına göre	10N	20N	30N
Cu- %5 C- %5 Al_2SiO_5	0,95	1,1252	1,263
Cu- %5 C- %10 Al_2SiO_5	1,27	1,4529	1,62
Cu- %5 C- %15 Al_2SiO_5	1,53	1,76	2
Cu- %10 C- %5 Al_2SiO_5	1.4	1.52	1.61
Cu- %10 C- %10 Al_2SiO_5	1.82	2	2.24
Cu- %10 C- %15 Al_2SiO_5	2.3	2.47	2.7
Cu- %15 C- %5 Al_2SiO_5	2	2.27	2.6
Cu- %15 C- %10 Al_2SiO_5	2.6	2.78	3
Cu- %15 C- %15 Al_2SiO_5	3.05	3.3	3.5

Numuneler	Yük		
C 'nin Artmasına göre	10N	20N	30N
Cu- %5 Al_2SiO_5 -% 5 C	0.95	1.1252	1.2631
Cu- %5 Al_2SiO_5 -% 10 C	1.4	1.52	1.61
Cu- %5 Al_2SiO_5 -% 15 C	2	2.27	2.6
Cu- %10 Al_2SiO_5 -% 5 C	1.27	1.4529	1.62
Cu- %10 Al_2SiO_5 -% 10 C	1.82	2	2.24
Cu- %10 Al_2SiO_5 -% 15 C	2.6	2.78	3
Cu- %15 Al_2SiO_5 -% 5 C	1.53	1.76	2
Cu- %15 Al_2SiO_5 -% 10 C	2.3	2.47	2.7
Cu- %15 Al_2SiO_5 -% 15 C	3.05	3.3	3.5

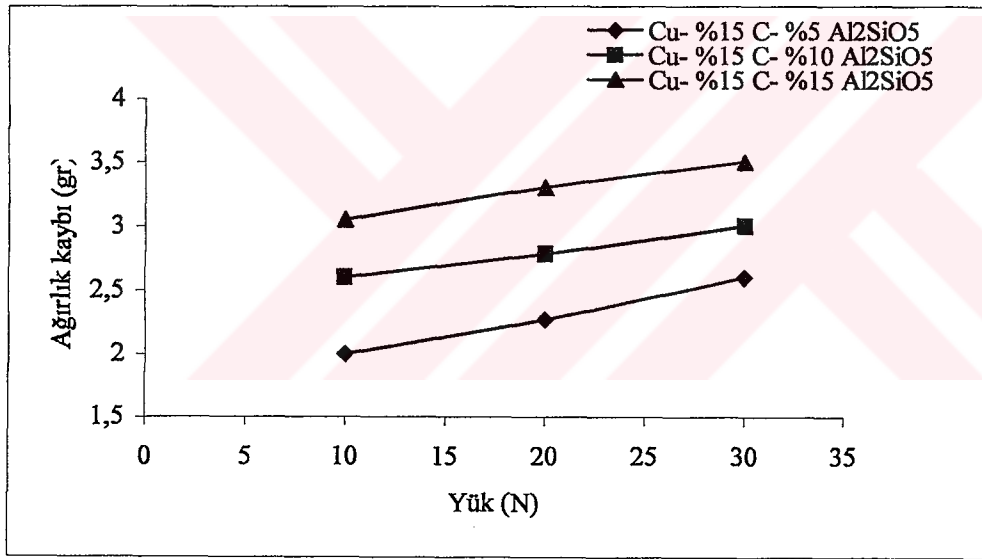
Sabit % hacim oranında C içeren ve %5, %10 ve %15 Al_2SiO_5 takviye partiküllerinin artmasıyla, yük – ağırlık kaybı ilişkileri sırasıyla Şekil 6.29, 6.30 ve 6.31' de verilmiştir.



Şekil 6.29. 1, 2, 3 nolu numunelerin yük-ağırlık kaybı ilişkisi.



Şekil 6.30. 4, 5, 6 nolu numunelerin yük-ağırlık kaybı ilişkisi.



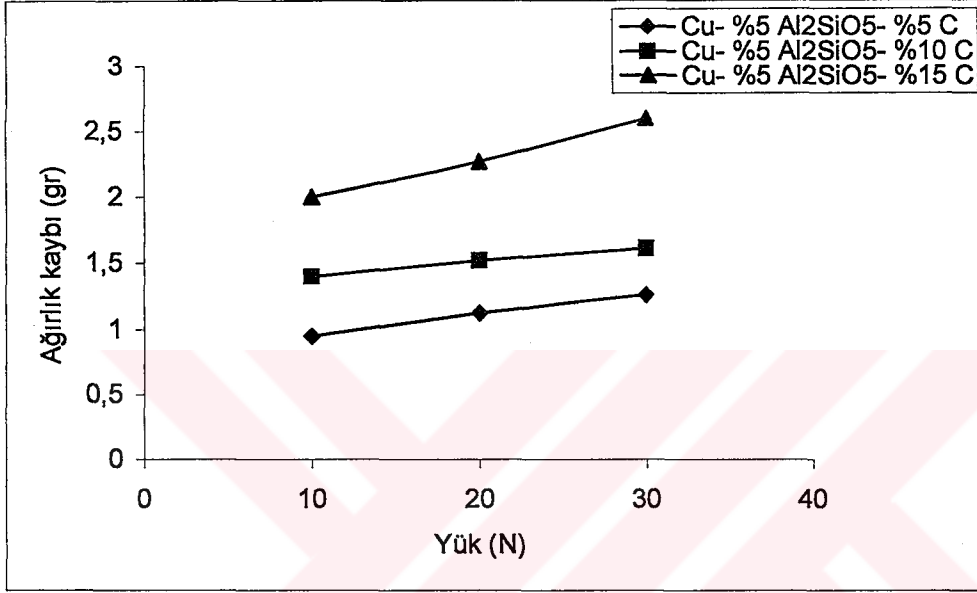
Şekil 6.31. 7, 8, 9 nolu numunelerin yük-ağırlık kaybı ilişkisi.

Grafikler incelendiğinde, Al₂SiO₅ hacim oranının artmasıyla ağırlık kaybının arttığı görülmektedir. Al₂SiO₅ partiküllerinin sertliğinin (6 – 7 Mohs) SiC partiküllerinin sertliğinden (9 Mohs) daha düşük olmasından dolayı, aşınma esnasında SiC partikülleri Al₂SiO₅ partiküllerini kırmaktadır. Dolayısıyla, Al₂SiO₅ partikülleri ara elemanı görevi yapmakta ve üç elemanlı tribolojik sistemi oluşturmaktadır. Ara bölgedeki Al₂SiO₅ partikülleri aşınma işlemi yaparak, ağırlık kaybını arttırmaktadır (Sing vd, 2002).

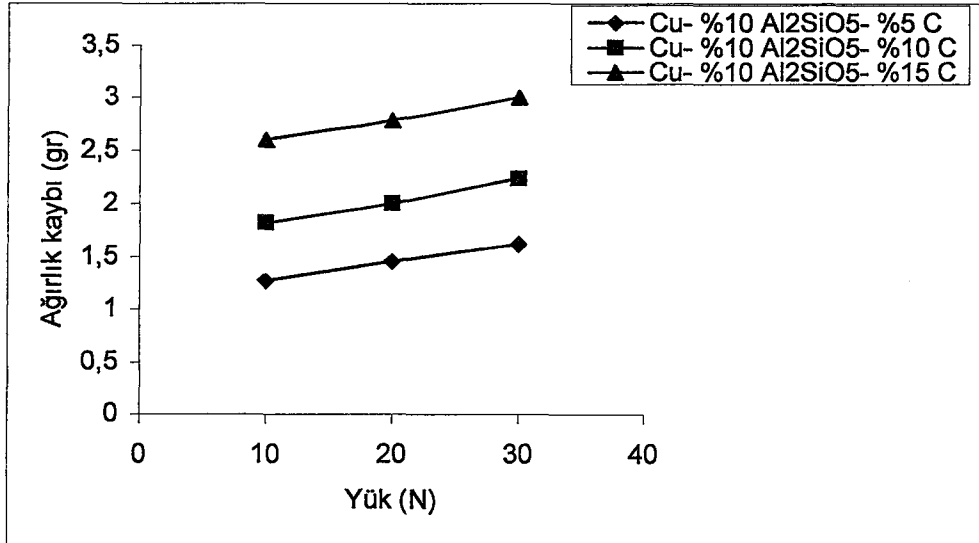
Ayrıca kullanılan takviye partiküllerinin tane boyutunun aşındırıcı tane boyutundan daha küçük olmasından dolayı sert olan aşındırıcı taneler yumuşak matrise batmakta ve

alüminyum silikat partiküllerini sökerek aşınma oranını arttırmaktadır. More (1976) de yapmış olduğu çalışmalar sonucunda belirlediği gibi, aşındırıcı tane boyutu, iz açısı ve uygulanan yükün artmasıyla aşınma oranının arttığını deneysel olarak belirtmiştir.

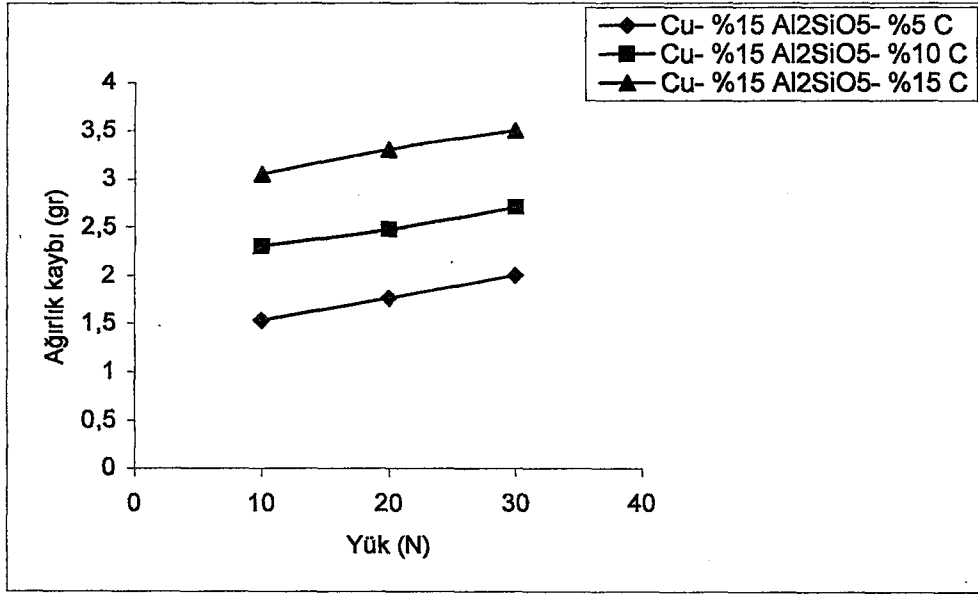
Sabit % hacim oranında Al_2SiO_5 içeren ve %5, %10 ve %15 C takviye partiküllerinin artmasıyla, 1, 4, 7 – 2, 5, 8 – 3, 6, 9 no' lu numunelere ait yük – ağırlık kaybı ilişkileri sırasıyla Şekil 6.32, 6.33 ve 6.34' de verilmiştir.



Şekil 6.32. 1, 4, 7 nolu numunelerin yük-ağırlık kaybı ilişkisi.



Şekil 6.33. 2, 5, 8 nolu numunelerin yük-ağırlık kaybı ilişkisi.

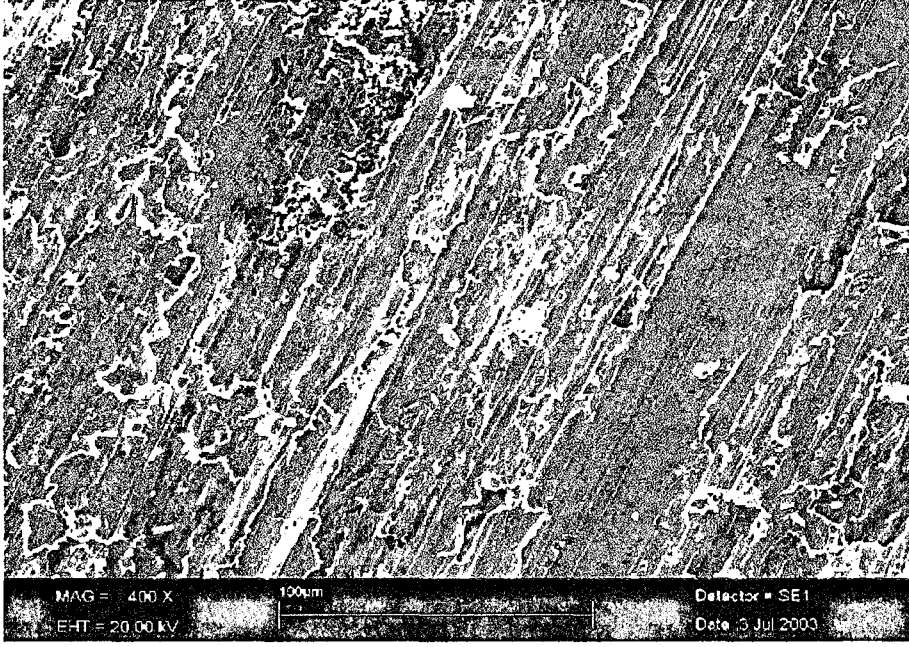


Şekil 6.34. 3, 6, 9 nolu numunelerin yük-ağırlık kaybı ilişkisi.

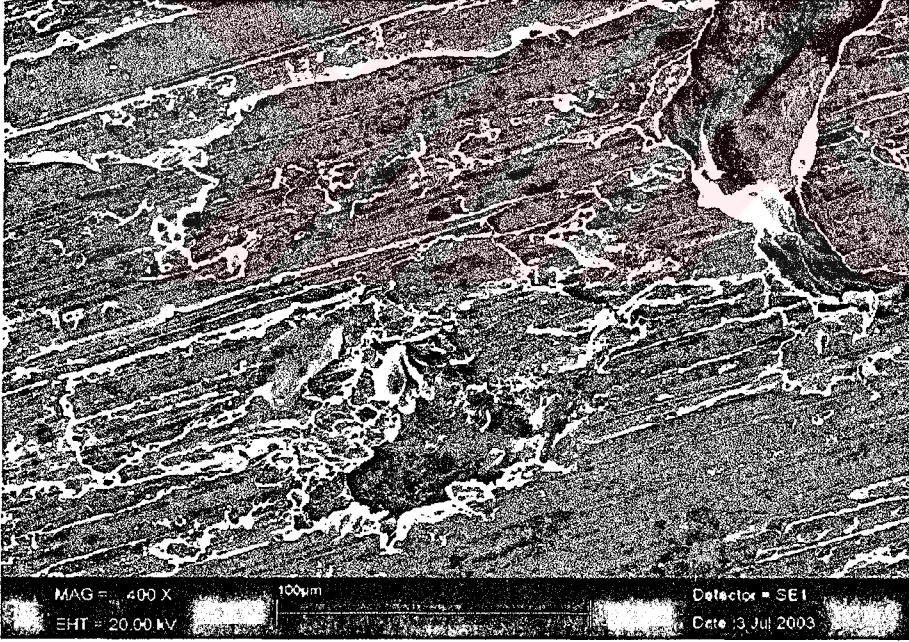
Şekiller incelendiğinde, karbon takviye partiküllerinin hacim oranının artması ile ağırlık kaybının arttığı görülmektedir. Karbon partiküllerinin hacim oranının artırılmasıyla karbonun yağlayıcı özelliğinden ve karbonun bakır matrisinde çözünmediğinden dolayı taneler arasında iyi bir bağlanma gerçekleşmemekte ve malzeme gevrekleşerek, uygulanan yüke bağlı olarak taneler birbirlerinden daha kolay ayrılmakta ve aşınma oranı artmaktadır. Ayrıca, farklı yükler altında aşındırılan numunelere ait SEM fotoğrafları incelendiğinde, ağırlık kayıpları, aşınma çizgileri ve çukur genişliklerinden daha belirgin bir şekilde ayırt edilebilmektedir.

Bazı numunelerinin farklı uygulama yükleri altında aşınma testine tabi tutulduktan sonra alınan yüzey fotoğrafları aşağıda sırasıyla verilmiştir.

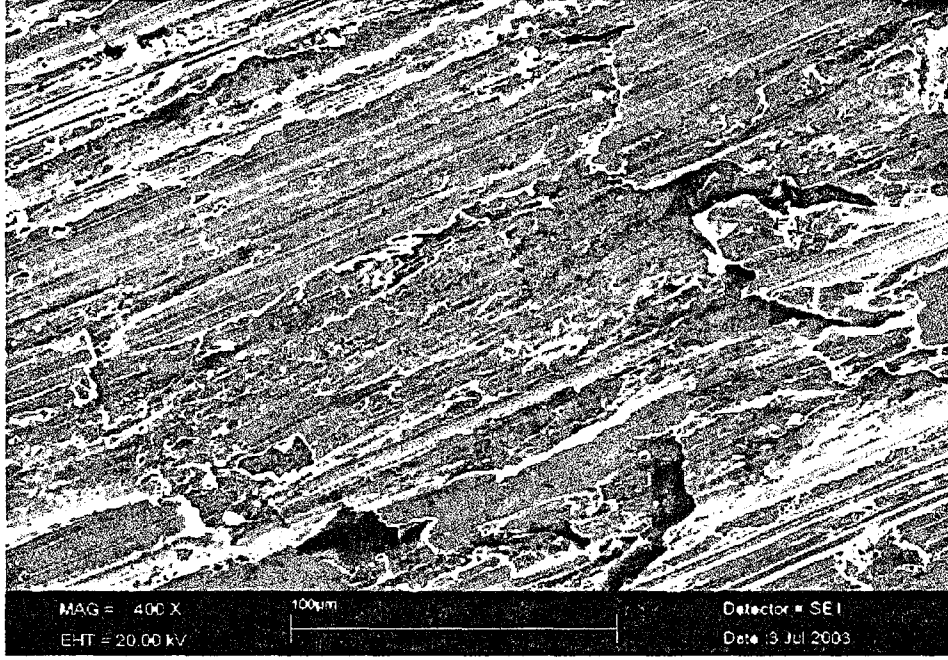
Şekil 6.35, 6.36 ve 6.37' de 1 no' lu numunenin 10, 20 ve 30N uygulama yüklerindeki aşınma yüzeyinden alınan SEM fotoğrafları verilmiştir.



Şekil 6.35. 1 nolu numunenin 10N yük altında aşınma yüzeyinin SEM fotoğrafı.



Şekil 6.36. 1 nolu numunenin 20N yük altında aşınma yüzeyinin SEM fotoğrafı.



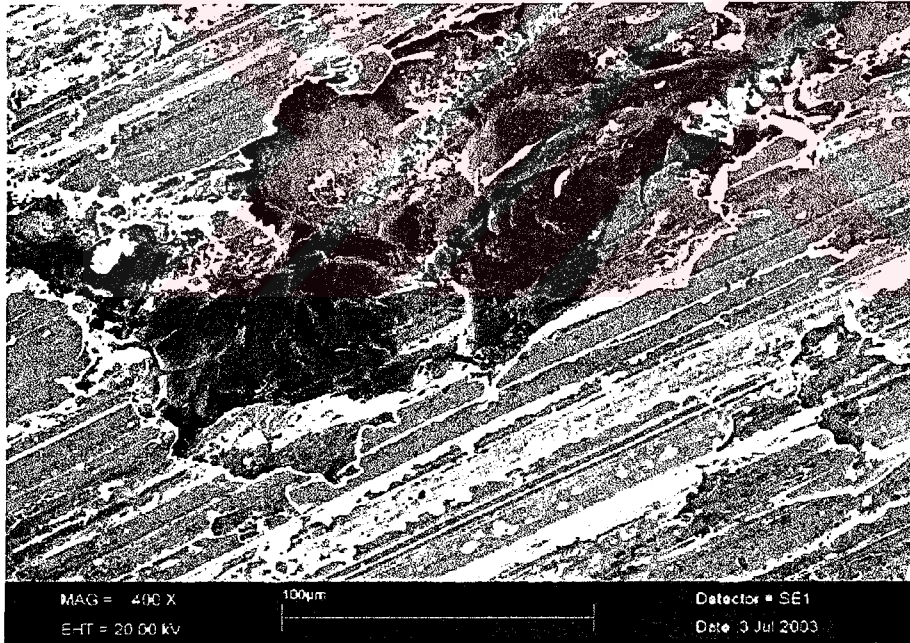
Şekil 6.37. 1 nolu numunenin 30N yük altında aşınma yüzeyinin SEM fotoğrafı .

Şekil 6.35, 6.36 ve 6.37' deki 1 no' lu numunenin SEM fotoğrafları karşılaştırıldığında uygulanan yük oranı arttıkça aşınma izlerinin daha derin ve geniş olduğu, aşınma oranının da arttığını göstermektedir. Yükün artmasına bağlı olarak, takviye partikülü/matris ara yüzeylerindeki yüksek gerilme konsantrasyonlarından dolayı, bu bölgelerde çatlaklar oluşarak takviye partiküllerinin matristen sökülmesine neden olmaktadır.

Şekil 6.35, 6.38 ve 6.39'da 1, 6 ve 9 no' lu numunelerin 10N yük altındaki aşınma yüzeylerinin SEM fotoğrafları verilmiştir.



Şekil 6.38. 6 nolu numunenin 10N yük altında aşınma yüzeyinin SEM fotoğrafı.



Şekil 6.39. 9 nolu numunenin 10N yük altında aşınma yüzeyinin SEM fotoğrafı .

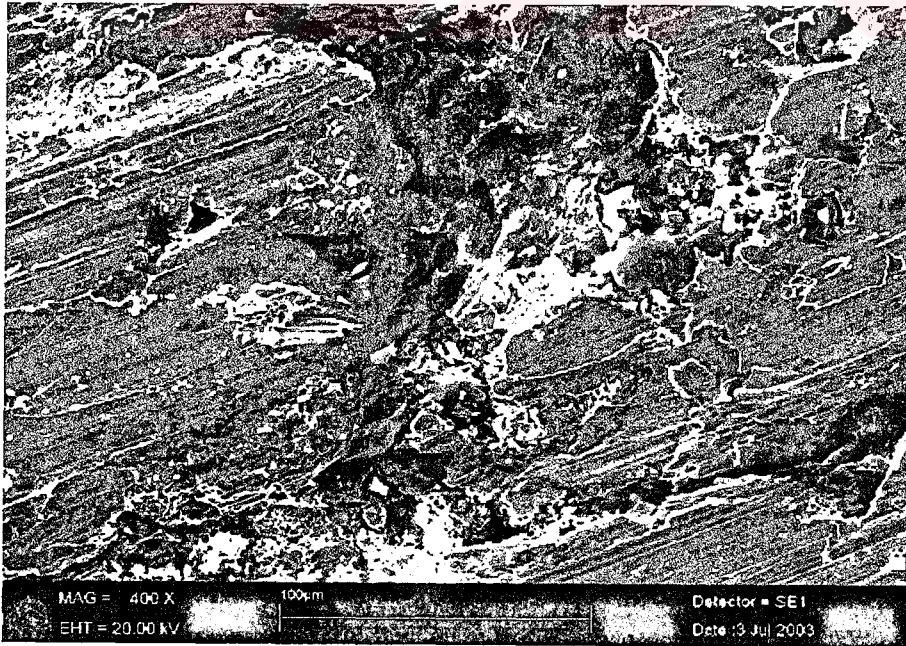
Al_2SiO_5 ve C hacim oranının %5 olduğu durumda, takviye partiküllerinin matrisin mukavemetini nisbeten arttırdıkları ve oluşan aşınma yüzeyinin daha sık ve geniş aşınma izlerinden meydana geldiği görülmektedir. Ancak takviye elemanlarının artmasıyla, hem takviye partiküllerinin tane boyutunun matris partikülünden büyük olması hem de C ve Al_2SiO_5

matris/takviye partikülü ara yüzeyinin yetersiz mukavemetinden dolayı takviye elemanları matristen sökülmemekte aşınma izleri daha derin ve sık aralıklı gerçekleşmektedir. Böylece ağırlık kaybı da artmaktadır. Singh ve diğ. (2002) yapmış oldukları çalışmalarda da benzer sonuçlar elde etmişlerdir.

Şekil 6.39, 6.40 ve 6.41' de 9 no' lu numunenin 10, 20 ve 30N yük kullanılarak aşındırılmaları neticesinde yüzeyden alınan SEM fotoğrafları verilmiştir.



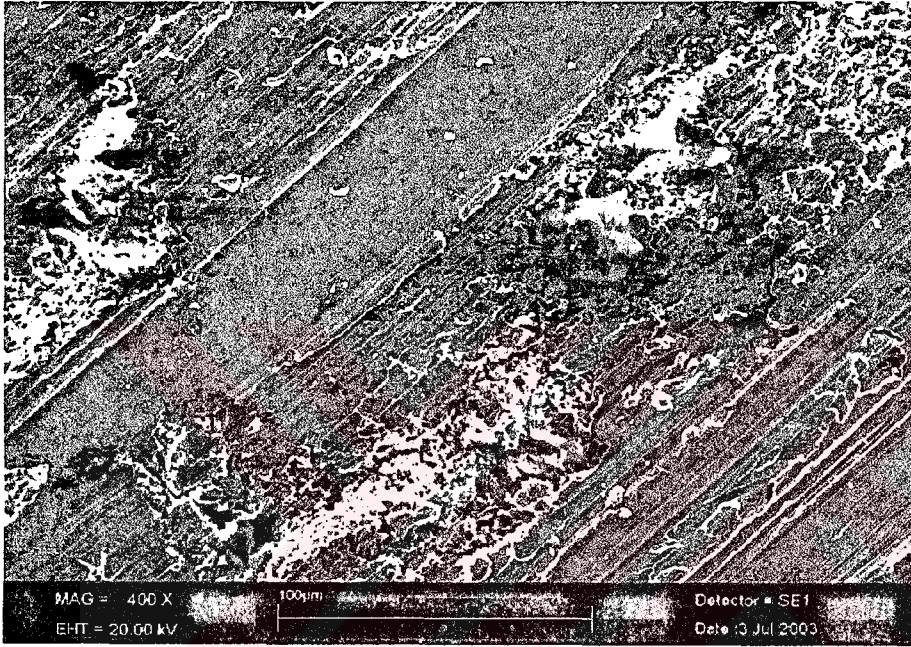
Şekil 6.40. 9 nolu numunenin 20N yük altında aşınma yüzeyinin SEM fotoğrafı.



Şekil 6.41. 9 nolu numunenin 30N yük altında aşınma yüzeyinin SEM fotoğrafı .

Fotoğraflar incelendiğinde, uygulanan yük oranı artıkça, matris ile takviye partikülü arasında yoğunlaşan gerilmelere bağlı olarak aşınma yüzeylerinde oluşan çatlak boyutu ve yoğunluğun arttığı görülmektedir. Bu çatlaklar aşınma sırasında birleşerek yüzeyden parçacıkların kopmasına neden olmaktadır. Dolayısıyla aşınma mekanizmasında mikro çatlaklarla gelişen parçacık ayrılmasının etkin olduğu söylenebilir.

Şekil 6.42' de 6 no' lu numunenin 30N yük kullanılarak aşındırılması neticesinde yüzeyden alınan SEM fotoğrafı verilmiştir.



Şekil 6.42. 6 nolu numunenin 30N yük altında aşınma yüzeyinin SEM fotoğrafı.

Fotoğraf incelendiğinde, Al_2SiO_5 ve C partikülünün aşınma esnasında kendisinden sert olan aşındırıcı SiC' e karşı direnç göstermediği ve parçalanarak yüzeyde dağıldığı görülmektedir.

7. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada 43 µm tane boyuna sahip bakır tozuna, hacim olarak % 5, % 10, % 15 oranlarında 60 µm' luk C ve Al₂SiO₅ takviye elemanları katılarak; toz metalurjisi yöntemiyle üretilen Cu-C-Al₂SiO₅ kompozitinin farklı yüklerde (10, 20 ve 30N) abrasiv aşınma davranışında alüminyum silikat ve karbonun etkisi araştırılmıştır. Yapılan incelemeler sonucunda, aşağıda belirtilen sonuçlar elde edilmiştir;

1. Metalografik incelemeler neticesinde alüminyum silikat partiküllerinin bakır matris içerisine homojen olarak dağıldığı karbon partiküllerinin ise; bakır tanelerinin sınırlarına veya alüminyum silikat partiküllerinin etrafında dağıldığı gözlenmiştir.
2. Yapılan mikroyapı incelemeleri neticesinde sinterlemeden sonra matris içerisinde Al_{167,8}Cu_{44,9}Si_{23,9}, AlSi₃O₈, Al_{0,98}Si_{3,02}O₈ bileşiklerinin oluştuğu ve C' nun çözünmediği tespit edilmiştir.
3. Matris içerisindeki alüminyum silikat takviye partiküllerinin % hacim oranının artırılmasıyla malzemedeki aşınma oranının arttığı tespit edilmiştir.
4. Matris içerisindeki karbon takviye partiküllerinin % hacim oranının artırılmasıyla malzemedeki aşınma oranının arttığı tespit edilmiştir.
5. Uygulanan yük miktarı arttıkça bütün numunelerde aşınma oranının da arttığı tespit edilmiştir.

Bu çalışmadan farklı olarak,

1. Aynı yöntemler ile üretilmiş malzemelerin ısı ve mekanik özellikleri araştırılabilir.
2. Bu malzemelerin farklı aşınma şartlarındaki aşınma davranışları araştırılabilir.
3. Bu malzemenin abrasiv aşınma işlemi esnasında numune yüzeyinde oluşan sıcaklık değişimi araştırılabilir.

KAYNAKLAR

- AKKURT, M., (1977), The Reliability of Machine Elements Due to Wear. İ.T.Ü. Dergisi, 30, 2, 111-127, İstanbul
- ALPUGAN, Z., 1981, T/M' de Presleme Tekniği ve Nükleer Yakıt Üretimine Uygulanması. Tübitak
- ATAMERT, S., (1989). Ph. D. Thesis , Universty of Cambridge , England.
- BLAU, P. J. And BUDİNSKI, K. G., (1999), Development and Use of ASTM Standarts for Wear Testing. Wear, 225-229, 1159-1170.
- ÇAM, G., KOÇAK, M., (1998)., "Progress in Joining of Advanced Materials, Part-2: Joining of Metal Matrix Composites and Joining of Other Advanced Materials", Science and Technology of Welding and Joining, Vol.3, No.4, p. 159-176
- ÇITAK, R., (1998). "Metalik Baryum-Alüminyum Başlangıç Tozlarının Düşük Sıcaklıkta Oksidasyonu ile Alüminyum Metal Kompozit Üretimi", Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- DEMİRCİ, A.H., (1982), Ötektoidaltı Alaşımsız Çeliklerin Yeni İmal Edilen Bir Sürtünme Aşınma Deney Standardında, Isıl İşlemlere Bağlı Olarak Aşınma Davranışlarının İncelenmesi. E.Ü.F., Doçentlik Tezi, İzmir.
- DIXON, R. H. T., 1971, Powder Metallurgy for Engineers. The Machinery Publishing Co. Ltd.
- DONALD, R.A., (1988), "Composite Materials". The Science and Engineering of Materials. SI Edition, Van Nostrand Reinhold. Co. Ltd., 507-546.
- ELLIS, J., (1996), "Joining of Aluminum Based Metal Matrix Composites", International Materials Reviews, Vol.41, No.2, 41-58.
- GEDİKTAŞ, M., (1970). Sürtünme ve Aşınma. İ.T.Ü. Dergisi. 28: 27-30, İstanbul.
- GÜRLEYİK, M., (1975). Metallerin ve Metal Olmayan Sert Maddeler Tarafından Sürtünerek Aşındırılması. Mühendis ve Makine Dergisi. 19:37-45
- HİSAKADO, T., (1976), The Influnce of Surface Roughness on Abrasive Wear. Wear, 4, 179-190.
- HERMAN, S., 1978, „ Sintering An Economical Process For The Manufacture Of Metalic Precision Parts.”, Mannesman Konferans Notları, Almanya.
- İPEK, R. ve KARAMIŞ, M. B., (1999), Aşınma Test Yöntemleri ve Gelişmeler. Mühendis ve Makine, 40, 469, Ankara.
- KAMAT, S.V., (1998) "Fracture Toughness of Particulate-Reinforced Aluminum Matrix Composites", Ph.D.Thesis, The Ohio State University.

- KAYALI, E.S., ERUSLU. N., ÜRGEN, M., TAPTIK. Y., ÇİMENÖĞLU, H.,(1997). Hasar Analizi Seminer Notları, İstanbul.
- KELEŞTİMUR, H., (1989). Makine Yapı Çeliklerinin Abrasiv Aşınma Direncine Yüzey Sertliğinin Etkisi ve Diğer Mekanik Özelliklerle Etkisinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Elazığ.
- KRAGELSKY, I.V., (1960). Contact Area Of Rough Surfaces Wear. 3:170-187
- KURT, A. ve SARITAŞ, S., 1992, Toz Metal Yatak Malzemelerinin Özellikleri, 5. Ulusal Makine Tasarımı ve İmalat Kongresi, ODTÜ, Ankara.
- LARSEN, J.A., (1990). Ser. Met. Et. Material. Vol. 24, S. 821-824.
- LIENERT, T., J., LANE, C.T., GOULD, J.E., (1993), "Selection and Weldability of Aluminum Metal Matrix Composites", Welding, Brazing and Soldering, Volume 6, ASM Handbook, p. 554-559.
- MORE, M.A., (1974). A Review Of Two-Body Abrasive Wear. Wear. 27:1-17.
- MOUSTAFA, S.F., ABDEL- HAMİD, Z., ABD-ELHAY, A.M., 2002, Copper matrix SiC and Al₂O₃ Particulate composites by powder metallurgy technique. Materials Letters 53, Pages 244-249.
- MURATOĞLU, M., (1997). SiC Katkılı 2124 Alüminyum Kompoziti ve Yaşlandırılmış Kompozitin Aşınma Davranışlarının Araştırılması, Doktora Tezi, Elazığ.
- ÖZMEN, Y., CAN, A.Ç., AKSOY, T., (1991). Aşınmaya Etki Eden Faktörler ve aşınmanın azalması için alınacak tedbirler, 4. Denizli Sempozyumu. S. 651-664.
- PEKİN , Ş., VUORISTI, P., MANTYLA,T., (1993). System Aproach for Wear Rezistant Coatings, Worksshop on Anti-Wear Coatings, TÜBİTAK-MAM, Kocaeli.
- ROBINOWICZ, E., (1976). Friction And Wear Of Material, London.
- SAMUEL, F.H., SAMUEL, A.M., (1995), "Heat-Treatment Parameters for a 359/Al₂O₃/10P Composites Modified with 0.07 wt.% Strontium", Composite Science and Technology, 53, 85-98.
- SARITAŞ, S.,1985 Çeliklerin Toz Dövmecilik , O.D.T.Ü. Uygulamalı Araştırmalar Dergisi Cilt: 3, Sayı:11, Syf: 1-26, Ankara
- SARITAŞ, S., 1994. "Toz Metalurjisi." M.M.O., Yayın No: 169, Sayfa No: 64,2 Basım, Ankara.
- SARITAŞ, S., 1995, Powder Metallurgy Processed Materials. Metallurgy and Materials, sayfa 437-445. Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Ankara.
- SİNGH, M., MONDAL, D.P., MODİ, O.P., JHA, A.K., (2002), " Two-body Abrasive Wear Behaviour of Aluminium Alloy-sillimanite Particle Reinforced Composite, Wear , 253, 357-368, India.

- TJONG, S.C., LAU, K.C., 1999, Tribological behaviour of SiC particle-reinforced copper matrix composites. Materials Letters 43, Pages 274-280.
- ÜNAL, R., 1995, Gaz Atomizasyonu ile Metal Tozu Üretim Değişkenlerinin Araştırılması. Yük. Lis. Tezi, Gazi Üniv. Fen Bil. Enst, Ankara.
- YILMAZ, F., (1997). Sürtünme ve Aşınma. 9.Ulusal Metalurji ve Malzeme Kongresi, Cilt. 1, S. 229-256.



ÖZGEÇMİŞ

1978 yılında Elazığ’ da doğan Çetin ÖZAY, 1996 yılında Elazığ Gazi Anadolu Endüstri Meslek Lisesinden mezun oldu. Aynı yıl Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Talaşlı Üretim Öğretmenliğini kazandı. 2000 yılında bu bölümden mezun oldu. Halen Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümünde araştırma görevlisi olarak görev yapmaktadır.

