

**FERROKROM CÜRUFUNUN MİKRO ÖLÇEKLİ ABRAZYON TESTİ İLE
AŞINDIRMA ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Azmi ERDOĞAN

**Bartın Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**BARTIN
Haziran, 2012**

KABUL:

Azmi ERDOĞAN tarafından hazırlanan “FERROKROM CÜRUFUNUN MİKRO ÖLÇEKLİ ABRAZYON TESTİ İLE AŞINDIRMA ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek, Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir. (25.06.2012)

Başkan: Doç. Dr. İsmail Özdemir (BÜ)



Üye: Yrd. Doç. Dr. Yılmaz KÜÇÜK (BÜ)



Üye: Yrd. Doç. Dr. M. Sabri GÖK (BÜ)



ONAY:

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylıyorum. (24.7/2012)



Prof. Dr. Ali Naci TANKUT

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

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

Azmi ERDOĞAN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

FERROKROM CÜRUFUNUN MİKRO ÖLÇEKLİ ABRAZYON TESTİ İLE AŞINDIRMA ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Azmi ERDOĞAN

Bartın Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. M. Sabri GÖK

Haziran 2012, 83 sayfa

Bu çalışmada Elazığ Ferrokrom İşletmesi'nde ferrokrom üretimi sırasında yan ürün olarak ortaya çıkan ve endüstriyel bir atık olan ferrokrom cürufunun aşındırıcı özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Ülkemizde aşındırıcı olarak kullanmak için kayda değer bir üretim yoktur. Genel olarak aşındırıcı ihtiyacı yurt dışından ithal etme yoluyla karşılanmaktadır. Bu çalışmada aşındırıcı özellikleri belirlenmeye çalışılan metal üretim atığı olan cüruflar işletmeler için çıkardığı sorunların yanında çevresel problemlere de sebep olmaktadır. Bu amaçla bu çalışmada ferrokrom cürufu; SiC ve Al₂O₃ aşındırıcılar ile kıyaslanarak aşındırıcı olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Mikro ölçekli aşınma özelliklerini belirleyen top-krater testi ile hazırlanan solüsyonlarla bu üç malzemenin aşındırma yetenekleri belirlenmiştir. Testler düşük karbonlu çelik, alüminyum, bakır, kurşun ve yüksek hız takım çeliği gibi farklı malzemeler üzerinde yapılmış oluşturulan krater izleri taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmiş ve optik mikroskop ile krater çapları ölçülmüştür.

Anahtar Sözcükler: Ferrokrom Cürufu, Aşınma, Mikro Aşınma

Bilim Kodu: 604.02.01

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

THE INVESTIGATION OF WEAR BEHAVIOUR OF FERROCHROMIUM SLAG WITH MICRO ABRASION TEST

Azmi ERDOĞAN

Bartın University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Metallurgical and Materials Engineering

Thesis Advisor: Assist. Prof. Dr. M. Sabri GÖK

June 2012, 83 pages

In this study; wear behaviour of waste material Ferrochromium slag which was provided from Elazığ Ferrochromium Plant is investigated. There is not sufficient abrasive production in our country. Generally abrasive powder needs provide from abroad by import. Ferrochromium production slag which is the topic of this thesis generates lots of problems to factories and generates many environmental problems. For this reason in this study ferrochromium slag compared with SiC and Al₂O₃ to determine abrasive features for using as a abrasive powder. With these materials, three different solutions prepared to determine wear properties by Micro-Abrasion Wear Test. Tests applied to 5 different materials which are iron, HSS, copper, aluminum and lead. Created craters analyze with profilometer, SEM and optic microscope.

Key words: Ferrochromium slag, wear, mikro abrasion

Science Code: 604.02.01

TEŞEKKÜR

Bu tezin önerilmesinde ve yönlendirilmesinde benden her türlü yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Bartın Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi Sayın Yrd. Doç. Dr. M. Sabri GÖK'e teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Ayrıca; deneysel çalışmalarda ve analizlerde bana yardımcı olan Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi Sayın Doç. Dr. İsmail ÖZDEMİR'e, Mühendislik Fakültesi Arş. Gör. Deniz AKTAŐ'a, Arş. Gör. Ercan GEMİCİ'ye ve öğrenciliğim boyunca maddi ve manevi desteklerini benden esirgemeyen başta eşim olmak üzere aileme candan teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
TABLolar DİZİNİ	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xix
BÖLÜM 1 GİRİŞ	1
BÖLÜM 2 AŞINMA	3
2.1 AŞINMA ÇEŞİTLERİ	5
2.1.1 Adhesiv Aşınma	5
2.1.1.1 Kazımalı ve Yenme (Fretting) Aşınması	6
2.1.1.2 Galling Aşınması	6
2.1.1.3 Sürümeli (Scuffing) Aşınması.....	7
2.1.1.4 Oksidasyon Aşınması	7
2.1.2 Abrasiv Aşınma	7
2.1.3 Erozyon Aşınması	9
2.1.3.1 Katı Partikül Erozyonu	10
2.1.3.2 Sıvı Damlası Erozyonu	10
2.1.3.3 Katı Partikül Taşıyan Akışkan Ortam Erozyonu	10
2.1.3.4 Kavitasyon Erozyonu	11
2.1.3.5 Elektro Erozyon	11
2.1.4 Korozyon Aşınması	11

İÇİNDEKİLER(devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
2.1.5 Yorulma Aşınması	12
2.2 AŞINMA MUKAVEMETİNİ ARTIRMA İŞLEMLERİ	12
2.2.1 Pürüzlülük	12
2.2.2 Sertlik	12
2.2.3 Tane Boyutu	13
2.2.4 Malzeme Boyutu	13
2.2.5 Yüzey İşlemleri	13
2.2.6 Ortamın Etkisi	13
2.2.7 Sıcaklık	13
2.2.8 Atmosfer	14
2.2.9 Nem	14
2.2.10 Malzeme Seçimi	14
2.2.11 Yağlama	14
2.2.12 İşletme Koşulları	15
2.2.12.1 Hız, Kayma Yolu	15
2.2.12.2 Yük	15
2.2.12.3 Zaman	15
BÖLÜM 3 BAZI AŞINMA DENEY YÖNTEMLERİ	17
3.1 AŞINMA DENEY CİHAZLARI	17
3.1.1. Pim - Disk Cihazı	17
3.1.2 Levha - Kayış Cihazı.....	18
3.1.3 Dört Bilya Düzeneği	18
3.1.4 Çapraz Silindir Deney Cihazı	18
3.1.5 Top Krater Testi	20
3.2 AŞINMA ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ	21
3.2.1 Ağırlık Farkı Metodu	21
3.2.2 Kalınlık Farkı Metodu	22
3.2.3 İz Değişim Metodu	22
3.2.4 Radyoizotop Metodu	23

İÇİNDEKİLER(devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 4 AŞINMADAN KORUNMA YÖNTEMLERİ	25
4.1 DİFÜZYONLA YÜZEY SERTLEŞTİRME	25
4.1.1 Sementasyon	25
4.1.2 Nitrasyon	25
4.1.3 Borlama	26
4.2 TERMAL SPREY KAPLAMA YÖNTEMLERİ	26
4.2.1 Alev Püskürtme	28
4.2.2 Elektrik Ark Püskürtme	29
4.2.3 Detonasyon Tabancası (Patlamalı Püskürtme)	30
4.2.4 Plazma Püskürtme	30
4.2.5 Yüksek Hızlı Oksi-Yakıt (Hvof) Püskürtme	30
4.2.6 Soğuk Püskürtme Yöntemi	31
BÖLÜM 5 FERROKROM	33
5.1 ÜRETİM TEKNOLOJİSİ	34
5.2 FERROKROM CÜRUFU	36
BÖLÜM 6 LİTERATÜR ÖZETİ	37
BÖLÜM 7 DENEYSEL ÇALIŞMALAR	45
7.1 DENEYİN AMACI	45
7.2 DENEY DÜZENİĞİ ve DENEY PARAMETRELERİ	46
7.3 DENEYLERDE KULLANILAN NUMUNELER	49
7.3.1 Hss (Kesici Takım).....	49
7.3.2 Alüminyum	49
7.3.3 Bakır	49
7.3.4 Çelik	50
7.3.5 Kurşun	50

İÇİNDEKİLER(devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 8 AŞINMA SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME	51
8.1 ALÜMİNYUM BULGULAR	53
8.2 BAKIR BULGULAR	59
8.3 SADE KARBONLU ÇELİK BULGULAR	64
8.4 HSS BULGULAR	68
8.5 KURŞUN BULGULAR	73
 BÖLÜM 9 SONUÇ	 77
 KAYNAKLAR	 79
ÖZGEÇMİŞ	83

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Adhesiv aşınma meydana gelişi	5
2.2 Abrasiv aşınma.....	8
2.3 Saf metallerin abrasiv aşınma özelliklerine sertliğin etkisi.....	8
2.4 Farklı türlerde erozyon aşınması	9
3.1 Pim disk cihazının şematik görünüşü.....	18
3.2 Levha-kayış cihazının görünümü	18
3.3 Dört bilya deney düzeneği	19
3.4 Çapraz silindir deney düzeneği	20
3.5 Mikro abrazyon aşınma testi şeması	21
4.1 Alev püskürtme yöntemi	28
4.2 Elektrik ark sprey	29
4.3 Yüksek hızlı oksî-yakıt püskürtme yöntemi	31
7.1 Ball-Crater test düzeneği şematik resmi	47
7.2 Kırma işleminden önce ferrokrom cürufu	47
8.1 Öğütölmüş ferrokrom cürufu 5000 büyütme	51
8.2 Öğütölmüş ferrokrom cürufu 10000 büyütme	51
8.3 SiC aşındırıcı partiköl	52
8.4 Al ₂ O ₃ aşındırıcı partiköl.....	52
8.5 Alüminyum numuneye ait mikro abrazyon deney sonuçları	53
8.6 SiC ile 160 dv 90 saniye aşındırılmış alüminyum numune aşınma krateri.....	54
8.7 Al ₂ O ₃ ile 160 dv 90 saniye aşındırılmış alüminyum numune aşınma krateri	54

ŞEKİLLER DİZİNİ(devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
8.8 FeCr cürufu ile 160 dv 90 saniye aşındırılmış alüminyum numune aşınma krateri	55
8.9 SiC ile aşındırılmış alüminyum aşınma yüzeyi SEM görüntüsü	56
8.10 FeCr cürufu ile aşındırılmış alüminyum aşınma yüzeyi SEM görüntüsü	56
8.11 Al ₂ O ₃ ile aşındırılmış alüminyum aşınma yüzeyi SEM görüntüsü a	57
8.12 Al ₂ O ₃ ile 160 dv 270 sn aşındırılmış alüminyum numune yüzey profilometresi	57
8.13 FeCr cürufu ile 160 dv 270 sn aşındırılmış alüminyum numune yüzey profilometresi..	58
8.14 SiC ile 160 dv 270 sn aşındırılmış alüminyum numune yüzey profilmetri	58
8.15 Bakır numuneye ait mikro abrazyon deney sonuçları	59
8.16 Al ₂ O ₃ ile 160 dv 180 saniye aşındırılmış bakır numune aşınma krateri	60
8.17 FeCr cürufu ile 160 dv 180 saniye aşındırılmış bakır numune aşınma krateri	60
8.18 SiC ile 160 dv 180 saniye aşındırılmış bakır numune aşınma krateri.....	60
8.19 SiC ile aşındırılmış bakır aşınma yüzeyi SEM görüntüsü	61
8.20 FeCr cürufu ile aşındırılmış bakır aşınma yüzeyi SEM görüntüsü	61
8.21 Al ₂ O ₃ ile aşındırılmış bakır aşınma yüzeyi SEM görüntüsü	62
8.22 Al ₂ O ₃ ile 160 dv 270 sn aşındırılmış bakır numune yüzey profilometresi	63
8.23 SiC ile 160 dv 270 sn aşındırılmış bakır numune yüzey profilometresi	63
8.24 Çelik numuneye ait mikro abrazyon deney sonuçları	64
8.25 Al ₂ O ₃ ile 160 dv 270 saniye aşındırılmış çelik numune aşınma krateri.....	65
8.26 FeCr cürufu ile 160 dv 270 saniye aşındırılmış çelik numune aşınma krateri.....	65
8.27 SiC ile 160 dv 270 saniye aşındırılmış numune aşınma krateri	65
8.28 SiC ile aşındırılmış çelik aşınma yüzeyi SEM görüntüsü	66
8.29 FeCr cürufu ile aşındırılmış çelik aşınma yüzeyi SEM görüntüsü	67
8.30 Al ₂ O ₃ ile aşındırılmış çelik aşınma yüzeyi SEM görüntüsü	67
8.31 FeCr ile 160 dv 270 sn aşındırılmış çelik numune yüzey profilometresi	68

ŞEKİLLER DİZİNİ(devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
8.32 HSS numuneye ait Mikro abrazyon deney sonuçları	68
8.33 Al ₂ O ₃ ile 160 dv 180 sn aşındırılmış HSS çeliği aşınma krateri.....	69
8.34 FeCr cürufu ile 160 dv 180 sn aşındırılmış HSS çeliği aşınma krateri	69
8.35 SiC ile 160 dv 180 sn aşındırılmış HSS çeliği aşınma krateri	70
8.36 SiC ile aşındırılmış HSS çeliği SEM görüntüsü	70
8.37 FeCr cürufu ile aşındırılmış HSS çeliği SEM görüntüsü	71
8.38 FeCr cürufu ile 160 dv 270 sn aşındırılmış HSS çeliği yüzey profilometresi	72
8.39 SiC ile 160 dv 270 sn aşındırılmış HSS çeliği yüzey profilometresi	72
8.40 Kurşun numuneye ait mikro abrazyon deney sonuçları	73
8.41 Al ₂ O ₃ ile 160 dv 180 saniye aşındırılmış kurşun numune aşınma krateri.....	74
8.42 FeCr cürufu ile 160 dv 180 saniye aşındırılmış kurşun numune aşınma krateri.....	74
8.43 SiC ile 160 dv 180 saniye aşındırılmış kurşun numune aşınma krateri	74
8.44 SiC ile aşındırılmış Kurşun aşınma yüzeyi SEM görüntüsü	75
8.45 FeCr cürufu ile aşındırılmış Kurşun aşınma yüzeyi SEM görüntüsü	75
8.46 Al ₂ O ₃ ile aşındırılmış Kurşun aşınma yüzeyi SEM görüntüsü	76

TABLolar DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
5.1 Ferrokrom cürufunun yaklaşık bileşimi	36
7.1 Deneysel çalışmalarda kullanılan FeCr cürufunun kompozisyonu.....	48
7.2 Numunelerin sertlik değerleri	50

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

FeCr	: Ferrochrom
Cu	: Bakır
Fe	: Demir
Pb	: Kurşun
Pt	: Platinyum
Cr	: Krom
Mg	: Magnezyum
Si	: Silisyum
C	: Karbon
Ca	: Kalsiyum
HSS	: Yüksek hız takım çeliği
SiC	: Silisyum Karbür
Al ₂ O ₃	: Alümina
MPa	: Megapaskal
Dv	: Devir
Dk	: Dakika
Hv	: Vickers sertlik
Hb	: Brinell sertlik
Atm	: Atmosfer
N	: Newton
Rpm	: Dakikadaki devir sayısı

KISALTMALAR

DIN	: Alman Endüstri Normları
ASTM	: Amerikan Malzeme Test Standartları

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Teknik anlamda cisimlerin yüzeylerinde mekanik etkenlerle küçük boyutlu taneciklerin sınırlı miktarlarda ama sürekli olarak kopup ayrılması sonucu malzemede istenilmeyen değişikliğin meydana gelmesi olayına aşınma denir ve tarihi de çok eski zamanlara kadar dayanmaktadır. İlk kez Sümer ve Mısır uygarlıklarında incelenen aşınma olayı daha sonraları Leonardo da Vinci (1452-1519) ve G. Amontons (1663-1705) tarafından incelenmiş ve ana prensipleri ortaya çıkarılmıştır. Aşınma; farklı ortamlarda çeşitli tipleri ile madencilik, tarım, makine gibi çeşitli sektörlerde kullanılan malzemelerin ömrünü önemli ölçüde azaltarak ekonomik kayıplara sebep olmaktadır (Erdem 2006).

İlerleyen teknoloji ile birlikte malzeme bilimciler isteklere cevap verecek nitelikte yeni nesil malzemeler üretmeye mecbur kalmışlardır. Günümüzde de aşınma probleminin giderilmesi ya da en aza indirilmesi için sanayi devri ülkeler de önemli araştırma harcamaları yapmaktadır. Aşınma malzemenin kendi özellikleri arasında olmayıp çalıştığı sistemde birbirleriyle etkileşim içerisinde olan yüzeylerde meydana gelen bir durumdur. Bunun için her çalışma ortamında yüksek aşınma direnci gösteren bir malzeme üretmek hem çok zordur hem de ekonomik değildir. Bunun için en iyi çözüm çalışma şartlarına göre uygun optimizasyonların gerçekleştirilmesidir.

Birbirleriyle etkileşim içerisinde çalışan malzemelerin tribolojik ömürlerini uzatmada kullanılan en ucuz ve yaygın yöntem malzemeler arasında yağlayıcı bir tabakanın oluşturulmasıdır. Son yıllarda gittikçe önem kazanan diğer bir yöntem ise malzemelerin yüzeylerinin farklı ince sert bir tabaka ile kaplanması işlemidir.

Yüzeyleri aşınmaya karşı korumak için kaplama yapmadan önce yüzey hazırlama işlemi uygulamak gerekmektedir. Yüzey hazırlama kaplama yapısının başarısında önemli rol oynayan anahtar bir etkidir ve hedefi uygulanacak kaplamanın yüzey üzerinde tam bir

yapışma meydana getirmesidir. Yüzey hazırlamada en çok kullanılan yöntem ise aşındırıcı püskürtme yöntemidir. Yöntemde aşındırıcı partiküller temizlenecek yüzeye yüksek hızla ve belirli açılarla çarptırılarak yüzeydeki pas, boya, yağ gibi yabancı maddelerin giderilmesi ve yüzeydeki yüksek pürüzlerin düzeltilmesi sağlanır. Püskürtülen aşındırıcı yüzey hazırlamada en önemli rolü oynayan bileşendir. Değişik kökenden farklı malzemeler aşındırıcı olarak kullanılmaktadır. Dünyada en çok silis kumu yıllarca kullanılmış olmasına rağmen bugün silis kumunun solunum yollarını etkilemesi ve sağlık problemlerine yol açması sebebiyle artık kullanılmamaktadır. Günümüzde mineraller, metalik materyaller, cüruflar en çok kullanılan aşındırıcılardır.

Çeşitli izabe tesislerinin izabe atığı olarak ortaya çıkan cüruf tamamen saf olmayan metaller eritildiği zaman yoğunluk farkı nedeniyle yüzeyde biriken daha hafif metallere verilen isimdir. Yüzeyde kalması ile birlikte havayla temas edip oksitlenmeyle oluşur. Metal atığı ve metal küfü olarak da bilinir (URL-1, 2012).

Türkiye ekonomisinin büyümesinde önemli rol oynayan metal üretimi sırasında çok büyük miktarlarda cüruflar ortaya çıkmaktadır. Geçmiş yıllarda cüruflar içerisine baca külleri karıştırılarak gelişi güzel olarak çevreye bırakılmıştır. Son yıllarda bu uygulamadan kaçınılmasına rağmen oluşan cüruf dağlarına çözüm bulunamamıştır. Geri kazanımı gerçekleştirilemeyen cüruflar oluşturduğu çevre sorunlarının yanında, depolama için gerekli alanların tahsis edilmesi için gereken maliyetlerde işletmeleri zor durumda bırakmaktadır. Dünyada cürufların değerlendirilmesi için yapılan birçok bilimsel çalışma mevcuttur. Yapılan araştırmalara göre cüruflar inşaat sektöründe; dolgu malzemesi, beton agregası, briket ve tuğla yapımında, cüruf yünü, yol temel ve alt malzemesi gibi alanlarda kullanılmaktadır. Ancak yapılan çalışmalar genel olarak demir-çelik sektörünün oluşturduğu cüruflar üzerinde durmuş ve diğer cüruflar ile ilgili yoğun bir çalışma genel olarak yapılmamıştır.

Bu çalışmada ferrokrom üretim tesisi atığı olan ferrokrom cürufunun aşındırıcı özelliği olup olmadığı belirlenmeye çalışılacaktır. Bunun için öncelikle ferrokrom cürufu ile aşındırıcı özelliği bilinen SiC ve Al₂O₃ aşındırıcılar temin edilecektir. Cüruf kullanılan aşındırıcılar ile aynı boyuta getirilmek üzere kırma-öğütme-eleme işlemlerine tabi tutulacaktır. Elde edilen tozlar belirli oranlarda solüsyonlar kullanılarak mikro abrazyon testinde farklı metalik malzemeler üzerinde aşınma deneyleri yapılacaktır. Testler sonucunda elde edilen aşınma izleri analiz edilerek cürufun aşındırıcı özelliği olup olmadığı belirlenmeye çalışılacaktır.

BÖLÜM 2

AŞINMA

Korozyon ve yorulma sorunlarıyla birlikte günümüz sanayisinde sıkça görülen diğer büyük problemde aşınma olayıdır. Aşınma teknik bir problem olduğu kadar ekonomiyi de yakından ilgilendirmektedir. Yapılan bir araştırmada çeşitli aşınma sebebiyle meydana gelen malzeme kaybının ülkelerin yıllık brüt milli hâsılasının %6-7'sini oluşturduğu tespit edilmiştir (Gök 2008).

Teknik anlamda aşınma cisimlerin yüzeyinde mekanik etkenlerle mikro tanecilerin kopup ayrılması sonucu malzemede istenilmeyen bir değişikliğin meydana gelmesi olayıdır. DIN 50320'E göre aşınma; katı cisim yüzey bölgesinden tribolojik zorlanma sonucu ilerleyen malzeme kaybı şeklinde ifade edilmiştir. Moore'a göre (1976) aşınma; kullanılan malzemelerin yüzeylerine gaz, sıvı ve katıların teması neticesinde çeşitli etkenlerle malzemenin yüzeyinden mikro tanelerin kopması sonucu meydana gelen yüzey bozulması olarak tanımlanmıştır (Gök 2008).

Malzemedeki yıpranma olayının aşınma sayılabilmesi için bazı şartların sağlanması gerekmektedir. Bu şartlar;

- a) Mekanik bir etkinin olması,
- b) Sürtünmenin olması,
- c) Yavaş fakat devamlı olması,
- d) Malzeme yüzeyinde değişiklik meydana getirmesi,
- e) İstenilmediği halde meydana gelmesidir.

Bu şartların hepsini sağlamayan yıpranma olayı aşınma olarak düşünülmemelidir (Erdem 2006).

Aşınma olayı genellikle; yataklarda, frenlerde, pistonlarda, dişlilerde, kırma ve öğütme değirmenlerinde, yol, toprak ve ziraat makinelerinde, türbin kanatlarında, maden cevheri

üretim cihazlarında ve bu gibi yerlerde meydana gelmektedir. Farklı mühendislik malzemelerinin ve makine elemanlarının ömürlerine büyük oranda etki eden aşınma tamamen ortadan kaldırılamasa da; yakın zamanda yapılan çalışmalar ile aşınma karakteristiklerinin malzeme cinsine ve sürtünme esnasında oluşan yüzey filmlerinin özelliklerine geniş ölçüde bağlı olduğu görülmüştür (Erdem 2006). Aşınma olayını spesifik bir malzeme özelliği olarak düşünmektense olayı bir bütün olarak sistem içinde değerlendirmek gerekir. Bu sisteme tribolojik sistem denilmektedir. Triboloji sürtünme, yağlama ve aşınma olaylarını kapsar. Tribolojik sistem ise karşılıklı etkileşen elemanlarda hız termal şartlar ve yükün bileşimiyle meydana gelen aşınma olayını inceler (Erdem 2006).

Tribolojik sistemin elemanları;

- a) Esas malzeme (aşınan): Aşınması özenle incelenen fiziksel ve kimyasal özelliklerinin yanında yüzeysel yapısı durumu tamamen belli olan malzemedir.
- b) Karşı malzeme (aşındıran): Katı bir cisim, sıvı veya gaz olan karşı sürtünme elemanı, aşınmanın meydana gelmesinde başlıca öneme sahiptir. Karşı malzeme ile esas malzeme aşınma çiftini meydana getirirler.
- c) Ara malzeme: Esas sürtünme elemanı ile karşı sürtünme elemanı arasında katı, sıvı, gaz, buhar ya da bunların karışımı şeklinde bulunan maddedir.
- 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 elemanının karşı sürtünme elemanına göre izafi hareketinin cinsi (kayma, yuvarlanma veya çarpma etkilerinden hangisinin ağırlıklı olduğu), büyüklüğü ve doğrultusu ile belirlenir.
- f) Çevre (ortam): Sistemi içine alan ve genellikle sıvı veya gaz halinde bulunan ortamdır. Su, ortam ve gazlar teknikte en sık rastlana çevre ortamlarıdır (Erdem 2006).

Aşınmaya Etki Eden Faktörler;

- a) Metalurjik Değişkenler:
- b) Sertlik,
- c) Tokluk,
- d) Kimyasal Bileşim,
- e) Mikroyapı.

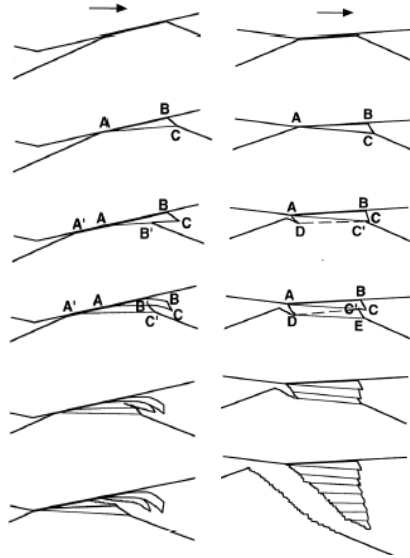
Çalışmayla İlgili Değişkenler:

- a) Temas Eden Malzeme
- b) Basınç veya Mukavemet
- c) Hız
- d) Sıcaklık
- e) Yüzey Düzgünlüğü
- f) Yağlama
- g) Korozif Etki (Erdem 2006).

2.1 AŞINMA ÇEŞİTLERİ

2.1.1 Adhesiv Aşınma

Metalik yüzeyler arasına yağlayıcı madde konulması halinde yağlayıcı maddenin molekülleri, yüzeylere düzgün ve muntazam bir şekilde yapışırlar. Yapışmış yağ tabakası bir ölçüde metalik yüzeylerin birbirleri ile doğrudan temasını engeller. Fakat parçaya uygulanan yük tatbiki ile yağ tabakasının bir kısmı kopar ve küçük metalik temas alanları ortaya çıkar. Bu alanlardaki sürtünme ile mikro-kaynak şeklinde metalik yapışmalar adhezyon aşınmasına neden olur (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 Adhesiv aşınma meydana gelişi (Gök 2008).

Şekil 2.1’de gösterildiği gibi adezyon aşınması; yükleme koşullarına uygun yağ filminin kullanılmayışı, aşırı yükleme ve yağ filminin zamanla özelliğini yitirmesi sonucu ortaya çıkan yetersiz yağlama koşullarında metal-metal temasıyla oluşan bir aşınma şeklidir. Adezyon aşınması türleri aşağıda anlatılmıştır.

2.1.1.1 Kazımalı ve Yenme (Fretting) Aşınması

Kazımalı veya diğer adıyla yenme aşınması; yağlayıcının işlevini görmediği veya varlığını sürdürmeyeceği için kullanılmadığı durumlarda, temas halinde çalışan iki metalik yüzeyin titreşimi ile doğan salınım ile gözle görülmeyecek kadar küçük genlikli ve tekrarlı kayma hareketlerinin sonucu meydana gelen bir aşınma türüdür (Sarıkaya 2007).

Titreşimin frekansı aşınma miktarı üzerine doğrudan etkili olan bir parametredir. Örneğin, frekansı 26 Hz olan bir titreşimde tek bir çevrim için temas süresi 0,022 sn iken, frekansı 60 Hz olan bir titreşimde bu süre 0,005 sn gibi bir süreye düşer. Frekans azaldıkça iki yüzey arasındaki temas süresini arttırdığından yüzeyden kalan malzeme miktarı da artar. Küçük genlikli (50-1000 μ) kayma hareketi ile meydana gelen temas sonucu yüzeyden kopan partiküller abrasiv aşındırıcı gibi davranarak yüzeyden kazıma ile malzeme kaldırırlar. Bu tür bir aşınmaya karşı en etkili çözüm; yüzeyin sertlik derecesinin uygun bir kaplama veya yüzey işlemi ile yükseltilmesi ve yağlayıcı ile çalışan ortamlarda uygun yağ seçiminin yapılmasıdır (Sarıkaya 2007).

2.1.1.2 Galling Aşınması

Galling aşınması yüksek temas sıcaklıklarının ortaya çıkmadığı düşük hızlarda ve düşük temas gerilmelerinde meydana gelir. Temas halinde çalışan iki metalik yüzey arasında yağ filminin olmaması veya işlev görmemesi durumunda sürtünme etkisinden doğan sıcaklığın artması ile oluşan kaymalarla aşınma ortaya çıkar. Galling aşınması, diğerine göre daha sert olan metalin yüzeyinde kayma yönünde radyal çizikler ve yumuşak olan metalden kaynamış ufak parçacıklar şeklinde kendisini gösterir (Sarıkaya 2007).

2.1.1.3 Sürümeli (Scuffing) Aşınması

Sürümeli aşınma; galling türü aşınma gibi, yine çalışma ortamında yağ filminin olmaması veya işlev görmemesi durumunda sürtünme etkisinden doğan sıcaklığın artmasıyla oluşan şiddetle kaynamalardan meydana gelmektedir. Galling'den farkı aşınmanın yüksek temas sıcaklıklarının ortaya çıktığı yüksek çalışma hızlarında ve temas gerilmelerinde meydana gelmesi ve çok hızlı gelişmesidir. Sürümeli aşınma; eş çalışan yüzeylerden sert olanında çok hafif yenme, yumuşak olan diğer yüzeyde ise şiddetli yenme şeklinde kendini gösterir (Sarıkaya 2007).

2.1.1.4 Oksidasyon Aşınması

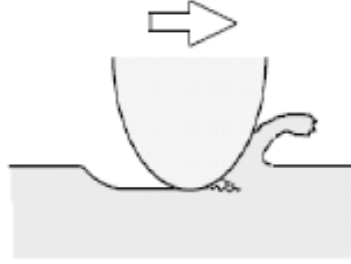
Metalik malzemeler üzerlerinde havanın etkisiyle şekillenmiş çok ince bir oksit tabakası taşırlar. İki metal arasında oluşan sürtünme kuvvetinin etkisiyle bu oksit tabakası zamanla dökülür ve hava ile temasta tekrar şekillenir.

Yağlayıcı ortamda çalışan parçalarda özellikle yüksek viskozite değerli ve yüksek basınca dayanıklı yağların içindeki kimyasal maddelerin (fosfor, kükürt gibi) etkisiyle koruyucu oksit tabakası tekrar şekillenirken bu kimyasalları da beraberinde bünyelerine taşırlar. Kullanılan yağın sıcaklığının yükselmesi de yağ moleküllerinin kopma mukavemetini azaltarak oksidin parçalanma hızını artırır. Böylelikle, ortaya çıkan reaksiyon ürünlerinin miktarı artar ve oluşan oksit tabakası gevrek bir hal alarak ufak yüklemelerde bile kolayca kırılır. Kırılan tabaka, metal içindeki oksit yapıcı elementler zamanla belli bir değerin altına düşünceye kadar doğal olarak kendisini sürekli yeniler. Oksit tabakası kendisini yenilemeyecek düzeye gelince korozyon ürünleri metalden içeri nüfuz ederler ve metali korozyona uğratırlar (Sarıkaya 2007).

2.1.2 Abrasif Aşınma

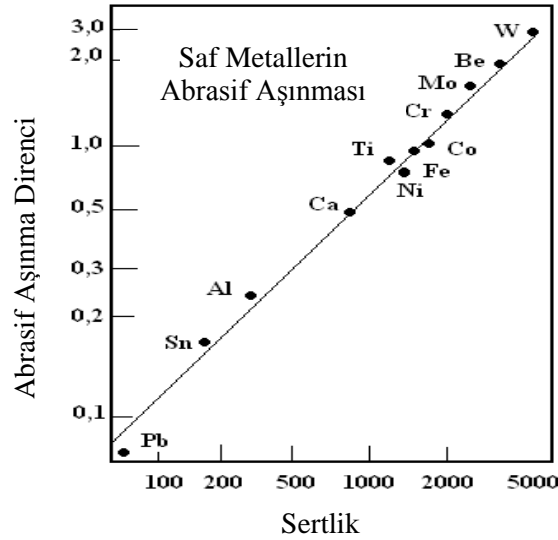
Abrasif aşınma iki cisimli ve üç cisimli olmak üzere iki şekilde meydana gelir. İki cisimli abrasif aşınma olayı sert ve pürüzlü bir yüzeyin kendinden daha yumuşak bir malzeme ile temas ettiği durumda, kuvvet ve basıncın etkisiyle yumuşak malzeme yüzeyinde oluşan çizilme ve küçük parçacıkların kaldırılması suretiyle meydana gelen deformasyon türüdür (Şekil 2.2). İki cisimli abrasif aşınmaya örnek olarak kazı makineleri, toprak işleme aletleri,

eğeleme ve zımpara işlemleri verilebilir. Sert ve pürüzlü bir yüzey daha yumuşak bir yüzey üzerinde kaydığında yumuşak yüzeyi oyduğunda ve bir grup oluk açtığında abrasif aşınma ortaya çıkar. Ayrıca abrasif aşınma biraz farklı bir durumda da sert abrasif partiküller kayma yüzeyleri arasında girdiğinde ve malzemeyi aşındırdığından da meydana gelebilir (Kuş 2007).



Şekil 2.2 Abrasif aşınma (Akbulut 2005).

İki ve üç boyutlu abrasif aşınma olarak iki tür abrasif aşınma vardır. Aşınma dış yüzey üzerindeki sert tümseklerden kaynaklanıyorsa buna “iki boyutlu abrasif aşınma” denir. Üç boyutlu abrasif aşınmada ise sert abrasif partiküller vardır ve iki farklı kayma yüzeyi arasında yuvarlanıp aşınırlar. İki boyutlu aşınmada aşınma hızları üç boyutlu aşınmaya göre daha hızlıdır (Kuş 2007). Sertliğin metallerin abrasif aşınmasına etkisi Şekil 2.3’te verilmiştir.



Şekil 2.3 Saf metallerin abrasif aşınma özelliklerine sertliğin etkisi (Yıldız ve Gür 2006).

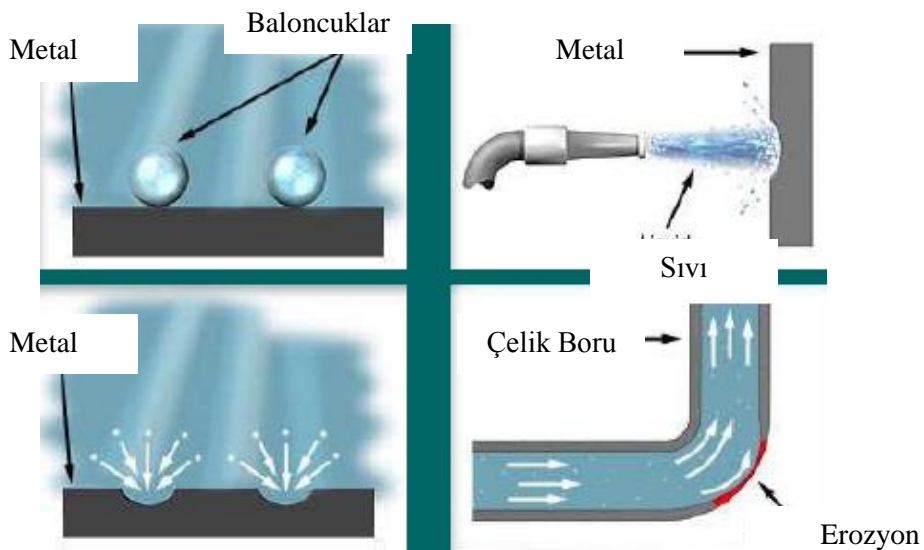
Abrasif aşınma olayında aşındırıcı partikül ile aşınma izi arasında bir bağlantı vardır. Yuvarlatılmış aşındırıcı partiküller kullanıldığında, aşınma hızı çok yüksek değildir. Abrasif

olarak kullanılacak malzemelerde sertlik çok önemlidir. Abrasif malzeme aşındıracağı malzemenin daha sert olmalıdır. Yumuşak malzemenin sertliği sert malzemenin sertliğinin en az 1/3'ü olmalıdır (Kuş 2007).

2.1.3 Erozyon Aşınması

Erozyon aşınması (Şekil 2.4) kendi içinde beş farklı mekanizmayla meydana gelmektedir. Aşınmayı oluşturan ortamlar ve şartlar şunlardır;

- Akışkan bir ortam ile hareketlendirilen aşındırıcı partiküllerin yüksek hızlarda bir katı yüzey üzerine tekrarlı çarpması sonucu oluşturduğu darbe etkisiyle oluşan aşınma (katı partikül erozyonu ve katı partikül taşıyan akışkan ortam erozyonu)
- Yüksek hızlarda hareket halindeki sıvı damlalarının bir katı yüzey üzerine tekrarlı çarpması sonucu oluşan şok dalgalarının tahribatıyla oluşan aşınma
- Yüksek hızlarda hareket halindeki bir katının kendisinden çok daha yavaş su damlalarına tekrarlı çarpması sonrası oluşan şok dalgalarının tahribatıyla oluşan aşınma
- Gaz kabarcıklarının yüksek bir basınçla malzeme yüzeyinde tekrarlı patlaması sonucu oluşan aşınma (kavitasyon aşınması)
- Biri anot diğeri katot olmak üzere kutuplanan elektriksel yüklü iki parça arasındaki akımsal boşalım etkisiyle oluşan aşınma (elektro-erozyon) (Sarıkaya 2007).



Şekil 2.4 Farklı türlerde erozyon aşınması (Ay 2010).

2.1.3.1 Katı Partikül Erozyonu

Katı partikül erozyonu bir sıvı veya gaz taşıyıcı sistem içerisinde yüksek bir hızda akan aşındırıcı sert partiküllerin malzeme yüzeyine tekrarlı çarpması sonucu yüzeyde oluşturduğu darbe etkisiyle ortaya çıkan malzeme kaybı olayıdır. Katı partikül erozyonunu etkileyen üç temel faktör vardır. Bunlar şunlardır:

- a) Partikülün akışı (hızı, çarpma açısı ve konsantrasyonu)
- b) Partikül değişkenleri
- c) Hedef malzeme değişkenleri (Sarıkaya 2007).

2.1.3.2 Sıvı Damlası Erozyonu

Sıvı damlalarının doğal bir şekilde yüksek hızlara ulaşması ve katı parça yüzeyine çarpması sonucu tahribat yapması çok zordur. Pratikte sıvı damlası erozyonu yüksek hızlarda hareket halindeki bir katının kendisinden çok daha yavaş sıvı damlalarına tekrarlı çarpması sonrası katı yüzeyinde oluşan şok dalgalarının tahribatıyla gerçekleşir. Bu erozyonun türü yağmur erozyonu, su damlası erozyonu veya nem erozyonu diye de tanımlanır. Erozyon hasarlarının önlenmesi ya da en aza indirilmesi;

- a) Yağmur boyunca parçanın hareketinin önlenmesi
- b) Damlaların yüzeye çarpmadan önce parçalanarak küçültülmesi
- c) Damlalarla çarpışma sonucu oluşan darbelerle dayanıklı malzeme seçilmesi ile mümkün olur (Sarıkaya 2007).

2.1.3.3 Katı Partikül Taşıyan Akışkan Ortam Erozyonu

Düşük hızlı bir akışkan ortam içinde (çoğunlukla su veya gaz) taşınan hareketli katı partiküllerin sistemden taşınırken hedef malzemenin iç cidarlarına çarpması sonucu meydana getirdiği bir aşınma türüdür. Pratikte boru hattı ile cevher taşıma sistemlerindeki pompalar ve borularda ayrıca kumlama ve aşındırıcı su jeti ile kesme memelerinin iç cidarlarında sıklıkla görülen bir aşınma türüdür (Sarıkaya 2007).

2.1.3.4 Kavitezyon Erozyonu

Sıvı ortam içinde çalışan makine parçalarında ani basınç değişimleri nedeniyle oluşan mekanik titreşimler nedeniyle ortaya çıkan yüksek frekanslı ses dalgaları, parça yüzeyinde düşük basınçlı bölgelerin oluşmasına ve o bölgelerde saniyede binlerce küçük kabarcığın doğmasına neden olmaktadır. Bu kabarcıkların sıvı içerisindeki düşük basınçlı bölgelerden yüksek basınçlı bölgelerde hareketli ve bu bölgelerde 700 MPa'ya kadar ulaşan büyük şok dalgaları ile patlaması sonucu parça yüzeyinden mikron mertebesinde malzeme kaldırması ile gerçekteşen bu aşınma türüne kavitezyon erozyonu denir (Sarıkaya 2007).

2.1.3.5 Elektro Erozyon

Elektro erozyon vakum altında veya iletken olmayan bir sıvı içinde elektriksel yükü iki parça arasında akımsal boşaltım neticesinde katot malzemesinin yüzeyinden mikron boyuttaki parçacıkların kopup buharlaşması sonucu meydana gelen bir aşınma türüdür. Anot malzemesine yeterli soğutma uygulandığı takdirde oluşan aşınma kayıpları katottan çok daha az seviyededir. Elektron ışın üreteçlerinde katot malzemesi olarak kullanılan tungsten esaslı filamentte bu tür aşınma en belirgin olarak görölmektedir (Sarıkaya 2007).

2.1.4 Korozyon Aşınması

Korozyon aşınması düşük ve yüksek sıcaklık korozyon aşınması olmak üzere iki şekilde gerçekteşir. Metalik malzemeler içerdikleri alaşım elementlerinin cinsine ve miktarına bağlı olarak yüzeylerinde 0,1 mikron kadar doğal bir oksit tabakası bulundururlar. Bu tabaka sayesinde de korozyon ortamlara karşı direnç gösterirler. Aşındırıcı ortam tarafından metal yüzeyine uygulanan tekrarlı darbeler esnasında yüzeyden malzeme ile beraber oksit tabakası da kalkar. Tekrarlı darbelerin sıklığından veya koruyucu tabakayı oluşturan elementin alaşım içinde zamanla tükenmesinden dolayı oksit tabakası tekrar şekillenemez duruma gelir ve metal yüzeyi korozyon saldırılara karşı savunmasız kalır. Aşınma ile korozyonun beraber geliştiği ve korozyonun aşınma hasarına katkıda bulunduğu bu olaya düşük sıcaklık korozyon aşınması denir (Sarıkaya 2007).

2.1.5 Yorulma Aşınması

Sürtünme bölgelerinde yüksek basınçtan dolayı yüzeyde çatlak oluşur. Bu çatlaklara giren sıvı yağlayıcı çatlakları iletir. İşte bu arada yüzeyde çukurcuklar oluşur. Bu yıpranma olayı yorulma aşınması olarak bilinir. Yorulma aşınması türünde iç yapı tahribatı, çatlamlar, lokal ayrılmalar meydana gelir. Teknik uygulamada rulmanlı yataklarda veya dişli çarklarda yaygınca görülür. Yorulma aşınmasını engellemek için yüzeylerin sertleştirilme işlemi yapılır (Varol 1994).

2.2 AŞINMA MUKAVEMETİNİ ARTTIRMA İŞLEMLERİ

Aşınmayı etkileyen en önemli unsur malzemenin kimyasal içerikleri ve temas yüzeylerinin sertliğidir. Malzeme içeriğinin birbirine yapışmayı engelleyici olması ve korozyona karşı dayanıklı olması aşınmayı azaltır. Sertliğin artması yüzeyden parça kopmasını azaltacağı için aşınma dayanımı artar.

Malzemenin yüzey pürüzlülüğünün ve kimyasal ve termokimyasal işlemlerin aşınma miktarını arttırdığı bilinmektedir. İstenmeyen bir durum olduğu için aşınma olayını azaltmak için bazı önlemler alınması gerekir (Sarıkaya 2007).

2.2.1 Pürüzlülük

Malzemelerin yüzey pürüzlülüğü arttıkça yükü taşıyacak olan gerçek alan azalır ve buna bağlı olarak aşınma miktarı da artar. Temas alanının küçük olması yüzeye etkiyen kuvvet büyük olacak ve dolayısıyla aşınma daha fazla olacaktır. Sürtünen iki yüzeyin arasında çekim kuvvetinin fazla olması ve pürüzsüz bir yüzeyde aşınma artıklarının kalması hem adhezyon hem de abrasif aşınmayı artırır. Sürtünme hareketinin yönünün pürüzlülük yönüne dik olması durumunda aşınma oranı azalır (Sarıkaya 2007).

2.2.2 Sertlik

Malzemenin sertliğinin artırılması ile genel olarak aşınma direncini artırır. Sertleştirilmiş malzemenin yüzeyinde deformasyon sertleşmesinin etkisinde mikro bölgeler oluşur. Oluşan bu bölgelerin kopması da mümkündür. Abrasif aşınma direnci genelde malzemenin sertliğine

bağlıdır. Aşınma işlemin dayanımını arttırmak için ısıtma işlemi veya alaşımlandırmayla yüzey sertleştirilebilir (Sarıkaya 2007).

2.2.3 Tane Boyutu

Tane boyutu ile malzemenin dayanım değerleri doğrudan bağlantılıdır. Tane boyutu ne kadar küçük ise malzeme o kadar tok ve mukavimdir. Malzemenin kristal yapısının da aşınma üzerinde büyük etkisi vardır. Sıkı paket yapıya sahip malzemelerin aşınma direnci yüksektir. Kobalt bu yapıya örnek olarak verilebilir. Kobalt oda sıcaklığında sıkı paket yapıya sahip iken aşınma direnci yüksektir. Ama ısıtılıp kübik yüzey merkezli kristal yapıya dönüşmesiyle aşınma direnci azalmaktadır (Sarıkaya 2007).

2.2.4 Malzeme Boyutu

Geometrik şekli ideal daireye yakın olan parçaların daha az aşındığı ve şeklini koruduğu tespit edilmiştir (Sarıkaya 2007).

2.2.5 Yüzey İşlemleri

Malzemelerin aşınma direnci yüzey yapısıyla yakından ilişkilidir. Yüzeyde termo-kimyasal, kimyasal, elektro-kimyasal yöntemlerle oluşturulan tabakaların beraber çalışılan parçalar arasındaki sürtünmeyi azaltması durumunda aşınma direnci artabilir (Sarıkaya 2007).

2.2.6 Ortamın Etkisi

Aşınma miktarına diğer bir etkende bulunduğu ortamdır. Özellikle atmosferde çalışan sistemlerde çevre şartları büyük etkindir (Sarıkaya 2007).

2.2.7 Sıcaklık

Sürtünen yüzeyler arasında artan sıcaklığın yüzey sertliğinin düşürdüğü, oksidasyonu gerçekleştirdiği ve plastik deformasyonu kolaylaştırdığı belirlenmiştir. Yapılan araştırmalarda belli bir sıcaklık değerine kadar sıcaklığın artırılması aşınmayı etkilemediği ancak daha fazla artışlarda aşınmayı artırdığı ve ergime sıcaklığı yüksek olan malzemelerin yüksek aşınma

direncine sahip olduğu tespit edilmiştir. Özellikle sürtünmenin istenmediği kaymalı çalışma yatak ve kızaklarda yatağın ısınması problem yaratır ve sıcaklığın düşürülmesi için ısı iletim görevi yapan yağlayıcı maddelerin kullanılması gerekir (Sarıkaya 2007).

2.2.8 Atmosfer

Atmosferde buluna oksijen malzeme yüzeyinde oksit tabakasını oluşturur. Ortamda soygaz kullanılırdaki oksit oranı azalır ve yüzeyden oksit tabakasının koparılmasından sonra bölgede adezyon aşınması gözlenebilir (Sarıkaya 2007).

2.2.9 Nem

Atmosferdeki nem oranının artması sürtünme katsayısının azalmasına ve dolayısıyla da aşınma miktarının azalmasına neden olur (Sarıkaya 2007).

2.2.10 Malzeme Seçimi

Farklı malzemelerin birbirleri ile kaynak yapma özellikleri aynı malzemelerin birbirleri ile kaynak yapma özelliklerinden daha düşüktür. Bu yüzden birbirleri ile sürtünme halinde çalışan parçaların malzemelerinin farklı seçilmesi adezyon aşınmasına karşı direnci artırır (Sarıkaya 2007).

2.2.11 Yağlama

Aşınmaya karşı alınacak kolay ve ekonomik yöntemlerden biride yağlama yapmaktır. Kullanılan yağın kayma mukavemeti düşük olmalıdır ve kullanıldığı yerde korozif etki yapmamalı, malzeme yüzeyinde oksit tabakası oluşturmamalı, özelliklerini muhafaza edebilmeli ve sıcaklıktan etkilenmeden görevini devam ettirebilmelidir.

Sürtünen yüzeyler arasına giren yağ, sıvı-malzeme sürtünmesini sağlar. Yataklarda olduğu gibi hareket hızının fazla olduğu yerlerde yükü yüzeyler arasında oluşan yağ filmi taşır ve bu da çalışan sistemlerin ömrünü direkt olarak etkiler (Sarıkaya 2007).

2.2.12 İşletme Koşulları

Hız, kayma yolu ve yük özellikleri işletme koşulları olarak incelenebilir (Sarıkaya 2007).

2.2.12.1 Hız, Kayma Yolu

Şiddetli aşınma durumunda kayma hızı ile aşınma miktarı ters orantılıdır. Bunun sebebi sürtünen alanın azalması ve ısıdan dolayı sürtünme katsayısını düşürecek etki yapmasıdır.

Tek yönlü kayma ve sabit hızdaki aşınmanın iki yönlü ve değişken hızdaki aşınmadan daha az olduğu belirlenmiştir (Sarıkaya 2007).

2.2.12.2 Yük

Uygulanan kuvvetin artması ile aşınma yüzeyinin etkileneceği yükün büyüklüğünün ve birim yüzeye uygulanan kuvvetin ve sürtünme kuvvetinin artmasına sebep olacağından aşınmada artacaktır. Aşınma miktarının iki kat arttığı durumdaki yüke kritik yük denir. Kritik yükleme miktarı aşınma yüzeyinin soğuk deformasyonla sertliğin belli bir oranda arttığı değer olarak tanımlanır.

Kayma olayı süresince yüzeyde oluşan oksit tabakası aşınır. Bu durumda aşınan bu oksit tabakasından sonra tabaka sürekli kendisini yenilemeye çalışacaktır ve dolayısıyla aşınma olayı artarak gerçekleşecektir (Sarıkaya 2007).

2.2.12.3 Zaman

Malzeme yüzeyinin yorulması devir sayısı ile ilişkili olduğuna göre yüzeyin aşınması da devir sayısı, zaman ve frekansın bir fonksiyonudur (Sarıkaya 2007).

BÖLÜM 3

BAZI AŞINMA DENEY YÖNTEMLERİ

Makine parça ve elemanlarının sürtünme aşınma davranışlarının elde edilmesi için yapılan testler tasarım açısından oldukça önem arz etmektedir. Gerçek makineler ve uygulama şartlarında yapılan testler sürtünme ve aşınma özelliklerinin belirlenmesi için yapılmaktadır. Doğrudan makine üzerinde ve uygulama şartlarında yapılan deneyler hem oldukça maliyetlidir hem de karmaşık tribolojik etkilerin meydana gelmesi sebebiyle değerlendirilmeleri oldukça zordur. Bu sorunları ortadan kaldırmak için farklı aşınma deney yöntemleri geliştirilmiştir (Karaoğlu 2006).

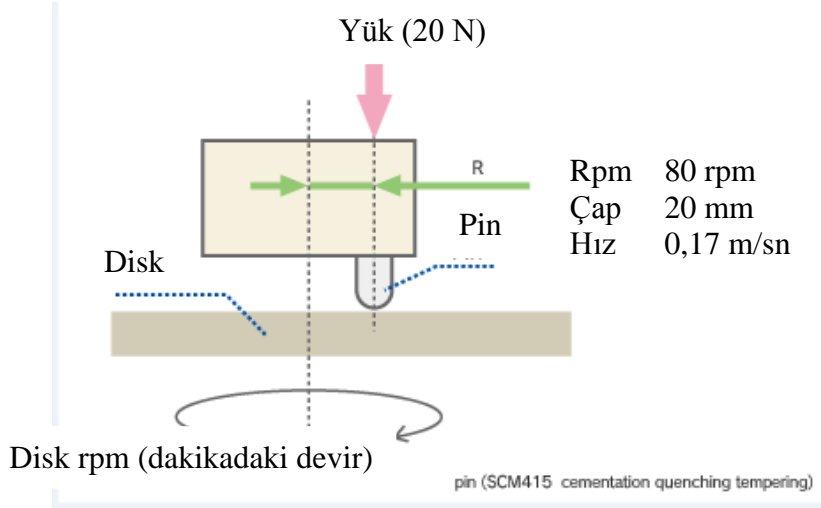
Farklı model deney yöntemlerinin geliştirilmesinin sebebi sürtünme ve aşınma mekanizmalarının ve tribolojik sistemlerin farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Bu sebeple günümüzde yapılan aşınma ve sürtünme testlerinin çoğu uluslararası standartlarla belirlenmiş parametreler kullanılarak yapılmaktadır. Sürtünme aşınma testleri genel olarak aynı sistemler üzerinde yapılmakla beraber aradaki fark genellikle ölçüm yöntemlerindeki farklılıklardan kaynaklanmaktadır. Yine test süresi de testlerde önemli bir parametre olarak değerlendirilebilir. Aşınma testleri bazen kısa sürelerde biterken bazen çok uzun süreler de alabilmektedir (Karaoğlu 2006).

3.1 AŞINMA DENEY CİHAZLARI

3.1.1. Pim - Disk Cihazı

En yaygın kullanılan ve en basit model deney yöntemlerinden birisi Pim-disk yöntemidir. Bu deneyde metal bileşenlerden oluşan bir döner disk kullanılmaktadır. Aşınma özelliği incelenecek numune koni, küre veya silindir şeklinde olan bir pimdir. Nispi kayma hızı, diskin merkezi ile pimin temas noktası arasındaki mesafe değiştirilerek ayarlanabilir. Pim üzerinden diske uygulanacak yük, mekanik, pnömatik veya bir hidrolik silindir vasıtasıyla

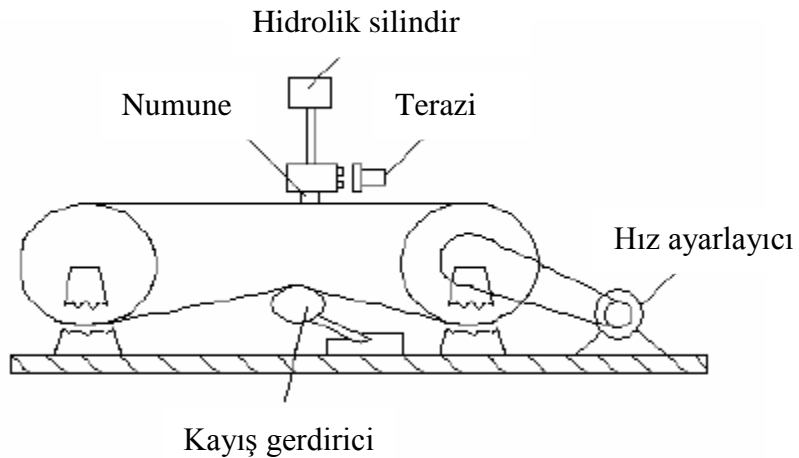
uygulanabilir. Bu test tekniği ile kuru kayma halindeki sürtünme ve aşınma davranışları araştırılabilir (Karaoğlu 2006). Şekil 3.1' de pimdisk cihazı Şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 3.1 Pim disk cihazının Şematik görünüşü (URL-2, 2012).

3.1.2 Levha - Kayış Cihazı

İki geniş silindir ve bu silindirlerin etrafından geçen bir kayış bu sistemi oluşturmaktadır. Sistemde kayış silindirlerin etrafından geçmektedir ve silindirleri birbirine bağlamaktadır. Silindirlerin etrafından dönen kayıŐın gerginliği bir gerdirme mekanizması ile ayarlanabilmektedir. Silindirlerden bir tanesi bir motora bağlıdır ve devri değiştirilerek kayıŐın hızı da değiştirilebilir. Şekil 3.2' de levha-kayış cihazı Şematik olarak gösterilmektedir.

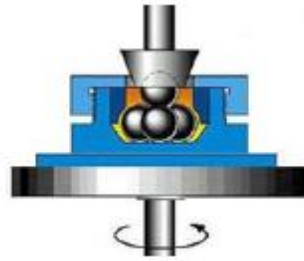


Şekil 3.2 Levha-kayış cihazının görünümü (Karaoğlu 2006).

Kayış lastik malzemeden olabileceği gibi çelik şerit ve kompozit malzemeden de oluşabilir. Deneyde aşınmayı kayış yüzeyine yapıştırılan zımpara kâğıdı veya kayış yüzeyine kaplanan aşındırıcı sağlamaktadır. Deneyde aşındırılacak numune bir hidrolik sistem vasıtasıyla kayış üzerine bir kuvvetle bastırılır ve yük meydana getirilir. Kayış ve numune arasında oluşan sürtünme ile numune üzerinde aşınma meydana getirilir (Karaoğlu 2006).

3.1.3 Dört Bilya Düzeneği

Bu test yönteminde eşit çaplara sahip dört adet bilya numune kullanılmaktadır. Bu bilyaların üç tanesi deney sırasındaki şartlarda rahatça hareket edebilecekleri bir taşıyıcı içine yerleştirilirler ve üst taraftaki bilyaya göre izafi olarak hareket eder. Dördüncü bilya ise bir milin ağzında açılan bir yuvaya yerleşecek şekilde diğer bilyaların üzerindedir ve aşağıya doğru normal bir yük ile bastırmaktadır. Alttaki taşıyıcı döndürülerek milin ağzındaki bilyanın dönmesi sağlanır ve böylece bilyalar birbirine göre izafi hareket ederek aşınma oluşturulur. Bu test daha çok yağlama performansının değerlendirilmesinde kullanılır (Karabaşoğlu 2008). Deney düzeneği Şekil 3.3’de verilmiştir.

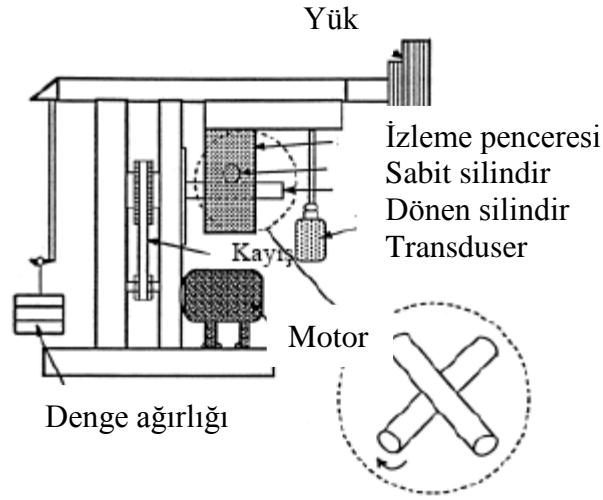


Şekil 3.3 Dört bilya deney düzeneği (Karabaşoğlu 2008).

3.1.4 Çapraz Silindir Deney Cihazı

Kağıt kesme, kumaş kesme, saç metal kesme işlemlerinde bıçakla metal arasında çok küçük temas alanı ve yırtılmalar meydana gelir. Saç metal kesme işlemi buna iyi bir örnek olarak verilebilir. Bu tür aşınmaların ölçümünde ASTM G78 Çapraz Silindir deney cihazı kullanılır. Bu deneyde daha çok takım çeliklerinde ve kaplanmış yüzeylerde meydana gelen aşınmalar incelenmektedir. Cihaz kendi eksenini etrafında dönen bir silindir ve bu silindire çizgisel temas eden çarpı şeklinde konulmuş sabit bir silindirden meydana gelir. Dönen parçanın dış çapında meydana gelen yivin hacmi ölçülür. Sonra sabit parça üzerinde meydana gelen aşınma lekeleri

ölçülür ve bunla birlikte sistemdeki toplam aşınma bulunur (Karabaşoğlu 2008). Deney düzeneği Şekil 3.4’de verilmiştir.



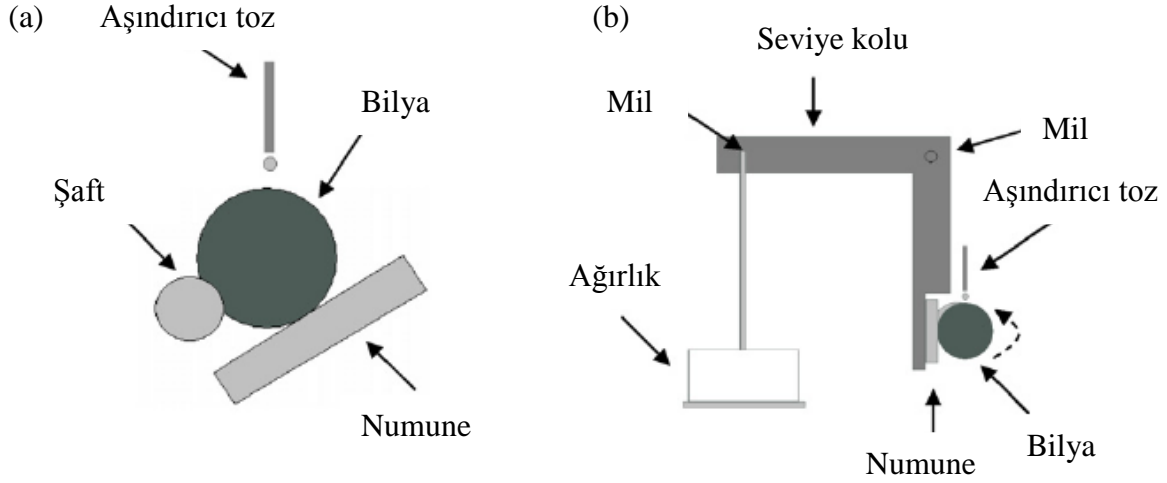
Şekil 3.4 Çapraz silindir deney düzeneği (Blau ve Budınski 1999).

3.1.5 Top Krater Testi

Son on yıldır top konfigürasyonu kullanılarak yapılan mikro abrazyon aşınma testi ince sert kaplamaların aşınma davranışlarını karakterize etmek için çokça kullanılmaktadır. İlk önceleri bu konfigürasyon sadece filmlerin kalınlığını ölçmek için kullanılırken, son zamanlarda aşınma çalışmalarına adapte edilmiştir. Bu test hızlı, uygun, küçük parçalar üzerine uygulanabilir, ve nispeten ucuz ekipman kullanır. Eğer test şartları aynı şekilde kullanılırsa bu test konfigürasyonu araştırmacıların aradıkları karşılar. Bunun dışında güvenilir ve tekrarlanabilir ölçümleri garantiler. Bununla beraber aşınma oranları yükleme ve aşınma mekanizması test şartları değişikçe (yük, kayma hızı) önemli ölçüde değişebilir. Mikroabrazyon aşınma testi sırasında iki aşınma modu elde edilebilir. Bunlar “three body abrazyon” ve “two body abrazyon” modlarıdır. Aşınma modu ayarlanan yüke, seçilen abrasife, top yüzey şartlarına göre değişebilir (Silva vd. 2011).

Bu test yönteminde dönen bir top (genellikle sertleştirilmiş çelik) abrasif süspansiyon varlığında numune yüzeyine bir yük ile basınç uygular. Aşınma izi kullanılan kürenin yüzeyini tamamlayıcı şekilde olur. Bu iz optik mikroskop ya da profilometre yardımıyla ölçülür. İki farklı mikro abrazyon test tezgahı vardır. Bunlar yükün uygulanma yöntemine göre değişiklik gösterir. Eğer top dönen bir mil üzerinde serbestçe dönüyorsa ve test parçasına

kendi ağırlığını yüklüyorsa bu yöntem “free ball” yöntemi denir (Şekil 3.5a). Eğer top bir motor yardımıyla döndürülüyorsa ve yük bir teçhizat yardımıyla uygulanıyorsa bu yöntem “fixed ball” yöntemi (Şekil 3.5b) denir (Ibánez vd. 2009).



Şekil 3.5 Mikro abrazyon aşınma testi şeması (Ibánez vd. 2009).

3.2 AŞINMA ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ

3.2.1 Ağrlık Farkı Metodu

Bu yöntem hem ekonomiktir hem de hassas sonuçlar elde edilmesi sebebiyle en çok kullanılan yöntemdir. Ağrlık kaybı genellikle 10^{-3} veya 10^{-4} hassasiyete sahip duyarlı terazilerde yapılır.

Ağrlık farkı metodunda aşınma sonucu meydana gelen ağrlık kaybı; aşınma miktarı gram veya miligram olarak ifade edildiğinde kat edilen sürtünme mesafesine karşılık olarak g/km veya mg/km cinsinden, birim alan için hesap edilecekse g/cm^2 cinsinden ifade edilir. Aşınma miktarı hacimsel olarak hesaplanmak istenirse malzemenin yoğunluğu ve numune üzerine uygulanan yük dikkate alınarak, birim yol ve birim yükleme ağrlığına karşılık gelen hacim kaybından yola çıkılarak ağrlık kaybı hesaplanabilir (Karaoğlu 2006). Ağrlık farkı ölçümünde en çok Eşitlik 3.1’de verilen bağıntı kullanılmaktadır (Karabaşoğlu 2008).

$$W_a = G / d M S \quad (3.1)$$

$W_a = \text{Aşınma oranı (mm}^3 / \text{Nm)}$

$G = \text{Ağırlık kaybı (mg)}$

$M = \text{Yükleme ağırlığı (N)}$

$S = \text{Aşınma yolu (m)}$

$d = \text{Malzeme yoğunluğu (mg / mm}^3 \text{)}$

olarak verilmiştir. Aşınma oranının ters değeri de aşınma direnci (W_r) olarak kabul edilmiştir (Eşitlik 3.2).

$$W_r = 1 / W_a \quad (3.2)$$

Ağırlık farkı metodunda en çok kullanılan ölçme yöntemi tartı yöntemidir. Aşındırılan numune hassas terazide tartılarak aşınma miktarı bulunur. Bu yöntemde malzemenin tamamen temiz olmasına ve yüzeylerinde herhangi bir yabancı maddenin kalmamasına dikkat edilmelidir. Tartı yönteminden farklı olarak ağırlık kaybı radyoaktif izleyiciler kullanarak da ölçülebilir. Bu yöntem kullanılarak deney esnasında aşınmanın meydana geldiği sırada da aşınma kaybı ölçümü yapmak mümkün olmaktadır (Karabaşoğlu 2008).

3.2.2 Kalınlık Farkı Metodu

Bu yöntemde aşınma miktarı, aşınma sonucunda oluşan boyut değişikliğinin ölçülmesi ve ilk değerler ile karşılaştırılması suretiyle ölçülmektedir. Elde edilen kalınlık farkı değerlerinden gidilerek hacimsel kayıp değeri ve dolayısıyla birim hacimdeki aşınma miktarı hesaplanabilir. Bu yöntemde hassasiyeti arttırmak için hassas kalınlık ölçü aletleri (+1 µm duyarlılıkta) kullanılarak ölçüm yapılmalıdır. Kalınlık farkı metoduna dayanan ölçümler çoğu zaman aşınmanın nasıl olduğu hakkında net bir bilgi veremediği için daha çok hacimce meydana gelen değişimler dikkate alınmaktadır (Karaoğlu 2006; Soydaş 2006).

3.2.3 İz Değişim Metodu

Bu yöntemde aşınma yüzeyinde plastik deformasyon ile geometrisi belirli bir iz oluşturulur. Bu izin oluşumu için en çok Vickers veya Brinell sertlik ölçme uçları kullanılır. Deney boyunca oluşturulan bu izin bir boyutunun değişimi izlenir ve mikroskop vasıtasıyla ölçülerek değerlendirilir (Soydaş 2006).

3.2.4 Radyoizotop Metodu

Bu yöntemde aşınma yüzey bölgesinin proton, nötron veya yüklü α parçacıklarıyla bombardıman edilmesi ve radyoaktif hale getirilmesi esasına dayanır. Radyoizotop ile aşınma yüksek hassasiyetle ölçülebilmesi ve çalışma koşulları değiştirilmeden ölçüm yapılması sayesinde avantaj sağlanmasına rağmen ekonomik olmaması sebebiyle ancak özel amaçlarda kullanılır (Soydaş 2006).

BÖLÜM 4

AŞINMADAN KORUNMA YÖNTEMLERİ

Aşınmadan korunmak için kullanılan en yaygın kullanılan ve en ekonomik yöntem yağlamadır. Yağlama ile birbirine sürtünerek çalışan parçalar arasında sürtünme azaltılarak aşınmayı azaltılır. Aşınmayı azaltmasının yanında temizlik ve soğutma işine de yardımcı olur. Ayrıca bunlarla beraber boşlukları doldurarak da sızdırmazlığı azaltır. Yağlamanın yanında diğer bir aşınmadan korunma yöntemi de yüzeyler üzerine kaplama yapmaktır.

Özellikle çeliklere uygulanan diğer bir aşınmadan korunma yöntemi ise yüzeye farklı bir element difüzyonu ile gerçekleştirilir. Bu işlemler sementasyon, nitrasyon ve bor kaplamadır.

4.1 DİFÜZYONLA YÜZEY SERTLEŞTİRME

4.1.1 Sementasyon

Sementasyon işleminde karbon içeriği düşük olan çelik yüzeyine katı, sıvı ve gaz ortam içerisinde karbon emdirilerek yüzey sertliği artırılabilir. Katı ortamda yapılan sementasyonda karbon verici olarak kömür kullanılır. Sıvı ortamda yani tuz banyosunda NaCN gaz ortamında ise CH₄, C₂H₆, C₃H₈ gibi hidrokarbonlar kullanılır. İşlem 850-950 °C arasında bir sıcaklıkta yapılır. Sementasyon derinliği uygulanan ortama, sıcaklığa parça ebadına, malzeme cinsine göre değişiklik gösterebilir (URL-3, 2012).

4.1.2 Nitrasyon

Nitrasyon ile yüzey sertleştirme işleminde çeliğin yüzeyinde difüzyon ile azot verilerek malzemenin yüzeyinde özellikleri değiştirilebilir. Azotun alınması yüksek sıcaklıklarda östenit katı çözeltilisinde çok hızlı olur. Ancak nitrürlerin dış cidarda yığılması yüzeyde kırılğan bir tabakanın oluşmasına sebep olur. Ayrıca östenit ferrit dönüşmesinden dolayı

meydana gelen hacim değişmesi sebebiyle bu tabaka pul pul dökülür. Bu nedenle azot östenite değil ferritik yapıya nüfuz ettirilir. Alaşımız çeliklerde ferritik yapıda azot difüzyonu ile oluşan dıştaki kırılğan cidar tabakası da kolayca pul pul dökülebilir. Buna karşın nitrür teşekkül ettirebilen alaşım elementleri ile oldukça fazla kalınlıkta sertlik tabakası homojen ve yüksek sertlik elde edilir. Alaşımız ve düşük alaşımızlı çeliklerde 590 °C'nin altındaki difüzyon sıcaklıklarında yüksek sertlik değerlerine ulaşılır (URL-4, 2012).

4.1.3 Borlama

Termokimyasal bir kaplama işlemi olan borlama yüksek sıcaklıkta metallerin yüzeyinde bor atomlarının difüzyonuyla borür tabakası oluşturma işlemidir. Borlama işlemi bütün çelikler uygulanabildiği gibi demir dışı metal ve alaşımlara da uygulanabilmektedir. Borlamanın diğer yüzey sertleştirme işlemlerine üstünlüğü, yüzey tabakasının çok sert olmasının yanında yüksek aşınma, korozyon ve yüksek sıcaklıkta oksidasyon direncine sahip olmasıdır. Borlama işlemi genellikle, 700-1000 °C sıcaklık aralığında 1-10 saat sürelerle çeşitli borlama ortamlarında gerçekleştirilmektedir. Borlama ortamı katı, sıvı, gaz ve plazma olup bor kaynağı olarak ;

- a) Katı ortamda ; B_4C , ferrobör ve amorf bor
- b) Gaz ve plazma ortamında ; B_2H_6 , BCl_3 ve $(CH_3)_3B$
- c) Sıvı ortamda; boraks ve borik asit

bileşikleri kullanılır (URL-5, 2012).

4.2 TERMAL SPREY KAPLAMA YÖNTEMLERİ

Termal spreycaplama yöntemi çok yeni bir teknoloji olmayıp 1900'lü yılların başında tamir amacıyla kullanılmaya başlanmıştır (Sert 2007). Termal spreycaplama yöntemi ilk olarak endüstride Reinecke tarafından 1939 yılında kullanılmıştır ve bundan sonra Amerikan şirketleri tarafından geliştirilmiştir (Tafralı 2006).

Bu yöntem erimiş kaplama malzemesinin çalışma parçası üzerine biriktirilmesi suretiyle oluşturulan bir kaplama yöntemidir. Kaplama malzemesi ince partiküller halinde (5-200 mikron) bir tabancada eriyerek püskürtülür. Hızlı bir gaz bulutu malzemeyi kaplanacağı karşı yüzeye taşır ve sonra partiküller hızlıca katılaşırcaplar. Partiküller yüzeye mekanik, kimyasal ya da

metalurjik olarak bağlanır. Bütün partiküllerin aynı anda ısıtılması sebebiyle hepsi aynı sıcaklıkta ısınmamakta ve bu nedenle kaplamada boşluk ve oksitler meydana gelmektedir. Bu durum seçilen kaplama yöntemine ve işlem parametrelerine bağlı olarak değişmektedir (Sert 2007).

Püskürtme yöntemleri amacına uygun olarak iki kategoriye ayrılabilir. Bunlar 1-düşük enerjili ve 2-yüksek enerjili yöntemlerdir. Düşük enerjili yöntemler elektrik ark ve alev püskürtmedir ve enerjinin düşük olması sebebiyle kaplamada bazı poroziteler meydana gelmektedir. Poroziteli yapı kaplamadaki gerilimin az olması, kalın kaplamalarda ara yüzeyden kopma riskinin az olması ve yatak malzemelerinde yağlama özelliğinin olması gibi özellikleri sebebiyle kullanım alanları bulmaktadır. Aynı zamanda korozyonun ara yüzeye etkimesi için ilerleyişinde porozite engel olarak da karşı koyabilir. (Sahin 1996; Tafralı 2006).

Daha düşük porozite ve yüzeye daha iyi yapışma yüksek enerjili yöntemler ile elde edilir. Bu yöntemde bağ kuvvetleri oldukça yüksektir. Ancak en iyi sonuç için kaplanacak iş parçasını temizliğine ve pürüzlülüğüne dikkat etmek gerekir. Isıl püskürtme ile elde edilen kalınlıklar genel olarak 0,025 mm ile 3 mm arasındadır (Tafralı 2006).

Termal sprej kaplama yöntemleri genellikle havayla temas içinde veya hava atomizasyonu kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Püskürtme sırasında kimyasal etkileşimler özellikle oksitlenme metalik partiküllerin yüzeylerinde oluşur (Sert 2007).

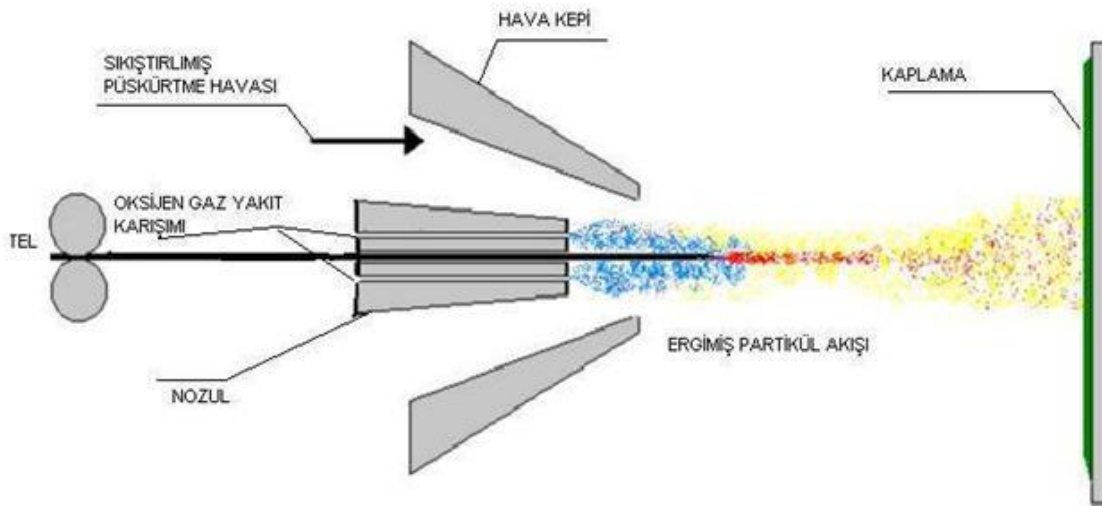
Küçük küreler altlık yüzeyine hızla çarparak soğurlar ve yassılaşılarak yüzeyde lamelsi tane yapılarının oluşmasına sebep olmaktadır. Bağ mukavemeti üzerinde partikül sıcaklığı, hızı, boyutu, altlık malzemenin sıcaklığı ve yüzey pürüzlülüğünün etkisi vardır (Sert 2007).

Termal sprej kaplamalar farklı nedenlerden dolayı belirli oranlarda (%0,025-%50) porozite içerirler. Erimemiş parçacıkların düşük çarpışma enerjisi, erimemiş partiküllerin açıdan dolayı neden olduğu gölgeleyici efektler, çekme ve stres oluşturan etkiler bu nedenler arasında sayılabilir. Kaplamalar bu sebeplerden dolayı altlık malzemesinden farklı fiziksel ve kimyasal özellikler göstermektedir (Sert 2007).

4.2.1 Alev Püskürtme

En basit ve ucuz yöntemlerin arasındadır ve kaplanacak malzemenin cinsine bağlı olarak tel, toz veya çubuk kullanılarak uygulanabilir. Düşük sermayeli yatırım, yüksek depozite oranı ve verimliliği, kullanım kolaylığı, düşük bakım maliyeti gibi özelliklere sahiptir. Tel alev püskürtme tekniğinde ergime sıcaklığı oksijen-asetilen alev sıcaklığından düşük ve tel halinde üretilen bir metalin kaplanacak yüzeye püskürtülmesi ile kaplama işlemi yapılır. Toz alev püskürtme tekniğinde ise toz halinde üretilen kaplama materyali vakum yardımıyla oksijen-asetilen alev içersine beslenir. Ergiyen partiküller altlık yüzeyine taşıyıcı gaz yardımıyla taşınır (Sert 2007). Şekil 4.1’de alev püskürtme yöntemi şematik olarak verilmiştir.

Alev püskürtme tekniğinde gerekli ısı yanıcı gazlar ile elde edilerek malzeme ergitilir. Yanıcı gaz olarak asetilen, propan veya hidrojen yakıcı oksijen ile kullanılır. Gaz karışımları sayesinde ergiyen püskürtme taneciklerinin hızları 30-150 m/sn arasındadır. Eğer kaplama malzemesi toz biçiminde ise aleve enjekte edilir ve burada ısıtılır. Sıcak gaz çıkışı ile iş parçası yüzeyine gönderilir. Tel veya çubuk biçimindeki kaplama malzemesi kullanıldığında ise alev içinde bir erime ucu oluşturulur ve buraya basınçlı hava püskürtülerek, partiküller iş parçasına doğru yönlendirilir (Sert 2007).



Şekil 4.1 Alev püskürtme yöntemi (URL-6, 2011).

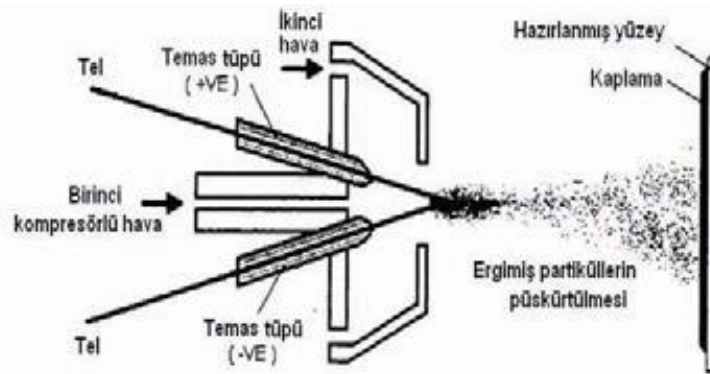
Parçacıkların alevin merkez kısmı içinden veya dışından yol alarak kaplanacak yüzeye gelmesi durumunda yüzeyde uniform yapı oluşmaz. Dış kısımdan giden tanecikler, alevin

merkezinden giden taneciklere göre daha yavaş hareket ederler ve sıcaklıkları daha düşüktür. Bu sebeple kaplamanın yapı ve gözeneklilik özelliklerinin uniform olması için kaplanacak yüzeyin ya da tabancanın hareket ettirilmesi gerekir (Sert 2007).

Alev ile püskürtme yöntemi kullanılarak 25-30 MPa bağlantı mukavemeti, %10-15 boşluklu ve %15'e kadar oksit bileşenli kaplamalar elde edilebilir. 3000 °C'deki alev sıcaklığıyla tanecikler 2000 °C'nin üstüne çıkartılabilir ve yaklaşık 100 m/sn hızla altlık üzerine gönderilebilir. Metalik teller rahatlıkla püskürtülürken seramik tellerde püskürtülebilir (Sert 2007). Elde edilen metal kaplamadaki boşluk oranı püskürtme işleminden sonra yüzeye uygulanan ısıtma ile azaltılabilir. Ancak ısıtma sırasında esas malzemenin yüzey sıcaklığına dikkat etmek gerekir.

4.2.2 Elektrik Ark Püskürtme

Elektrik ark püskürtme yönteminde iki elektrot arasında bir ark meydana getirilir ve 4000 °C'nin üzerinde sıcaklıklara ulaşılmaktadır (Şekil 4.2). Bu şekilde eriyen malzeme basınçlı hava yardımıyla ana malzeme üzerine gönderilir. Bu yöntem ile özellikle büyük ebatlı malzemeler üzerine kalın kaplamaların yüksek hızlarda biriktirilmesi sağlanır. Kaplama tertibatında kontrol ekipmanı, tel kaynağı, kompresör ve elektrik ark tabancası yer almaktadır (Sert 2007).



Şekil 4.2 Elektrik ark sprey (URL-7, 2012).

Sabit akım güç kaynağı arkta açık devre 18-35 volt direk akım (150-800 A) sağlar. Elektrik ark püskürtme yönteminde kullanılan ark tabancasının püskürtme mesafesi 7,5-12,5 cm arasındadır. Bu kaplama yöntemi ile korozyona, erozyona ve sürtünmeye dirençli kaplamalar ile makine parçalarının geri kazanılması veya kullanılmış makine parçalarının iyileştirilmesi

için yeniden dolgu kaplamaları elde etme olanağı vardır. Yöntemin dezavantajı ise ortaya çıkardığı gürültü ve tozdur (Geçkinli 1992; Sert 2007).

4.2.3 Detonasyon Tabancası (Patlamalı Püskürtme)

Bu yöntemde patlayıcı oksijen, asetilen ve toz karışımı kullanılır. Esasen saniyede dört kez oluşan bir kıvılcım karışımı patlatır, tanecikleri ergime sıcaklığına kadar ısıtır ve tozlar cihazın önündeki borudan püskürtülür. Elektrik kıvılcımı ile gaz tutuşturularak oluşturulan patlama sayesinde oluşan yaklaşık 750 m/sn hızla tanecikler parça yüzeyine çarparak burada hem metalürjik hem de mekanik türde bir bağlantı oluşur (Tafralı 2006).

Patlamalı püskürtme yönteminde alev sıcaklığı yaklaşık olarak 3000 °C'dir ve yüksek hız ve sıcaklık sayesinde boşluk seviyesi %0,5-1 arasında iyi bağlanmış kaplamalar meydana getirilebilir. Yöntemin çok gürültülü olması sebebiyle işlem ses izolasyonu olan bir oda da operatör tarafından yapılır. İş parçasının çok ısınmaması ve ergime sıcaklığı yüksek karbürler gibi malzemelerin kaplanması yöntemin avantajları arasındadır (Sert 2007).

4.2.4 Plazma Püskürtme

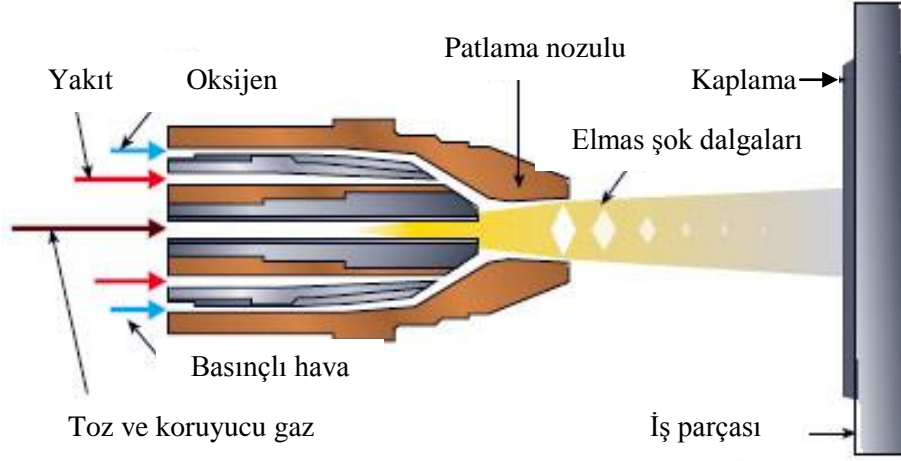
Plazma püskürtme tekniğinde katot ve anot arasında elektrik arkı ve bu arkın içinden genellikle Ar, N₂, H₂ veya He gibi soygazların geçirilmesiyle 20000 °C sıcaklığında bir plazma oluşturulur. Tabanca çıkışına yakın bir yerden metal tozları bu plazma içine beslenir. Plazma alevi metal ve seramik tozlarını eriterek kaplanacak malzeme yüzeyinde kaplama oluşturulur (Sert 2007).

4.2.5 Yüksek Hızlı Oksi-Yakıt (HVOF) Püskürtme

Termal püskürtme yöntemleri arasında son on yılın en iyi teknolojisi ve gelişmeye en açık teknolojisi olan yüksek hızlı oksijen-yakıt (HVOF) püskürtme yöntemi 80'li yılların başında ilk defa kullanılmaya başlanmıştır (Sert 2007).

HVOF yönteminde oksijen ile propan veya hidrojen gibi gazlar yakılır ve tozların enjekte edildiği nozula doğru gönderilir (Şekil 4.3). Sonra nozul içerisinde yer alan tozlar ve yanıcı gaz ses üstü bir hızla atmosfere çıkar. Yöntem yüksek kalitede metal, karbür ve farklı özel

kaplamalar oluşturabilmek için geliştirilmiş bir sistemdir. Tanecikler 0,75 MPa basınç ve 1200 m/sn hızla altlık üzerine çarparlar. Yüksek hız ve basınç sayesinde tüm gözenekler dolar ve sonuçta yoğun ve bağlama mukavemeti yüksek kaplamalar elde edilir (Sert 2007).



Şekil 4.3 Yüksek hızlı oksji-yakıt püskürtme yöntemi (URL-8, 2012).

4.2.6 Soğuk Püskürtme Yöntemi

Sisteme toz formundan beslenen kaplama tozlarının yüksek basınçlı sıcak gaz yardımıyla ermiş ya da yarı erimiş bir formda ve süpersonik hızlarda altlık malzeme yüzeyine püskürtülmesi ile kaplama işlemi gerçekleştirilir.

Önceden yüksek basınçlara çıkartılmış gazın bir kısmı ısıtıcı sistemden geçirilerek belli bir sıcaklığa çıkartılır ve buradan püskürtme tabancası içine sevk edilir. Gazın diğer kısmı püskürtme tozu silosuna beslenir ve toz belli bir basınçta tabancaya taşınır. Partiküller sıcak gaz etkisiyle erimiş ya da yarı erimiş durumda ve süpersonik hızda altlık malzeme yüzeyine doğru hızlanır ve buraya çarparak plastik deformasyona uğrarlar. Püskürtme çok yakın mesafenden (5-25 mm) yapılır ve püskürtme memesi 2,7 mm gibi çok küçük çaplıdır. Kaplama esnasında yüzeye süpersonik hızla çarpan partiküller yüzeyde basma gerilmeleri ve plastik deformasyon oluşturur. Kaplama öncesinde hiçbir yüzey pürüzlendirme işlemi uygulanmamasına rağmen yüksek çarpma hızından dolayı yüksek yapışma mukavemeti sağlanır ve bu yöntemle ultra kalın kaplamalar üretilebilir. Yöntemin en önemli avantajı püskürtme sırasında ergimenin olmayışı ya da sınırlı bir ergimenin olmasıdır (Sarıkaya 2007).

BÖLÜM 5

FERROKROM

1865 yılından sonra krom çelikte katkı olarak kullanılmaya başlanmıştır ve çelik endüstrisi sanayi devriminin itici gücü olmuştur. Krom metali 1797 yılında keşfedilmiştir ve dünyada ki ilk kromit yatakları 1798 yılında Ural Dağları'nda bulunmuştur. Ülkemizde ise ilk kromit yatakları 1848 yılında Bursa yakınlarında tespit edilmiştir ve 1850 yılında üretilmeye başlanmıştır. Yer kabuğunun doğal bileşenlerinden biri olan krom metalurji, kimya ve refrakter sanayinin temel elementlerinden biridir. Krom metalinin ekonomik olarak üretilebildiği tek minerali kromittir (Ege İhracatçılar Birliği 2011). Ticari krom minerali olarak kullanılan kromit $FeO.Cr_2O_3$ formülüyle ifade edilir. Genellikle %50'ye kadar Cr_2O_3 içerir (Altun vd. 2008).

Metalurji sanayinde krom cevherinin en önemli kullanım alanı paslanmaz çelik yapımında kullanılan ferrokrom üretimidir. Paslanmaz çelik metal ve silah sanayinin en önemli maddesi ferrokromdur. Ferrokrom tesisleri 1970'li yıllardan bu yana paslanmaz çelik üreten sanayisi gelişmiş ülkelere krom cevherinin üretildiği ülkelere kaymıştır. Diğer bir deyişle krom cevheri olmayan ülkeler ferrokrom üretiminden uzaklaşmaktadırlar (Ege İhracatçılar Birliği 2011).

Ferrokrom genellikle demir-çelik endüstrisinde korozyon önleyici mukavemet arttırıcı bir malzeme olarak kullanılan, %45-95 krom içeren ve kromitin elektrik fırınlarında yüksek fırınlarda veya plazma fırınlarında karbonla indirgenmesi suretiyle üretilen bir demir krom alaşımıdır (Altun vd. 2008).

Son yıllarda metalurji sanayinde kullanılan kromun yaklaşık %95'i ferrokrom şeklinde, ferrokrom ise başlıca paslanmaz ve ısıya dirençli çelik yapımında tüketilmektedir. Krom çeliğe başlıca yüksek karbonlu ferrokrom şeklinde ilave edilir. Dünyada yüksek karbonlu ferrokrom tüketiminde artış trendi gözlenmektedir (Ege İhracatçılar Birliği 2011).

Türkiye de krom cevheri ve ferrokrom üretimi ağırlıkla ihracata yönelik olarak yapılmaktadır. Bu nedenle krom madenciliği dış pazarlarda oluşan fiyat dalgalanmalarından büyük ölçüde etkilenmekte; pazar koşullarının elverişli olmadığı yıllarda üretim düşmektedir (Ege İhracatçılar Birliği 2011).

5.1 ÜRETİM TEKNOLOJİSİ

Dünyada üretilen kromit cevherinin %94'ü metalurji sanayisinde ferrokrom üretimine kullanılmaktadır. Krom cevherinin ferrokroma dönüştürülmesi ile elde edilen katma değer artmaktadır. Ferrokrom üretimi sayesinde cevherden elde edilen gelirin iki katı elde edilmektedir (Ege İhracatçılar Birliği 2011).

2 milyon ton cevherden 800.000 ton ferrokrom üretmek mümkündür. Optimum 1 milyon ton kapasiteli paslanmaz çelik tesisinin yıllık ferrokrom ihtiyacı 300000 ton'dur. Türkiye'de yılda yaklaşık 800 bin ton ferrokrom üretilebilecek cevher satışı bulunmaktadır (Ege İhracatçılar Birliği 2011).

Ülkemizde yüksek karbonlu ferrokrom Elazığ'daki 150000 Ton/yıl ve düşük karbonlu ferrokrom Antalya'daki 10.000 Ton/yıl kapasiteli tesislerde üretilmektedir. Her iki tesisin ortalama cevher tüketimi 200.000-250.000 Ton/yıl olduğu tahmin edilmektedir (Ege İhracatçılar Birliği 2011).

Ferrokrom üretiminde roş kromit, konsantre kromit, boksit, kuvarsit, kok kömürü hammadde olarak ve Söderberg hamuruda elektrot yapımı için kullanılır. Ferrokrom üretiminde kullanılacak Cr/Fe oranının yüksek olması istenir. Ayrıca bu cevherler sert roş kromit, kırılğan roş kromit, ince ve konsantre kromit olmak üzere alt gruplara ayrılır (Altun vd. 2008).

Cevherde FeO miktarının düşük Cr_2O_3 tenörünün yüksek olması yani Cr/Fe oranının yüksek olması istenir. İyi cevherde bu oran 3 veya daha fazla olabilir. Ferrokrom üretiminde FeO ve Fe_2O_3 indirgenerek Fe halinde metale geçmesi önlenemez. Bunun için şarja FeO ve Fe_2O_3 girmesi Cr/Fe oranının yüksek olduğu kromit cevheri kullanılarak ve şarjdaki boksit miktarı mümkün mertebe düşük tutularak önlenir (Altun vd. 2008).

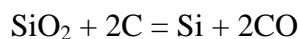
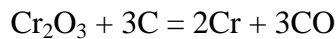
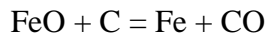
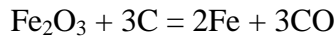
Konsantre kromit roş kromitten sonra en çok kullanılan hammaddedir. Roş kromitin yarısı oranında kullanılır. Konsantre kromitte de roş kromitte istenen özellikler istenir. Cevherin içindeki demir ve krom oksitler yüksek sıcaklıklarda karbonla kolayca indirgenir. Karbona olan afinitesi sebebiyle krom daima karbon içeren alaşımlar oluşturur. Kromitin indirgenebilirliği bileşimine bağlıdır (Altun vd. 2008).

Ferrokrom üretiminde şarja cüruf yapıcı olarak kuvarsit katılır. Kuvarsit %93-98 oranında SiO₂ içerir ve oluşan cürufta MgO/SiO₂ oranının 1 olması için şarja katılır. SiO₂ asidik bir bileşiktir ve eğer şarjda serbest kalırsa fırın duvarındaki refrakterlerin erimesine sebep olur (Altun vd. 2008).

Ferrokrom üretiminde ferrokromun yüksek veya düşük karbonlu oluşuna göre değişik metotlar uygulanır. Düşük karbonlu ferrokrom üretiminde redükleme metalik silikonla yapılır. Reaksiyon için açık ark fırınları kullanılır. Silikayı bağlayıp cürufa geçirmesi için kireç taşı kullanılır. Yüksek karbonlu ferrokrom üretimi daha çok batık elektrodlu ark fırınlarında yapılır (Sarıçimen 1975).

Reaksiyon bölgesinde önce Fe₂O₃ ve FeO sonra Cr₂O₃ ve bir miktarda SiO₂ karbon ile indirgenerek ferrokrom oluşur. 1090 °C'de krom oksit redüklenmeye başlanır ve 1185 °C'de karbon arı kromu redükler (Altun vd. 2008).

Demir oksidin redüklenmesi izabe işlemini hızlandırır ve bunun yanında demir miktarının artması ile alaşımın ergime sıcaklığı düşer. Alaşımın krom konsantrasyonunun azalması reaksiyon dengesini krom oksit redüklenmesinin lehine çevirir ve bu şekilde cevherden elde edilen krom randımanı artar. Fırınlarda oluşan temel reaksiyonlar şunlardır (Altun vd. 2008);



Bu reaksiyonlar sonucu indirgenen demir ve krom ferrokrom halinde yaklaşık 1600 °C sıcaklıkta ve sıvı halde fırın tabanında toplanır. Ferrokroma karbür halinde %4-6 civarında

karbon geçer. Fırın tabanında toplanan metal ve cüruf fırından boşaltılır. Şarj ortalama 4 saatte bir yapılır. Boşaltma işleminden sonra boşaltma deliği kapatılır (Altun vd. 2008).

5.2 FERROKROM CÜRUFU

Ferrokrom cürufu fırına giren MgO, SiO₂, Al₂O₃, CaO'dan ve cevherden gelen FeO ile cürufa kaçan Cr₂O₃ ve Cr'dan oluşur. Ferrokrom cürufu yaklaşık olarak 1700 °C sıcaklıkta fırın tabanında sıvı halde metal üzerinde toplanır. Tabanda toplanan metal ve cüruf potalara boşaltılır. Yoğun olan metal potanın dibine çöker ve hafif olan cüruf ise potanın üstünde kalarak metalden ayrılarak alınır. Sonra cüruf soğutulmuş depo alanına dökülür (Altun vd. 2008).

Tablo 5.1 Ferrokrom cürufunun yaklaşık bileşimi.

Bileşen	%
SiO ₂	25-35
Al ₂ O ₃	25-35
MgO	25-30
FeO	1-5
Cr ₂ O ₃	2-5
CaO	1-5

Cürufların soğutulma şekilleri farklı olduğu için farklı özelliklere sahip olurlar. Havada yavaş soğutulmaları durumunda kristal bir yapı oluşur ve bu haliyle cüruf yüksek mekanik özellik gösterir. Bu haliyle cüruf genellikle agrega olarak kullanılır. Fırından çıkan cüruf eriyik halden hızla soğutulursa akışkanlıktaki ani azalma kristalleşmeyi engeller ve camsı yapıda bir katı madde meydana gelir. Bu tür cüruf daha çok çimentolu sistemlerde çimento ve beton üretiminde kullanılır (Yılmaz ve Süttaş 2008).

BÖLÜM 6

LİTERATÜR ÖZETİ

Ataman (2006) yaptığı bir çalışmada izabe cüruflarının (çelikhane cürufu, yüksek fırın cürufu, termik santral kömür cürufu ve ferrokrom cürufu) yüzey hazırlama işlemlerinde aşındırıcı olarak kullanılabilirliğini araştırmıştır. Numuneler pazar koşullarına uygun hale getirilmesi için durumlarına göre kırma, eleme ve yıkama işlerinden geçirilmiştir. İlgili standartta kullanılacak aşındırıcılar için 0,2-2,8 mm arasında 9 adet tane boyutu dağılımı önerilmiştir. Çalışmada endüstriden uzmanlarla görüşmeler neticesinde 0,3 ila 1,6 mm boyutlarında kullanılmıştır. Hazırlanan numuneler tersanede uzmanlar nezaretinde gerçek şartlarda denenmiştir. Uygulama için uzun süre denizde kalmış ve korozyona uğrayarak bakıma alınmış gemi yüzeyleri seçilmiştir. Üretilen gritler 60 cm püskürtme uzaklığında, 60-90 °C püskürtme açısında, 700 atm hava basıncında ve 10 mm nozul çapında işlem parametrelerinde denenmiştir. Kömür cürufu dışında tüm numuneler, sertlik standardını sağlamaktadır. Sonuç olarak çelikhane cürufunun kabul edilebilir minimum temizleme performansı sınırları içinde olduğu kabul edilmiştir. Numune tatbik edilen yüzeyde kalıntı bırakmadığından kontaminasyona yol açmamıştır. Ayrıca uygulama esnasında tozlaşma yaratmamıştır. İnce boyutlu yüksek fırın cürufunun çelikhane cürufuna göre hem daha fazla pürüzlülük yarattığı hem de daha parlak bir yüzey sağladığı tespit edilmiştir. Ayrıca numunenin fazla tozlanma yaratmaması da olumlu bir durum olarak belirtilmiştir. Ancak tatbik edilen yüzeyde beyaz kalıntılar bırakarak kontaminasyona yol açtığı görülmüştür. İri taneli yüksek fırın cürufu daha fazla pürüzlülük yaratmıştır. Ancak kontaminasyon sorununun daha iri numunelerde de görülmüştür. Ferrokrom cürufunun ilk bakışta yüzey kalitesini elde edildiği görülmüştür ve çelikhane cürufu ile temizlenmiş gemi panelinden daha parlak ve beyaza yakın bir yüzey elde edildiği saptanmıştır. Fakat numunenin yüzeyde yeterince pürüzlülük yaratmadığı ve uygulama esnasında aşırı tozlaşma yaratmadığı görülmüştür. Ayrıca numunenin tatbik edilen yüzeyde beyaz kalıntılar bırakarak kontaminasyona yol açtığı görülmüştür. Kuru olarak hazırlanmış numune boyalı gemi sacında denenmiş numunenin yeterince yüzey temizliği ve

pürüzlülük yaratmadığından uygulamanın kabul edilebilir minimum temizleme performansı sınırları içinde olmadığı sonucuna varılmıştır.

Yılmaz ve Süttaş (2008) yaptıkları bir çalışmada Antalya da faaliyet gösteren ETİ Ferrokrom İşletmesi'nden yan ürün olarak çıkan ve atık durumdaki endüstriyel atıkların yol üstyapısının temel tabakalarında, doğal agregalar yerine alternatif olarak kullanım imkanını araştırmışlardır. Bunun için önce cüruflar kırıcılardan geçirilerek kullanıma uygun boyutlara getirilmiştir. Deneyler bağlayıcı içeren ve bağlayıcı içermeyen karışımlar olmak üzere iki grupta yapılmıştır. Bağlayıcı içermeyen karışımlar %100 cüruf ve %100 doğal agrega karışımından oluşmuştur. Bağlayıcı içeren karışımlarda farklı oranlarda çimento, kireç ve silis dumanı kullanmışlardır. Malzemelerin “Kuru Birim Ağırlık- Su İçeriği” ilişkisini Proctor deneyi ile tayin etmişlerdir. Sonuçta optimum su muhtevası her iki malzeme için de %7,5 çıkmıştır. Bağlayıcısız karışımların yük taşıma kapasitesi CBR deneyi ile bağlayıcı içermeyen karışımların yük taşıma kapasitesi ise serbest basınç mukavemeti deneyi ile belirlenmiştir. Sonuç olarak FeCr cüruflarının fiziksel ve mekanik özellikleri bakımından yol üstyapısının granüler tabakalarında doğal agregaya alternatif olarak kullanılabilmesi, ayrıca hidrolik bir bağlayıcı ile stabilize edilen cüruf karışımlarının oldukça yüksek dayanımlara sahip olması sebebiyle yüksek trafik hacmine sahip karayolları için iyi bir stabilizasyon temel alternatifi oluşturabileceği belirlenmiştir. Ayrıca FeCr cüruflarının agrega olarak kullanılması için gerekli olan kırma-eleme işleminin maliyeti ayrı bir girdi olarak dikkate alınmalıdır.

Yılmaz ve Kök (2008) yaptıkları çalışmada bitümlü sıcak karışımlarda agrega olarak kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Bunun için hem kaba agrega olarak hem de karışımın bütün agregası olarak ferrokrom cürufunu kullanmışlardır. Bununla beraber styrene-butadiene-styrene (SBS) modifiyeli bitümlerin cüruf içeren bitümlü sıcak karışımlar üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Hazırlanan karışımların üzerinde Marshall stabilite ve akma, indirek çekme rijitlik modülü, sünme rijitliği ve indirek çekme mukavemeti deneylerini uygulamışlardır. Sonuçta kaba agrega olarak ferrokrom cürufu kullanılan karışımların bütün deneylerde en iyi sonucu verdiği, ferrokrom cürufunun bitümlü sıcak karışımlarda agrega malzemesi olarak kullanılabilmesini belirlenmiştir. Ayrıca bitüm modifikasyonunda SBS kullanılması ile bitümlü sıcak karışımların performansının arttığı ancak aynı yüksek sıcaklık performans derecesine sahip saf bağlayıcı ile SBS modifiyeli bağlayıcılarla hazırlanmış karışımların benzer performans sergilemediği tesbit edilmiştir.

Yazıcıoğlu vd. (2005) yaptıkları çalışmada Elazığ Ferrookrom İşletmesinden elde edilen cürufun betonun basınç dayanımı ve çarpma etkilerini incelemişlerdir. Bunun için ferrokrom cürufu çimentoya ağırlıkça %1, %3, %5, %7 ve %10 oranlarında katılmıştır. Deneylede özgül ağırlığı $2,63 \text{ gr/cm}^3$ olan 4, 8, 16 ve 32 mm tane çaplarında agrega kullanılmıştır. Üretilen beton 150 cm'lik küp kalıplara vibrasyonla yerleştirilmiştir. Üretilen beton numuneler ilk 24 saat laboratuvar ortamında bekletildikten sonra kalıptan çıkarılmıştır. Bu numuneler 28. güne kadar $23 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ deki kirece doymun suda bekletilmiştir. Beton numuneler hidrolik yük kontrollü preste kırılarak basınç dayanımları elde edilmiştir ve küp beton numuneler üzerine çarpma testleri uygulanmıştır. Sonuç olarak ferrokrom cürufunun betonun gerek basınç dayanımına gerekse çarpma enerjisine iyi bir iyileştirme sağladığı belirlenmiştir. Kontrol betonu ile cüruf katkılı betonlar incelendiğinde kontrol betonuna göre %3 cüruf katkısına kadar hem basınç dayanımlarında hem de çarpma enerjisinde %7-11 oranında artış görülmüştür. Cüruf katkısının %5 olması durumunda ise basınç dayanımı ve çarpma enerjisi kontrol betonu ile aynı değerde olmuştur. Bu durumda %3'e kadar cüruf katkısı betonun mekanik özelliklerini iyileştirmiş, %5 ilavede ise kontrol betonu ile aynı mukavemet değerlerini almıştır.

Ekinci ve Erşimşek (2006) yaptıkları çalışmada enjeksiyon yöntemiyle üretilmiş granüle ferrokrom cürufu katkılı betonların basınç dayanımı, aşınma ve yıpranma davranışlarını araştırmışlardır. Deneylede öncelikle agregalar belirlenen oranlarda kuru karışım olarak küp ve silindir kalıplara üç aşamada şişle sıkıştırılarak yerleştirilmiştir. Su ve bağlayıcı madde belirlenen oranlarda hazırlanıp 10 bar basınçla sıkıştırılmıştır. Hazırlanan numuneler %90 bağıl nemde bir gün bekletildikten sonra $23 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıktaki suda deney gününe kadar kür havuzunda bekletilmiştir. Su ve çimento karışımı karıştırma kabında karıştırıcı ile hazırlandıktan sonra besleme haznesinde bir huni yardımıyla boşatılmış ve tüm karışımlarda 10 bar basınç uygulanmıştır. Betonların basınç dayanımları TS 3114 esasına göre, aşınma ve yıpranma dayanımı deneyi ise bilyalı tamburla incelenmiştir. Sonuç olarak farklı tip beton karışımından elde edilen sonuçlarda, kum yerine katkı maddesi olarak granüle yapılı mineral malzeme oranı arttıkça basınç dayanımının az da olsa arttığı ve betonların aşınma ve yıpranmaya karşı daha iyi davranış gösterdiği belirlenmiştir.

Can (2008) yaptığı çalışmada ferrokrom cürufunun kerpiçin mühendislik özelliklerine etkisini araştırmıştır. Çalışmada yol üzerinden zemin kotundan 0,75 m derinlikten killi toprak alınmış, patöz saman ve su ile karıştırılmıştır. Atık olarak Elazığ Eti Bor Ferrookrom Madeni

İşletmelerinden ferrokrom cürufu kullanılmıştır. Kerpiç toprağına kütlece %5, %10, %15 oranlarında ferrokrom cürufu ve kil oranına bağılı olarak 1 m³ karışıma 7 kg saman kullanılmıştır. Her katkı oranı için 6'şar adet numune toplamda basınç dayanımı ve suda dağılma deneyleri için toplam 48 adet numune hazırlanmıştır. Çalışmada 5 mm'lik elekten geçen %26 killi toprak, katkı oranına bağılı olarak miktarı tespit edilen ferrokrom cürufu 1 m³'üne 7 kg saman ve 500 litre su gelecek şekilde malzemelerin harmanlanması ile kerpiç numuneler oluşturulmuştur. Hazırlanan numunelere çekme deneyi, basınç dayanımı deneyi ve su etkisi ile dağılma deneyi uygulanmıştır. Çekme deneyi sonucunda elde edilen sonuçla ferrokrom cürufu katkılı kerpiç toprağı orta yağlı çamur sınıfına göre gerilme kopma dayanımı gerekli minimum değerden yüksek olduğu için kullanılabilir olarak çıkmıştır. Basınç dayanımı deneyinde cürufun kerpiç dayanımını arttırdığı görülmüştür. En yüksek basınç dayanımı değeri %10'luk ferrokrom cürufu katkısı ile elde edilmiştir. Su etkisi ile dağılma dayanımı sonuçlarında da %10 ferrokrom cürufu katkılı kerpiç en yüksek dayanımı göstermiştir. Sonuç olarak ferrokrom cürufu kerpiç'in basınç ve suya karşı direncini arttırmış buna rağmen maliyete hiçbir ekstra yük getirmemiştir.

Alataş vd. (2006) yaptıkları çalışmada bitümlü sıcak karışımlarda kullanılan kalker agregasının yerine demir çelik üretiminde yan ürün olarak açığa çıkan Ereğli Demir Çelik Fabrikası (E.D.Ç.F) çelikhane cürufunun kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Bunun için hazırlanan Marshall briketleri üzerine Marshall stabilite, indirekt çekme rijitlik modülü ve statik yüklemeli sünme sertliği deneyleri yapılmıştır. Aynı deneyler Adapazarı Taşkırsığı taş ocağından alınan kalker kökenli malzeme ile tekrarlanmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Marshall stabilite deneylerinden elde edilen değerlerde cürufu numunelerde kalker numunelerine göre daha yüksek stabilite değerleri elde edilmiştir. Rijitlik modülü ve statik yüklemeli sünme sertliği modülü sonuçlarında da cürufu numunelerde yüksek değerler elde edilmiştir. Sonuçta cürufu numunelerde daha sonuçlar alınmış ve kalker agregasının yerine kullanılabilceği görülmüştür. Cürufu numunelerin kalkerli numunelere göre iyi performans göstermesi, agrega olarak cürufun kalkere göre daha dayanıklı olmasından ve aynı zamanda cüruf malzemesinin yüzeyi kalkere göre daha gözenekli ve pürüzlü olduğundan sıcak karışım içersinde agregalar ile bitüm arasındaki adezyon cürufta daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır.

Ziyadanoğulları (1993) yaptığı bir çalışmada bakır ve kobalt bakımından önemli bir kaynak olan konverter cüruf ve oksitli bakır cevherinden bu elementleri kazanmaya çalışmışlardır.

İşlemin esası sülfürleme ve sülfürleme sonucu elde edilen örneklerin kavrulmasıyla bu elementleri sülfat bileşiklerine dönüştürme oluşturmaktadır. Kavrulan örnekler su ile işleme sokularak bakır ve kobalt CuSO_4 ve CoSO_4 şeklinde çözelti ortamına alınmışlardır. Çözeltiye bakır ve kobaltla beraber bir miktar demir de geçmiştir. Sülfürleme işlemi yüksek verim için otoklavda yapılmıştır. Uygun sülfürleme koşulları belirlenerek kavurma sonucu elde edilen örneğin su ile işleme sokulmasıyla bakırın %96,7 ve kobaltın da %86,1 kadarının çözelti ortamına alınabilirliği saptanmıştır. Bakır, kobalt ve demirin çözelti ortamına alınmasından sonra bu çözelti buharlaştırılarak bakır bakımından doymuş çözelti elde edilmiştir. Bu çözelti elektroliz işlemine tabi tutulmuştur ve bakır çözülden ayrılarak Pt elektrot üzerinde toplanmıştır. Sonra çözelti ortamında kalan kobalt ve demir çözücünün buharlaştırılarak uzaklaştırılması ile katı halde CoSO_4 ve FeSO_4 örnekler elde edilmiştir. Demirin Fe_2O_3 'e dönüştüğü ve kobaltın CoSO_4 olarak bozulmadan kaldığı sıcaklık değerleri belirlenmiştir. Elde edilen örnekler su ile işleme sokulduğunda kobalt çözelti ortamına geçerek demirden ayrılmıştır. Böylece bakır saf bir şekilde elementel olarak ve kobalt da CoSO_4 halinde elde edilmiştir.

Kaya ve Turan (2004) yaptıkları çalışmada yüksek fırın cürufunun cam yünü ve cam fiber olarak kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Çalışmada standart cam yünü ve cam fiber numunelerin yanında yüksek fırın cürufu ve bor türevleri atığı içeren numuneler kullanılmıştır. Standart cam yününün yanında %20 yüksek fırın cürufu ilaveli ve %13 yüksek fırın cürufu ile %14 bor türevleri atığı içeren cam yünü reçeteleri hazırlanmıştır. Aynı zamanda standart cam yününün yanında %43 yüksek fırın cürufu ilaveli cam fiber reçetesi hazırlanmıştır ve bu reçeteler ergitilmiştir. Böylece endüstriyel atık içeren kompozisyonların reçete maliyetlerinin standarda göre düştüğü görülmüştür. Ayrıca cam yünü ve cam fiber üretiminde geleneksel olarak kullanılan hammaddelere göre kızdırma kaybının düşük olması nedeniyle fırına daha fazla malzeme şarj edilebileceği için aynı miktarda enerji ile daha fazla ürün elde edilebilir. Bunun yanında enerji tüketiminin azalması ve cürufun CO_2 içermemesinden dolayı CO_2 emisyonu da önemli miktarda azalır. Sonuç olarak ülkemizde yüksek miktarda açığa çıkan endüstriyel atıklardan yüksek fırın cürufunun alternatif hammadde olarak kullanımı ile seramik karo üretimi veya çimento üretimi yerine katma değeri yüksek olan cam yünü ve cam fiber üretiminde kullanılabileceği belirlenmiştir.

Özkan (2006) yaptığı çalışmada granüle yüksek fırın cürufu (GYFC) ve çelikhane cürufunu (ÇC) ayrı ayrı ve birlikte klinker-alçı karışımı ile yer değiştirmesi ile elde edilen çimentoların

fiziksel mekanik ve sülfatlara dayanıklılık özelliklerini araştırmıştır. ÇÇ ve GFYC ayrı ayrı ve birlikte klinker-alçı taşı karışımı ile yer değiştirmiştir. Bu amaçla 4 grup belirlenmiştir. Gruplardan ilki referans klinker, ikincisi klinker-alçı taşı karışımının GFYC ile yer değiştirmesi, üçüncüsü klinker-alçı karışımının ÇÇ ile yer değiştirmesi, sonuncusu ise klinker-alçı karışımının GFYC ve ÇÇ ile birlikte yer değiştirdiği karışımlardır. Çalışmada kullanılan malzemeler fabrikadan çıktığı gibi granüle olarak temin edilmiştir ve kullanılırken 3100-3300 cm²/gr inceliğe kadar getirilmiş ve çimentolar elde edilmiştir. Çimentoların harç numunelerinde oranı sırasıyla çimento/kum/su 1/3/0,5'dir. Üretilen harç numuneler 7, 28, 90 günlük basınç ve eğilme deneyleri, priz süresi ve genleşme miktarı tayini deneyleri yapılmıştır. Sonuçta klinker ile yer değiştiren atık malzemeler daha düşük özgül ağırlıkta çıkmışlardır. GFYC ve ÇÇ birlikte veya ayrı ayrı kullanıldıklarında priz süreleri gecikmiştir. GFYC harç yaşı arttıkça çimentolara daha fazla dayanım kazandırmaktadır. ÇÇ diğer katkıların aksine harç yaşı arttıkça dayanım kaybını arttırmaktadır. Sonuç olarak anlaşılmıştır ki bu iki katkıda daha ince öğütüldüğünde %70 miktarına kadar klinker ile yer değiştirebilir.

Kayalı ve Yalçın (2009) yaptıkları çalışmada östemperlenmiş küresel grafitli dökme demirin mikro-aşınma davranışına östemperleme sıcaklığının etkisini incelemişlerdir. 900 °C'de 60 dakika östenitlenen numuneler 250, 300, 350 ve 400 °C'lerde 60 dakika östemperlemeyi takiben oda sıcaklığına soğutulmuş ve bol su ile yıkanarak kurutulmuştur. Östemperlenen numuneler oda sıcaklığında 8 mm çapındaki WC-Co bilyeye karşı 10 N ve 20 N yükler altında mikro-aşınma testlerine tabi tutulmuştur. Mikro-aşınma testi sonucunda oluşan aşınma iz hacmi hesaplanmıştır. Sonuç olarak östemperleme işlemiyle aşınma hacminin önemli ölçüde azaldığı görülmüştür. 10 N yük altındaki aşınma hacimleri dikkate alındığında östemperlenen numunelerin işlem görmemiş numuneye göre yaklaşık olarak 4,7 ila 9,8 kat daha az aşındığı anlaşılmıştır. 20 N yük altında ise östemperlenen numunelerin aşınma hacmi ısı işlem görmemiş numuneye göre 16-30,8 kat daha az aşınma göstermiştir. Artan yük ile aşınma direncinin arttığı söylenebilir. Östemperleme sıcaklığının artması ile sertliğin azaldığı görülmüştür. Düşen sertlik ile aşınma hacmi artmıştır ve malzemenin aşınma direnci düşmüştür.

Silva vd. (2010) yaptıkları bir çalışmada bazı farklı aşındırıcı malzemeleri inceleyerek bunların her birinin top-krater mikro aşınma testinde aşındırıcı özelliklerini belirlemeye çalışmışlardır. Bunun için sıcak haddelenmiş çelik numuneler kesilmiş ve bunların sertlik değerleri ölçülmüştür. 450 °C sıcaklıktaki altlık üzerine 500 mbar basınçla 210 dakika TiB₂

kaplama işlemi uygulanmıştır. Kaplama üstüne Rockwell sertlik testi uygulanarak kaplama ile altılık arasındaki adhezyon belirlenmiştir. Aşınma testleri sırasında Plint TE 66 micro-abrasion aşınma test cihazı kullanılmıştır. Testte 25 mm çaplı SAE 52100 çelik top kullanılmıştır. Bu top %10luk nital çözeltisinde 20 sn süreyle dağlanarak yüzeyde abrasiv partiküllerin daha iyi tutunması için pürüzlülük yaratılmıştır. Oluşturulan abrasiv çamur tam topla numune arasındaki temas bölgesinde damlatılmıştır. Hazırlanan aşındırıcı çamur 98ml saf su ve 6,4 gr abrasiv partikül içermektedir. Abrasiv partikül olarak kaplama tabakasının ince olmasından dolayı küçük boyutlu elmas, Al_2O_3 ve iki farklı boyutta SiC kullanılmıştır. Her numune için 3 defa tekrar edilmek üzere 25, 50, 100, 200 ve 400 devirlerde aşındırma işlemi yapılmıştır. Sonuçta Al_2O_3 abrasiv partiküllerinin diğerleriyle kıyaslanınca daha düşük abrasiv özelliğe sahip oldukları ortaya çıkmıştır. Bu Al_2O_3 'ün düşük sertliğinden ve dairesel şekilli olmasından kaynaklanmış olabilir. Elmas aşındırıcı ile yapılan deneylerde düzgün yapıli kraterler elde edilmiştir ve Al_2O_3 'den daha iyi aşındırıcı olduğu belirlenmiştir. Bununla beraber SiC partikülleri ile yapılan deneylerde elmas ile yapılan deneylere göre daha büyük krater çapları elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlarda aşındırıcı sertliğinin öneminin yanında partikül büyüklüğü de çok önemli bir parametredir. Partikül büyüklüğü arttıkça oluşan kraterler büyümüştür.

Gençel vd. (2010) yaptıkları bir çalışmada uçucu külün ve kaba ferrokrom cürufunun birlikte agrega olarak kullanımının betonun taze, mekanik ve bazı durabilite özellikleri üzerine etkisini araştırmışlardır. Yapılan çalışmada su/bağlayıcı oranını ve çimento dozajı sırasıyla 0,40 ve 400 kg/m^3 olarak sabit tutulmuştur. Çimento ağırlıkça %10, 20 ve 30 oranlarında uçucu kül ile ikame edilmiştir. Kaba agregalar ise ağırlıkça %25, 50 ve 75 oranlarında kaba ferrokrom agregası ile ikame edilmiştir. Taze beton özellikleri olarak slump hava içeriği ve birim ağırlığı incelenmiştir. Sertleşmiş betonların ise basınç dayanımı, yanma dayanımı, elastisite modülü, aşınma dayanımı, donma-çözünme dayanımı, porozitesi ve su emmesi incelenmiştir. Uçucu kül kullanımı basınç dayanımı, yarma dayanımı, elastisite modülü ve aşınma dayanımı gibi özellikleri düşürürken donma çözünme dayanımı yükseltmiştir. Ferrokrom agregası kullanımı basınç dayanımını ve aşınma dayanımı yükseltmiştir.

BÖLÜM 7

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

7.1 DENEYİN AMACI

Aşınma genellikle malzeme yüzeylerinde mekanik etkiler sonucunda veya kimyasal etkilerle küçük parçaların sürekli ayrılması sonucu meydana gelen ve istenmeyen bir yenim olayıdır. Genellikle aşınmadan korunmak için yoğun çabalar harcanmış ve çeşitli yöntemler bulunmuştur. Yaygın olarak kullanılan yöntemlerden en önde geleni mekanik olarak aşınmaya maruz kalan yüzeylerin kendilerinden daha sert ve aşınmaya karşı daha dayanıklı bir malzemeyle kaplanmasıdır. Kaplamanın yapılması için öncelikle kaplanacak yüzeylerin uygun bir şekilde temizlenmesi gerekir. Yüzeyin hazırlanması için en iyi yöntem aşındırıcı püskürtme yöntemidir. Bu yöntemle hem yüzeydeki boya, pas, yağ, çapak vb. kirletici maddeler giderilerek yüzey temizlenmekte hem büyük pürüzlülükler giderilmektedir.

Yöntemde en önemli rolü basınçlı hava, aşındırıcı türü ve aşındırıcı nozullar oynamaktadır. Aşındırıcı doğal mineraller sanayi ürünleri veya bunların yan ürünleri olabilirler ve elmasan silikon karbür, dere kumlarından izabe cüruflarına, zımpara taşından alüminyuma çok çeşitlilik göstermektedirler. Aşındırıcı tozlar metalik ve metalik olmayan aşındırıcılar olarak iki gruba ayrılabilir. Metalik aşındırıcılar metalurjik işlemlerle elde edilen grit ve bilyalardır. Metalik olmayan aşındırıcılar ise kendi içlerinde iki gruba daha ayrılırlar. Bunlar tabii ve sentetik aşındırıcılardır. Sentetik aşındırıcılar arasında yüksek fırın cürufu, bakır cürufu, nikel cürufu, kömür cürufu ve erimiş oksitler bulunmaktadır.

Literatürde yapılan araştırmalarda ferrokrom cürufunun aşındırıcı özelliğini belirlemek için yapılan çalışmalara pek rastlanamamıştır. Ayrıca ülkemizde önemli bir aşındırıcı üretimi bulunmamakta ve bu alandaki ihtiyaç genellikle ithalat yoluyla giderilmektedir.

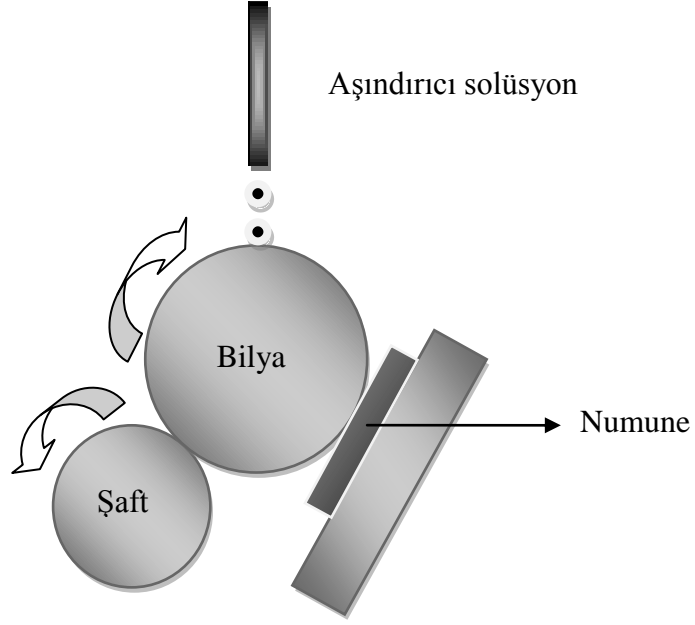
İzabe tesislerinin üretimden sonra ortaya çıkan atık malzeme olan cüruflarla ilgili birçok sorunları bulunmaktadır. Ortaya çıkan çevre sorunlarının yanında atık cürufların depolanması için oluşturulması gereken alanların büyüklüğü ve gerekli şartlar yüzünden işletmeler önemli ekonomik yükümlülükler altına girmektedir. Cüruflar çimento sanayi, briket tuğla yapımı, dolgu malzemesi gibi alanlarda kullanılabilirlerdir.

Bu çalışmada ferrokrom işletmelerinde önemli sorunlarına yol açan ve atık bir malzeme olan ferrokrom cürufunun aşındırıcı özellikleri incelenmiştir. Bu çalışmanın ana amacı ferrokrom cürufunun aşındırıcı özelliklerinin belirlenmesi ve aşındırıcı partikül olarak kullanılabilirliğinin belirlenmesidir. Bununla beraber aşındırıcı özelliği araştırılacak cürufun kullanılabilir özelliğinin saptanması ile sanayideki depolama sorunlarına alternatif bir çözüm bulunması amaçlanmaktadır. Ayrıca aşındırıcı ithalatı sebebiyle oluşan ekonomik kayıpları azaltmak da çalışmanın diğer bir amacıdır.

7.2 DENEY DÜZENEGİ VE DENEY PARAMETRELERİ

Aşınma günümüzde malzemeler üzerinde ortaya çıkan büyük problemlerin arasında yer almaktadır. Malzemelerin aşınma davranışlarını incelemek için birçok yöntem geliştirilmiştir ve hala geliştirilmeye devam edilmektedir. Son yıllarda geliştirilen ve bu çalışmada da kullanılan mikro-ölçekli abrazyon testi veya top krater testi yöntemi de bu arayışlar içinde geliştirilmiş bir aşınma testi yöntemidir. Bu yöntem düzenlenen bir Avrupa araştırma projesi kapsamında geliştirilmiş bir tekniktir ve yeni malzemelerin kalite kontrolünde ve aşınma direncinin optimizasyonunda kullanılmaktadır. Bu test ince film kaplamaların kalınlığını ölçmede ve malzemelerin abrazyon dayanımlarını belirlemede kullanılmaktadır (Ibáñez vd. 2009).

Yöntemde genellikle sertleştirilmiş bir çelik bilya kendi ağırlığını ya da mekanizmayla desteklenen bir ağırlığı numune üzerine uygulayarak bir aşındırıcı solüsyon ile aşındırma işlemi uygulamaktadır. Bu çalışmada free-ball crater yani serbest-top crater testi kullanılmıştır. Yöntemde numune üzerinde bilya kendi ağırlığı ile dairesel bir aşınma izi oluşturmaktadır ve oluşan iz mikroskop altında ölçülmektedir. Elde edilen değerler ile belirli eşitlikler kullanılarak hacim kaybı hesaplanmakta ve aşınma dayanımları belirlenmektedir.



Şekil 7.1 Ball-Crater test düzeneği şematik resmi.

Çalışmada kullanılan düzenek laboratuvar ortamında el yapımı olarak hazırlanmıştır (Şekil 7.1). Kullanılan bilya 1" (25,4 mm) çapında sertleştirilmiş çelikten yapılmış olup Ortadoğu Rulman Sanayi'den temin edilmiştir. Çalışmanın amacına uygun olarak üç farklı aşındırıcı solüsyon kullanılmıştır. Referans olarak kullanmak için öncelikle SiC ve Al_2O_3 aşındırıcı tozları Akyol TAŞ'tan temin edilmiştir. SiC aşındırıcı tozları F800 tane boyutunda Al_2O_3 tozları ise F1000 tane boyutundadır. Üçüncü toz olarak kimyasal bileşimi Tablo 7.1'de verilen ferrokrom (FeCr) cürufu Elazığ Ferrokrom İşletmesi'den temin edilmiştir (Şekil 7.2).



Şekil 7.2 Kırma işleminden önce ferrokrom cürufu.

Tablo 7.1 Deneysel çalışmalarda kullanılan FeCr cürufunun kompozisyonu.

Bileşen	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	Fe ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	CaO
%	31	9	13	1	1	45

Temin edilen FeCr cürufu kırma ve öğütme işlemlerine tabi tutularak testte kullanılabilen aşındırıcı boyuta kadar inceltiştir. Sonra eleme işlemine tabi tutulmuş ve ortalama 10 µm boyutta ve 20 µm boyutunu geçmeyecek şekilde aşındırıcı toz elde edilmiştir. Bu tozlar kullanılarak saf su ile %75'i su %25'i aşındırıcı toz olacak şekilde solüsyonlar hazırlanmıştır. Aynı şekilde diğer aşındırıcı tozlarla da aynı şekilde aşındırıcı solüsyon hazırlanmıştır. Bu solüsyon test sırasında bir dropper yardımıyla bilya üzerine 20 sn'de bir damlatılmıştır. Bilya üzerine aldığı aşındırıcıyı numune üzerine taşıyarak ve üzerinde kayma oluşturarak aşındırma yapmıştır. Deneysel üç farklı kayma yolu seçilmiştir. 90, 180, 270 saniye sürelerde yapılan testlerde şaftın devir hızı 160 dv/dk olarak belirlenmiştir. Şaftın bu hızı için bilyada 102.5 rpm dönme hızı elde edilmiştir. Bilyanın bu devri için dış teğetsel hız olarak 0,136 m/sn hızına ulaşılmıştır. Bu hız için de kayma yolu olarak 12,24 m, 24,48 m ve 36,72 m mesafelerinde aşındırma yapılmıştır. Ayrıca 90 sn için 115 ve 230 dv/dk da testler yapılmıştır. 115 dv/dk için 0,098 m/sn, 230 dv/dk için 0,195 m/sn teğetsel hızları elde edilmiştir. Bu devirlerde 8,82 ve 17,55 m kayma yollarında aşındırma işlemi uygulanmıştır.

Deneysel sonucunda numuneler ilk olarak optik mikroskop altında incelenmiş ve oluşan kraterlerin çapları ölçülmüştür. Sonra numuneler uygun boyutlara indirilerek SEM ve profilometre analizlerine tabi tutulmuştur. Optik mikroskopta boyutları mikro metre cinsinden ölçülen kraterlerin hacim hesapları yapılmıştır. Kayıp hacim hesapları için Eşitlik 7.1' kullanılmıştır.

$$V = \pi b^4 / 64 R \quad (7.1)$$

Bu formülde "V" mm³ cinsinden hacim kaybıdır, "b" mm cinsinden kraterin dış çapıdır ve "R" aşındırma işleminde kullanılan bilyanın yarıçapıdır. Bu formül b<<R olduğu zaman geçerlidir (Andrade vd. 2009).

7.3 DENEYLERDE KULLANILAN NUMUNELER

7.3.1 HSS (Kesici Takım)

Talaşlı şekil verme işleminde iş parçasından talaş kaldırmak amacıyla kullanılan ve genellikle yüksek hızlarda çalışan takım çelikleridir. Bu çelikler sadece oda sıcaklığında değil çalışma şartlarında da iş parçasından daha sert, hızlı ısınma ve soğutma şartlarında dayanıklılık için yüksek termal direnç, kaynak oluşmasını engellemek için düşük yapışkanlık ve mekanik etkilere karşı yüksek tokluk özelliklerine sahip olmalıdır. Kesici takımlarda aşınma yüzeydeki yüklerin fazla olması ve yüksek hızlarda hareket etmeleri nedeniyle meydana gelir. İşlem sırasında sürtünme ile takımın sıcaklığı artar ve buda takımın aşınmaya karşı direncini azaltır.

7.3.2 Alüminyum

Alüminyum ve alaşımları malzeme alanında çok önemli özellikleri bünyelerinde bulundurlar. Alüminyum ve alaşımları önemli özellikleri arasında kolay işlenebilirlikleri, yüksek ısı ve elektrik iletkenlikleri vardır. Bunun yanında alüminyum ve alaşımları düşük sertliğe ve aşınma direncine sahip olmalarına rağmen bu malzemeler bazı tribolojik uygulamalarda demir çelikten sonra en fazla kullanılan mühendislik malzemeleridir. Isıl işlem uygulanabilir alaşımları uygulanan yaşlandırma ısıl işlemi ile alüminyum alaşımlarının mukavemet özelliklerinin yanında aşınma dirençleri de arttırılmaktadır (Durmuş vd. 2011).

7.3.3 Bakır

Bakır ve alaşımları insanların ilk kullandıkları metal malzemelerdir. Endüstriyel bir malzeme olan bakır plastik şekil verme yeteneğinin yüksekliği yanında yüksek elektrik ve ısı iletkenliğine sahiptir. Genellikle yüksek elektriksel ve ısı iletkenlik gerektiren yerlerde kullanılır. Diğer kullanım alanlarında alaşımlandırılarak kullanılması gerekir. Saf bakıra ilave edilen Ag, Al, Si, Cd ve Sn katılarak aşınma direnci arttırılabilir. Bakır alaşımlarında kalayın etkisi aşınma dayanımında çok önemlidir. Kalay içeren bakır alaşımlarında kalay bronzları yüksek aşınma direncine sahip oldukları için yatak malzemeleri olarak kullanılmaktadır (Ünlü vd. 2003).

7.3.4 Çelik

Çelik %2'ye kadar karbon içeren demir karbon alaşımıdır. Çeliğin farklı özellikleri içerdiği elementlerin özelliklerinden ve çeliğin içyapısından kaynaklanmaktadır. Çeliğe farklı oranlar da alaşım elemanı katılabileceği gibi çeşitli işlemlerle de yapısı kontrol edilerek kullanım amacına göre istenen özellikler kazandırılabilir. Çeliklerin yüzey sertleştirilmesinde genellikle difüzyon ile malzeme yüzeyine kimyasal değişiklikler oluşturulmaktadır. Parçanın yüzey ve yüzey altı bölgelerine sıcaklık ile sertleştirme elemanın yayındırılır. Böylece yüzeyde yüksek sertlik değerleri elde edilebilir. Difüzyon ile yüzey sertleştirme işlemlerinin başında karbürleme işlemi gelmektedir. Karbürlemede çeliğe atomik karbon difüzyonu ile karbon konsantrasyonu artırılarak yüzey sertliği birkaç milimetreye kadar artırılabilir. Bu işlem genellikle az karbonlu ve az alaşımlı çeliklere uygulanır. Diğer kullanılan yöntem nitürleme işlemi Al, Cr, Mo, Ti ve V gibi nitür oluşturan elementleri içeren çeliklere uygulanır. Nitürleme ile karbürizasyona göre daha yüksek aşınma direnci elde edilebilir (URL-9, 2012).

7.3.5 Kurşun

Yaygın olarak bilinen metaller içinde en yumuşak ve en ağır olan metaldir. Kurşun açık havada koyu renkli ve koruyucu bir oksit tabakası bazense yeşil bir pas oluşturur. Kurşunun yumuşaklığı ve çekilebilirliği yük taşıyıcı madde olarak kullanılamamasına sebep olur. Yüksek yoğunluğu sayesinde ışınlara direnç özelliğine sahiptir. Bu yüzden nükleer reaktörlerde, gama ışını kaynaklarında kullanılabilir. Kurşun aşınmaya karşı çok dayanıklıdır. Bu da su borularında çatı kaplamalarında ve kabloların korunmasında büyük avantaj sağlar. Bununla birlikte sülfirik aside karşı dayanıklılığı nedeni ile kimya endüstrisinde geniş çapta kullanılmaktadır (URL-10, 2012). Kurşunun kalay alaşımları anti sürtünme özelliğinden dolayı yatak malzemesi olarak kullanılır. Bunların alaşımları çelik yatak üzerine farklı işlem şartlarında döküm ve püskürtme ile şekillendirilirler. Püskürtme şekilli alaşımın aşınma oranı döküm alaşımından daha düşüktür (Ünlü ve Atik 2005). Deneylerde kullanılan numunelerin sertlik değerleri Tablo 7.2'de verilmiştir.

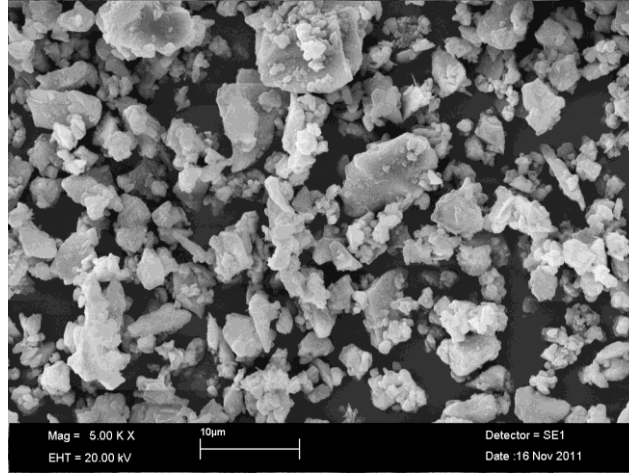
Tablo 7.2 Numunelerin sertlik değerleri.

Numune	HSS	Alüminyum	Bakır	Çelik	Kurşun
Sertlik	750 HV	90 HV	120 HV	220 HV	38 HB

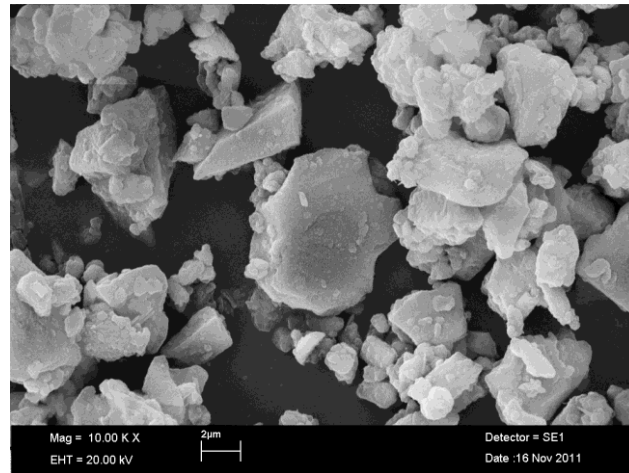
BÖLÜM 8

AŞINMA SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME

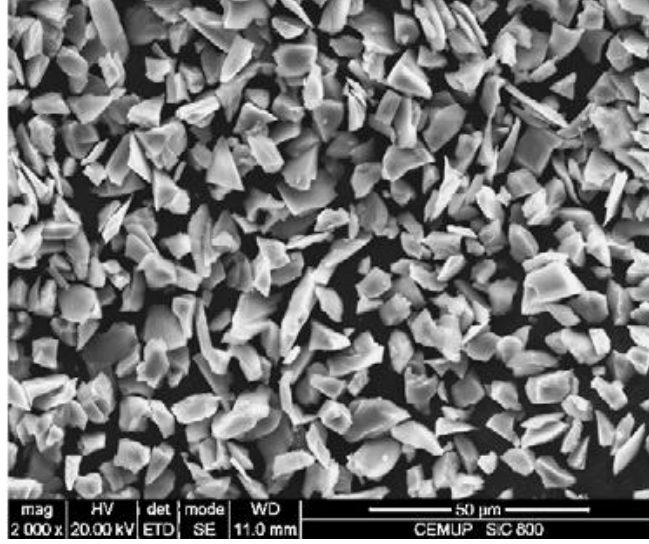
Bu çalışmada Ferrokrom cürufunun 5 farklı metalik malzeme üzerinde aşındırma özellikleri test edilmiştir. Ayrıca aynı numuneler eşit boyuttaki SiC ve Al₂O₃ abrasifler ile aşındırılarak aralarında bir kıyaslama yapılmıştır. Mikro aşınma deneyinde aşındırıcı olarak kullanılan ferrokrom cürufunun SEM görüntüleri Şekil 8.1 ve 8.2’de verilmiştir.



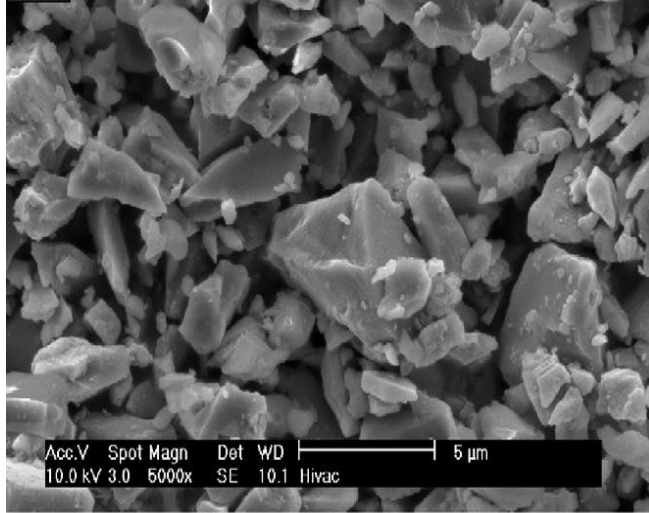
Şekil 8.1 Ögütülmüş ferrokrom cürufu 5000 büyütme.



Şekil 8.2 Ögütülmüş ferrokrom cürufu 10000 büyütme.



Şekil 8.3 SiC aşındırıcı partikül (Andrade vd. 2009).

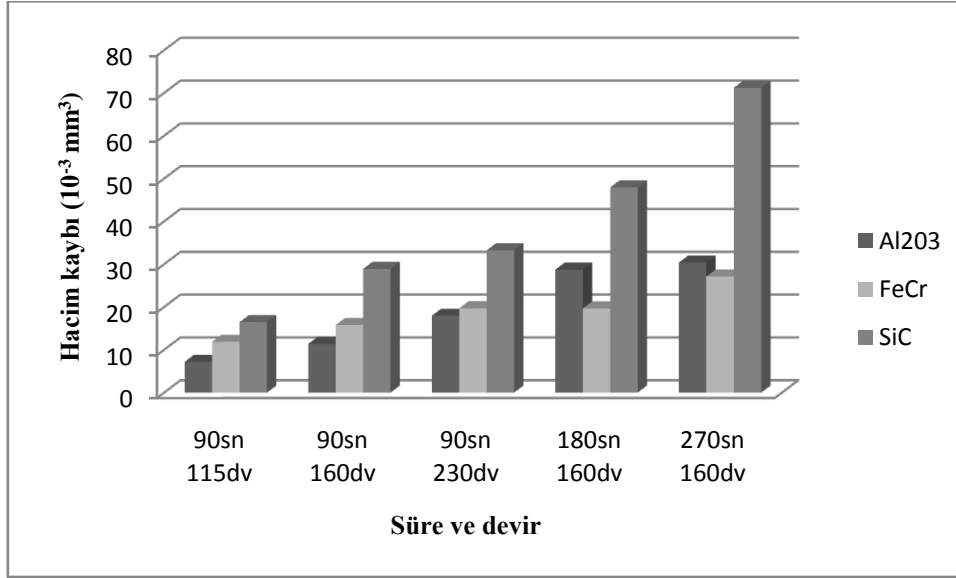


Şekil 8.4 Al₂O₃ aşındırıcı partikül (Shipway ve Hogg 2007).

Şekil 8.1 üzerinde de görüleceği gibi öğütülen cürufların tane boyutları 5-15 mikron arasında değişmektedir. Aynı tozların yüksek büyütmedeki görüntüleri (Şekil 8.2) incelendiğinde tozların küçüldükçe sivri uçlarının köreldiği ve yuvarlaklaştığı görülmektedir. Şekil 8.3 ve 8.4'te diğer aşındırıcı tozlarında SEM görüntüleri verilmiştir. Ferrokrom cürurunun sertliği yaklaşık 6 Mohs iken Al₂O₃'ün sertliği 9, Mohs SiC'nin sertliği ise 9-10 Mohs'dur. Deneysel çalışmalar kısmında verilen mikro aşınma deneyleri sonucunda oluşan kraterlerin hacim kaybı grafikleri, optik-SEM görüntüleri ve profilometre analizleri aşağıdaki bölümlerde verilmiştir. Aşağıda verilen bütün mikroskop görüntüleri ve profilometre analizleri 160 dv/dk için verilmiştir.

8.1 ALÜMİNYUM BULGULAR

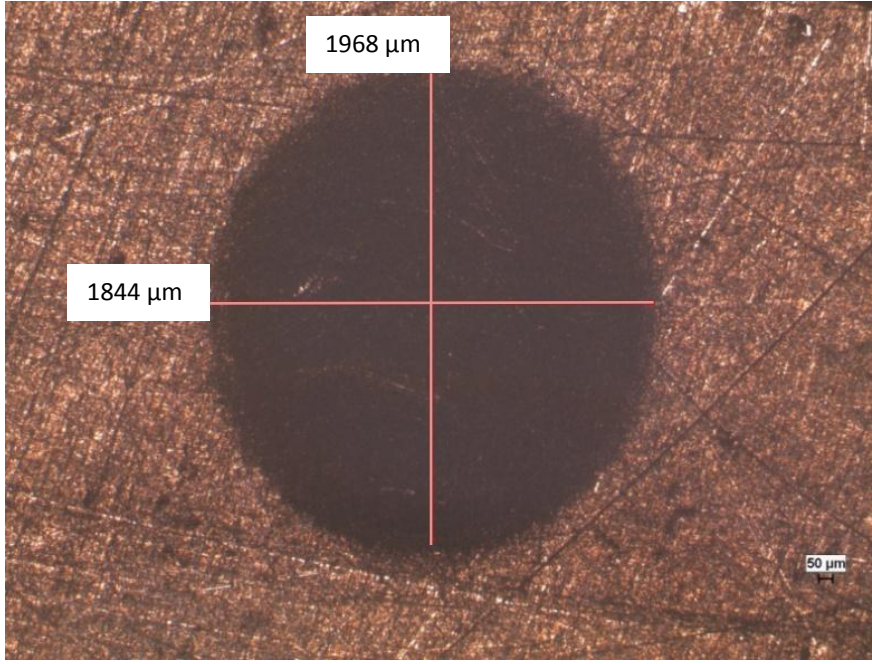
Şekil 8.5 alüminyum numune üzerinde üç farklı top dönme devrine bağlı olarak numunelerde meydana gelen hacimsel kayıpları göstermektedir.



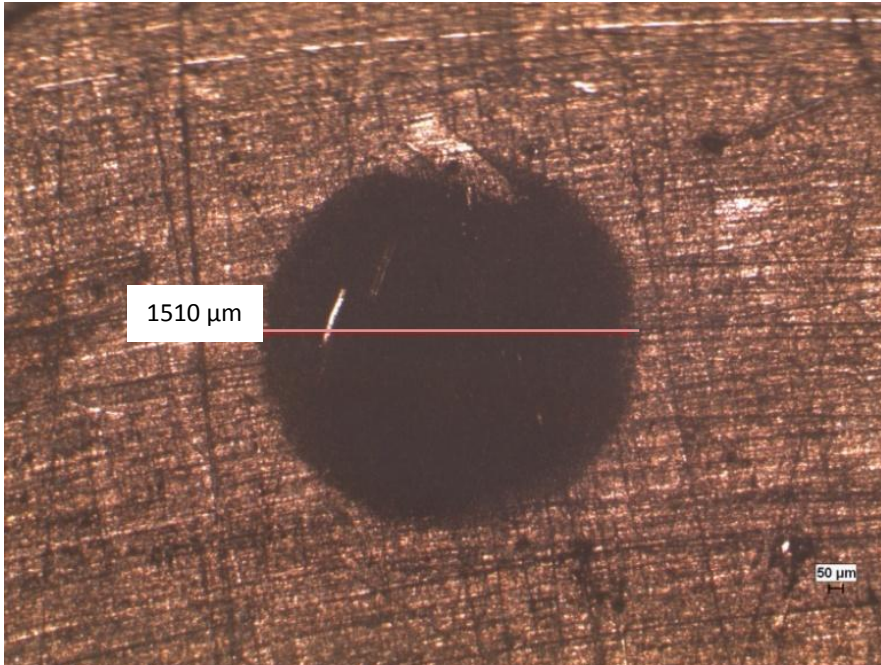
Şekil 8.5 Alüminyum numuneye ait mikro abrazyon deney sonuçları.

Öncelikle artan top devrine bağlı olarak tüm numunelerin hacimsel kayıplarında artış olmuştur. En düşük kayıp 115 d/dk lık hızda gerçekleşirken en yüksek kayıp 230 d/dk'lık hızda gerçekleşmiştir. Bunun sebebini artan top devrine bağlı olarak meydana gelen top çevresel hızının artması ve bunun sonucunda top yüzeyine tutunarak aşındırıcı işlemi gören partiküllerin kesme kuvvetlerinin artması ile ilişkilendirmek mümkündür. Çünkü aşındırıcı partikülün malzeme yüzeyinde partikül koparabilmesi için iki kuvvete gereksinim vardır. Bunlardan biri partikülün malzemeye batmasını sağlayan basma kuvvetidir. Bu kuvvet 1'' bilyanın ağırlığı kadardır ve sabit bir parametredir. Diğeri ise malzemeyi keserek yüzeyden ayıran kesme kuvvetidir. Top devrinin artması bilya çevresel hızının artışına sebep olacaktır. Bu da bilyaya yapışmış olan abrasiv partikülün daha yüksek bir hızla malzemeye çarpmasına ve daha fazla atık malzeme transfer olmasına sebep olacaktır. Aşındırıcıya bağlı olarak hacim kayıpları incelendiğinde en yüksek hacim kaybı SiC ile aşındırılan numunede görülmüştür. Al₂O₃ ile ferrokrom cürufunun yaklaşık olarak aynı hacim kaybına sebep olduğu görülmüştür. Şekil 8.6, 8.7 ve 8.8 incelendiğinde numunelerin mikro boyuttaki hacim kayıplarının hesaplanmasında kullanılan iz çapları da karşılaştırılacak olursa en büyük iz çapının SiC ile

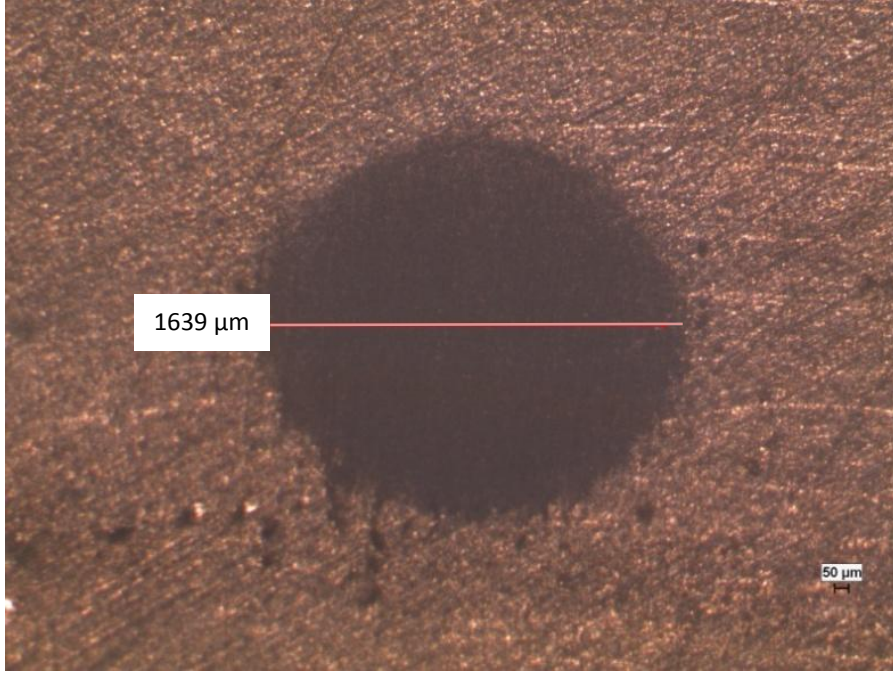
aşındırılan numunede olduğu görülürken bunu FeCr ile aşındırılan numune izlemiş en küçük iz çapı ise Al_2O_3 ile aşındırılan numunede görülmüştür.



Şekil 8.6 SiC ile 160 dv 90 saniye aşındırılmış alüminyum numune aşınma krateri.

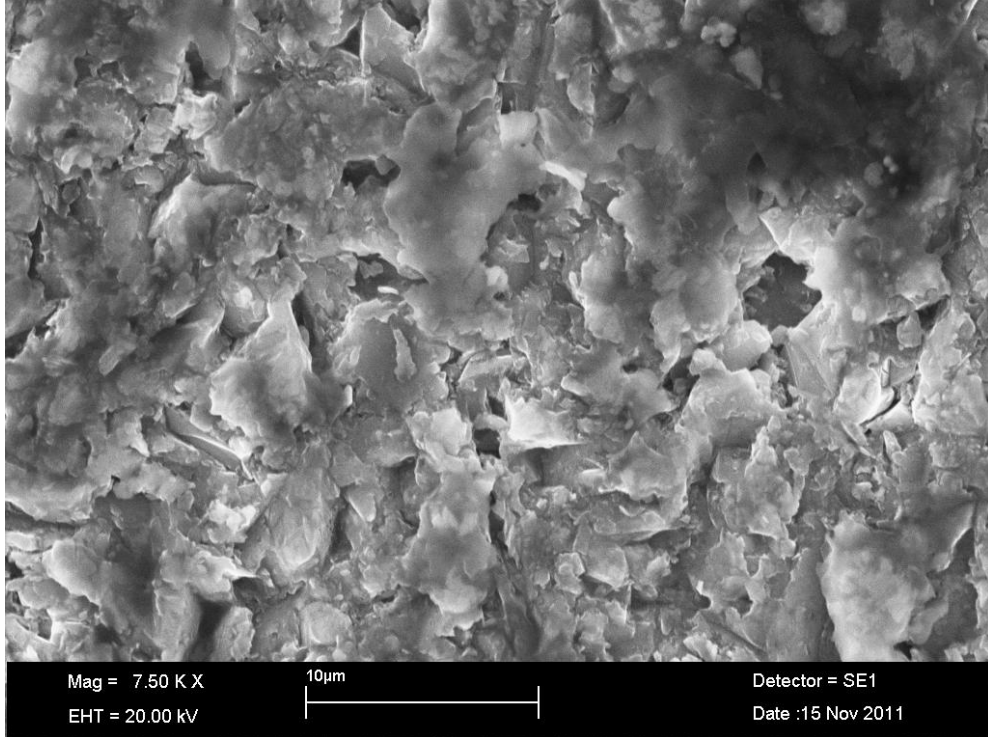


Şekil 8.7 Al_2O_3 ile 160 dv 90 saniye aşındırılmış alüminyum numune aşınma krateri.

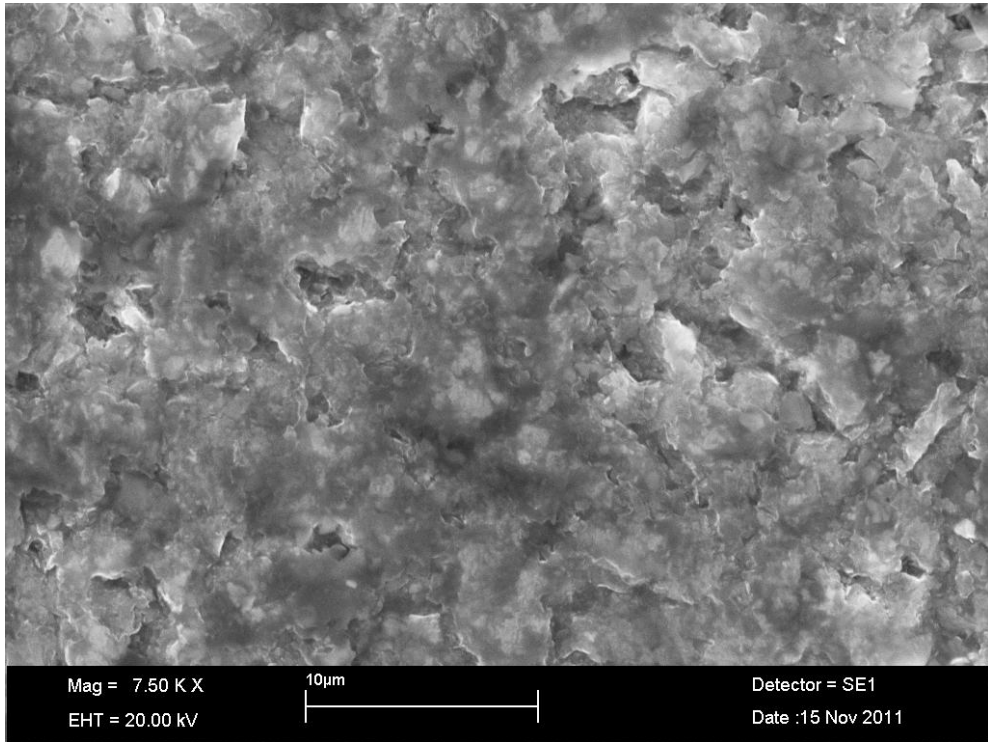


Şekil 8.8 FeCr cürufu ile 160 dv 90 saniye aşındırılmış alüminyum numune aşınma krateri.

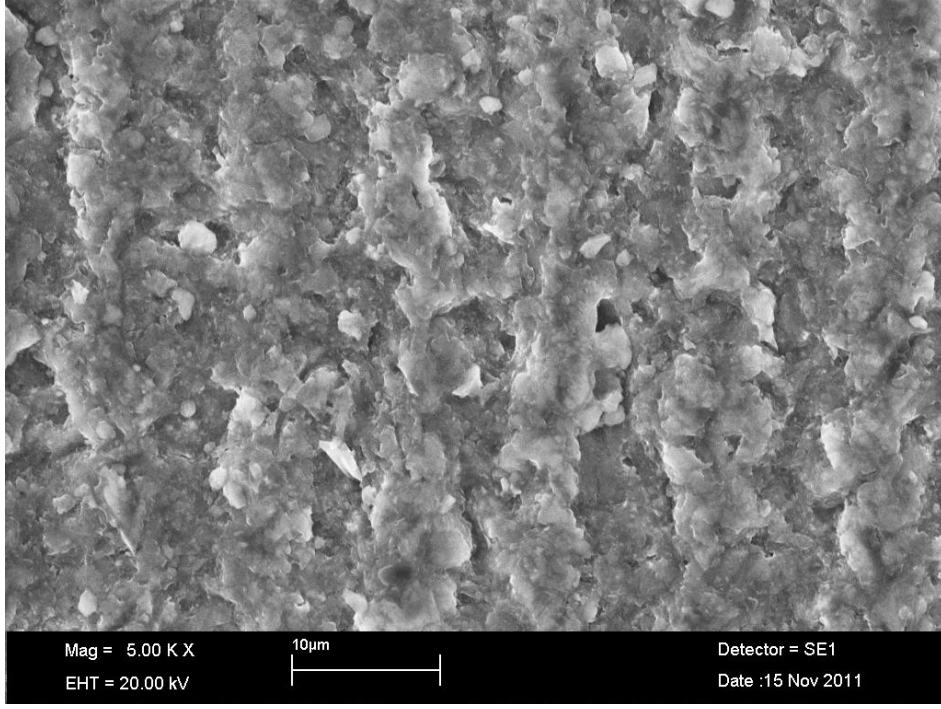
Alüminyum numunelerin mikro abrazyon testlerinden sonra yüzeylerinden alınan SEM aşınma izi fotoğrafları sırasıyla Şekil 8.9, 8.10 ve 8.11’de verilmiştir. Şekil 8.9’da SiC ile aşındırılan numunenin fotoğrafı incelenecek olursa tabakasal kopmaya bağlı olan aşırı plastik deformasyon görülmüştür. Bunu aşındırıcının yüksek sertliği ve keskin köşeleri ile ilişkilendirmek mümkündür. Aynı numunenin FeCr cürufu ile aşındırılmış aşınma yüzeyi fotoğrafı incelendiğinde yüzeyin çok daha pürüzsüz ve yerel kopmaların çok az olduğu görülmektedir. Bu durum FeCr cürufu partiküllerinin nispeten düşük sertliğe sahip olmasına (SiC ve Al_2O_3 kıyaslandığında) ve keskin köşeli olmamasına nispeten yuvarlak köşeli olmasına bağlanabilir. Al_2O_3 ile aşındırma işlemine tabi tutulan numune (Şekil 8.11) incelenecek olursa yüzeyde bir oluklanma olduğu görülmektedir. SiC’den daha düşük sertliğe sahip Al_2O_3 partiküllerinin bir kısmı bir kama gibi yüzeye saplanarak burada yük taşıyan bir yatak vazifesi görmüştür. Hareketi kısıtlanan bu partiküller ile serbest hareket edebilen partiküller yüzeyde bir oluklanmaya yani sırt oluşumuna sebep olmuşlardır.



Şekil 8.9 SiC ile aşındırılmış alüminyum aşınma yüzeyi SEM görüntüsü.

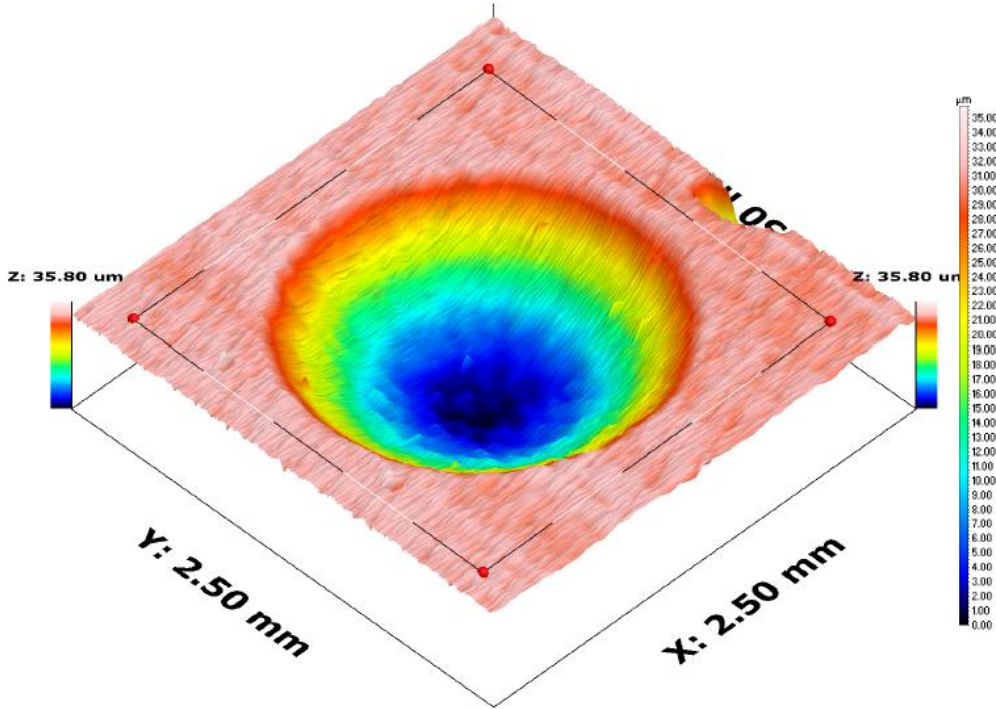


Şekil 8.10 FeCr cürufu ile aşındırılmış alüminyum aşınma yüzeyi SEM görüntüsü.

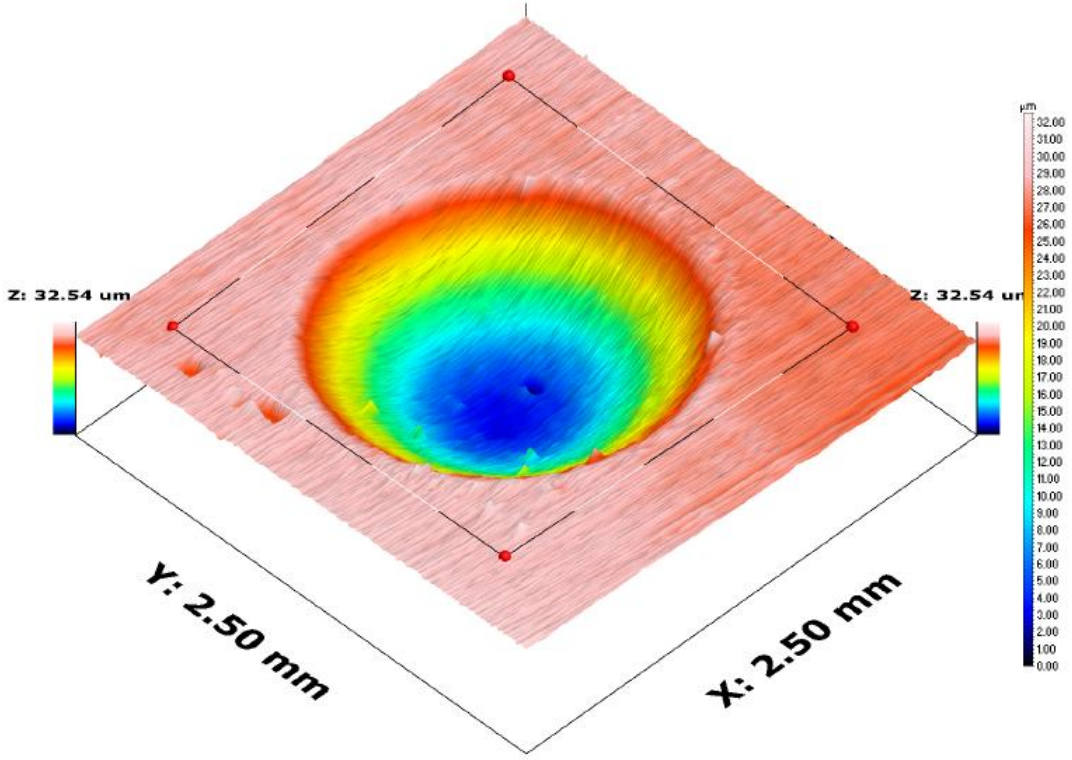


Şekil 8.11 Al₂O₃ ile aşındırılmış alüminyum aşınma yüzeyi SEM görüntüsü.

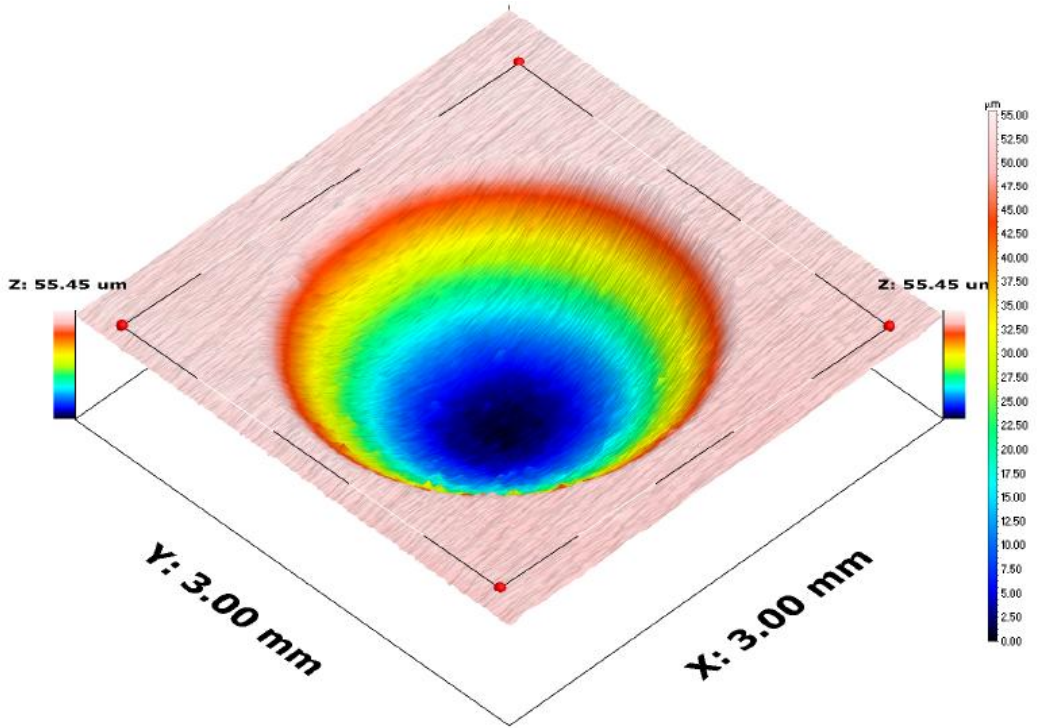
Farklı aşındırıcılarla teste tabi tutulan numunelere ait yüzey profilometreleri (Şekil 8.12, 8.13, 8.14) incelendiğinde en derin izin SiC ile aşındırılan numunede sonra alümina ile aşındırılan numunede en sonda FeCr cürufu ile aşındırılan numunede görülmüştür.



Şekil 8.12 Al₂O₃ ile 160 dv 270 sn aşındırılmış alüminyum numune yüzey profilometresi.



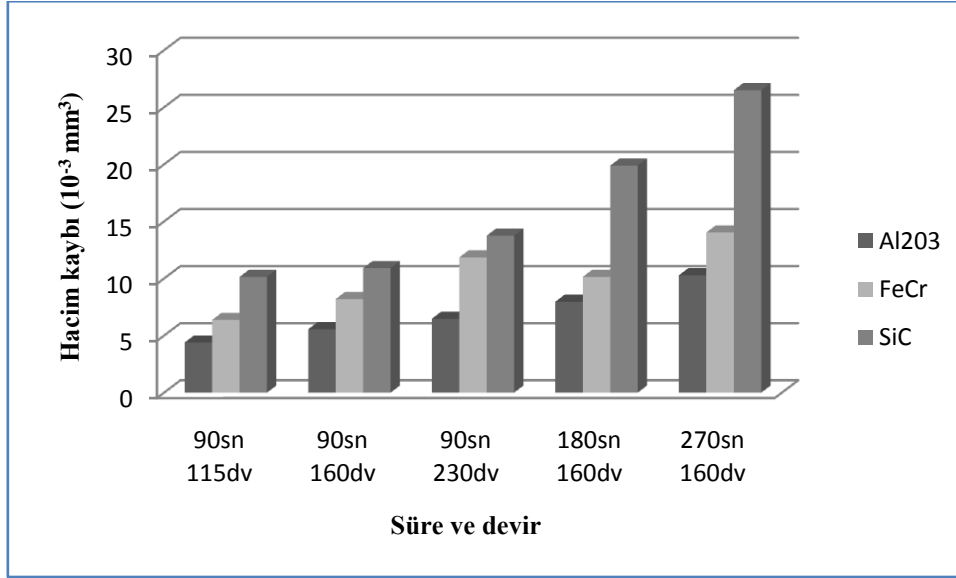
Şekil 8.13 FeCr cürufu ile 160 dv 270 sn aşındırılmış alüminyum numune yüzey profilometresi.



Şekil 8.14 SiC ile 160 dv 270 sn aşındırılmış alüminyum numune yüzey profilometresi.

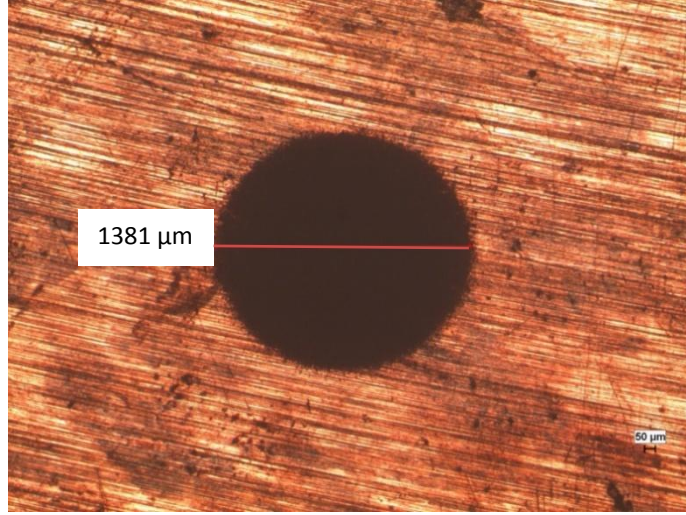
8.2 BAKIR BULGULAR

Deneyel çalışmaları kısmında verilen mikro aşınma deneyleri sonuçları sonucunda bakır numunelerde oluşan kraterlerin hacim kayıpları Şekil 8.15'te verilmiştir.

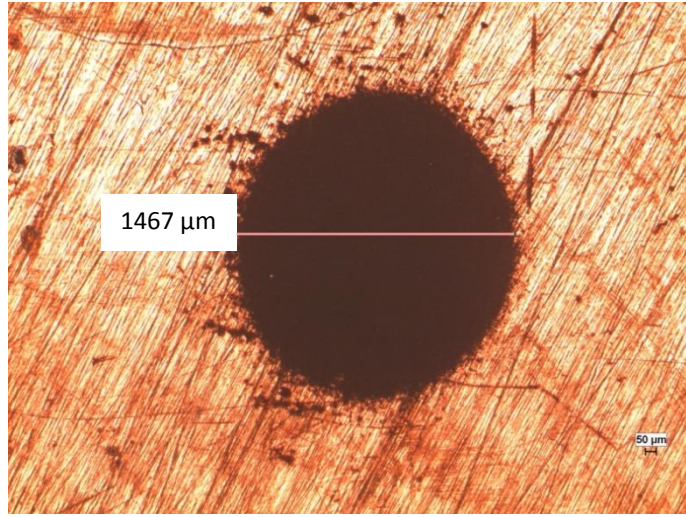


Şekil 8.15 Bakır numuneye ait mikro abrazyon deney sonuçları.

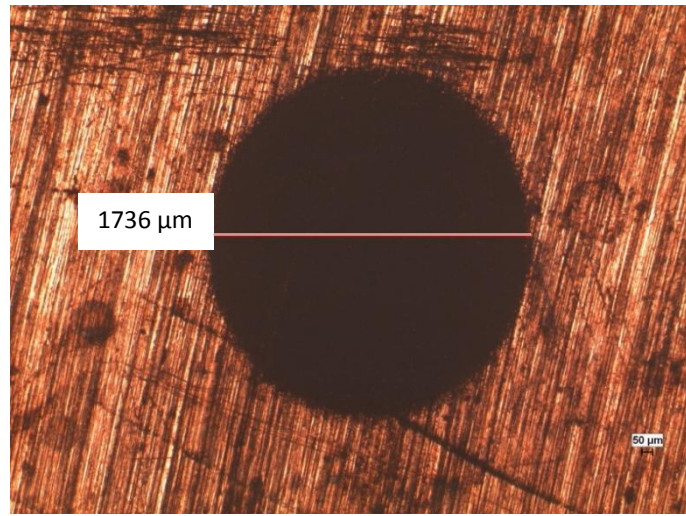
Şekil 8.15 bakır numune üzerinde üç farklı top dönme devrine bağlı olarak numunelerde meydana gelen hacimsel kayıpları göstermektedir. Bu numunede de artan top devrine bağlı olarak hacim kayıplarında artış olmuştur. Yine en düşük kayıp 115 d/dk'lık hızda gerçekleşirken en yüksek kayıp 230 d/dk'lık hızda gerçekleşmiştir. Aşındırıcıya bağlı olarak hacim kayıpları incelendiğinde yine en yüksek hacim kaybı SiC ile aşındırılan numunede görülmüştür. Bunu FeCr cürufu ile aşındırılan numuneler sonra da Al₂O₃ ile aşındırılan numuneler takip etmektedir. Şekil 8.16, 8.17 ve 8.18 incelenerek numunelerin mikro boyuttaki hacim kayıplarının hesaplanmasında kullanılan iz çapları da karşılaştırılacak olursa en büyük iz çapının SiC ile aşındırılan numunede olduğu görülürken bunu FeCr cürufu ile aşındırılan numune izlemiş en küçük iz çapı ise Al₂O₃ ile aşındırılan numunede görülmüştür.



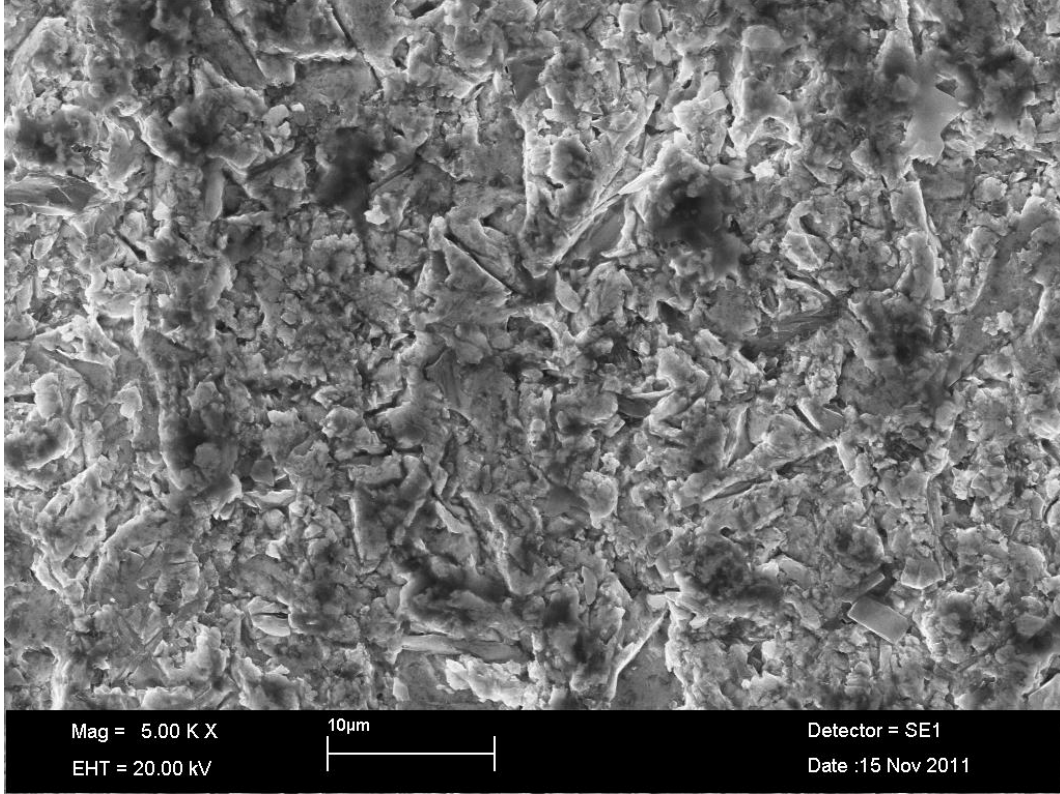
Şekil 8.16 Al_2O_3 ile 160 dv 180 saniye aşındırılmış bakır numune aşınma krateri.



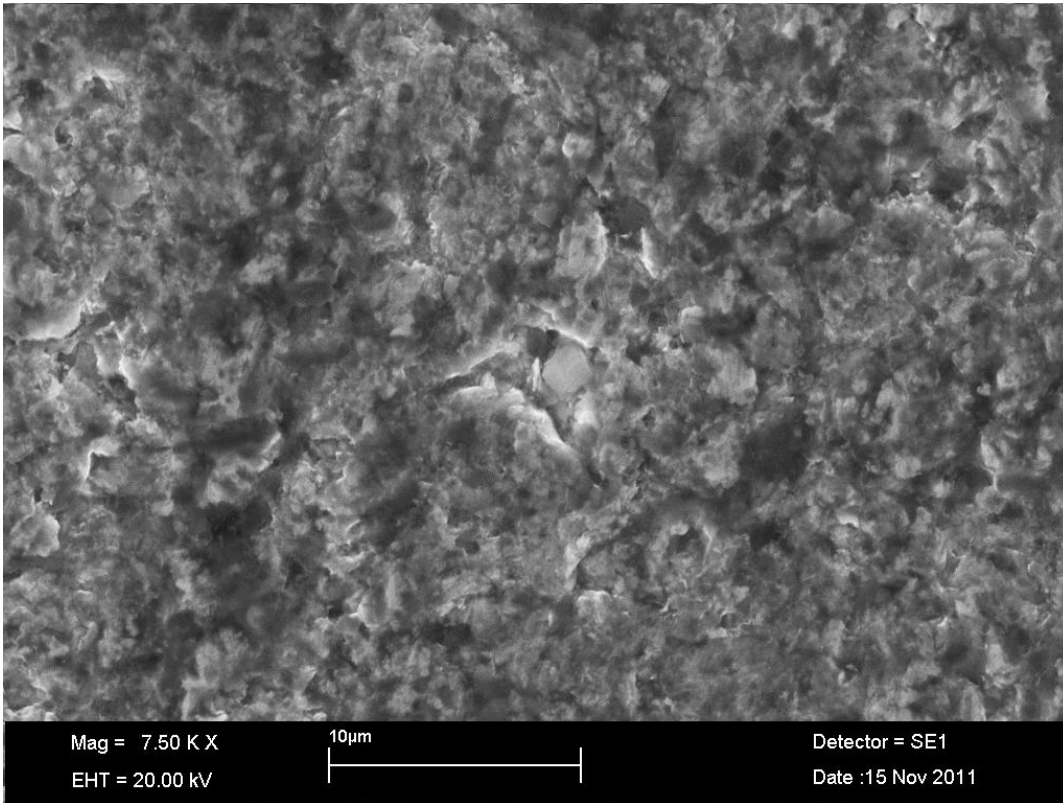
Şekil 8.17 FeCr cürufu ile 160 dv 180 saniye aşındırılmış bakır numune aşınma krateri.



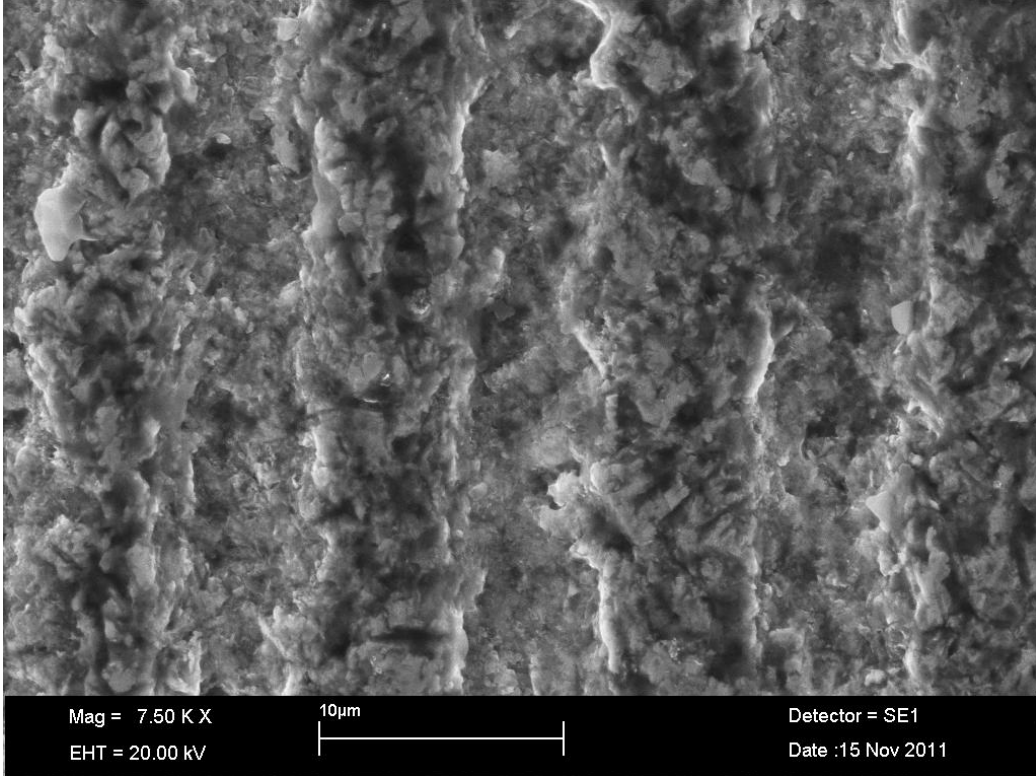
Şekil 8.18 SiC ile 160 dv 180 saniye aşındırılmış bakır numune aşınma krateri.



Şekil 8.19 SiC ile aşındırılmış bakır aşınma yüzeyi SEM görüntüsü.



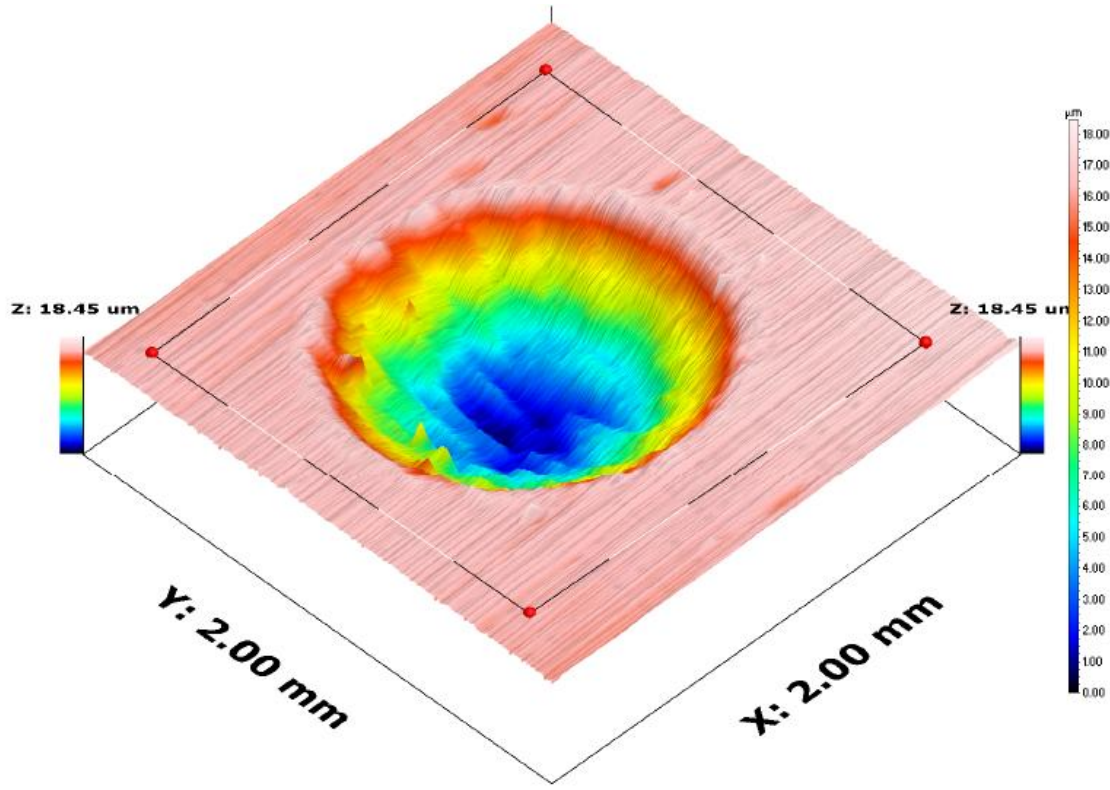
Şekil 8.20 FeCr cüruhu ile aşındırılmış bakır aşınma yüzeyi SEM görüntüsü.



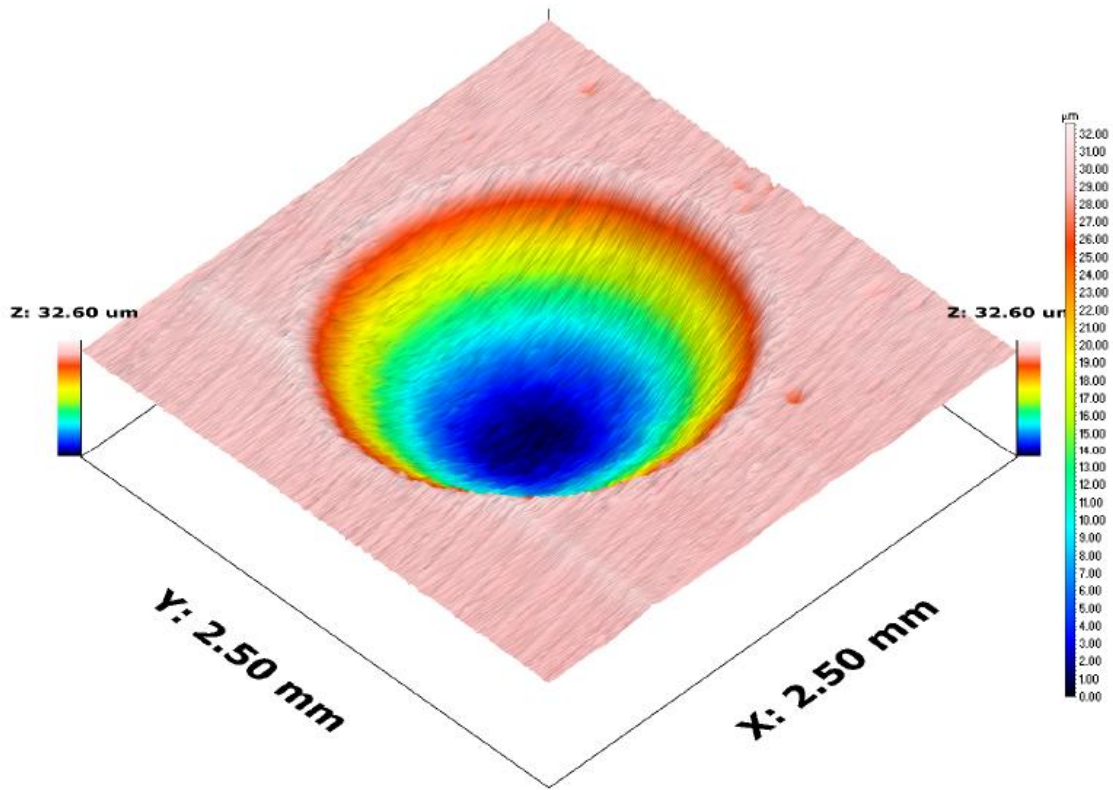
Şekil 8.21 Al₂O₃ ile aşındırılmış bakır aşınma yüzeyi SEM görüntüsü.

Bakır numunelerin mikro abrazyon testlerinden sonra yüzeylerinden alınan SEM aşınma izi fotoğrafları sırasıyla Şekil 8.19, 8.20 ve 8.21’de verilmiştir. Bu numunelerin aşınma yüzey morfolojileri alüminyum numuneler ile benzerlik göstermektedir. Yine SiC ile aşındırılan bakır numunelerin aşınma yüzeylerinde ayrılma kopartması görülürken FeCr cürufu ile aşındırılan numunelerin yüzeyleri pürüzsüz düzgün bir tabaka sergilemiştir. Al₂O₃ ise yine oluklu bir yapı meydana getirmiştir.

Numunelere ait yüzey profilometreleri Şekil 8.22 ve 8.23’de verilmiştir. SiC ile aşındırılan numunenin izi Al₂O₃ ile aşındırılan numuneden daha derindir.



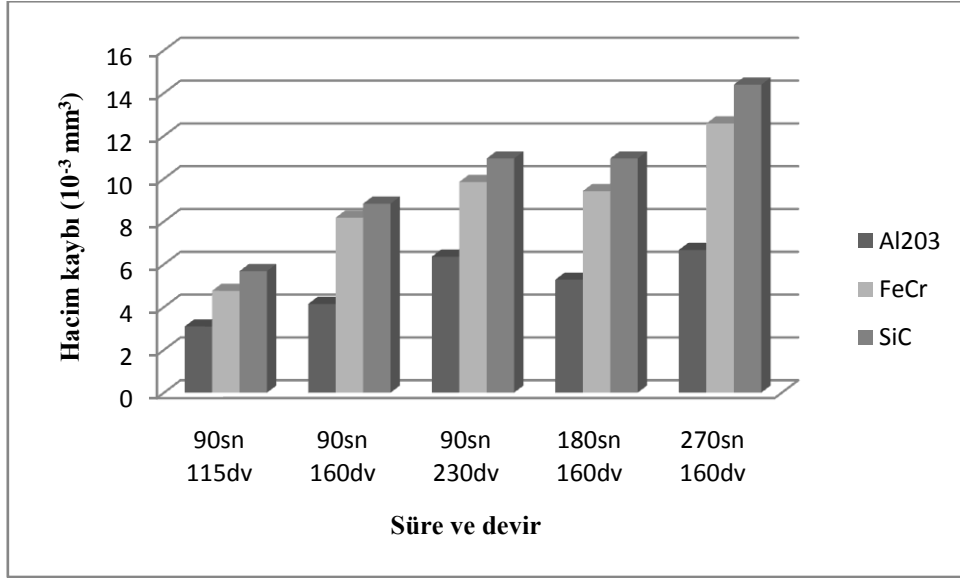
Şekil 8.22 Al_2O_3 ile 160 dv 270 sn aşındırılmış bakır numune yüzey profilometresi.



Şekil 8.23 SiC ile 160 dv 270 sn aşındırılmış bakır numune yüzey profilometresi.

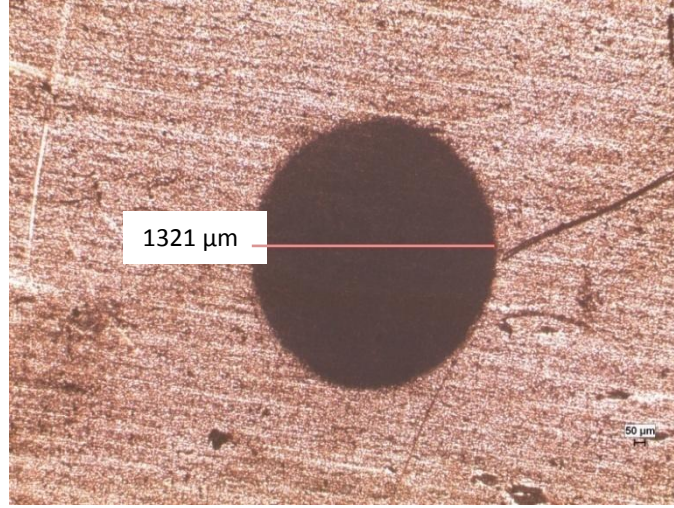
8.3 SADE KARBONLU ÇELİK BULGULAR

Deneyel çalışmalar kısmında verilen mikro aşınma deneyleri sonuçları sonucunda çelik numunelerde oluşan kraterlerin hacim kayıpları Şekil 8.24'te verilmiştir.

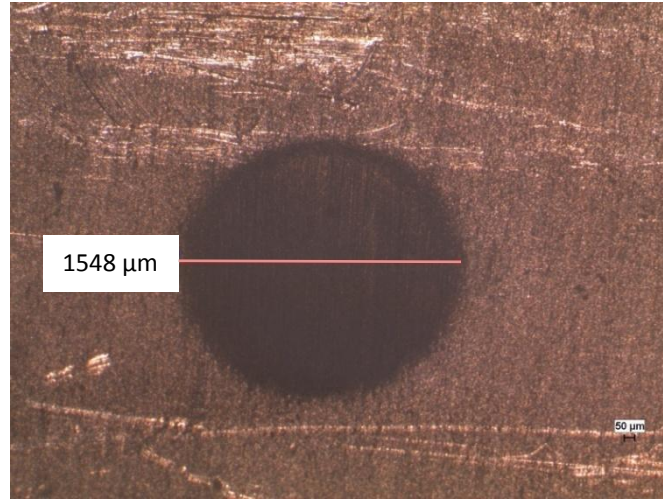


Şekil 8.24 Çelik numuneye ait mikro abrazyon deney sonuçları.

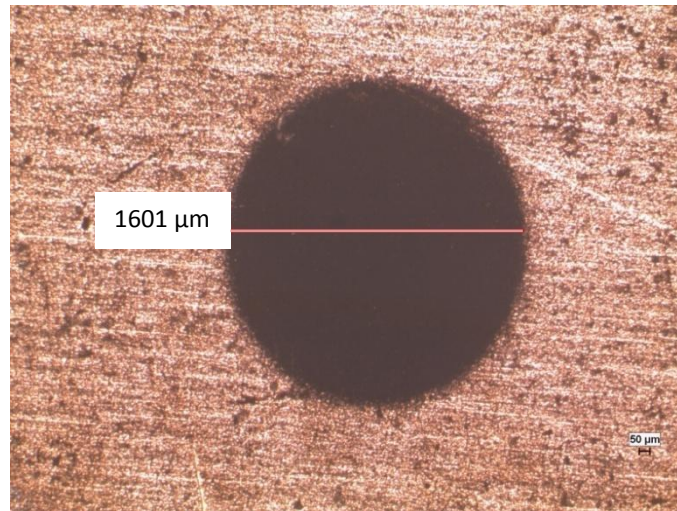
Numune sertliğinin kayda değer bir şekilde artmasına rağmen aşınma hacim kayıplarının bununla orantılı olarak artmadığı görülmüştür. FeCr cürufunun düşük karbonlu bir çelik üzerinde de alüminyum ve bakır numunelerde olduğu gibi aşındırıcı etkisinin olduğu tespit edilmiştir. Numunelerin optik mikroskop krater görüntülerinde bu görülmektedir (Şekil 8.25, 8.26, 8.27). SiC'nin aşındırıcı olarak kullanıldığı numunede en yüksek krater çapı elde edilmiştir. FeCr cürufu ile aşındırılan numunelerde Al_2O_3 ile aşındırılan numunelerden daha yüksek aşınma miktarı görülmüştür.



Şekil 8.25 Al₂O₃ ile 160 dv 270 saniye aşındırılmış çelik numune aşınma krateri.

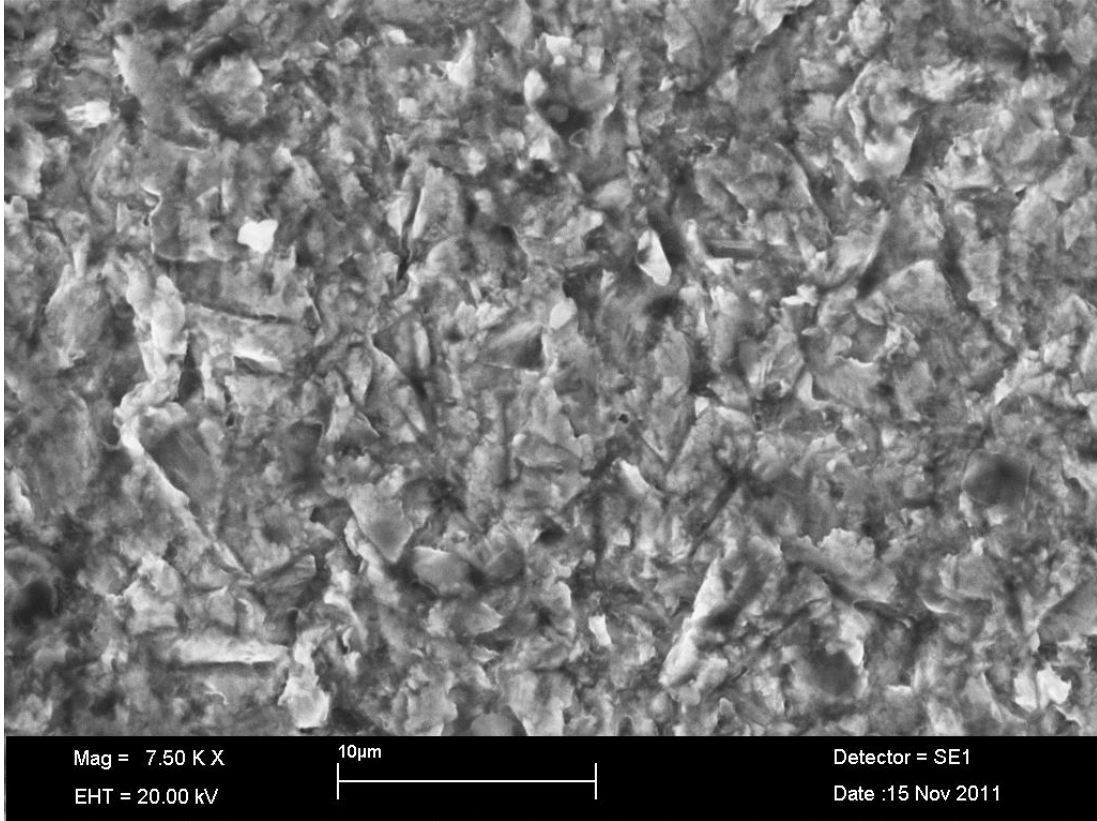


Şekil 8.26 FeCr cürufu ile 160 dv 270 saniye aşındırılmış çelik numune aşınma krateri.

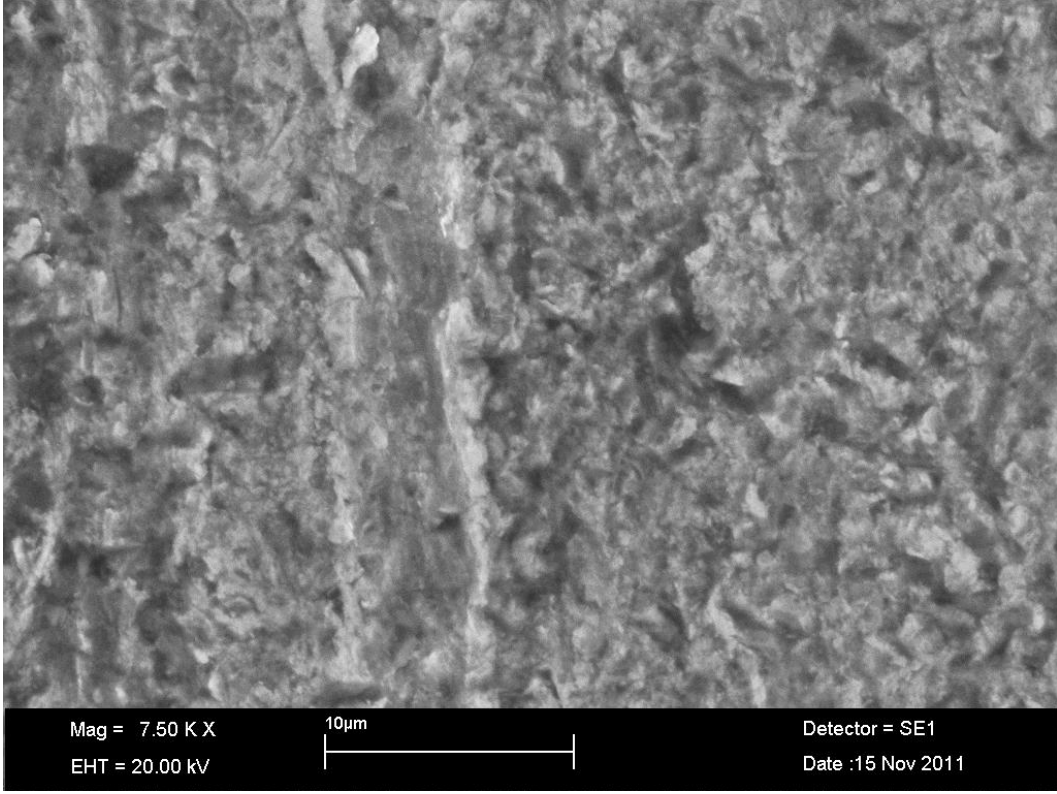


Şekil 8.27 SiC ile 160 dv 270 saniye aşındırılmış numune aşınma krateri.

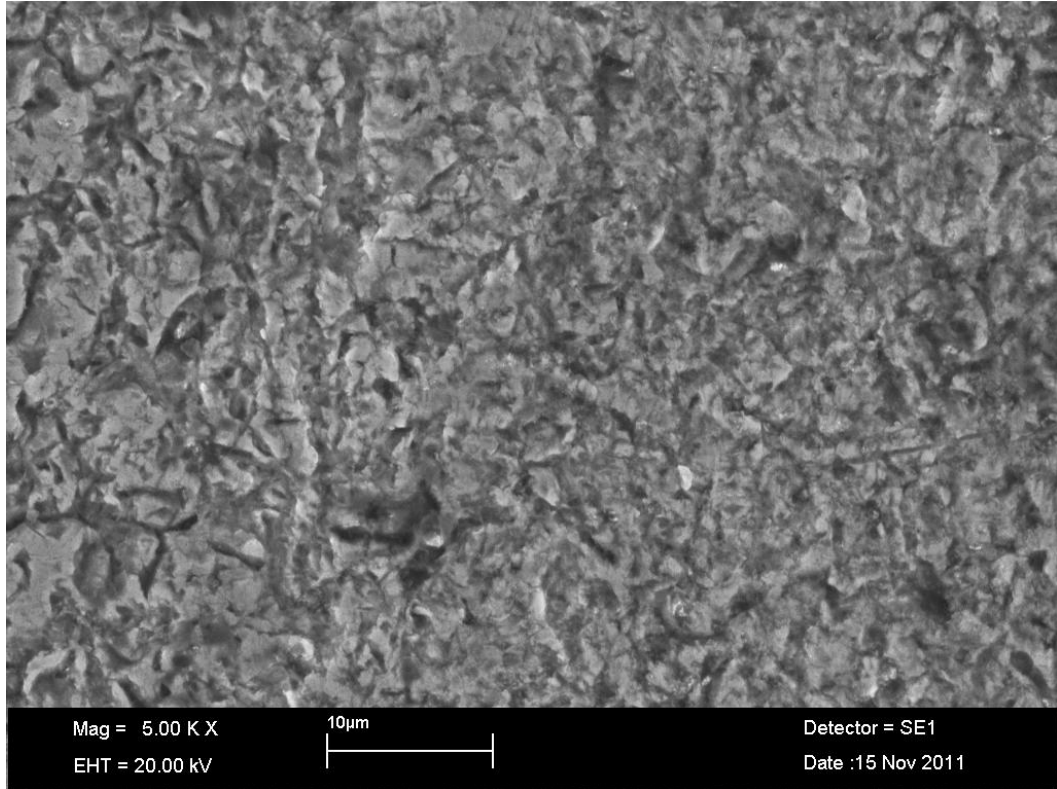
SiC, FeCr ve Al₂O₃cürufu ile aşındırılmış çelik numunenin SEM görüntüleri Şekil 8.28, 8.29 ve 8.30'da verilmiştir. Al₂O₃ ile aşındırılan çelik numunenin aşınma morfolojisinin kısmen değiştiği görülmüştür. Şekil 8.30 incelendiğinde alüminyum ve bakır numunelerin yüzeyinde oluşan oluklanma çelik numunenin yüzeyinde görülmemektedir. Bunu malzemenin sertliği ile ilişkilendirmek mümkündür. Çünkü Al ve Cu'dan daha sert olan çelik aşındırıcının yüzeye saplanarak bir yatak malzemesi görevi görmesini engellemiş böylece aşınma morfolojisi SiC'de olduğu gibi kısmi kopmalardan oluşmuştur.



Şekil 8.28 SiC ile aşındırılmış çelik aşınma yüzeyi SEM görüntüsü.

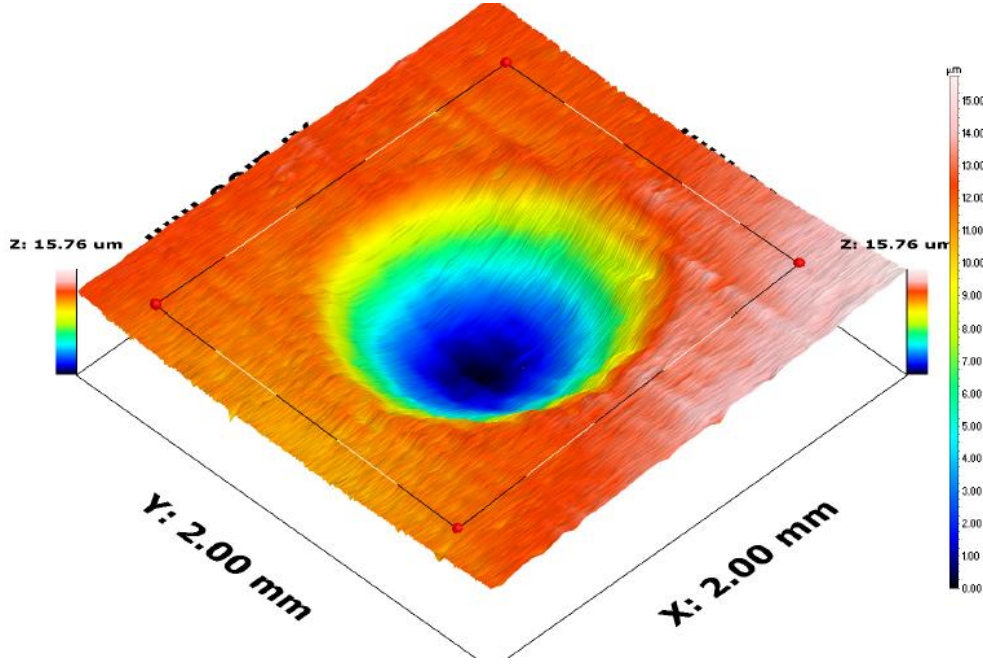


Şekil 8.29 FeCr cürufu ile aşındırılmış çelik aşınma yüzeyi SEM görüntüsü.



Şekil 8.30 Al₂O₃ ile aşındırılmış çelik aşınma yüzeyi SEM görüntüsü.

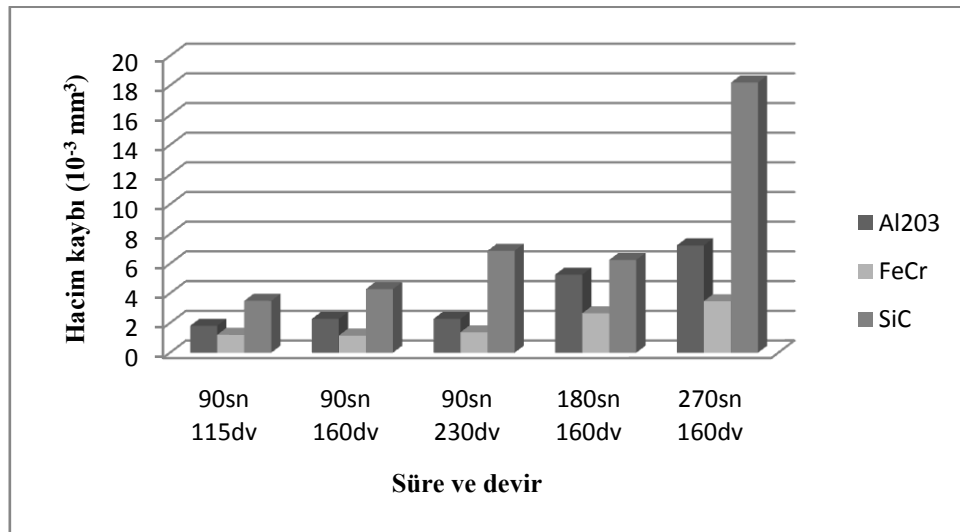
FeCr cürufu ile aşındırılan sade karbonlu çelik numunenin yüzey profilometresi Şekil 8.31’de verilmiştir.



Şekil 8.31 FeCr ile 160 dv 270 sn aşındırılmış çelik numune yüzey profilometresi.

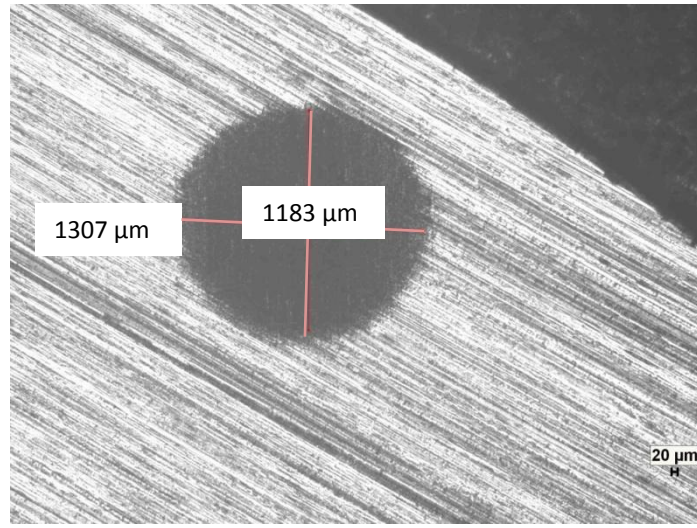
8.4 HSS BULGULAR

Deneyel çalışmalar kısmında verilen mikro aşınma deneyleri sonuçları sonucunda HSS numunelerde oluşan kraterlerin hacim kayıpları Şekil 8.32’de verilmiştir.

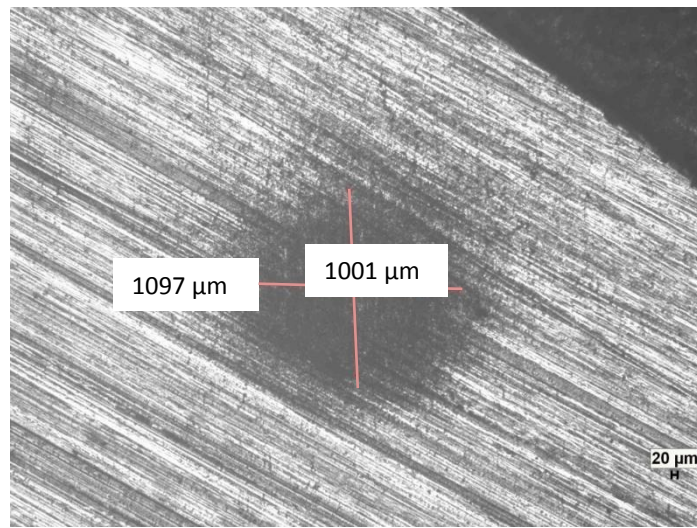


Şekil 8.32 HSS numuneye ait mikro abrazyon deney sonuçları.

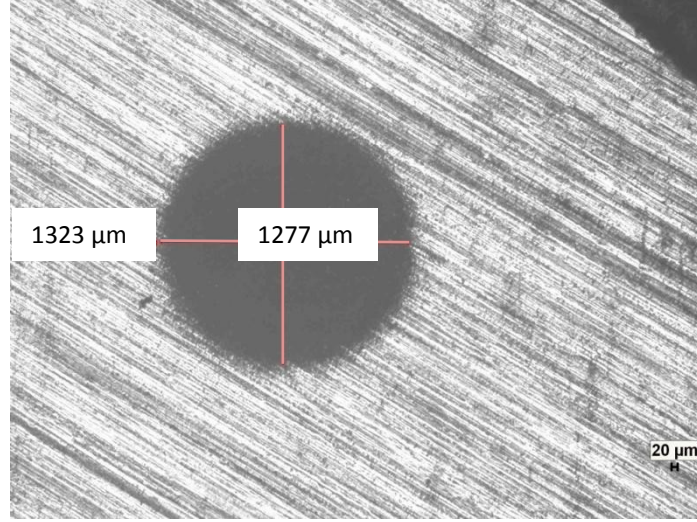
Bilindiği gibi HSS çelikleri metalik malzemelerin işlenmesinde kullanılan krom, volfram içeriğine sahip yüksek sertlikteki stratejik çeliklerdir. Diğer aşındırılan malzemelerle kıyaslandığında sertliği yüksektir (Tablo 7.2). Yukarıda da anlatıldığı gibi aşındırıcı partikülün karşı malzemeyi aşındırabilmesi için yüzeye nüfuz etmesi ve bu yüzey üzerinde hareket etmesi gerekmektedir. Ancak alt yüzeyin yüksek sertliğinden dolayı abrasif partikülün yüzeye batması zorlaşacağı gibi kolay körleşen partiküllerin aşındırma özellikleri kötüleşecektir. Buna bağlı olarak yüzeyde meydana getireceği hasar daha az olacaktır. Bu durum FeCr cürufu ile aşındırılan HSS çeliği üzerinde açıkça görülmüştür. HSS çeliği aşınma kraterleri Şekil 8.33, 8.34 ve 8.35'te verilmiştir.



Şekil 8.33 Al₂O₃ ile 160 dv 180 sn aşındırılmış HSS çeliği aşınma krateri.

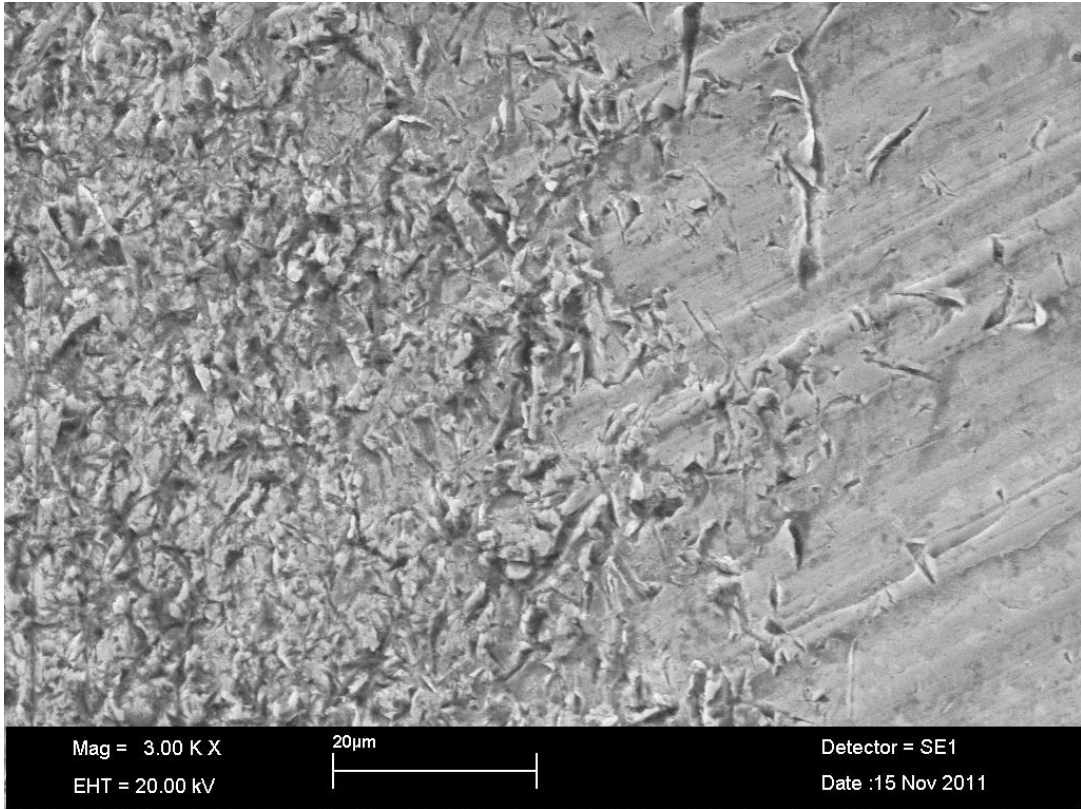


Şekil 8.34 FeCr cürufu ile 160 dv 180 sn aşındırılmış HSS çeliği aşınma krateri.

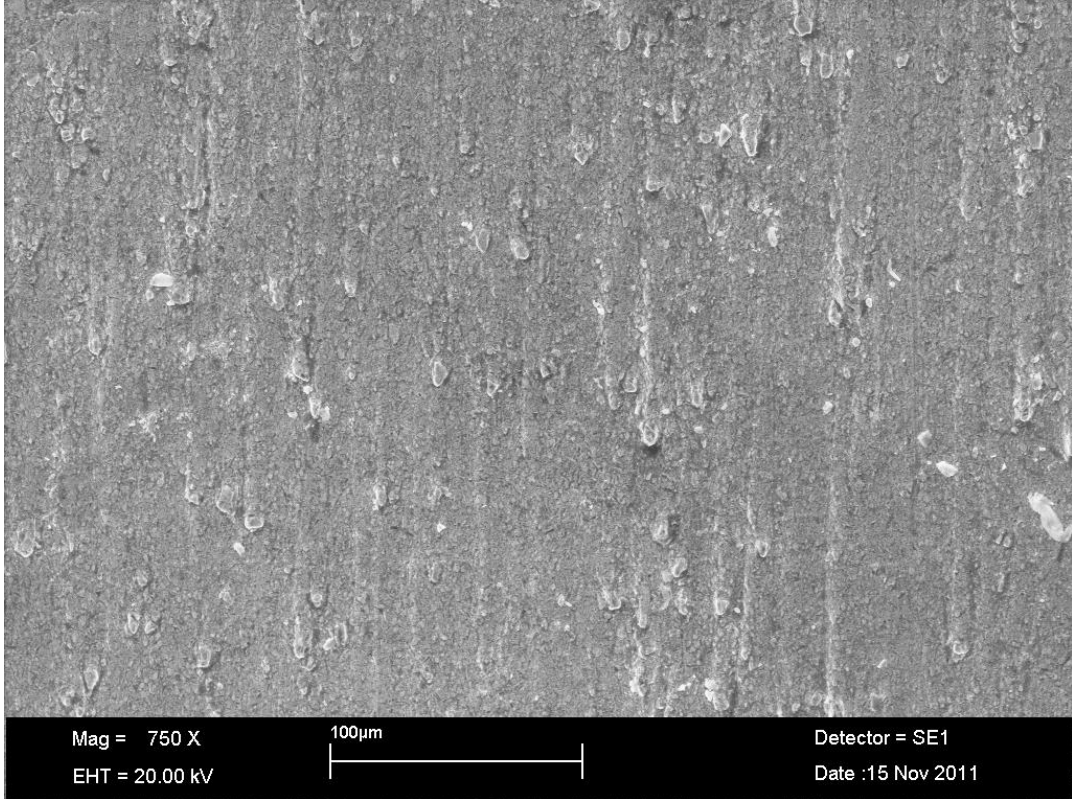


Şekil 8.35 SiC ile 160dv 180 sn aşındırılmış HSS çeliği aşınma krateri.

Numune yüzeyinden alınan sem aşınma yüzey fotoğrafları (Şekil 8.36 ve 8.37) incelendiğinde kopma ayrılması SiC ile aşındırılan numunelerde görülürken FeCr cürufu ile aşındırılan numunelerin üzerinde mikro çizilmelere yol açan FeCr cürufu partikülleri görülmüştür.

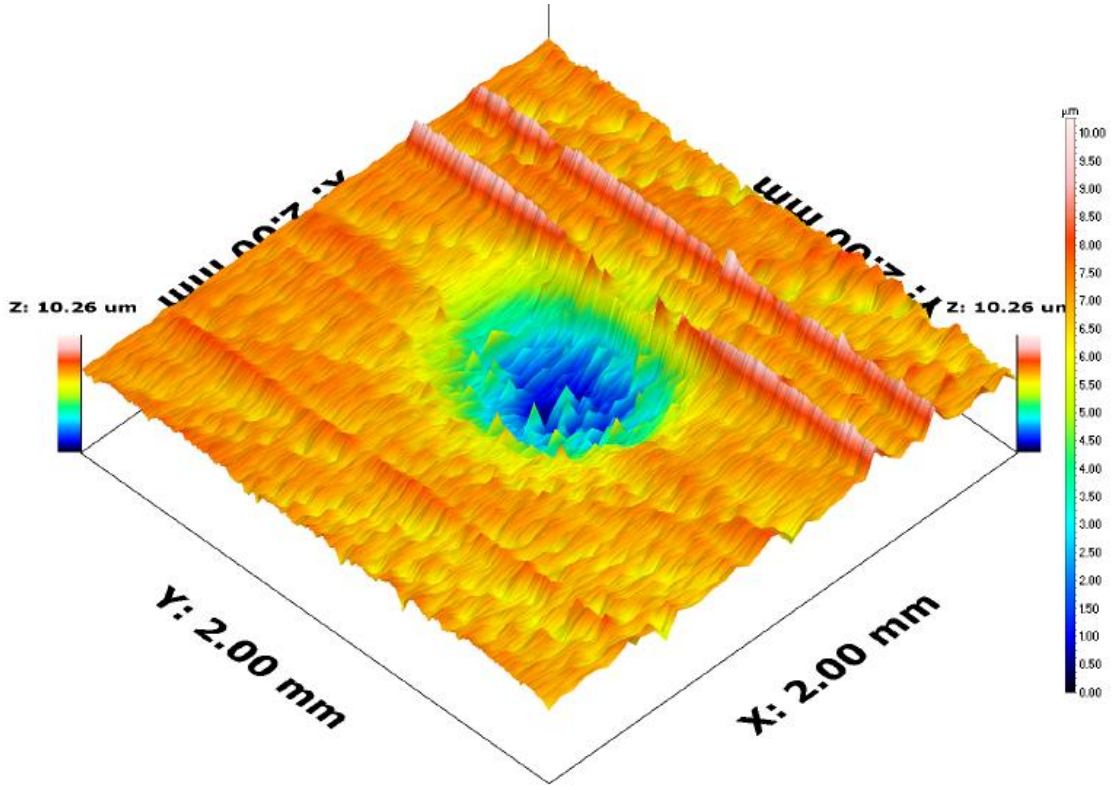


Şekil 8.36 SiC ile aşındırılmış HSS çeliği SEM görüntüsü.

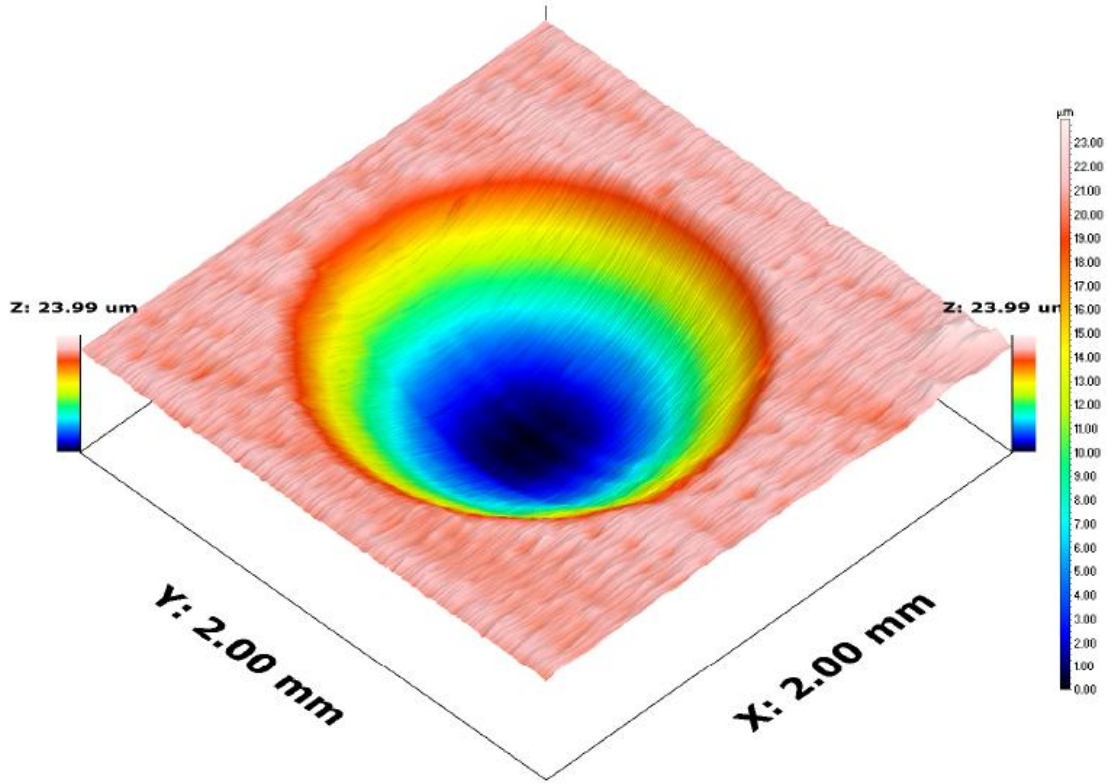


Şekil 8.37 FeCr cürufu ile aşındırılmış HSS çeliği SEM görüntüsü.

Aşınma sonrası numunelerin yüzeyinden alınan FeCr cürufu ve SiC aşındırılan numunelerin yüzey profilometreleri incelenecek olursa krater çapındaki oluşan fark açıkça görülmektedir. Yine yüzey profilometreleri incelendiğinde FeCr cürufu kullanılarak aşındırılan yüzeylerin oluk (sırt) şeklinde olduğu görülmektedir. Malzeme yüzeyine veya serbest top üzerine yapışan FeCr partikülleri aşındırıcı hareketini kısıtladığı için bu duruma sebep olmuştur. SiC ile aşındırılan numunede bu izlere rastlanmamıştır. Şekil 8.38 ve 8.39’da HSS numunenin yüzey profilometreleri verilmiştir.



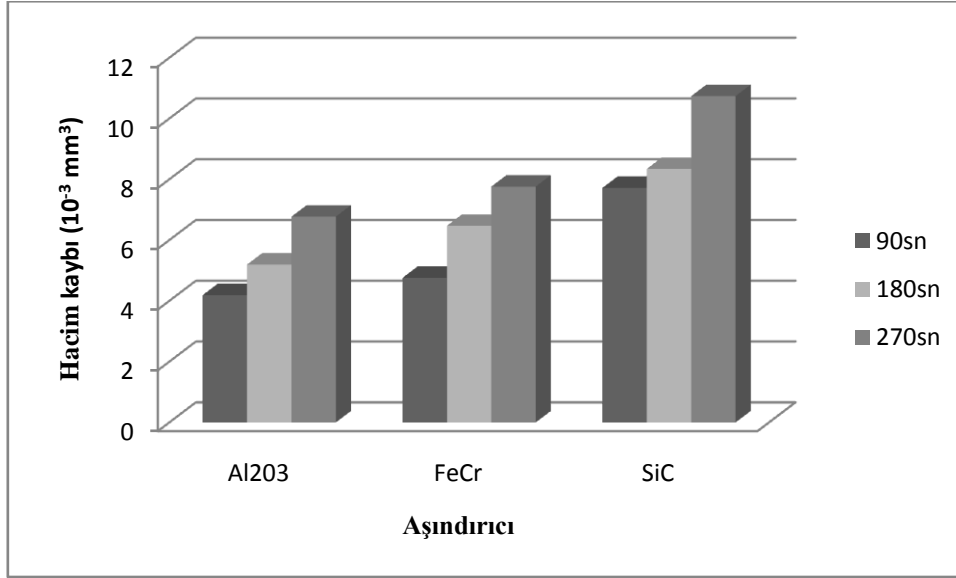
Şekil 8.38 FeCr cürufu ile 160 dv 270 sn aşındırılmış HSS çeliği yüzey profilometresi.



Şekil 8.39 SiC ile 160 dv 270 sn aşındırılmış HSS çeliği yüzey profilometresi.

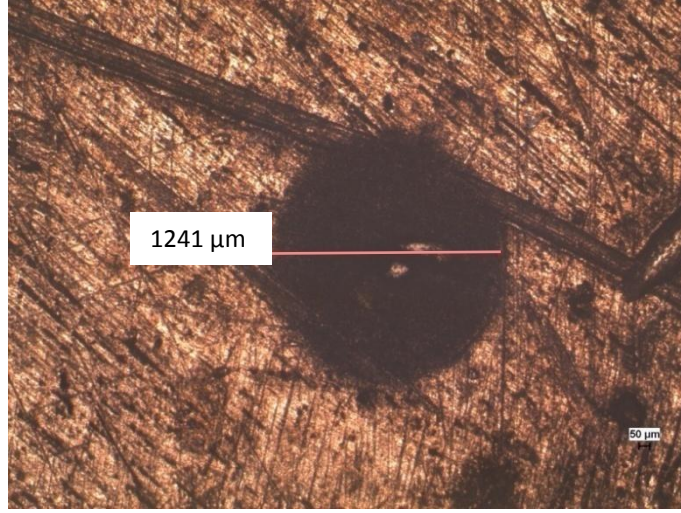
8.5 KURŞUN BULGULAR

Deneyel çalışmalar kısmında verilen mikro aşınma deneyleri sonuçları sonucunda HSS numunelerde oluşan kraterlerin hacim kayıpları Şekil 8.40’da verilmiştir.

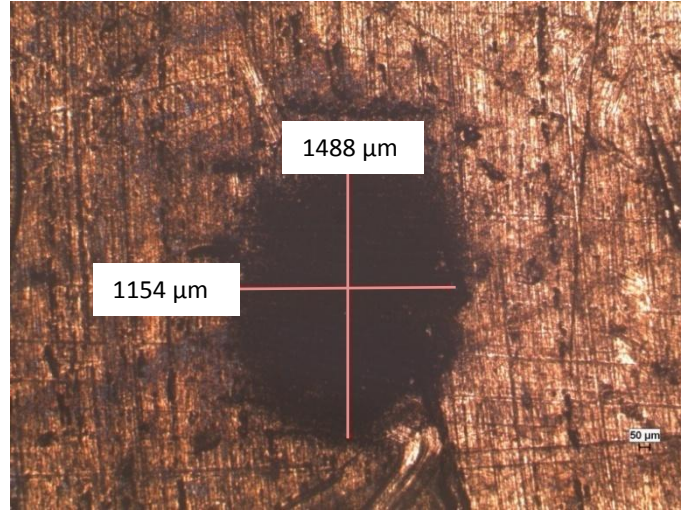


Şekil 8.40 Kurşun numuneye ait mikro abrazyon deney sonuçları.

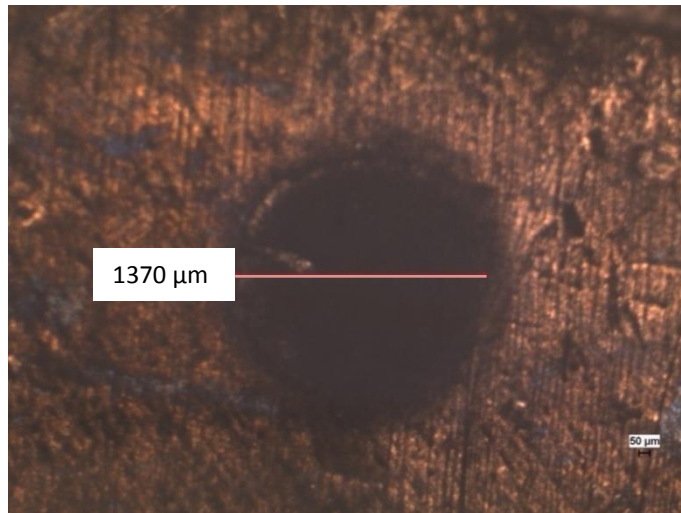
Kurşun diğer aşındırılan malzemelerle kıyaslandığında çok düşük sertliği sahip olmasına rağmen hacim kaybı değerleri alüminyum ve bakırdan daha az çıkmıştır. Malzemelerin yüzey sertlikleri aşındırıcı partiküllerin yüzeye batmasında önemli rol oynarlar. Bazı yumuşak malzemelerde aşınmanın azalması aşındırıcı partiküllerin yüzeye gömülerek matrisi kaplaması ve bir yağlayıcı görevi görmesi yüzündendir. Özellikle aşındırıcı tane boyutunun küçülmesi ile birlikte malzemenin aşınma direnci daha da artar. Çünkü aşındırarak kuvvet daha çok sayıda partikülle temas edeceğinden yük daha çok partikül tarafından paylaşılır ve ince tanelerin yüzeye uygulayacağı enerji daha azdır ve buda yüzeyin hasar görmesini engeller. Bu durum kurşun numunenin daha az hasar görmesini açıklamaktadır. Kurşun numunenin aşınma kraterleri Şekil 8.41, 8.42 ve 8.43’te verilmiştir.



Şekil 8.41 Al_2O_3 ile 160 dv 180 saniye aşındırılmış kurşun numune aşınma krateri.

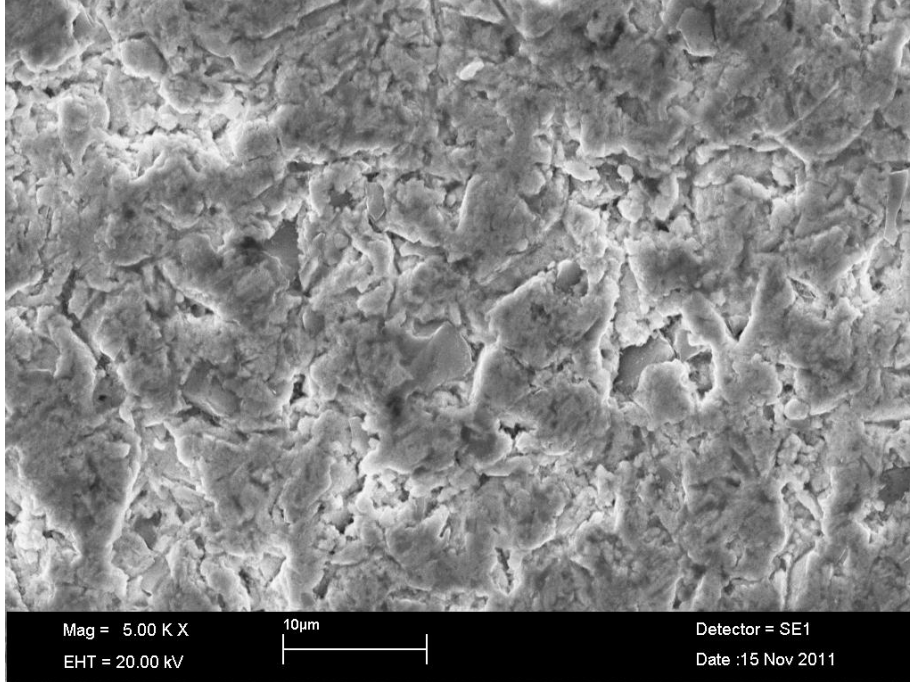


Şekil 8.42 FeCr cürufu ile 160 dv 180 saniye aşındırılmış kurşun numune aşınma krateri.

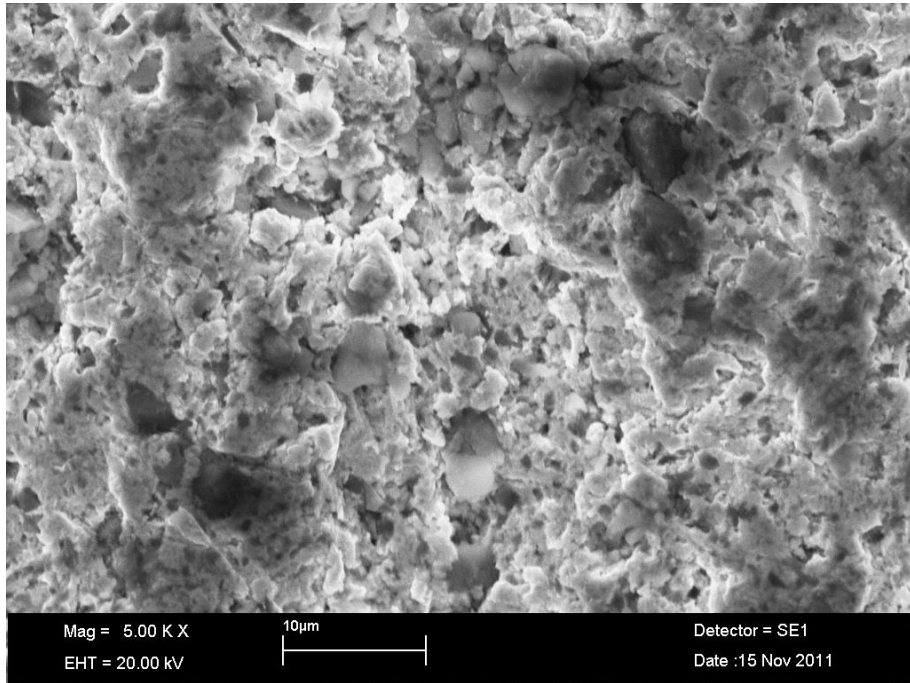


Şekil 8.43 SiC ile 160 dv 180 saniye aşındırılmış kurşun numune aşınma krateri.

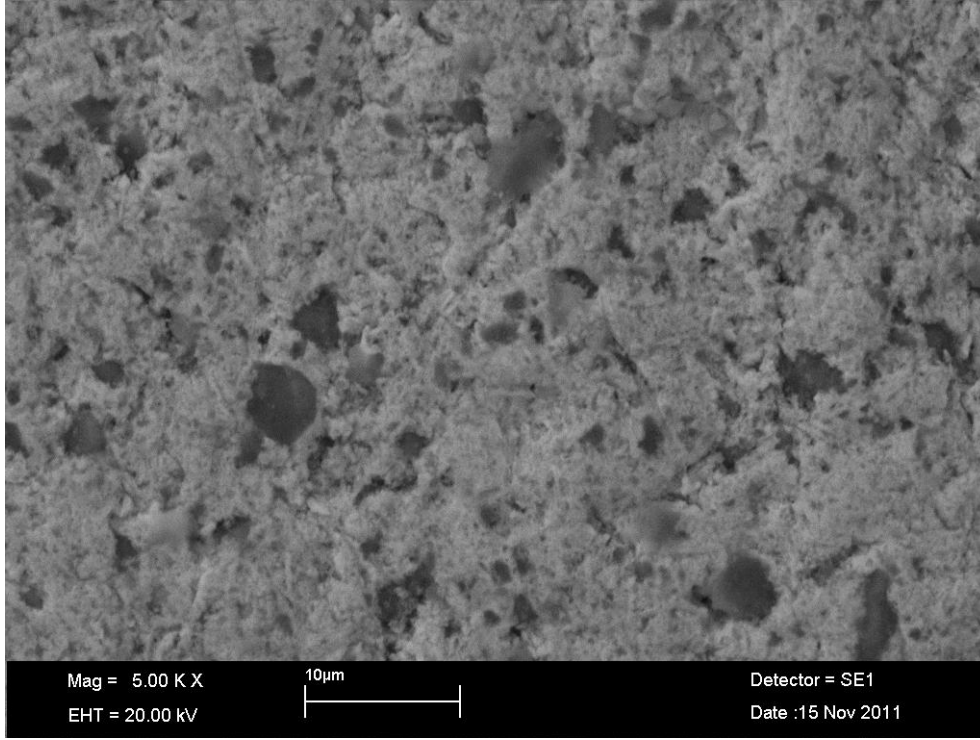
Kurşunun FeCr ile aşındırılan SEM görüntüsü incelendiğinde yumuşak olan yüzeye cüruf parçalarının battığı görülmektedir. Buda numune ne kadar yumuşak olsa da yük taşıyıcı bir bariyer oluşturan yağlayıcı sistem yüzünden aşınmanın düşük olmasına sebep olmuştur. Şekil 8.44, 8.45 ve 8.46'da kurşunun SEM aşınma yüzey görüntüleri verilmiştir.



Şekil 8.44 SiC ile aşındırılmış Kurşun aşınma yüzeyi SEM görüntüsü.



Şekil 8.45 FeCr cürufu ile aşındırılmış Kurşun aşınma yüzeyi SEM görüntüsü.



Şekil 8.46 Al₂O₃ ile aşındırılmış Kurşun aşınma yüzeyi SEM görüntüsü.

Tüm numuneler göze alındığında en iyi aşınma direncini HSS yüksek hız çeliği gösterirken bunu çelik, kurşun, bakır ve alüminyum numuneler izlemiştir. Kurşun hariç diğer numunelerde sertlik artması ile birlikte aşınma dirençleri yükselmiştir. Aşındırıcı malzeme olarak incelendiğinde SiC'nin en fazla aşındıran malzeme olduğu görülürken sertliğin 300 HV sertliğe kadar olan numunelerde ferrokrom cürufu ile Al₂O₃ benzer aşındırma etkisine sahip olduğu görülmüştür. Sertliğin yükselmesi ile birlikte ferrokrom cürufunun aşındırma etkisi azalmaya başlamış 500 HV sertliğin üzerinde etkili aşındırmaya sahip olmadığı görülmüştür.

BÖLÜM 9

SONUÇ

Cüruflar metalik malzemelerin hammaddeden üretimi sırasında ortaya çıkan atık malzemelerdir. Cüruflar tesislerde sürekli olarak ortaya çıkmakta ve işletmeler için yarattığı depolama sorunlarının yanında çevresel olarak da problemler ortaya çıkarmaktadır. Cüruflar çimentoya katkı malzemesi olarak katılması ve asfalt yapımında dolgu malzemesi olarak kullanılması dışında önemli bir alanda kullanılmamaktadır.

Bu çalışmada bir metal üretim atığı olan ferrokrom cürufunun atık olarak değerlendirilmesi amacıyla aşındırıcı özelliğinin olup olmadığı Mikro-abrazyon aşınma test yöntemi ile araştırılmıştır. Bu amaçla farklı 5 metalik malzeme üzerinde mikro abrazyon testleri yapılmıştır. Ferrokrom cürufunun aşındırma özelliğinin kıyaslanması için SiC ve Al₂O₃ aşındırıcı tozlar temin edilmiş numuneler üzerinde aşındırıcı olarak kullanılmıştır.

Yapılan çalışmalar sonucunda aşınma uygulanan numuneler arasında en yüksek aşınma direnci yüksek hız takım çeliğinde görülmüş bunu çelik, kurşun, bakır ve alüminyum numuneler izlemiştir. Numunelerde kurşun hariç sertlik artışı ile birlikte aşınma dirençlerinin de arttığı görülmüştür. Kurşun numune yağlayıcı özelliği sayesinde düşük sertliğe sahip olmasına rağmen yüksek aşınma hasarına uğramamıştır. Aşındırıcı malzeme olarak incelendiğinde SiC aşındırıcı partikülün yüksek sertliğe sahip olması sebebiyle numuneler üzerinde en fazla aşındırıcı etkiyi gösterdiği ve diğer aşındırıcı partiküllerden çok daha yüksek aşındırıcı özelliğe sahip olduğu belirlenmiştir. Düşük sertlikteki malzemelerde ise ferrokrom cürufu ile Al₂O₃ aşındırıcı partikülün hemen hemen aynı aşındırıcı etkiyi gösterdiği görülmüştür. Ancak yüksek sertlikteki malzemelerde ferrokrom cürufunun etkili aşındırma kabiliyetine sahip olmadığı görülmüştür.

Sonuç olarak atık bir malzeme olan ferrokrom cürufunun düşük sertlikteki malzemelerde aşındırıcı olarak kullanılabilmesi sonucuna varılmıştır. Literatürde yapılan araştırmalar

sonucu bu konuda daha önce yapılmış bir çalışmanın olmadığı görülmüş ve bu çalışmanın bundan sonra yapılacak çalışmalar için bir örnek temsil edeceği düşünülmüştür. Bundan sonraki adım olarak farklı cürufların da aşındırma kabiliyetleri farklı yöntemler ve materyaller kullanılarak araştırılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Altun O, Genç A ve Yeşilyurt H** (2008) *Ferrokrom Üretim Aşamaları*. Ders Notu, Fırat Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, 56 s.
- Akbulut H** (2005) *Abrasiv Aşınma Ders Notları*, T.C. Sakarya Üniversitesi, 46 s.
- Andrade MFC, Martinho RP, Silva FJG, Alexandre RJD ve Baptista APM** (2009) Influence of the abrasive particles size in the micro abrasion wear tests of TiAlSiN thin coatings. *Wear*, 267: 12–18.
- Alataş T, Somunkıran ET ve Ahmedzade P** (2006) Ereğli demir çelik fabrikası cürufunun asfalt betonunda agrega olarak kullanılması. *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 18 (2): 225-234.
- Ataman N** (2006) Endüstriyel atıkların yüzey hazırlama işlemlerinde aşındırıcı olarak kullanılması. Mehmet Kemal Dedeman Araştırma ve Geliştirme Proje Yarışması, İstanbul, s 1-33.
- Ay İ** (2010) *Aşınma Sonucu Doğan Hasarlar*, Ders Notu, Balıkesir Üniversitesi, 55 s.
- Blau PJ ve Budınski KG** (1999) Development and use of astm standards for wear testing, *Wear*, 225: 1159-1170.
- Can Ö** (2008) Ferrokrom cürufunun kerpicingin mühendislik özelliklerine etkisi. *Selçuk Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Teknik-Online Dergi*, 7(2): s175-185
- Durmuş H, Uzun RO ve Şahin S** (2011) Retrogresyon işleminin 7075 alüminyum alaşımının aşınma davranışına etkisi. *6th International Advanced Technologies Symposium*, Elazığ, s515-520.
- Ege İhracatçılar Birliği**, Krom Taslak Raporu, 17.12.2011.
- Ekinci CE ve Erşimşek M** (2006) Enjeksiyon yöntemiyle üretilen granüle yapıli ferrokrom cürufu katkıli betonların fiziksel özelliklerinin araştırılması. *E-Journal Of New World Sciences Academy*, 1 (3) A0007.
- Erdem S** (2006) Yüksek Karbon İçeriğine Sahip, Yüksek Kromlu, Manganlı Ve Alaşımız Düşük Karbonlu Çeliklerin Aşınma Davranışlarının Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji Eğitimi Anabilim Dalı, Elazığ, 65 s.
- Geçkinli EA** (1992) *İleri Teknoloji Malzemeleri*, İTÜ Matbaası, İstanbul, 287 s.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Gencil O, Koksal F, Ozel C ve Brostow W** (2012) Combined effects of fly ash and waste ferrochromium on properties of concret. *Construction and Building Materials*, 29: 633–640.
- Gök MS** (2008) Düşük Ve Orta Karbonlu Çeliklerin Yüzeyine Tıg Kaynak Metoduyla Kaplanan Ostenitik Paslanmaz Çelik Tozunun Aşınma Direncine Karbür İçeriğinin Etkisinin Araştırılması. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji Eğitimi Anabilim Dalı, Elazığ, 125 s.
- Ibáñez MJ, Gilabert J, Vicent M, Gómez P ve Munoz D** (2009) Determination of the wear resistance of traditional ceramic materials by means of micro-abrasion technique. *Wear*, 267: 2048–2054.
- Karabaşoğlu M** (2008) Aşınma Deney Cihazı Tasarımı Ve İmalatı. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi ABD, Sakarya 88 s.
- Karaoğlu Y** (2006) Bir Aşınma Test Cihazının Tasarımı Ve İmalatı. Yüksek Lisans Tezi T.C.Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Eğitimi Anabilim Dalı, Eylül, 82 s.
- Kaya G ve Turan S** (2004) Yüksek fırın cürufunun seramik sektöründe katma değeri yüksek ürünlerin eldesinde değerlendirilmesi. *Mühendis ve Makine*, 45 (536): 48-65.
- Kayalı Y ve Yalcın Y** (2009) Östemperlenmiş küresel grafitli dökme demirin mikro aşınma davranışına östemperleme sıcaklığının etkisi. 5. *Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)*, Karabük.
- Kuş H** (2007) Östemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Aşınma Davranışı. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Konya, 91 s.
- Özkan Ö** (2006) Çelikhane ve yüksek fırın cürufu katkılı portland çimentosunun özellikleri. *İMO Teknik Dergi*, Yazı 257: 3893-3902.
- Sarıçimen H** (1975) Krom cevherlerinin sanayideki yeri. *Madencilik Dergisi*, Eubank Üçköprü Maden İşletmeleri Müessesesi, Fethiye-MUĞLA, XIV (1): 24-35.
- Sarıkaya Ö** (2007) *Aşınmaya Karşı Yüzey Mühendisliği Yöntemleri*, Sakarya, 280 s.
- Sert Y** (2007) Plazma Püskürtme Tekniği İle Kaplanmış Tekstil Parçasının Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Seramik Mühendisliği ABD, Sakarya, 117 s.
- Shipway PH ve Hogg JJ** (2007) Wear of bulk ceramics in micro-scale abrasion-The role of abrasive shape and hardness and its relevance to testing of ceramic coatings. *Wear* 263: 887–895.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Silva FJG, Casais RB, Martinho RP ve Baptista APM** (2011) Role of abrasive material on micro-abrasion wear tests. *Wear*, 271: 2632–2639.
- Soydaş S** (2006) Ünliversal Aşınma Test Cihazı Tasarımı Ve İmalatı. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mekatronik Mühendisliği ABD, Kocaeli, 73 s.
- Şahin K** (1996) Isıl Püskürme Yöntemleri. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği ABD, Kocaeli, 75 s.
- Tafrah M** (2006) Tel Püskürtme İle Kaplamada Püskürtme Parametrelerinin Mikroyapı Ve Gözenekliliğe Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal İşleri ABD, Ankara, 96 s.
- URL-1** (2012) <http://tr.wikipedia.org/wiki/C%C3%BCruf>, 18.02.2012
- URL-2** (2012) http://maruhachi-t.com/msr/msr02_e.html, Maruhachi Techno Center, 20 Mart 2012.
- URL-3** (2012) <http://www.isilislem.com/hizmetlerimiz.html>, 25.05.2012.
- URL-4** (2012) http://www.takimceligi.com/index.php?option=com_content&view=article&id=881:nitasyonla-yuezey-sertletirme&catid=81:yazlar&Itemid=265, 25.05.2012.
- URL-5** (2012) <http://www.yuzeymuhendislik.com/coatings.asp?id=27>, 25.05.2012.
- URL-6** (2011) <Http://Www.Prokap.Com.Tr/Plasmakaplama.Html>, Prokap Makine, 20.12.2011.
- URL-7** (2012) <Http://Www.Bilesim.Com.Tr/Yazdir.Php?T=3&İd=1380&Sn=2>, Bilişim Yayıncılık, Fuarcılık ve Tanıtım Hizmetleri A.Ş., 18.01.2012.
- URL-8** (2012) <Http://Www.Thermalspray.Com/Hvof-Coating>, Responsive Coating Technology, 20.03.2012.
- URL-9** (2012) <http://www.belgeler.com/blg/2r1i/asinmaya-karsi-uygulan-an-yuzey-islemler>, 24.05.2012.
- URL-10** (2012) <http://www.nuveforum.net/1225-elementler/62768-kursun-kursunun-ozellikleri-kullanimi/>, 17 Mayıs 2012.
- Ünlü BS ve Atik E (2005)** Kalay -kurşun esaslı yataklardaki alaşım elementlerinin aşınmaya etkisi. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, (1) 1-5.
- Ünlü BS, Köksal NS ve Atik E (2003)** Bakır esaslı bronz ve pirinç yatakların tribolojik özelliklerinin karşılaştırılması. *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 5 (2):103-108.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Varol N** (1994) Plastik Malzemelerde Aşınma. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji Anabilim Dalı, Elazığ, 120 s.
- Yazıcıoğlu S, Gönen T ve Çobanoğlu ÖC** (2005) Elazığ ferrokrom cürufunun betonun basınç dayanımı ve çarpma enerjisi üzerine etkisi. *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17 (4): 681-685.
- Yıldız T, Gür AK** (2006) *Aşınma Sistemleri*, Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları.
- Yılmaz A ve Süttaş İ** (2008) Ferrokrom cürufunun yol temel malzemesi olarak kullanımı. *İMO Teknik Dergi*, Yazı 294: 4455-4470.
- Yılmaz M ve Kök BV** (2008) Ferrokrom cürufu kullanımının bitümlü sıcak karışımların mekanik özelliklerine etkisi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 12-3: 186-194.
- Ziyadanoğulları B** (1993) Konverter Cüruf Ve Oksitli Bakır Cevherin Değerlendirilmesi. Doktora Tezi, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Diyarbakır, 95 s.

ÖZGEÇMİŞ

Azmi ERDOĞAN 1986'da Niğde'de doğdu, ilk ve orta öğretimini Zonguldak'ın Ereğli ilçesinde tamamladı. Kdz. Ereğli Anadolu Lisesi'nden mezun olduktan sonra 2004 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Kimya-Metalurji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'ne girdi. 2009 yılında mezun olduktan sonra aynı yıl askerlik görevine başladı. 2010 yılında terhis oldu ve aynı yıl Bartın Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nde araştırma görevlisi olarak göreve başladı. Halen Bartın Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans programını sürdürmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres: Bartın Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü
74100 BARTIN

Tel: (378) 223 5357

E-posta: aerdogan@bartin.edu.tr