

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YENİ BİR AŞINMA TEST CİHAZI TASARIMI VE BAZI
METALLERİN AŞINMA DAVRANIŞLARININ
ARAŞTIRILMASI**

Übeyit BÜYÜKKELLEÇİ

Tez Yöneticisi

Prof. Dr. Halis ÇELİK

YÜKSEK LİSANS TEZİ
METALURJİ EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

ELAZIĞ, 2008

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YENİ BİR AŞINMA TEST CİHAZI TASARIMI VE BAZI
METALLERİN AŞINMA DAVRANIŞLARININ
ARAŞTIRILMASI**

Übeyit BÜYÜKKELLEÇİ

Yüksek Lisans Tezi
Metalurji Eğitimi Anabilim Dalı

Bu tez, 25/01/ 2008 tarihinde aşağıda belirtilen jüri tarafından oybirliği /oyçokluğu ile başarılı / başarısız olarak değerlendirilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Halis ÇELİK

Üye: Yrd. Doç. Dr. Mehmet KAPLAN

Üye: Yrd. Doç. Dr. Cebeli ÖZEK

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../ 2008 tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının önerilmesi ve yönlendirilmesinde yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Metalurji Eğitimi Ana bilim dalı başkanı Prof. Dr. Halis ÇELİK' e ve bu çalışmanın hazırlanmasında yardımlarını esirgemeyen Ordu Endüstri Meslek Lisesi Makine Teknolojisi Alanı Dal Şefi Cemal ÜN 'e ve MESEP uzmanı Yusuf ER'e teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Übeyit BÜYÜKKELLEÇİ

İÇİNDEKİLER

1. GİRİŞ.....	1
2.TRİBOLOJİ.....	15
2.1. Tribolojinin Esasları	15
2.2 Aşınma.....	16
2.3. Tribolojik Sistemin Elemanları	17
2.4. Aşınma Faktörleri ve Aşınma Direncine Etkileri	21
2.4.1. Esas Sürtünme Elemanına Bağlı Faktörler	22
2.4.1.1. Malzemenin cinsi.....	22
2.4.1.2. Malzemenin mikro yapısı	22
2.4.1.3. Malzemenin Hacimsel ve Yüzeysel Sertliği.....	23
2.4.1.4. Elastiklik Modülü	24
2.4.1.5. Deformasyon Özelliği	26
2. 5. Aşınma zaman ilişkisi.....	26
2.6. Aşınma mekanizmaları	28
2.6.1.Adhesiv Aşınma	30
2.6.2.Abrasiv Aşınma	32
2.6.3.Yorulma Aşınması.....	35
2.6.4.Difüzyon Aşınması	35
2.6.5.Tribo-Oksidasyon Aşınması	36
2.6.6.Erozyon ve Kavitasyon Aşınması.....	36
2.6.7.Yenme Aşınması	37
2.7. Aşınma deney düzenekleri	37
2.8. Aşınmanın ölçülmesi	39
2.8. 1.Ağırlık Farkı Yoluyla Ölçme.....	39
2.8. 2.Kalınlık Ölçme Yöntemi	39
2.8.3. İz Değişiminin Ölçülmesi Yöntemi	39
2.8.4. Radyoizotoplarla Ölçme Yöntemi	40
2.9. Sürtünme	40
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	41
3.1. Abrasiv Aşınma Test Cihazı İmalatı	41
3.2. Test Cihazında Yapılan Aşınma Deneyleri	43
3.3. Deneylerde Kullanılan Malzemeler.....	44
3.4. SEM Çalışmaları	44

3.4.1. Bakır Numunenin SEM Çalışmaları.....	44
3.4.2. Nikel Alaşımının SEM Çalışmaları.....	46
3.4.1. Titanyum Numunenin SEM Çalışmaları	49
3.5. EDAX Çalışmaları.....	51
3.5.1. Bakırın EDAX Çalışmaları.....	51
3.5.2. Nikel alaşımının EDAX Çalışmaları	53
3.5.3. Titanyumun EDAX Çalışmaları	55
3.6. Aşınma Deneylerinin Sonuçları.....	56
4. DENEY SONUÇLARI VE ÖNERİLER.....	58
KAYNAKLAR.....	59
ÖZGEÇMİŞ.....	62

ŞEKİLERİN LİSTESİ	S.NO
Şekil 2.1 Tribolojinin diğer bilimlerle olan ilişkisi.....	3
Şekil 2.2 Sürtünme ve aşınmayı etkileyen faktörler.....	4
Şekil .3 Tribolojik sistemin şematik gösterimi.....	5
Şekil 2.4 Tribolojik sistemde giren enerjilerin dağılımı	7
Şekil 2.5. Çok iyi torna edilmiş bir metal yüzeyinin mikroskop altındaki şematik görünüşü	7
Şekil 2.6. Sürtünen iki cismin temas alanları	8
Şekil 2.7. Karbon miktarına göre çeliklerin bağıl aşınma dirençlerinin değişimi.....	11
Şekil 2.8. Kütleli sertliğin abrasiv aşınma direncine etkisi	11
Şekil 2.9. Kaplamaların aşınma hızları üzerine uygulanan yükün etkisi	12
Şekil 2.10.. Gerçek temas alanına elastiklik modülünün etkisi.....	13
Şekil 2.11. Teknik saf malzemeler için Elastisite modülü – bağıl aşınma direnci arasındaki ilişki	13
Şekil 2.12. Aşınma zaman ilişkisi.....	15
Şekil 2.13. Aşınma mekanizmalarını belirleyen bileşenler	17
Şekil 2.14. Adhesiv aşınmada oluşan kaynak bağı	18
Şekil 2.15. Adhesiv aşınma deneyinde kullanılan geometriler	20
Şekil 2.16. İki cisimli abrasiv aşınma	21
Şekil 2.17. Abrasiv aşınmada aşınma hızını ölçmekte kullanılan yöntemler.....	22
Şekil 2.18 Sürtünme aşınma deney düzenekleri.....	26

ŞEKİLERİN LİSTESİ	SAY.NO
Şekil 3.1. Bilgisayar kontrollü Pim -Silindir tipi aşınma test cihazı.....	30
Şekil 3. 2. Bakırın aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü.....	32
Şekil 3. 3. Bakırın aşınma yüzeyindeki bir abrasiv taneciğinin SEM görüntüsü.....	33
Şekil 3. 4 Bakırın aşınma yüzey izlerinin görüntüsü.....	33
Şekil 3. 5. Bakırın aşınma yüzeyinin daha büyük oranlı SEM görüntüsü.....	34
Şekil 3. 6. Nikel alaşımının aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü.....	35
Şekil 3. 7. Nikel alaşımının aşınma izlerinin SEM görüntüsü.....	35
Şekil 3. 8. Nikel alaşımının aşınma yüzeyinde biriken parçacıkların SEM görüntüsü.	36
Şekil 3. 9. Nikellin mikro yapı ve aşınma yüzeyinin SEM görüntüleri.....	36
Şekil 3. 10. Titanyumun aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü.....	37
Şekil 3. 11. Titanyumun aşınma yüzeyinin büyütülmüş SEM görüntüsü.....	38
Şekil 3. 12. Titanyumun aşınma yüzeyinde aşındırma süreci tamamlanmış bir abrasiv taneciği	38
Şekil 3. 13. Titanyumun aşınma yüzeyinin büyük oranlı görüntüsü	39
Şekil 3.14. Bakır numunede analiz yapılan bölge	39
Şekil 3.15. Bakır numunenin EDAX analiz grafikleri (a: dikdörtgen bölge, b: elips bölge).....	40
Şekil 3.16. Nikel alaşımı numunede spektral analiz yapılan bölge.....	41
Şekil 3.17. Nikel alaşımı numunenin EDAX analiz grafikleri.....	42
Şekil 3.18. Titanyum numunede analiz yapılan bölge	43
Şekil 3.19. Titanyum numunenin EDAX analiz grafikleri.....	44
Şekil 3.20. Ağırlık kaybı-aşınma yolu grafiği olarak.....	45

TABLULAR LİSTESİ	SAY. NO
Tablo 3.1. Aşınma deneylerinde sabit tutulan tribolojik şartlar.....	31
Tablo 3.2. Deney malzemelerinin kimyasal kompozisyonu.....	32
Tablo 3.3. Bakır numunenin analiz sonuçları.....	40
Tablo 3.4. Nikel alaşımı numunenin spektral analiz sonuçları.....	41
Tablo 3.5. Titanyum numunenin analiz sonuçları.....	45
Tablo 3.6. Alınan yollara göre numunelerin mg olarak aşınma miktarları.....	46

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

YENİ BİR AŞINMA TEST CİHAZI TASARIMI VE BAZI METALLERİN AŞINMA DAVRANIŞLARININ ARAŞTIRILMASI

Design of a new test machine and investigation of wear properties of some metals

Übeyit BÜYÜKKELLEÇİ

Fırat Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Metalurji Anabilim Dalı

2008, Sayfa : 50

Aşınma, çeşitli makine ve teçhizatın kullanım ömürlerinin çok kısa olmasına dolayısıyla ekonomik kayıplara sebep olmaktadır. Bu konu, özellikle makine tasarımlarında dikkate alınması gerekir. Çünkü aşınma olayı kontrol edilemediği zaman makine ve teçhizatın hasara uğraması zaman, malzeme, enerji ve emek kayıplarına sebep olmaktadır. Aynı zamanda aşınma, temas eden yüzeylerde oluşan sürtünme etkileriyle güç kaybına, ölçü ve yüzey toleranslarının bozulmasına sebebiyet vermektedir. Bu nedenle malzeme seçiminde aşınma, göz önüne alınması gereken en önemli unsurlardan birisidir.

Bu nedenle çalışmamızda step veya servomotor kullanmak kaydıyla aşınma hızı, aşınan parçasının ilerleme hızı ve yük miktarı kontrol edilebilir pim-disk sisteminin benzeri Pim-Silindir esaslı yeni bir aşınma test cihazının dizayn ve üretimi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca üretilmiş olan bu cihaz ile Cu, Ni ve Ti esaslı üç farklı alaşımın aşınma davranışları incelenmiştir.

Elde edilen aşınma testi sonuçları, sözkonusu aşınma test cihazının emsallerini aratmayacak niteliklerde yeterli olduğunu göstermiştir.

Bu nedenle çalışmamızda step veya servomotor kullanmak kaydıyla aşınma hızı, aşınan

parçasının ilerleme hızı ve yük miktarı kontrol edilebilir pim-disk sisteminin benzeri Pim-Silindir esaslı yeni bir aşınma test cihazının dizayn ve üretimi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca üretilmiş olan bu cihaz ile Cu, Ni ve Ti esaslı üç farklı alaşımın aşınma davranışları incelenmiştir.

Elde edilen aşınma testi sonuçları, söz konusu aşınma test cihazının emsallerini aratmayacak niteliklerde yeterli olduğunu göstermiştir.

Anahatar Kelimeler : Aşınma, Metallerin aşınması, triboloji

ABSTRACT

PhD Thesis

DESİGN OF A NEW TEST MACHINE AND İNVESTİGATION OF WEAR PROPERTİES OF SOME METALS

Übeyit BÜYÜKELLEÇİ

Firat University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Metallurgy Education

2008, Page : 50

DESİGN OF A NEW TEST MACHINE AND İNVESTİGATION OF WEAR PROPERTİES OF SOME METALS

The wear losses are reason decrease of service life and economical damages. It must be carefully, when machine design especially. Because of the wear losses cannot be control, machine and equipment can be damaged, so time, material, and energy, and work can be lost. At this time, the wear losses at friction surfaces are due to energy losses, damage of size and tolerances of machine parts. So, wear is one of the important factors in choose of material. For this reason, in our study on this pin on disc machine wear speed, progression of wear part and value of the load will be control. On the other hand, it has been investigated wear behaviour of Cu, Ni and Ti based three different alloys by using this machine. It has been shown that The test results shows that this wear test machine it is enough as other wear machine.

Corrosion ; causes economy hazar while using various machines and apparatuses. This subject is very important an machine projects.

Corrosion, which accured without wating ; causes to large hazars especially during the use of machinesand apparatuses. Because of the fach that ; friction forces cause, powe-shortageasl so corrosion causes be coming bad on dhe process tollerances. So ; corrosion is one of the parameters which must be taken attention.

Keywords: Wear , wear of metals tribology

1. GİRİŞ

Aşınmanın bazı araştırmacılara göre çeşitli tarifleri yapılmıştır. Teknik anlamda aşınma, cisimlerin yüzeylerinde, mekanik etkenlerle (Mekanik bir sebep veya mekanik bir enerji verilmesi sonucu) malzeme yüzeyinden mikro taneciklerin kopup ayrılması nedeniyle istenmeyen bir değişikliğin meydana gelmesidir (Gürleyik 1978, Ulusoy 1977). Başka bir ifadeyle aşınma malzeme yüzeylerine gaz, sıvı ve katıların etkisi neticesinde malzemenin yüzeyinde mikro taneciklerin kopması sonucu meydana gelen yüzey bozulmasıdır (Moore 1974). DIN 50320 ve ASTM G40-93 standartlarına göre aşınma, “kullanılan malzemelerin başka malzemelerle (katı, sıvı veya gaz) teması sonucu mekanik etkenlerle yüzeyden küçük parçacıkların ayrılmasıyla meydana gelen ve istenmeyen yüzey bozulması” şeklinde tanımlanmaktadır (Yılmaz, 1997). DIN 50320’ ye göre aşınmanın başka bir tanımı; Aşınma, katı cisim yüzey bölgesinden tribolojik zorlanma sonucu sürekli ilerleyen malzeme kaybıdır (Demirci 1982).

Yeni bir yaklaşımla aşınmanın tanımı; sürtünme sonucu oluşan, katı cisimde teknolojik olarak bilinen şekil değiştirme ya da madde değişimi dışında kalan kalıcı biçimlenme ve madde değişimidir (Topbaş 1993).

Yukarıda verilen tüm bu tanımlardan anlaşıldığı gibi, malzemelerde meydana gelen yıpranma olayının aşınma sayılabilmesi için bazı şartların sağlanması gerekir. Bunlar; Mekanik bir etkinin olması, sürtünmenin olması, yavaş fakat sürekli olması, malzeme yüzeyinde değişiklik meydana getirmesi, istenilmediği halde meydana gelmesidir.

Yıpranan bir malzemede belirtilen bu şartlardan birinin görülmemesi halinde, olay aşınma olarak mütalaa edilmemelidir. Örneğin korozyon, diğer bütün şartları sağlamasına rağmen sürtünme ve mekanik hareket olmaksızın meydana gelmektedir.

Talaşlı şekillendirme işlemleri (eğeleme, frezeleme, vb.) veya aşındırma esasına dayanarak yaptığımız alıştırma işlemleri (honlama, taşlama, raybalama, vb.) malzeme üzerinde isteyerek yapılan değişiklikler olduğundan aşınma kapsamı dışında tutulmalıdır.

Haddeleme veya dövme esnasında malzeme yüzeyinden ince tabakalar halinde parça kopmaları gerçekleşir fakat bu işlem “yavaş” gerçekleşmez ve yapılan işlem malzemeye isteyerek uygulandığı için aşınma sayılmaz.

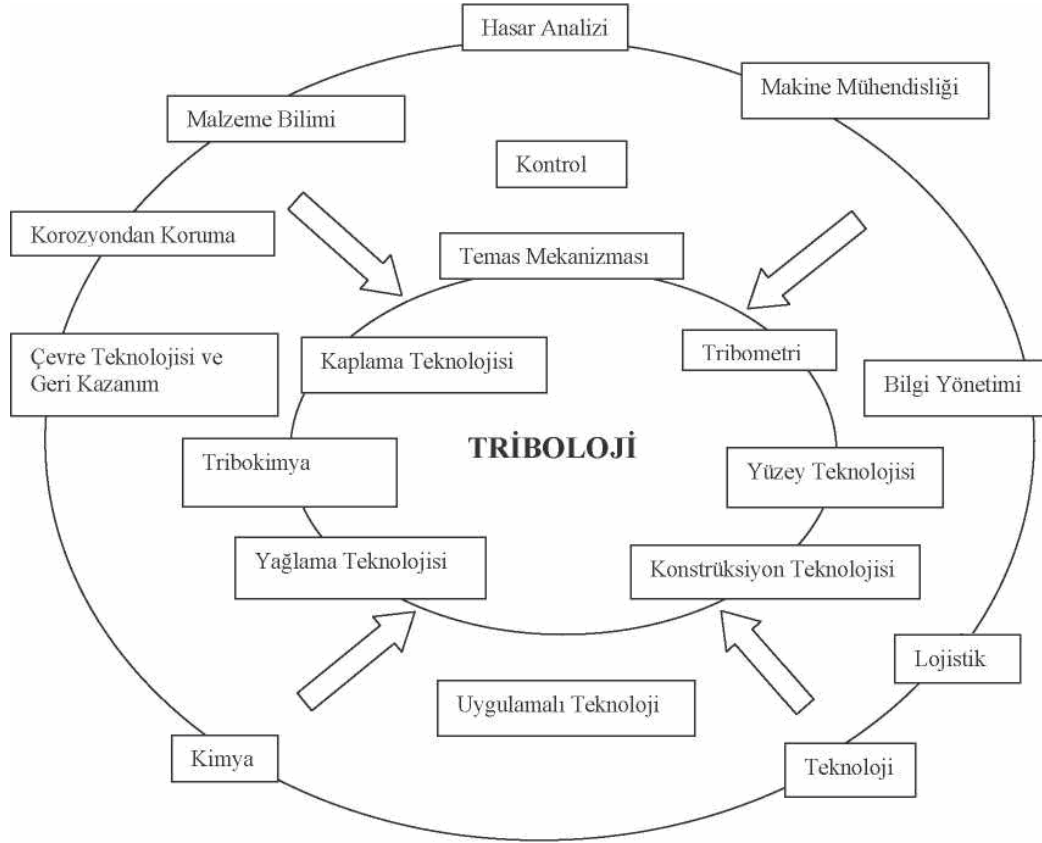
Aşınma olayını, olaya etki eden faktörlerle bir sistem bütünlüğü içinde düşünmek gerekir, bu sisteme tribolojik sistem denir. Bir tribolojik sistem Şekil 2.1’ de görüldüğü gibi ana malzeme (aşınan), karşı malzeme (aşındıran), ara malzeme, yük hareket ve çevre elemanlarından oluşur (Pekin ve diğ., 1993 ; Mimaroglu ve Yılmaz, 1997).

Malzemelerin aşınması makine elemanları için çok önemli olup çalışan makinenin ömrü ile yakından ilgilidir. Günümüze kadar çeşitli malzemelerin aşınma dirençlerini ölçmek amacıyla bir çok laboratuvar cihazları çeşitli araştırmacılar tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada da yeni ve aşınma hızı kontrol edilebilir özelliklere sahip pim-disk sisteminin bir benzeri olan Pim-Silindir esasına dayalı aşınma test cihazı üretilmiştir.

2.TRİBOLOJİ

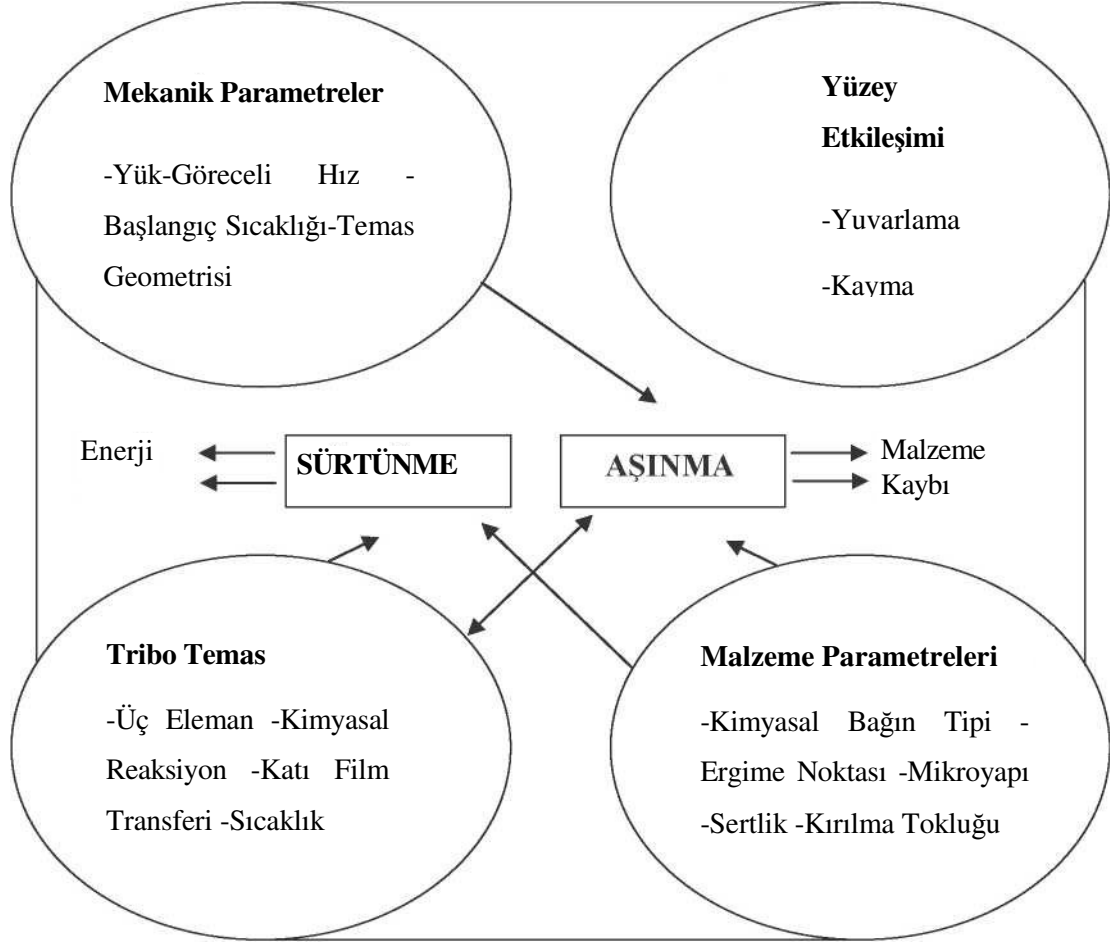
2.1. Tribolojinin Esasları

Triboloji birbirine izafi hareket yapan ve temasta olan yüzeylerde sürtünme, aşınma ve yağlama konuları ile bunlara bağlı konuları inceleyen bilim dalıdır. Triboloji, malzemenin aşınmasında en az anlaşılan henüz tartışılmakta ve gelişmekte olan yeni bir disiplindir. Bununla birlikte malzemelerin aşınma direnci basit bir malzeme özelliği olmayıp sistem içerisindeki bileşenleri ve tüm malzemeleri kapsar Tribolojinin diğer bilimlerle ilişkisini gösteren şema Şekil 1.1'de verilmiştir.



Şekil 2.1 Tribolojinin diğer bilimlerle olan ilişkisi

Aşınmanın ve tribolojinin sınıflandırılması ve etkili olan faktörlerin şematik gösterimi Şekil 2.2'de verilmiştir.

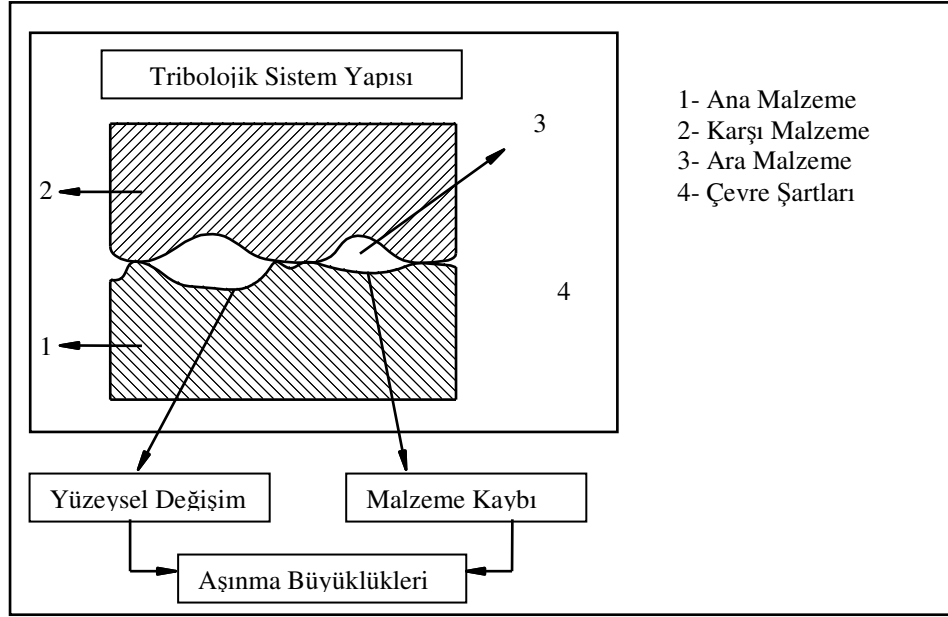


Şekil 2.2 Sürtünme ve aşınmayı etkileyen faktörler

2.2 Aşınma

Aşınma biri birine değen yüzeyler arasındaki etkileşimden dolayı yüzeyden malzeme taşınımı olayı olarak bilinir. Aşınma mikro kırılmalardan dolayı fiziksel ayrışma ile malzeme taşınımının bir sonucudur. Kimyasal olarak ise temas eden yüzeylerdeki erimeler veya çözünmeler ile meydana gelir. Pek çok aşınma tipi vardır. Bunlar; adhesiv aşınma, abrasiv aşınma, yorulma aşınması ve korozif aşınmadır. Baskın olan aşınma modunu, sürtünme aşınması, kimyasal film oluşumu ve aşınma ile sebep olunan dinamik yüzey tepkilerini ve yüzey malzeme özelliklerindeki değişimleri içeren nedenlerinin biri değiştirebilir. Aşınma mekanizmaları sürtünme boyunca kompleks değişimler göz önde bulundurularak tanımlanır. Genelde aşınma

tek bir mekanizma ile meydana gelmez. Bu yüzden dört aşınma türünü anlamak önemlidir. Aşınma kavramı çoğu kaynaklarda “triboloji” adı ile de anılmaktadır. Triboloji kelimesi Latince sürtünme anlamına gelen tribos kelimesi ile bilim kelimesinin birleşmesinden meydana gelmiştir ve sürtünme bilimi anlamında kullanılmaktadır. Aşağıda tribolojik sistemin şematik bir gösterimi yer almaktadır (Şekil 2.3).



Şekil 2.3 Tribolojik sistemin şematik gösterimi

2.3. Tribolojik Sistemin Elemanları

a) Esas malzeme (aşınan) : Aşınması istenen elemandır, fiziksel ve kimyasal özellikleri, yüzey yapısı, şekli tamamen belirlenmiş ve daima katı halde bulunması gereken elemandır.

b) Karşı malzeme (aşındıran) : aşındıran eleman olup, katı sıvı veya gaz halinde olabilir.

c) Ara malzeme : Aşınma çifti arasında katı, sıvı, gaz veya bunların karışımı halinde bulunan maddelerdir.

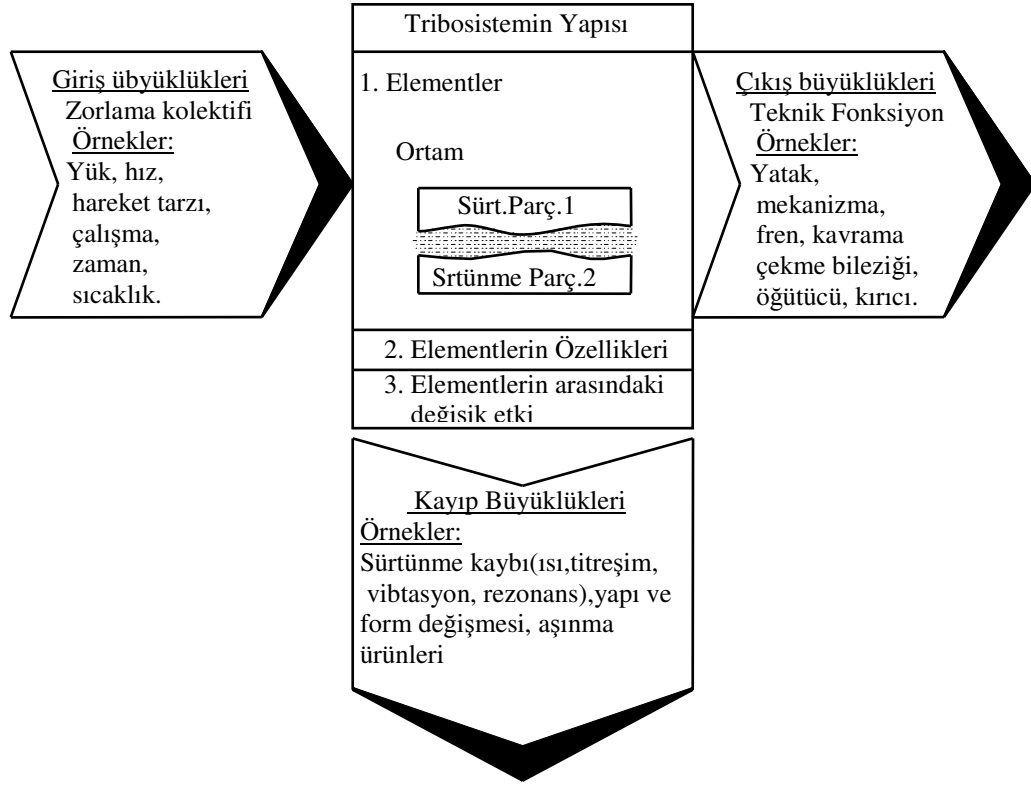
d) Yük : Aşınma çiftlerinin temas alanını etkileyen önemli bir faktördür. Temas alanının artması yük miktarına bağlı olduğu gibi malzemelerin özelliği ve geometrilerine de bağlıdır. Uygulanan yük, dinamik, titreşimli, darbeli veya statik olabileceği gibi artan veya azalan şeklinde de olabilir.

e) Hareket : tribolojik sistem içindeki esas ve karşı elemanların birbirine göre yaptığı izafi harekettir. Bu hareket; kayma, yuvarlanma, kaymalı yuvarlanma ve çarpma şeklinde olabilir.hareketin yönü ve kat ettiği yol aşınma miktarına etki eder.

g) Çevre : Vakumsuz bir ortamda gerçekleşen olayda sıcaklık, nem ve atmosfer aşınma üzerinde etkisi olan çevre etkenleridir.

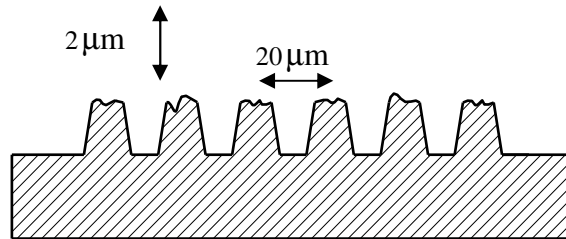
Tribolojik sistemi etkileyen bu faktörlerden yük ve hareket, sisteme giren enerjilerdir. Giriş faktörlerinin enerjisi, sistemde faydalı ve kayıp enerjiye dönüştürölür. Sisteme giren enerji, sistemden çıkan faydalı enerjiden büyüktür. Giriş ve çıkış enerjileri arasındaki fark, sürtünme enerjisine eşdeğerdir.

Faydalı enerji, sistemden alınan iş ile ölçölür. Giriş ve çıkış enerjileri arasındaki fark ise özellikle sürtünme ve aşınma ile mekanik titreşimler, ısı ve ses şeklinde kayıp büyüklüklerini oluşturan enerjiye dönüşür.Ayrıca dışardan etki eden yük, hız, hareket şekli, yol, zaman ve sıcaklık gibi değişkenler; kolektif zorlanma sonucunda, sistem üzerinde yararlı büyüklüklere de dönüştürölabilir. Buna örnek olarak frenler verilebilir. Bahsettiğimiz bu durum, Şekil 2.4 ' de şematize edilmiştir.



Şekil 2.4. Tribolojik sistemde giren enerjilerin dağılımı (Topbaş, 1993)

Aşınma olayının başlama bilmesi ve devamı için bir sürtünmenin olması gerekmektedir. Sürtünen iki cismin temas alanının büyüklüğünün aşınmaya büyük etkisi vardır. malzeme yüzeyleri her ne kadar iyi işlenmiş olursa olsunlar, Şekil 2.5' de görüldüğü gibi mutlaka yüzeyde çok sayıda girinti ve çıkıntıların, yani pürüzlülüklerin olduğu gözlenir (Yılmaz, 1997)

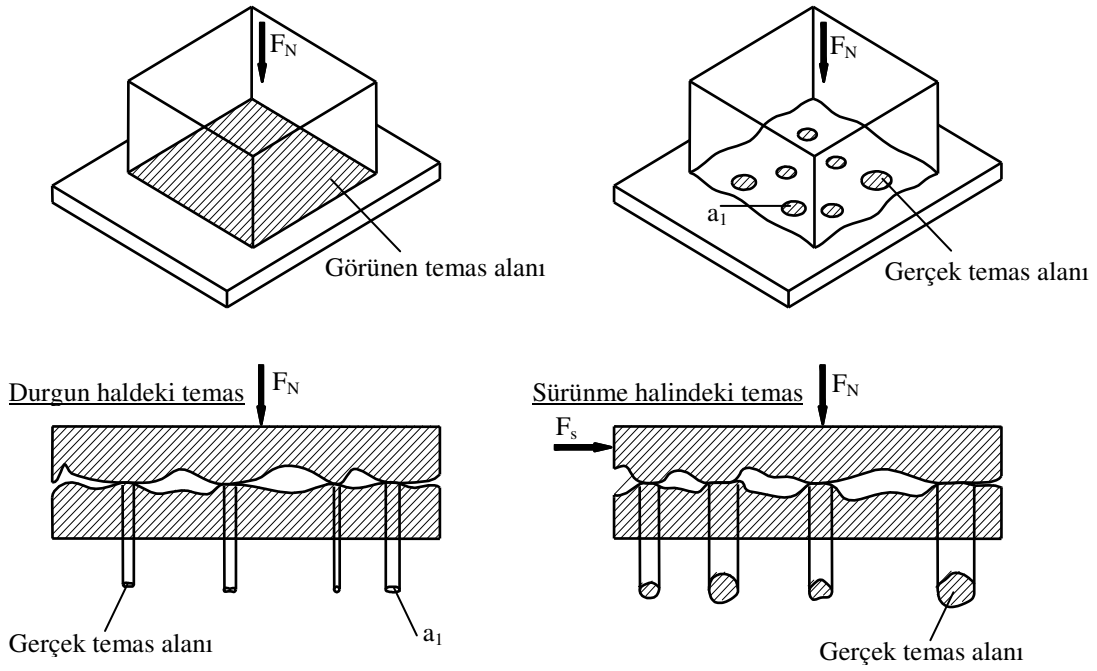


Şekil 2.5. Çok iyi torna edilmiş bir metal yüzeyinin mikroskop altındaki şematik görünüşü

İki yüzey birbiriyle temas ettiğinde, gerçek temas birtakım pürüzlülüklerin birbirine temas ettiği noktalarda olur.pürüzlerin arasındaki girintiler ise temas alanı dışında kalır.Şekil 1.6’ de görüldüğü gibi görünen temas alanı, $S = e \times b$ (birim kare) iken, gerçek temas alanı;

$$S_g = a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + \dots + a_n = \sum_{i=1}^n a_i \text{ şeklindedir.}$$

Buradan da anlaşılacağı gibi görünen temas alanı (S), gerçek temas alanından (S_g) daima büyüktür $S > S_g$ (Kragelsky ve Demkin, 1960).



Şekil 2.6. Sürtünen iki cismin temas alanları

Yukarıdaki şekilde, sabit haldeki yüzeylerin temas alanına nazaran hareketli iki yüzeyin gerçek temas alanı; hareket ve uygulanan yükten dolayı iki yüzeyin pürüzlerinin plastik deformasyona uğraması nedeniyle birbirlerine daha da fazla kapandığı ve temas alanının arttığı görülür.

2.4. Aşınma Faktörleri ve Aşınma Direncine Etkileri

Aşınma olayında olaya katılan ve etkileyen pek çok faktör mevcuttur. Bu faktörler, tribolojik sistemin elemanlarına bağlı faktörler ve işletmeye bağlı faktörler olarak iki ana grupta altında sıralanmıştır.

1- Tribolojik Sistemin Elemanlarına Bağlı Faktörler

a) Esas sürtünme elemanına bağlı faktörler:

- 1- Malzemenin cinsi
- 2- Malzemenin mikro yapısı
- 3- Malzemenin hacimsel ve yüzeysel sertliği
- 4- Elastiklik modülü
- 5- Deformasyon özelliği
- 6- Malzemenin gördüğü ısı işlem
- 7- Yüzey pürüzlülüğü
- 8- Malzemenin şekli ve boyutları

b) Karşı malzemeye bağlı faktörler:

- 1- Aşındırıcı tane büyüklüğü
- 2- Tane şekli
- 3- Tane dağılımı

c) Ortama bağlı faktörler:

- 1- Sıcaklık
- 2- Nem
- 3- Atmosfer

2- İşletmeye bağlı faktörler

- a) Yük (basınç)
- b) Hız
- c) Kayma ve kayma mesafesi

2.4.1. Esas Sürtünme Elemanına Baēlı Faktörler

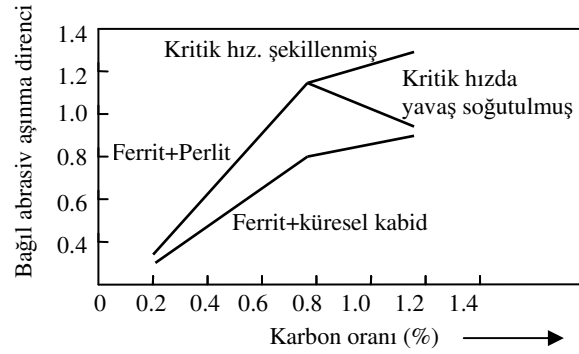
2.4.1.1. Malzemenin cinsi

Malzemelerin çalışacağı şartlara göre bazı teknolojik ve mekanik özellikleri aşınmayı etkileyen bir faktördür. Bir malzeme belli işletme şartlarında iyi aşınma direnci gösterirken, başka şartlarda aşınma direncinde azalma olabilir. Bu yüzden aşınma mekanizması ve çalışma şartlar dikkate alınarak malzeme cinsi belirlenmelidir.

2.4.1.2. Malzemenin mikro yapısı

Mikro yapıdaki tane boyutu ve fazların durumu, bir malzemenin mekanik özellikleri üzerinde önemli derecede etkiye sahiptir. Tanecikli perlitik yapıya göre, lamel perlitik yapının aşınma direnci biraz daha fazladır. eliklerdeki sementit miktarının artmasıyla tavlınmış durumda aşınma direncinde artar. Tane boyutunun artması ile belli karbon oranında abrasiv aşınma azalır. M.I.Zamotarin, yaptığı çalışmalarda fazla aşınma direncinin martenzitik yapılı çeliklerde, en az aşınma direncinin ise ferritik yapılı çeliklerde olduēunu ortaya koymuştur.

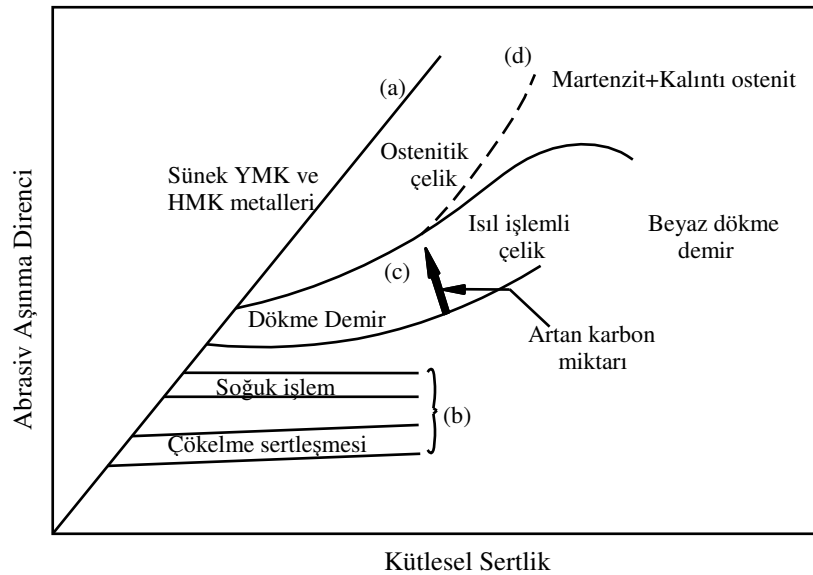
eliklerde karbon miktarı, eliēin mekanik özelliklerini büyük oranda etkiler. Baēımsız karbon yüzdesinin artmasıyla karbonlu ve düşük alaşımlı çeliklerin abrasiv aşınma dirençleri genellikle artar. Karbon miktarının artması, alaşımsız çeliklerde perlit miktarının artması ile, alaşımlı çeliklerde ise ince perlitik yapının martenzit- ostenit yapıya dönüşmesi suretiyle aşınma direncin, arttıracaktır. Aynı sertlikte fakat daha fazla karbon ihtiya eden çelikler, daha yüksek aşınma direncine sahiptir ve karbon oranı ile aşınma direncinin yükselme oranı da belli sertlik için sabittir. şekil 2.7 de karbon miktarına göre çeliklerin baēlı aşınma dirençlerinin deēiřimi görülmektedir.



Şekil 2.7. Karbon miktarına göre çeliklerin bağıl aşınma dirençlerinin değişimi

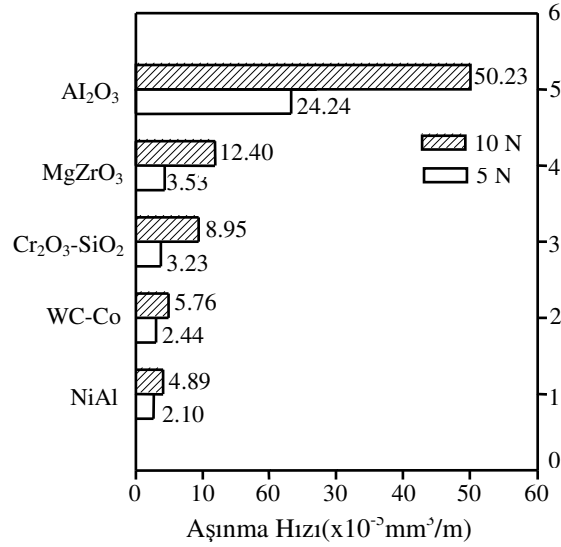
2.4.1.3. Malzemenin Hacimsel ve Yüzeysel Sertliği

Aşınma direncini etkileyen faktörlerin başında gelen sertlikle aşınma, belli bir orana kadar azalır, fakat bir noktadan sonra sertliğin etkisi aşınmaya karşı yeterli direnci gösteremez. Abrasiv aşınma direncinin hemen hemen tamamen sertliğe bağlı olduğu veya sertliğin artmasıyla düzeldiği kabul edilir (Muratoğlu, 1997). Malzemelerin abrasiv aşınma direnci, Şekil 2.8’ de görüldüğü gibi, kütsel sertlikten önemli derecede etkilenmektedir. Artan sertlikle abrasiv direncin artmasına rağmen sünek ve gevrek malzemeler farklı aşınma özelliklerine sahiptirler (Çimenoglu ve diğ., 1991).



Şekil 2.8. Kütsel sertliğin abrasiv aşınma direncine etkisi

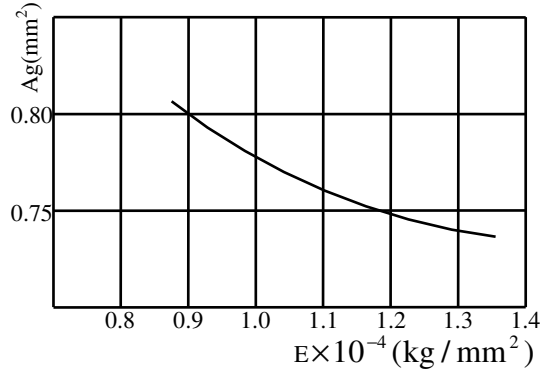
Aşınmaya maruz metallerin aşınma dirençlerini arttırmak üzere, kütlelesel sertlik yanında yüzeysel sertlik artırma işlemleri sık uygulanan hatta bazen ön plana çıkan bir durumdur (Şekil 2.9). Metallerin yüzey sertleştirme işlemleri ısıl yöntemlerle yapıldığı gibi, yüzeye daha sert bir tabakanın kaplanması suretiyle de gerçekleştirilebilir. Yüzey sertliğinin artırılması, malzemenin çekirdeğinin sünek kalmasını sağlayabildiğinden, darbeli zorlanmalara maruz yerlerde avantaj sağlar. En iyi aşınma direnci için kaplama malzemesi, esas malzemeden yumuşak olmalı, kritik kalınlıktan daha ince bir tabaka esas malzemeye kuvvetlice bağlanmalıdır.



Şekil 2.9. Kaplamaların aşınma hızları üzerine uygulanan yükün etkisi (Yılmaz, 1997)

2.4.1.4. Elastiklik Modülü

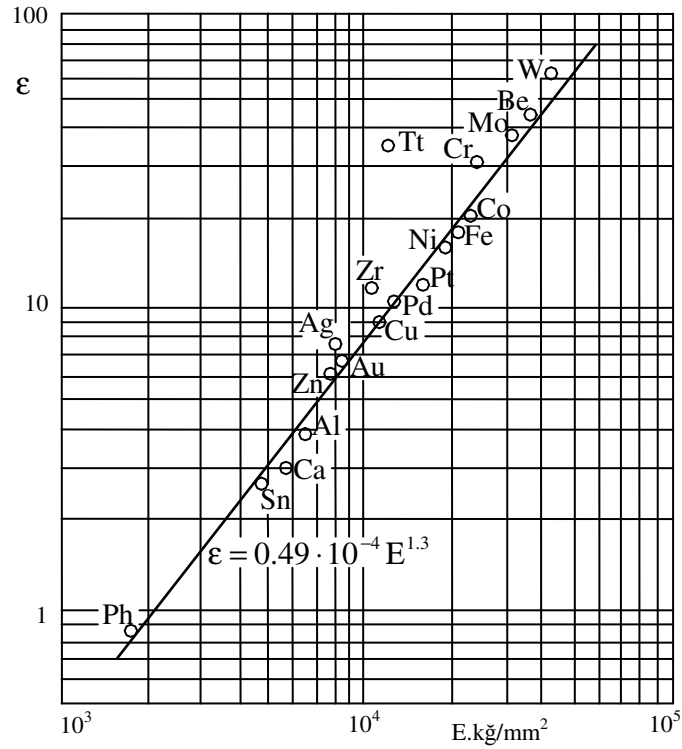
Elastiklik modülü veya akma sınırı yüksek olan malzemelerde gerçek temas alanı azalmaktadır. Bu durumda yüzeye etki eden yük, sadece pürüzlerin değdiği noktalardan desteklenir ve yüzey alanının küçük bir kısmı yükü taşır. Uygulanan yükü sabit olarak kabul edersek pürüzlere gelen yük daha fazla olacağından, deformasyonla birlikte kaynak bağları oluşumu artacaktır. izafi hareketin etkisiyle oluşan kaynak bağlarının kopmasıyla aşınma artacaktır (Şekil 2.10).



Şekil 2.10.. Gerçek temas alanına elastiklik modülünün etkisi

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

Özet olarak malzemelerin elastiklik modülleri ile aşınma dirençleri arasında bir ilişki vardır ve bu ilişki, malzemenin elastiklik özelliğiyle açıklanabilir (Keleştimur, 1989). Şekil 2.11 de Teknik saf malzemeler için Elastisite modülü – bağlı aşınma direnci arasındaki ilişki grafiği görülmektedir.



Şekil 2.11. Teknik saf malzemeler için Elastisite modülü – bağlı aşınma direnci arasındaki ilişki. (Keleştimur, 1989)

2.4.1.5. Deformasyon Özelliği

Abrasyon dirençte, metalin ilk sertliğinden ziyade soğuk sertleşme kabiliyeti önemli bir faktördür. Birbirinden farklı sertlikteki malzeme çiftlerinde, yumuşak parçanın aşırı bir soğuk deformasyona uğramasıyla aşınmanın azaldığı görülür.

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

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

Aşınma sırasında verilen enerjinin bir kısmı sürekli olarak soğuk deformasyon meydana getirerek malzeme yüzeylerinin pekleşmesine sebep olacaktır (Keleştimur, 1989).

Aşınma, katı yüzeylerde mekanik etkinin (rölatif hareketin) bir sonucu olarak, malzeme kaybı yada yer değiştirme olarak tanımlanabilir. Aşınma sürecinin bir özelliği olarak malzeme kaybı oldukça küçüktür. Bu yüzden, sıradan muayene ile aşınma pek incelenemez .

Aşınma olgusu, yakından ilişkili olduğu sürtünme ve yağlama kavramları ile beraber triboloji bilimini oluşturmaktadır. Her ne kadar, tribolojik bir deney için kullanılan bir cihaz, sık sık bir deney için kullanılabilse de, sürtünme, aşınma ve yağlama ayrı olaylardır. Sonuçta, deney yöntemleri ve yorumları farklıdır.

Bir aşınma sisteminde: ana malzeme (aşınan), karşı malzeme (aşındıran), ara malzeme, yük ve hareket aşınmanın temel unsurlarını oluşturur. Bütün bu unsurların oluşturduğu sistem teknikte "Tribolojik Sistem" olarak adlandırılır .

2. 5. Aşınma zaman ilişkisi

Aşınma pratikte ikiye ayrılır.

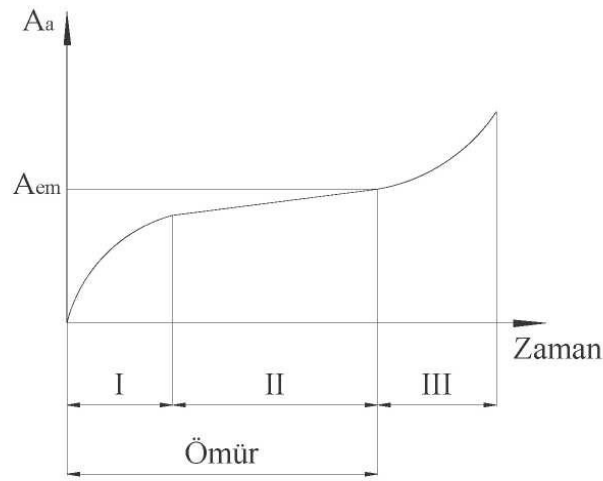
1. Zaman ile gelişen aşınma,
2. Aniden meydana gelen aşınma,

Zamanla gelişen aşınmayı üç safhada incelemek mümkündür (Şekil 2.12).

1.Safha (Rodaj Safhası): Bu safha birbirine alıştırma safhasıdır. Bu safhada parçaların ilk çalışması sırasında şiddetli bir aşınma meydana gelir. Bu nedenle parçaların birbiri ile alıştirılması iyi yapılması ve kısa sürede gerçekleştirilmesi bu safhaya ait önemli şartlardır. Genelde alıştırma, yüksüz ve normal hızlardan daha düşük hızlarda yapılır. Alıştırmanın iyi ve kısa sürede tamamlanması için bu safhaya ait olan özel ağırlıklar kullanılır.

2. Safha : Bu safhada aşınma çalışma sırasında temas noktalarında meydana gelir.

3. Safha : Bu bölgede artan aşınma hızı ile şiddetli aşınma meydana gelir.



Şekil 2.12. Aşınma zaman ilişkisi

Aşınan elemana ait, çalışma şartlarına bağlı olarak müsaade edilen bir aşınma sınırı (A_{em}) tayin edilirse, aşınma-zaman diyagramından elemanın normal çalışma zamanı (ömür) tespit edilebilir. Bu zamandan sonra parça değiştirilmeli veya tamir edilmelidir.

Aniden meydana gele aşınmada, parçaların yüzeyleri birdenbire bozulur veya bazı hallerde birbirine kilitlenir ve çalışmaz duruma gelir. Genellikle eş çalışan malzemelerin seçiminde yapılan hatalardan veya yağlamanın yetersiz olmasından meydana gelen bu aşınma şekli, mukavemet alanında statik zorlanmanın etkisi altındaki kopmanın benzeridir.

Genel olarak aşınma, dış etkiler altında, temas yüzeylerinde oluşan fiziksel ve kimyasal değişmelerin sonucudur. Dış etkilerin, fiziksel ve kimyasal değişikliklerinin çokluğu nedeniyle pratikte, bir aşınma hali değil birden çok aşınma hali vardır.

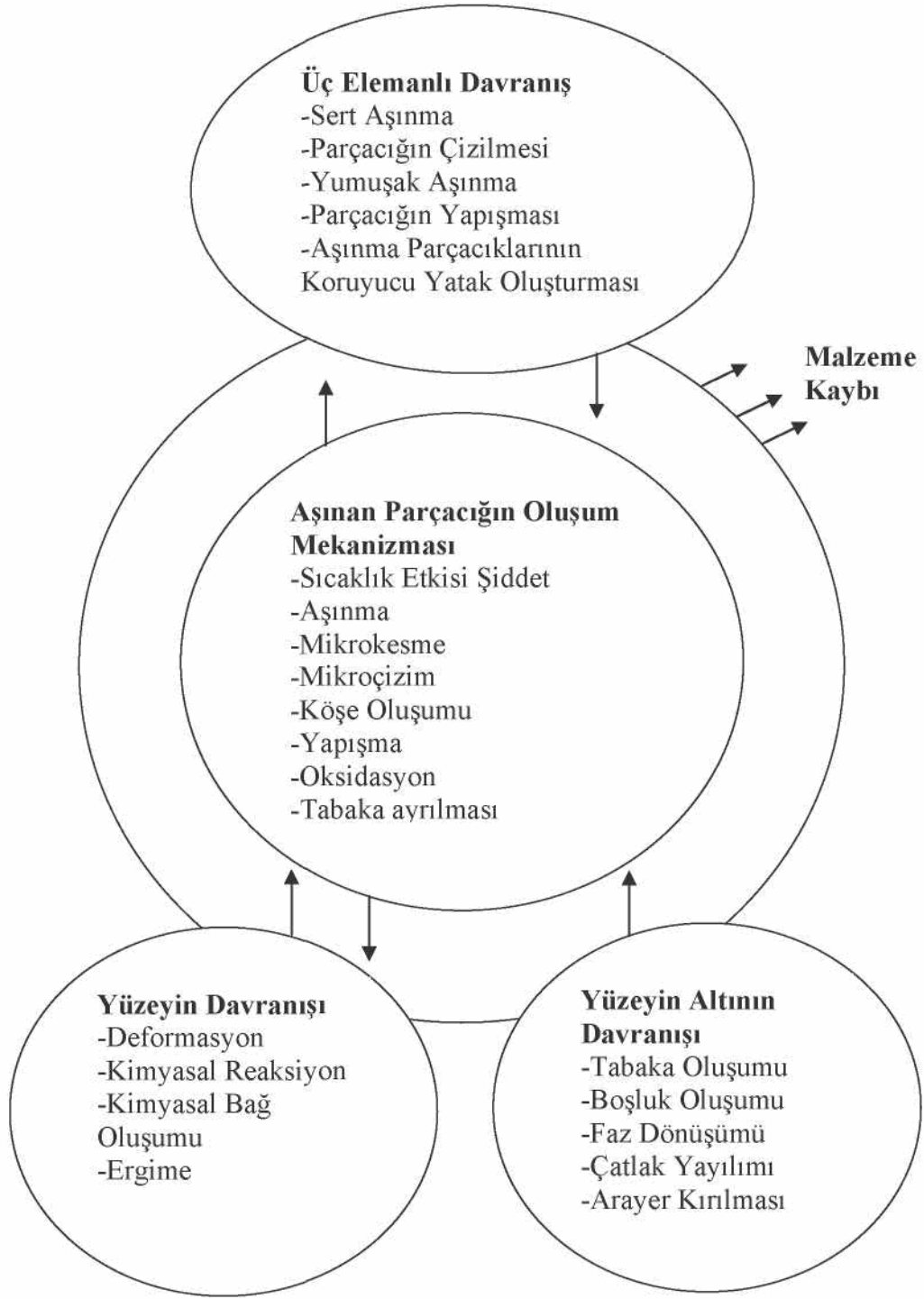
2.6. Aşınma mekanizmaları

Aşınmanın meydana gelmesi ve sürekliliği için gerekli faktörlerin tribolojik sistem içerisinde yaptığı fiziksel ve kimyasal etkilerin iletilmesine göre yedi çeşit aşınma mekanizması vardır . Bunlar:

- Adhesiv aşınma,
- Abrasiv aşınma,
- Yorulma aşınması,
- Difüzyon aşınması,
- Tribo-oksidasyon aşınması,
- Erozyon ve Kavitasyon aşınması,
- Yenme aşınmasıdır.

Aşınma, hareketli makine parçalarının ömürlerini, performanslarını azaltan ve bu parçaların bozulmasına neden olan çok önemli bir faktördür. Bu sebeple, ekonomik açıdan aşınmanın neden olduğu kayıplar ve hasarlar oldukça fazladır.

Aşınmanın meydana gelmesi ve sürekliliği için parametrelerin tribolojik sistem içerisinde yaptığı fiziksel ve kimyasal etkilerin iletilmesine göre, aşınma mekanizmalarını belirleyen bileşenler Şekil 2.13'de gösterilmiştir.



Şekil 2.13. Aşınma mekanizmalarını belirleyen bileşenler

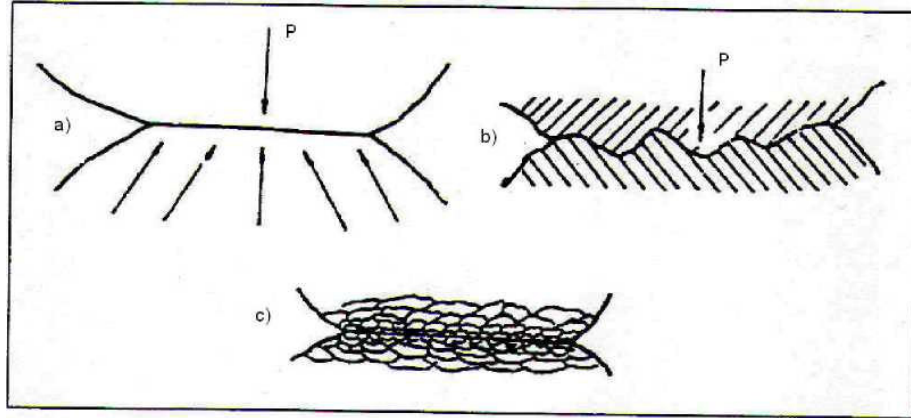
2.6.1. Adhesiv Aşınma

Adhesiv aşınma en çok meydana gelen aşınma türüdür. Bu aşınma türünde birbiriyle temas halinde bulunan iki metalin yüzeylerinin, yüksek basınç ve meydana gelen sıcaklığın yükselmesi ile birlikte, metallerin yüzey kısımlarında bir kaynama meydana gelir. Çalışma sırasında bu kaynaklar birbirinden ayrılırken, yüzeylerden ufak parçalar kopar. Bu şekilde meydana gelen aşınma adhesiv aşınma olarak adlandırılır,

Aşınmanın en yaygın türü olan adhesiv aşınma, bir katı malzemenin diğeri üzerinde kaydığında yada ona karşı baskı yaptığıında meydana çıkar. Her ne kadar malzeme kaybı diğeri yüzeye transfer olmuş partiküller şeklinde olursa da, bu partiküller şekillerini kaybedebilirler. Bazen adhesiv aşınma terimi yerine kayma aşınması terimi kullanılmaktadır. Yanlış bir uygulama olmakla beraber kayma aşınması terimi daha genel bir terimdir. Yapıca farklı aşınma türleri arasında ayırt edici kesin bir çizgi de yoktur.

Temas eden yüzeylerin yapışma eğilimi, iki malzemenin yüzey atomları arasında mevcut olan çekme kuvvetlerinden kaynaklanır. İki yüzey ister normal, ister teğetsel şekilde bir araya getirilip ayrılırsa, bu çekici kuvvetler malzemeyi bir yüzeyden diğeriye çekmeye teşebbüs edecek şekilde etkir. Bu şekilde malzeme orijinal yüzeyinden uzaklaştırıldığında, bir adhesiv aşınma parçası meydana getirilir

Adhesiv aşınma en çok, benzer kristal kafes yapılı malzemelerde görülür. Benzer kristal kafes yapısına sahip metallerin hareket ve sürtünmeleri nedeniyle sıcaklığın artmasıyla birlikte yüzeylerinde kaynama daha kolaydır. Buradaki kaynamadan maksat malzemelerin yüksek sıcaklıktan dolayı birbirleriyle bağ oluşturmalarıdır. Şekil 1.5.'de adhesiv aşınmadaki kaynak bağının oluşumu görülmektedir.



Şekil 1.14. Adhesiv aşınmada oluşan kaynak bağı (a. Temas etme b. Plastik deformasyon c. Kaynama)

Birbiriyle temas halinde bulunan metaller, yüzeylerindeki pürüzler nedeniyle etkileşirler. Çok düzgün yüzeylerde bile bu durum söz konusudur. Metalin ağırlığında veya herhangi bir yükleme durumunda, pürüz tepelerinde meydana gelen gerilme sonucu plastik deformasyon oluşur.

Malzemenin deforme edilebilirliği kolay ise temas alanı artarak bütün yüzeye dağılır. Bu durumda yüzeylerde bulunan absorbe olmuş sıvı veya gaz molekülleri ve oksit tabakaları parçalanarak, malzeme moleküllerinin direkt temas etmelerine imkan verir. Böylece temas noktalarında soğuk kaynak bölgeleri oluşur. Bu bölgeler izafi hareket durumunda, sürtünme kuvvetinin etkisiyle kırılarak yüzeyler arasına taşınır

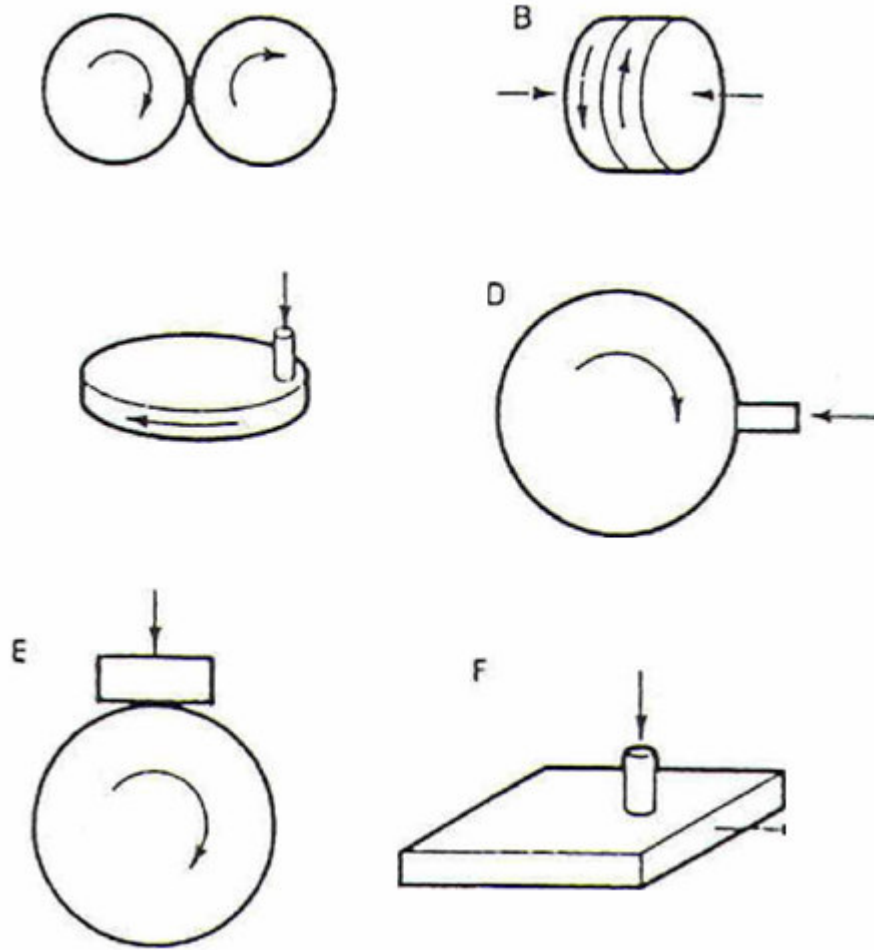
Sürtünme sırasında malzeme yüzeyinde meydana gelen kaynak bağlarının kırılması temas yüzeyinde meydana gelirse malzeme kaybı olmaz. Fakat, kırılmanın temas yüzeyinin uzağında herhangi birinin içinde olması durumunda, kırılan parçacıklar bir yüzeyden diğerine geçerek malzeme transferi meydana gelir ,

Metallerin birinin diğerine göre yumuşak olması durumunda meydana gelen kaynak bağı vasıtasıyla kırılma yumuşak malzemede olur ve malzeme transferi sert olan malzemeye doğru oluşur. Fakat yüzeyde bulunan nitrür ve oksit tabakaları koparak yumuşak malzemeye gömülerek sert olan malzemeyi aşındırabilir.

Adhesiv aşınmanın söz konusu olduğu durumlarda, sökölüp takılması ve tamir olması kolay olan parçaların diğerine göre yumuşak olması tercih edilir. Örnek verecek olursak, ana dişliye göre pinyon dişlinin yumuşak olması istenir. Adhesiv aşınma genellikle yataklarda, dişlilerde, kam mekanizmalarında ve demir yollarında çalışan teker-ray sistemlerinde görülür. Yüksek yükleme ve hız durumlarında yağlama aşınmasının azaltılması istenir. Yapılan çalışmalarda azotlu ortamdaki aşınmanın, karbondioksitli ortamda meydana gelen aşmamadan daha fazla olduğu ispat edilmiştir. Yüzeyler arasında bulunan oksit, CO₂, nem ve N gibi maddeler adhesiv aşınma miktarının azalmasını sağlar (Odabaş,1987, Kılınç, 1993, Korkut ,1991)

Aşınma esnasında kırılma çoğu zaman ara yüzeyde meydana gelir. Bir pürüzden kopan metal parçasının boyutu kaymanın bağlantı noktasına ne kadar uzakta meydana geldiğine bağlıdır. Aşınma hızını en düşük seviyeye indirmek için, kopan metal parçalarının her birinin boyutu mümkün olduğu kadar küçük olmalıdır. Bunun sağlanması için temas alanının küçük olması gerekir.

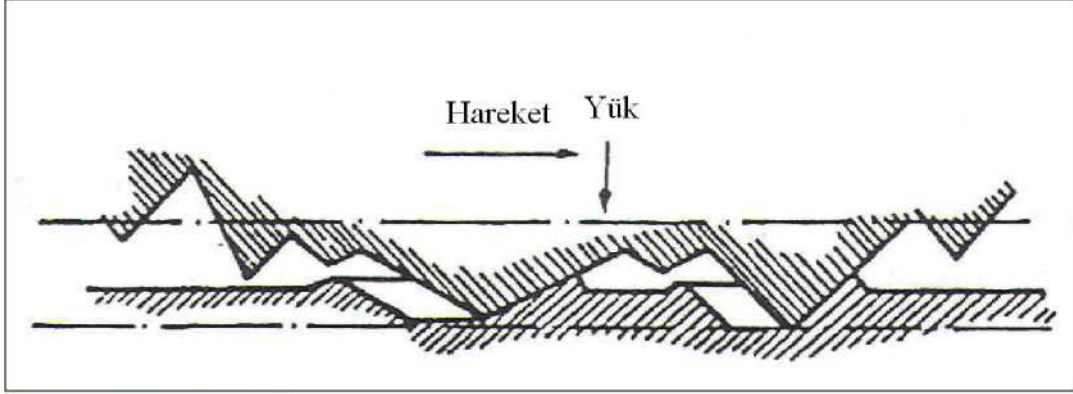
Adhesiv aşınmada en yaygın asimetrik deney donanımlarından birisi, bir disk üzerine bastırılan bir pimdir. Şekil 2.15'de bu pim, basık disk yüzeyinin üzerine bastırılmıştır. "Disk üzerinde pim" yönteminin başka şekilleri de vardır. Ancak ana fikir hep aynıdır.



Şekil 2.15. Adhesiv aşınma deneyinde kullanılan geometriler (Kökten 1998)

2.6.2.Abrasiv Aşınma

Abrasiv aşınma iki cisimli ve üç cisimli olmak üzere iki şekilde meydana gelir. İki cisimli abrasiv aşınma, sert ve pürüzlü bir yüzeyin kendinden daha yumuşak malzeme ile temas ettiği durumda, kuvvet ve basıncın etkisiyle yumuşak malzeme yüzeyinde oluşan çizilme ve küçük parçacıkların kaldırılması suretiyle meydana gelen deformasyondur. İki cisimli abrasiv aşınmaya kazı makinelerini, toprak işleme aletlerini, eğeleme ve zımparalama işlemini örnek olarak verebiliriz. Şekil 2.16 'daki iki cisimli abrasiv aşınmanın şematik şekli görülmektedir.



Şekil 2.16. İki cisimli abrasiv aşınma

Abrasiv aşınma, sert ve pürüzlü bir yüzey, daha yumuşak bir yüzey üzerinde kaydığında, yumuşak yüzeyi oyduğunda ve bir grup oluk açtığında ortaya çıkar.

Abrasiv aşınma, ayrıca biraz farklı bir durumda da, sert abrasiv partiküller kayma yüzeyleri arasına girdiğinde ve malzemeyi aşındırdığında da meydana gelmektedir. Abrasiv aşınma, iki ve üç boyutlu abrasiv aşınma olarak iki türdür (Rabinowicz, 1995). "İki boyutlu abrasiv aşınma" denen aşınma mekanizmasında, aşınma dış yüzey üzerindeki sert tümseklerden kaynaklanır. Üç boyutlu abrasiv aşınmada ise sert abrasiv partiküller vardır ve muhtemelen iki farklı kayma yüzeyi arasında yuvarlanıp aşınırlar. İki boyutlu aşınmada, aşınma hızları üç boyutlu aşınmaya göre daha hızlıdır. Abrasiv aşınma olayında, aşındırıcı partikül şekli ile aşınma hızı arasında bir bağıntı vardır. Yuvarlatılmış aşındırıcı partiküller kullanıldığında, aşınma hızı çok yüksek değildir. Bu konuda yapılan çalışmalar sürmektedir .

Abrasiv ve eroziv aşınmada, partikül boyutları 5-500 µm arasında değişir. Eğer farklı boyutlardaki partiküller, malzemenin ortamdan uzaklaştırılmasında(aşındırılmasında) eşit şekilde etkin ise, aşınma hızları sabit olacaktır. Gevrek malzemelerde, aşınma hızı-partikül boyutu bağımlılığı daha güçlüdür ,

Pek çok araştırmacının yaptığı çalışmalara göre, malzeme ve abrasiv sabit tutulup abrasivin boyutu değiştirildiğinde, kritik bir abrasiv partikül boyutu ortaya çıkar. Bu kritik değer üzerinde, aşınma hızı abrasiv partikül boyutundan bağımsızdır. Bu kritik değer altında aşınma hızı, abrasiv partikül boyutuna kuvvetle bağımlıdır. Deneysel veriler göstermektedir ki, büyük (geniş) abrasiv partiküller söz konusu olduğunda, toplam aşınma hızı partikül boyutundan bağımsızdır ,

Küçük partiküller kullanıldığında aşınma hızı azalır. Bu sonucu, küçük partiküller kullanıldığında batıcı uç geometrisinin farklı olması ya da aşınma enkazının meydana gelmesiyle sistemin tıkanması şeklinde açıklamak mümkündür. Ayrıca çalışılan ortamdaki yüksek nem oranı da aşınma hızını yaklaşık % 15 artırır .

Abrasiv aşınma esnasında iki tür malzeme kullanılır.

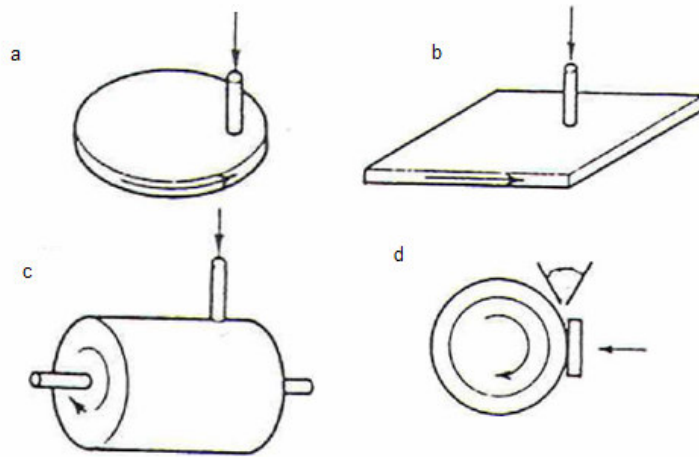
1- Abrasiv aşınma esnasında abrasiv olarak kullanılacak malzeme.

2- Abrasiv aşınma hızının engellendiği ancak, abrasiv aşındırıcıların mevcut olduğu

durumda kayma malzemesi olarak kullanılacak malzemeler.

Abrasiv olarak kullanılacak malzemelerde sertlik ve keskinlik önemlidir. Abrasiv malzeme, aşındıracağı malzemeden sert olmalıdır. Yumuşak malzemenin sertliği sert malzemenin en az 1/3'ü olmalıdır. En uygun olanı, çok yüksek bir aşınma hızına ulaşmadan, aşınma hızının uzun bir süre korunabileceği sert bir abrasiv kullanmaktır. Şekil 2.17'de malzemelerin abrasiv aşınma hızlarını ölçmekte kullanılan 4 yaygın yöntem şematik olarak gösterilmiştir. Bunlardan a, b ve c seçeneklerinde sabitlenmiş abrasiv partiküller üzerinde aşınan pim şeklinde bir numune vardır ve iki boyutlu abrasiv aşınmayı göstermektedir.

Disk üzerinde pim şeklindeki abrasiv aşınmada, numune hep taze abrasiv üstünde kayar. Bu olay pimi disk üstünde radyal şekilde aşındırarak gerçekleştirir ve spiral bir iz bırakır. Aşınma hızı, pimi deneyden önce ve sonra tartarak ölçülür. Pim şeklindeki numuneler genelde iki boyutlu abrasiv aşınmaya uğrar.



Şekil 2.17. Abrasiv aşınmada aşınma hızını ölçmekte kullanılan yöntemler (Hutchings,1992)

2.6.3.Yorulma Aşınması

Makine parçalarında tekrarlanan yüklere maruz kalmaları veya titreşimden dolayı zamanla yorulma meydana gelir. Özellikle, yüzeylerin sürekli ve değişken yüklere maruz kalmaları, yüzeyin hemen altında yorulma çatlakları oluşmasına neden olur. Bu mikro çatlaklar zamanla ilerleyerek, malzemenin yüzeyinden mikro parçaların kopmasına sebep olur. Bu şekilde meydana gelen aşınmaya yorulma aşınması denir .

Yorulma aşınması yuvarlama hareketi yapan rulmanlı yataklarda, dişli çarklarda ve kam mekanizması gibi yüzeylerde oluşur. Malzemeye etki eden değişken yükler elastik sınırı geçmemesine rağmen, malzemedeki boşluk ve kesit daralmalarının bulunduğu süreksiz bölgelerin çevresini aşarak malzemenin yüzeyinde küçük boşluklar meydana gelir. Yapılan araştırmalar da pullanmayı başlatan çatlağın bazen yüzeyde bazen de yüzeyin altında kendini gösterdiğini tespit edilmiştir , Bu yorulmada ulaşılan aşınma hızları, abrasif aşınma hızlarından daha düşüktür. (Metals Handbook , 1989)

2.6.4.Difüzyon Aşınması

Birbirleriyle temas halinde bulunan yüzeyler arasında sürtünmeden dolayı bir sıcaklık yükselmesiyle birlikte temas yüzeyinde bulunan ortamların kristal kafes içinde atom yoğunluğu yüksek olan bölgelerden düşük olan bölgelere doğru hareket ederek difüzyon meydana gelir. Sıcaklığın yükselmesi ve yeterli zaman sonunda sürtünme yüzey bölgesinde atom ve moleküllerin çevreye transfer olması ya da karşı sürtünme elemanına girmesi difüzyon esasına dayanır .

Sürtünme esnasında, uygulanan kuvvetle yüzeylerin teması sağlanarak malzeme yüzeylerinde gerilme yığılmaları ve sıcaklığın artışı ile birlikte, temas noktalarında akma ve sürünme başlar. Bunun sonucunda temas noktaları plastik şekil değiştirmeye maruz kalarak temas alanları artar. Böylece yüzeyler arasında atom alışverişi meydana gelerek, mukavemeti düşük olan bir yüzey tabakası meydana gelir. Bu tabaka sürtünmeden ve izafi hareketin devam etmesiyle birlikte esas malzeme yüzeyinden koparak malzeme kaybına sebep olur. Bu şekilde meydana gelen aşınmaya difüzyon aşınması denir. Bu aşınma mekanizması fren balatalarında, uzay araçlarında ve takım tezgahlarında görülür ,

2.6.5.Tribo-Oksidasyon Aşınması

Malzemenin izafi hareket sırasında statik ve dinamik sürtünme kuvvetlerinin farklılık göstermesi sebebiyle düşük kayma hızlarında yüzeyler arasında titreşimler meydana gelir. Bu titreşimler yüzeyler arasında bir oksit filminin oluşmasına yol açar. Bu olaya tribolojik zorlama esnasında meydana gelmesinden dolayı sürtünme oksidasyonu veya tribo-oksidasyon denir .

Sürtünen elmanlar arasında oluşan oksit tabakası ana malzemenin aşınma direncini önemli ölçüde etkiler. Meydana gelen oksit filmi adhesiv aşınmaya karşı direncini artırmaya rağmen, izafi hareketin devam etmesiyle birlikte parçalanarak oksit filmi malzemeler arasında aşındırıcı tane oluşturarak abrasiv aşınmayı hızlandırır .

2.6.6.Erozyon ve Kaviteasyon Aşınması

Erozyon; ortam ile malzeme yüzeyi arasındaki hızın çok yüksek olması nedeniyle meydana gelen bozulma olayı olarak tarif edilebilir. Gaz veya sıvı ortamında taşınan abrasiv tanelerin yüzeye belirli bir açıda çarpmasıyla oluşan enerji, katı cismin basınç mukavemetini aştığı zaman, cismin yüzeyinde plastik deformasyon meydana gelerek yüzeyde kırılmalara sebep olur. Bunun sonucu olarak yüzey aşınır. Bu şekilde meydana gelen aşınmaya erozyon aşınması denir. Aşındırıcı parçaların büyüklüğü, hızı, şekli, sertliğe çarpma açısının değeri, erozyon aşınma mekanizmasını etkileyen en önemli faktörlerdir ,

Kaviteasyon aşınması, izafi hareket halinde bulunan bir sıvı ile katı bir cismin arasında meydana gelir. Sıvı içerisinde bulunan zerreciklerin basıncı, buharlaşma basıncından daha küçük bir ortamdan geçerken zerreciklerin büyümesi ve patlamasıyla oluşan basınç dalgalarının katı cismin yüzeyine çarpması sonucu kaviteasyon meydana gelir. Kaviteasyon aşınması genellikle, su türbinleri, su pompaları, buhar türbinlerinde görülür .

Kaviteasyon erozyonu, sırasıyla basma,çekme, ve tekrar basma etkisi altında kalan bir sıvının kaviteasyonu sonucu meydana gelir. Bir sıvı, çekme etkisi altındayken, sıvının kendi buharı ile dolu bir kabarcık meydana gelir ve sıvı tekrar basma etkisi altında iken kabarcık çöker ve kabarcığın ortasında bir fiskeye fışkırır, sahip olduğu yüksek hız ile yüzeye çarpar ve yüzeyi yüksek hızlı erozyon ile hasara uğratar. Kaviteasyon erozyonu, içinde negatif basınç bölgeleri olan tam olarak sıvı yağlanmış sistemlerde meydana gelir.

2.6.7.Yenme Aşınması

Yenme aşınma mekanizması, adhesiv aşınma mekanizmasına benzemektedir. Birbirine kuvvetle bastırılan iki metalin yüzeyinde düşük genlikli titreşim hareketinden dolayı, yüzeylerde bulunan pürüzler, yüzeyden koparak aşınmayı meydana getirirler. Yüzeyden kopan bu parçacıklar oksitlenerek aşındırıcı tane haline gelerek abrasif aşınma miktarını artırır. Kuvvetli etkileşimden dolayı, temas noktalarında gerilme yığılmaları meydana gelerek titreşim artar. Bu nedenle yüzeyde yorulma çatlakları artarak zararın artmasına neden olur. Bu tür aşınma, iş makinelerinde, sıkı geçmelerde, kama ve cıvata bağlantılarında meydana gelir.

2.7. Aşınma deney düzenekleri

Sürtünme ve aşınmanın azaltılması veya kontrol edilebilmesi için sistematik bir araştırmaya gerek vardır. Sürtünme ve aşınma özelliklerinin incelenmesi için iki tür deney yöntemi uygulanır.

1. İşletme deney yöntemi

2. Model deney yöntemi

Malzemelerin aşınmaları büyük ölçüde işletme koşullarına bağlıdır. Bunun için işletme deney yöntemi yapılır. Bu deney yönteminde, pratik işletme koşullarında, gerçek makinayla yapılarak çalışan elemanın belli bir süre gözetlenerek performansı ölçülür. Ancak işletme şartlarının değişken olması ve kontrol edilmesinin zorluğu, bu deneylerin tekrar yapılabilirliğini engeller. Bu yöntem çok pahalı ve uzun zaman gerektirir. Bunun için model deney yöntemi geliştirilmiştir ,

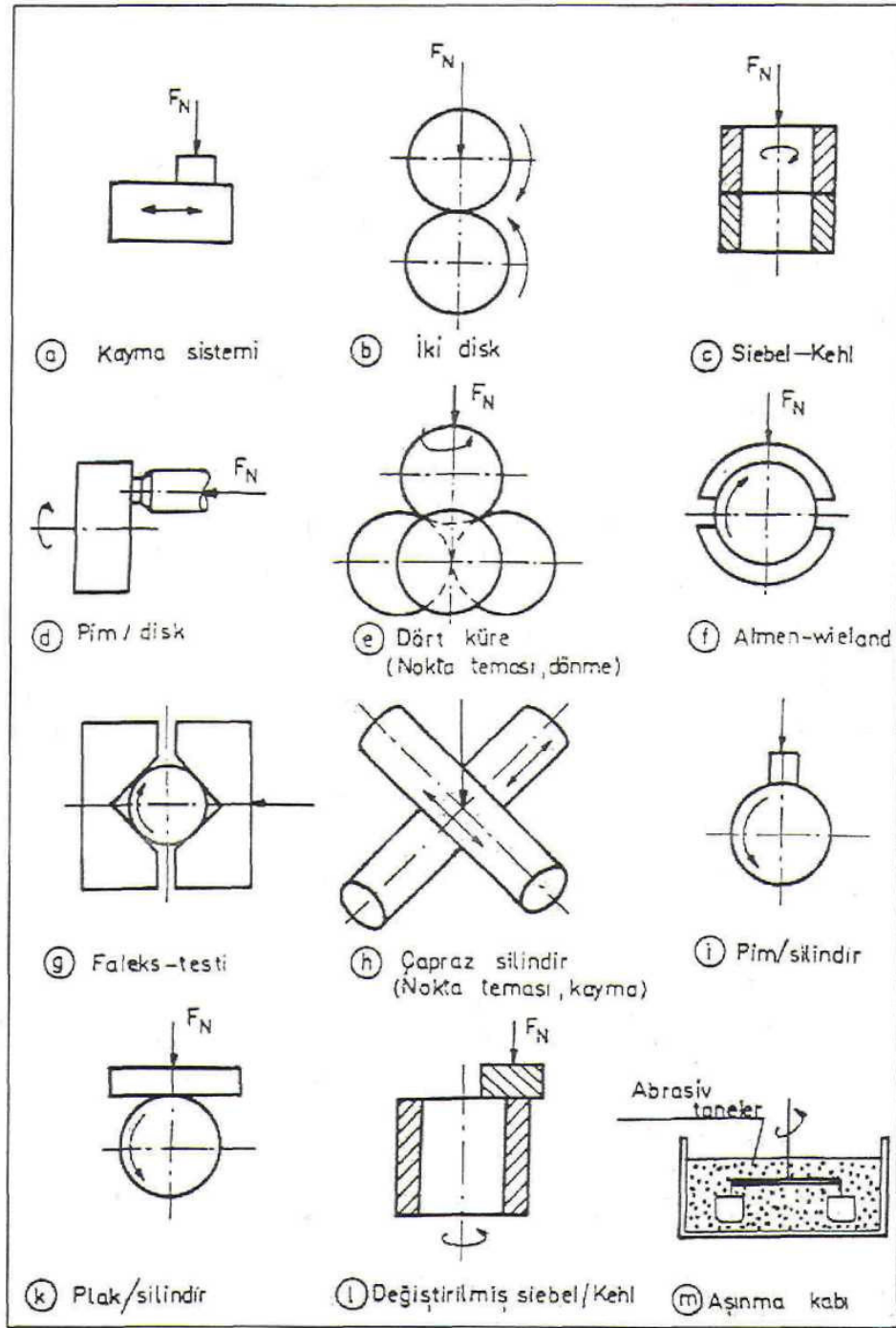
Model deney yöntemi, gerçek sistemin özellikleri göz önünde bulundurularak yapılır. Model deney yöntemi ne kadar işletme koşullarına yakın olursa, bulunan sonuçların gerekli sistemlere aktarılması sorunu mümkün olduğu kadar azaltılmış olur. Model aşınma deneylerinin düzenlenmesinde aşağıda belirtilen basamaklar yerine getirilmelidir.

- Pratik uygulamada kullanılan malzeme çiftlerinden deney numuneler hazırlanarak malzemelerin özellikleri ve yüzey karakteristiklerini belirlemelidir.

- Çevre durumu, ara madde malzemelerinin kompozisyonu, fiziksel ve kimyasal özellikleri tanımlanmalıdır.

• İşletme koşullarına yakın hız, hareket, yük, sıcaklık ve deney süresine uygun bir deney sistemi seçilmelidir.

Şekil 2.18,de yaygın olarak kullanılan sürtünme aşınma deney düzeneklerinin şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.18. Sürtünme aşınma deney düzenekleri (Demirci 1982)

2.8. Aşınmanın ölçülmesi

Aşınma miktarının ölçülmesi sırasında her ölçme sisteminde olduğu gibi yeterli hassasiyet, kolay ve seri uygulanabilirlik, ekonomik ve standartlaştırılmış bir ölçme yapılması istenir. Bu esaslar çerçevesinde imkanlar ve sistemin yapısına göre aşağıda sıralanan aşınma miktarı ölçme yöntemleri kullanılır.

2.8. 1.Ağırlık Farkı Yoluyla Ölçme

Ekonomik olması, kullanılan ölçme aletinin oldukça hassas olması nedeniyle çok sık kullanılan bir yöntemdir. Deney numunelerinin her ölçülmesi için fazla zaman kaybına sebep olmaktadır. Ağırlık kaybının ölçülmesi için 10^{-4} veya 10^{-5} hassasiyetindeki teraziler kullanılır.

Aşınma miktarı gram ve miligram cinsinden ifade edilmiş ise, alınan yol metre veya kilometre olarak tespit edilmiş bulunan kayma veya sürtünme yoluna göre birim kayma yoluna karşılık gelen ağırlık kaybı miktarı (g/km), (mg/m) ile ifade edilir. Ağırlık kaybı birim alanı için hesap edilecekse (gr/cm^2) gibi bir birimle ifade olunabilir .

Ağırlık kaybı hacimsel aşınma miktarı olarak belirtilmek istendiğinde ise yine ağırlık kaybından hareketle kullanılan malzemenin yoğunluğu göz önünde bulundurularak bulunabilir. Burada elde edilecek birim hacmindeki aşınma miktarı (cm Vm), gibi birimlerle ifade edilebilir.

2.8. 2.Kalınlık Ölçme Yöntemi

Aşınma esnasına meydana gelecek boyut değişikliğinin ölçülmesi, başlangıç değeriyle karşılaştırılması suretiyle elde edilir. Kalınlık olarak tespit edilen değer, hacimsel olarak tespit edilip birim hacimdeki aşınma miktarı elde edilir. Kalınlık hassas ölçme aletleri ile 1 μm duyarlılıkta ölçülebilir.

2.8.3. İz Değişiminin Ölçülmesi Yöntemi

Sürtünme yüzeyi bölgesi geometrisi belirli bir iz, plastik deformasyonla oluşturulur. Deney boyunca bu izin karakteristik bir boyutunun değişimi ölçülür. Uygulamalarda en çok kullanılan alet Vickers veya Brinell sertlik ölçme aletidir. Bilya veya elmas pramitin bıraktığı iz çapındaki değişme mikroskop yardımıyla ölçülmesi suretiyle değişim incelenir .

2.8.4. Radyoizotoplarla Ölçme Yöntemi

Sürtünme yüzey bölgesinin proton nötron veya yüklü atom parçacıklarıyla bombardıman edilerek radyoaktif hale getirilmesi esasına dayanır. Aşınmanın büyük hassasiyetle ölçülebilmesi ve sistem içerisinde çalışma şartlarını değiştirmeden ölçü alınabilmesi avantajlarıdır. Fakat ekonomik olmaması nedeniyle özel problemlerin çözümü dışında yaygın bir yöntem değildir

2.9. Sürtünme

Birbirleri ile temasta olan ve aralarında izafi hareket yapan cisimlerin hareketlerine ters yönde etki eden kuvvete "sürtünme kuvveti" veya "sürtünme" denir. DİN 50821'e göre sürtünme; birbirleri üzerinde kayan, yuvarlanan elemanların izafi hareketini yavaşlatan (dinamik sürtünme) veya engelleyen (statik sürtünme) bir direnç olarak kabul edilir. Sürtünme bazen istenen bazen de istenmeyen bir olaydır. Fren, kavrama ve sürtünmeli çarklar gibi makine elemanlarında istenen bir olay olduğu için sürtünme artırılmaya çalışılır. Oysa diğer izafi hareketler yapan bütün sistemlerde istenmeyen bir olaydır ve azaltılması istenir.

Sürtünmeyi yenen kuvvete sürtünme kuvveti denir. Sürtünme kuvveti, hareketin cinsine göre (kayma ve yuvarlanma), temas yüzeylerinin durumuna göre (kuru, yağlı) değişebilir. Sürtünme sonucu dinamik enerjinin bir kısmı ısı enerjisine dönüşerek aşınmayı teşvik eder ve dolayısıyla aşınma sürtünmenin bir ürünüdür

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1. Abrasiv Aşınma Test Cihazı İmalatı

Bu çalışmada pim-disk aşınma sisteminin bir benzeri olan pim-silindir tipi aşınma deney cihazı tasarlanarak üretilmiştir. Deney cihazı her türlü yük ve kayma hızında çalışma kabiliyetine sahip olacak şekilde imal edilmiştir. Deney cihazı farklı kayma şartları ve farklı devirlerde çalışabilmek amacı ile sistem hız kontrolü bilgisayar ile kumanda edilecek şekilde solidworks programı kullanılarak katı modeli çizilip simule edilerek tasarlanmış ve imal edilmiştir.

İmal edilen aşınma cihazında farklı kayma hızında ve değişik yükleme şartlarında numuneler teste tabi tutulmuştur.

Aşınma ve sürtünme deneyleri için tasarlanan ve üretilen pim-silindir (Pin-On-Cylinder) tipi standart deney aparatının katı model resmi Şekil 3. 1'de görülmektedir. Deney aparatının başlıca önemli parçaları şunlardır: servo motor, step motoru kumanda devresi, aşınma silindiri, destekleme kolu, numune tutma mekanizması ve yük hücresi, ilerleme vidası.

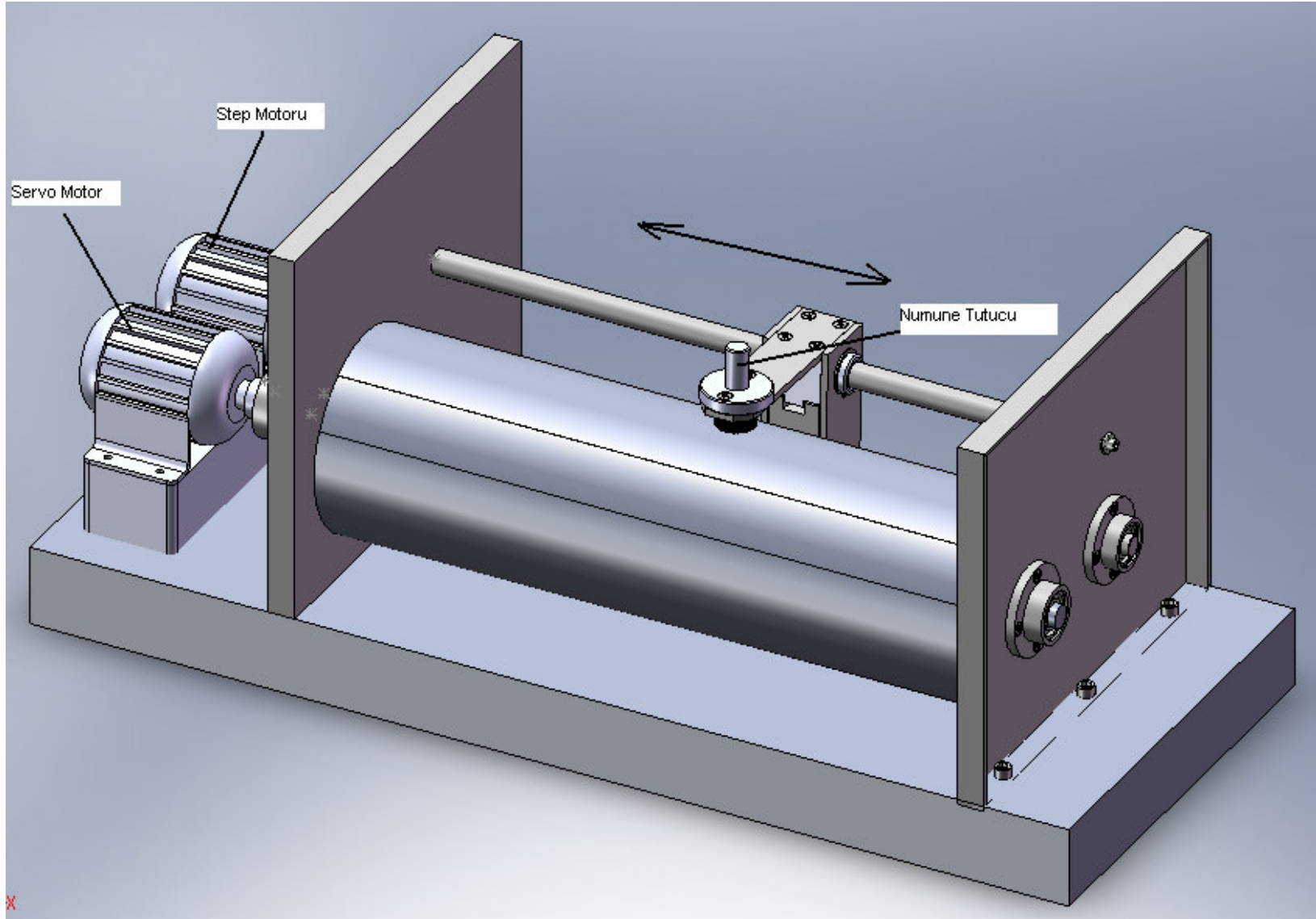
Bu çalışmada maddi yetersizlikler nedeniyle cihazın bilgisayar kumanda mekanizması yapılamamıştır. Bu kısım istenildiği takdirde daha sonra yapılarak cihaza ilave edilebilecektir. Cihazın en önemli parçalarından olan aşınma silindiri 140 mm çapında yapılmış ve üzerine abrasiv aşındırıcıyı tutabilmek amacıyla yapıştırıcı bant kanalları açılmıştır. Bu kanallara çift taraflı yapıştırıcı bant konularak abrasiv aşındırıcı silindir üzerine çevresi boyunca sarılarak yapıştırılmıştır.

Cihazın diğer önemli parçası numune tutucu, ilerleme ve yükleme mekanizmasıdır. Aşınma numunesi tutucu üzerine takılarak bir vida ile sabitlenmektedir. Yükleme ağırlığı da hemen numune üzerinde bulunan bir dikey mil üzerine takılmaktadır. Tutucu ve ağırlık taşıyıcı başlık numune takıp çıkarabilmek amacıyla oynak bir tarzda yapılmıştır.

Aşınma cihazına takılan numuneyi abrasiv aşındırıcı üzerinde istenilen hız ve adımda ilerletebilmek amacıyla taşıyıcı başlık bir vidalı mile bağlanmıştır. Vidalı milin tahriki bir servomotor veya step motor ile yapılabilmektedir. Bunun sebebi numune hızını istediğimiz her aralıkta tutabilmek ve kontrol edebilmektir.

İmal edilen deney cihazında yüksek sıcaklık aşınma deneyleri de yapılabilecektir. Ancak bunun için cihaza ilave parçaların takılması gerekmektedir. Aşınma sıcaklık aralığı takılacak sisteme bağlı olup 1200 °C sıcaklıklara çıkabilmek mümkün olabilecektir.

Malzemelerin aşınmasında sürtünme katsayısı da önemli bir yer tutmaktadır. İmal edilen aşınma cihazına böyle bir sistemi ilave donanımlar temin ederek takmak mümkündür.



Şekil 3.1. Bilgisayar kontrollü Pim -Silindir tipi aşınma test cihazı

3.2. Test Cihazında Yapılan Aşınma Deneyleri

İmal edilen test cihazında üç çeşit numunenin abrasiv aşınma deneyleri yapılmıştır. Aşınma deneylerinde abrasiv aşındırıcı olarak, 200 numara (15 μm) Al_2O_3 zımpara kağıdı kullanıldı. Numune olarak saf bakır, nikel ve titanyum alaşımı malzemeler kullanıldı (Tablo 3.1). Bütün numunelerde aşınma şartları sabit tutuldu Bir numune ile yapılan aşınma deneyi her defasında aynı şartlarda yeni bir zımpara kağıdı kullanılarak en az üç defa tekrarlanarak ortalama değerler alınmıştır.

Tablo 3.1. Aşınma deneylerinde sabit tutulan tribolojik şartlar

Aşınma silindirinin dönme sayısı	90 d/ dak
Numune tutucu ilerleme hızı	6 mm/s
Yükleme ağırlığı	19.62 N

Numuneler, iyice temizlendikten sonra, deneyden önce ve deneyden sonra (10^{-4} g) hassasiyetinde bir terazi ile tartılarak ağırlık kaybı (aşınma kayıplan) “g” cinsinden bulunmuştur. Bulunan değerler aşağıdaki formüller kullanılarak hesaplanmıştır

Aşınma oranı bağıntısı

$W_a = \Delta G / d.M.S$ (mm^3/Nm) olup burada:

W_a : Aşınma oranı (mm^3/Nm),

ΔG : Ağırlık kaybı (mg),

M : Yüklem ağırlığı (FN) (N),

S : Aşınma yolu (m),

d : Yoğunluk (g/cm^3) olarak alınmıştır. Aşınma oranının (W_a) ters değeri olan aşınma direnci (W_r) bağıntısı ise aşağıda verilmiştir.

$$W_r = 1/W_a \text{ (Nm/mm}^3\text{)}$$

3.3. Deneylerde Kullanılan Malzemeler

Deneylerde kullanılan malzemelerin kimyasal analiz sonuçları Tablo 3.2 de verildiği gibidir.

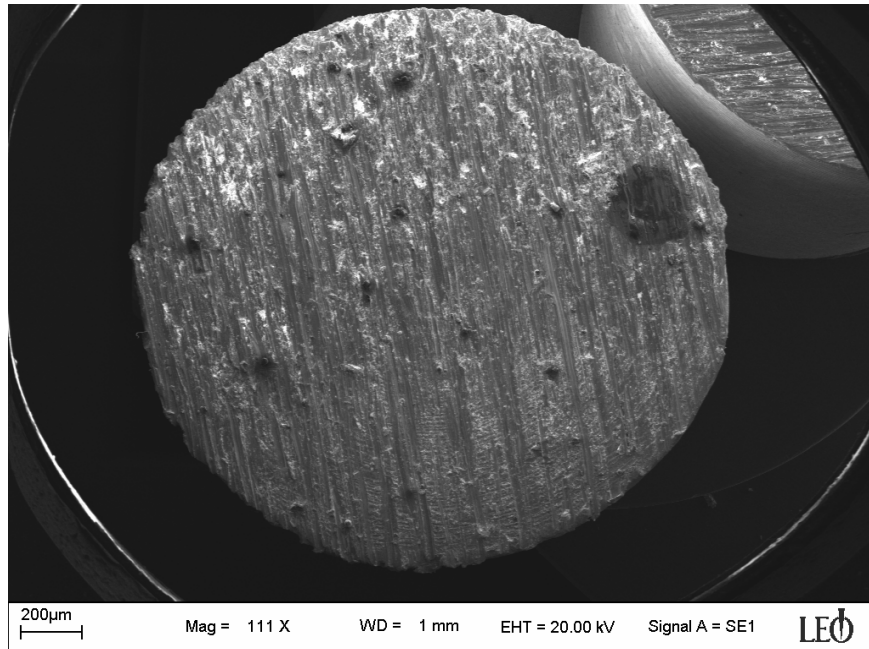
Tablo 3.2. Deney malzemelerinin kimyasal kompozisyonu

Numune	%Cu	%Ni	%Ti	%Al	%Cr	%S	%Si	%Ca	%P	Toplam
Bakır	93,7	-----	-----	5,1	-----	-----	-----	0,8	-----	99,6
Nikel	-----	51,08	-----	8,9	24,3	5,9	1,9	1,2	0,7	93,98
Titanyum	-----	-----	90,12	7,01	-----	-----	-----	0,5	-----	97,63

3.4. SEM Çalışmaları

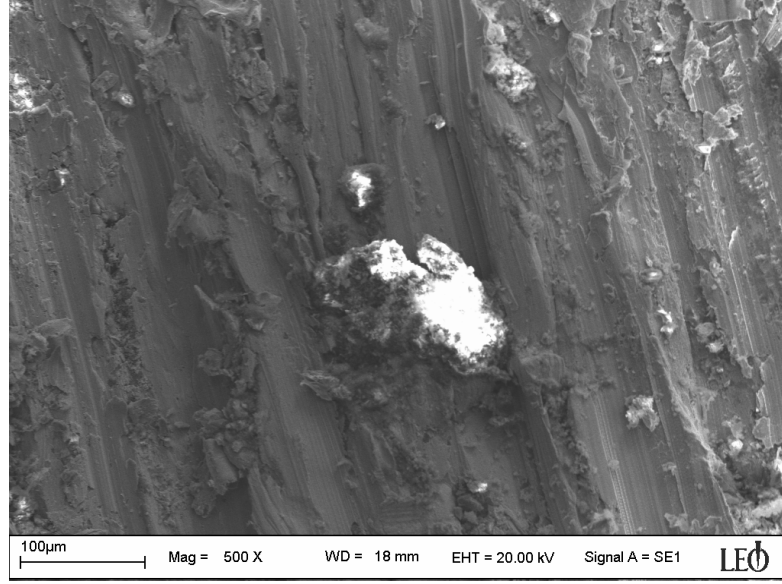
3.4.1. Bakır Numunenin SEM Çalışmaları

Deneylerde kullanılan malzemelerin aşınma yüzeylerinin elektron mikroskop (SEM) fotoğrafları alınmıştır. Şekil 3.2 de bakır numuneden alınan aşınma yüzeyinin tamamı görülmektedir. Aşınma izlerinden anlaşılacağı gibi aşınma yönü fotoğrafın aşağısından yukarıya doğrudur. Çünkü aşınan parçacıkları fotoğrafa göre fotoğrafın yukarısında birikmiştir.

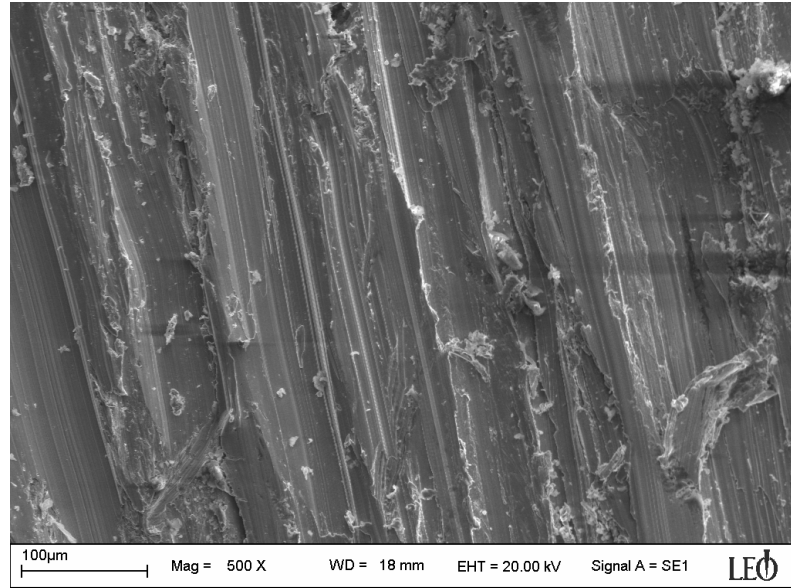


Şekil 3. 2. Bakırın aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü

Şekil 3.3 de bakır numunenin aşınması esnasındaki bir abrasiv taneciğinin görüntüsü yer almaktadır. Resimden de anlaşılacağı gibi abrasiv tanecik yumuşak olan malzemeye saplanarak kalmıştır. Buradan malzemenin çok kolay aşınabilir yumuşaklıkta olduğu anlaşılmaktadır. Bu düşünce veya tespitimiz Şekil 3.4 de yer alan aşınma yüzey görüntü fotoğrafı tarafından da desteklenmektedir. Çünkü Şekil 3.4 deki aşınma izleri derin ve düzgün yapılı bir görünüme sahiptir.

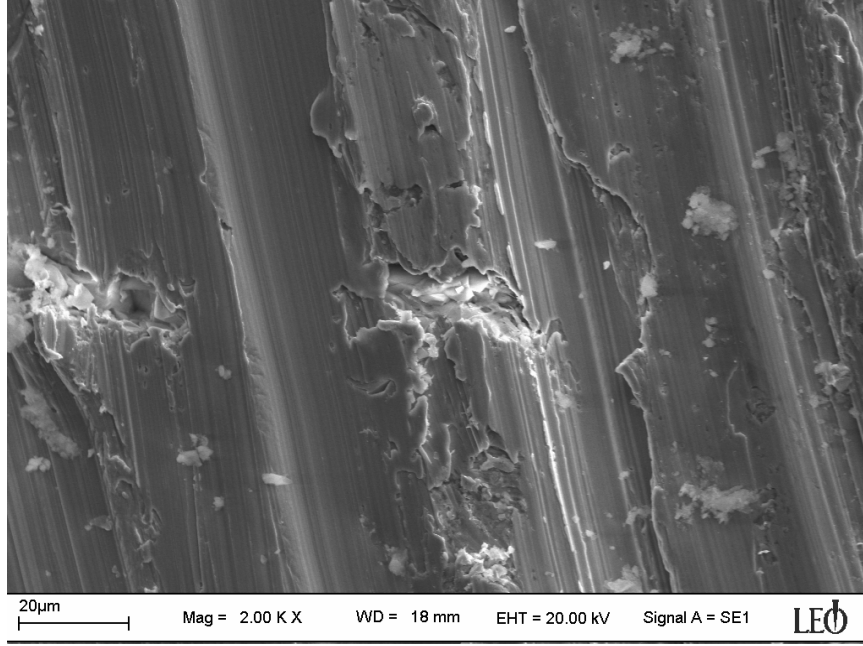


Şekil 3. 3. Bakırın aşınma yüzeyindeki bir abrasiv taneciğinin SEM görüntüsü



Şekil 3. 4 Bakırın aşınma yüzey izlerinin görüntüsü

Yukarıda bahsedilen hususun doğruluğunu gösterir diğer bir delil de daha yüksek büyütme oranlı Şekil 3.5 de görülmektedir. Bu resimde aşınma malzemesi adeta yüzeye sıvanmış bir görünüme sahiptir. Yine bu durum da aşınan malzemenin yumuşak ve kolay aşınabilir olduğuna bir delildir.

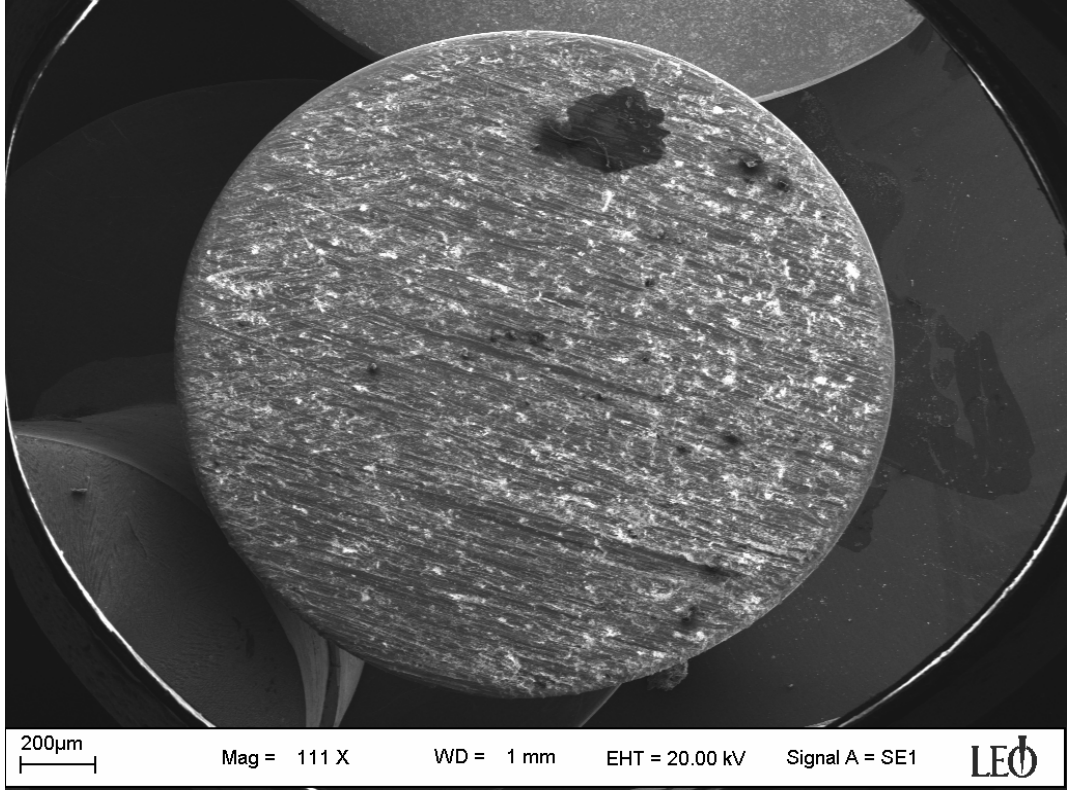


Şekil 3. 5. Bakırın aşınma yüzeyinin daha büyük oranlı SEM görüntüsü

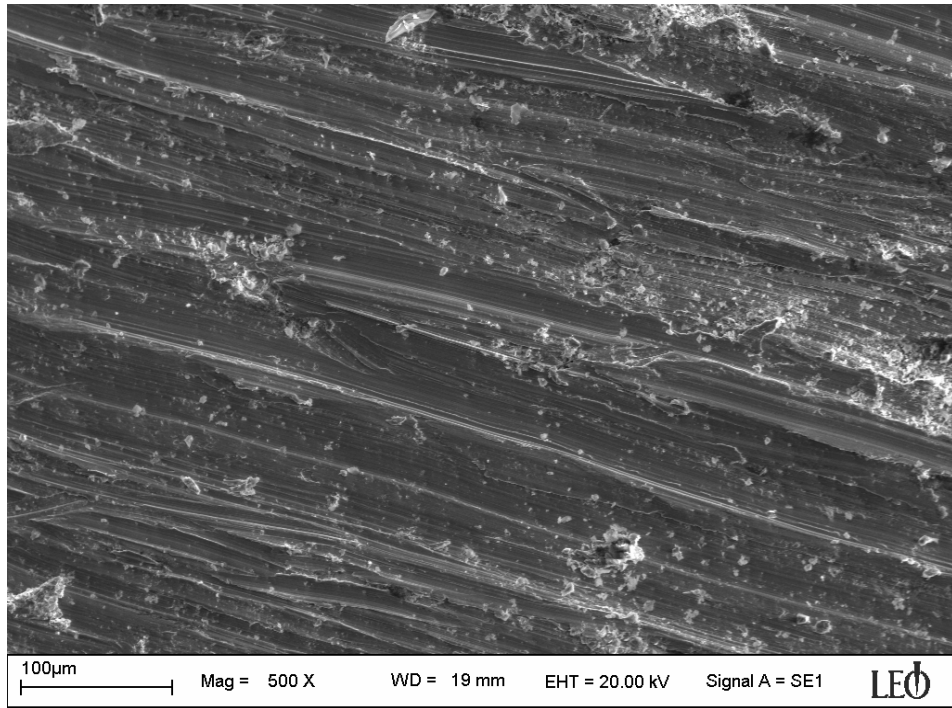
3.4.2. Nikel Alaşımının SEM Çalışmaları

Şekil 3.6 da nikel alaşımı numuneden alınan aşınma yüzeyinin tamamı görülmektedir. Aşınma izlerinden anlaşılacağı gibi aşınma yönü fotoğraftan belli olmaktadır. Ancak bakır numunenin aşınma fotoğrafındaki gibi bir aşınma birikintisi yoktur. Buradan nikel alaşımının bakıra göre daha sert olduğu dolayısıyla daha zor aşındığı yani aşınma direncinin bakıra göre daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır.

Şekil 3.7 de nikel alaşımının aşınma izlerinin SEM fotoğrafı görülmektedir. Bu fotoğraf Şekil 3.3 deki saf bakır numune görüntüsü ile mukayese edildiğinde aşınma izlerinin bakır numuneye göre daha yüzeysel ve daha pürüzlü olduğu görülmektedir. Sonuçların böyle çıkması nikel alaşımının aşınma direncinin saf bakırın aşınma direncinden ve sertliğinden daha yüksek olduğunu göstermektedir.

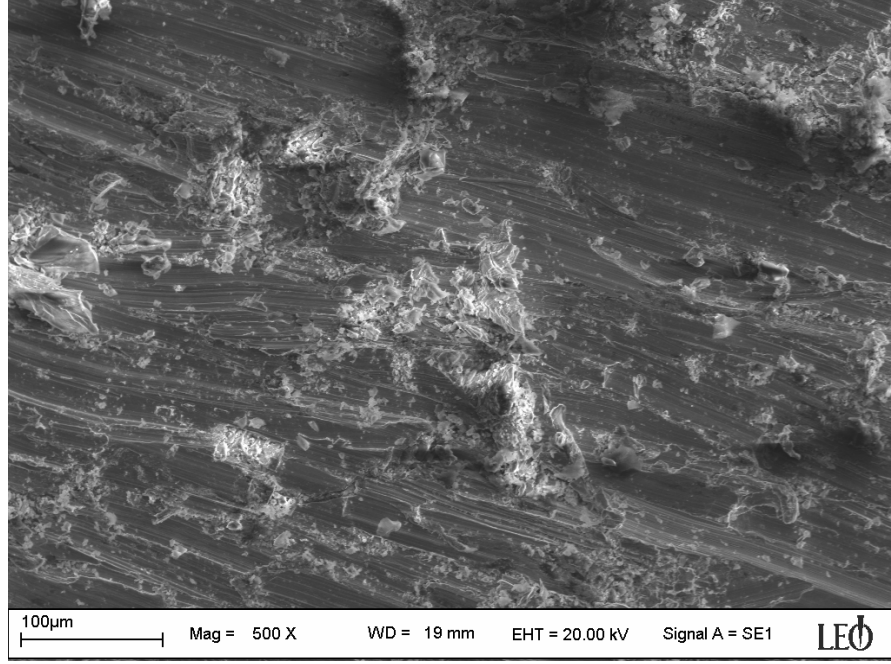


Şekil 3. 6. Nikel alaşımının aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü

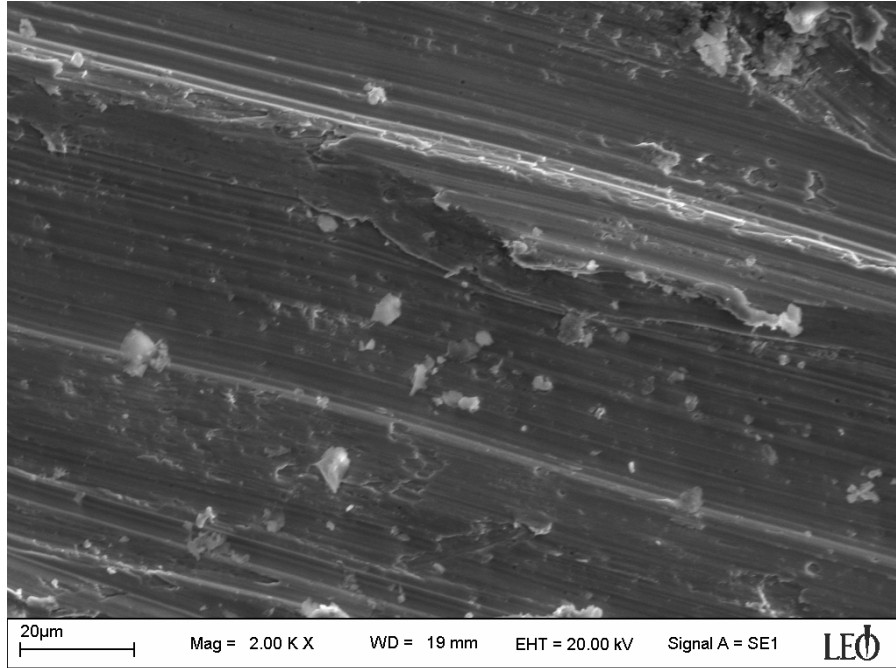


Şekil 3. 7. Nikel alaşımının aşınma izlerinin SEM görüntüsü

Şekil 3. 8 de aynı alaşım ve aşınma yüzeyinin fotoğrafı görülmektedir. Bu fotoğraftan net bir aşınma yüzeyi görülmeyip pürüzlü bir yüzey görülmektedir. Aynı nikel alaşımının aşınma yüzeyinin daha büyük oranlı bir fotoğrafı Şekil 3. 9 de görülmektedir. Bu fotoğraftan da yüzey aşınma izlerinin bakır numuneye göre daha yüzeysel olduğu ve aşınma parçacıklarının yüzeyin çeşitli yerlerinde bulunduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 3. 8. Nikel alaşımının aşınma yüzeyinde biriken parçacıkların SEM görüntüsü



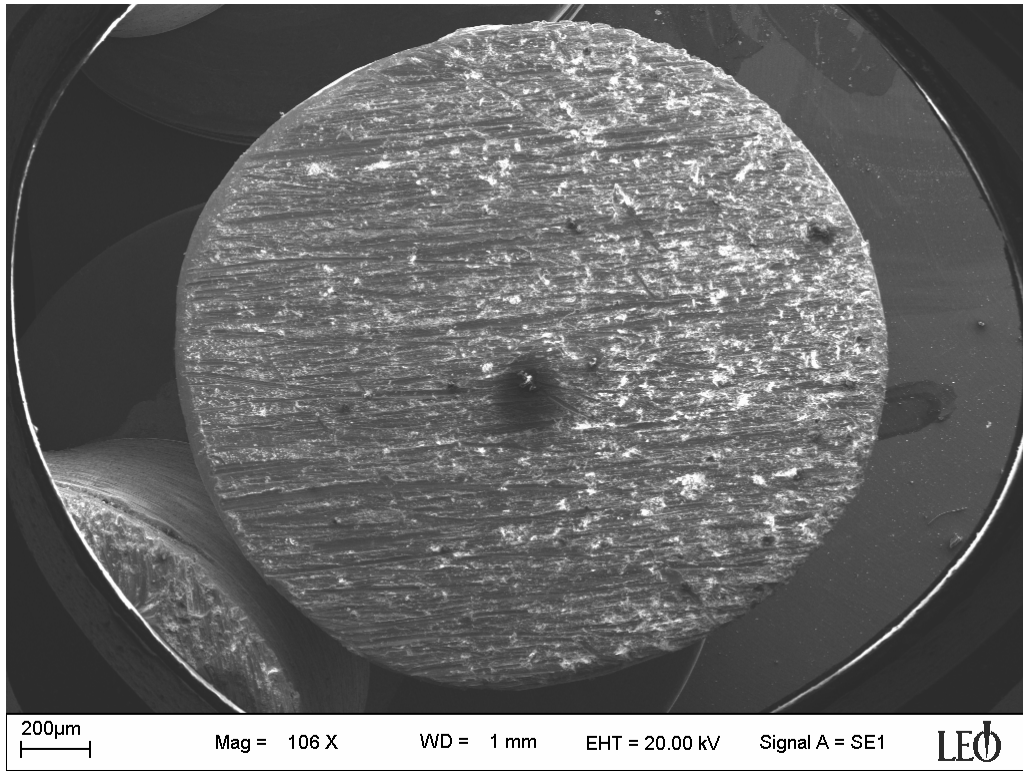
Şekil 3. 9. Nikellin mikro yapı ve aşınma yüzeyinin SEM görüntüleri

3.4.1. Titanyum Numunenin SEM Çalışmaları

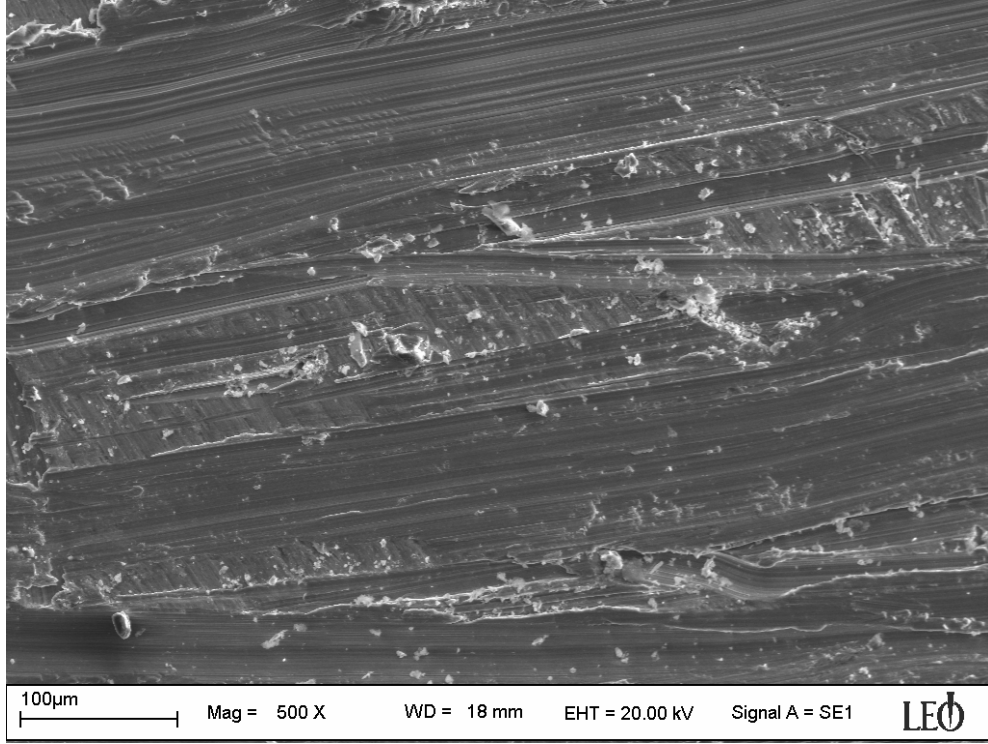
Saf titanyumun aşınma fotoğrafı Şekil 3.10 da görülmektedir. Aşınma yüzeyi izlerinden çalışmada kullanılan diğer iki numunenin aşınma yüzeyi izlerine göre daha derin olmadığı anlaşılmaktadır. Şekil 3.11'a bakıldığında bu durum açıkça görülmektedir. İz derinlikleri diğer malzemelerin SEM görüntülerine göre daha az derin ve yüzeysel olduğu belirgindir.

Şekil 3. 12 de nikel alaşımının aşınma yüzeyinde aşındırma süreci tamamlanmış bir abrasiv taneciği görülmektedir. Aşınma izi sonunda bulunan abrasiv tanecik ezilerek malzeme içerisine gömülü vaziyette kalmıştır.

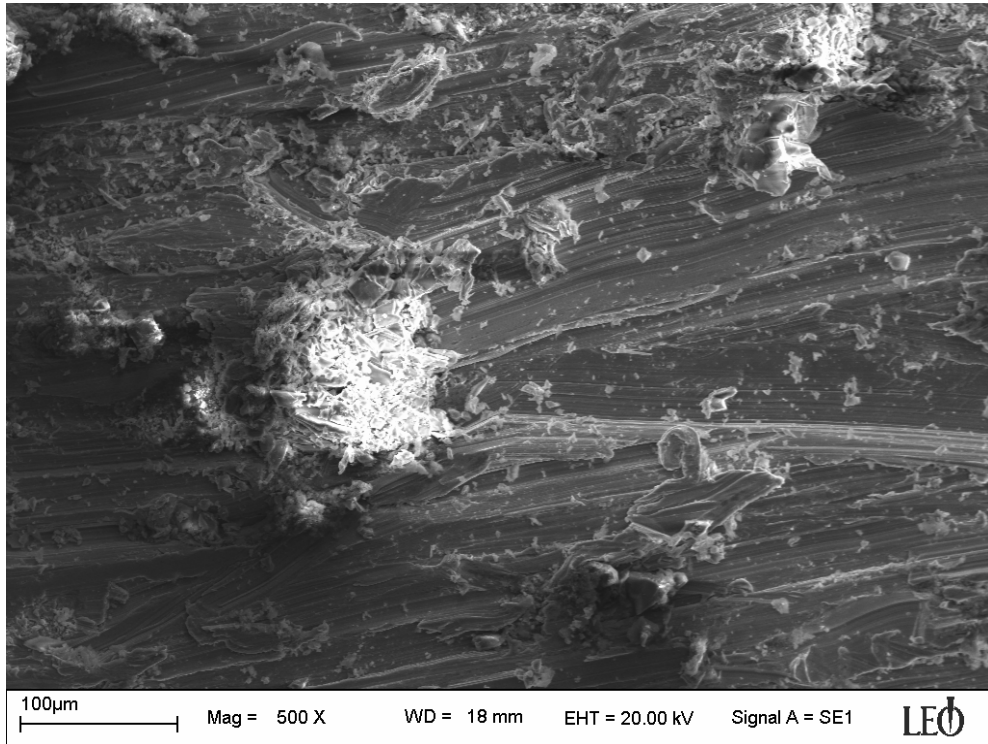
Şekil 3. 13'de titanyumun aşınma yüzeyinin daha büyük oranlı bir görüntüsü yer almaktadır.



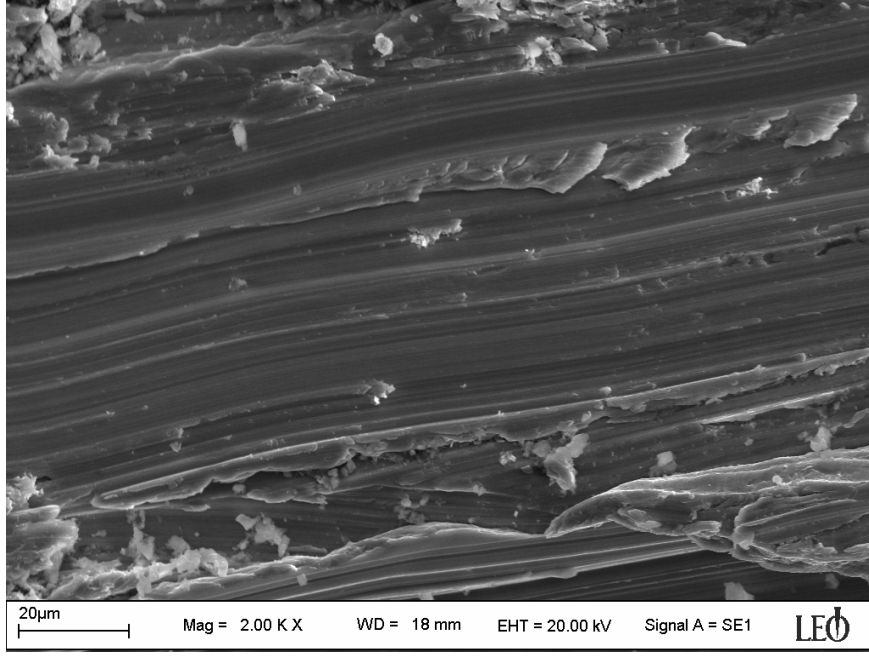
Şekil 3. 10. Titanyumun aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü



Şekil 3. 11. Titanyumun aşınma yüzeyinin büyütülmüş SEM görüntüsü



Şekil 3. 12. Titanyumun aşınma yüzeyinde aşındırma süreci tamamlanmış bir abrasiv taneciği

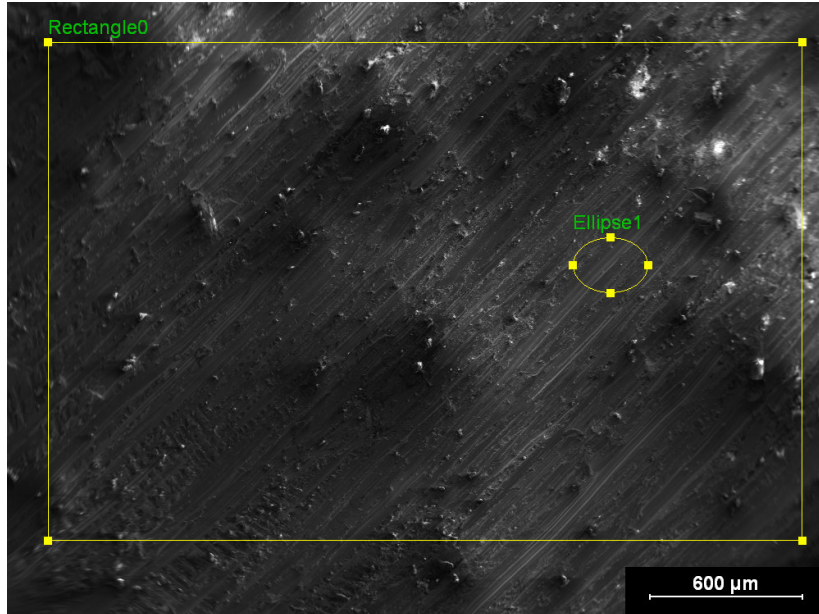


Şekil 3. 13. Titanyumun aşınma yüzeyinin büyük oranlı görüntüsü

3.5. EDAX Çalışmaları

3.5.1. Bakırın EDAX Çalışmaları

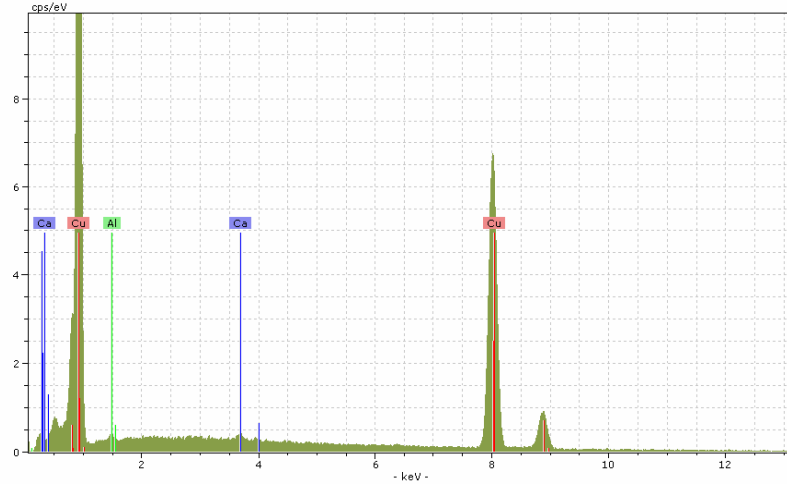
Şekil 3.13’de analiz yapılan bölgeler görülmektedir. İki bölgeden analiz alınmıştır. Bu bölgelerden alınan analiz raporları Tablo 3.3’de, analiz grafikleri ise Şekil 3.14a, b’ de görülmektedir.



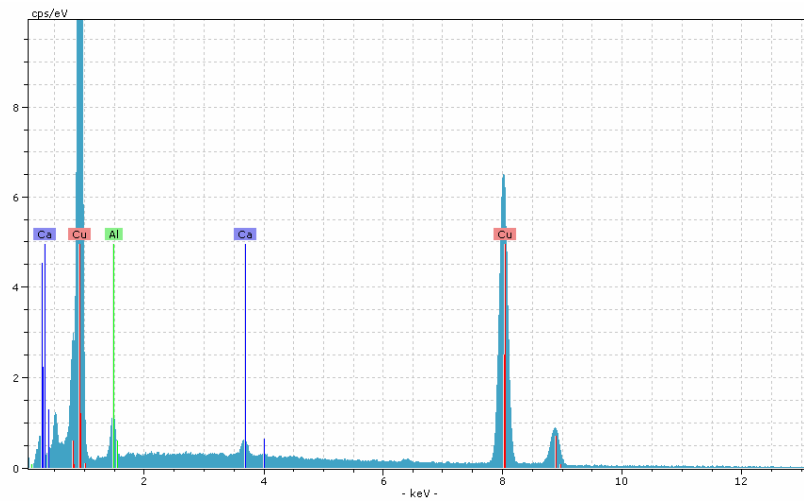
Şekil 3.14. Bakır numunede analiz yapılan bölge

Tablo 3.3. Bakır numunenin analiz sonuçları

Spectrum: Rectangle0					
El	AN	Line	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C At.%]
Cu	29	K-series	94.16	94.16	83.37
Al	13	K-series	7.25	7.07	15.12
Ca	20	K-series	1.08	1.05	1.52
Total: 102.5 %					
Spectrum: Ellipse1					
El	AN	Line	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C At.%]
Cu	29	K-series	99.06	96.12	91.71
Al	13	K-series	3.40	3.30	7.42
Ca	20	K-series	0.60	0.58	0.87
Total: 103.1 %					



a)

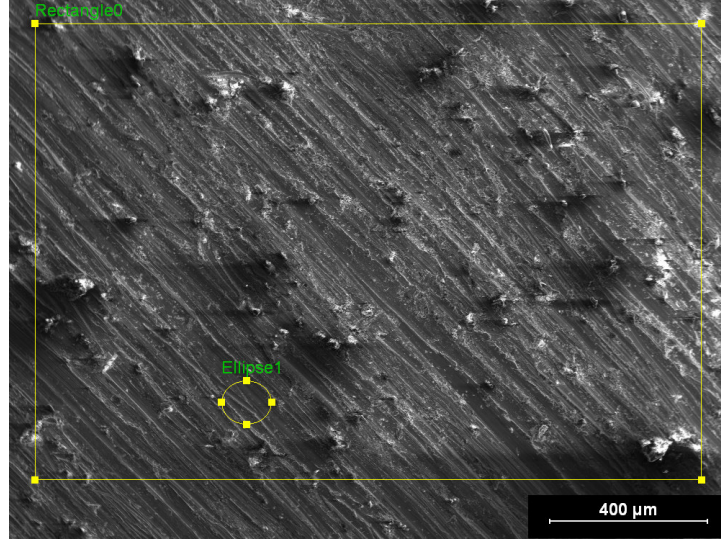


b)

Şekil 3.15. Bakır numunenin EDAX analiz grafikleri (a: dikdörtgen bölge, b: elips bölge)

3.5.2. Nikel alaşımının EDAX alışmaları

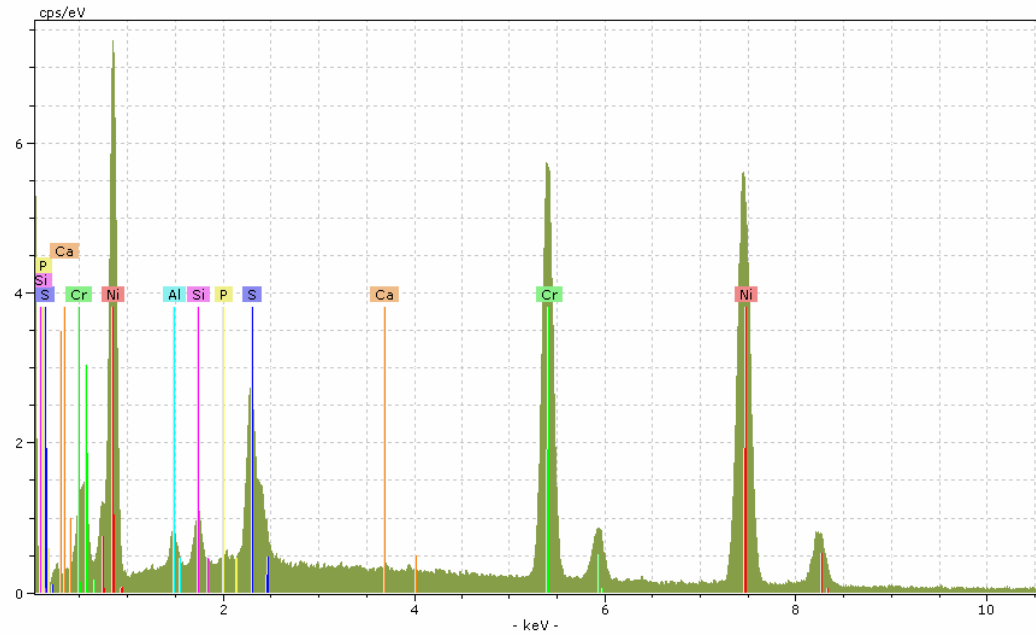
şekil 3.15’de nikel alaşımının aşınma yüzeyinden analiz yapılan bölgeler görülmektedir. İki bölgeden analiz alınmıştır. Bu bölgelerden alınan analiz raporları Tablo 3.4’de, analiz grafikleri ise şekil 3.16a, b’ de görülmektedir.



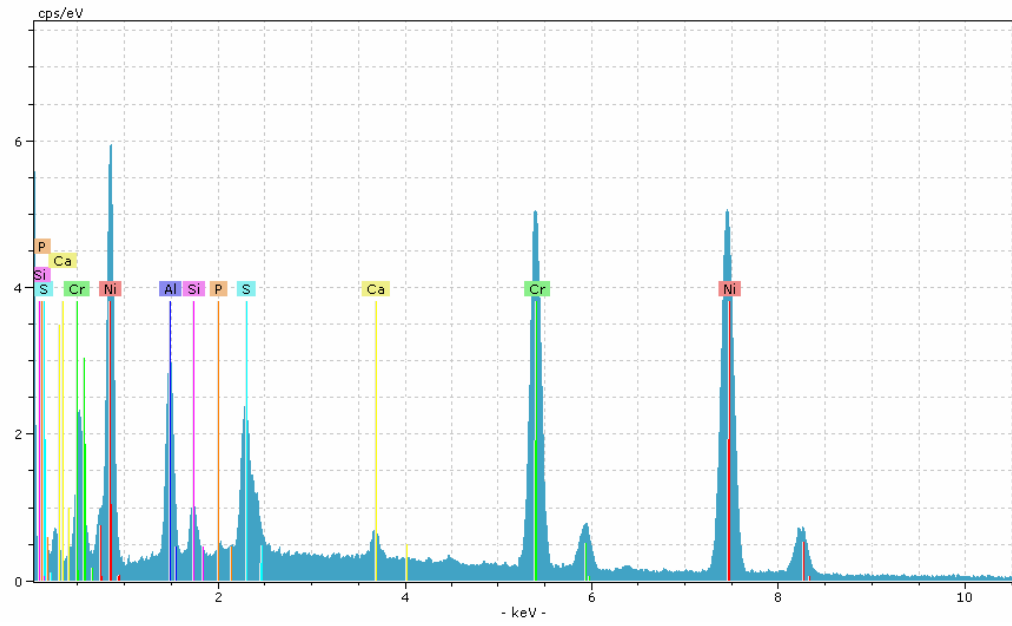
şekil 3.16. Nikel alaşımı numunede spektral analiz yapılan blge

Tablo 3.4. Nikel alaşımı numunenin spektral analiz sonuçları

Spectrum: Rectangle0					
El	AN	Line	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C At.%
Ni	28	K-series	50.25	55.16	44.66
Cr	24	K-series	22.30	24.48	22.37
Al	13	K-series	8.81	9.68	17.04
S	16	K-series	6.08	6.67	9.89
Si	14	K-series	1.90	2.08	3.52
Ca	20	K-series	1.16	1.28	1.51
P	15	K-series	0.60	0.66	1.01
Total: 91.1 %					
Spectrum: Ellipse1					
El	AN	Line	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C At.%
Ni	28	K-series	53.67	61.04	53.08
Cr	24	K-series	23.37	26.58	26.09
Al	13	K-series	6.20	7.06	11.23
S	16	K-series	2.28	2.59	4.90
Si	14	K-series	1.63	1.86	3.38
Ca	20	K-series	0.49	0.55	0.91
P	15	K-series	0.28	0.32	0.41
Total: 87.9 %					



a)

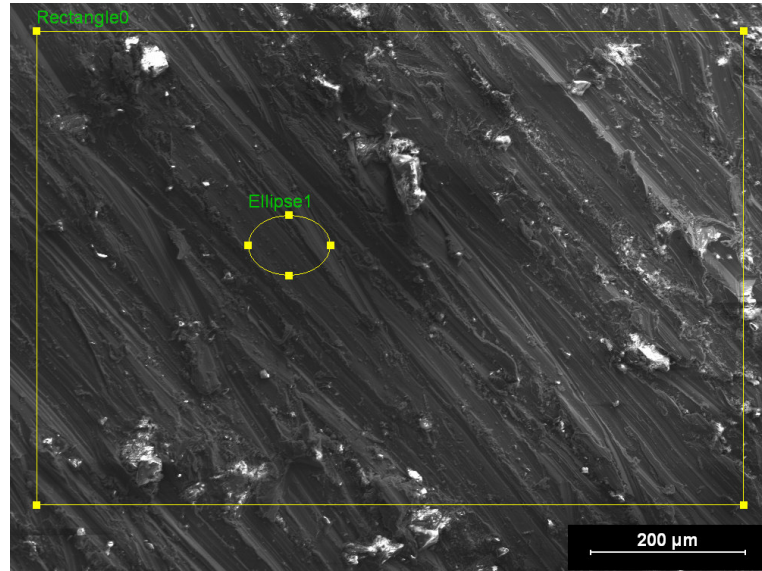


b)

Şekil 3.17. Nikel alaşımı numunenin EDAX analiz grafikleri

3.5.3. Titanyumun EDAX Çalışmaları

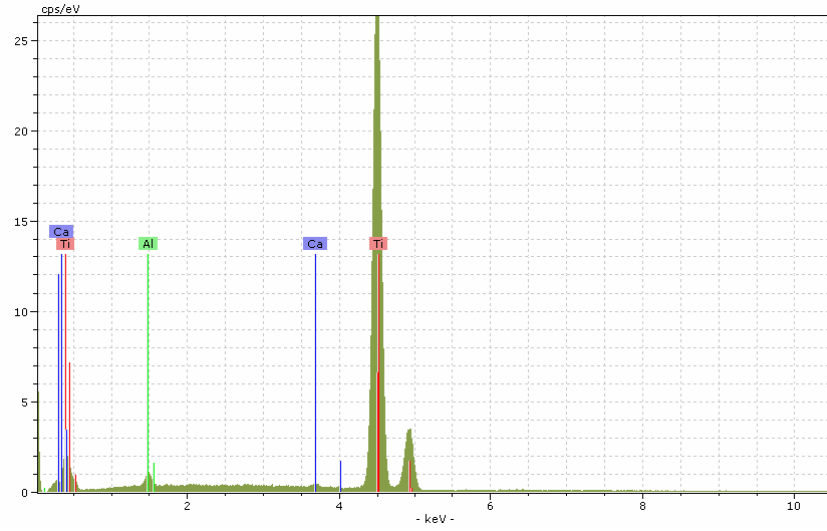
Şekil 3.17’de titanyumun aşınma yüzeyinden analiz yapılan bölgeler görülmektedir. İki bölgeden analiz alınmıştır. Bu bölgelerden alınan analiz raporları Tablo 3.5’de, analiz grafikleri ise Şekil 3.18a, b’ de görülmektedir.



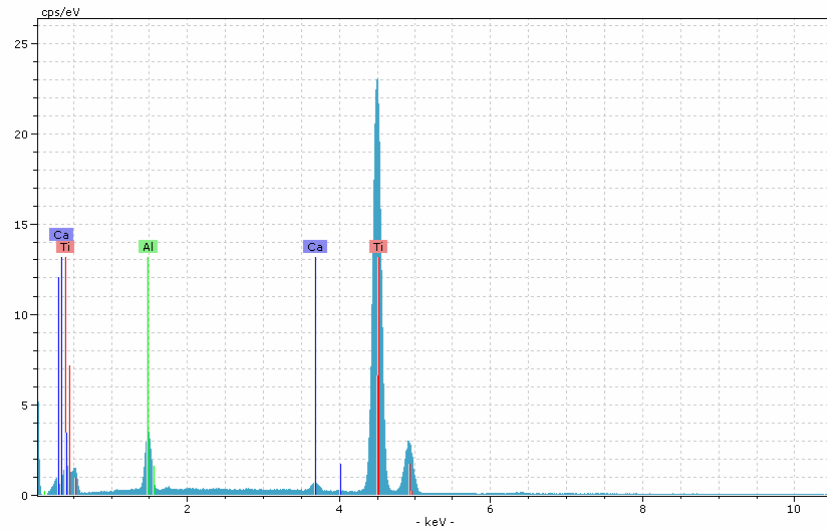
Şekil 3.18. Titanyum numunede analiz yapılan bölge

Tablo 3.5. Titanyum numunenin analiz sonuçları

Spectrum: Rectangle0					
El	AN	Line	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C At.%]
Ti	22	K-series	90.07	91.65	86.62
Al	13	K-series	7.08	7.20	12.08
Ca	20	K-series	1.12	1.14	1.29
Total: 98.3 %					
Spectrum: Ellipse1					
El	AN	Line	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C At.%]
Ti	22	K-series	98.29	97.88	96.57
Al	13	K-series	1.62	1.62	2.83
Ca	20	K-series	0.50	0.50	0.59
Total: 100.4 %					



a)



b)

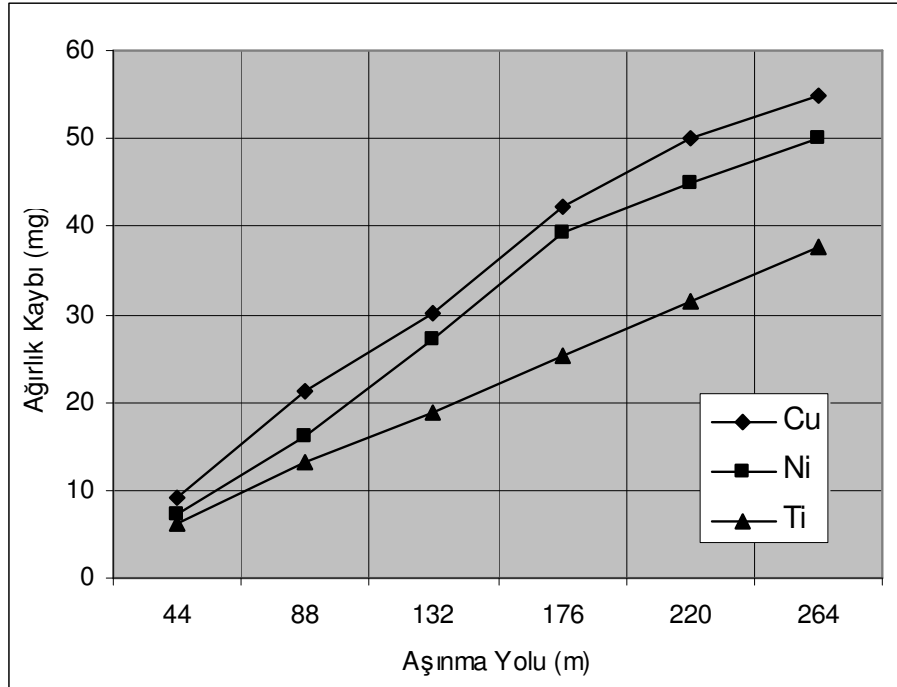
Şekil 3.19. Titanyum numunenin EDAX analiz grafikleri

3.6. Aşınma Deneylerinin Sonuçları

Aşınma deney cihazında yapılan üç çeşit malzemeye ait sonuçlar ve grafikler aşağıda gösterilmiştir. Aynı tribolojik şartlarda aşınma deneyine tabi tutulan Bakır, nikel ve titanyumun belirlenen aşınma yolu periyotlarında ağırlık kaybı (mg) ölçülmüştür. Bu numunelerin ağırlık kaybı-aşınma yolu grafiği olarak Şekil 3.19’da, aşınma kayıpları da Tablo 3.4’de verilmiştir.

Tablo 3.6. Alınan yollara göre numunelerin mg olarak aşınma miktarları

Aşınma yolu (m)	Numunelerin ağırlık kaybı (mg)		
	Cu	Ni	Ti
44	9,1	7,3	6,3
88	21,2	16,1	13,3
132	30,25	27,1	18,9
176	42,3	39,3	25,2
220	50	45	31,5
264	55	50	37,8



Şekil 3.20. Ağırlık kaybı-aşınma yolu grafiği olarak

4. DENEY SONUÇLARI VE ÖNERİLER

Yeni bit aşınma test makinesi tasarımı ve bazı metallerin aşınma davranışlarının araştırılması ile ilgili yapılan çalışmalardan aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır;

1. Yeni bir tasarım olan aşınma test makinesinin üretimi büyük bir başarı ile gerçekleştirilmiş ve deneylerde kullanılabilir hale getirilmiştir.
2. İmal edilen test makinesinde özellikleri bilinen üç çeşit malzemenin aşınma deneyleri başarı ile gerçekleştirilmiş ve doğru sonuçlar alınmıştır.
3. Deneylerde kullanılan malzemelerden en yumuşak olanı saf bakırdır. Nikel alaşımı bakırdan daha sert, titanyum ise aşınması daha zor olan bir malzemedir. Deney cihazında alınan sonuçlardan bu sıralamanın bozulmadığı görülmektedir. Bu durum yeni imal edilen deney cihazının sağlıklı çalışmasına bir delildir.
4. Yeni deney cihazı ile yapılan deneylerde bakırın aşınma direnci en düşük, nikel alaşımının aşınma direnci bakırdan daha yüksek, titanyumun aşınma direnci ise en yüksek çıkmıştır.
5. Bu çalışmada mali kaynakların yetersizliği nedeniyle aşınma cihazına step veya servomotor mekanizmaları takılamamıştır. Mali kaynak sağlandığı takdirde aşınma test cihazının çok daha fonksiyonel olarak bilgisayar kontrollü bir cihaza dönüştürülme imkanı vardır.
6. Yüksek sıcaklıkta aşınma deneyleri de yeni üretilen test cihazında yapılabilecektir. Ancak bunun için cihaza ilave donanımlar takılması gerekmektedir.
7. İmal edilen yeni aşınma cihazına yine bazı donanımlar takılarak sürtünme katsayısının ölçülmesi de mümkün olabilecektir.

KAYNAKLAR

- Akkurt, M., 1977 The Reliability of Machine Elements Due to wear, İ.T.Ü. Dergisi, 30, 2, 11-127, İstanbul.
- Blau, P.J. and Budinski, K.G. 1999, Development and use at ASTM Standarts for wear Testing. Wear, 225-229, 1159-1170.
- Çelik H., ve Yaz, M., 2000, Klinker Öğütme Silpepsilerinin Aşım Katlı Oranlarına Bağlı Abrasiv Aşınma Davranışlarının Araştırılması, 10 Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, 893-900.
- Çimenoglu, H. ve Kayalı E.S., 1991 Kobalt Esaslı Aşımaların Aşınma Özellikleri, 4. Denizli Malzeme Sempozyumu, 571-579.
- Demirci, A. H. 1982. "Ötektoidaltı Aşımatsız Çeliklerin Isıl İşlemlere Bağlı Olarak Aşınma Davranışlarının Belirlenmesi ve Optimizasyonu",Doçentlik Tezi, E. Ü. Makine Fakültesi, 8-44.
- Değerli, B., "Aşınma deneylerinde kullanılan deney düzenekleri", Mühendis ve Makine Dergisi, 23: 432 (1996).
- Gediktaş, M., 1970, Sürtünme ve Aşınma, İTÜ Dergisi, 28, 3, İstanbul.
- Gök, M.S., 2001, Taneleri İnceltilmiş Mangan Islah Çeliğinin Aşınma Davranışlarının Araştırılması Yük. Lis. Tezi, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Gürleyik, M.Y., 1975, Metallerin ve Metal Olmayan Sert Malzemelerin Taneli Maddeler Tarafından Sürtünerek Aşındırılması, Mühendis ve Makine, 19, 217, Ankara.
- Hisakado, T., 1976, The Influance of surface Roughness on Abrasive wear. Wear, 4, 179-190.
- Huricks, P.Y., 1973, Some Metalurgical Factor Controlling the Adhesive and Abresive wear Resistance of steels a Review, Wear, 26,285-304.
- Hutchings, I. M., Tribology: Friction And Wear Of Engineering Materials, Engineering .

Materials- (Metallurgy And Materials Science Series), First Published In Great Britain, (1992).

İpek, R ve Karamış, M.B., 1999, Aşınma Test Yöntemleri ve Gelişmeler, Mühendis ve Makine, 40, 469, Ankara.

Kökden, M.U., "GGG 50 ve GGG 80 sınıfı küresel grafitli dökme demirlerin abrasiv aşınma davranışına östemperleme işleminin etkisi" , Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 92-121 (1998).

Kılınç, Y., "Yağlı sürtünme şartlarında çelik ince zırh yataklarında üretim tekniklerinin aşınma etkisinin araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 1-25 (1993).

Korkut, M.H., "Sürtünmeye maruz metalik disklerin aşınma bölgelerinde dolgu kaynak işleminden sonra aşınma özelliklerinin değişiminin deneysel araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 1-25 (1991).

Keleştimur, H., 1989, Makine Yapı Çeliklerinin Abrasiv Aşınma Direncine Yüzey Sertliğinin Etkisi ve Diğer Mekanik Özelliklerle İlişkisinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

Krafesky, G.V., and Demkin, N.B., 1960, Contact area of Rough Surfaces, Wear, 3, 170-187.

Moore, M.A., 1974, A Review of Tve Body Abrasive Wear. Wear, 27, 1-17.

Muratoğlu, M., 1997, SiC Katkılı 2124 Alüminyum Kompoziti ve Yaşlandırılmış Kompozitin Aşınma Davranışlarının Araştırılması, Doktora Tezi, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

Metals Handbook, Mechanical Testing, Vol. 8, Ninth Edition, Asm Handbook Committee, Printed In U.S. A., April (1989).

Odabaş, D., "Otektoid altı çeliklerin kayma sürtünme aşınmasında adhesiv aşınma katsayılarının araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 50-65 (1987).

Öktem, Z., Uzuneli, A., Çapan, B., 1995, 8. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, 1169-1174.

Özmen, Y., Can, A. Ç., Aksoy, T., 1991, Aşınmaya Etki Eden Faktörler ve Aşınmanın Azaltılması İçin Alınacak Tedbirler, 4. Denizli Sempozyumu, 651-664.

Özsoy, A., Özgüven, B., 1995, 8. Uluslararası Metal ve Malzeme Kongresi, 1169-1174.

Pekin, Ş., Vuoristi, P., Mantyle, T., 1993, System Approaches for wear Resistant Coatings, Workshop on Anti-Wear, Coating, Tübitak-Mam, Kocaeli.

Rabinowicz, E., Friction And Wear Of Materials, Second Edition, Aaviley-Interscience Publication, Printed In The Usa., (1995).

Topbaş, M.A., 1993, Isıl İşlemler, Yıldız Teknik Üniversitesi, Metalurji Mühendisliği.

Y.H. Zhu, Ph.D. Thesis, University of Aston, Birmingham, UK, 1983.

Yılmaz, F., 1997, 9. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, 229-25.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : BÜYÜKKELLEÇİ, Übeyit
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : Gaziantep – 01.01.1973
Medeni hali : Evli – iki çocuk
Telefon : 5053742700
e-mail : ubeyd11@yahoo.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Fırat Üniversitesi/ Makine Öğretmenliği Bölümü	1997
Lise	Mehmet Akif Ersoy Teknik Lisesi	1992
Yabancı Dil	İngilizce	

Hobiler

Bilgisayar teknolojileri, kitap okumak