

T.C.
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

METAL VE SERAMİK MALZEMELERDE AŞINMA

(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

YÖNETEN
Yard.Doç.Dr. Ali Arslan KAYA

HAZIRLAYAN
İsmail YILMAZ

İSTANBUL
1995

I C İ N D E K İ L E R

TESEKKUR.....	I
ÖZET.....	II
ABSTRACT.....	III
BÖLÜM 1. GİRİŞ VE AMAC.....	1
BÖLÜM 2. AŞINMA VE AŞINMA MEKANİZMALARI.....	4
2.1. Aşınmanın Tanımı.....	4
2.2. Aşınmanın Temel Mekanizmaları.....	5
2.2.1. Abrasiv Aşınma.....	5
2.2.1.1. Sertlik Ve Aşınma.....	6
2.2.1.2. Abrasiv Aşınmanın Kontrolü.....	11
2.2.2. Adhesiv Aşınma.....	12
2.2.2.1. Sünek Ve Sıddetli Aşınma.....	15
2.2.2.2. Sürtünme Aşınması.....	17
2.2.2.3. Adhesiv (Yapışma) Aşınmasının Kontrolü..	18
2.2.3. Temas Yorulması.....	19
2.2.3.1. Yuvarlanma Yorulması.....	19
2.2.3.1.1. Yuvarlanma Aşınmasının Kontrolü.....	21
2.2.4. Erezyon Aşınması.....	23
BÖLÜM 3. AŞINMAYI ETKİLEYEN FAKTÖRLER VE AŞINMA ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ.....	25
3.1. Aşınmayı Etkileyen Faktörler.....	25
3.1.1. Malzemenin Kristal Yapısının Etkisi.....	25
3.1.2. Malzeme Sertliğinin Etkisi.....	25

3.1.3. Elastisite Modülünün Etkisi.....	27
3.1.4. Deformasyon Davranışının Etkisi.....	29
3.1.5. YüzeY Pürüzlülüğünün Etkisi.....	30
3.1.6. Aşındırıcının Etkisi.....	31
3.1.7. Ortamın Etkisi.....	32
3.1.8. İşletme Koşullarının Etkisi.....	34
3.2. Aşınma Deneyleri Ve Ölçüm Yöntemleri.....	36
3.2.1. Ağırlık Farkı Metodu.....	39
3.2.2. Kalınlık Farkı Metodu.....	41
3.2.3. İz Değişimi Metodu.....	41
3.2.4. Radyoizotop Metodu.....	41
BÖLÜM 4. AŞINMAYI ÖNLEYİCİ YÖNTEMLER.....	42
4.1. Malzeme Yüzeyini Sert Bir Tabaka İle Kaplayarak Aşınmayı Önleme.....	42
4.1.1. Seramik Kaplama.....	42
4.1.1.1. Seramik Kaplama Yöntemleri.....	47
4.1.1.1.1. Plazma - Sprey Yönteminin Özellikleri.	49
4.1.1.1.2. Püskürtme Parametrelerinin Kaplama Özelliklerine Etkisi.....	51
4.1.2. Krom Kaplama.....	54
4.1.2.1. Krom Kaplamanın Yapılışı.....	56
4.2. Daha Sert Malzeme Kullanarak Aşınmayı Önleme.	56
BÖLÜM 5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	60
5.1. Deneyde Kullanılan Malzemeler.....	60
5.2. Mikro Sertlik Deneyleri.....	61

5.3. Aşınma Deney Aparatı ve Aşınma Deneyleri....	61
BÖLÜM 6. DENEY SONUÇLARI VE İRDELENMESİ.....	64
6.1. Mikro Sertlik Deney Sonuçları.....	64
6.2. Aşınma Deney Sonuçları.....	67
GENEL SONUÇLAR.....	75
KAYNAKLAR.....	76
ÖZGEÇMİŞ.....	79



TESEKKUR

Bu tezi hazırlamamda çalışmalarımı yönlendiren ve her konuda yardımcı olan, saygıdeğer hocam Yrd. Doç. Dr. Ali Arslan-kaya'ya, deney numunelerinin bulunması ve deneysel çalışmalarımda yardımcı olan, I.T.U. Kimya-Metalurji Fak. dekan yardımcısı Prof. Dr. Niyazi Eruslu'ya ve M.U. Teknik Eğitim Fak. Metalurji Bölümü Öğr. Görv. Serdar Salman'a, tercümemde yardımcı olan M.U.T.E.F. Metalurji Bölümü Ars. Görv. Ramazan Samur'a, tez çalışmalarım sırasında hoşgörülerini ve yardımlarını gördüğüm Haydarpaşa End. Mes. Lis. Metal İşleri Bölümü öğretmenlerine ve emeği geçen tüm kamu kurum ve kuruluşlarına teşekkür ederim.

İsmail YILMAZ

Ocak, 1995
İSTANBUL

ÖZET

"Metal Ve Seramik Malzemelerde Aşınma" konulu bu tez, literatür taraması ve deneysel çalışma şeklinde hazırlanmıştır.

Birinci bölümde aşınma olayının endüstrideki önemi üzerinde durulmuş ve tezin amacı anlatılmıştır.

İkinci bölümde, aşınmanın tanımı ve aşınma mekanizmaları incelenmiştir. Aşınma mekanizmaları genel olarak abrasiv aşınma, adhesiv aşınma ve yorulma aşınması olarak ele alınmış ve bu aşınma mekanizmalarının genel nitelikleri belirtilmiştir.

Üçüncü bölümde malzeme kristal yapılarının, sertliklerinin, elastik modülünün, deformasyon davranışının ve yüzey pürüzlülüğünün aşınmaya etkileri incelenmiştir. Aşınma deneylerinin çeşitleri ve ölçüm yöntemleri anlatılmıştır.

Dördüncü bölümde, aşınmayı önleyici yöntemlerden plazma-sprey yöntemi ile metal yüzeylerinin aşınmaya karşı seramik ile kaplanması, krom kaplama ve aşınmaya karşı dayanıklı alaşımlar teorik olarak verilmiştir.

Besinci ve altıncı bölümde "crossed-cylinder" tabir edilen bir aşınma test aparatının hazırlanması, ve bununla yapılan testler ele alınmıştır. Bu testlerde, paslanmaz çelik, karbon çeliği ve dökmedemir malzemelerden hazırlanan numuneler söz konusu yeni aparat ile aşınmaya tabi tutulmuştur. Bu malzemelerin aşınma davranışları incelenerek "crossed-cylinder" test cihazının performansı değerlendirilmiştir.

ABSTRACT

This thesis titled "Wear in Metal and Ceramic Materials" has been consisted of two main parts, a literature review and an experimental work.

In the first chapter, existing background information has been concisely summarized. In addition, the importance of wear in the industry has been emphasized and the purpose of this work has been stated.

In the second chapter, the mechanisms and description of wear have been considered. Among the wear mechanisms particular emphasis has been given to abrasive wear, adhesive wear and fatigue wear, and the general features of these mechanisms have been reviewed.

Chapter 3 introduces the effect of material properties such as crystalline structure, hardness, elastic modulus, deformation characteristics and surface roughness on the wear behavior. This chapter further comprises the test and measurement methods of wear.

In Chapter 4, the basic theory of some particular methods of wear protection, namely ceramic and chrome coating by Plasma Spray technique has been given in addition to a brief introduction on wear resistant alloys.

In Chapters 5 and 6, the preparation of a wear test apparatus called "crossed-cylinder" and the wear tests conducted by it have been considered in some detail. In these tests, samples of stainless steel, carbon steel, and cast iron were subjected to wear by using the new apparatus. The wear behaviors of the tested samples were examined in order to assess the performance of "crossed cylinder" test apparatus.

BÖLÜM 1. GİRİŞ VE AMAC

Aşınma, makine parçalarının çalışma ortamındaki mekanik kimyasal, elektro-kimyasal yada ısı etkileri nedeniyle ile ağırlık, şekil ve ölçü değişikliğine uğraması olarak tanımlanmaktadır.

Günümüzde sanayinin karşılaştığı en büyük sorunlardan biride, aşınma olup , her yıl zamanından önce aşınan veya kırılan makina parçalarının toplam değeri büyük rakamlara ulaşmaktadır. Bu durum, tesislerin ve makinelerin çalışma verimlerinin azalması, daha fazla enerji harcanması ve yedek parça kullanım oranının artması nedeniyle işletmelerin zarar etmesine yol açmaktadır.

Bazı araştırmacılar (1) , aşınmanın dört ana tipte olduğunu öne sürmektedirler. Bunlar, çizerek aşınma (abrasion), yapışarak aşınma (adhesion), korozyon (kimyasal etkilerle reaksiyonlar sonucu aşınma) ve yüzey yorulması olarak tanımlanmaktadır. 1982 yılında Kragelski ve Marchenko (2) , aşınma mekanizmalarına oyuklanma aşınması (fretting), kavitasyon (hareket halindeki sıvıların meydana getirdiği aşınma) ve erozyon (metal olmayan partiküllerin, metal yüzeyindeki bir noktaya belirli bir hız, belli bir açı ile çarpmasından doğan aşınma) koşullarında meydana gelen aşınma türlerini de ilave etmişlerdir. Eyre (3) , endüstriyel koşullardaki aşınma mekanizmalarını gösteren çalışmaların da şu sonuçları vermiştir:

Abrasiv: %50 Adhesiv: %15 Erozyon: %8
Fretting: %8 Kimyasal: %5 Diğerleri: %14

Yine 1982 yılında çok yeni olarak, Misra ve Finnie (4) ve Cleave (5) endüstriyel koşullarda aşınmanın en azından bes katagoriye ayrılabilceğini sergilediler. İki ana aşınma mekanizmalarından abrasiv aşınmanın, bütün aşınma problemlerinin %50'sini ve adhesiv ve oksidasyon aşınmasının %15'ini kapsadığını öne sürmüşlerdir.

1984 yılında Kanada Ulusal Araştırma Birimi, endüstriyel uygulamalar içinde, aşınmanın en büyük miktarını abrasiv aşınmanın oluşturduğunu rapor etmiştir. Bu rapor, sanayileşmiş ulusların gayri safi milli hasılasının %0.5 - %1'ini aşınma zararının yutmakta olduğunu sergilemektedir.(6)

Çalışma ortamındaki şartlardan dolayı ortaya çıkan bu problemin önüne geçmek için aşınan makine parçalarının yüzeylerinin neden aşındığının doğru olarak belirlenmesi ve bu aşınma faktörlerine dayanıklı bir malzeme ile kaplama yapılarak veya yüzey sertleştirilmesiyle parçaların çalışma ömürlerinin uzatılması gerekmektedir. Özellikle bakım sektöründe çalışan teknik elemanların başlıca görevi, işletmelerinde aşınma etkisinin en yoğun olduğu makine parçalarını saptayıp bu parçaların dayanıklılığını arttırmak için önlem almak olmalıdır.

Bu çalışmada genel olarak aşınma mekanizmaları, aşınma mekanizmalarını etkileyen faktörler, aşınmayı önleyici yöntemler incelenmiştir. Son olarak da özellikle endüstriyel uy-

gulamalara yakın olarak hazırlanmış "Crossed- Cylindir" tabir edilen yeni bir aşınma deney aparatı yapılarak çeşitli metalik malzemelerin aşınma davranışları karşılaştırma suretiyle incelenmiştir.



BÖLÜM 2. AŞINMA VE AŞINMA MEKANİZMALARI

2.1. Aşınmanın Tanımı

Aşınma, malzemenin yer değiştirmesi ile (kayma) veya - serbest aşınma partükülleri nedeni ile malzemenin şekil veya kütesinin değişmesi sonucu meydana gelir.(7) Alman DIN normuna göre (DIN 50320-1979) aşınma, "Kullanılan malzemelerin başka malzemelerle (katı,sıvı,gaz) teması neticesinde mekanik etkenlerle yüzeyden küçük parçacıkların ayrılması sonucu meydana gelen ve istenilmeyen yüzey bozulması."(8) olarak tanımlanır. Bu tanımdan da anlaşılacağı gibi, makina parçalarının yüzeylerinin parlatılması,taşlanması v.b işlemler aşınma olayı olarak ele alınmamalıdır.Cünkü;bu işlemlerdeki yüzey değişiklikleri uygulayıcı tarafından bilinerek ve faydalı bir amaç için yapılmaktadır.

Birbirleriyle temasta olan malzeme yüzeyleri oksit filimleri veya yağlayıcılar ile korunsalar bile,mekanik yüklemeler altında oksit tabakasının veya yağlamanın bozulması,iki yüzeyin birbirlerine doğrudan temasına sebebiyet verebilir.Bu temas malzemenin çalışma koşullarındaki ömrünü ve performansını sınırlayan aşınmaya neden olur.Aşınma bir yüzeyden diğer yüzeye malzeme transferi veya aşınma parçalarının oluşumu neticesinde ortaya çıkan malzeme kaybı şeklinde de gerçekleşebilir.(9)

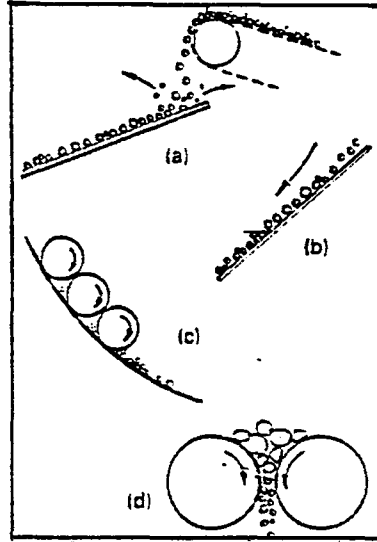
2.2. Aşınmanın Temel Mekanizmaları

Aşınma mekanizmaları genellikle adhezyon, abrazyon ve temas yorulması olmak üzere üç çeşittir ve bu mekanizmalar genelde malzeme yüzeyinden bir parçacığın (partikülün) uzaklaştırılması ile gerçekleşir. Korozyon ve erozyon gibi etkenler malzemeyi etkileyerek zararını siddetlendirebilir. Aşınma mekanizmalarının karakteristik özellikleri aşağıda tanımlanarak, özetlenmiştir.(10)

2.2.1. Abrasiv Aşınma

Abrasiv aşınma, bir yüzey ile daha sert bir kütle veya yüzeyin etkisinden meydana gelir. Hasar, bir kesme veya çizme davranışını içerir. Bu aşınma mekanizması, bir yüzey üzerinde taneciklerin hareketini (iki kütle abrazyonu), iki hareketli yüzey üzerinde sert taneciklerin hareketi (üç kütleli abrazyon) veya pürüzlendirilmiş bir yüzey üzerinde karşı bir yüzeyin hareket veya etkisini içerebilir.

Pratikte abrazyon çoğunlukla ayrı başlıklar altında göz önünde bulundurulur. Bunlar, oyma, sıyırma, düşük gerilmeli abrazyon, yüksek gerilmeli abrazyon v.b(şekil 2.1), fakat bu teşhisler, bütün temel benzer abrasiv aşınma cinslerinden daha etkindir.(10)

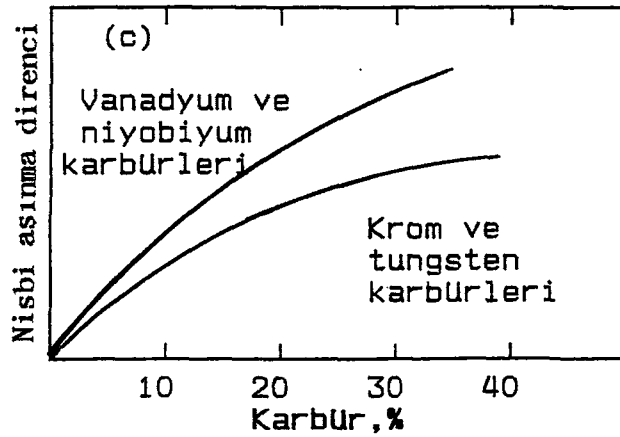
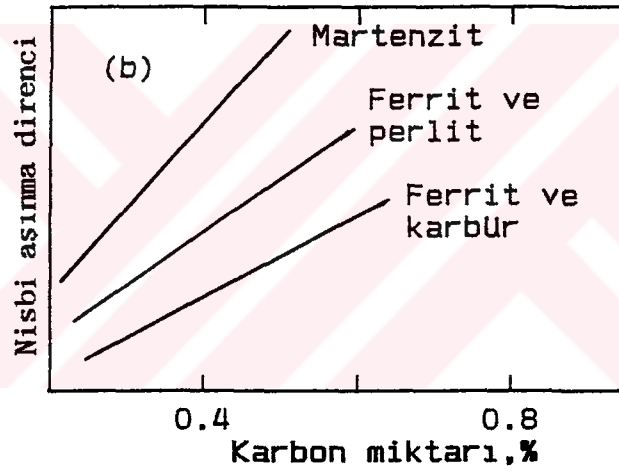
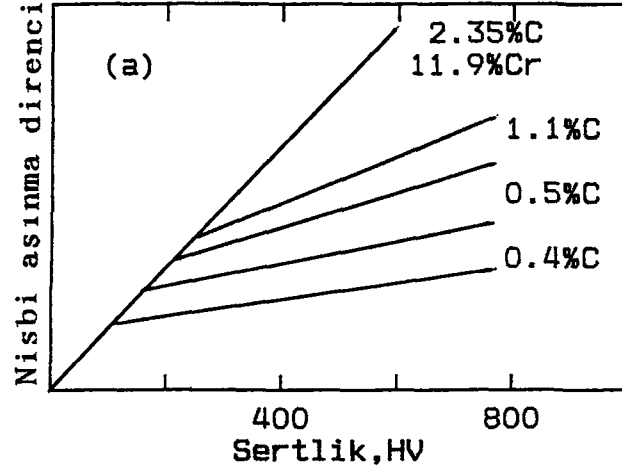


Sekil 2.1 Abrasiv aşınma çeşitleri
a)Oyma b)Düşük gerilmeli abrazyon c)Yüksek gerilmeli abrazyon d)Uç kütleli abrazyon.(10)

Bu koşullara maruz bırakılan yüzeylerde, taneciklerin ekseriyeti yüzey üzerinde basit haddelme ve kayma ile küçük hasara sebep olurlar. Taneciklerin hücum açısı sadece 80-120 derece arasında aşınma hasarını önemli derecede yükseltir.

2.2.1.1. Sertlik Ve Aşınma

Aşınma oranının sertlikle ters orantılı olduğunu düşünmek mümkündür. Fakat her zaman abrasive aşınmanın pratik sonuçları, aşınma oranının sertlikle ters orantılı olduğunu doğrulamaz. Basit mikroyapılı malzemelerde, sertlik ve aşınma oranları arasındaki ilişkinin doğru orantılı olabileceği gösterilmiştir. Örneğin, ticari saf metallerde sertlik ve aşınma oranları arasında ki ilişki doğru orantılıdır. Çok karışık yapıları malzemelerde (Bir çok mühendislik almasımları), sertlikle aşınma arasında her zaman doğru bir orantı yoktur. Çeliklerde aşınmanın sertlikle ilişkisi, karbon miktarı ve matrisin yapısı ile etkilenir(10).(Sekil 2.2)



Sekil 2.2. Çeliğin, a) Sertlik b) Karbon c) Karbürler, değişimine bağlı olarak nisbi aşınma direnci. (10)

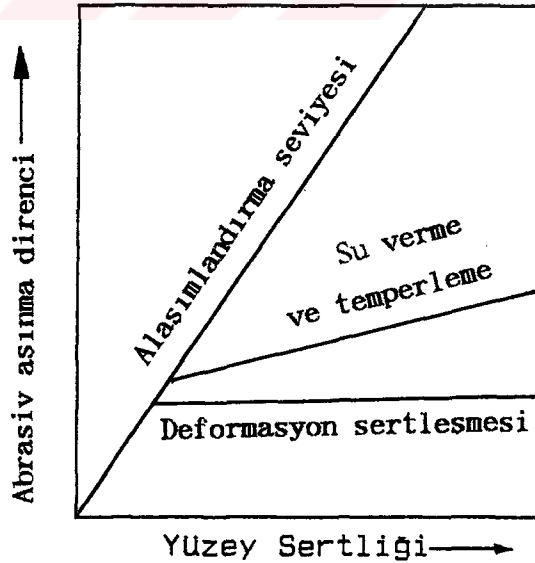
İkinci fazların yapı içinde var olmaları bu nedenle önemlidir. Özellikle karbürler fakat bununla beraber boritler, nitritler ve fosfatlar abrazyon direncini elde etmek için başarıyla ve yaygın olarak kullanılmaktadır. Alasımın abrazyon direncinin artması, ikinci fazların yapı içerisindeki miktarına bağlıdır.(10)

Bir çok malzeme,mümkün olan belirlenmiş şekillere farklı yollarla ulaştırılabilir.Bundan dolayı çeliğin abrazyon direncinin iyileşmesi, sayet matris alasımla sertleştirilirse , ya su verme ve temperleme veya çökeltme sertleşmesiyle elde edilecek aynı sonuçlardan çok daha büyük olabilir (Şekil 2.3). Bundan başka, dökmedemirde, matrix yapısı sabit tutularak, grafit dağılımının değişimiyle sertlik değiştirilebilirse, alasımın hacim sertliğindeki azalmayla aşınma direnci ıslah edilebilir. Bu sonuçlar, sadece kullanılan özel test sonuçlarına isnat edilirken, onlar sadece sertliği göstermez. Bununla beraber onu elde etme yöntemide önemlidir.

Sertlik göz önünde bulundurulduğunda; aşınma kütlesi ve diğer yüzey arasındaki fark önemlidir. Tablo 2.1 örneksel sertlik veri listesidir.

Tablo 2.1. Bazı aşındırıcı ve mineral fazlarının sertlikleri.

Hammadde/mineral sertliği,HV		Malzeme fazlarının sertlikleri	
Kömür	32	Ferrit	70-200
Alçı taşı	36	Perlit	250-460
Kirec taşı	110	Austenit	170-350
Mermer	140	Martenzit	500-1000
Necef taşı	140	Bazalt(mihak taşı)	700-800
Kok kömürü	200	Sementit	840-1100
Demir cevheri	470	Krom karbürleri	1200-1800
Cam	500	Alüminyum cevheri	2000
Feldspar	600-750	Niyobiyum karbürleri	2000
Maden tozu	770	Tungsten karbürleri	2400
Kuvarst	900-1280	Silikon karbür	2600
Zımpara maddesi	1800	Vanadyum karbürü	2800
		Bor karbürü	3700
		Elmas	10000



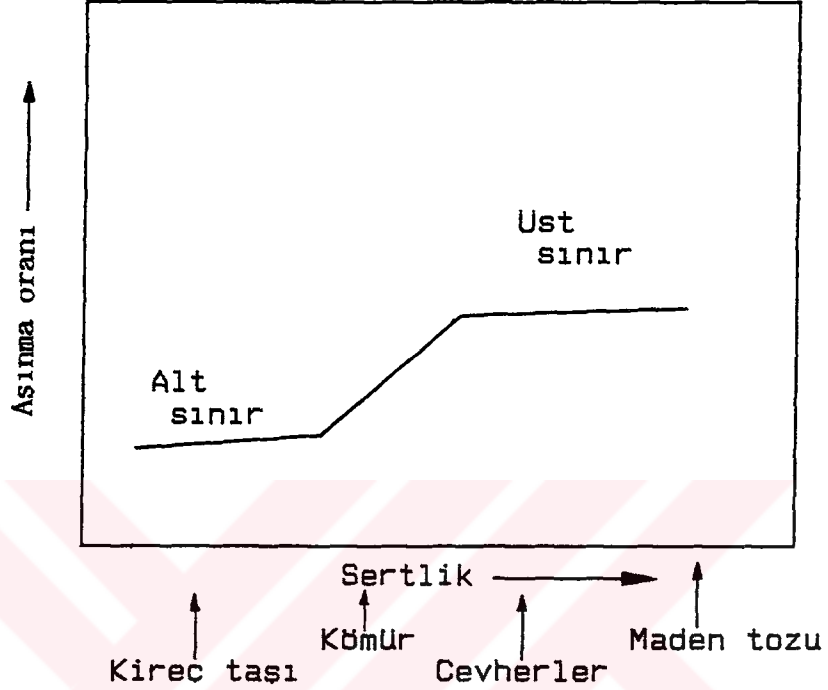
Sekil 2.3 Sertlik arttımanın çeşitli metotları için aşınma dirençleri. (10)

Bir yüzeyin sertliğinin aşındırıcı yüzeyinkine oranı 0.5 - 1.3 aralığında arttığı taktirde bu yüzeyin aşınmasında kademe olarak azalma eğilimi gösterir. Aşınma oranı ve sertlik eğrisi genellikle süreksizlikler gösterir. Şekil 2.4'de bu ilişki sematik olarak verilmiştir.

Birçok metalik yüzeyler, aşınma esnasında sertleşme gösterir. Sertliğin rolü, aşınmış numunelerde ölçülmüş sertlikler incelenerek tartışılabilir. Aşınmadan sonra malzemelerin sertlikleri oldukça farklı olabilir.

En anlamlı örnek, ostenitik manganez çeliği olabilir ki 200 HV'lik bir başlangıç sertlik değerinden, 600 HV'lik bir çalışma sertleşmesine çıkabilir. Hakikaten çalışma esnasında ostenitten martenzite dönüşüm için yeterli çarpma yükü varsa, bu malzeme abrasif koşullara karşı iyi direnç gösterir.

Bu gözlemlerde, sertliğe işaret edilmesi gözden kaçırılmamalıdır. Genellikle aşınmamış malzemeler üzerinden ölçülmüş olsa bile önemi tartışılabilir. Tercihen sertlik bir malzemenin abrazyon direncinin yeterliliğini yalnız başına belirlememeli. Bununla beraber, diğer özelliklerle birlikte bir etkiye sahiptir. Mikro yapı ve bileşim önemlidir. Üretimdeki farklılıklar, aşınma direncini, malzeme yapısı üzerindeki etkileri nedeniyle değiştirebilir. (10)



Sekil. 2.4. Mineral sertliğine karşı malzemenin aşınma oranı değişimi.(10)

2.2.1.2. Abrasiv Aşınmanın Kontrolü

Malzemelerin abrasiv aşınmaya karşı dirençli olması istendiğinde, çarpmalara karşı yeterli tokluğun ve aşınma mekanizmasında yüklenmiş gerilmelere karşı yeterli mukavemetin, bulunması gerekir. Abrasiv aşınma için ideal yapı, sert bir matrix ile (örneğin; martenzit) muntazam olarak dağılmış sert tanecikler (örneğin; karbürler)'den oluşabilir. Büyük bir miktarda çarpma yükü varsa; tok bir matris (örneğin; beynit) aşınma esnasında, yapıdaki kararsız ostenitin dönüşüme uğrayabileceği de unutulmamalıdır.(10)

Bu çift gereksinim için; mukavemet ve tokluk arasında bir uzlaşma istenir.

ABRASİV ASINMA ;

* Abrasyon; bir yüzey ile daha sert bir kütle veya yüze - yin etkileşimini içerir.

* Abrasyon genellikle farklı terimlerle tanımlanır. Bunlar; oyma, sıyırma, çizme v.b, fakat bu tanımlama, benzer olan hasar mekanizmalarının hepsinin içindeki şiddetli olan aşınma çeşitleridir.

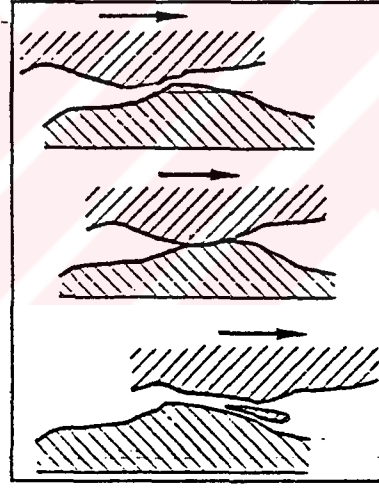
* Genel olarak, aşınma direnci sertlikle basit bir şekilde ilişkili değildir. Özellikle kompozisyon ve yapı gibi diğer faktörler, aşınma direncinde tesirlidir.

* Aşınma dirençli malzemelerin seçiminde, normal olarak mukavemet ve tokluk gereksinimi vardır. (10)

2.2.2. Adhesiv Aşınma

Adhesif aşınma teorisi başlangıç olarak, kristalli (metalik) katı yüzeyler temel alınarak kuruldu. Kristalli (metalik) katı yüzeyler görünüme göre düzgün olmasına rağmen, mikroskobik bir ölçek üzerinde pürüzlüdür ve sivrilikler ve vadilerin bir dizisinden ibarettir. Bu iki yüzey birlikte olduğu zaman, sadece zıt düzlemsizliklerde temas ederler (şekil 2.5). Bu düzgün olmayan temas alanı, itibari temas alanından ⁻⁴10 defa daha küçük olabilir. Bundan dolayı hafif bir yük uy-

gulansa bile yüzeyler normal olarak bölgesel büyük basınçlara ve sıcaklıklara maruz kalır. Temas halindeki bir veya iki malzemenin elastik sınırı aşılabılır. Uygulanan yük kafi olarak arttırılincaya kadar gercek temas alanınınin artması ile, düzgün olmayan temaslar plastik deformasyona götürür. Plastik akma, koruyucu yüzey filimlerini catlatır ve metallerin yeni yüzeylerde temasa girmesine neden olur. Bu durum kaynağa sebep olabilir ve yüzeylerin nisbi hareketi ile birlesme yerlerinden kopmaya yüz tutar.(10)



Sekil 2.5 Temas düzgünlükleri.(10)

Kayma devam ettiğinde , bu düzgün olmayan kaynak ve birlesme yerlerinin zincirleme olarak kopması tekrarlanır.Sayet kopma ilk birlesme arayüzeyinde olursa , en az hasar olur. Her

halukarda kaynaklarda çalışma sertleşmesi olursa (metallerde müsterek olarak), arayüzeyin arkasında kırılma muhtemelen daha fazla oluşur ve temas yüzeylerinin bir veya ikisinin küçük parçaları dışarıya fırladığından hasar oluşur. İlave olarak, üretilmiş başı bos partüküller, abrazyonla aşınmaya kendi kendine iştirak eder.(10)

Sürtünme ve aşınmanın doğru olarak ilişkili olduğu iddia edilmektedir. Fakat tablo 2.2 bunun böyle olmadığını göstermektedir. Yüksek sürtünme ve düşük aşınma, karşılıklı olarak ilişkilendirilebilir. Ne sürtünme ve ne de aşınmada; malzemelerin mühendislik sistemleri ile belirlenen değerleri, bir malzemenin asli özelliği değildir. En basit deyimle, bir tek aşınma çiftindeki sürtünme katsayısı değişimleri, baskın aşınma mekanizmasındaki muhtemel değişimlere işaret edebilir. Bu sebepten dolayı; sürtünme sonuçlarından, aşınma icrasından türetilmiş değerler bulmaya teşebbüs etmek makul değildir.

Tablo 2.2 Farklı malzemeler için aşınma ve sürtünme verileri.(10)

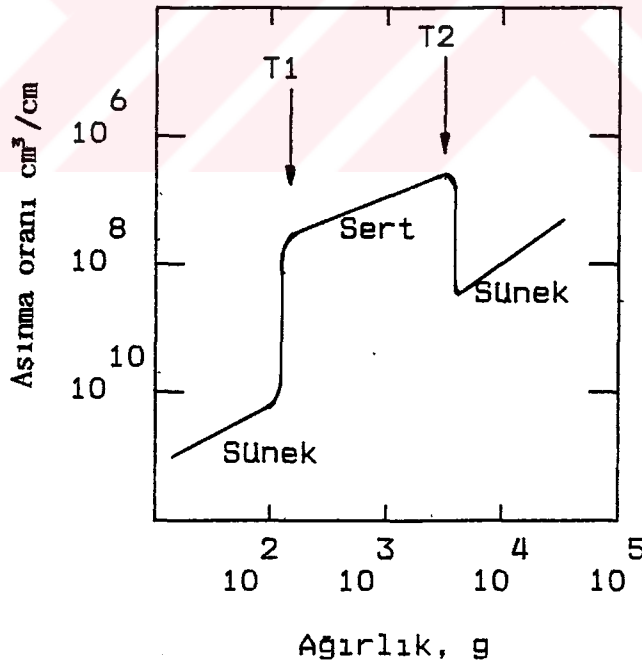
Malzeme	Aşınma oranı	Sürtünme emsali
Yumuşak çelik	$1.57 \cdot 10^{-7}$	0.62
60/40 Kurşunlu pirinc	$2.4 \cdot 10^{-8}$	0.24
PTFE	$2.0 \cdot 10^{-9}$	0.18
Stelit(kobalt ve krom)	$3.2 \cdot 10^{-10}$	0.60
Ferritik paslanmaz çelik	$2.7 \cdot 10^{-11}$	0.53

Tungsten karbür	$2.0 \cdot 10^{-11}$	0.35
Polietilen	$3.0 \cdot 10^{-12}$	0.65

Not: Yuk 400g , hız 180 cm/s. Malzemelerin sertleştirilmiş takım çeliklerine karşı çalıştırılması , yumuşak çelik ve tungsten - karbür hariçtir.

2.2.2.1. Sünek Ve Şiddetli Aşınma

Yüklenmede veya kayma hızındaki değişimlerden , aşınma oranı sonucunda göze çarpan adhesive (yapışma) aşınma geçişleri kaydedilir. Bilindiği gibi hasarın iki farklı düzeni vardır. Bunlar sünek ve şiddetli aşınmalardır. Çelik için değişimler şekil 2.6'da gösterilmektedir.(10)



Sekil 2.6 Çelik için aşınma davranışı değişimi.(10)

T1'in altında aşınma oranı düşüktür ve sünek aşınmaya uyar.T2'de aşınma oranı büyük ölçüde artar , şiddetli aşınma başlar ve bu yüksek oran , sünek aşınmanın diğer bir periyodu , T2'de ani olarak düşünceye kadar devam eder.(10)

Sünek aşınma ; oksitlenmiş bir yüzeyin varlığına bağlıdır ki metalleri temiz olarak muhafaza eder ve aşınma işlemi bu yüzeyden oluşan metalik olmıyan ve aşınmayla kopmuş parçucukları ihtiva eder. Koruyucu oksit filimleri ovalama veya kayma esnasında üretilir. Bundan dolayı bu koşullarda istenilen oksit oluşumu genellikle sünek aşınma rejimi içindedir. Oksit tanecikleri; sistem üzerinde niteliklerine bağlı olarak müstakil şekilde veya yağlayıcı veya aşındırıcı olarak hareket edebilirler.

Yüzeyler üzerinde yük yeterince yüksek olduğunda , oksit tabakaları içinde ince çatlaklar şekillenir ve bunlar destekleyici malzemenin plastik akmasını takiben olabilir ve bu şiddetli aşınma rejiminin doğmasına sebep olur.Bir yüzeyden diğerine önemli malzeme transferi vardır. Metalik parçacıklar koparılır ve hasar yumuşak çelikteki kadar büyük olabilir.

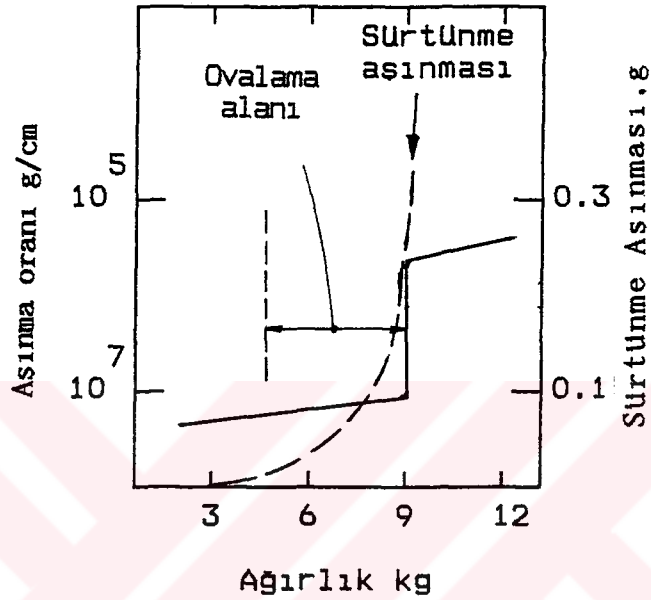
Bu işlem içinde en az iki özel durum vardır: Aşınma yüzeylerinden metal parçacıklarının uzaklaştırılması ve aşınma taneciklerinin oluşumu. Bununla beraber transfer edilmiş malzemenin oksitlenmesi şeklinde üçüncü bir durumda ortaya çıkabilir.(10)

Kuru veya mükemmel olmiyan kosullarda kayma esnasında. sürtünmeyle yüksek sıcaklıklar üretilebilir ve aşınma oranında başka bir değişime götürebilir. Yüksek sıcaklıklar ; siddetli yüzey sertleşmesi ve kayma elemanlarında muhtemel yapısal dönüşüme sebep olabilir. İlave olarak yükseltilmiş sıcaklıklar yüzey üzerinde oluşan oksidin niteliğine tesir edebilir. Bu değişimler sonucu , çok defa bir malzeme deformasyona çok dirençlidir ve üzerindeki koruyucu bir yüzey tabakası yeniden oluşabilir. Şayet bu olursa , aşınma oranı sürekli aşınmaya uygun bir seviyeye tekrar düşer. (10)

2.2.2.2. Sürtünme Aşınması

Kaymanın , başlangıç durumu süresince , özellikle kullanılmayan elemanlar , metal yüzeyleri temizlemeye meyillidirler. İnce yüzey koruyucu filmi olması durumlarında özel dikkat gösterilerek hasardan sakınılmalıdır. Bu sürtünme süresiz bir durum olarak bilinir ve çeşitli kosullar altında çalışan birçok malzeme için gözlenir. Runnig-in (sürtünme) istenmeyen etkiler oluşturabilir. Çünkü, oksitlenmiş veya yağlanmış yüzey tabakası çabuk olarak oluşturulur ve kabul edilebilir bir aşınma oranına götürür. Her zaman bazı çalışma kosulları altında siddetli bir aşınmanın oluşumu ovalama (kazıma) aşınması olarak bilinir. Bu yüzey pürüzlülüğü ile karakterize edilebilir. Dar , yayılmamış band olarak baslar ve yavaş yavaş ovalama yüzeyi etrafında yayılır. Elemanlar : hemen siddetli/yumusak geçişin altında (şekil 2.7) zayıf yağlama kosulları al-

tında ve yüklerden dolayı , ovalama aşınmasına maruz kalması sonucu büyük risk altında kalacağı gözükmektedir.(10)



Sekil 2.7. Çeliğe karşı gri dökmedemir için ovalama (kazıma) alanı.(10)

2.2.2.3 Adhesiv (Yapışma) Aşınmasının Kontrolü

Sayet zıt yüzeylerin doğrudan ve tam teması önlenemezse yapışma (adhesive) aşınma yoktur. Oksitler ve absorbe edilmiş atom tabakaları, yüksek aşınma oranları sonucu kasıtlı olarak taşındığı zaman yüzey filimleri oldukça önemlidir. Malzemelerde oksit tabakasının kolay oluşabilmesi, bazı koşullarda arzu edilebilir. Fakat, gerçekten kayma hareketinin filimleri filimleri bozmaya meyletmesi durumu karmaşık hale getirir. Malzemelerin yüksek elastik modüllü olması, aşınma di-

rencinin yüksek olması için gereklidir. Her zaman, sertlikler gibi, aşınma uygulamasında basit bir yolla malzemelerin modüllerini eşitleme zordur. Çok önemli özelliklerden biri de deformasyon sertleşmesi kabiliyetidir.

Malzemeler pratikte genellikle , kontrol edilerek veya en az yapışma (adhesive) aşınması temeline dayanarak , uç yaklaşımdan biri veya birkaçıyla seçilir:

1- Doğrudan metal/metal temasını önlemek için yağ filmi kullanımıyla yağlama. Her halukarda su vurgulanmalıdır ki, hidrodinamik yağlama her zaman tamamen mümkün değildir ve eş parça yüzeylerinin bazı temasları kaçınılmazdır.

2- Zıt yüzeyler için malzemelerin seçiminde, karşılıklı çözülme malzemelerin kullanımı, diğer zorlamalardan dolayı her zaman mümkün olmayabilir.

3- Yüzeyin kaplanması veya yüzey işlemi uygulanma durumlarında , bu tekniklerin başarılı olması, ana metale benzemeyen ve reaktif olmayan bir engel tabaka oluşturmalarına bağlıdır. Bazı kaplamaların içinde tabii olarak porozitenin bulunması , yağ için bir hazne vazifesi gördüğünden, yağlama periyotlarında yağa şiddetli ihtiyaç olduğundaki durumlarda daha fazla fayda sağlayabilir. (10)

2.2.3. Temas Yorulması

2.2.3.1. Yuvarlanma Yorulması

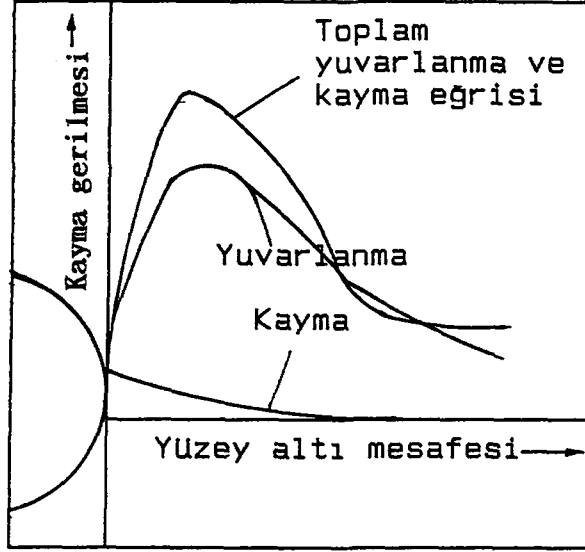
Temas yorulması (Yüzey teması olarak bilinen) bilyalı ve küresel yataklar ve dislilerdeki gibi yuvarlanma yüzeylerinde

olusur. Yuvarlanma esnasında yüzeyler yorulma koşullarına maruz kalır. Şayet mukavemet sınırı asılırsa, neticede yorulma işgörmezliği vuku bulur. Çatlaklar malzeme içinde yayılır ve bunlar malzemenin ayrılan parçalarıyla birleşebilir daha sonra dökülür. Yorulma; bu koşullar altında, normal bir yorulma işlemiyle neticelenir.

Adhesive (yapışma) ve abrasif (cizerek aşınma) aşınma; temas yüzeylerinden malzeme partüküllerinin kaybını ihtiva eder. Şayet, yüzeyler ayrı olarak muhafaza edilebilirse (ve cizici tanecikler içeri alınmadığında) aşınma meydana gelmez. Temas yorulması bu ölçütlerin hiçbirine uymaz. Hasar, bir kuluçka devresinden sonra ani olarak meydana gelir. Yüzeylerin doğrudan teması gerekli bir koşul değildir.

Hasar bölgesi, azami kayma gerilemelerinin durumuyla belirlenmelidir (Şekil 2.8) fakat pratikte, kayma gerilmeleri hasarına malzeme içindeki kusurların var olması önemli ölçüde etki eder.(10)

Temas yorulmasıyla oluşan aşınma hasarı, bir gerilme altında, bilinen devir sayılarıyla belirlenen faydalı ömüre dayanarak değerlendirilir. Çatlağın malzeme yüzeyinde veya içinde başlamasına bağlı olarak, temas yorulması iki baslık altında sınıflandırılabilir. Karsılıklı temasta sert unsurlarla yuvarlanma ve kaymanın varolması ilk bahsedilen durumun oluşma eğilimini gösterir. Hasarın bu çeşidi karıncalanma (pitting) olarak bilinir ve oluşan enkaz tanecikleri genellikle üçgen



Sekil.2.8. Yüzeyden aşağıdaki mesafelerde kayma gerilmesinin değişimi. (10)

şeklinde biçimlenir. Hasarın, yüzeyden aşağıda meydana gelmesi genellikle boşluklar, kalıntılar ve sert tanecikler tarafından önlenir. Çatlakların yüzeye paralel veya yüzeyin altında yayılması ve ikincil çatlakların görünmesi ki sayet onlar birleşirse bağlanmamış tanecikler artarak dökülebilirler. Malzemenin yüzeyinin sertleşmesi alışılmışın dışında bir durum değildir. Sayet yeterli sertleşme derinliğine ulaşılammışsa, çatlak malzeme yüzeyi ile çekirdeği arasındaki ara yüzeyinde bölgeselleşir.

2.2.3.1.1. Yuvarlanma Yorulmasının Kontrolü

Temas yorulma aşınmasında belkide en büyük tek faktör yüküdür, küçük bir azalma bile parça ömrünün oldukça artmasına

sebepe olabilmektedir. Malzeme özellik ilişkilerinde, sertlikteki bir artış karıncalanma (pitting) direncini arttırabilir. Dahası yüzeyde başlayan yorulmada, özellikle yüzeyin son bitim işlemi belirleyici bir faktördür. Her zaman için,sertlikteki büyük bir artış yüzeyin islenmesini zorlaştırır. Bu durum yapışma (adhesif) aşınma hasarının oluşmasındaki başlangıç durumunda istenen bir özelliktir. Bundan dolayı uzlaşma gereklidir ve bu genelde, biri diğerinden daha az yumuşak olan temas yüzeylerinden birinin imalatını içerir. Alt yüzeyin yorulmasında sert malzemeler daha uygundur.

Yağlama,temas yorulması üzerinde küçük bir etkiye sahiptir.Yağlama her zaman için, yapışma (adhesif) aşınması ve korozyon etkilerinin bertaraf edilmesi, bölgesel gerilme yığılmalarının yatıştırılması ve yüzeylerin kirsiz ve düzgün olarak muhafazasıyla,malzemenin yorulmasının azaltılmasında yardımcı olur.

Temas Yorulması;

* Yorulma, bir kulucka devresinden sonra ani olarak meydana gelir ki bu esnada küçük bir verim kaybı vardır. Karşı yüzeylerin doğrudan temas etmesi gerekli değildir. Bu özelliği ile temas yorulması, çizerek(abrasif) ve yapışarak (adhesif) oluşan aşınmalardan farklıdır.

* Yorulma, ya esas parçanın yüzeyinde veya malzemenin içinde oluşabilir. Hasarın meydana gelmesi, malzeme içindeki kusurlardan büyük oranda etkilenmektedir.(10)

2.2.4. Erozyon Aşınması

Erozyon aşınması, gaz ve sıvı gibi akışkan bir ortamda bulunan aşındırıcı parçacıkların yüzeye çarpması sonucu metal yüzeyinden parçaların kopmasına denir. Hasarlı yüzey, gevrek kırılmada gözlenen yüzeye oldukça benzer ince taneli bir görüntü sergiler. Abrasif tane boyutu, tanecik hızı, çarpma açısı ve erosif akıntının kinetik enerjisi erozyon aşınmasının şiddeti hakkında bilgi verir.

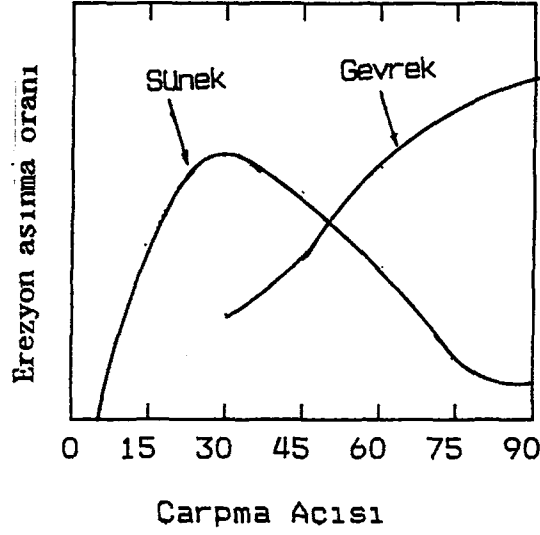
Genel olarak, bir malzemenin erozyon direnci ve maksimum rezilyansı arasında aşağıdaki ilişki vardır;

$$\text{Maksimum Rezilyans} = \frac{(UTS)^2}{2E} \quad \text{burada.}$$

UTS= Maksimum çekme gerilmesi
E = Elastiklik modülü

Bu ifade, çatlak oluşmadan önce absorbe edilen enerji miktarının bir ölçüsüdür. Sayet erozyondaki çarpma açısı küçükse malzemenin yüzey sertliğinin bilinmesi gereklidir. Gevrek olsa bile, sert malzemeler genel olarak yeterlidir. Daha büyük çarpma açılarındaki aşınmada, tokluğun ölçülmesi ve deformasyon miktarları gereklidir. Yumuşak malzemeler elverişli olabilir ve hakikaten kauçuklar - elastik modüllerinin düşük olması sebebi ile şekil 2.9'da görüldüğü gibi genelde en iyidir.

Erozyon aşınması, kaplama veya yekpare birçok erozyona dirençli malzemenin araştırılması, akış hızının azaltılması veya çarpma açısının değişimiyle çok kolay ve ekonomik olarak önlenir. (10)



Sekil 2.9. Taneciklerin yüzeye çarpma açısının erozyon aşınma oranına bağlılığı.(10)

Akış halindeki sıvılarda ani basınç düşmesi sonucu oluşan gaz kabarcıkları da aşınmaya neden olmaktadır. Bu gaz kabarcıklarının metal yüzeyine çarparak oluşturduğu aşınmaya oyuklanma (kavitasyon) aşınması denir.

Erozyon aşınmasının başka bir özel şekli, iki yüzey arasında bir elektrik kıvılcımının varlığı ile oluşur ve kalıcı hasar oluşturur. Erozyon üreten bu tür kıvılcımlar, elektrik kontaktarı için problem oluşturur.(10)

BÖLÜM 3. AŞINMAYI ETKİLEYEN FAKTÖRLER VE AŞINMA ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ

3.1. Aşınmayı Etkileyen Faktörler

Aşınmayı etkileyen pek çok faktörden bahsetmek mümkündür. Ancak bu bölümde özellikle, abrasiv aşınmayı etkileyen faktörler ve bunların aşınma direncine olan etkileri incelenmiştir.

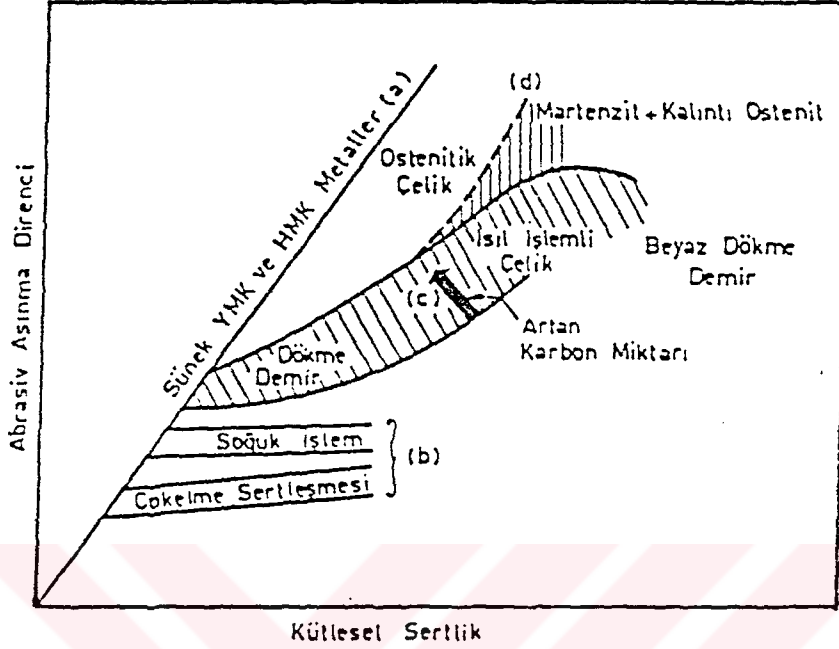
3.1.1. Malzemenin Kristal Yapısının Etkisi

Sıkı paket (SPH), yapıya sahip malzemelerde aşınma direncinin diğer kristal yapılarına göre daha büyük olduğu gözlenmiştir. Buna örnek olarak kobalt gösterilebilir. Kobalt oda sıcaklığında sıkı paket hegzagonal kristal yapısına sahiptir ve aşınma direnci oldukça yüksek olan bir metaldir. Fakat bu metalin 417 C'deki kübik yüzey merkezli kristal yapıya dönüşümü ile metalin aşınma direnci düşmektedir.(11)

3.1.2. Malzeme Sertliğinin Etkisi

Malzemenin sertliği ile, aşınma direnci arasındaki ilişki belli bir düzeye kadar doğrusal değişim gösterir. Yani sertliğin artması ile aşınma direncide artar (Şekil 3.1). Ancak belli bir değerden sonra sertlik artışı, aşınmaya karşı direncin artışı getirmez. Ticari saf metallerde aşınma direnci kütesel sertlik ile doğrusal olarak artmaz.(11)

Sonuç olarak abrasiv aşınma direncinin genelde sertliğe bağlı olduğu veya sertliğin artması ile iyileştiği kabul edilir.(12)

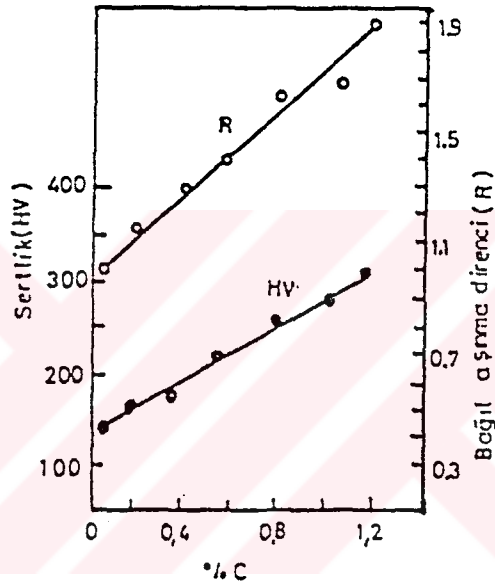


Sekil 3.1. Cesitli malzemelerde kütlesel sertliğin abrasiv aşınma direncine etkisi.(14)

Genel olarak alaşım elementleri, malzemelerin sertlik ve mukavemetlerini artırmak amacıyla katılır. Örneğin bakır metali içerisine katılan çinko ile sertlik artarken, aynı zamanda aşınma direnci bakırdan daha yüksek olan malzemede elde edilmektedir(13). Demir esaslı malzemelerde alaşım elementlerinin aşınma dirençlerine etkisi Sekil 3.2'de örnek olarak gösterilmektedir.

Isıl işlemin etkisi ile malzemelerin aşınma dirençlerini arttırmak için yapılan çalışmalar, malzeme yüzeyinin sertleştirilmesi veya kütlesinin tamamının sertleştirilmesi üzerinde yoğunlaştırılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalarda aynı

sertliğe sahip ısıl işlem görmüş çeliklerin aşınmaya daha az direnc gösterdikleri (Sekil 3.2.) ve yine aynı çelik, ısıl işlemle farklı sertlik seviyelerine getirildiğinde sertlik ile aşınma direnci arasında doğrusal bir ilişki olmadığı sonucuna varılmıştır.(15)

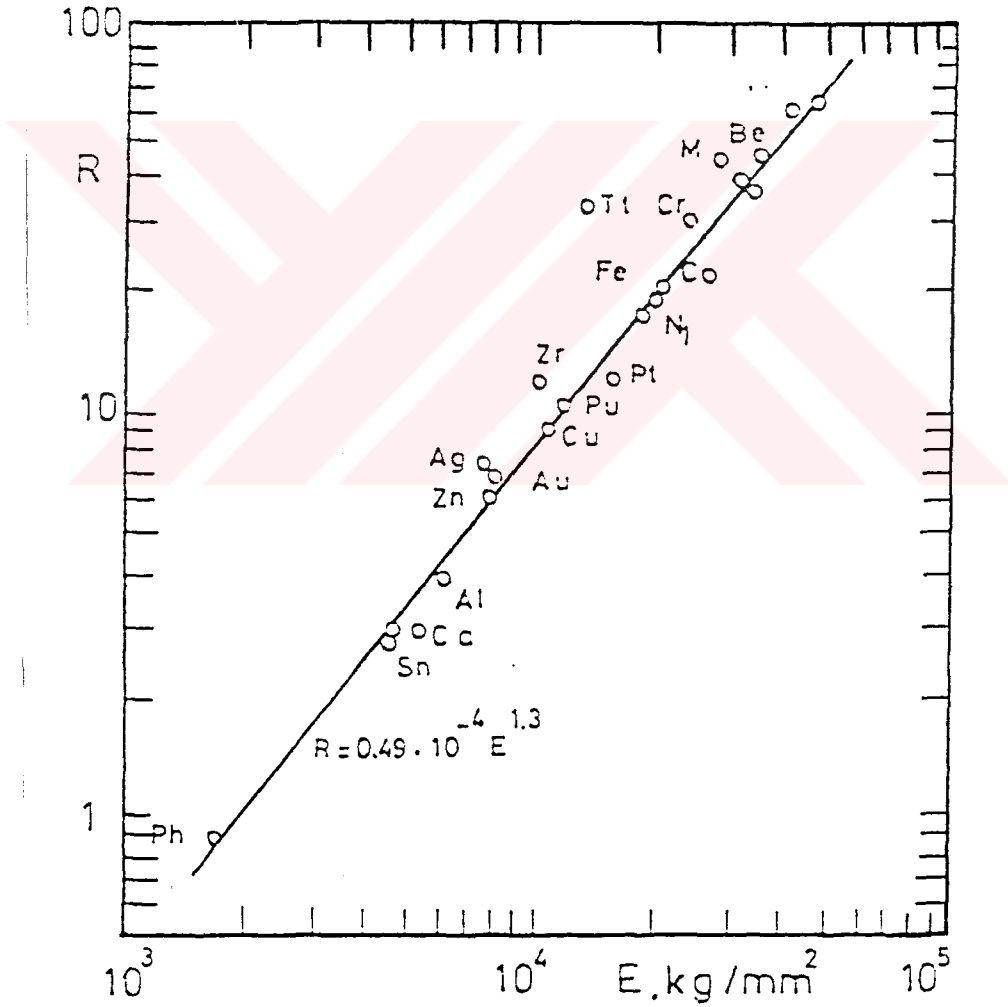


Sekil 3.2. Alasımsız çeliklerde karbon içeriğine bağlı olarak sertlik ve aşınma direnci değişimi.(11)

3.2.3. Elastisite Modülünün Etkisi

Bazı araştırmacılar aşınma direncinin , aşınma yüzeyin elastik deformasyon özellikleriyle de ilişkili olduğunu ileri sürmüşlerdir. Khrusschov ve Babichev yaptıkları araştırmalarında , saf metallerde aşınma direnci ile elastisite modülü arasında şekil 3.3'deki doğrusal ilişkinin bulunduğunu tesbit etmişlerdir(16). Saf metaller için elastisite modülü ile aşınma direnci arasındaki doğrusal ilişki (Sekil 3.3);

$R = CE^{1,3}$
 bağıntısı ile ifade edilebilir. Burada;
 R = Bağıl aşınma direnci,
 E = Elastisite modülü,
 C = Sabit sayıdır.
 Sekil 3.3'den E (kg/mm) biriminde alındığında ;
 $C = 0.49 \cdot 10^{-4}$ (mm/kg) olduğu görülmektedir.



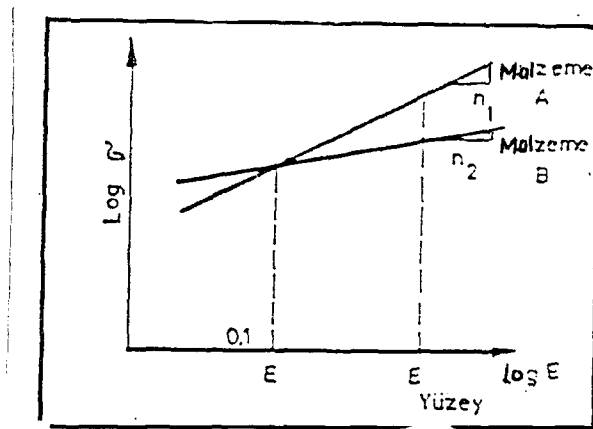
Sekil: 3.3. Saf Metallerde Elastisite Modülü(E) ile Bağıl Aşınma Direnci(R) Arasındaki İlişki(13).

3.1.4. Deformasyon Davranışının Etkisi.

Genelde yüksek deformasyon sertleşmesi gösteren malzemelerin abrasiv aşınma dirençleri daha yüksektir. Bu durumu, homojen plastik deformasyon bölgesinde gerilme (σ) ile birim şekil değiştirme (ϵ) arasındaki ilişkiyi belirten

$$\sigma = K \cdot \epsilon^n$$

şeklindeki Holloman denklemi ile açıklamak mümkündür. Burada "K" malzeme sabiti, "n" ise deformasyon sertleşmesi üssü veya pekleşme üssüdür. Gerilme ile birim şekil değiştirme değerlerinden çizilen ($\log \sigma - \log \epsilon$) grafiğinin eğimi deformasyon sertleşmesi üssünü (n) verir. Şekil 2.4 de görüldüğü gibi malzemenin "n" değerine bağlı olarak deformasyon etkisi ile malzemenin mukavemeti veya sertliği artacaktır (Şekil 3.4). Bu nedenle yüksek "n" değerine sahip malzemelerde (Şekil 3.4'deki malzeme A) aşınma sırasında yüzeydeki deformasyon sonucu yüzey sertliğinin daha düşük "n" değerine sahip malzemelere, (Şekil 3.4'deki malzeme B) kıyasla daha fazla artması, yüksek "n" değerine sahip malzemelerinin aşınmaya karşı daha dirençli olmalarını sağlayacaktır. (11)

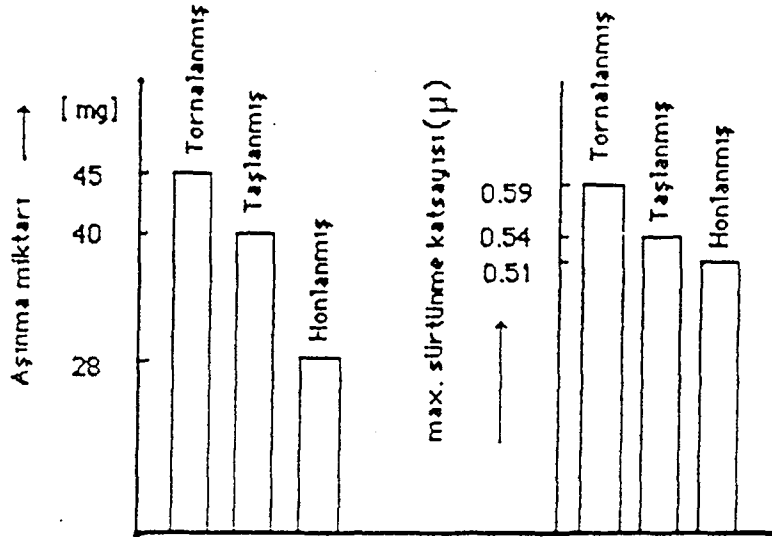


Şekil 3.4. Farklı deformasyon sertleşmesi üssü "n" değerleri-
sahip iki malzemenin sematik $\log \sigma - \log \epsilon$ grafikleri. (17)

3.1.5. Yüzey Pürüzlülüğünün Etkisi

Yüzey pürüzlülüğü sürtünme kuvvetiyle ilgili olduğundan aşınmaya etkisi büyüktür. Pürüzlülüğün yüksek olduğu yüzeylerde temas alanı küçük, birim yüzeye tesir eden kuvvet büyük olacaktır. Pürüzlülüğün az olduğu yüzeylerde ise temas alanı büyük, birim yüzeye tesir eden kuvvet daha küçük olacaktır. Bu sebeple yüzey pürüzlülüğü yüksek olan malzemelerde aşınma miktarı daha fazla olacaktır.

Bu konuda yapılan teorik çalışmalarda sert yüzeyin pürüzlülüğü ile aşınmanın doğru orantılı olduğu ve aşınma hızının sert yüzey üzerindeki pürüzlerin şeklinden az etkilendiği tesbit edilmiştir(11). Sekil 3.5'de bu araştırmacılar tarafından verilen pürüzlülük ve pürüz eğimleri arasındaki ilişkilere uygun olarak maksimum yüzey pürüzlülüğünün artmasıyla aynı yük ve kayma mesafesinde aşınma miktarının arttığı görülmektedir.(16)



Sekil 3.5. Yüzey pürüzlülüğünün aşınma ve sürtünme katsayısına etkisi.(16)

3.1.6. Aşındırıcının Ekisi

Aşınma deneylerinde çok çeşitli aşındırıcılar kullanılır. Tablo 3.1'de bazı aşındırıcıların sertlik değerleri verilmiştir.

Tablo 3.1. Aşındırıcı malzemelerin sertlik değerleri.(16)

Aşındırıcının cinsi	Mikrosert.(kg/mm ²)	Dayanabildiği sıcaklık(°C)
Elmas	10000	700-800
Bor Karbür	3700-5000	700-800
Silisyum Karbür	2300-2600	1300-1400
Alüminyum Oksit	2000-2300	1700-1800

Alüminyum oksit (Al_2O_3) aşındırıcı taneleri sert ve keskin köşelidir. Silisyum karbür (SiC) aşındırıcı taneleri ise daha sert ve keskin köşeli olmalarına rağmen, alüminyum oksit aşındırıcılara göre asırı derecede kırılıgandırlar(18). Yüksek sıcaklıklarda bazı alümina ve silisyum karbür aşındırıcıların sürtünme katsayıları incelenmiş neticede silisyum karbür'un sürtünme katsayısının sıcaklığın yükselmesiyle azaldığı bulunmuştur.(19)

Bazı araştırmacılar artan tane büyüklüğüne bağlı olarak aşınma miktarının arttığını ve köşeli tanelerin yuvarlak tanelere kıyasla daha fazla aşındırıcı etki yaptıklarını ispatlamışlardır(13). Date ve Malkın(20), çeşitli aşındırıcılar ile

deneyler yapmışlar ve aşınmanın, abrasiv tane boyutunun artması ile arttığını, 100 um tane boyutuna kadar hemen hemen doğrusal olan bu artışın, bu boyuttan sonra sabit kaldığını göstermişlerdir.

Aşınmada abrasiv sertliği (H_a) ile metal sertliği (H_m) arasında, aşağıdaki gibi bir ilişkinin varlığı tesbit edilmiştir.(16)

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

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

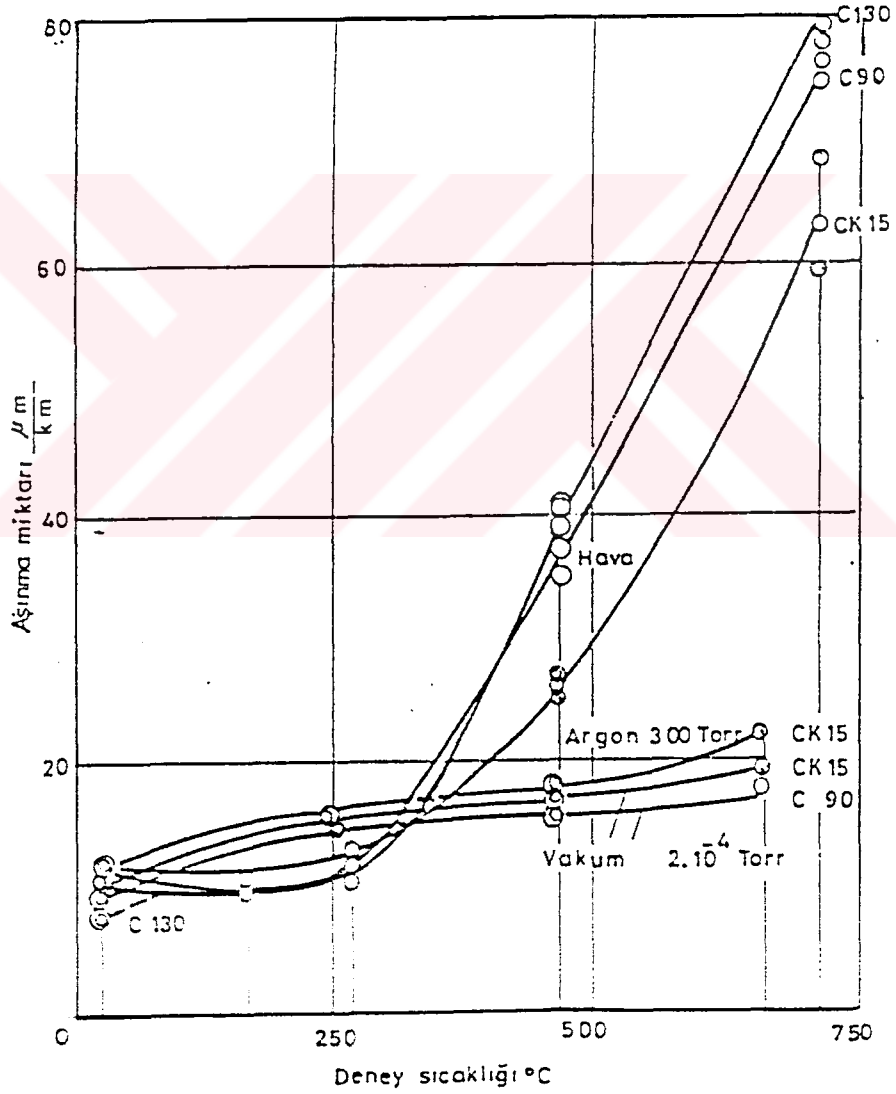
$H_a < K_2 \cdot H_m$ durumunda abrasiv aşınma direnci bu sistem için en yüksek değerine ulaşmıştır. Burada K_2 bir sabit olup 0.7-1.0 değerleri arasındadır. Ancak soğuk işlem görmüş malzemelerde yukarıda verilmiş olan $H_a > K_2 \cdot H_m$ ilişkisi geçerli değildir.

3.1.7. Ortamın Etkisi (Sıcaklık,Nem,Atmosfer)

Atmosfere açık çalışan sistemlerde bu faktörleri çevre şartları oluşturur. Böylece çevre sıcaklığı, ortam basıncı ve ortamda bulunan nem, aşınma sistemini etkileyen en önemli faktörleri oluşturur.

Yüzeyler arasında sürtünme söz konusu olduğuna göre sürtünme kuvvetinin bir kısmı sistemde sıcaklık olarak ortaya çıkacaktır. Özellikle sistemde kuru bir sürtünme mevcut ise ortaya çıkan ısının boyutları oldukça yüksek olmakta, hatta bazı sistemlerde mikro yapı değişikliğine bile sebep olmaktadır.

Gürleyik(21), atmosfer basıncı ve sıcaklığın çeşitli çeliklerin aşınma direncine etkilerini incelemiş ve 300 C'ye kadar aşınma miktarının fazla etkilenmediğini ; 350 C civarında ise farklı değerlerin çıktığını göstermiştir(Sekil 3.6). Bu sonu-



Sekil 3.6. Alasımsız çeliklerin çeşitli sıcaklıklarda havada vakumda ve argon gazı atmosferinde kuvarz kumu ile aşınma sonuçları.(23)

cu düşük sıcaklıkta yüzey oksidasyonunun aşınmaya direnç teskil edecek bir rol oynayabilmesi şeklinde izah etmiştir. Aynı çalışmada argon gazı , yüksek basınç ve açık atmosfer kullanılmak suretiyle değişik basınç ve sıcaklıklarda çalışılmış ve ortamın tesiri araştırılmıştır. Yapılan araştırmalar sıcaklığın artmasının aşınmayı belli bir sıcaklık değerine kadar etkilemediğini daha sonraki sıcaklıklarda tesirini hissettirdiğini göstermiştir. Yapılan çalışmalarda ergime sıcaklığı yüksek olan malzemelerin yüksek aşınma direncine sahip olduğunda tesbit edilmiştir.(22)

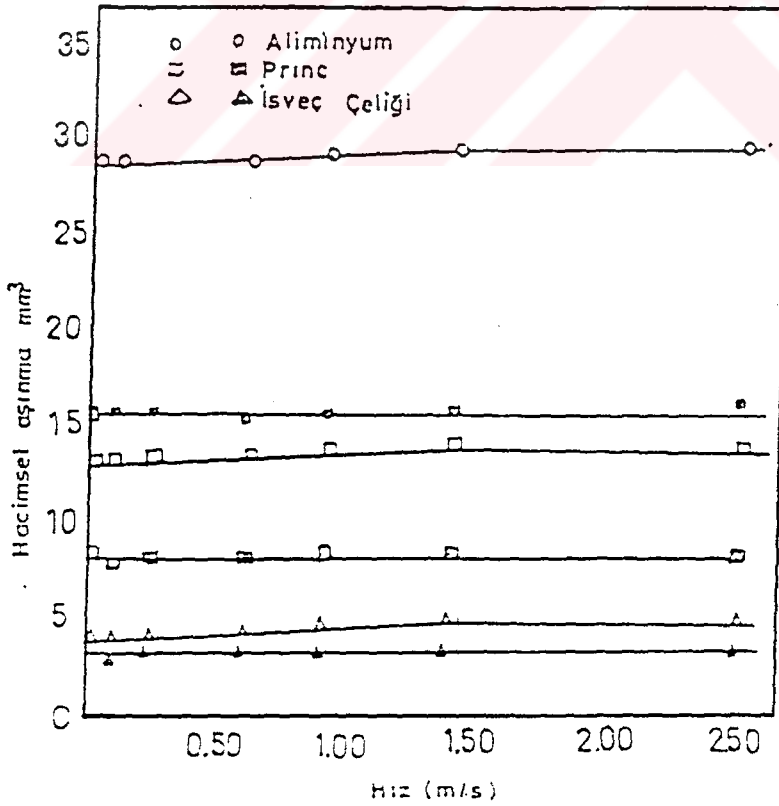
Bazı araştırmacılar, yüksek nem oranının, abrasiv aşınma miktarının yaklaşık % 15 artmasına sebep olduğunu ve su buharının diğer yağlayıcılara benzer olarak abrasyon etkisini arttırdığını belirlemiştir.(24)

3.1.8. İşletme Koşulları (Basınç,Hız,Kayma Yolu)'nın Etkisi

Aşınma sistemi içerisinde aşınma yüzeyinin maruz kalacağı basıncın büyüklüğü, birim yüzeye uygulanan kuvvetin büyümesini sağlayacağından, aşınmanında artmasına sebep olacaktır. Araştırmaların bir çoğu kritik bir yükleme miktarına kadar yükün artışı ile hacimsel aşınmanın orantılı bir değişim gösterdiğini açığa çıkarmıştır. Kritik yükleme miktarı, aşınma yüzeyinin soğuk deformasyonla, sertliğin belli bir oranda arttığı değer olarak belirlenmiştir.Richardson(25),hacimsel.

aşınmanın yük ile doğrusal olarak arttığını, fakat yükün daha fazla artmasıyla birim yük başına düşen aşınma miktarının belli bir kayma (aşınma) yolundan sonra dengeye geldiğini tesbit etmiştir.

Bütün teorik ve uygulamalı çalışmalar kayma yolu ile aşınma miktarının orantılı olduğunu belirtmektedir. Khruschov ve arkadaşları ise(13), 0-25 m/s aralığında kayma hızının artmasıyla hacimsel aşınmanın yavaş olarak arttığını belirlemişlerdir(Sekil 3.7).



Sekil 3.7. Aşınma miktarına hızın etkisi.(13)

Düşük hızlarda ısınma söz konusu değilse aşınma miktarı sürtünme hızına bağlı değildir. Aşınma miktarı, abrasiv tanelerinin büyümesiyle hemen hemen doğru orantılı olarak artma gösterir.

Herhangi bir aşınma olayında hacim kaybı (V), basma kuvveti (P) ve aşınma yolu (S) ile doğru orantılıdır. Bu ilişki;

$$V = C . P . S$$

şeklinde bir bağıntı ile ifade edilebilir. Burada C malzeme sabitidir.

3.2. Aşınma Deneyleri Ve Ölçüm Yöntemleri

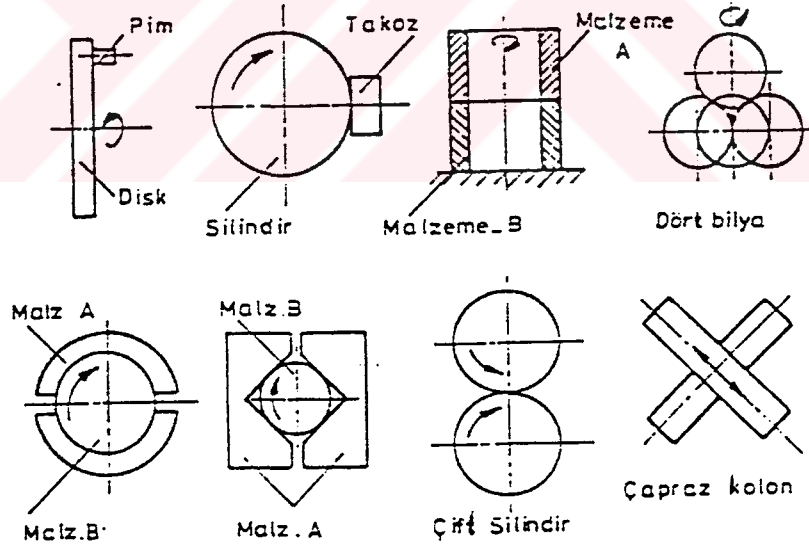
Endüstride kullanılan alet ve makinalarda aranılan özelliklerden bir tanesi de bunların kullanım ömürleridir. Makine parçalarının çabuk aşınması, makinanın ömrünü kısaltarak maliyetini arttırdığı gibi, onarım için geçen sürede üretimin önemli ölçüde aksamasına neden olmaktadır. Bu sebepten dolayı makine imalatında aşınmaya mağruz kalabilecek yerlerde aşınma direnci yüksek malzemeler kullanılmalıdır. Bu malzemelerin tesbiti için de bir çok laboratuvar deneylerinin yapılması gerekir (Şekil 3.8).

Aşınma deney yöntemlerini genel olarak iki grupta toplamak mümkündür.

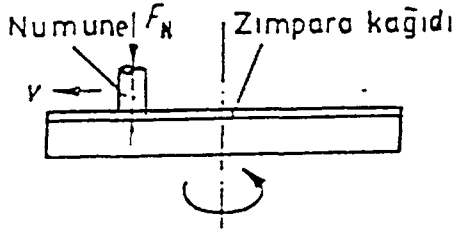
a)- Yağlamalı ve yağlamasız bir ortamda ana ve karşı malzemenin adhesiv (metal-metal) aşınma değerlerinin ölçül-

düğü deneyler (Sekil 3.8).

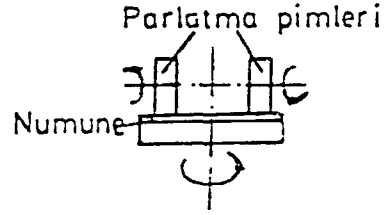
b)- Katı, sıvı ve gaz halindeki maddelerin etkisi altında yalnız karşı malzemenin aşınma değerinin ölçüldüğü deneyler. "Pin-on Disk" (26,27,28,29) teknikleri, "Abrasive Tekerlek" veya "Abrasive Kusak" (30,31) metotları ve "Crossed-Cylinder" teknikleri (32,33,34), bunlardan bazılarıdır. (Sek.3.9) (11)



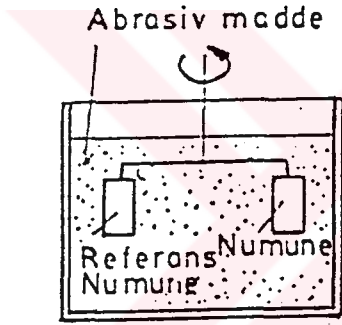
Sekil 3.8. Yağlamalı veya yağlamasız Adhesiv (metal-metal) aşınma deney yöntemleri. (11)



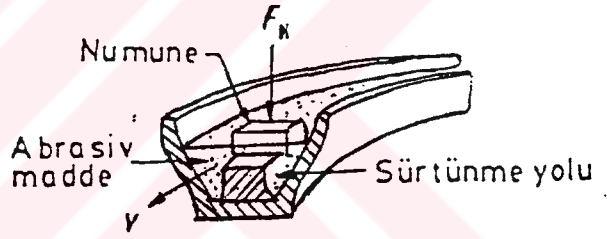
a) Aşınma diski



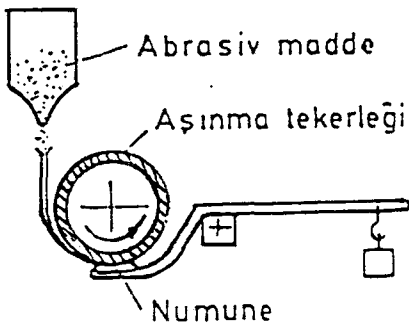
b) Aşınma tablası



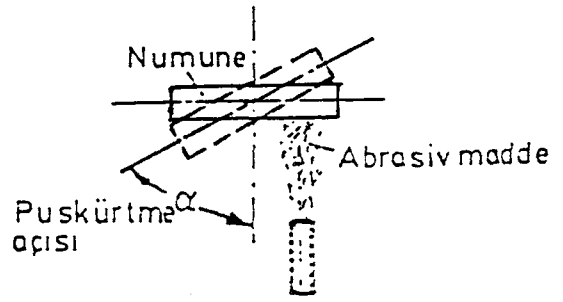
c) Aşınma kabı



d) Avery cihazı



e) Aşınma tekerleği



f) Puskürtme lülesi

Sekil 3.9. Çeşitli abrasiv maddeler ile malzemelerin aşınmasının araştırılmasında kullanılan deney yöntemleri(11).

Aşınma deneylerinde aşınmanın ölçüm yöntemleri olarak bilinen ağırlık farkı, kalınlık farkı, iz değişim ve radyoi-zotop metotları aşağıda sırasıyla açıklanmıştır.

3.2.1. Ağırlık Farkı Metodu

Ekonomik olması ve ölçülen büyüklüğün, alet duyarlılık kapasitesi dahilinde bulunması sebebi ile en çok kullanılan yöntemdir. Deney numunelerinin her ölçümü için numunenin yerinden çıkartılıp ölçüm yapılması, yani numune yerindeyken üzerinden ölçü alınamaması bu yöntemin dezavantajıdır.

Ağırlık kaybının ölçülmesi 10^{-4} veya 10^{-5} gr hassasiyetinde oldukça hassas bir terazi yardımıyla yapılır. Aşınma miktarı gram veya miligram cinsinden ifade edilirse, metre veya kilometre olarak tesbit edilen sürtünme yoluna göre, birim sürtünme yoluna karşılık gelen ağırlık kaybı miktarı (gr/km), (mg/m) ile ifade edilebilir. Ağırlık kaybı birim alan için hesap edilecekse (gr/cm) gibi bir birim kullanılabilir. Ağırlık kaybı hacimsel aşınma miktarı olarak belirtilmek istendiğinde, yine ağırlık kaybindan hareketle kullanılan malzemenin yoğunluğu ve deney numunesi üzerine etki eden yüklem ağırlığı hesaba katılmak suretiyle birim yol ve birim yüklem ağırlığına karşılık gelen hacim kaybindan gidilerek de bulunabilir.

Bu tanımlamalara göre en çok kullanılan ağırlık farkı ölçme metodunda kullanılan bağıntılar şunlardır (11):

$$W_a = \frac{G}{d.M.S} \left(\frac{\text{mm}^3}{\text{N.m}} \right) \quad (1)$$

Burada;

W_a : Aşınma oranı (mm /N.m),

G : Ağırlık kaybı (mg),

M : Yükleme ağırlığı (N),

S : Aşınma yolu (m),

d : Yoğunluk (gr/cm^3),

olarak verilmiştir. Aşınma oranınının (W_a) ters değeri de aşınma direnci (W_r) olarak gösterilir(11).

$$W_r = \frac{1}{W_a} \left(\frac{\text{N.m}}{\text{mm}^3} \right) \quad (2)$$

Başka bir bağıntı olarak da, bir kilometre kayma yoluna tekabül eden yükseklik kaybı bağıntısı vardır ki genellikle iki elamanlı abrasiv aşınmanın hesaplanmasında kullanılır.

$$V_s = \frac{10. G}{F.d.S} \left(\frac{\text{um}}{\text{km}} \right) \quad (3)$$

Burada;

V_s : Bir km. aşınma yoluna tekabül eden yükseklik kaybı (um)

G : Ağırlık kaybı (gr)

F : Aşınma yüzeyi (cm)

d : Yoğunluk (gr/cm^3)

S : Kayma yolu (km), olarak alınır.

3.2.2. Kalınlık Farkı Metodu

Aşınma esnasında oluşacak boyut değışikliğinin ölçülmesi, başlangıç değeri ile karşılaştırılması suretiyle elde edilir. Kalınlık farkı olarak tesbit edilen bu değerden gidilerek hacimsel kayıp değeri ve birim hacimdeki aşınma miktarı hesaplanır. Kalınlık, hassas ölçme aletleri yardımı ile yüksek duyarlılıkta ölçülmelidir.(11)

3.2.3. İz Değişimi Metodu

Sürtünme yüzeyinde plastik deformasyon metodu ile, geometrisi belirli bir iz oluşturulur. Deney boyunca bu iz karakteristik bir boyutunun (capının) değışimi ölçülür.

Uygulamalarda iz bırakıcı olarak en çok kullanılan alet Vickers veya Brinell sertlik ölçme ucudur. Elmas pramit veya bilyanın bıraktığı iz boyutlarındaki değışime mikroskop vasıtasıyla ölçülerek belirlenir.(11)

3.2.4. Radyoizotop Metodu

Sürtünme yüzey bölgesinin proton, nötron veya yüklü parçacıklarıyla bombardıman edilerek radyoaktif hale getirilmesi esasına dayanır.

Aşınmanın büyük hassasiyetlerle ölçülebilmesi ve sistem içerisinde çalışma şartlarını değistirmeden ölçü alınabilmesi avantajlı yönleridir. Fakat ekonomik olmaması nedeni ile ancak özel amaçlarla kullanılır. Özel problemlerin çözümü dışında yaygın olarak kullanılan bir metod değildir.(11)

BÖLÜM 4. AŞINMAYI ÖNLEYİCİ YÖNTEMLER

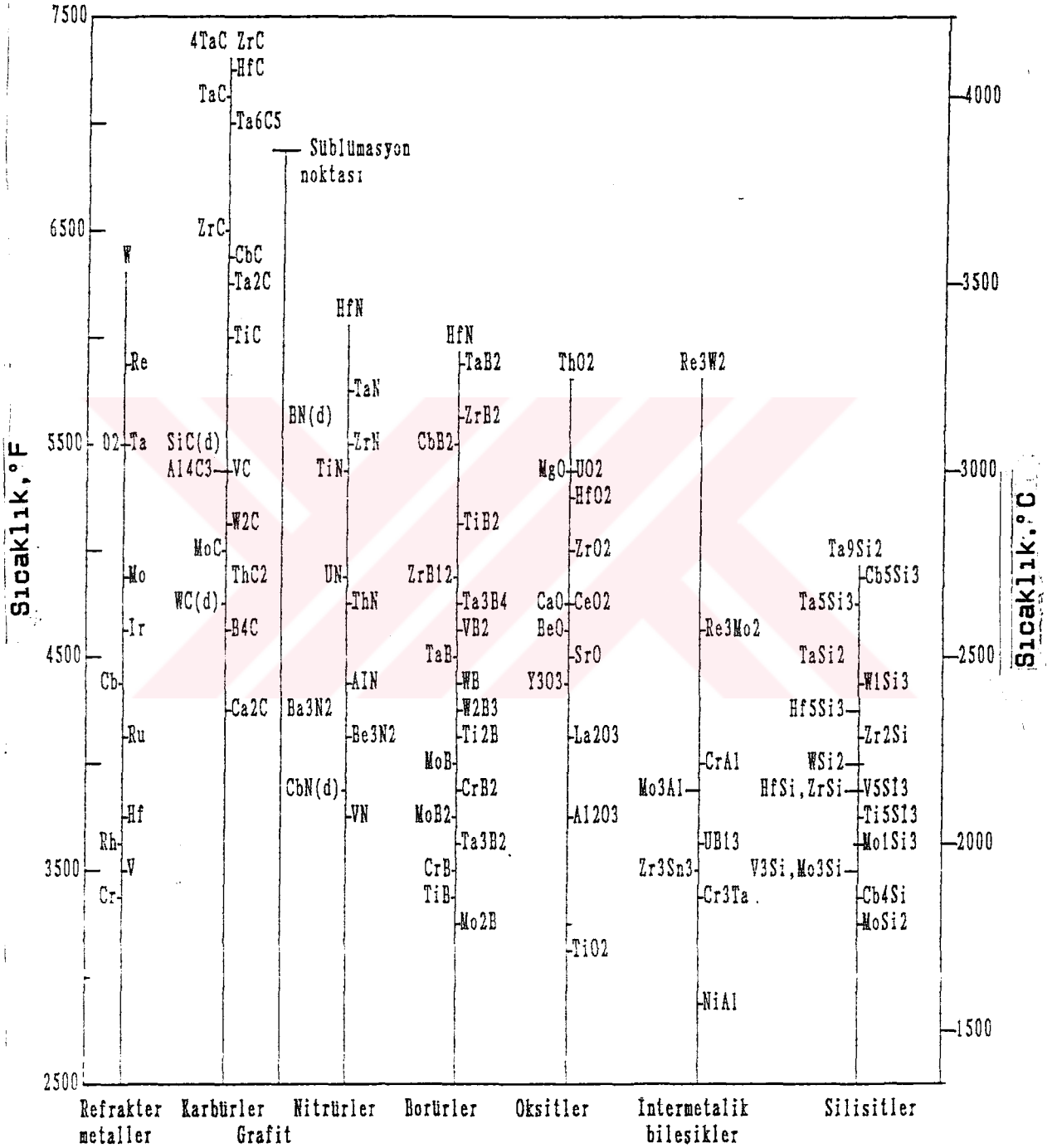
Aşınma, makina parçalarının çalışma ortamındaki mekanik kimyasal, elektro-kimyasal yada ısı etkileri nedeni ile ağırlık, şekil ve ölçü değişikliğine uğramasıdır. Bu durum; tesislerin ve makinelerin çalışma verimlerinin azalması, daha fazla enerji harcanması nedeni ile işletmelerin zarar etmesine yol açar (35). Çalışma ortamındaki şartlardan dolayı ortaya çıkan bu problem;

- a)- Malzeme yüzeyini sert bir tabaka ile kaplamak,
- b)- Sertlik arttırmak amacı ile ısı işlem uygulamak,
- c)- Daha sert alaşım kullanılarak, önlenir.

4.1. Malzeme Yüzeyini Sert Bir Tabaka ile Kaplayarak Aşınma Önleme.

4.1.1. Seramik Kaplama

Korozyona, ısıya, oksidasyona ve aşınmaya dirençli malzemeler için seramik kaplama yapılması çoğu kez daha ekonomiktir. İnce bir kaplama sayesinde istenen bu özelliklerle sağlanabildiği gibi tokluk ve kolay şekillendirilebilme gibi diğer özellikler korunabilmektedir. Böylece, seramik kaplama, metal ve seramik malzemelerin üstün özelliklerinin birarada toplanmasına imkan verir. Seramik kaplama, metallerin başlıca oksit, karbür, silisyum bileşikleri, borür, nitrür ve cermet'le kaplanmasını içermektedir. Şekil 4.1'de, refrakter metal ve intermetalik'lerin yanı sıra, seramik kaplamada kullanılan seramik malzemelerin ergime sıcaklıklarını göstermektedir. (36)



Sekil4.1.Seramik ve intermetaliklerin ergime sıcaklıkları(36)

Seramik kaplamanın performansına etki eden temel faktörler:

- a)- Mekanik yapışma (Adezyon)
- b)- Kimyasal bağlama
- c)- Termal genleşmenin kaplama ile taban malzeme arasındaki uyumluluğu
- d)- Yüzey gerilme karakteristikleri

Seramik kaplamanın, kaplanacak yüzeye (tabana) yapışması en önemli konulardan birisidir. Kaplama ile taban arasındaki mekanik ve kimyasal bağlanma özellikleri, kaplamanın kalınlığına ve kaplamanın Young modülüne bağlıdır. Film halindeki çok ince kaplamalarda mekanik bağlanma önemli değildir ve ara kaplamanın kimyasal bağlanması yapışmada önem taşır.

Kaplamanın yapışmasını arttırmak için geliştirilen en son yöntem, kaplamanın tokluğunun geliştirilmesidir. Tokluğun geliştirilmesidir. Tokluğun geliştirilmesi iki veya daha fazla fazın birlikte çökmesi ile gerçekleşir. Burada, yapıda yer alan ikinci faz çatlak ilerlemesini önlemektedir.(36)

Seçilen kaplama bileşimi, kaplanacak malzeme ile reaksiyona girmemelidir. Reaksiyonun yer alması, tabakada kalıntı gerilmelere neden olur ve neticede çatlak teşekkül eder.

Kaplamada, çatlama ve pullanmayı önlemek için kaplama ile taban malzemesinin termal genleşme katsayıları birbiri ile uyumlu olmalıdır. Kaplamanın termal genleşme katsayısı düşükse kaplamada çekme kuvvetleri meydana gelir. Kaplanan parça, her iki halde de sıcaklık değişmelerine maruz kaldığında kaplama-

da çatlama meydana gelecektir. Termal genleşmeler arasındaki uyumsuzluk, ara-kaplama yapılarak sağlanabilmektedir. Tablo 4.1 çeşitli malzemelerin termal genleşme katsayıları yer almaktadır. Ancak, bu tabloda yer alan değerler kesin değerler olmayıp özellikle, kaplamada yer alan porotize miktarı ile değişmektedir.

Tablo 4.1. Malzeme ve Çeşitli Kaplamaların Termal Genleşme Katsayıları (36)

Malzeme	Sıcaklık Aralığı (C)	Genleşme Katsayısı ($\times 10^{-6}/C$)
Ni	25-1000	17.1
Co	25-1000	18.45
Cr	25-1000	11.0
Mo		6.3
W	20-1000	8.1/4.9
Alaşımalar		
Ni-%20Cr	20-1000	18.1
IN-738LC	20-900	15.7
IN-939	20-1000	17.3
Stellite (Co-%20Cr	20-600	16.1
X40	20-980	16.6
A286	20-700	18.0
X20CrMo121 (AISI)	20-650	11.8
Düşük Karbonlu Çelik	-	15.0
Yüksek devirli takım çeliği	-	12.0
Bileşikler		
NiAl	250-1050	14.3
Ni3Al	250-1050	11.9
CrB2	20-1000	5.4
FeB	20	23.0
Fe2B	20	7.9
Ni3Si	770-1070	14.0
Ni2Si	870-1070	11.0

Oksitler

SiO ₂			
camı	20-1250		0.5
kuvars	20-1000	c-dik	14.6
Soda-kirec-silis camı			
Cr ₂ O ₃	25-1000		9.0
	25-1000		8.0
Al ₂ O ₃	-	c-dik	8.3
		c-paralel	9.0
	200-1000		8.0-9.0
%99Al ₂ O ₃	20-980		6.8
Al ₂ O ₃ (Plazma-Sprey)	25-1000		7.6
MgO			8.1-16.0
Y ₂ O ₃	20-1020		7.9/9.3
BeO	20-1020	c-dik	9.6
	"	c-paralel	8.5
			9.0
UO ₂			10.0/9.0
NiO	20-1000		14.4/17.1
TiO ₂	25-1000		7.0-8.8
			8.3-10.2
ThO ₂			9.2/10.4
NiAl ₂ O ₄	25-1000		8.4
Fe ₂ O ₃	25-1000		12.3
ZrO ₂			5.4-12
ZrSiO ₄			4.2/7.2
		c-dik	3.7
		c-paralel	6.7
ZrO ₂ -%5CaO	25-1000		9.5
ZrO ₂ -%20Y ₂ O ₃	25-1000		10.6
Al ₂ O ₃ -ZrO ₂	200-1000		7.4
Cr ₂ O ₃ -ZrO ₂	200-1000		8.0
%80Cr ₂ O ₃ -%20NiCr	20-980		11.5

Karbürler

Cr ₂₃ C ₆	10-150		
Cr ₇ C ₃	20		9.5
TiC	20		9
VC	20		7.4/8.8
SiC	20		4.7/5.4/6.8
ZrC	-		6.7
HfC	-		6.6
NbC	-		6.6
TaC	-		6.3
Cr ₃ C ₂	-		10.3
B ₄ C	-		4.5
WC	-		4.2-5.0

WC-%5.5Co	-		5.4
WC-%12.2Co	-		6.1
WC-%15Co	20-540		8.4
Natürler			
TiN	-		9.35
ZrN	-		7.24
HfN	-		6.9
VN	-		8.1
NbN	-		10.1
TaN	-		3.6
CrN	-		2.3
Borürler			
Fe2B	-		8.0
FeB	-		12.0/23
Grafit (ince taneli)	-	Boyuna	1.0
		Enine	4.1-3.2
Grafit (iri taneli)	-		
Grafit	-	c-paralel	27.0
		c-dik	1.0
Porselen			6.0
Pismiş kil refrakter			5.5
Mullit			5.3
Spinel			7.6
CaCO3		c-dik	-6.0
		c-paralel	25.0

* c-dik : c-ksenine dik
c-paralel: c-kseni doğrultusu

4.1.1.1. Seramik Kaplama Yöntemleri

Kaplamalar, fırca ile sürülerek, sprej yapılarak, sıcak banyo veya ortamda tutularak (difüzyon kontrollü işlem), CVD (Chemical Vapor deposition) ve PVD(Physical Vapor Deposition) yöntemleri ile gerçekleştirildiği gibi Plazma-sprej'le de yapılmaktadır.(36)

Oksit esaslı seramik kaplamalar, genellikle alev veya plazma -ark sprey'i ile yapılmaktadır. Her iki yöntemde de kaplanacak yüzeyin temiz ve pürüzlü olması gerekmektedir. Spreyle kaplamada, kaplama kalınlığı genellikle 25-2500µm arasındadır.

Alev-sprey'inde, oksit-hidrojen veya oksit-asetilen sistemleri kullanılmakta ve genellikle ergime sıcaklığı 2760°C'nin altındaki refrakter oksitlerin kaplanmasında tercih edilmektedir. Seramik kaplama yapılmadan önce, oksitlenmeyi önlemek amacıyla, nikel-krom gibi yüksek sıcaklığa dayanıklı bir alaşımın kaplanacak parçanın yüzeyine uygulanması gerekir. Aksi halde, seramik kaplamanın yüzeye yapışması tam olarak gerçekleşemez. Alev-sprey yönteminde, kaplama hızı yavaş olup genellikle 16-410 cm/saat'tir.

Ergime sıcaklığı 2700°C'nin üzerinde olan oksitlerin kaplanmasında, plazma-sprey yöntemi, Alev-sprey yöntemine kıyasla daha sert, daha yoğun ve daha düzgün bir yüzey sağlamaktadır. Diğer taraftan, plazma-sprey'de argon, hidrojen veya azot gibi soy gazlar kullanıldığından kaplanacak malzemenin oksitlenme sorunu asgariye inmektedir. Plazma-sprey yöntemi ile yapılan kaplamalar diğer yöntemlere kıyasla pahalıdır. Bu nedenle, diğer yöntemlerin uygulanmasının mümkün olmadığı veya kaplama özelliklerinin diğer yöntemlerle sağlanamadığı hallerde kullanılması yerindedir. Plazma-sprey yönteminin en önemli avantajı, yüksek plazma sıcaklığı sayesinde ergime sıcaklığı

cok yüksek olan malzemelerin kaplamada kullanılmasına imkan vermesidir.

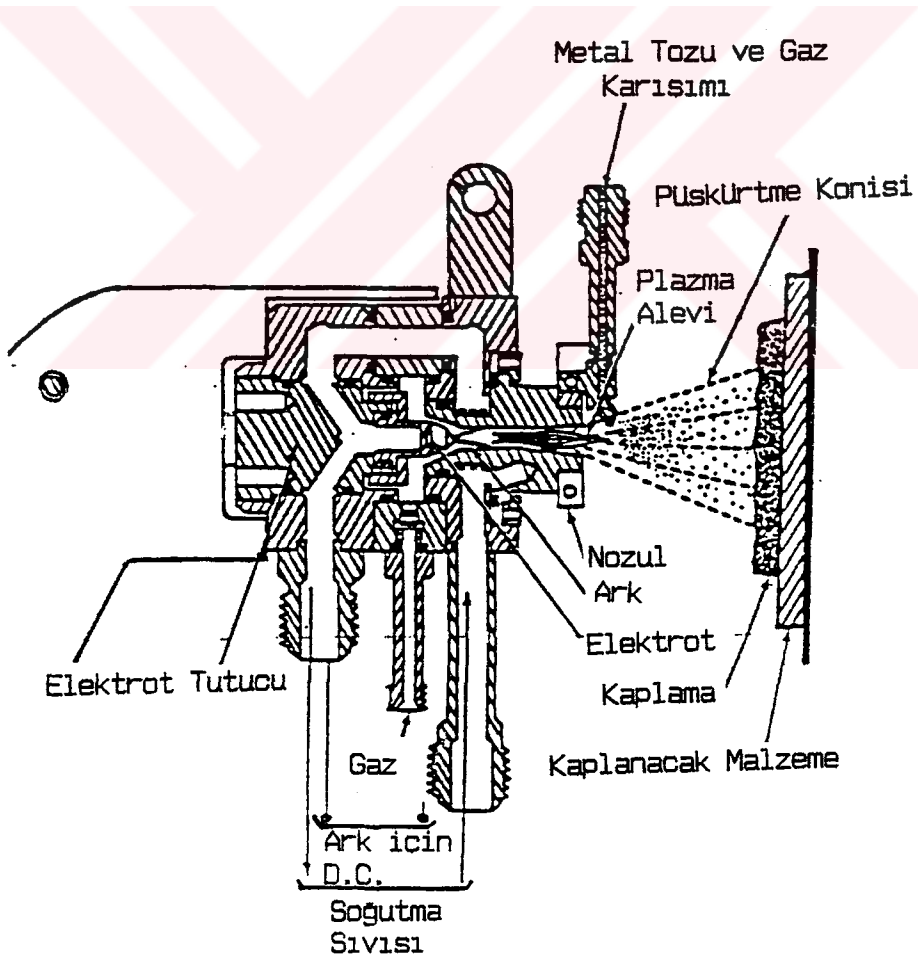
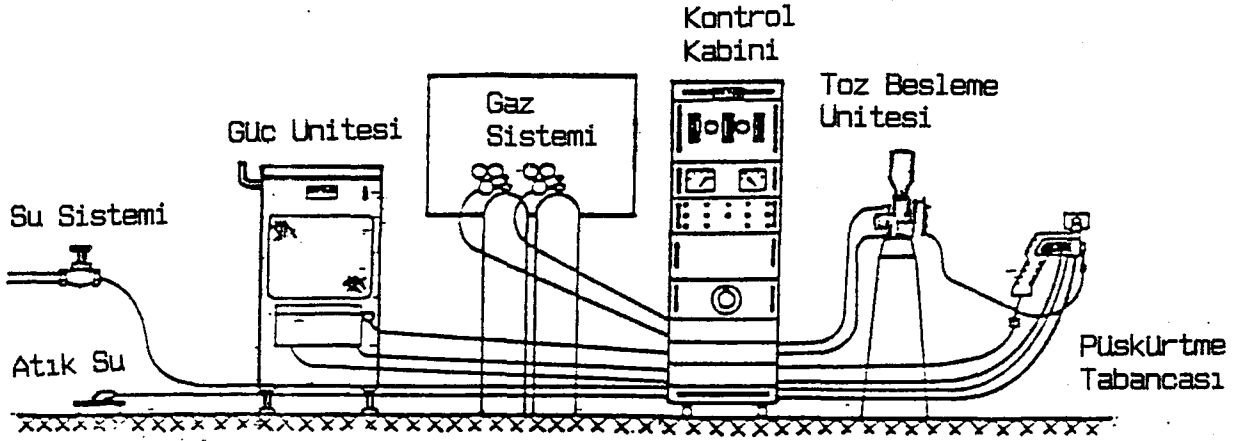
Plazma-sprey'le yapılan kaplamanın mukavemeti, aynı malzemenin sinterlenmiş haline kıyasla daha düşüktür. Bunun sebebi, kaplamanın mikro çatlaklar içermesi ve yapıda kalıntı gerilmelerin bulunmasıdır. (36)

4.1.1.1.1. Plazma-Sprey Yönteminin Prensipleri

Plazma-sprey işleminin gerçekleştirildiği sistem, ve toz püskürtmede kullanılan tabanca, Şekil 4.2'de gösterilmiştir. Sistem başlıca,

- a) Güç Ünitesi,
- b) Gaz Ünitesi,
- c) Toz besleme Ünitesi,
- d) Soğutma sistemi,
- e) Sprey tabancası,
- f) Kontrol Ünitesini içermektedir.

Plazma-sprey yönteminde, dc elektrik ark'ı, nozul ile elektrot arasında oluşur. Soy gaz (genellikle argon) veya soy-gaz karışımları ile gücü arttırmak için az miktarda ilave edilen hidrojen gazı, plazma jeneratörünün ark bölgesine gönderilir ve elektrik ark'ı ile ısıtılır. Gaz karışımı, 8300°C ye kadar ısınarak iyonize hale (plazma) gelir. Böylece, yüksek sıcaklıktaki plazma hüzmesi tabancanın nozulundan çıkar. Bu sistemde, seramik tozları plazma alevine, taşıyıcı gaz hüzmesinde süspanse halinde beslenir. Yüksek sıcaklığın etki-



Sekil 4.2. Plazma-sprey sistemi ve püskürtme tabancası.(36)

siyle ergiyen tozlar, kaplama yapılacak yüzeyin üzerinde hızlı bir şekilde katılarak birikir.

Plazma-sprey sonunda elde edilen kaplamanın yapısı,ince ve eş eksenli taneler içerir.Bazı kaplamalarda ise, hızlı katılma sonucu amorf yapı elde edilmektedir.(36)

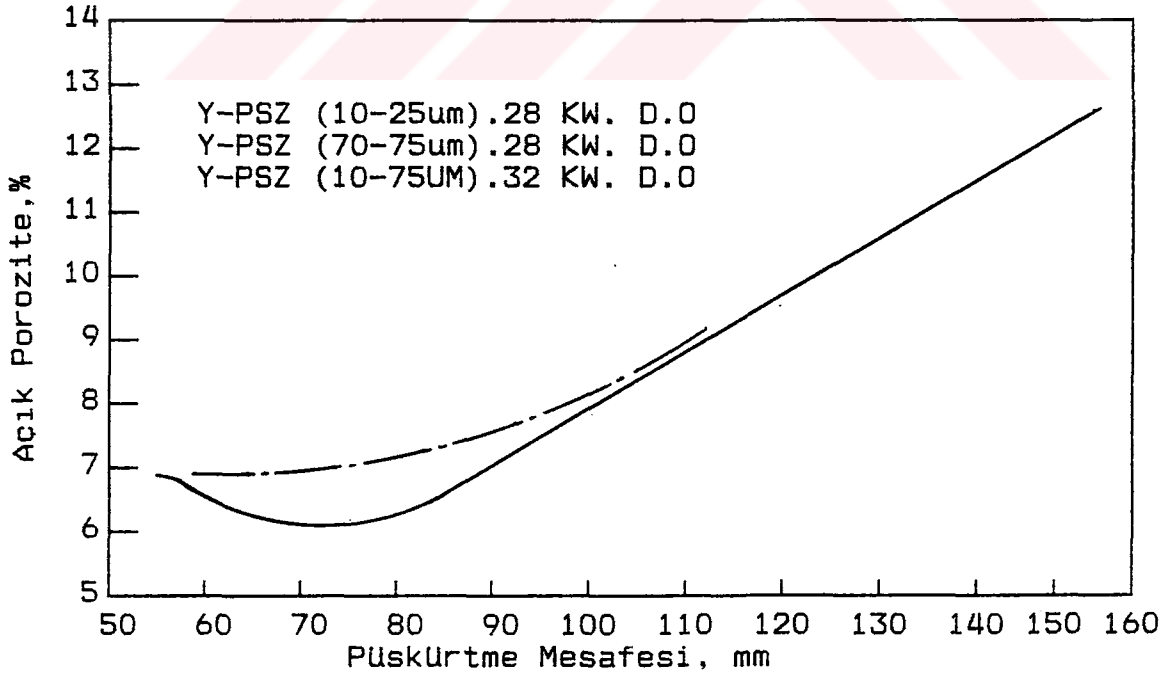
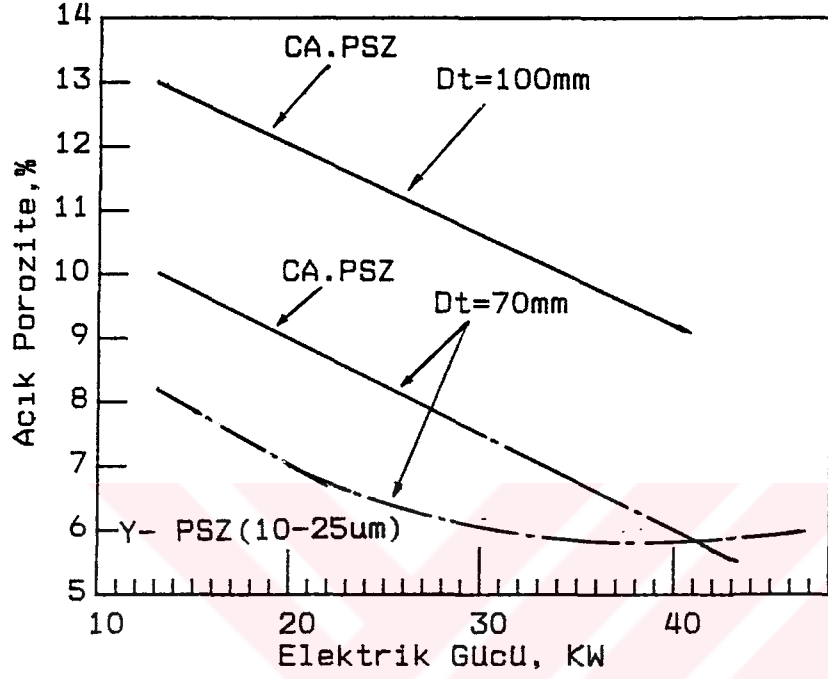
4.1.1.1.2. Püskürtmede Parametrelerinin Kaplama Özelliklerine Etkisi

Kaplamanın kalitesi.kaplanacak yüzeye çarpan partiküllerin hızına ve sıcaklığına bağlıdır ki,bunlar plazma-sprey parametreleri ile yakından ilgilidir.

Plazma-sprey parametreleri:

- a) Tabanca ile kaplanacak yüzey arasındaki mesafe,
- b) Toz boyutu,
- c) Toz boyutu dağılımı,
- d) Tabancanın gücü,
- e) Gaz karışımlarının bileşimi,
- f) Kaplanacak yüzeyin sıcaklığı (ön ısıtma), ve
- g) Toz besleme hızıdır.

Bu parametreler,kalıntı gerilmelere, porozite miktarına, morfolojisine, oksitlerin ve porozitenin kaplama içerisindeki dağılımına etki ettiğinden, kaplamanın dayanıklılığında önemli ölçüde rol oynamaktadır.Sekil 4.3'de püskürtme mesafesine bağlı olarak kaplamada oluşan porozite miktarı görülmektedir. Kaplamanın sertliği, aynı zamanda porozite miktarı görülmektedir. Kaplamanın sertliği,aynı zamanda porozite miktarı ile yakından ilgilidir.Minimum porozitede sertlik değeri 700 Vic-



Sekil 4.3. Yitriya ile stabilize zirkonya (Y-PSZ) kaplamada
a) Acık porozitenin, plazma gücü ve püskürtme mesafesi ile değişimi, b) Acık porozitenin, püskürtme mesafesi ile değişimi. (36)

kers mertebesinde iken poroz kaplamada bu değer 300'un altındadır. Plazma-sprey kaplamada oluşan porozitenin % 10 kadarı kapalı olup, gerisi açık porotizedir. Açık poroziteler, korozif çözelti ve gazların kaplamaya nufus etmesine sebebiyet vererek taban malzemesinin bozulmasına neden olur. Diğer taraftan. Özellikle, katmanlar arasında yer alan yüzeye paralel boşluklar, kaplamanın yapışmasına olumsuz yönde etki etmektedir. Kaplamanın iyi yapışabilmesi için kaplanacak yüzeyin pürüzlü olması, oksit, yağ, kir ve tozlardan arınması gerekmektedir. Yüzey pürüzlülüğü genellikle kum veya alümina gibi bir aşındırıcı tozun, kaplanacak yüzeye, basınçlı hava ile püskürtülmesi ile sağlanır.

Püskürtmede kullanılan toz boyutu dağılımı da önemli bir faktördür. Toz karışımında yer alan çok ince partiküller plazma sıcaklığında kolayca buharlaşır, iri taneler ise ergimeden kaplanacak yüzeye yapışır ve yapının poroz olmasına neden olur. Araştırmalar, toz boyutunun $-60+10\mu\text{m}$ aralığında iyi sonuç verdiğini göstermiştir.

Plazma-sprey işlemi, atmosferik ortamda (APS) veya düşük basınçlı ortamda (LPPS) yapılmaktadır. Düşük basınçta yapılan plazma-sprey işleminde, plazma alevinin boyu 20 cm mertebesinde uzamakta ve daha yoğun bir kaplama elde edilmektedir.

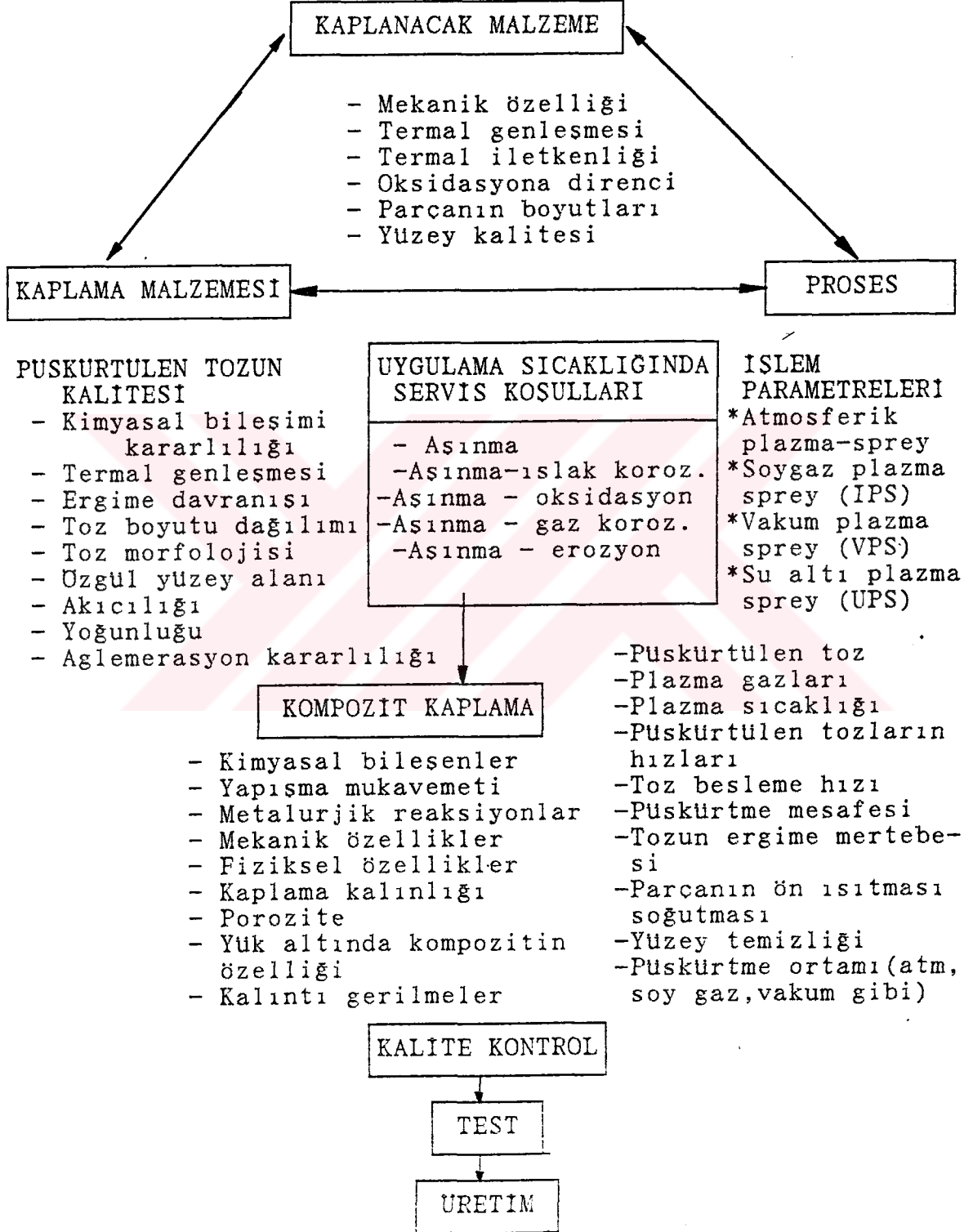
Sekil 4.4'de plazma-sprey işleminin belli başlı bileşenleri ve bunlara etki eden parametreler ana hatları ile gösterilmiştir. Belirli bir kaplama işlemi için tesbit edilen işlem

parametrelerinin bir kısmı, plazma-sprey işlemini yapan kişiye bağlıdır. Kaplama kalitesine bu parametrelerin etkisini bertaraf etmek için, günümüzde püskürtme işlemi bilgisayar kontrollu plazma-sprey sistemlerinde gerçekleştirilmektedir. (36)

4.1.2. Krom Kaplama

Krom kaplama, aşınma direnci için elektroliz yoluyla kaplanarak oldukça fazla olarak kullanılmaktadır. Yaygın olarak: otomotiv, uçakçılık, madencilik ve genel mühendislik alanlarında uygulamaları bulunmaktadır. İcten yanmalı motor elemanlarında, hidrolik silindirler, destekler, silindirler ve makina takımlarında geniş olarak uygulanmaktadır. Kaplama kalınlıkları muhteliftir. Fakat genellikle aşınma amaçlı 20µm ila 500µm arasındaki kaplamalar, dekoratif amaçla kullanılan 1µm kalınlığındaki kaplamalardan göze çarpacak derecede daha kalındır. "Sert krom kaplama" terimi geleneksel olarak, aşınma dirençli kalın kaplamayı, dekoratif amaçlı olandan ayırmaktadır. (37)

Elektroliz yoluyla kaplanmış klasik veya muntazam krom; oksit, hidroksit içinde son derece iyi bir yapı oluşturur ve kaplamaya (900 HV)'lik bir sertlik kazandırır. Bununla birlikte, hidrik kalıntısıyla birlikte yüksek seviyedeki iç gerilmeler, kaplamada bastan başa bir çatlak ağı oluşumuna sebep olur. Kromun sertliği ile birlikte, yararlı aşınma direnci sağlaması kaplanmış yüzeyler arasındaki düşük sürtünme katsayısı ile ilişkilidir.



Sekil 4.4. Plazma- sprej kaplama teknolojisi, bileşenler ve parametreler.

Sert krom kaplama bazı kusurlara sahip olmakla birlikte mühendislik uygulamalarının, geniş bir alanında tesirli servis koşulları sağlamıştır.(37)

4.1.2.1. Krom Kaplamanın Yapılışı

Kaplanacak yüzeylerin yağı giderilir.Kastik sodalı su içerisinde anodik olarak temizlenir. Destile su içerisinde yıkanır. %30'lu hidroklorik asit içinde dağlanır ve kromik asit banyosunda kaplama işlemi yapılır. Genelde kaplama çözeltisi 250gl Cr2O3 ve 2,5gl sülfürik asit içerir ve muntazam veya klasik krom kaplama üretimi için 38 Adm²'lik bir akım yoğunluğunda ve 55° C'ta çalışır.(37)

4.2. Daha Sert Malzeme Kullanarak Aşınmayı Önleme

Aşınmaya dayanıklı malzemeleri demir ve çelik malzemeler demir dışı malzemeler ve sert yüzey kaplama malzemesi olarak kullanılan kobalt esaslı (Co-Cr-Mo-W) alaşımlar olmak üzere üç ana grupta toplamak mümkündür.

Demir ve çelik malzemelere örnek olarak martensitik çelikler, perlitik çelikler ve ostenitik (Hadfield çeliği) çelikler gösterilebilir.(38)

Martensitik çeliklerin iyi derecede aşınma direncine sahip olmaları sertliklerinin yüksek olmasından kaynaklanmaktadır.Ayrıca yapılarında bulundukları sert karbürler de martensitik çeliklerin aşınma direncini arttırmaktadır.Martensitik çelikler yüksek oranda C,Cr,Mo,Mn gibi alaşım elementleri

icerirler. Temperleme işlemleriyle sertliklerinde bir miktar düşme olmasına rağmen aşınma dirençlerinde önemli bir değişiklik olmaz. Yüksek karbonlu martensitik çeliklerde 427°C'nin üzerinde temperleme işlemi uygulandığı zaman tokluklarında önemli artış olmasına karşılık, aşınma dirençlerinde azalmalar meydana gelir.

Perlitik çelikler, perlitik mikroyapıya sahip olan, alaşım elementlerinin de etkisiyle ve basit ısıl işlemler neticesinde yüksek tokluk değerleri elde edilebilen aşınmaya dayanıklı ideal malzemelerdendir. Ağırlıkça % 0.5-1.4C, %3.0Cr, %0.3-0.5 Mo içeren ince taneli perlitik yapının sertliği 35-42 Rc'ye kadar çıkabilmektedir. Perlitik çeliklerde karbon içeriği % 1.0'e kadar olduğu zaman aşınma direnci yükselmektedir. Eğer karbon içeriği % 1.0 dan 1.4'e kadar artılırsa, fazla karbonun çökmesinden dolayı aşınma direncinde bir artış sağlanamayacağı gibi, bu durum çeliğin tokluğunun düşmesine de sebep olur.

Ostenitik çeliklerin aşınma direnci yüksek olup ostenitik bir yapı elde edebilmek amacıyla bileşimlerinde yeterli miktarda manganez, nikel, krom, molibden ve karbonun eriyikte bulundurulması gerekir. Kimyasal bileşimleri % 1.0-1.4 karbon, % 10-14 manganez, % 0.1 fosfor, % 0-05 kükürt, % 0.3-1.0 silisyumdan ibarettir. Yüksek oranda manganez, içeren, dökümden sonraki uygun soğuma şartlarında yapısı tamamıyla ostenitik kalabilen çeliklere ostenitik manganez (hadfield) çeliği de-

nilmektedir. Bu celiklerin en önemli özelliklerinden bir tanesi, mekanik etkenlerle yapısının martensite dönüşerek sertleşmesi ve böylece yüksek bir aşınma direncine sahip olmasıdır. İyi derecede aşınma direnci, orta derecede süneklik ve mukavemetin arandığı yerlerde hadfield celikleri başarıyla kullanılmaktadırlar. Ostenitik celiklerin aşınma dirençlerinin yükseltilebilmesi matriste sert karbürlerin homojen bir şekilde dağılmalarıyla mümkündür. Bu celik türleri, yeraltı çalışmalarında kullanılan techizatlar, greyderler, öğütücü değirmen astarları gibi ileri derecede aşınmaya maruz kalabilen yerlerde kullanılırlar.

Demir dışı malzemeler en belirgin örnek, metal-metal aşınmasına karşı yataklarda kullanılan beyaz metaller (Cu-Sb-Sn alaşımları) ve bronzlardır. Bu malzemeler özellikle abrasiv ve adhesiv aşınmanın mevcut olduğu şartlarda tercih edilirler. Darbeli aşınmaya karşı dirençleri iyi değildir. Daha ziyade ana malzeme aşınmasının önlenmesi için gerekli olan yerlerde kullanılırlar. Bronzlar genelde bakır-kalay alaşımlarıdır. Birçok çeşitleri olmakla birlikte standart "dökme kalay bronzları" %13'e kadar kalay içerirler. Bileşimlerinde alaşım elementi olarak çinko ve gerektiğinde kurşun da ihtiva eden çok bileşenli kalay bronzları "kızıl döküm" diye anılırlar ve sonsuz vida dişlisi, kaymalı yatak burcu gibi yerlerde kullanılırlar. Alüminyum bronzları ise oksidasyona dayanıklı olduklarından daha ziyade triboksidasyon aşınmasına maruz deniz suyu,

sulfirik asit ve tuz çöktellerine karşı kullanılırlar.(39)

Kobalt esaslı alaşımlar , adsehiv aşınma olarak adlandırılan metal metal aşınması, abrasiv aşınma, yorulma aşınması, erozyon ve tribooksidasyon aşınması gibi yüksek sıcaklık uygulamaları için yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.Kobalt esaslı alaşımlar aşınmaya dirençli oldukları için aşınmaya maruz parçaların yüzeylerinin kaplanılmasında da kullanılırlar. Bu alaşımlar elle yapılan metal ark (MMA), tungsten inert gas (TIG) ve oksiasetilen gibi değişik kaynak tekniklerine uygundur. Son yıllarda laser kaynağı ile de yüzey kaplaması yapılmaktadır.

Kobalt esaslı alaşımların çeşitli uygulamalar için tercih edilmesini sağlayan en önemli özellikler;

a)- Yüksek sıcaklıklarda sertliklerini muhafaza edebilmeleri,

b)- Katı eriyik sertleşmesine uygun olmaları,

c)- Düzenli bir karbür yapısına sahip olmaları,

şeklinde özetlenebilir.(11)

BÖLÜM 5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1. Deneyde Kullanılan Malzemeler Ve Aşınma Deney Numuneleri

Bu çalışmada dökme demir, çelik ve paslanmaz çelik malzemeler kullanılmıştır. Kullanılan bu malzemelerin spektral analizleri, X -RF 8480 ARL spektrometre cihazı ile yapılmıştır. Spektral analiz sonuçları tablo 5.1 'de verilmiştir.

Tablo 5.1: Çalışılan malzemelerin spektral analiz sonuçları.

Malz. No	Malzeme adı	Kimyasal Analizleri						
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
1	Paslanmaz Çelik	0.52	1.85	0.45	0.01	.001	8.36	0.20
2	Karbon Çeliği 1	0.11	0.15	1.11	0.01	0.01	0.02	0.08
3	Karbon Çeliği 2	0.27	0.11	0.81	0.01	0.02	0.09	0.12
4	Dökme Demir	3.69	1.89	0.62	0.15	0.15	0.10	0.20

Aşınma deney numuneleri literatüre uygun olarak (40), aşınma deney aparatına takılmak üzere 90*18*8 mm boyutlarında hazırlandı ve her bir numunenin gerçek ölçümleri yapıldı.

Numunelerin ağırlıkları, aşınma deneyleri ölçüm yöntemlerinden olan ağırlık farkı metoduna(11) göre, 10⁻⁴ hassasiyetindeki terazide tartıldı.

5.2. Mikro Sertlik Deneyleri

Mikro sertlik deneyleri, bu deneylerin ilgili standardı-göre yapıldı(41).

Yüzeylerin mikro sertlik okumaya elverişli hale getirilmesi için standartlarda gösterilen metalografik hazırlamalar yapıldı. Yüzeyden en az 5 adet okuma yapılması şartına uyularak her bir deney için mikro-sertlik değerleri HV (Hardness Vickers) olarak tesbit edildi.

Tesbit edilen bölgelerden 400x'de fotoğraflar alındı.

5.3. Aşınma Deney Aparatı Ve Aşınma Deneyleri

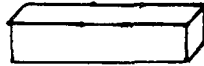
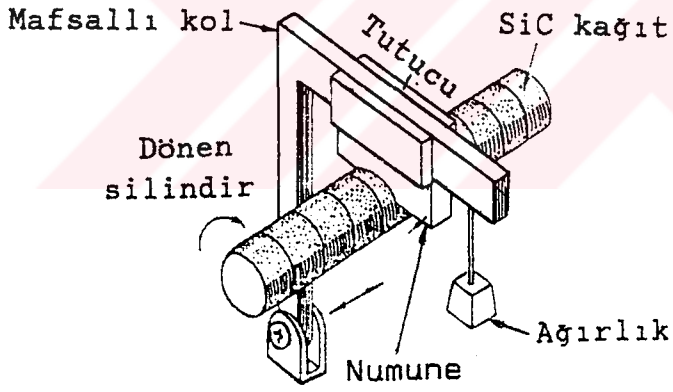
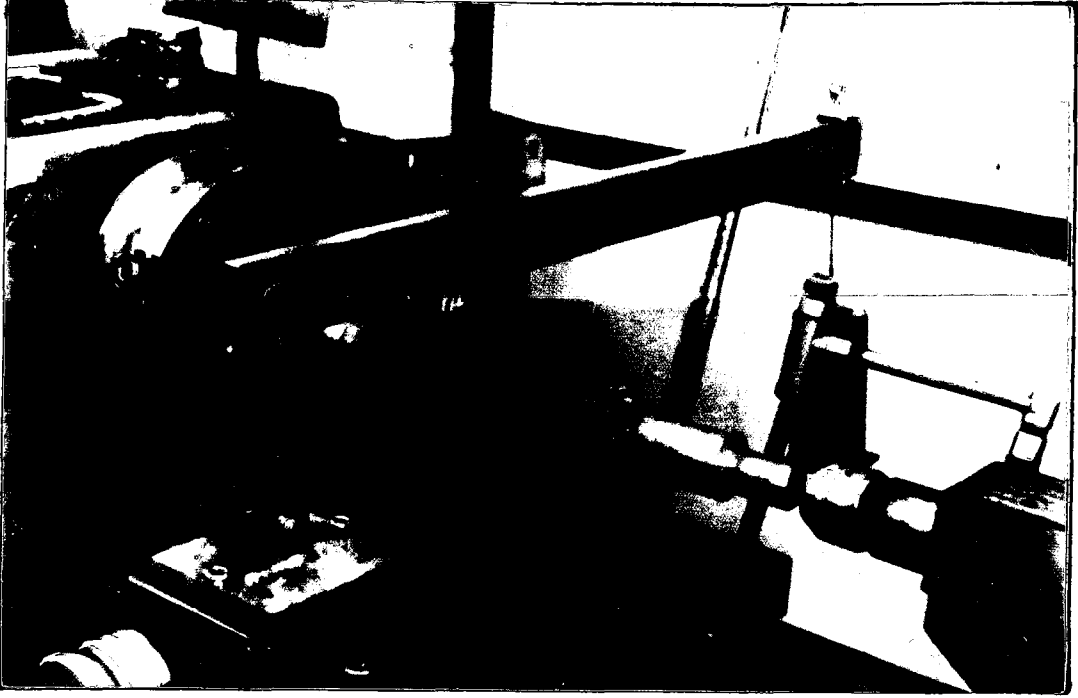
Endüstriyel uygulamalarda abrasiv aşınmanın önemi büyüktür. Özellikle mekanik uygulamalar içinde taşlama, kesme, delme v.b. dönen techizatlarda da bu durum geçerlidir. Bu amaçla endüstriyel uygulamalarda, servis içindeki aşınmaya uygun olarak "Crossed - Cylinder" tabir edilen bir aşınma test aparatı literatüre uygun olarak (40), şekil 5.1'de görüldüğü gibi hazırlandı. Bu aşınma test aparatı literatüre 1988 yılında girmiştir. (32,33,34)

Crossed-cylindir metodunun diğer aşınma test aparatlarına göre bir çok avantajlı yönleri vardır. Bunlar: Yapılıs maliyetinin düşük ve basit olması, torna makinesi olan her yerde rahatlıkla uygulanabilmesi, endüstriyel uygulamalarda özellikle dönen techizatlarda ki malzemelerin aşınma davranışlarına yakın sonuçlar vermesi ve her tür sertlikteki malzemelere uygulanabilmesi olarak sıralanabilir.

Hazırlanan aşınma test aparatı bir torna makinesi üzerine monte edildi. Punta ve aynaya bağlı silindirik bir mil üzerine, aşındırıcı abrasive kağıt, numuneyi aşındırmak amacı ile yapıştırıldı. Bu çalışmada metalografik parlatma için kullanılan, standart silisyum karbür (SiC) kağıtlardan faydalanıldı. Test numunesi, mafsalı bir kol üzerinde dönen abrasiv aşındırıcı yüzeye dik açıda takılmış olarak bir tutucuya monte edilerek emniyetle tutulması sağlandı. Bume kanizma şekil 5.1'de açıkça görülmektedir.

Aparat kolu, tornanın kalemlik tabir edilen yandan-yana (gel-git) hareketi yaptıracak bölümü üzerine bağlandı. Ve dişli çarklar sistemi (hız donanımı) böyle ayarlandı ki bir test esnasında, numune abrasiv kağıt üzerinde silindir boyunca spiral bir yol takip etmekte, bundan dolayı, numune abrasiv kağıt üzerinde sadece bir kez geçmektedir.

Numune bir (L) yükü altında, (t) zamanı için, ($V=S/t$) hızında abrasiv silindire karşı tutuldu. Literatüre uygun olarak hazırlanan aşınma deneyinde yük 10 kg olarak sabit tutuldu. Deney zamanı her bir numune için önce 3 dk olarak ayarlandı, daha sonra 1 dakikalık aralıklarla 6 dakikaya ulaşıldı. Kayma hızı ise 0.003 m/sn olarak ayarlandı.



Numune ölçüleri: 90*18*8 mm

Sekil 5.1. Asınma Test Aparatı.(40)

BÖLÜM 6. DENEY SONUÇLARI VE İRDELENMESİ

6.1 Mikro-Sertlik Deneyleri Sonuçları

Sertlik değerleri tablo 6.1 'da verilen deney malzemeleri içinde paslanmaz çelik,sertlik değeri en yüksek olan alışımdır.Bunun nedeni,yapısındaki Cr miktarının oldukça yüksek olmasıdır. Bu alaşımı dökmedemir, karbon çeliği 1,ve karbon çeliği 2 takip etmektedir.

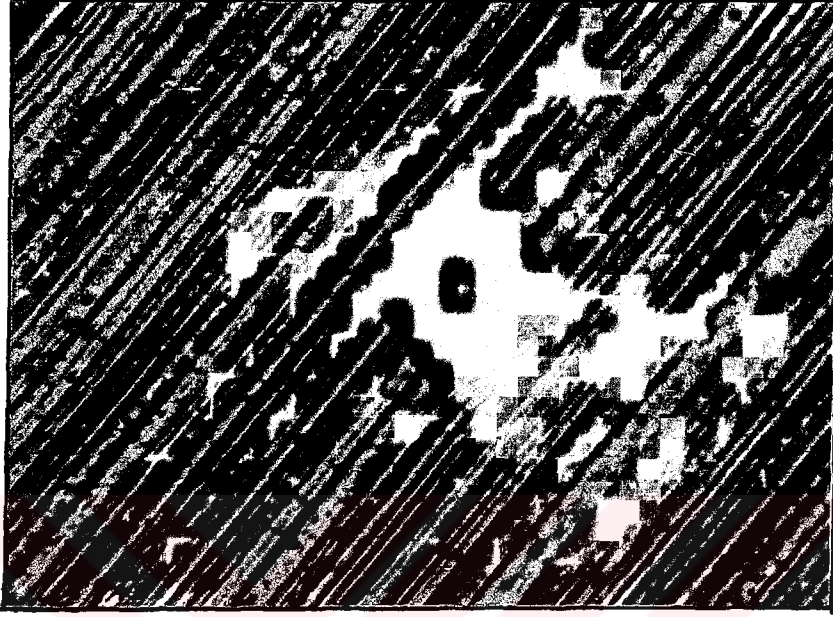
Sertlik değerleri alınan bölgelerden 400x'de fotoğraflar alındı. Alınan mikrosertlik fotoğrafları şekil 6.1'de görülmektedir.

Tablo 6.1.:Deneyde kullanılan malzemelerin sertlikleri

Malzeme No	Malzeme Adı	Sertlik değeri (VH)
1	Paslanmaz Çelik	378 HV
2	Karbon Çeliği I	265 HV
3	Karbon Çeliği 2	276 HV
4	Dökmedemir	331HV

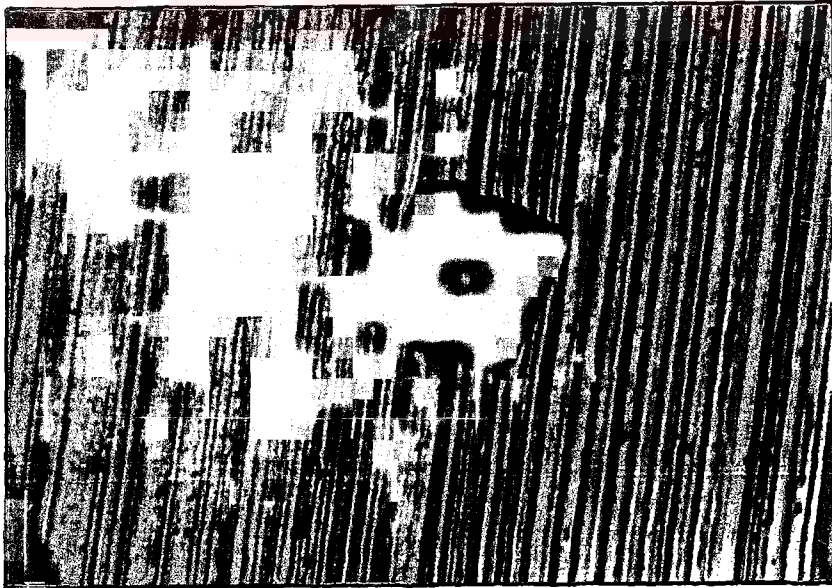
Literatüre uygun olarak hazırlanan aşınma deneyinde yük 10 kg olarak sabit tutuldu.

1.Nolu numunenin mikro-sertlik fotoğrafları



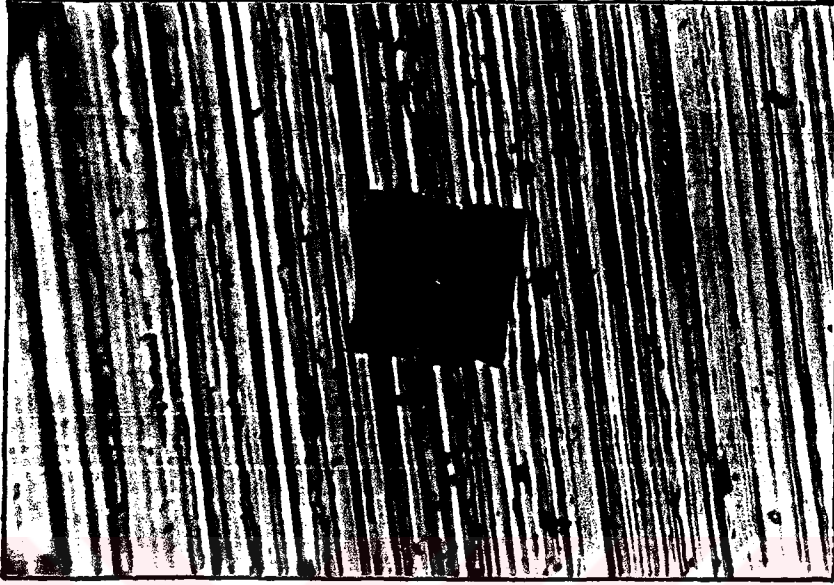
(a) (400x)

2.Nolu numunenin mikro sertlik fotoğrafları



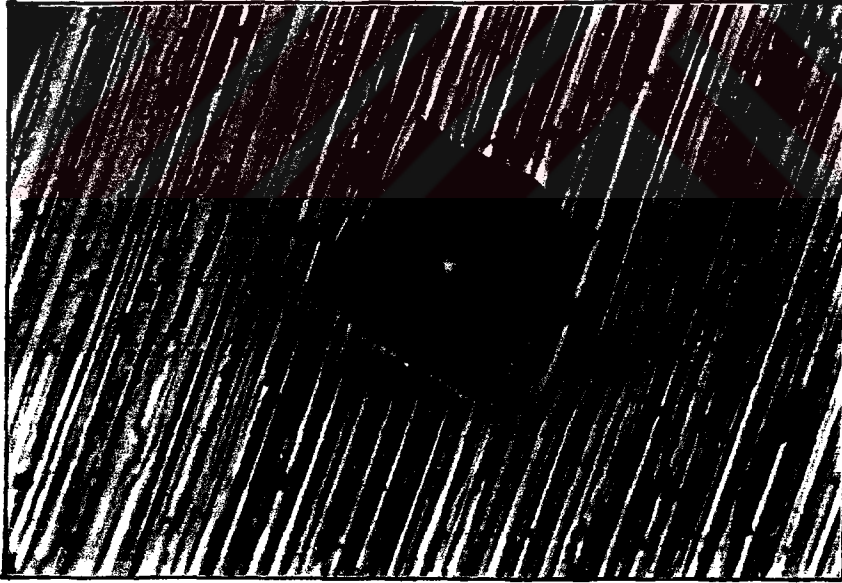
(b) 400x

3.Nolu parçanın mikro sertlik fotoğrafları



(c) 400x

4.Nolu numunenin mikro sertlik fotoğrafları



(d) 400x

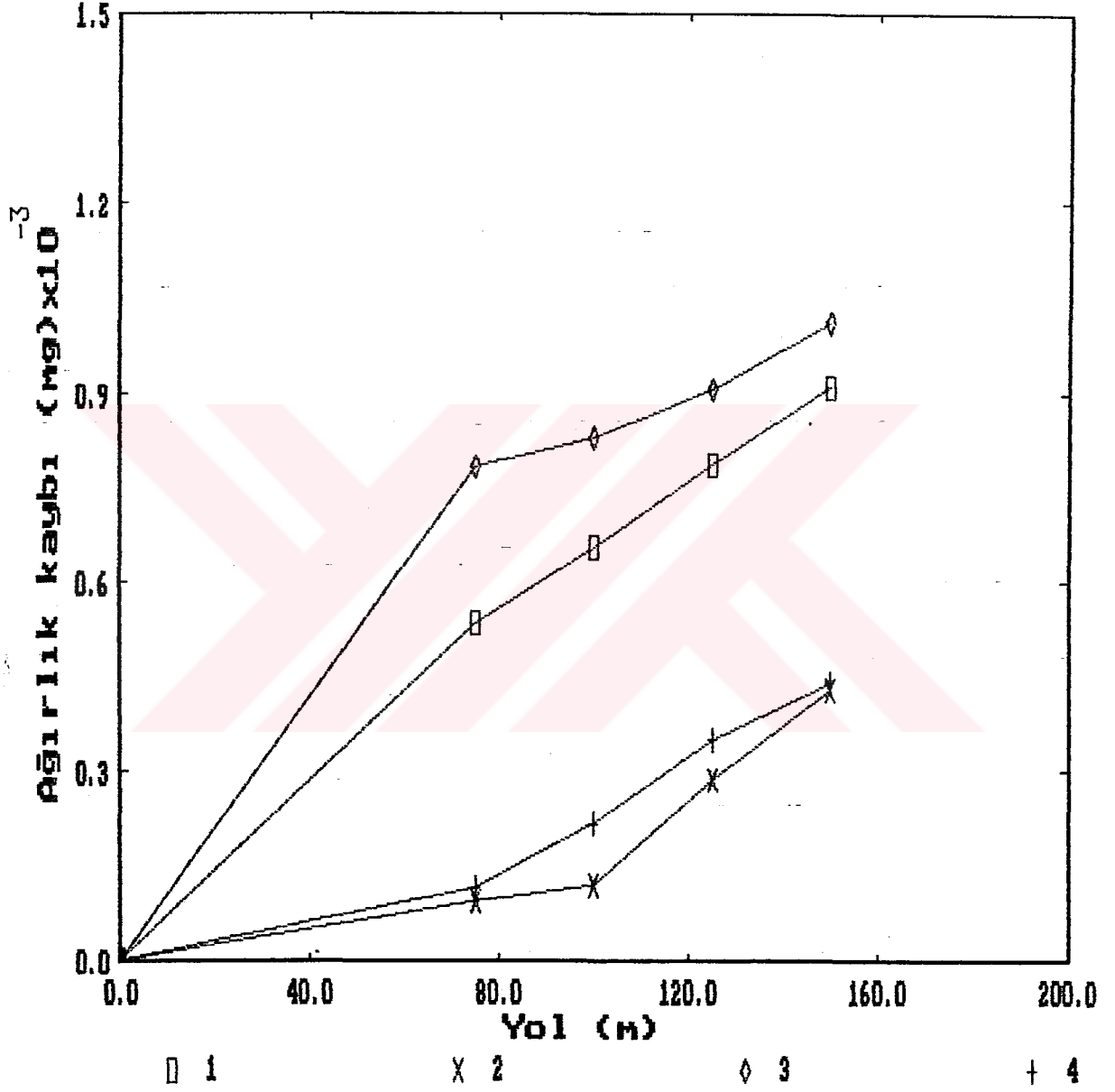
Sekil 6.1. Deneyde kullanılan malzemelerin mikro sertlik fotoğrafları a)Paslanmaz Çelik b)Karbon Çeligi 1 c)Karbon çeligi 2 d)Dökmedemir.

6.2 Aşınma Deney Sonuçları:

Aşınma deneyleri, sabit ağırlık, artan zaman ve yol, aşındırıcı olarak silisyum karbur (SiC) kağıtlar kullanılarak yapılmıştır. Ağırlık 10 kg olarak sabit tutuldu. Zaman ise önce 3 dk. olarak belirlendi daha sonra 1 dk'lık aralıklarla arttırılarak toplam 6 dk'ya ulaşıldı. Aşınma sırasında numunenin aşındırıcı kağıt üzerinde aldığı yolun 1 dk.'da 25.10m olduğu hesap edildi. Aşınma deneyleri oda sıcaklığında yapıldı

Aşınma deneylerinde, yükleme ağırlığının etkisiyle, zaman ve aşınma yolunun artması ile malzemelerdeki ağırlık kaybı artmaktadır. Bu durum şekil 6.2' de açıkça görülmektedir. Oda sıcaklığında yapılan deneylerde, en fazla ağırlık kaybına uğrayan malzeme karbon çeliği 1 ve en az ağırlık kaybına uğrayan malzeme dökmedemirdir.

Yoğunluğu ve aşınmadaki ağırlık kayıpları bilinen numunelerin aşınma oranları bölüm 3.2.1'de verilen 1 nolu bağıntı $W_a = G/dMS$ ile hesaplanmıştır. Aşınma dirençleri ise yine bölüm 3.2.1'deki 2 nolu bağıntı $W_r = 1/W_a$ ile bulunarak şekil 6.3-6.6'da verilmiştir. Şekil 6.3 "karbon çeliği 2 'nin" 500 numara SC abrasivler kullanılarak, 25m'den 150m'ye kadar yapılan deneylerin aşınma oranlarını göstermektedir. Artan aşınma yolu ile orantılı olarak, aşınma oranıda artmaktadır. Aynı malzemenin aşınma oranı tersi olan aşınma direncinin aşınma

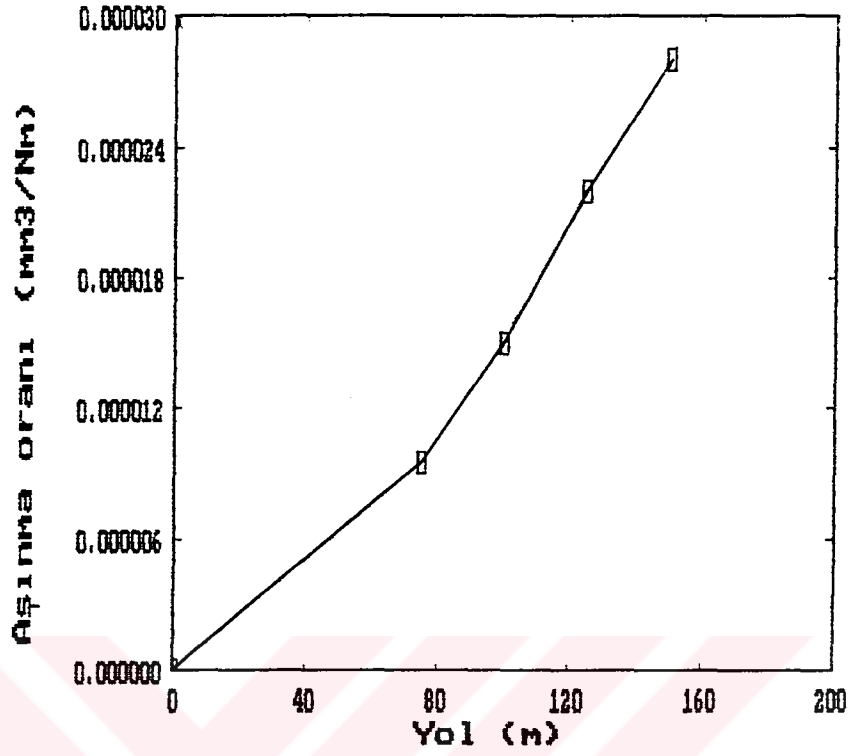


Sekil 6.2.: Sabit yük altında aşınma yolunun ağırlık kaybının etkisi. 1-Karbon Çeligi 2 Dökmedemir 3-Karbon çeligi 1 4-Paslanmaz çelik

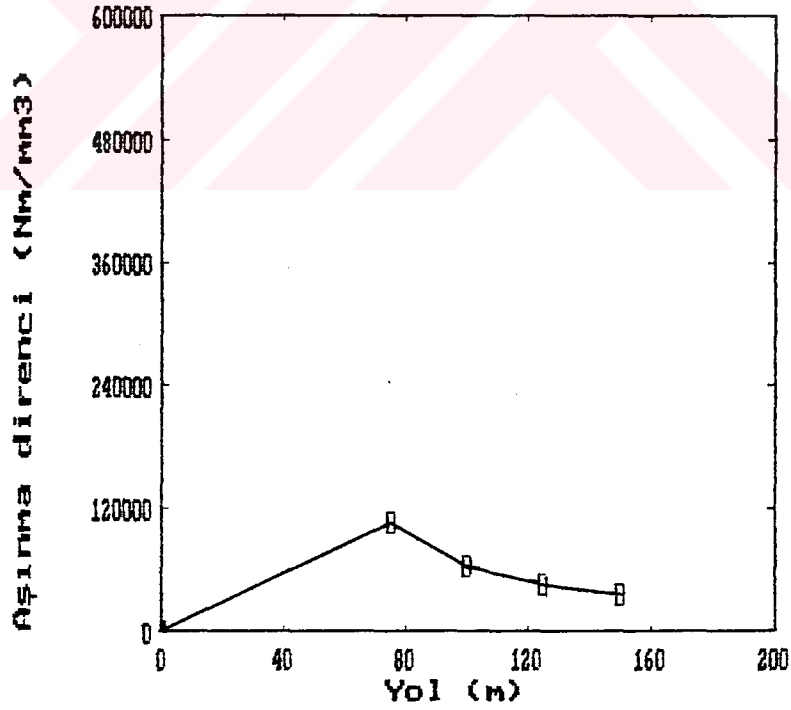
yolu ile değişimi şekil 6.3'de görülmektedir. Malzemenin aşınma direnci, artan aşınma yolu ile ters orantılı olarak değişmektedir. Şekil 6.4 "dökmedemirin" çeşitli aşınma yollarındaki aşınma oranlarını göstermektedir. Artan aşınma yolu ile aşınma oranı doğrusal olarak artmaktadır. Aşınma direnci ise artan aşınma yolu ile birlikte azalmaktadır(Şekil 6.4)."Karbon çeliğ 1"ile yapılan deneylerde aşınma yolunun artması ile aşınma oranlarında hızlı bir artış gözlenmiştir (Şekil 6.5). Diğer alaşımlarda olduğu gibi, aşınma direnci artan aşınma yolu ile azalmıştır(Şekil 6.5). Fakat aşınma direnci diğer alaşımlara göre çok düşüktür. Bunun nedeni, sertliğinin diğer alaşımlara göre az olmasıdır.

Paslanmaz çelikte de aşınma yolu arttıkça aşınma miktarı artmaktadır (Şekil 6.6). "Paslanmaz çelik"tede aşınma direnci artan aşınma yolu ile azalmaktadır.

Deney numuneleri içinde aşınma direnci en yüksek malzeme dökmedemirdir. Bunu paslanmaz çelik, karbon çeliği 2 ve karbon çeliği 1 takip etmektedir.

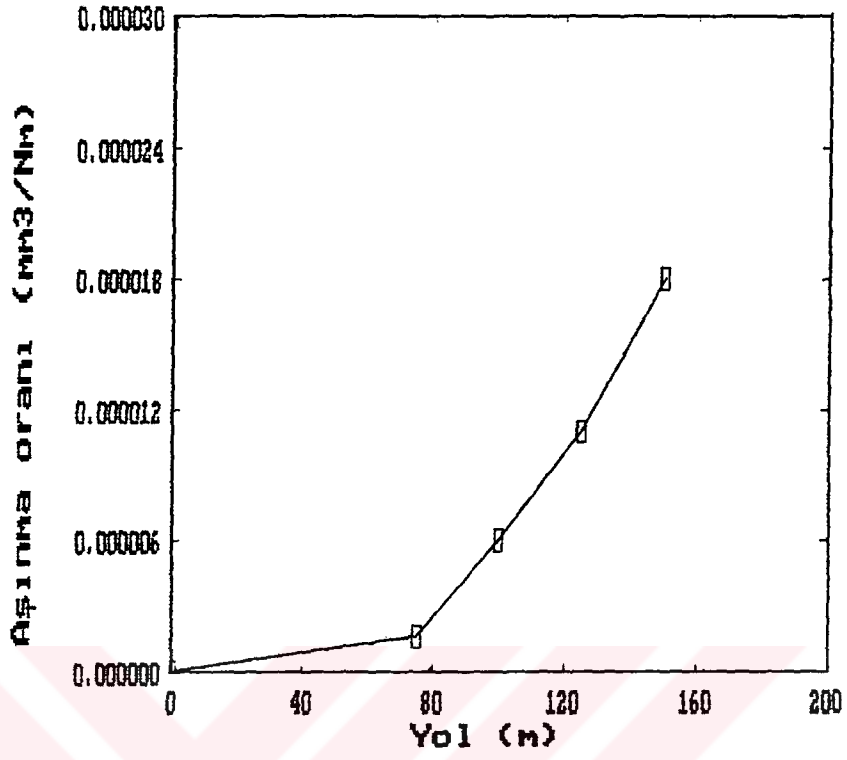


(a)

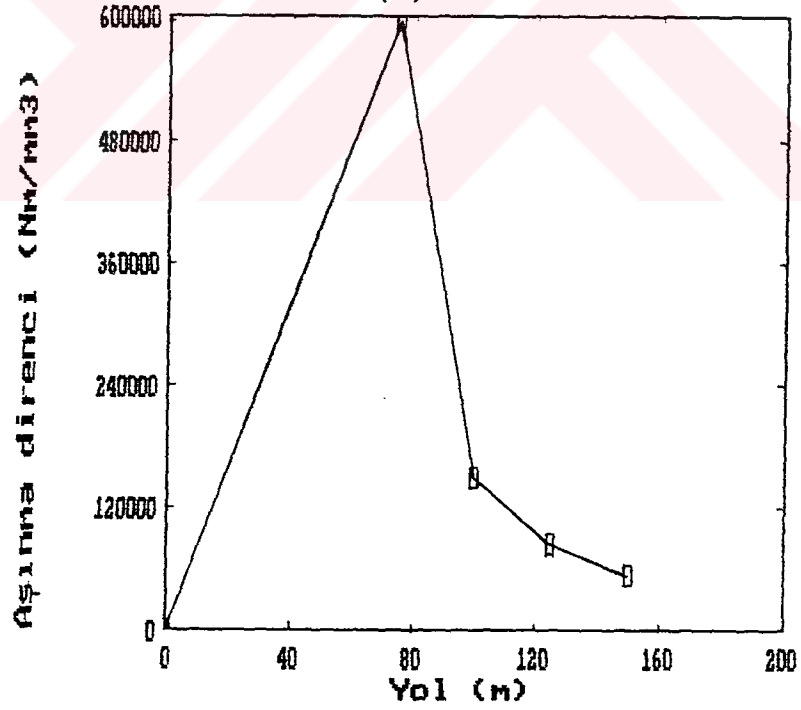


(b)

Sekil 6.3.: Sabit yük altında aşınma yolunun "karbon çeliği 2" nin aşınma oranı ve aşınma direncine etkisi.

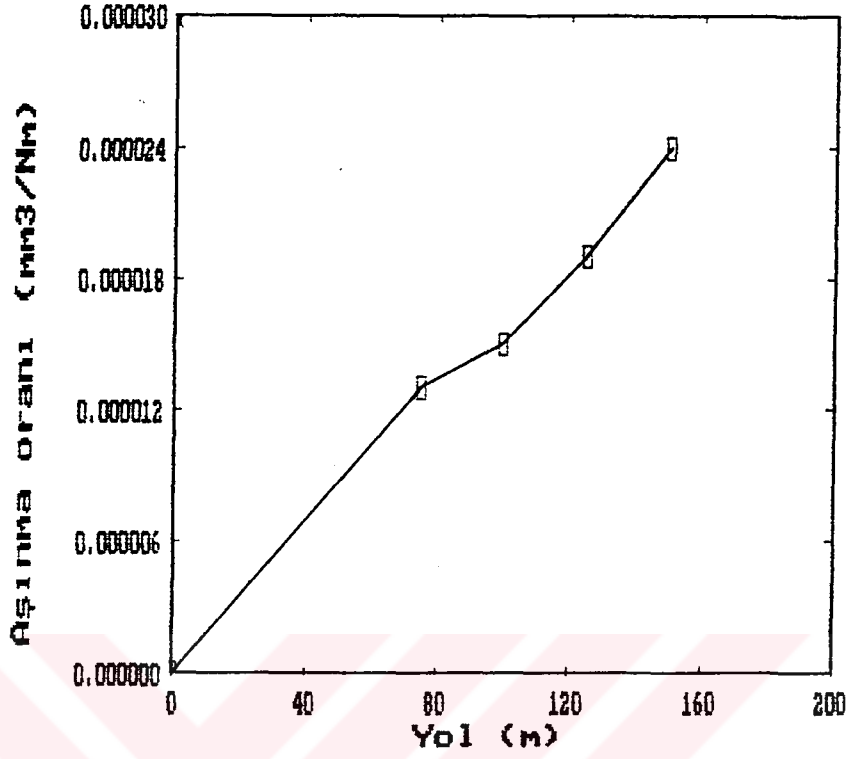


(a)

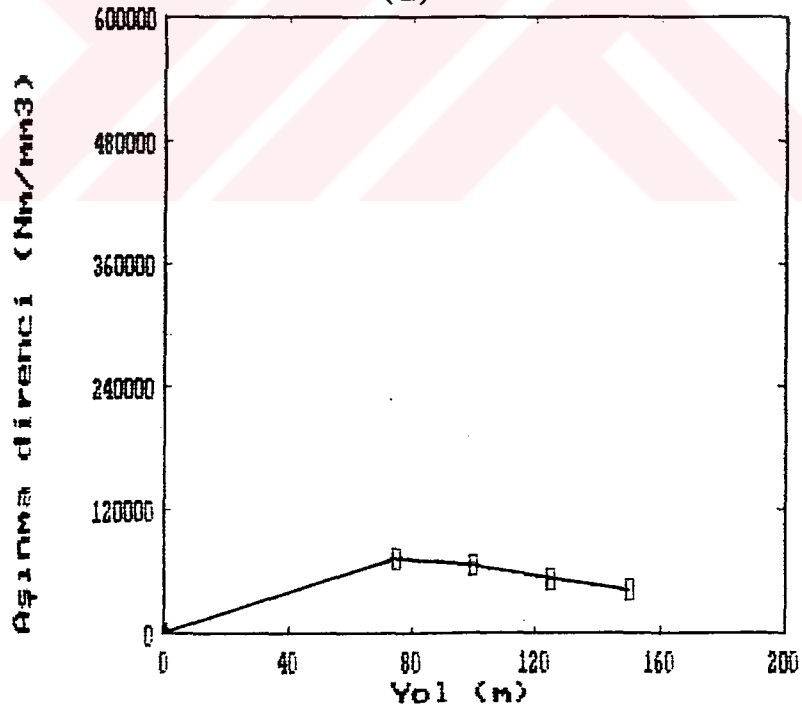


(b)

Sekil 6.4:Sabit yük altında aşınma yolunun "dökmedemirin" aşınma oranı ve aşınma direncine etkisi.

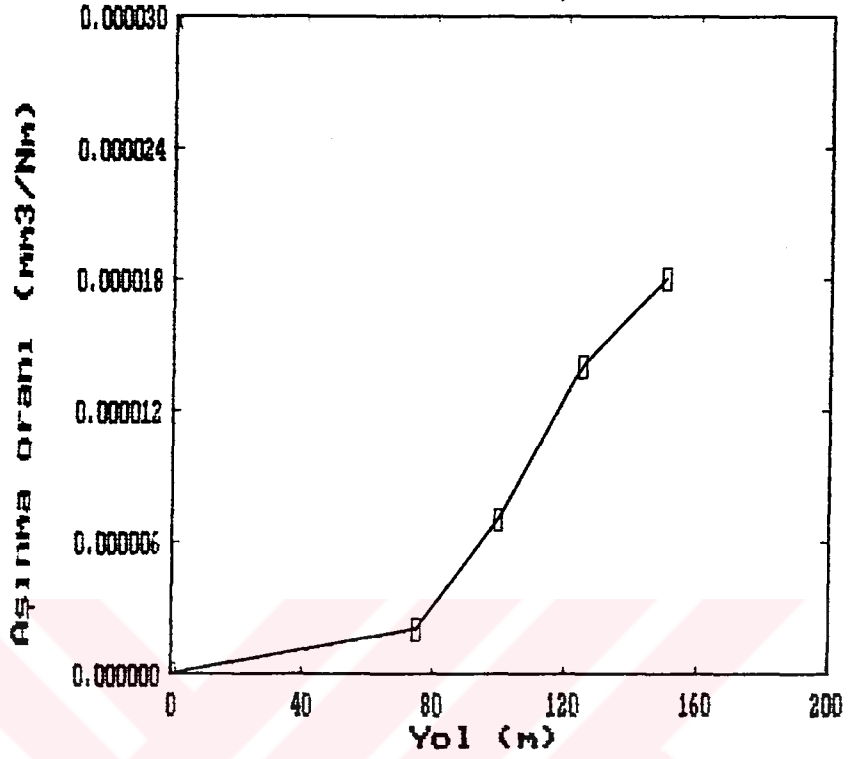


(a)

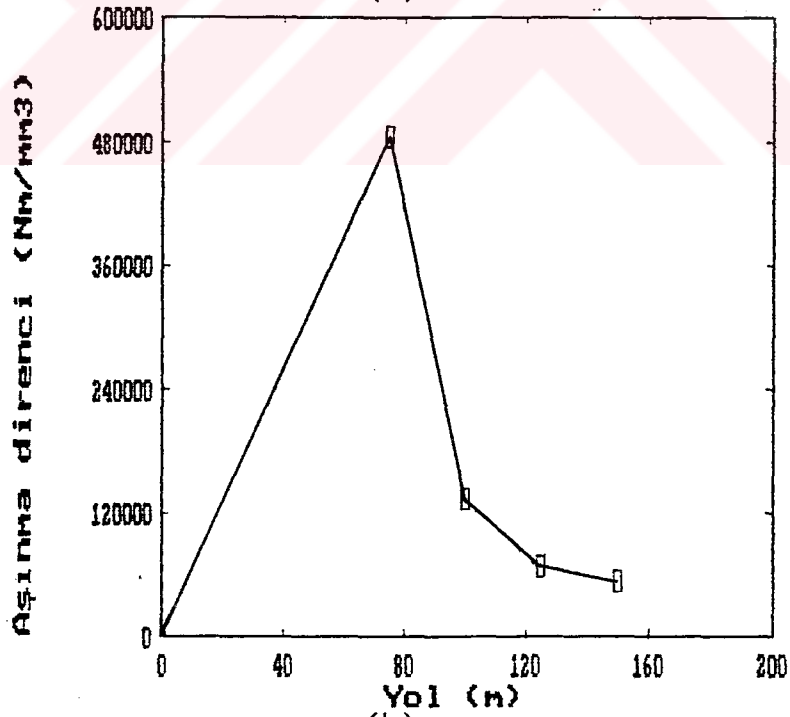


(b)

Sekil 6.5: Sabit yük altında aşınma yolunun karbon çeliği 1''in aşınma oranı ve aşınma direncine etkisi.



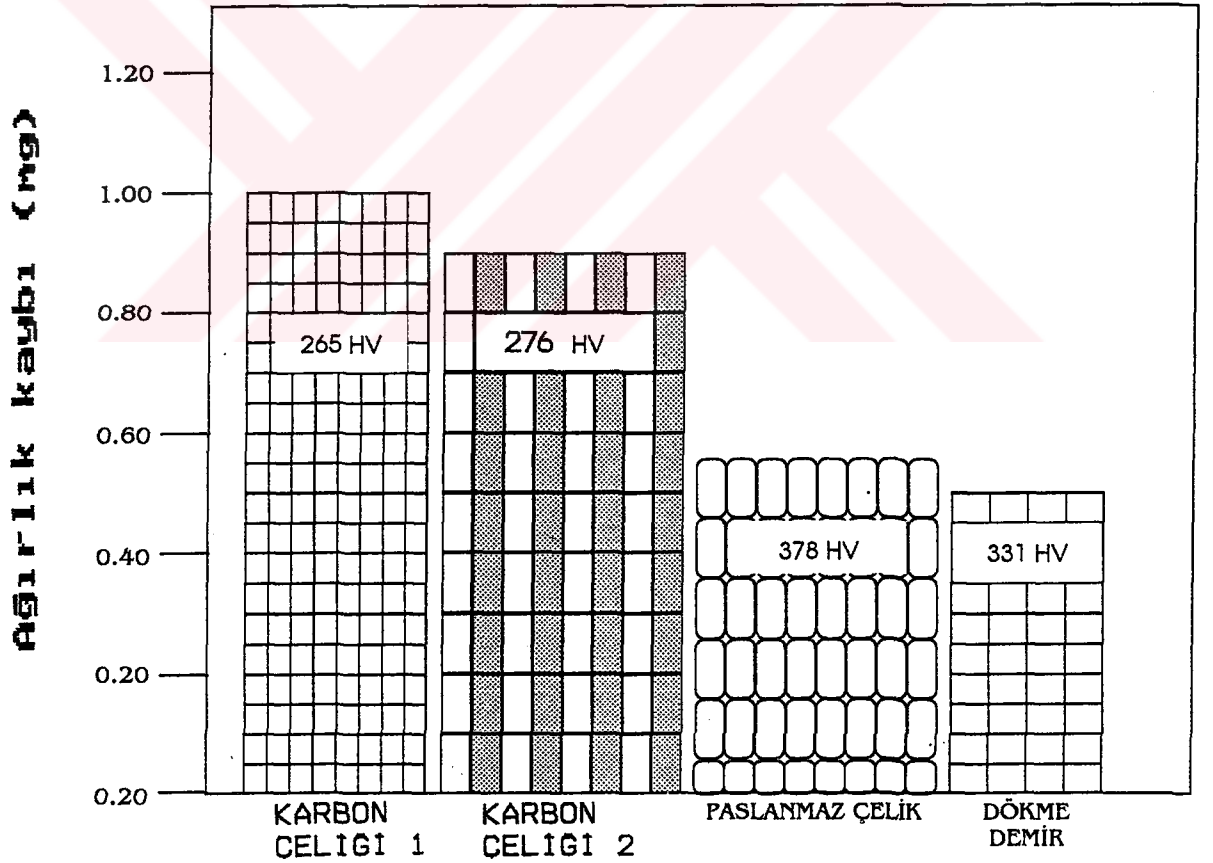
(a)



(b)

Şekil 6.6: Sabit yük altında aşınma yolunun "paslanmaz çeliğin" aşınma oranı ve aşınma direncine etkisi.

Sekil 6.7'de ise deneyde kullanılan bütün malzemelerin 150 m aşınma yolu sonunda, malzeme sertliğine karşı toplam ağırlık kayıplarını göstermektedir. Buna göre en fazla ağırlık kaybı sertliği en az olan karbon çeliği 1'de meydana gelmiştir. En az ağırlık kaybı ise sertliği yüksek olan dökme demirde olmuştur.



Sekil 6.7: Deneyde kullanılan malzemelerin sertliklerine karşı ağırlık kayıpları.

GENEL SONUÇLAR

Bu çalışmada "Crossed-Cylindir" tabir edilen yeni bir aşınma test aparatı hazırlanarak, sabit yük altında ve artan aşınma yolu ve zaman aralıklarında paslanmaz çelik, karbon çeliği ve dökmedemir malzemelerin aşınma davranışları incelenmiştir. Yapılan aşınma deneylerinden elde edilen sonuçlar aşağıda belirtilmiştir.

1- Genel olarak artan aşınma yolu ile malzemelerin ağırlık kaybı artmıştır. Malzemelerin sertliği arttıkça ağırlık kaybı azalmıştır.

2- Aşınma yolu arttıkça malzemelerin aşınma oranları da artmıştır. Bunun tersi olarak aşınma yolu arttıkça aşınma direnci azalmıştır.

3- En fazla aşınma direncine sahip malzeme sertliği yüksek olan dökmedemirdir. En az aşınma direncine sahip malzeme ise sertliği en az olan karbon çeliği 1'dir. Bu durum gösteriyor ki genelde sertlik arttıkça aşınma direncide artmaktadır.

4- Aşınma test sonuçlarının, aşınma ile ilgili literatürlere uygun olması, hazırlanan test aparatının güvenilir olduğunu göstermektedir.

KAYNAKLAR

- (1) RABINOWICZ, E. "Friction and Wear in Materials". J.WILEY Inc. New Yourk (1965)
- (2) KRAGELSKII, I.V. and ARCHENKO, E.A."J.Lubr. Tech.(Trans. A.I.M.E.)", 104,1, (1982).
- (3) EYRE, T.S. "Powder Metallurgy", 24,(2), 57, (1981).
- (4) MISRA, A. and FINNIE, I."J.of Eng. Materials and Technology", A.S.M.E., 104,(4),94, (1982).
- (5) CLEAVE, A. "To Combat Wear", Metallurgia, March (1982).
- (6) KO, P.L., "Tribology International", 20,66 (1987).
- (7) WERT,J.J. "The Role of Microstructure In Subsurface Damage Induced By Sliding Contact." Key Engineering Materials Vol.33 p.p. 101-134 Copyright Trans Tech Publications, Switzerland, (1989).
- (8) DIN 50320, Verschleiss,"System Analyse Von Verschleissvorgangen Gliederung des Verschleissgebietes, Material prüfnormen für Metallische Werkstoffe" DIN Taschenbuch 56.. Beuth Verlag GmbH,Berlin, 38-51 (1983).
- (9) KAYALI, E.S.-ÇIMENOĞLU, H. "Hasar Analizi Semineri" T.M. M.O.B.Met.Müh.Od. .18-22 Haziran 1990.
- (10) ENGINEERING COATINGS, "Design and Application", Abington publishing, The Weldinding Instituten, U.K., pp. 189-193, 1989.
- (11) CELİK, H., "Kaynak Edilebilen Kobalt Ve Demir Esaslı Alaşımların Yüksek Sıcaklıktaki Aşınma Davranışları", Doktora Tezi, İ.T.U., Ağustos, 1991.
- (12) KHRUSCHOV, M.M., Principle of Abrasive Wear.Wear 28,69-88 1974.
- (13) MOORE,M.A., REVISW,A."Of Two-Body Abrasive Wear" Wear27 1-17, (1974).
- (14) MILLER, A.E."Waer in Steels". Journal of Metals.Ort.1983

- (15) MUTTON, B.J., WATSON, J.D., "Some Effects of Microstructure on the Arasion Resistance of Metals", Wear, 48 385-398, (1987).
- (16) KARAMIS, M.B., "Toprak İşleme Aletlerinde İş Organının Aşınmasının Etüdü.", Doktora Tezi, E.U.F.B. Enst. Kayseri, (1985).
- (17) LARSEN BASSE, J.A., "Role of Microstructure and Mechanical Properties in Abrasion", Scripta Metallurgica at Materialia, Vol.24, (1990).
- (18) KARABAY, M., AKTAŞ, A. "Zımpara Taşları", İstanbul T.E.F. Yayınları, (1965).
- (19) GEE, M.G., MATHARU, C.S., ALMOND, E.A. and EYRE, T.S., "The Measurement of Sliding Friction and Wear of Ceramics at High Temperature", Wear of Materials 387-397, (1989).
- (20) DATE, S.W., MALKIN, S., "Effect of Grit Size on Abrasion With Contact Abrasives", Wear, 40, 252-264, 1976
- (21) GURLEYİK, M.Y., "Yüksek Lisans Ders Notları", K.T.U., Trabzon (1986).
- (22) ABHOK, K.V., "Comparative Tendencias for Metal Loss by Abrasive Wear", Impact Erosion and Arc Erosion Wear, 49, 305-314 (1978).
- (23) GURLEYİK, M.Y., "Metallerin ve Metal Olmayan Sert Malzemelerin Taneli Maddeler Tarafından Sürtünerek Aşındırılması", Mühendis ve Makina, Cilt 19, Sayı 217, Ankara (1975).
- (24) RABINOWICZ, E., DUNN, L.A. "Stud of Abrasive Wear Under Tree Body Condition", Wear, 4, 225-245 (1961).
- (25) RICHARDSON, E., R.C.D., "The Wear Of Metal Shares in Agricultural Solis", Thesis, London, (1969).
- (26) MALLENDER, R.F. and COLEMAN, D.S., "Powder Metallurgy, 17, (34), (1974).
- (27) MALLENDER, R.F. and COLEMAN, D.S., "Fourth European Powder Metallurgy Conference", Grenoble, France, Vol.1, pp.11-1 to 11-7, 13-15 May. (1975).

- (28) ZAAMOUT, M. and COLEMAN, D.S., "Eighth International Powder Metallurgy Conference", Dresden, German Democratic Republic, Vol.2 pp.59-82, 24-26 September, (1985).
- (29) EYRE, T.S. and WALKER, R.K., "Powder Metallurg", 19, (1), 22, (1981).
- (30) ELCIS, J.S. Royal Society Meeting, "Antiwear 88", London pp. 12-1 to 12-22, 20-22, September (1988).
- (31) BARKER, K.C. and BALL, A. "Ibid", pp.22-1 to 22-7.
- (32) BREWIN, P.R. and COLEMAN, D.S., European International P.M. Conference, "P.M. 86", Dusseldorf, Federal Republic of Germany, Part II, paper 21-12 pp 1057-1061, 7-11 July (1986).
- (33) NURTHEN, P.D., TOLUI, B., BREWIN, P.R., IGHARO, M., WOOD, J. SHAIKH, Q.A and COLEMAN, D.S., American International Powder Metallurgy Conference, "P.M.88" Orlando, Florida, Vol.19 pp305-317, 4-11 j.1988
- (34) BREWIN, P.R., NURTHEN, P.D. and TOLUI, B. "Metals and Materials" (8), pp 470-473, (1988).
- (35) KOBATEK, "Koruyucu Bakım Teknolojisi Ürün Kataloğu", Gedik Holding Yayınları, sy.2 Kartal, İst., (1994)
- (36) GECKİNLİ, A.E. "İleri Teknoloji Malzemeleri" İ.T.U. Kimya-Metalurji Fak. Yay. , sy.240-256, İst. (1992)
- (37) GAWNE, D.T. and GUDYANGA, T.F.P., "Wear Behavior of Chromium Electrodeposits." Brunel University, Uxbridge, Middlesex, UK.
- (38) DIKEC, F. "Aşınmaya Dayanıklı Demir Çelik Döküm Malzemeleri" İ.T.U. Dergisi, sy. 7-15, İst., (1976)
- (39) GULEC, S., ARAN, A. "Demirdışı Metaller Malzeme Bilgisi" TÜBİTAK Yayını, Cilt 2, sy.123-235, (1987).
- (40) COLEMAN, D.S., SHAIKH, Q.A., BREWIN, P.R. "Wear Testing of Resistant Materials", Powder Metallurgy Research Group, Institute of Polymer Technology and Materials. pp 449-462, Great, Britain.
- (41) ASTM Standards, "Standard Test Method for Mikrohardness of Materials." E 384-89, sy. 722-740.

ÖZGEÇMİŞ

15.3.1971 tarihinde Tarsus'ta doğdum. İlk orta ve lise öğrenimimi Tarsus'ta tamamladım. 1988 yılında M.U. Teknik Eğitim Fakültesi Metal İşleri Öğretmenliği bölümünü kazandım. Bu okuldan 1992 yılında bölüm üçüncüsü olarak mezun oldum. Aynı yıl Haydarpaşa Endüstri Meslek Lisesi'nde metal işleri öğretmeni olarak göreve başladım. Halen aynı okulda öğretmen olarak görevime devam etmekteyim.

Ocak,1995

İsmail YILMAZ