

**SİLİNDİRİK PARÇALARIN YÜZEY
TORNALANMASINDA ELDE EDİLEN
YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN
AŞINMAYA ETKİSİ**

Arif ÖNDER

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

1995

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı
1995

39929

CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SİLİNDİRİK PARÇALARIN YÜZEY TORNALANMASINDA
ELDE EDİLEN YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN
AŞINMAYA ETKİSİ

Arif ÖNDER

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Abdullah KEÇECİLER

Makina - Yrd. Doç. Dr.



FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

Bu çalışma, jürimiz tarafından, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı 'nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan Prof.Dr.Kozı KAZIHAN

Üye Yrd.Doç.Dr.Abdullah KEÇECİLER

Üye Yrd.Doç.Dr.Burhan SELÇUK

Üye

Üye

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylım.

03.12.2011/1995

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

Prof. Dr. Fuat ÖNDER



Bu tez, Cumhuriyet Üniversitesi Senatosunun 05. 01. 1984 tarihli toplantısında kabul edilen ve daha sonra 30. 12. 1993 tarihinde C. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğünce hazırlanan ve yayınlanan " Yüksek Lisans ve Doktora Tez Yazım Kılavuzu" adlı yönergeye göre hazırlanmıştır.

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans Tez çalışmalarımnda yardımcı olan tez danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Abdullah KEÇECİLER' e, yardımcı danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Şemsettin ÇİMEN'e ve Doç. Dr. Ercan ABİŐEV'e ayrıca gösterdikleri özveriden dolayı eşime ve çocuklarıma teşekkür ederim.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SİLİNDİRİK PARÇALARIN YÜZEY TORNALANMASINDA ELDE EDİLEN YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN AŞINMAYA ETKİSİ

Arif ÖNDER

Cumhuriyet Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Abdullah KEÇECİLER

Bu çalışmada, bir torna tezgahında işlenmiş silindirik iş parçalarındaki yüzey pürüzlülüğünün aşınmaya etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Deneyler torna tezgahına monte edilen özel bir deney düzeneği ile gerçekleştirilmiştir. İki adet farklı kalem ucu profili ve her kalem için altı değişik ilerleme kullanılarak deney numuneleri hazırlanmıştır. Bu takımlardan biri ek kenarlı olarak adlandırılmış ve özel bir yöntem kullanılarak hazırlanmıştır. Deney numuneleri plaka - silindir yöntemi ile yağlı olarak aşındırılmış ve her yüzey için ölçülen aşınma değerleri kullanılarak aşınma - ilerleme diyagramları çizilmiştir. Ek kenarlı kesici takımın yüzey pürüzlülüğünü nasıl etkilediği incelenmiştir. Bu inceleme sonucunda Ra ve Rz(DIN) parametreleri kullanılarak her bir kesici takım için ilerleme - yüzey pürüzlülüğü diyagramları çizilmiştir. Özel kesici takım kullanılarak büyük ilerleme değerleri ile işlenmiş numunelerdeki yüzey pürüzlülüğünün diğerinden daha az olduğu bulunmuştur. Sabit kesme parametreleriyle işlenerek hazırlanmış deney numunelerinde, yüzey basıncı ve zamana bağlı olarak aşınma miktarları ölçülmüştür. Bu değerlere göre çizilmiş diyagramlar kullanılarak, zaman ve yüzey basıncı arttıkça aşınmanın arttığı gösterilmiştir.

SUMMARY

MsC Thesis

**The effect of surface roughness of cylindrical
work pieces cut in a lathe to wear**

Arif ÖNDER

Cumhuriyet University

Graduate School of Natural and Applied

Science Department of Mechanical Engineering

Supervisor : Yrd. Doc. Dr. Abdullah KEÇECİLER

In this study, the effect of surface roughness of cylindrical work pieces cut in a lathe to wear has been investigated experimentally. The experiments have been carried out with a special experimental apparatus attached to the lathe. The specimens have been prepared by using two cutting tools which have different profile and six different feed motions for every cutting tool. One of the cutting tools which is called as "tool added cutting edge" has been prepared with a special method. These specimens have been wearied with oil by using plate - cylinder method, and the diagrams of wear - feed motion have been plotted by using the values of wear measured for each surface. It is investigated that how the cutting tool added cutting edge effects the surface roughness. As a result of this, the diagrams of surface roughness - feed motion for each cutting tool have been plotted by using the parameters of Ra, and Rz(DIN) and it has been found out that the surface roughness on the specimen cutting with big feed motions by using the special cutting tool is lower than another. In addition, the values of wear depending on time and surface pressure in the specimens prepared by cutting with constant cutting parameters have been measured. Using the diagrams plotted according to these values it has been shown that the wear increases with increasing time and surface pressure.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
SUMMARY	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ	v
TABLolar DİZİNİ	vii
SEMBOLLER VE KISALTMALAR	viii

BÖLÜM 1. GİRİŞ	1
1.1. Triboloji	1
1.1.1. Sürtünme Kanunu	2
1.1.1.1. Kuru Sürtünme	3
1.1.1.2. Sınır Sürtünmesi	9
1.1.1.3. Sıvı "	10
1.1.2. Aşınma	12
1.1.2.1. Aşınmanın Temel Unsurları	14
1.1.2.2. Aşınma Mekanizmaları	16
1.1.2.3. Adhesive Aşınma	16
1.1.2.4. Abresive Aşınma	22
1.1.2.5. Korozif Aşınma	24
1.1.2.6. Yorulma Aşınması	24
1.1.2.7. Aşınmaya Etki Eden Faktörler	27
1.1.2.8. Aşınma Deneyi Yöntemleri ve Aparatları	30
1.1.3. Yağlama	36
1.1.3.1. Katı Yağlayıcı Maddeler	37
1.1.3.2. Sıvı " "	38
1.1.3.3. Yarı Katı Yağlayıcı Maddeler	37
1.1.3.4. Gaz Yağlayıcı Maddeler	39
1.2. Yüzey Pürüzlülüğü	40
1.2.1. Yüzey Pürüzlülüğü ve Gerçek Temas Alanı	42

BÖLÜM 2. YÖNTEM VE TEKNİKLER	46
2.1. Deney Malzemesi	46
2.2. Deney Düzeneği	46
2.3. Deneyin Yapılışı	49
2.3.1. Birinci Seri Deneylerinin Yapılışı	49
2.3.2. İkinci " " "	52
2.3.3. Üçüncü " " "	53
2.3.4. Dördüncü Seri Deneylerin Yapılışı	53
BÖLÜM 3. BULGULAR	54
3.1. Deney Sonuçlarının Ölçülmesi	54
3.2. Birinci Seri Deney Bulguları	55
3.3. İkinci " " "	61
3.4. Üçüncü " " "	63
3.5. Dördüncü Seri Deney Bulguları	64
BÖLÜM 4. TARTIŞMA VE SONUÇ	65
BÖLÜM 5. YORUMLAR	68
KAYNAKLAR	70

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1: Bir tribolojik sistemin elemanları	2
Şekil 1.2: Kayma hızına ve temas süresine bağlı sürtünme katsayısı	4
Şekil 1.3: Sürtünme kuvveti ve normal kuvvete bağlı sürtünme katsayısı	4
Şekil 1.4: Farklı sürtünme durumları	7
Şekil 1.5: Sınır ve sıvı sürtünmesi bölgesinde sürtünme katsayısı	8
Şekil 1.6: Sıvı sürtünmesi	10
Şekil 1.7: Hıza bağlı sürtünme katsayısı değişimi	11
Şekil 1.8: Sürtünen iki cismin temas alanları ve aşınmanın temel unsurları	14
Şekil 1.9: Tribosisteme giren enerjinin dağılımı ve krank - biyel mekanizması	15
Şekil 1.10: Adhesive aşınma safhaları	17
Şekil 1.11: Kuvvetle aşınma miktarının değişimi	20
Şekil 1.12: Çelik için ortalama basınçta aşınma katsayısının değişim	20
Şekil 1.13: İki cisimli abresive aşınma	23
Şekil 1.14: Üç cisimli abresive aşınma	23
Şekil 1.15: Yüzeyde kopma gerilmesinin mesafe ile değişmesi	25
Şekil 1.16: Tavlanmış karbonlu çeliklerde C oranının fonksiyonu olarak sertlik ve aşınma direncinin değişimi	27
Şekil 1.17: Sertleştirilmiş karbonlu çeliklerde C oranının fonksiyonu olarak aşınma direncinin ve sertliğin değişimi	28
Şekil 1.18: Sertlikle sürtünme katsayısı değişimi	29
Şekil 1.19: Co / Co çiftinin sıcaklığa bağlı olarak vakumda kayma sürtünmesi halinde sürtünme katsayısı değişimi	30
Şekil 1.20: Kayma sistemi	32
Şekil 1.21: Yuvarlanma sistemi	32
Şekil 1.22: Siebel - Kehl sistemi	32
Şekil 1.23: Pim - disk sistemi	32
Şekil 1.24: Bilye - disk sistemi	33
Şekil 1.25: Değiştirilmiş Siebel Kehl sistemi	33
Şekil 1.26: Amsler sistemi	33

Şekil 1.27: Çapraz silindir sistemi	33
Şekil 1.28: Dört küre sistemi	33
Şekil 1.29: Pim - silindir sistemi	33
Şekil 1.30 Plaka - silindir sistemi	33
Şekil 1.31: Almen - Wieland sistemi	34
Şekil 1.32: Flax testi	34
Şekil 1.33: Aşındırma kabı	34
Şekil 1.34: Aşındırma kanalı	34
Şekil 1.35: Üç cisimli abresive aşınma sistemleri	35
Şekil 1.36: Toz düşürme aparatı	35
Şekil 1.37: Kh4 - B aşındırma makinası	35
Şekil 1.38: Pim - disk aparatı	36
Şekil 1.39: Pim - silindir aparatı	36
Şekil 1.40: Gidip gelme hareketi yapan aşındırma makinası	36
Şekil 1.41: Yüzey pürüzlülüğü	40
Şekil 1.42: " "	41
Şekil 1.43: " "	41
Şekil 1.44: Gerçek durum	43
Şekil 1.45: Modellendirilmiş durum	43
Şekil 1.46: Temas alanlarında kaynama hali	43
Şekil 2.1a: Deney düzeneği	47
Şekil 2.1b: Deney düzeneği detayları	48
Şekil 2.2: Oluşturulan ek kenarlı kalem ucu profil fotoğrafı	50
Şekil 2.3: Deneyin yapılışının şematik resmi	51
Şekil 2.4: Aşındırma yüzeyine etkiyen kuvvetler	51
Şekil 2.5: Aşındırma plaketi	52
Şekil 2.6: Ek kenarsız kalem ucu profil fotoğrafı	53
Şekil 3.1: Rz(DIN) Pürüzlülük değeri	54
Şekil 3.2: Bir yüzeyin aşınmadan önceki ve sonraki durumu	55
Şekil 3.3: Aşınmadan önceki yüzey grafiği (0.36 mm/dev.)	55
Şekil 3.4: " sonraki " " "	56
Şekil 3.5: " önceki " " (0.28 mm/dev.)	56
Şekil 3.6: " sonraki " " "	56
Şekil 3.7: " önceki " " (0.20 mm/dev.)	57
Şekil 3.8: " sonraki " " "	57

Şekil 3.9:	"	önceki	"	"	(0.16 mm/dev.)	58
Şekil 3.10:	"	sonraki	"	"	"	58
Şekil 3.11:	"	önceki	"	"	(0.12 mm/dev)	58
Şekil 3.12:	"	sonraki	"	"	"	59
Şekil 3.13:	"	önceki	"	"	(0.08 mm/dev)	59
Şekil 3.14:	"	sonraki	"	"	"	59
Şekil 3.15:	Ek kenarlı kalemle işlemede ilerleme - aşınma bağıntısı					60
Şekil 3.16:	Ek kenarsız kalemle işlemede " " "					62
Şekil 3.17:	Zaman - aşınma bağıntısı					63
Şekil 3.18:	Yüzey basıncı - aşınma bağıntısı					64
Şekil 4.1:	İlerleme - yüzey pürüzlülüğü(Ra) diyagramı					65
Şekil 4.2:	"	"	"	"	(Rz)	66
Şekil 4.3:	İlerleme - aşınma diyagramı					67

TABLULAR DİZİNİ

Tablo 1.1:	Farklı sürtünme yüzeyleri için sürtünme katsayıları					5
Tablo 1.2:	Sürtünme katsayıları genel değerleri					5
Tablo 3.1:	Birinci seri deneyleri aşınma değerleri					60
Tablo 3.2:	İkinci	"	"	"	"	61
Tablo 3.3:	Üçüncü	"	"	"	"	63
Tablo 3.4:	Dördüncü seri deneyleri aşınma değerleri					64

SEMBOLLER VE KISALTMALAR

F_s : Sürtünme kuvveti

μ : Sürtünme katsayısı

F_n : Normal kuvvet

τ_{kf} : Kayma mukavemeti

σ_{kf} : Kopma "

A : Temas alanı

Q : Hacımsal aşınma miktarı

W : Toplam kuvvet

P_0 : Basınç

K : Pürüzlerin temas etme ihtimali

H : Sertlik

β : Yüzey film kusuru

R_a : Yüzey pürüzlülük parametresi

R_q : " " "

$R_z(DIN)$: " " "

R_y : " " "

R_t : " " "

S_m : " " "

V : Kesme hızı

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Makinalar, bir dinamik sistemler topluluğudur. Bu dinamik sistemi oluşturan makina elemanları, genellikle birbiri üzerinde sürtünerek hareket edip işlevlerini yerine getirirler. Sürtünme nedeni ile iş parçaları üzerinde zamanla aşınmalar oluşmaktadır. Mühendislik problemlerinin başında gelen aşınma, makinaların ömrünü belirleyen en önemli faktördür. Aşınmayı tamamen engellemek mümkün değildir. Ancak daha kaliteli bir malzeme kullanarak, parçayı daha kaliteli bir malzeme ile kaplayarak veya yüzey kalitesini artırarak aşınmayı azaltmak mümkündür.

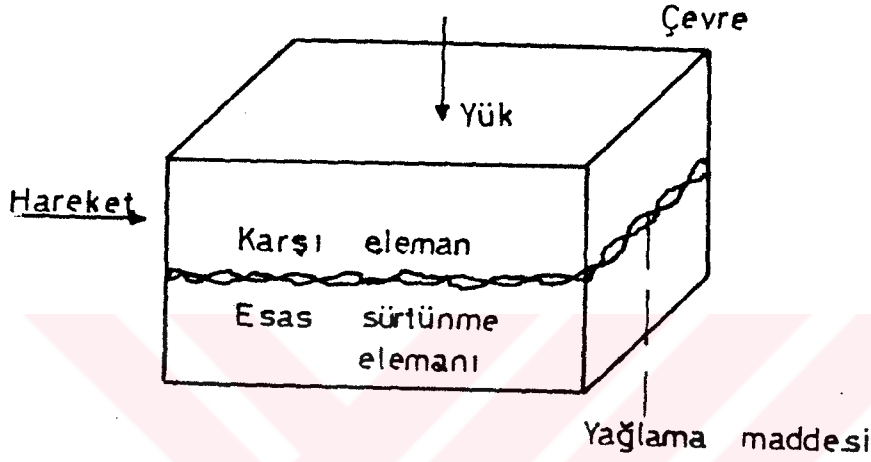
Yüzey kalitesini artırmak, yani yüzey pürüzlülüğünü azaltmak için, taşlama, honlama, lebleme gibi işlemlerle yapılabildiği gibi torna tezgahında ince tornalama ile de belirli bir ölçüye kadar sağlanabilmektedir. Kaliteli yüzey, torna tezgahında elde edildiğinde, taşlama, honlama gibi işlemlere gerek kalmıyacağından işleme zamanı düşecektir. Ayrıca ilave bir tezgaha ve daha kaliteli malzemeye gerek duyulmadığından dolayıda imalat maliyeti azalacaktır.

Bu çalışmada özel bir tornalama yöntemi ile elde edilen "Ek Kenarlı" bir kesme kalemi ile işlenen yüzeylerin yüzey kalitesi, aynı kesme parametreleriyle işlenen ek kenarsız bir kesme kaleminin oluşturduğu yüzey kalitesi ile karşılaştırılıp aşınma miktarları bulunacaktır. Belli bir pürüzlülük değerine sahip bir yüzeyin farklı zaman ve yüzey basınçlarında aşındırılması yapılarak aşınma değerleri bulunmaya çalışılacaktır.

1 . 1 . Triboloji

Aşınma, olaya etki eden faktörlerin birleşik tesiri dikkate alınarak, bir sistem bütünlüğü içinde incelenmelidir. Aşınma özelliğinin incelendiği sisteme "tribolojik sistem" denir. Triboloji, sürtünme, aşınma ve yağlama kavramlarını kapsar. Tribolojik sistem, karşılıklı etkileşen elemanlarda

(esas cisim, karşı cisim, ve ara madde) hız, termal şartlar ve yükün kombine etkisiyle sonuçlanan aşınma olayını inceler.



Şekil 1.1: Bir tribolojik sistemin elemanları [6].

Esas sürtünme elemanı aşınması incelenmek istenen katı elemandır. Karşı eleman ise katı, sıvı veya gaz halinde olabilen aşındırıcı elemandır. Ortam vakumlu ise iyi temizlenmeyen yüzeylerde yağlayıcı özellik gösteren ara maddeler olabileceğinden, burada oluşan sürtünmeye "teknik kuru sürtünme" denir. Vakumsuz ortamda ise çevre devreye girerek sistem elemanları sayısı üç ve Eğer yağlama var ise eleman sayısı dört olur.

Dünya çapında yapılmış olan istatistiklere göre makina elemanlarının yaklaşık % 70' nin yaramaz hale gelmesinin nedeni aşınmadır [3].

1 . 1. 1.Sürtünme Kanunu

Deneysel olarak iki temel sürtünme kanunu bulunmuştur. Ampirik olarak çıkarılan bu kanunların önemi büyüktür. Birinci kanunda; sürtünmenin, sürtünen yüzeyler arasındaki temas alanından bağımsız olduğu belirtilir.

İkinci kanuna göre; sürtünme kuvveti, sürtünen cisimlere gelen normal kuvvetle doğru orantılıdır. Bu nedenle bir cisim, iki parça arasında sürtünmenin etkisinde ise, sürtünme kuvveti iki kat daha fazla olmaktadır (iki katına ulaşmaktadır). Bu iki kanun "Amontons Kanunları" olarak bilinmektedir. Sürtünme, aşınma ve yağlama tribolojik sistemi oluşturan eleman ve faktörlerin karşılıklı etkileşmesidir. Bu bakımdan sürtünme, aşınma ve yağlama bir bütün olarak incelenmelidir.

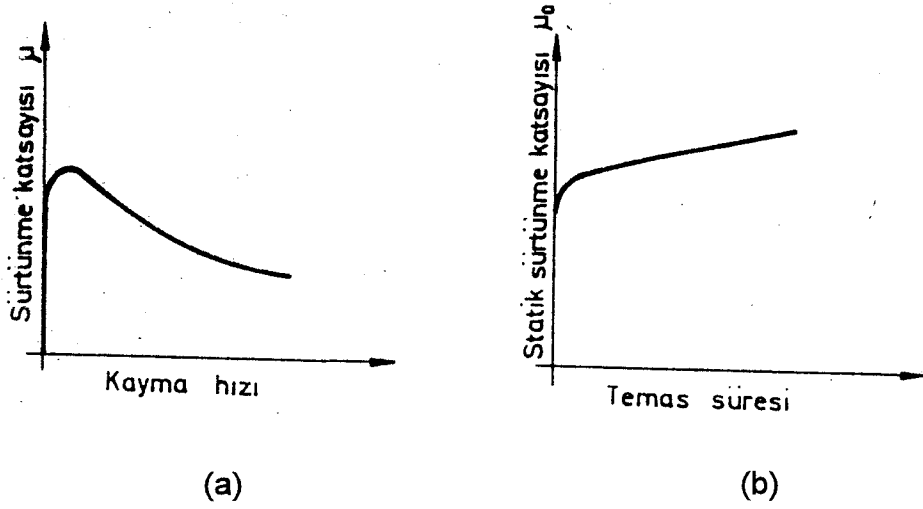
1.1.1.1. Kuru Sürtünme

İkinci kanuna göre bir sürtünme katsayısı tanımı yapılabilir. Buna göre sürtünme kuvveti, F_n normal kuvvetiyle doğru orantılıdır. Yani;

$$F_s = \mu F_n \quad (1.1)$$

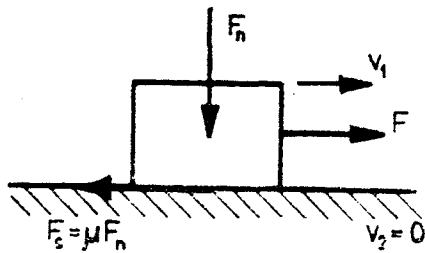
Burada μ sürtünme katsayısıdır.

Bir sürtünme olayını karakterize eden sürtünme katsayısı en önemli bir büyüklüktür. "Sürtünme esaslı konstrüksiyonlarda seçilen malzeme çiftine göre sürtünme katsayısı kullanarak sistem gerçekleştirilir." Anıldığı gibi sürtünmenin varlığı kamalı bağlantılarda tamamen işe yaradığı halde bazen de kaymalı yataklarda olduğu gibi istenmeyen bir durumdur. Birinci durumdaki sürtünmeye, tutma sürtünmesi denir. İkinci durumdaki sürtünme ise aynen aşınmada olduğu gibi mümkün mertebe azaltılmaya çalışılmaktadır. Birbiri üzerinde kayma yapan parçaların kayma direncini azaltan sürtünmeye "Kayma Sürtünmesi" adı verilir. Değindiği gibi statik sürtünme katsayısı μ_0 genellikle dinamik sürtünme katsayısından daha büyüktür. Kayma hızı arttıkça, dinamik sürtünme katsayısı az da olsa azalır. Normal kayma hızlarında, hıza göre sürtünme katsayısının değişimi çok az olduğundan değeri sabit kabul edilebilir. Şekil 1.2 de bu katsayının maksimum değeri hareketin başlangıcıdır.



Şekil 1.2: Kayma hızı ve temas süresine bağlı sürtünme katsayıları[3,14].

Buna karşılık statik sürtünme katsayısı temas süresinin bir fonksiyonudur (Şekil 1.2.b). Çeşitli çalışma şartlarında μ sabiti, sürtünen malzeme çiftleri için verilen bir sabit olup, farklı şartlarda değişir. Normal atmosfer şartlarında sert bir çelik ile aynı özellikte bir çelik sürtündüğü zaman yaklaşık 0.6 ya eşit bir μ değeri elde edilir. Şekil 1.3 de sürtünme katsayısının elde edilmiş prensibi görülmektedir.



Şekil 1.3: Sürtünme kuvveti ve normal kuvvete bağlı olarak sürtünme katsayısının elde edilmiş şeması [3].

Çok yüksek vakum altında aynı malzemelerin sürtünmesi halinde, çok yüksek bir μ değeri elde edilir. Grafit - grafit sürtünmesinde normal atmosferde 0.1' e eşit bir μ değeri elde edilir. Fakat atmosfer çok kuru ise bu değer 0.5' e kadar çıkabilir. Farklı şartlarda çalışan, farklı malzemeler için sürtünme katsayısının değişimi belirlenebilir. Yapılan deneylerden elde edilen sonuçlara göre bu katsayıların değeri tablo 1.1. de verilmiştir.

Tablo 1.1: Farklı Sürtünme Yüzeyleri İçin Sürtünme Katsayıları [3].

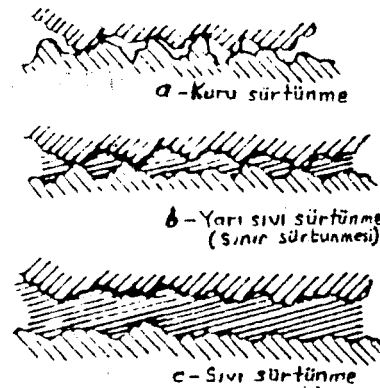
Malzeme çifti	statik sürtünme		dinamik sürtünme	
	kuru	hafif yağlı	kuru	hafif yağlı
Çelik - çelik	0.15	0.1	0.15	0.01
Çelik - bronz veya dök. demir	0.19	0.1	0.18	0.01
Dökme demir - dökme demir		0.16		0.1.....0.15
Çelik - buz	0.027		0.014	
Tahta - tahta	0.4....0.6	0.16	0.2...0.4	0.08
Tahta - taş	0.7	0.4	0.3	
Fren balatası -çelik			0.3...0.6	0.15...0.5

Tablo 1.2: Sürtünme Katsayılarının Genel Değerleri [3].

Kuru sürtünme		
Eş çalışan malzemelerin cinsi	Sürtünme katsayılarının değeri	
Çelik - beyaz metal	0.15.....0.3	
Çelik - bakır kurşun alaşımı	0.15.....0.3	
Çelik - naylon	0.3.....0.5	
Teflon - başka malzemeler	0.04.....0.12	
Grafit - başka malzemeler	0.08.....0.16	
Kösele - odun	0.3.....0.5	
Lastik - başka malzemeler	0.6.....0.9	
Sınır Sürtünmesi		
Eş çalışan malzeme cinsi	yağlayıcı maddenin tipi	sürtünme katsayısı değerleri
Çelik - dökme demir	gres	0.05.....0.1
Çelik - bronz	yağ	0.02.....0.1
Çelik - naylon	yağ	0.05.....0.1
Katı yağlayıcı maddeler		
İnce bir kurşun tabakası ile kaplama çelik	0.08.....0.20	
Grafit veya molibden disülfütten oluşan bir tabaka ile kaplanan metaller	0.060.20	
Sıvı sürtünmesi		
Hidrodinamik	0.001.....0.01	
Hidrostatik	0.00001.....0.001	
Yuvarlanma sürtünmesi		
Düzlem üzerinde silindir	0.00001.....0.001	
Rulmanlar	0.001.....0.01	
Geometrik bakımdan hatalı cisimler	0.05.....0.2	

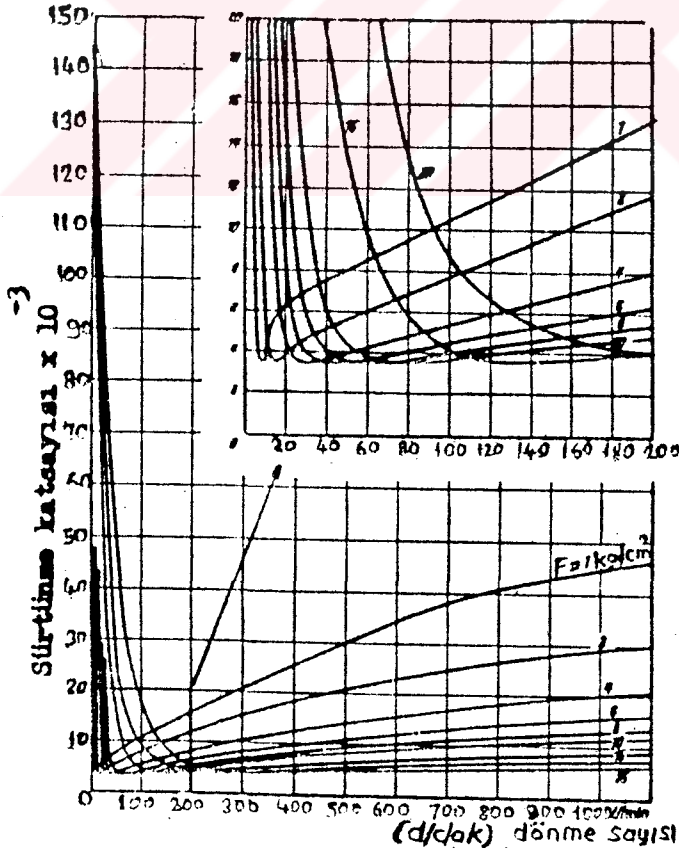
Birinci kanuna (Amontons) göre sürtünmenin niçin temas alanından bağımsız olduğu anlatılmakla birlikte, hemen hemen bütün yüzeyler mikroskopik ölçüde düzgün değildir. Gerçek temas alanı mevcut temas alanından bağımsızdır. Böylece üçüncü kanun, sürtünmenin gerçek temas alanı ile ilgili olduğu şeklinde yorumlanabilir. Çok küçük hızlar

mertebesinde bazı deneylerde, deney bölgesindeki sürtünme katsayısının sıfır hızda, sıfıra giden bir karakteristik gösterdiği belirlenmiştir. Katı cisimler için doğrudan birbiri üzerinde kaymaları hali "kuru sürtünmeyi" oluşturmakta ancak fiziksel anlamda bir kuru sürtünme, yalnız vakumda ve madensel temiz yüzeyler arasında mevcuttur. Bu halde ise Bowden ile Young ve Rowe gibi araştırmacıların yaptığı incelemelerde, birbirinin aynı veya birbirine yakın malzemelerin oda sıcaklığında dahi kaynadığı belirlenmiştir. Kuru sürtünmeden dolayı, buna bağlı olarak meydana gelecek kaynama olayı, bilhassa uzay araçlarında daha da önem kazanmaktadır. Makina tekniğinde çoğunlukla kuru sürtünme olayı ise, yaşadığımız atmosferde ve atmosferi teşkil eden elemanların tesirindedir. Bu bakımdan teknik kuru sürtünmede yüzeylerde adsorbe edilmiş gaz tabakaları ve bu gaz tabakaların getirdiği oksitler gibi kimyasal bileşikler mevcuttur. Bu ilave maddeler sürtünmeyi kısmen azaltırlar. Yüzeyler arasına bir yağlayıcı madde konulması halinde sürtünme direncinin büyük oranda azaldığını tecrübelerimizden biliriz. Yağlayıcı madde yüzeylerin üzerinde adhezyon kuvveti nedeniyle bir manto teşkil etmektedir. Dolayısıyla madensel teması kısmen veya tamamen önleyebilmektedir. Eğer yüzeyler, yağlayıcı madde tarafından tamamen ayrılmış ve madensel temas önlenmiş ise buna "sıvı sürtünmesi" denir. Sıvı sürtünme ile kuru sürtünme arasında ise kısmen madensel temas bulunduğu geniş bir bölge vardır. Buraya ise "Sınır sürtünmesi" bölgesi denir. Şekil 1.4. de birbirine göre hareket eden yüzeylerin bu üç sürtünme halindeki durumları gösterilmiştir.



Şekil 1.4: Farklı sürtünme durumları [14,10].

Yapılan deney sonuçlarına göre sınır ve sıvı sürtünmesinde, sürtünme direncinin veya bunu karakterize eden sürtünme katsayısının hız ve yüke (basınca) bağlı olarak değişme şekli farklılıklar göstermektedir. Stribeck tarafından bir radyal kaymalı yatak üzerinde deney sonuçları Şekil 1.5 'de verilmiştir. Değişik bir yük etkisinde bulunan yatakta hız arttıkça ve gereken miktarda yağ verildikçe sürtünme katsayısı küçülmekte ve belli bir minimum değerden sonra, yeniden büyümektedir. Bu ikinci bölgedeki değerler kuru sürtünme diyebileceğimiz hızın, sıfır olduğu noktaya göre çok küçük olmaktadır. Kuru ve sıvı sürtünmesi hallerindeki sürtünme katsayıları oranı 100-200 hatta daha fazla olabilmektedir. Sürtünme hallerinin mukayesesinden kolayca görüleceği gibi elverdiği ölçüde yatakta daima bir sıvı sürtünmesinin meydana getirilmesine çalışılır. Bunun mümkün olmadığı hallerde, uygun yağlayıcı maddelerin ve uygun malzeme çiftlerinin seçimi ile sınır sürtünme bölgesinde de küçük sürtünme dirençleri ve küçük aşınmalarla çalışmak mümkündür.



Şekil 1. 5: Sınır ve sıvı sürtünmesi bölgesinde sürtünme katsayısı, hız ve yük arasındaki bağıntı[3].

1.1.1.2 Sınır Sürtünmesi

Yüzeyler arasında bulunan herhangi bir yağlayıcı maddeye rağmen, sıvı sürtünmesi hali oluşturulmadığı zaman, sınır sürtünmesi ortaya çıkar. Pratikte çok karşılaşılan bu sürtünme hali için μ değeri genelde 0.03-0.1 arasındadır[3]. Kullanılan yağlayıcı maddenin molekülleri, adsorbsiyon sonucu madensel yüzeylere düzgün ve muntazam bir şekilde yapışırlar. Yüzeylerde birkaç molekül tabakası kalınlığı olduğunu deneyler göstermiştir. Yağlayıcının bu özelliğine ıslatma (oilless) kabiliyeti de denir. Bu özellik yağ ve madensel yüzeylerin karşılıklı etkilerine bağlıdır. Örneğin, çelik yüzeylerini iyi ıslatamayan yağ, kalay yüzeylerinde uygun sonuçlar vermektedir. Yüzeylerde yağ tabakasının oluşturulmasında da kuru sürtünmedeki tabii tabakanın oluşturulmasında olduğu gibi aynı işlem yapılmaktadır. Ancak tabii tabaka oksit tabakasında oluşmakta, sınır sürtünmesinde ise yağ tabakası söz konusu olduğundan yüzeyler arasına yağ konur. Yağ tabakasının, tabii tabakaya göre kopma mukavemeti daha büyüktür. Bunun sonucu, doğrudan doğruya madensel temasta bulunan yüzeyler daha azdır. Yapışmış yağ tabakasının kopma mukavemeti σ_{kf} ve kayma mukavemeti τ_{kf} ile ifade edilirse sürtünme katsayısı için,

$$\mu = \alpha \frac{\tau_{kf}}{\sigma_{kf}} + (1 + \alpha) \frac{\tau_{kf}}{\sigma_{kf}} \quad (1.2)$$

yazılır[1]. Burada α madensel temasta bulunan yüzey oranıdır.

İyi bir yağlamada α çok küçük olduğundan,

$$\mu = \frac{\tau_{kf}}{\sigma_{kf}} \quad (1.3)$$

olarak bulunur.

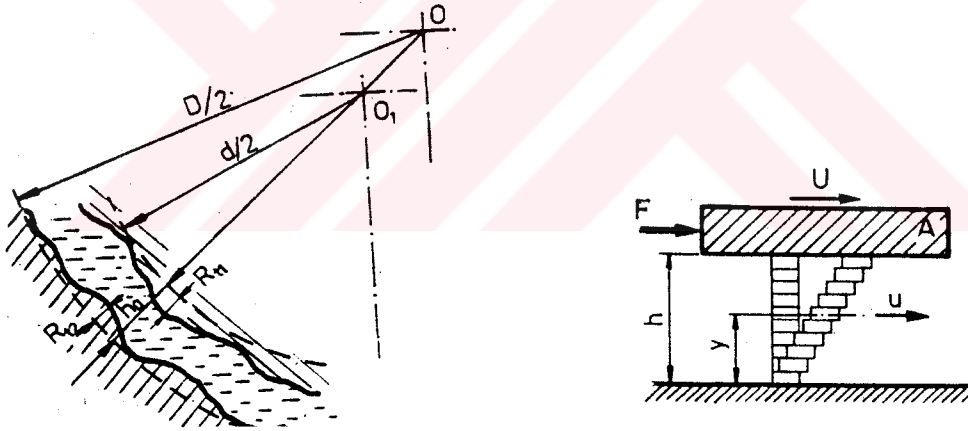
Burada yağ tabakasının kopma ve kayma mukavemetleri önemlidir. Adi yağlara katık (aditif) denilen ek maddeler katılarak, kopma mukavemetlerinin yükseltilmesine ve kayma mukavemetlerinin de azaltılmasına çalışılır. Pratikte kuru sürtünmede olduğu gibi sınır sürtünme katsayıları deneyle belirlenir.

1.1.1.3. Sıvı Sürtünmesi

Sıvı sürtünmesinde madeni yüzeyler arasında bulunan yağ tabakasındaki basınç, dış kuvveti dengeleyecek bir değere ulaştığı zaman, yüzeyler birbirinden ayrılır. Şekil 1.6 'da yüzey pürüzlülüğü dikkate alınır, geometrik bakımdan sıvı sürtünmesi;

$$h_0 > R_{t1} + R_{t2} \quad (1.4)$$

bağıntısı ile ifade edilir. Burada R_{t1} ve R_{t2} her iki yüzeyin max. yüzey pürüzlülüğüdür. Madensel yüzeylere doğrudan temasta olan yağ tabakalarının adsorbsiyon nedeniyle iki yüzey boyunca yapışmış olduğu görülür. U hızı ile hareket eden yüzeye yapışmış olan tabakanın hızı U, ara tabakaların hızı Y mesafesine bağlı olarak U ile 0 arasında değişir. Burada sabit yüzey üzerindeki tabakanın hızı sıfırdır (Şekil 1.6).



Şekil 1. 6: Sıvı Sürtünmesi [3].

Sıvı sürtünmesi halinde, sürtünme esas itibari ile birbiri üzerinde kayan yağ tabakaları arasında oluşmakta ve bu tabakalar arasındaki kayma gerilmelerine bağlı olmaktadır. Viskoz bir akışkanda meydana gelen kayma gerilmeleri, Newton yasasına göre;

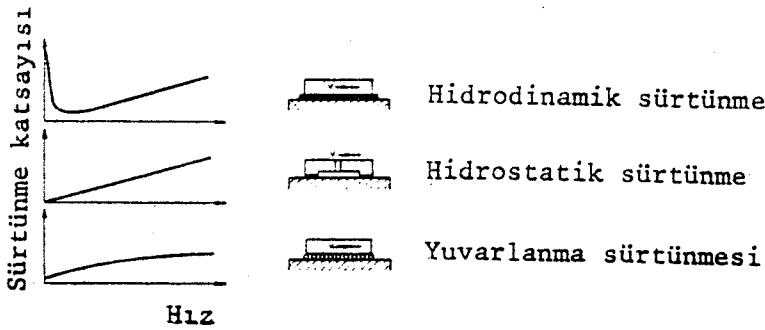
$$\tau = \eta \frac{du}{dy} \quad (1.5)$$

şeklinde verilebilir[3].

Burada η yağın viskozitesi, du/dy mesafesine göre hız değişimi (gradyanı) veya kayma oranıdır. Kayma gerilmelerine bağlı olarak sürtünme kuvveti;

$$F_s = \eta (du / dy) A \quad (1.6)$$

Burada A hareketli madensel yüzey ile yağ tabakası arasındaki temas alanıdır[3]. Böylece kuru ve sıvı sürtünmesi hallerindeki gibi burada da sürtünme katsayısı $\mu = F_s / F_n$ ile ifade edilir. Sıvı sürtünmesindeki esas etken, yağ tabakasında oluşan basınçtır. Basınç oluşumu, hidrodinamik ve hidrostatik olmak üzere iki olaya bağlıdır. Bunlardan hidrodinamik sıvı sürtünmesinde, yüzeylerin kinematik ve geometrik şartlarına bağlı olarak, yağ tabakasında kendi kendine bir basınç alanı oluşur. Basınçlı yağ filmi için, kinematik ve geometrik şartlar, yüzeylerin birbirine göre belirli bir bağıl hıza sahip olmaları ve yağ tabakasının hareket yönünde daralmasıdır. Bu pratikte eğik düzlemsel yüzeylerde (eksenel yataklarda) ve birbirlerine eksantirik durumda olan silindirik yüzeylerde (radyal yataklarda) olur. Sıvı sürtünmesinde sürtünme katsayısı hız ile değişmektedir.



Şekil 1. 7. Hıza bağlı sürtünme katsayısı değişimi [3].

1.1.2. Aşınma

Aşınma şüphesiz herkes tarafından bilinen bir olay olduğuna göre, aşınmayı herkes kendine göre izah edebilir. Olayın çok karmaşık olması sebebi ile tam açıklayıcı tanım yapmak zordur.

DIN 50320 de "Teknik anlamda aşınma, cisimlerin yüzeyinden mekanik etkenlerle mikro taneciklerin kopup ayrılması nedeniyle, istenmeyen bir değişikliğin meydana gelmesidir" şeklinde tarif edilmektedir. Tanımda "mekanik etkenler" deyimini mekanik bir sebep veya mekanik bir enerji anlamına gelmekte olup, aşınma ile korozyonun farklı olduğunu belirtmek için kullanılmıştır. Zira korozyonda kimyasal ve elektrokimyasal etki söz konusudur. "Mikro taneciklerin kopması" deyimini ile aşınma olayı dışında oluşan fiziki sebeplerle (plastik şekil değiştirme, kırılmalar vb.), malzeme yüzeyinden parçacıkların veya tabakaların ayrılması ifade edilmiştir. "İstenmeyen" kelimesi ile de talaşlı imalatta, taşlama, eğeleme gibi isteyerek yapılan yüzey veya boyut değişiminin aşınma kapsamı dışında tutulması gereği ifade edilmiştir.

Yine Makina Mühendisleri Kurulu tarafından aşınma; "mekanik etkenlerle cisimlerin yüzeyinden artan bir şekilde meydana gelen malzeme kaybı" şeklinde tanımlanmıştır. Kragelskii aşınmayı "sürtünen yüzeyler arasında tekrarlanan etkilerle oluşan malzeme tahribatı" olarak tanımlamıştır. Yukarıda da görüldüğü gibi aşınmanın birçok tanımı yapılmaktadır. Makina mühendislerinin tanımına göre erozyonda bir aşınma şekli olmaktadır. Kragelskii'ye göre ise aşınma daha çok eskime, yorulma yoluyla olmaktadır.

Genel olarak aşınma; "katı cisimlerin yüzeyinden ufak parçacıkların veya ince tabakaların ayrılması ile meydana gelen malzeme kaybı" şeklinde tanımlanabilir.

Başka bir tarifile aşınma; "sürtünen yüzeylerde malzemenin mekanik etkenlerle ve istenilmediği halde kopup ayrılmasıdır" şeklinde tanımlanmaktadır [3].

Fıncın'a göre aşınma; "mekanik bir etkinin sonucunda bir yüzeyden parçacıkların yavaşça kalkmasıdır" şeklinde tanımlanmaktadır.

1976 da yayımlanan DIN 50320 ye göre aşınmanın yeni tanımı; "aşınma katı cismin yüzey bölgesinden tribolojik zorlama sonucu sürekli ilerleyen malzeme kaybıdır" şeklinde yapılmaktadır. Bu tanım aşınmanın malzeme değişimi, şekil değişimi veya küçük malzeme parçacıklarının ayrılması şeklinde meydana geleceğini ifade etmektedir.

Tariflerden hiçbiri açıklama yapılmadan geçilememiştir. Zira aşınmayı genel bir tanım ile izah etmek oldukça zordur. Bu sebepten tariften ziyade aşınma olayını niteleyen şartların ve kriterlerin belirtilmesi daha uygun olacaktır.

Mühendislik malzemelerinde görülen yıpranmanın, aşınma sayılabilmesi için şu şartlar sağlanmak zorundadır [3,14].

- 1- Mekanik bir etkinin olması.
- 2- Sürtünmenin olması (bağıl hareket).
- 3- Yavaş fakat devamlı olması.
- 4- Malzeme yüzeyinde değişiklik meydana getirmesi.
- 5- İsteğimiz dışında meydana gelmesi.

Bu şartlardan birini sağlamayan yıpranma olayı, aşınma olarak kabul edilmemelidir. Mesela korozyon, sürtünme ve mekanik bir hareket olmadan olduğundan aşınma sayılmamaktadır. Sürtünme sırasında aşınmanın karakterine çevrede etki eder ve aşınma karakterinin değişmesine neden olur. Mekanik etki ile birlikte kimyasal veya elektrokimyasal etki ile de malzeme yüzeyinden mikro tanecikler kopar veya yüzey bölgesi değişikliğe uğrar. Böyle durumlarda sürtünme teorisinde anlatıldığı gibi hem sürtünme, hemde korozyon birlikte tahribata neden olmaktadır. Sürtünmeyle birlikte kimyasal etkilerle meydana gelen korozyon, aşınma kapsamına alınmalıdır. Nitekim korozif etkenlerle bile olsa, tribolojik zorlanma sırasında meydana gelen yüzey bölgesi

değişiklikleri veya parçacıkların kopması, aşınma kavramı içinde düşünülmelidir.

1.1.2.1. Aşınmanın Temel Unsurları

Aşınmanın başlaması ve devamı için sürtünme olmalıdır. Sürtünen iki cismin temas alanına mekanik etkileşim alanı denir. Bu alanın aşınmaya etkisi büyüktür. Gerçek temas alanı, görünen temas alanından küçüktür. En hassas işlenen temas yüzeyinde dahi mutlaka pürüz kalmaktadır. Temas halindeki cisimler, bu pürüzlerle temas kurarlar. Pürüz arası girintiler ise temas alanı dışında kalır. Şekil 1.8.de görünen temas alanı,

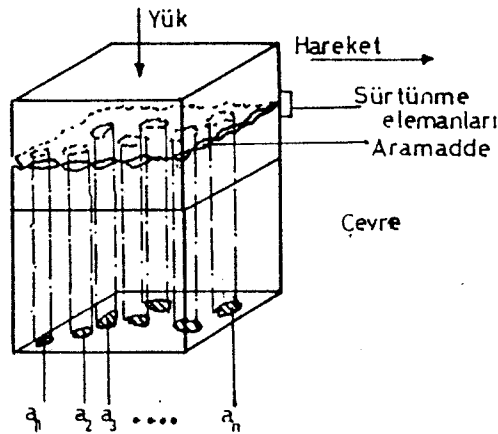
$$A = e \times b$$

Birim kare iken gerçek temas alanı pürüzlerin temas alanları toplamıdır[6].

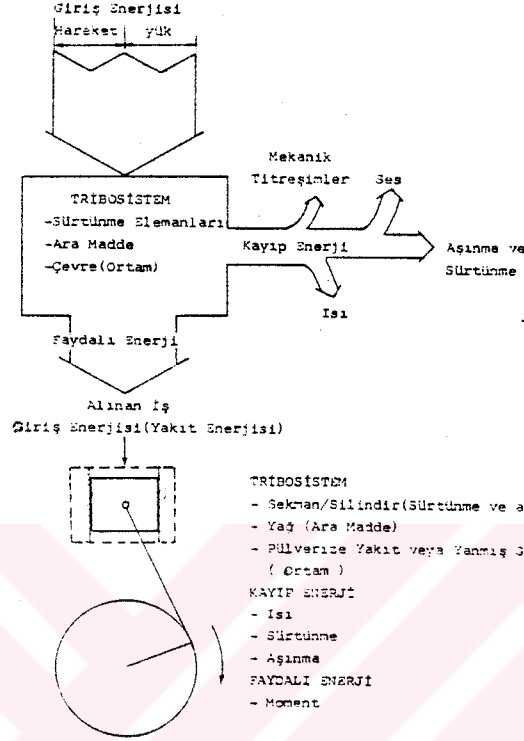
Bu ise ;

$$A_g = a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_n = \sum_{i=1}^{i=n} a_i \quad (1.7)$$

Yüklemenin şekli ve miktarı temas alanını ve dolayısıyla aşınmayı etkileyen çok önemli bir faktördür. Yükün etkisi ile pürüzler deforma olarak temas alanı artar.



Şekil1.8:Sürtünen iki cismin temas alanları ve aşınmanın temel unsurları[6].



Şekil 1. 9 : Tribosisteme giren enerjinin dağılımı ve krank-biyel mekanizması ile tribolojik sistemin izahı [6].

İki cisim birbirine göre kayma, yuvarlanma, kaymalı yuvarlanma, çarpma gibi bağıl hareket yaparlar. Hareketin yönü, katettiği yol, aşınma miktarına ve türüne tesir eder. Ayrıca sıcaklıkta aşınmaya büyük etki eder. Aşınan ve aşındıran cisimlere "aşınma çifti" de denir.

Tribosisteme giren enerjiler yük ve harekettir. Giriş enerjisi sistemde faydalı ve kayıp enerjiye dönüşür. Giriş ve çıkış enerjileri arasındaki fark sürtünme enerjisine, aşınma, mekanik titreşimler, ısı ve ses enerjilerine dönüşür (Şekil1.9).

Aşınma tribosisteme giren büyüklüklerin giriş şekline ve büyüklüklerin etkisiyle oluşan aşınma mekanizmalarına göre sınıflandırılır. Buna göre ;

- 1- Bağıl hareketin şekline göre aşınma çeşitleri.
- 2- Mekanizmalarına göre aşınma çeşitleri.

1.1. 2. 2. Aşınma Mekanizmaları

Aşınmanın başlaması ve devamı için gerekli giriş büyüklüklerinin tribolojik sistem içinde yaptığı etkinin iletilmesiyle çeşitli aşınma mekanizmaları ortaya çıkar. Burwell aşınma mekanizmalarını dört kısma ayırmıştır [9];

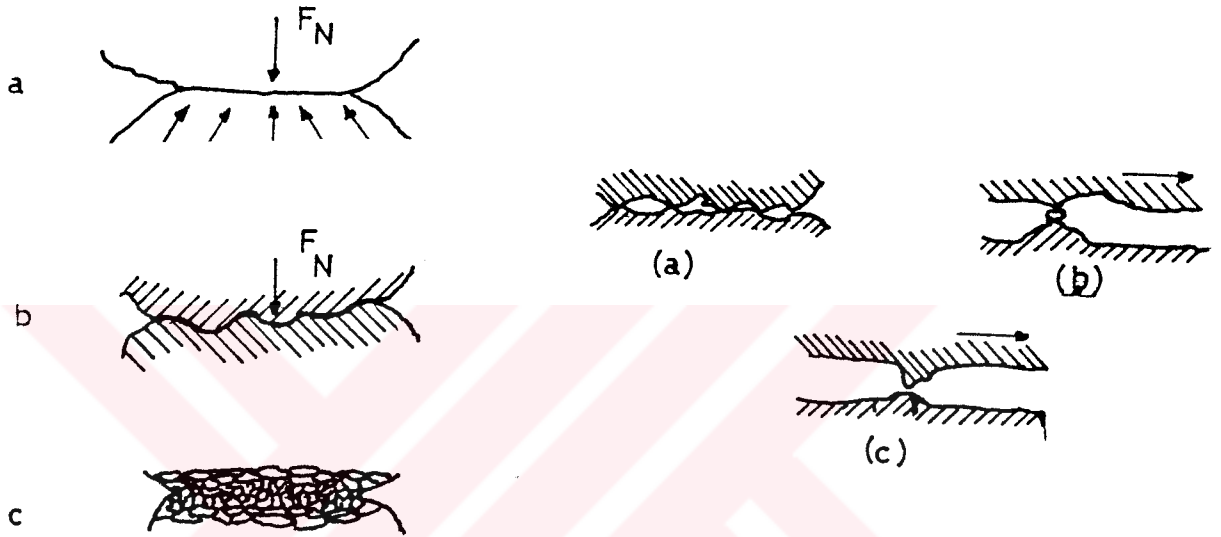
- 1- Adhesive aşınma.
- 2- Abrasive aşınma.
- 3- Korozyon aşınma.
- 4- Yorulma aşınması.

Ayrıca erozyon, kavitasyon ve ufalanma olaylarını da beşinci çeşit aşınma mekanizması olarak kabul etmiştir.

1.1. 2. 3. Adhesive Aşınma

Çok hassas işlenen yüzeylerde dahi atomik mertebede pürüzler mevcuttur. Birbiriyle temasta bulunan benzer kafes yapılı iki metalik yüzey arasında adhezyon çekim kuvveti sözkonusudur. Bu kuvvetin oluşması malzeme moleküllerinin yaklaştırılmasına bağlıdır. Şayet iki temiz yüzey arasında herhangi bir yağ filmi yok ise yüzeyler birbirine çok yakın temas ederler. Temas halindeki yüzeyler birbiriyle pürüzlü noktalarda etkileşirler. Metal ağırlığından veya herhangi bir dış kuvvet etkisi ile çok küçük olan pürüz tepelerine gelecek basınç artar. Yüksek basınç kuvvetini taşıyamayan pürüzler, akma sınırı aşılarak plastik deformasyona uğrarlar. Eğer malzemenin deforma olma kabiliyeti yüksek ise mikro adhezyon alanları şiddetle temas yüzeyine tamamen yayılır. Neticede yüzeye adsorbe edilmiş sıvı veya gaz molekülleri ve oksit tabakaları parçalanır. Malzeme molekülleri direk temasa geçer. Sonuçta temas noktalarında, mikro soğuk kaynak bağları meydana gelir. Temas eden yüzeyler birbirlerine göre bağlı hareket ederlerse bu bağlar kırılarak malzeme kaybına sebep olurlar. Kırılan parçacıklar ara yüzeylerde serbest kalabilecekleri gibi metallere birine bağlı kalarak taşınabilirler. Parçacığın bir yüzeyden diğer yüzeye nakledilmesi şeklindeki aşınmaya "metal transferi" adı verilir [6,11].

Plastik deformasyon sırasında metallerin şiddetli zorlamaların etkisinde kalmaları sebebiyle, temas bölgelerindeki malzeme sertliği ana malzeme sertliğinden daha büyük olur.



- a- Bir tek temas alanına te-
sir eden kuvvetler
b- Pürüzlerin Plastik defor-
masyonu
c- Kaynama

- a- Yüzeyde Kaynak Bağları
b- A'dan B'ye malzeme transferi
c- Kopan Parçacıkların Serbest Ara-
Madde Haline Geçişi

Pürüzlerin Teması ve Kayma
Durumları

Kaynak Bağları ve Kopma Şekilleri

Şekil 1. 10. Adhesiv Aşınma Safhaları [9,11].

Adhesiv aşınması benzer veya kolay alaşım yapabilen malzemelerde görülür. Bu tip aşınma izafi hıza ve normal kuvvete bağlıdır. Yüksek hızlarda ve yüklerde ortaya çıkar. Oksit veya nemden oluşan tabakanın aşınmaya etkisi büyüktür. Temiz yüzeylerde aşınma, daha düşük hız ve yüklerde oluşur. Çalışma ortamının etkisi de önemlidir. Azotlu atmosferde aşınmanın, normal havadan daha az olduğu, CO₂ li ortamda ise bundan daha az olduğu görülmüştür.

Yağlamanın etkisi çok büyüktür. Yüzeyle yapışan yağ tabakası adhezyon aşınmasını büyük ölçüde önler. Yüksek hız ve basınç altındaki yüzeyle katı yağların konmasıyla aşınma azaltılır. Yüzeyle sertliğide önemlidir. Şayet yüzeylelerden birinin sertliği diğerinden büyük ise kaynak bağları yumuşak malzemeden kopar. Malzeme transferi sert malzemeye olur. Kalay, selenyum, arsenik ve tellür gibi metallerde bu tip aşınma görülmez.

Adhesive aşınmayı basit sürtünme teorisiyle açıklayarak bazı bağıntılar çıkarabiliriz. Ancak kesin aşınma kanunları elde edilemez. Aşınma miktarı bağların kopma durumuna bağlıdır. Eğer kopma tam ara yüzeylede olursa aşınma miktarı sıfır olur. Ara yüzeylelerden uzaktaki bölgelerde olursa yüzeyleden yüzeyleye metal transferi ile aşınma miktarı artmış olur. Sürtünmenin artması ile parçacıkların bir kısmı serbest kalarak, yüzeyleleri başka bir aşınma mekanizmasıyla aşındıracaktır. Adhesive aşınma için Archard'ın yaklaşımlarını kullanarak bazı bağıntılar çıkarabiliriz [8].

Pürüz yarıçapı (a) olan belli sayıda pürüzlerin temasını ele alalım. Her bir temas noktasının alanı πa^2 ve gelen kuvvet $P_0 \pi a^2$ olsun. P_0 temas yüzeyleye uygulanan basınçtır. Yüzeyleler temas anından itibaren tek geçişte temasın sona ermesine kadar aldığı mesafe $2a$ dır. Her bir pürüzün yarım küre şeklinde aşındığı kabul edilirse, aşınma miktarı hacımsal olarak, $2/3 \pi a^3$ dır.

Birim sürtünme mesafesi için toplam hacımsal aşınma miktarı[8];

$$Q = \sum \frac{2/3 \pi a^3}{2a} \quad (1.8)$$

$$Q = \frac{1}{3} \sum \pi a^2 = \frac{\pi a^2}{3} n \quad (1.9)$$

Olarak hesaplanır [3].

Burada n : Toplam temas noktası sayısıdır.

Herbir temas noktasına gelen kuvvet $P_0 \pi a^2$ dir. O halde toplam kuvvet;

$$W = P_0 \pi a^2 n \quad (1.10)$$

veya

$$n \pi a^2 = \frac{W}{P_0}$$

olur. Buradan da,

$$Q = \frac{W}{3P_0} \quad (1.11)$$

bulunur [3].

Bu eşitliğin çıkarılmasında bütün pürüzlerin temas ettiği ve aşındığı kabul edilmiştir. Ancak pratikte bütün pürüzlerde temas yoktur. Bu sebeple bir katsayı tanımlamak gerekir. K ile gösterilen bu katsayıyı hesaba katarak;

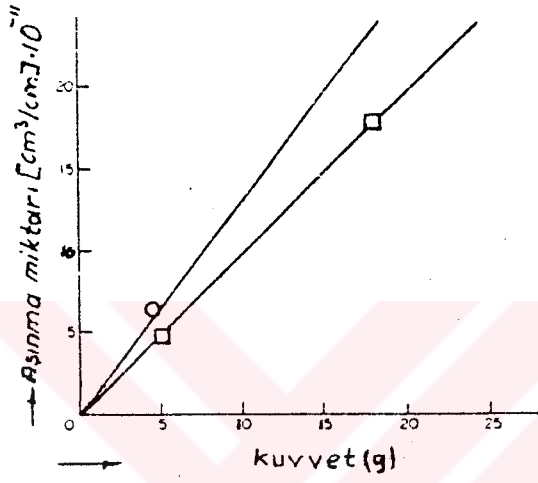
$$Q = K \frac{W}{3P_0} \quad (1.12)$$

denklemini elde edilir.

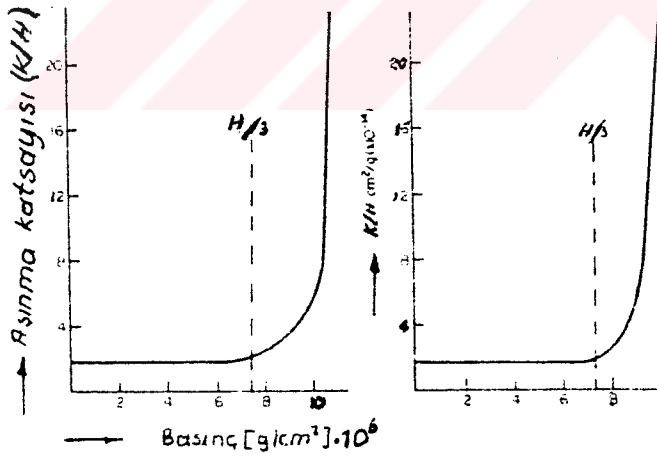
Archard'ın bu denklemini elemanların dizaynında kullanmak mümkündür. Zira aşınma konusunda yapılan çalışmaların esas gayesi, müsadde edilen aşınma miktarlarına uygun şartlar altında çalışacak olan elemanların dizayn edilmesini mümkün kılmaktır. (1.12) Denklemini bu gaye için kullanabilmek K faktörünün bulunmasına bağlıdır. Bunun içinde bir takım deney aparatlarıyla aşınma miktarının ölçülmesi gerekir. Bu denklemini normal değerdeki yükleme durumları için uygulayarak, deneysel olarak bulunan K değerlerini kullanıp, ara K değerlerini enterpolasyonla bularak, dizaynda ilerleme sağlanır.

K : Pürüzlerin temas etme ihtimalidir. Sürtünme şartlarına göre değişik malzemeler için farklı değerler alır.

Burwell ve Strang, kuvvetle aşınma miktarı arasındaki bağıntıyı çelik - çelik sürtünmesi için inceleyerek Şekil 1.11 i elde etmişlerdir. Ayrıca aşırı yüklenme durumu için K/H adhesive aşınma katsayısını tanımlayarak farklı sertlikteki çelikler için, ortalama basınçla, K/H ın değişimini inceleyerek Şekil 1.12 de görülen grafiği elde etmişlerdir.



Şekil 1.11 Kuvvetle aşınma miktarının değişimi [8].



Şekil 1.12. Çelik için ortalama basınçta aşınma katsayısının değişimi [8].

K/H değeri basıncın $P = H/3$ olduğu noktaya kadar sabit kalıyor. Burada H çeliğin sertliğidir. Bu değer üzerinde K ve dolayısıyla aşınma, hızlı bir şekilde artmaktadır. Aynı sonuçlar diğer metallerde de alınmıştır. Yalnız bu metallerin K değerleri ortalama basıncın H/3 den daha düşük olduğu değerlerde artmaya başladığı görülmüştür. H/3 pürüzlerin plastik deformasyona başladığı noktadır. Bu nokta aşıldıktan sonra bütün yüzey

plastik şekil değişiminin etkisinde kalır. Bu sebeple gerçek temas alanı ile kuvvet arasında orantı özelliği kalmaz. Sürtünme kuvvetlerinin mevcut olması durumunda bu hal H/3 den daha düşük basınç değerlerinde meydana gelir.

Rowe geliştirdiği Adhezyon Teorisi'nde yüzey filmlerini de hesaba katılmıştır. Archard'ın denklemi;

$$Q = K \frac{W}{3P_0} = K' A \quad (1.13)$$

şeklinde yazılabilir.

Burada K' katsayısı hem yağlayıcıya hem de sürtünen metallerin özelliğine bağlıdır. Metal - metal temas alanı A_n ile adheziv aşınma hacmi arasında

$$Q = K_n A_n \quad (1.14)$$

bağıntısı kurulabilir.

Burada K_n Sürtünen metaller için bir sabit olup, yağlayıcının veya yüzey filmlerinin özelliklerine bağlı değildir. Bir β parametresi tanımlayarak,

$$\beta = A_n / A \quad (1.15)$$

yazabiliriz

β : Yüzey film kusuru olarak tanımlanır ve yağlayıcının bir karakteristiğidir. Zayıf bir yağlayıcı, daha fazla metal - metal temasına izin verdiği için, bu yağlayıcıların β değeri, zengin yağlayıcılara göre daha yüksektir. A_n değeri yerine konursa,

$Q = K_n \beta A$ elde edilir. Halbuki $A = W / P$ idi . Bu da yerine konursa

$$Q = K_n \beta \frac{W}{P} \quad (1.16)$$

denklemini elde edilir.

Bu denklemde hem sürtünen metallerin karakteristiği (K_n) ve hem de yüzey film karakteristiği (β) yer almaktadır.

Rowe ortalama basınç değerinin kopma gerilmesi ve basma gerilmesinin bileşkesi olduğunu kabul etmiştir. Bunu;

$$P^2 + \alpha S^2 = P_0^2 \quad (1.17)$$

ile ifade etmiştir.

Formüldeki;

P : Normal basınç

P₀: Statik yük altında akış basıncı

S: Kopma gerilmesi

α : Bir sabit

Sürtünme teorisinden $S = \mu P$ idi. Bu ifade yerine konursa;

$$P = \frac{P_0}{(1 + \alpha\mu)^{1/2}}$$

elde edilir. P değeri (1.16) denkleminde yerine konursa;

$$Q = K_n (1 + \alpha\mu^2)^{1/2} \beta \frac{W}{P_0} \quad (1.18)$$

elde edilir.

1.1.2.4. Abresive Aşınma

Abresive aşınma uygulanan kuvvet ve hareketin etkisiyle sürtünen iki cisimden, daha sert olan cismin pürüzleri veya tanecikleri ile diğer cismin yüzeyini çizerek, üzerinden mikro talaş kaldırması olayıdır. Bu aşınma mekanizması katı - katı, katı- mineral, katı - sıvı gibi birçok sürtünme elemanlarında görülür. Bu tip aşınma iki şekilde meydana gelir.

1- Sürtünen iki malzemeden daha sert olanın yüzeyindeki pürüzleri ile, daha yumuşak olan malzeme yüzeyini çizerek tahrip etmesi şeklindeki aşınmaya "İki Cisimli Abresive Aşınma" denir (Şekil 1.13).

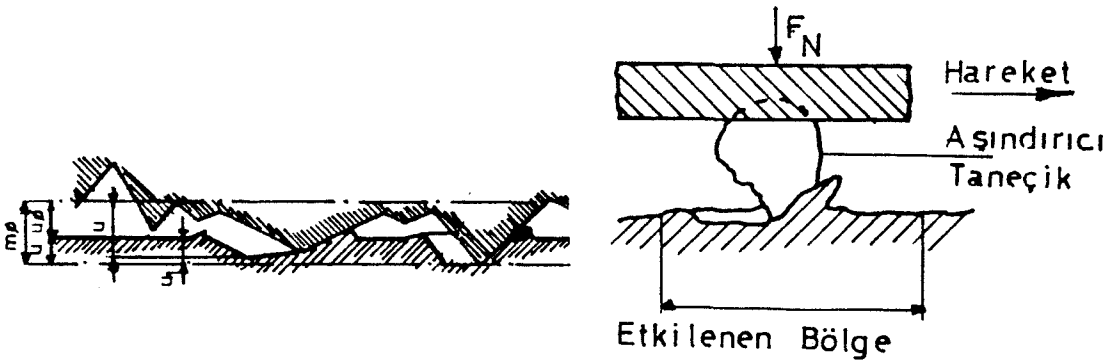
2- Sürtünen yüzeyler arasında yuvarlanan sert taneciklerin yüzeyleri çizerek tahrip etmesi şeklindeki aşınmaya da "Üç Cisimli Abresive Aşınma" denir (Şekil 1.14).

Genellikle aşınma mekanizmaları metal - metal sürtünmelerinde abresive veya adhesiv olarak başlar. Araya giren toz mineral taneleri, çizilme ile mikro talaşlar veya parçalanmış oksit parçacıkları ile de üç cisimli abresive aşınma şeklinde devam eder.

Khruschov ve Babichev aşındırıcı tanelerin yüzeylerinin, iki şekilde aşındığını belirtmişlerdir.

1- Sert taneciğin, yüzey üzerine gömülerek metal kaldırmadan, plastik defomasyon meydana getirerek yüzeyi çizmesi.

2- Sert taneciğin daha yumuşak yüzeydeki tanecikleri parçalayarak, yüzeyden mikro talaşların ayrılmasına sebep olması şeklinde tanımlamışlardır.



Şekil 1. 13: İki cisimli abresive aşınma

Şekil 1. 14: Üç cisimli abresive aşınma

Abresive aşınmanın oluşma şartı, sürtünen cisimlerden biri diğerinden daha sert veya yumuşak olmalıdır. Ayrıca sert yüzeyin pürüzlü olması

gerekir. Örnek olarak tungsten karpitin, karbondan daha sert olmasına rağmen, pürüzsüz olması sebebiyle karbonu aşındırma oranı daha düşük olacaktır.

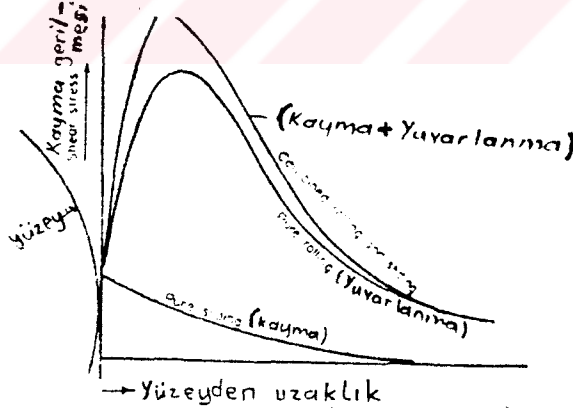
1.1.2.5. Koroziyon Aşınma

Metal veya metal alaşımlarının çevreleriyle (katı, sıvı ve gaz ortam) kimyasal, elektrokimyasal veya metalurjik ilişkiden dolayı, yüzeylerinde yapısı farklı tabakaların oluşması ve sürtünme hareketi ile bu tabakaların parçalanıp taşınması sonucu oluşan hasara "Koroziyon Aşınma" denir. Koroziyon; "Birim zamanda metal malzemelerde meydana gelen aşınmadır" şeklinde tanımlanır. Koroziyon için gerekli şart, koroziyonun ve sürtünmenin olmasıdır. Sürtünmenin gaz veya sıvılı koroziyon tesir yapan bir ortamda olmasıyla sürtünen yüzeylerde kimyasal reaksiyon sonucu reaksiyon ürünleri oluşur. Bu artıklar yüzeylere çok zayıf yapıştığından sürtünme esnasında tahrip olarak, yüzeyden taşınırlar. Bu olay sürekli tekrarlanır. Reaksiyon ürünleri ortamın bileşimine bağlıdır. Normal havada bulunan O_2 ve H_2O buharı yüzeylerle kimyasal reaksiyona girerek oksit ve hidroksit meydana getirirler. Endüstriyel ortamlarda bulunan CO_2 , SO_2 , H_2S , NH_3 ve NO_2 gazları havadaki nemle birleşerek asitleri, asitlerde metal yüzeylerle reaksiyona girerek ilgili bileşiklerini meydana getirirler. Neticede böyle bir ortamda koroziyon aşınma oldukça hızlı gelişir. Ayrıca içinde erimiş olarak O_2 ve CO_2 gibi koroziyon tesir yapan gazları ihtiva eden sıvı ortamlarda da bu tip aşınma görülür. Yağlarda erimiş olarak bulunan koroziyon elementleri zamanla çözünerek, yağların kalitesine etkide bulunurlar. Neticede koroziyon aşınmayı hızlandırma rolü oynarlar.

1.1.2.6. Yorulma Aşınması

Malzemelerde yorulma olayı tekrarlanan zorlamalar altında ve zamanla oluşur. Bu olay daima yüzeyden başlar. Yüzey bölgesi titreşimli bir zorlamaya maruz kaldığında veya sürtünme elemanları tekrarlanan

gerilmelerle etkilendiklerinde, bu gerilmelerin sebep olduğu mikro çatlaklar vasıtası ile "Yorulma Aşınması" dediğimiz pulcuklar şeklinde malzeme ayrılmaları olur. Bu olay esnasında iç yapıda parçalanmalar ve yırtılmalar oluşarak, yüzeylerden kısmi çözülmeler meydana gelir. Bu tip aşınma temas yüzeylerinde küçük çukurcukların oluşması şeklinde kendini gösterir. Olay özellikle rulmanlar, dişli çarklar, kam mekanizmaları gibi yuvarlanma hareketi yapan parçaların yüzeyinde görülür. Bu elemanlarda yağ filmi sebebiyle direkt temas alanları küçük olduğundan, yüzeylerde Hertz yüzey basınçları oluşur. Maksimum kayma gerilmesi Şekil 1.15 de görüldüğü gibi yüzeyde, maksimum kopma gerilmesi ise yüzeyden biraz uzakta oluşur. Dönme hareketi esnasında kopma gerilmesi yönü değişir. Kopma gerilmesi değişme genliğine bağlı olup, mukavemet sınırı aşıldığında oluşmaktadır.



Şekil 1. 15: Yüzeyde kopma gerilmesinin mesafe ile değişmesi.

Yuvarlanma hareketi yapan mükemmel bir malzemenin kopma durumu, Hertz denklemleri kullanarak elde edilen maksimum kopma gerilmesi dağılımlarıyla belirlenir. Yuvarlanma temasının artmasıyla kopma pozisyonu yüzeye doğru yaklaşır. Aşınma, kritik bir devir sayısından sonra, büyük taneciklerin teşekkül etmesiyle anlaşılır. Kritik noktaya kadar

oluşan aşınma ihmal edilebilecek düzeyde olup, yuvarlanma hareketi yapan yatağın çalışması normal olarak devam eder. Ancak bu durum aşınma parçacıklarının ayrılmasına kadar devam eder. Böylece faydalı yatak ömrü sınırına gelinmiş olur. Burada en önemli parametre faydalı yatak ömrüdür. Faydalı yatak ömrü benzer yataklardan % 90 ının ulaşabildiği devir sayısı olarak tanımlanır. Buna göre N yatak ömrü, W yatağa gelen kuvvet ise,

$$W^3 * N = \text{Sabit} \quad (1.19)$$

yazılabilir[8].

Yorulma aşınmasını, sürtünerek hareket eden malzemelerde görmek mümkündür. Bu yüzeylerde pürüzler yapışmadan veya abrasiv olarak aşınmadan birbiri üzerinde kayarak geçerler. Kritik sayıda temas sağlandıktan sonra, pürüzlerden biri yorulma neticesinde plastik şekil değiştirerek, yüzeyden kopar ve aşınmaya sebep olur. Herhangi bir pürüz çok sayıda temas ederek hareketine devam ettiğinde, yorulma sonucu şekil değişimine uğrar ve böylece pürüz parçacıkları ayrılır.

Kragelskii bir yorulma teorisi geliştirerek,

$$N = \left(\frac{2\varepsilon_f}{\varepsilon_p} \right)^2 \quad (1.20)$$

ifadesini elde etti. Burada;

ε_f : Çekme deneyinde plastik şekil değiştirme miktarı.

ε_p : Bir yorulma hali için plastik şekil değiştirme genliği.

N : Zayıflamaya sebep olan tekerrür sayısıdır.

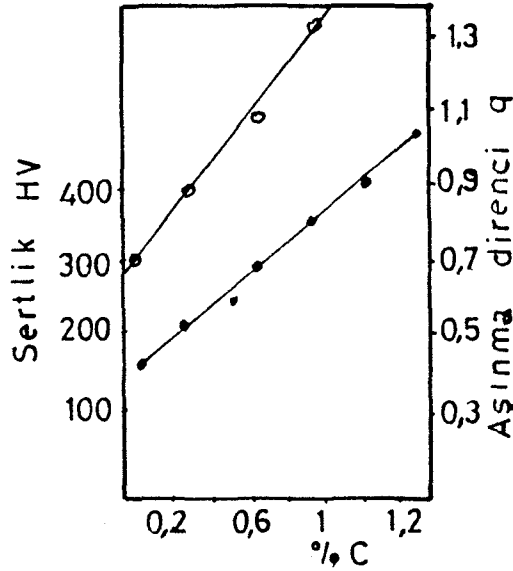
Malzemelerin bir çoğunda her bir yorulma durumunda oluşan plastik şekil değiştirme miktarı N tekerrür sayısı ile bağıntılıdır. ε_p , pürüzlerin geometrisine göre tahmini olarak alınır. Yorulma aşınmasını önlemek için en önemli tedbir temas yüzeyinin sertleştirilmesidir.

1.1.2.7. Aşınmaya Etki Eden Faktörler

Yapılan çalışmalarda aşınmanın bağlı bulunduğu değişkenler tespit edilmiş, ancak bağıntı henüz tam olarak açıklığa kavuşturulamamıştır. Aşağıda bazı değişkenlerin aşınma üzerine olan etkileri kısaca açıklanmıştır.

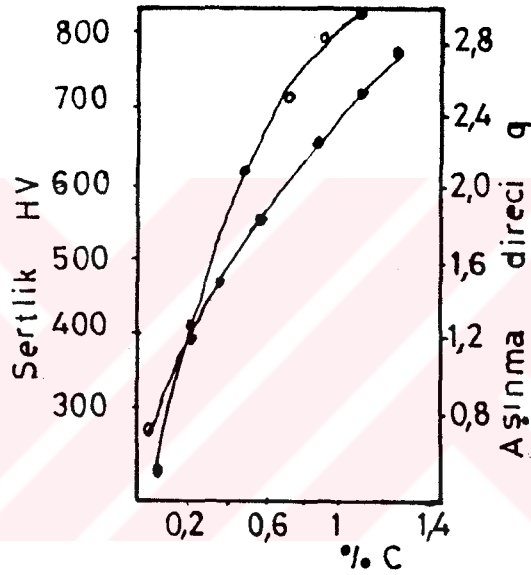
Bazı malzemelerin cinsi ve kimyasal terkiplerine bağlı olarak, aşınma dirençleri değişmektedir. Örneğin çeliklerde karbon miktarının artmasıyla, aşınma direncini artırdığı Şekil 1.16 da görülmektedir[9.16]. Cr ve P çeliklerin aşınma direncini artırdığı deneyler sonucu tespit edilmiştir [9].

Bu güne kadar yapılan çalışmalarda, mikro yapının aşınma olayını nasıl etkilediği henüz açıklığa kavuşmamakla birlikte, aşınma olayını etkilediği bir gerçektir. Bilindiği gibi mikro yapı, malzemenin mekanik özellikleri üzerinde önemli bir etkisi vardır. Özellikle sertliği malzemenin aşınma direncini etkilediği düşünülürse, mikro yapının aşınma olayını etkilediği açıktır [9,7].



Şekil 1.16: Tavlanmış karbonlu çeliklerde C oranının fonksiyonu olarak sertlik ve aşınma direncinin değişimi [9,11].

Yapılan araştırmalar demir ve çeliklerde, karbonun bünyede dağılımları ve tane boyutlarının aşınmayı direk etkilediğini ortaya koymuştur. Yapının sementit veya perlitik olması aşınma direncini artırdığı gözlenmiştir [9,7]. En fazla aşınma direncinin martenzitik yapılı çeliklerde en az direncin ise ferritik yapılı çeliklerde olduğu tespit edilmiştir[9].



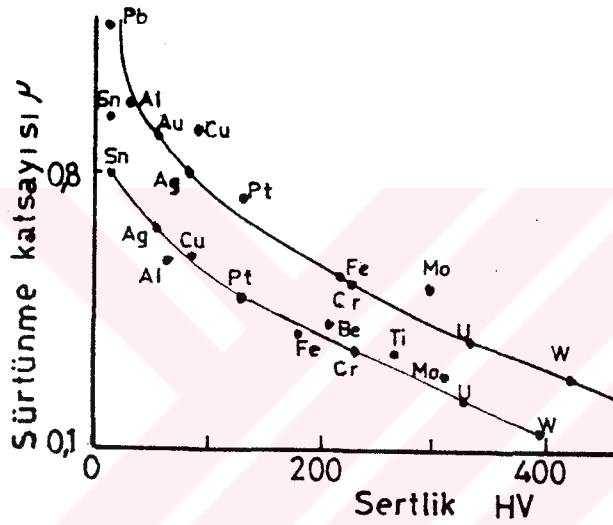
şekil 1.17: Sertleştirilmiş karbonlu eliklerde C oranının fonksiyonu olarak aşınma direncinin vesertliğindeğişimi[9,11].

Aşınma direncini etkileyen faktörlerin başında malzeme sertliği gelmektedir. Belirli sertlik değerine kadar, aşınma direnci önemli ölçüde artmakla beraber, belli bir değerden sonra sertliğin fazlaca etkili olmadığı şekil 1.18 de görülmektedir. Sürtünme katsayısının düşük olması , aşınma direncinin büyüklüğünü gösterir.

Yüzey pürüzlülüğünün fazla olması aşınmayı artırmaktadır.

Akma ve kopma değerleri yüksek olan malzemelerin aşınma direleri de büyük olur [11].

Temas yüzeyinin aşınma şekli eş çalışan elemanların geometrik şekline, hareket tarzına ve uygulanan basınca bağlıdır. Boyutlar temas alanını etkilediğinden aşınmada etkiler [9].

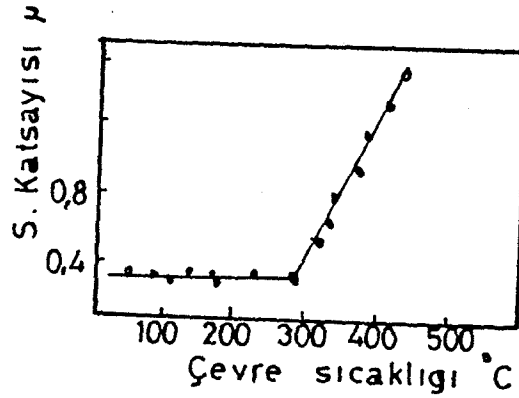


Şekil 1.18: Sertlikle sürtünme katsayısı değişimi [9].

Soğuk şekil değiştirmeler sırasında bir sertleşme meydana gelir. Bu sertleşme adhesiv aşınma direncini artırmaktadır [11].

Aşınma direncini artıran en önemli etken ısısal işlemdir. Isıl işleme malzemelerin mikro yapısı değiştirilebilmektedir. Tavlama yapıldığında sertlik düştüğünden aşınmanın arttığı yapılan deneylerle tespit edilmiştir[9].

Ortamın nemi, atmosferi ve sıcaklığı aşınmayı etkileyen önemli faktörlerden biridir. Ortamın nemi ve sıcaklığı sürtünme katsayısını etkilediği bilinmektedir. Şekil 1.19 da görüldüğü gibi belli bir sıcaklıktan sonra sürtünme katsayısı hızla artmaktadır.



Şekil 1.19: Co / Co çiftinin sıcaklığa bağlı olarak, vakumda kayma sürtünmesi halinde sürtünme katsayısı değişimi.

Yük arttıkça aşınma artar. Ancak yükün artması temas alanını artırdığından ve yüzeyde pekleşme olması nedeniyle plastik deformasyon önlenerek aşınma artışı yavaşlamaktadır. Normal basınç, malzemenin akma mukavemetini aştığında adhesive aşınma katsayısı ani olarak yükselir. Dolayısıyla aşınma hızla artar [11]. Abresive aşınmada, hızın 0 - 2.5 m/sn arasındaki kayma hızlarında aşınma, hız ile orantılı olarak artar[9]. Çalışma süresi veya kayma mesafesi arttıkça aşınma miktarı artar.

1.1. 2. 8. Aşınma Deneyi Yöntemleri ve Aparatları

Aşınma deneyleri çeşitli model deneylerle yapılabildiği gibi gerçek işletme şartlarında da yapılabilir. Ancak, işletme şartlarının devamlı değişmesi sebebiyle deneylerin tekrarlanması oldukça zor olmakta ve dolayısıyla sonuçların mukayese edilmesi güçleşmektedir. Buna örnek olarak toprak işleme ve toprak kazıyıcı aletlerin aşınmasının, işletme şartlarında

araştırılması her bölge ve her arazinin değişik toprak özelliği göstermesi nedeniyle elde edilecek deney sonuçlarını mukayese etmek oldukça zor olmaktadır. Bu sebeple laboratuvarlarda aynı tarla şartlarını sağlayarak model deneylerin yapılması daha uygun olacaktır. Ancak bu tür model deneylerde, işletme şartlarına benzer şartlar laboratuvarlarda sağlanarak değişkenlerin aşınmayı nasıl etkilediği tespit edilip bu sonuçların uygulanması sağlanabilir. Deney düzeneklerinin işletme şartlarına oldukça yakın şartlar sağlaması gerekir.

Deney düzenekleri göz önüne alınan aşınma problemi için özel olarak imal edilirler. Bunun için çeşitli deney düzenekleri geliştirilmiştir. Amsler aşınma makinası metal - metal aşınması için kullanılır. Brinel deney aletiyle metal - metal olmayan aşınma deneyleri yapılır.

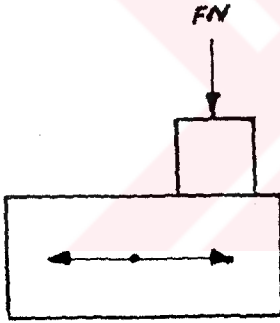
Coffin bir diskin çevre yüzeyine sürtünen yarım küre bir elemanla aşınma üzerine atmosfer ve ortam sıcaklığının etkisini incelemiştir. Mutton- Watson ve Date - Malkın zımpara bezi kaplı bir kasnak üzerine helisel olarak sürtünen bir pim sistemi kullanmışlardır. Pigors birbiri üzerinde yuvarlanan içi silindir ve düz bir yüzey üzerinde dönen silindir arasına abresive mineraller akıtarak deneyler yapmışlardır.

Dawıhl Altmayer, 800 °C ye kadar ısıtılan silindirik bir yüzey içinde gidip-gelme hareketi yapan ve her gidiş sonunda su haznesine dalan numunenin aşınmasıyla abresive taneciklerle dolu bir aşınma kabında, dairesel bir yörünge üzerinde ve kendi eksenleri etrafında da dönerek yol alan numunelerin aşınmasını incelemişlerdir. Howes belli bir açı altında numune üzerine sliikon karpit tozlarını cam bir tüp yardımıyla düşürerek yumuşak çeliklerde çarpma aşınmasını incelemiştir. Khruschow, 150 d/d hızla dönen ve düz yüzeyi abresive bezi ile kaplı bir diskin üzerine belli bir yükte bastırıldığı silindirik bir numunenin aşınmasını incelemiştir.

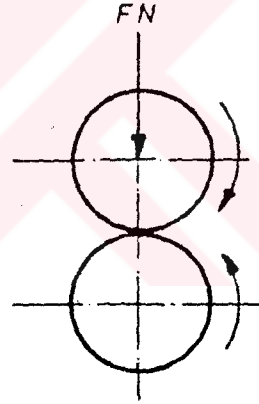
Krause ve Hammel, kardan kavramaları için uygun malzeme araştırmalarında, gidip-gelme hareketi yapan sistemle, alt numune üzerine belli bir yükte numuneyi bastırarak ara yüzeydeki aşınmayı incelemiştir. Gürleyik, gidip-gelme hareketi yapan ve üzerinde belli yük bulunan

silindirik numuneyi, zımpara kağıdıyla kaplı ve numunenin bir gitmesinden sonra bu harekete dik yönde numune çapı kadar hareket eden bir masa ile abresive aşınma deneyi yapmıştır. Mutaf ve Ulusoy, Stahli - Beutler, Kantarcı aşındırıcı tane dolu bir kap içinde, hem kendi eksenini etrafında ve hemde dairesel bir yörüngede dönen numunelerde aşınmayı incelemiştir. Demirci, birbiri üzerinde yuvarlanan iki diskin aşınmasını incelemiştir.

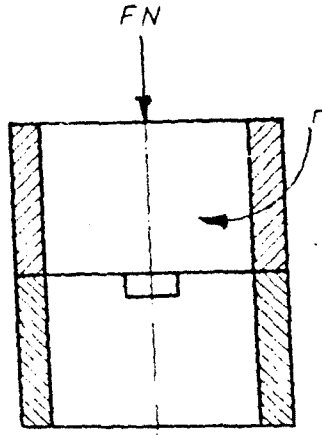
Deney düzeneklerinden en çok kullanılan prensip şemaları ve çeşitli metal / metal aşınma deney düzenekleri prensip şemaları aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.



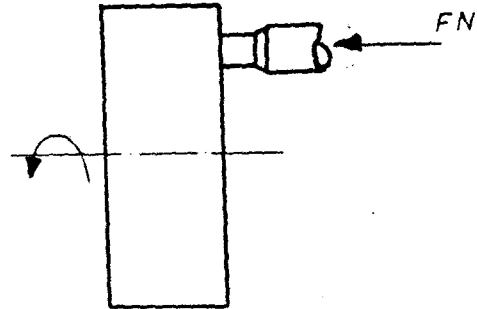
Şekil 1. 20: Kayma sistemi.



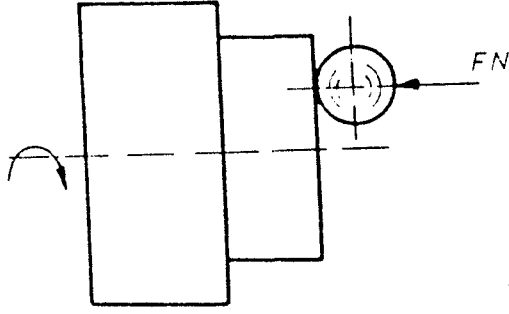
Şekil 1. 21: Yuvarlanma sistemi.



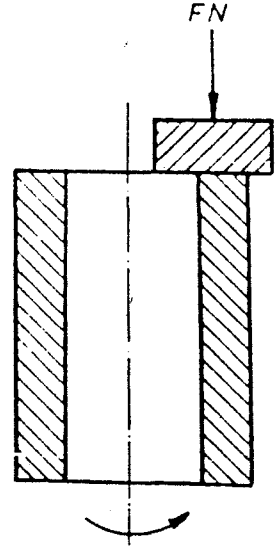
Şekil 1.22: Siebel - Kehl sistemi.



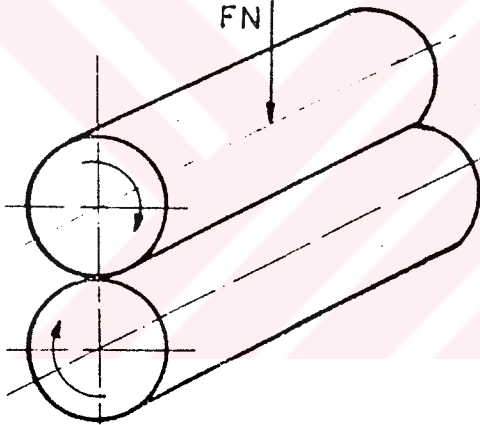
Şekil 1.23: Pim - disk sistemi.



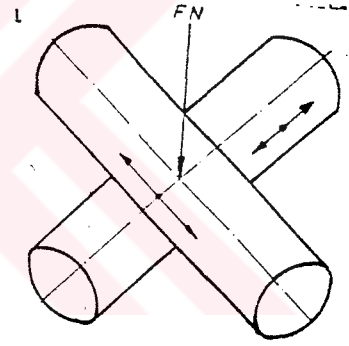
Şekil 1.24: Bilye - disk sistemi.



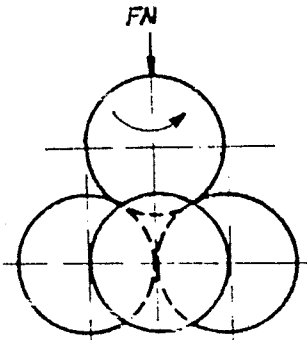
Şekil 1.25: Değiştirilmiş Siebel Kehl sistemi.



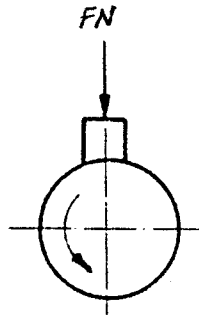
Şekil 1.26: Amsler sistemi.



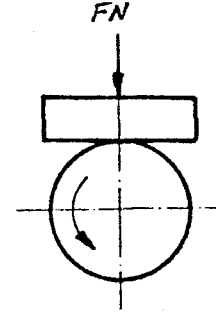
Şekil 1.27: Çapraz silindir sistemi



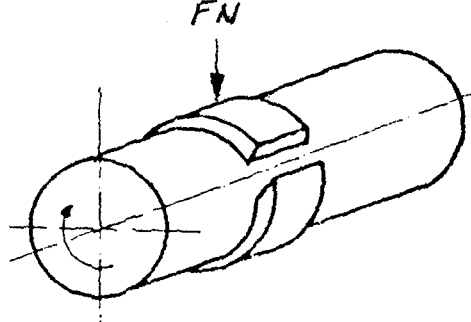
Şekil 1.28: Dört küre sistem.



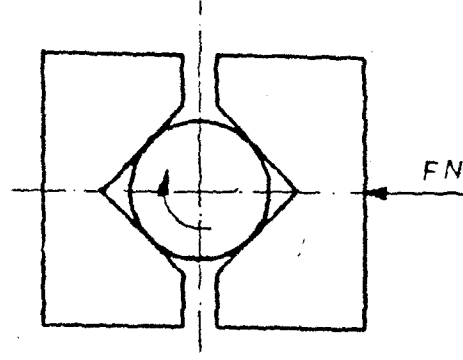
Şekil 1.29: Pim-silindir sistemi.



Şekil 1.30: Plaka-silindir sistemi.

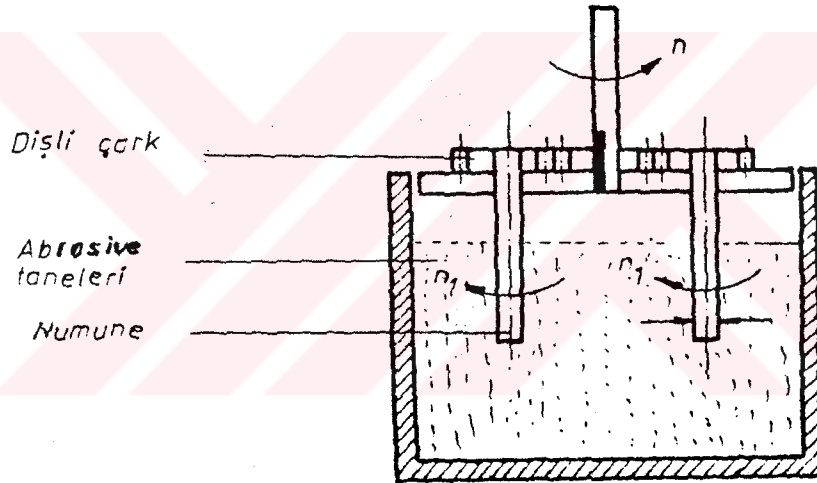


Şekil 1.31: Almen - Wieland sistemi.

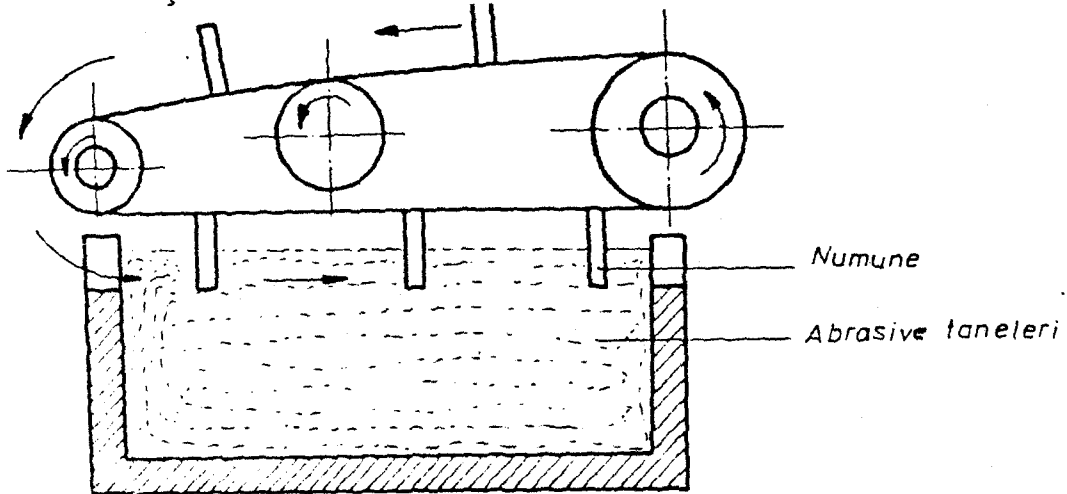


Şekil 1.32: Flax testi.

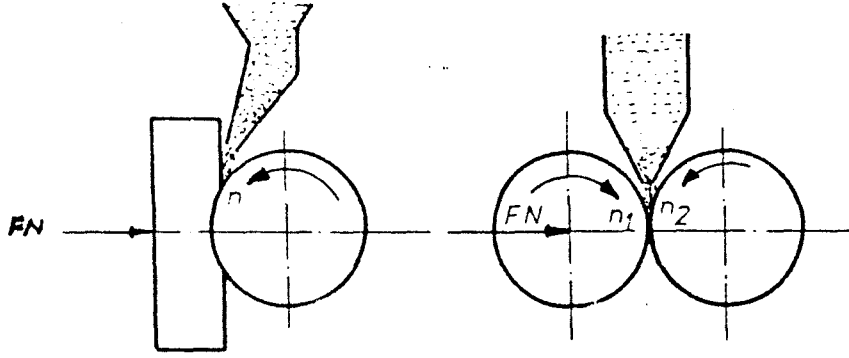
Çeşitli abrasiv aşınma deney düzeneklerinin prensip şemaları aşağıdaki şekillerde belirtilmiştir.



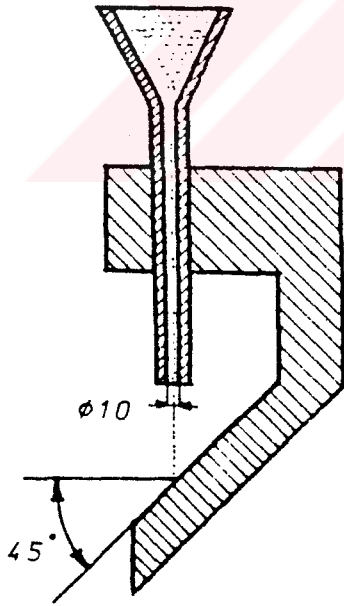
Şekil 1.33: Aşındırma kabı.



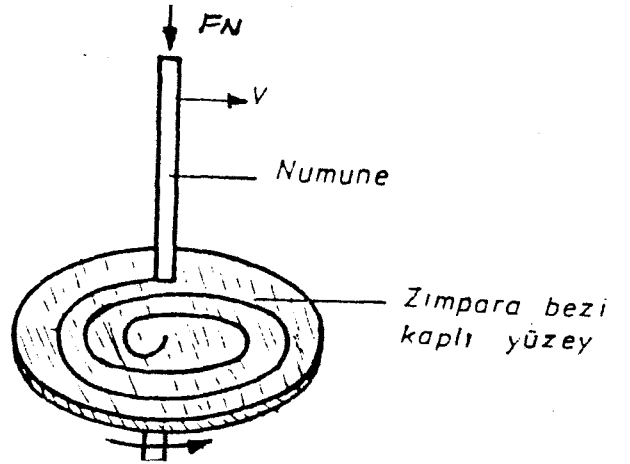
Şekil 1.34: Aşındırma kanalı.



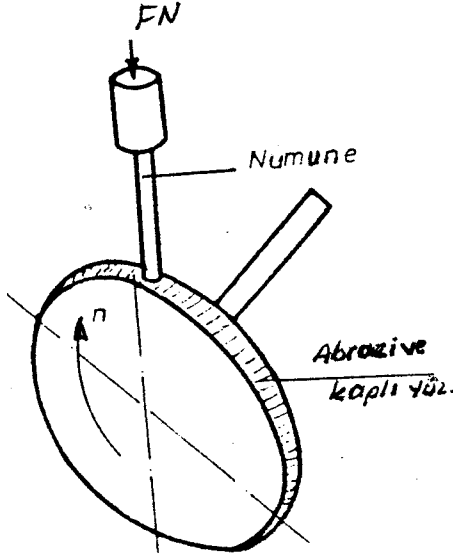
Şekil 1.35: Üç cisimli abrasiv aşınma sistemleri (Brinell).



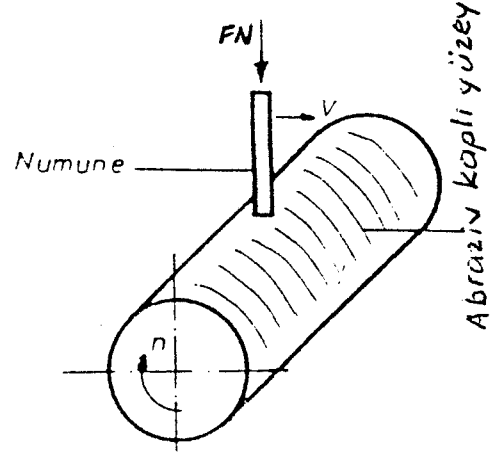
Şekil 1.36: Toz düşürme aparatı.



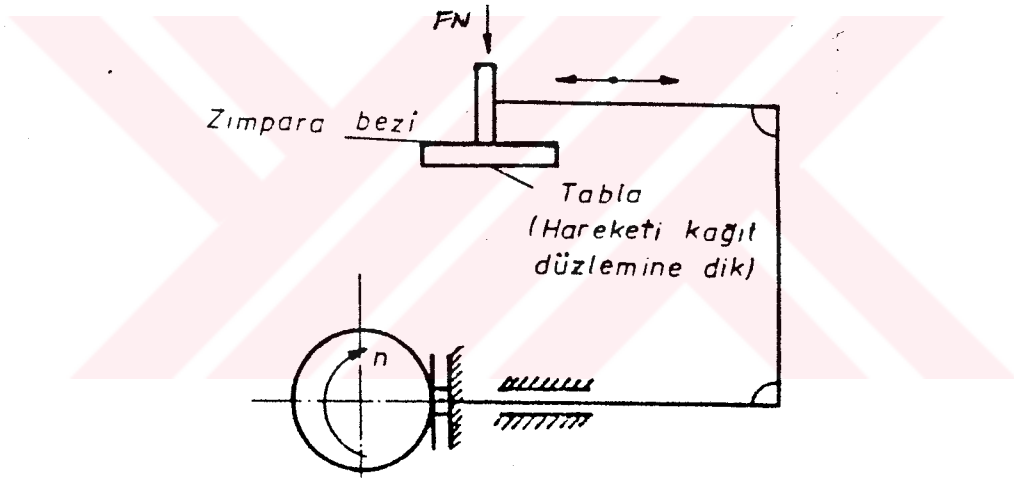
Şekil 1.37: Kh4 - B aşındırma makinası.



Şekil 1.38: Pim - disk aparatı.



Şekil 1.39: Pim - silindir aparatı.



Şekil 1.40: Gidip gelme hareketi yapan aşındırma makinası.

1.1. 3. Yağlama

Yağlayıcı maddeler, sürtünmeyi azaltmak, aşınmayı kısmen veya tamamen önlemek ve sıcaklığın yükselişini önlemek için kullanılmaktadır. Sürtünme bakımından, çeşitli sürtünme halleri için yağlayıcı maddenin fonksiyonu farklıdır. "sıvı sürtünmesinde" yüzeyler arasında bulunan yağ tabakası yüzeyleri birbirinden tamamen ayırdığından, burada önemli olan husus yağın "viskozitesidir." Bu nedenle sıvı sürtünmesi halinde genellikle sıvı ve bazı hallerde gaz yağlayıcı maddeler kullanılmaktadır. "Sınır sürtünmesi" halinde yağlayıcı maddenin ıslatma kabiliyeti ve buna bağlı

olarak kimyasal bileşimi önemlidir. Bu nedenle sınır sürtünmesi halinde katı ve katı sızıcı sıvı yağlayıcı maddeler kullanılmalıdır.

Adhezyon, abresive ve korozyon aşınmalarının önlenmesinde yağlayıcı maddeler önemli rol oynamaktadır.

Sıcaklığın emniyet sınırları içerisinde kalması, bir yandan yağın sürtünmeyi azaltması, diğer yanda da yüzeyler arasında oluşan ısının yağ ile dışarı taşınması sonucunda mümkün olmaktadır.

Yağlayıcı maddeler fiziksel hallerine göre katı, sıvı, yarı katı ve gaz yağlayıcılar olmak üzere dört gruba ayrılırlar [3].

1. 1. 3. 1. Katı yağlayıcı maddeler

Sürtünmeyi azaltmak ve aşınmayı önlemek için madensel yüzeylere kuvvetli olarak yapışan bir tabaka oluşturmak gerekir. Bunu en iyi şekilde katı yağlayıcı maddeler yapabilmektedir. Sınır sürtünmesinin karakteri göz önüne alınırsa, katı yağlayıcı maddelerin şu özelliklere sahip olması gerekir.

- Madensel yüzeylere karşı büyük bir yapışma eğilimi göstermeli,
- Düşük bir kayma mukavemetine sahip olmalı,
- Sertliği az olmalı,
- Madensel yüzeylerin doğrudan doğruya temasını ortadan kaldıran sürekli bir yağ tabakası oluşturmalı,
- Yağ tabakasının kopması halinde, yağ tabakası kendi kendine tekrar oluşmalı,
- Sıcaklık ve çevre etkilerine karşı yeterli dayanıklılık göstermeli,
- Temiz olmalı ve içinde katı parçacıklar bulunmamalıdır.

Pratikte en çok kullanılan katı yağlayıcılar "grafit ve molibden disülfittir". Bunların yanısıra mika, talk, asbest ve plastikler kullanılmaktadır.

Toz ve ince düzgün levhacıklar şeklinde kullanılan grafit, yüksek sıcaklıklarda (500°C nin üstünde) yalnız başına yağlama fonksiyonu göstermektedir. Grafitin başlıca yağlama özelliği, madensel yüzeylerin üzerinde kayma gerilmesi küçük ve kopmaya karşı dayanıklı olan bir tabaka oluşturmaktır.

Molibden disülfid vakumda ve oda sıcaklığında çok iyi bir yağlama özelliğine sahiptir. Vakumda 600 °C kadar stabil olmasına rağmen, havada 350 °C de stabilitesini kaybeder.

1.1. 3. 2. Sıvı Yağlayıcı Maddeler

Sürtünme halinde bulunan yüzeyler arasında sıvı yağlar kolayca girip çıktığından ve bunun sonucu olarak ısı dışarıya taşınmış olduğundan sanayide daha çok kullanılır.

a) Hayvansal ve bitkisel yağlar

İyi yağlama özelliğine sahiptirler, ancak ömürleri çok kısadır. Gıda maddeleri olarak kullanıldığından ve fiyatları da yüksek olduğundan sanayide çok az kullanılır. Hayvansal esaslı kemik ve mafsallık yağları cihazlarda kullanılmaktadır [3].

b) Madensel (mineral) yağlar

Ençok kullanılmakta olan bu yağların geniş bir uygulama alanı bulmalarına neden olan hususlar şunlardır.

- İzafi harekette bulunan yüzeyler arasında kolayca yayılabilirler.
- Çeşitli metal ve lastik gibi malzemelere karşı kimyasal yönden etkisiz olup oksitlenmeye karşı koruyucudurlar.
- Bir yerden bir yere kolayca iletilebilirler.

- Çok miktarda üretilebilirler
- Diğer yağlayıcılara göre nispeten ucuzdurlar.

c) Sentetik yağlar

Bu tür yağlar başlangıçta hayvansal, bitgisel ve özellikle madensel yağların içine sentetik ilaveler yapılarak elde edilmiştir. Bu yağların sınıflandırılması, imalinde kullanılan kimyasal maddelere göre yapılır. Örneğin dibazik asit esteri, fosfat esteri, silikon, silikat esteri, poliglikol ester karışımı yağlar gibi.

1.1. 3. 3 Yarı Katı Yağlayıcı Maddeler (gresler)

Gresler, içine katılaştırıcı madde bulunan sıvı yağlardan oluşmuş olup yarı katı (plastik) haldeki yağlayıcı maddelerdir. Bazı özel durumların elde edilmesi için, içerisinde katılaştırıcı maddenin yanısıra, bazı ek malzemeler de bulunabilir. Katılaştırıcı madde olarak genellikle alüminyum, baryum, kalsiyum, lityum , sodyum gibi madensel sabunlar ve bunların yanısıra bentonit, mika veya organik esaslı sabun olmayan maddelerde kullanılabilir.

1.1.3.4. Gaz Yağlayıcı Maddeler

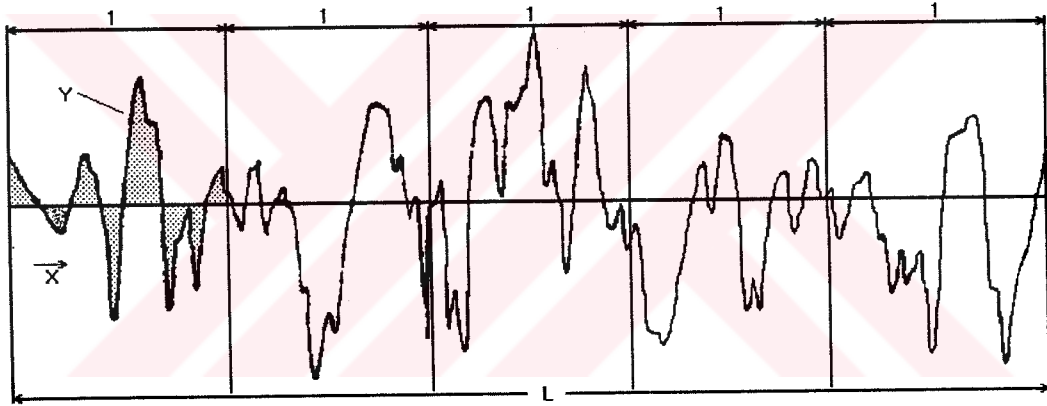
Yüksek hız ve küçük yüklü sıvı sürtünmeli sistemlerde, gaz niteliğini taşıyan yağlayıcı maddeler kullanılmaktadır. Bunların viskoziteleri sıvılara göre çok küçük olduğundan kullanıldığı sistemlerde oluşan sürtünme ve bunun sonucunda da sıcaklık çok az olur. Ancak bu sistemlerin yük taşıma yetenekleri çok azdır. İlk zamanlarda hava, hidrojen ve azot gaz yağlayıcıların ana malzemeleri olduğu halde günümüzde kükürt heksafloridler, sıvı nitrojen, buhar ve organik buhar kullanılmaktadır. Böylece ultrasantrifüjlerde, yüksek hızlı taşlama tezgahlarının ana millerinde, jiroskoplarda, elektrik motorlarında uygulanan bu yağlama

usulü, gaz türbinleri, jet motorları, roketler, nükleer reaktörler gibi sistemlerde kullanılmaya başlanmıştır.

1. 2. Yüzey pürüzlülüğü

Yüzey pürüzlülüğünde kullanılan bazı parametreler ;

R_a : En çok kullanılan uluslararası pürüzlülük parametresidir. Bunun aritmetik anlamı, ana hat çizgisinden pürüzlülük profilinin sapmasıdır (Şekil1.41).



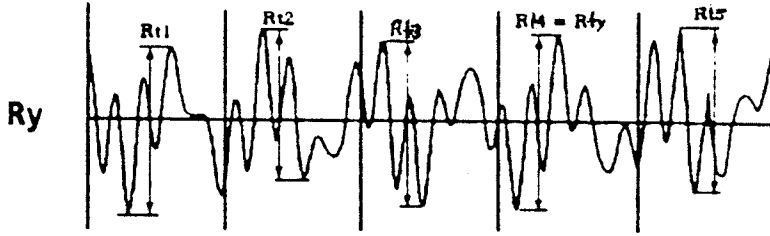
Şekil 1. 41: Yüzey pürüzlülüğü[12].

$$R_a = 1 / L \int_0^L |y(x)| dx [12]$$

R_q : R_a yerine geçen yüzey pürüzlülük parametresidir.

$$R_q = \sqrt{1 / L \int_0^L y^2(x) dx}$$

R_t : Bir numune genişliğinde profilin en yüksek pik ile en düşük çukur arasındaki ölçü değeridir (Şekil 1. 42).



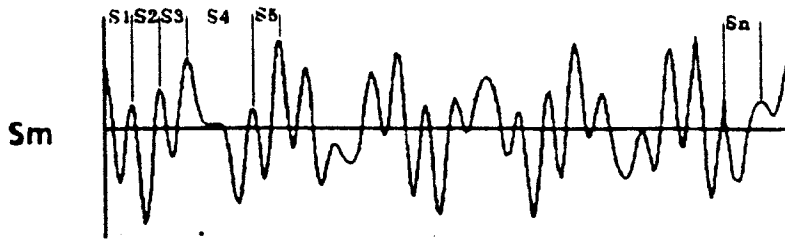
Şekil 1.42: Yüzey pürüzlülüğü [12].

R_y : Ölçülen genişlikteki en yüksek R_t değeridir (Şekil 1.42).

$R_z(DIN)$: Ölçülen genişlikteki en yüksek pik ile en düşük çukur arasındaki ortalama değeridir (Şekil 1.42).

$$R_z(DIN) = \frac{(R_{t1} + R_{t2} + \dots + R_{tn})}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} R_{ti}$$

S_m : Toplam boy üzerinde ölçülen, ana hat çizgisi üzerindeki profil tepelerinin arasındaki ortalama uzaklıktır (Şekil 1.43).



Şekil 1.43: Yüzey pürüzlülüğü [12].

$$S_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} S_i = \frac{(S_1 + S_2 + S_3 + \dots + S_n)}{n}$$

1.2.1. Yüzey pürüzlülüğü ve gerçek temas alanı:

İki yüzey birbiriyle sürtündüğünde, bağlı harekete karşı bir direnç göstermesi sonucu, temas yüzeyinde bazı bozulmalar meydana gelir. Çoğu sürtünme teorileri, birim temas alanına düşen direnç kuvvetinin sabit olduğunu kabul ederler. Buradan;

$$F = A_g P \quad (1.21)$$

yazılır.

A_g : Gerçek temas alanı

P : Özgül sürtünme kuvveti (birim alana düşen kuvvet)

P nin bir sabit olduğu kabulü ile A_g nin önemi daha iyi anlaşılır. Gerçek temas alanı, temas yüzeylerinin pürüzlülüğü nedeniyle, A_1 pürüzlülük mertebesinde küçük ve kısmi alanlardan ibarettir denilebilir. Birbiriyle temas eden iki yüzeyin, gerçek temas alanı, mevcut yüzeyin büyüklüğüne göre hayli azdır. Yapılan ölçümler, bu yüzeyler arasındaki oranın $1/1000$ - $1/500$ arasında olduğunu göstermektedir[19]. Bu oranın büyüklüğü üzerinde, yüzey işçiliğindeki hassasiyet ve basınç etkili olmaktadır. Gerçek temas alanı, kuvvet büyüdükçe pürüzlerin deformasyonu nedeniyle artar. Bowden ve Tabor'a göre temas yüzeylerini oluşturan pürüzlerin, plastik deformasyon yaptıkları kabulü ile gerçek yüzey;

$$A_g = \frac{F_n}{HB} \quad (1.22)$$

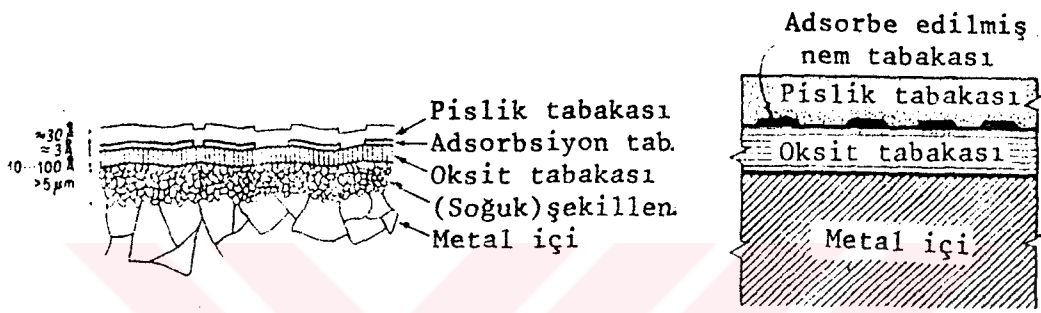
olarak bulunur.

Burada

F_n : normal kuvvet

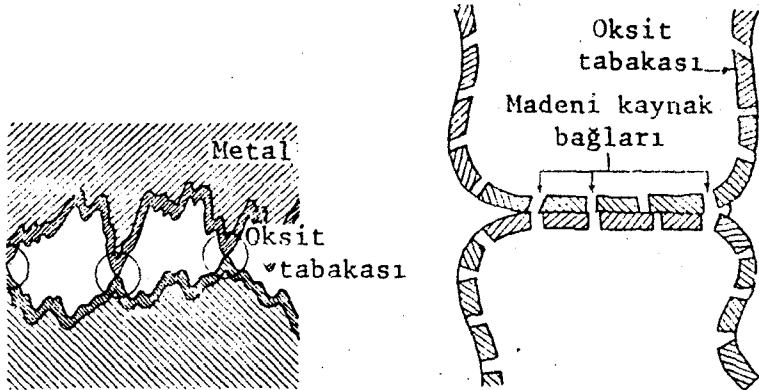
HB : sertliktir.

Yüzey kuru olarak tanımlanan atmosferin etkisindedir. Bu bakımdan oksit, yağ ve su buharı gibi tabakalarla kaplıdır. Şekil 1.44 de gerçek durum, Şekil 1.45 te ise modellenmiş durum görülmektedir.



Şekil 1.44: Gerçek durum.

Şekil 1.45: Modelleştirilmiş durum.



Şekil 1.46: Temas alanlarında kaynama hali.

Kuru sürtünmede, varlığı elektronik mikroskoplarla görülebilen tabakalar, madensel yüzeylere kuvvetle bağlanabilmekte ve ancak etkili fiziksel veya kimyasal metodlarla temizlenebilmektedir. Oksit tabakası ani olarak oluşmaktadır. Yüzeylerin tam madensel temizliği için işlem vakum ortamda yapılmalıdır. Burada şu denilebilir ki teknikte kullanılan elemanların yüzeyleri çeşitli kimyasal bileşikler ihtiva eden, doğal bir adsorbsiyon tabakası ile kaplıdır. Bunun sonucu, doğrudan doğruya temas eden yüzeyler arasında daima bir tabaka bulunur. Yük tatbik edilmeden önce temas halindeki doğal tabakalar arasında bir bağlantı oluşur. Yüklemeden sonra tabakanın bir kısmı kopar ve temas alanlarında metal kaynaması meydana gelir (Şekil 1.46). Sürtünme kuvveti, hem kaynak bağlarını hemde bağlantıları koparan kuvvettir. Yükü taşıyan hakiki (A_h) alanının, metal kaynak bağı teşkil eden % si α , metal kaynak bağı teşkil etmiş olan temas noktalarının kayma mukavemeti τ_{km} ve tabii tabakalar arasındaki bağlantılarının kayma mukavemeti τ_{ko} ile ifade edilirse, sürtünme kuvveti;

$$F_s = \alpha A_h \tau_{km} + (1 - \alpha) A_h \tau_{ko} \quad (1.23)$$

olarak yazılır [3].

(1.23) denklemini dikkate alınırsa, sürtünme katsayısı;

$$\mu = \frac{F_s}{F_n} = \alpha \frac{\tau_{km}}{HB} + (1 - \alpha) \frac{\tau_{ko}}{HB} \quad (1.24)$$

olur..

HB yerine tabakanın kopma mukavemeti yazılırsa

$$\mu = \alpha \frac{\tau_{km}}{\sigma_{k0}} + (1 - \alpha) \frac{\tau_{k0}}{\sigma_{k0}} \quad (1.25)$$

olur.

Hakiki temas alanı, madensel temas noktalarından ibaret olduğunda $\alpha=1$ dir ve bu durumda,

$$\mu = \frac{\tau_{km}}{\sigma_{k0}} \quad (1.26)$$

olur.

Madeni temas olmaması halinde $\alpha = 0$ olur ve sürtünme katsayısı için;

$$\mu = \frac{\tau_{k0}}{\sigma_{k0}} \quad (1.27)$$

bağıntısı yazılabilir.

Ancak α , τ_{km} ve τ_{k0} değerlerinin tespiti güçtür. Bu bağıntılardan şu sonuç çıkabilir [1];

a) Sürtünme katsayısı, metal kaynak bağı teşkil etmiş olan temas noktalarının kayma mukavemeti (τ_{km}), tabakanın kopma mukavemeti (σ_{k0}) ve bağlantının kayma mukavemeti (τ_{k0}) ya bağlıdır.

b) Temas noktalarının kayma mukavemeti, temastaki malzemenin cinsine bağlıdır. Birbirleriyle kolayca alaşım haline gelebilen demir, krom ve nikel gibi sert malzemeler arasında kuvvetli kaynak bağı oluşmaktadır. Birbiri üzerinde kayan malzemelerin biri sert, diğeri yumuşak (kalay, kurşun, indium ve bunların alaşımları) olduğu taktirde, yumuşak malzeme diğeri malzemeyi, kendi parçacıklarından oluşan ince bir tabakayla derhal kaplar. Bu şekilde iki yumuşak malzeme birbiri üzerinde kaymış olur. Yani yumuşak malzeme bir yağlayıcı gibi rol oynar. Böylece sürtünme katsayısı azalır ve yüzeyler arasında yenme olmaz. Pratikte kalay alaşımlarının iyi bir yatak malzemeleri olmalarının nedeni bu olaya bağlıdır. Bunun için malzemeler farklı olmalı ve birbirleriyle kolayca alaşım haline geçen türden olmamalıdır[3].

c) Oksit tabakasının mukavemeti, kimyasal bileşikler kapsayan tabii tabakaya esas olmak üzere önemlidir.

d) Sürtünme katsayısı (1.26) ve (1.27) denklemlerinin verdiği değerler arasındadır. Böylece;

$$\frac{\tau_{k0}}{\sigma_{k0}} < \mu < \frac{\tau_{km}}{\sigma_{k0}} \quad (1.28)$$

yazılır.

Pratikte sürtünme katsayıları Tablo 1 de verildiği gibi deneyle belirlenir.

BÖLÜM 2. YÖNTEM VE TEKNİKLER

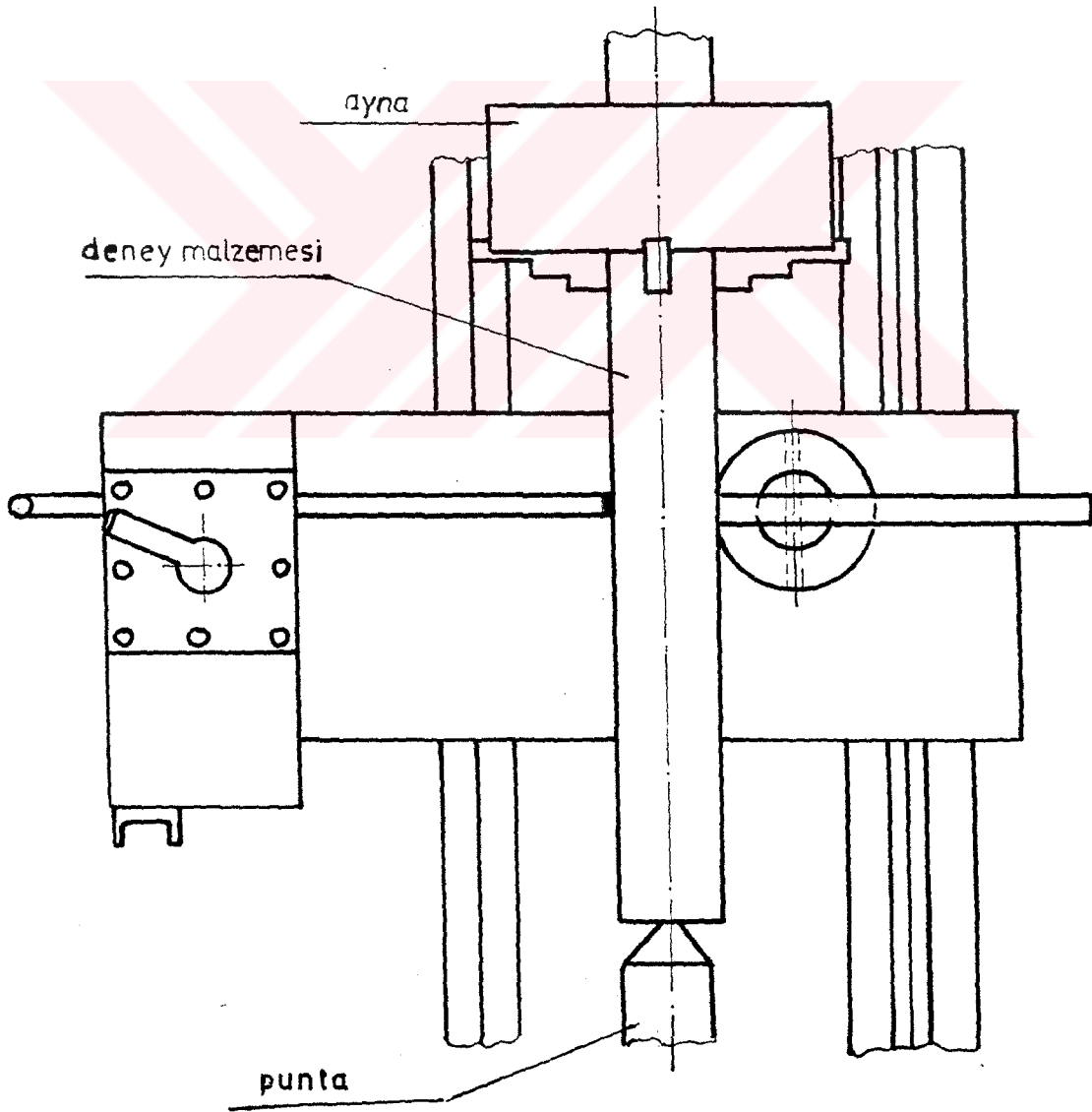
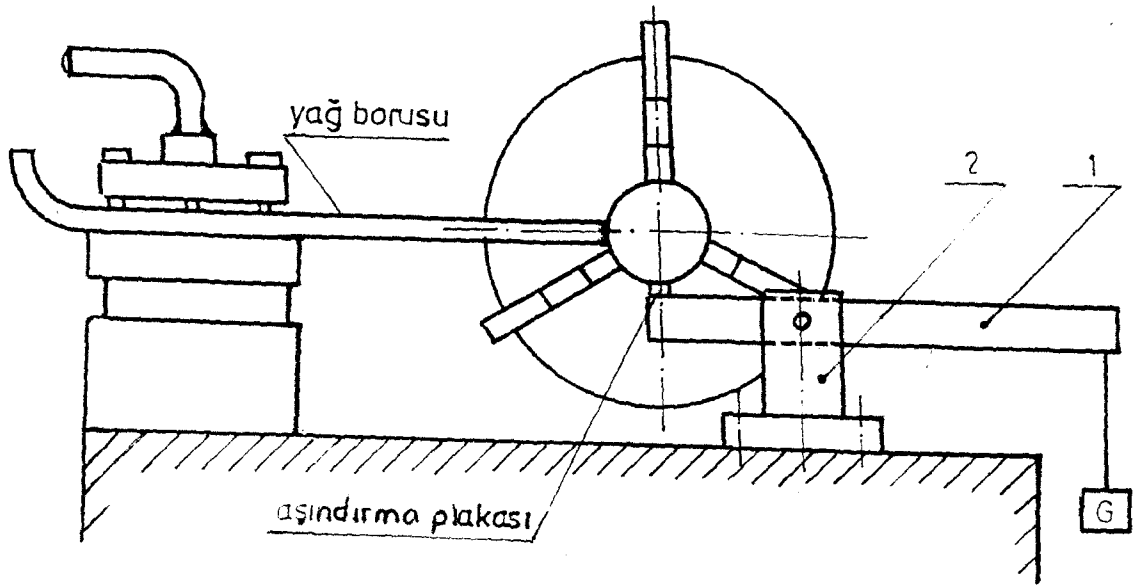
Bu araştırma Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü İmalat ve Konstrüksiyon Labaratuvarında gerçekleştirilmiştir.

2. 1. Deney Malzemesi

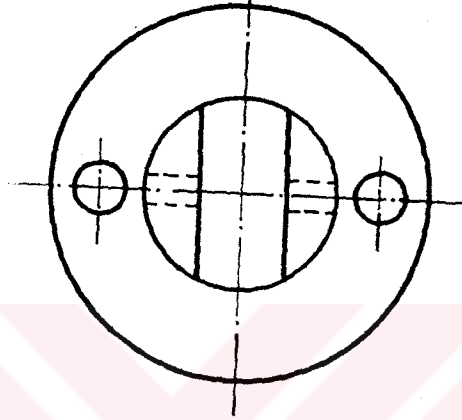
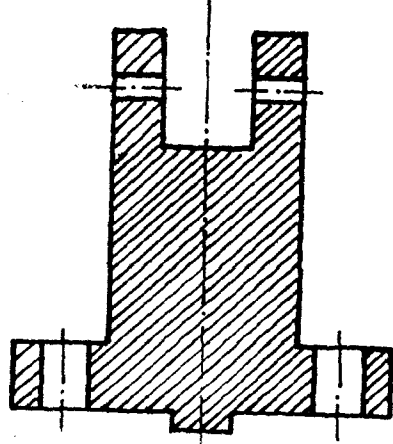
Deney malzemesi olarak St 60 imalat çeliği kullanılmıştır. Atomik absorpsiyon spektrofotometresinde yapılan ölçümde deney malzemesinin bileşiminde alaşım elemanı olarak % 0.58 C, % 0.32 Mn, % 0.13 Cr, % 0.22 Ni ve % 0.15 P bulunduğu tesbit edilmiştir. Ayrıca yapılan sertlik ölçümü ile malzeme sertliğinin 170 HB olduğu belirlenmiştir.

2. 2. Deney Düzeneği

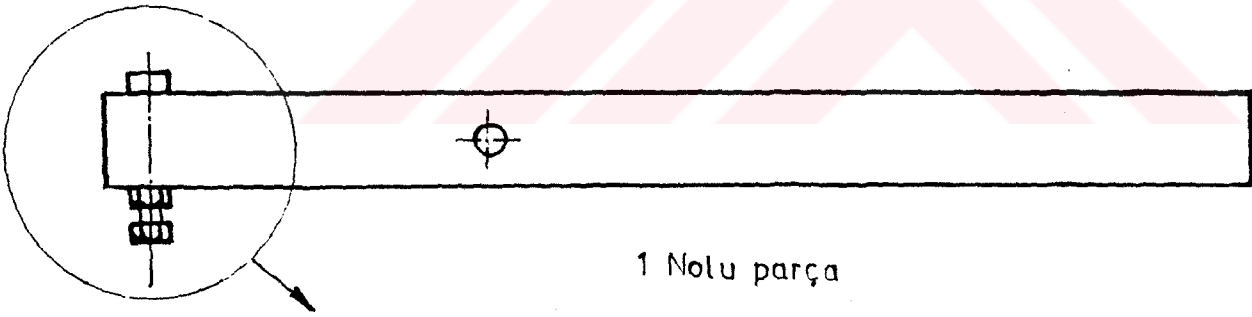
Deney düzeneği olarak, mevcut torna tezgahına monte edilebilen özel olarak hazırlanmış deney aparatı kullanılmıştır (şekil 2.1). Torna tezgahı arabası üzerinde bulunan (T) kanala geçecek şekilde hazırlanan düşey konsola bir kanal açılmış ve bu kanala bir manivela kolu yerleştirilmiştir. Manivela kolu kanala bir pim ile mafsal şeklinde monte edilmiş, ve bir ucuna aşındırma plakası, diğer ucuna ağırlık asılmıştır. Aşındırma plakası olarak, piyasada tornalama işleminde kesme kalemi olarak kullanılan sert metal (P25) ucun yan yüzeyleri kullanılmıştır. Aşındırma plakasının altına şekil 2.1b de grldğu gibi bir yay yerleştirilerek plaketin deney malzemesine eğik basması nlenmiştir. Torna kalemligine bağlanan bir yağlama borusu ile aşındırma yağlı yapılmıştır.



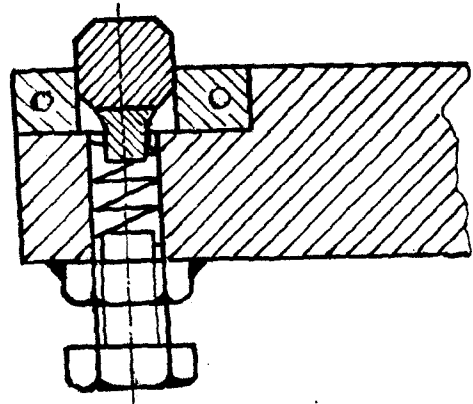
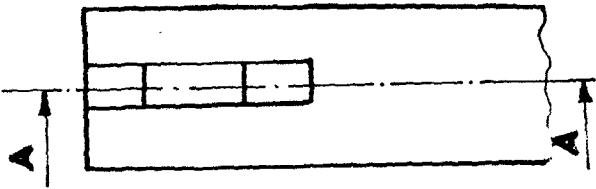
Şekil 2. 1a :Deney Düzeneği.



2 Nolu parça



1 Nolu parça



A-A Kesiti

Şekil 2.1b: Deney Düzeneği Detayları.

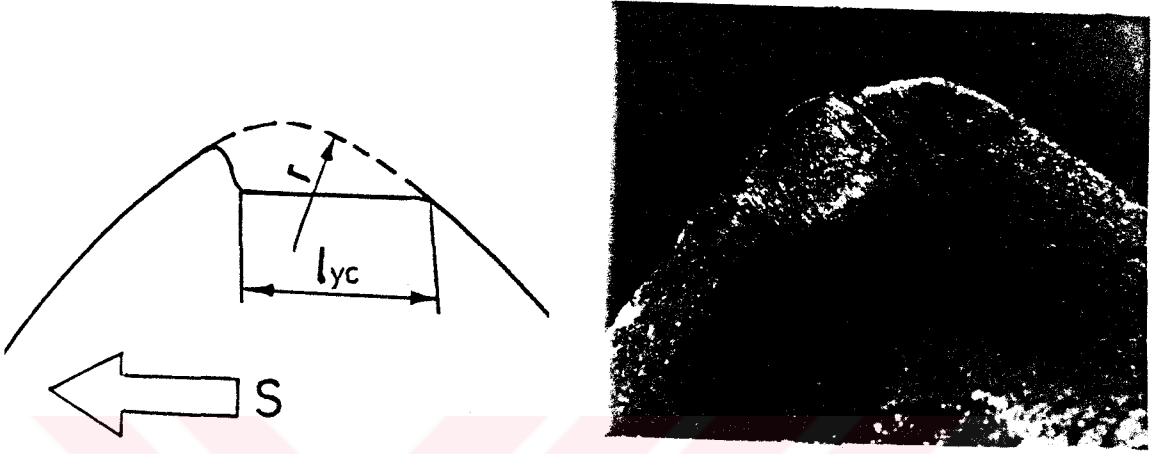
2. 3. Deneyin Yapılışı

Deneyde 80 mm çapında ve 450 mm boyunda dört adet silindirik iş parçası deney numunesi olarak kullanılmıştır. Deney numunesi işlenirken son pasoda P10 sert metal ucu kullanılmış ve bu uçlardan birisinin ucuna özel bir yöntem ile "Ek Kenar" oluşturulmuştur [6]. Ek kenarı oluşturmak için; deney malzemesinin yüzeyi 0.25 mm paso, 160 m/dak. kesme hızı ve 0.07 mm/dev. ilerleme ile iki kez tormalanarak sert metal uç aşındırıldı. Bundan sonra ilerlemenin dışındaki kesme parametreleri değiştirilmeden aynı uçla deney malzemesi yüzeyi üçüncü kez tormalanırken kesme işlemine ara verilmeden ilerleme her 30 mm de bir değiştirilip "Ek Kenar" oluşturuldu. Değişik yüzey kalitelerinde işlenen deney numunelerine, aynadan sökülmeden yağlı olarak plaka - silindir sisteminde aşındırma işlemi yapılmıştır. Her deney ikişer defa tekrarlanarak toplam 48 adet aşındırma deneyi gerçekleştirilmiştir. Aşınmanın ölçümünde yüzey pürüzlülük aletinin okumuş olduğu Rz(DIN) yüzey pürüzlülük parametresinden yararlanılmıştır. Aşınmadan önce ölçülen Rz(DIN) değeri ile aşınmadan sonra ölçülen Rz(DIN) değeri arasındaki fark mikron olarak aşınma değerini vermektedir. Ölçme işlemi üçer kez tekrarlanarak ortalama değerler alınmıştır. Aşındırma plakası olarak kullanılan P25 sert metal uç aşındırma işleminden sonra 0.0001 gr. hassasiyetindeki terazide tartıldığında sert metal ucun aşınmadığı görülmüştür. Deneyler aşağıdaki koşullarda gerçekleştirilmiştir.

2. 3. 1. Birinci Seri Deneylerin Yapılışı

80 mm çapında 450 mm boyundaki silindirik malzeme torna tezgahının aynasına bağlandı ve punta yuvası açıldı. Daha sonra ayna - punta arasında tormalama işlemine geçildi. İlk önce malzemenin kaba tormalaması yapılarak eksen kaçıklıkları giderildi. Deney malzemesi üzerinde tormalama yapılarak özel ek kenarlı kalem ucu oluşturuldu [6]. Daha önce bir radyusa sahip olan kalem ucu özel bir metod ile kaybolarak ana kesme kenarı sonunda bir çıkıntı ve buna müteakip bir ek kenar oluşurki bu kenar torna eksenine tam paraleldir. bu metodun

uygulanabilmesi için oluşan l_{yc} ek kenar uzunluğunun her zaman ilerleme değerinden daha büyük olması gerekir. Oluşturulan kalem ucunun profili ve fotoğrafı Şekil 2. 2 de belirtilmiştir.



Şekil 2. 2: Oluşturulan ek kenarlı kalem ucu profili ve fotoğrafı.

Deney malzemesi boyu 6 eşit bölüme ayrılarak 0.36 - 0.28 - 0.20 - 0.16 - 0.12 - 0.08 mm/dev. ilerlemelerle yüzey tornalaması yapıp altı değişik yüzey kalitesi elde edildi. Tornalamada kullanılan diğer sabit kesme parametreleri ise;

$$V = 156 \text{ m/dak.}$$

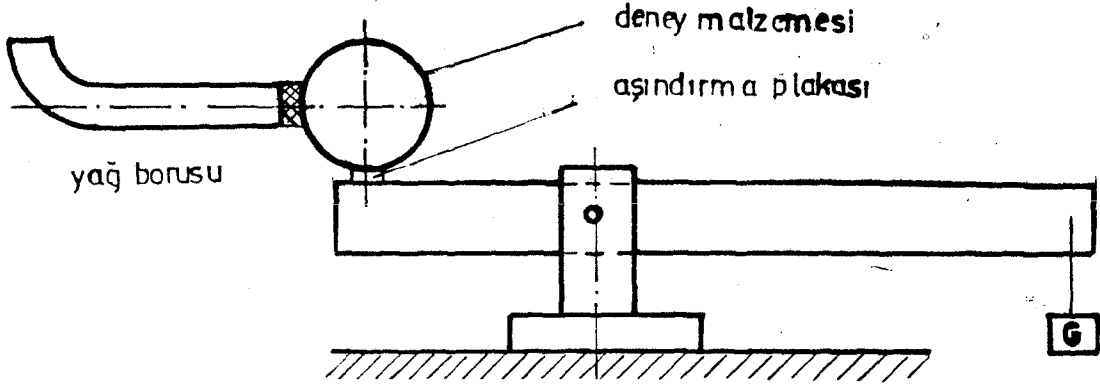
$$a = 0.25 \text{ mm}$$

$$n = 710 \text{ d/dak.}$$

Kesme kalem : Ek kenarlı P10 sert metal

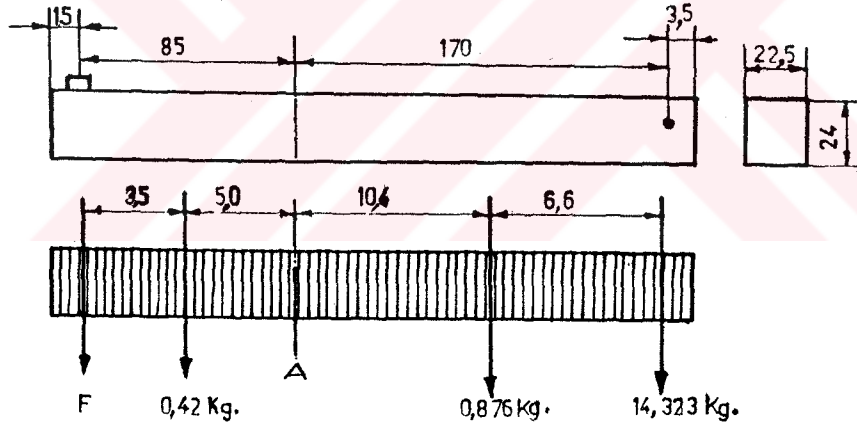
Soğutma sıvısı : kullanılmadı

Altı değişik ilerlemelerle elde edilen yüzeylerin aşındırma işlemi için, torna tezgahına aşındırma düzeneği bağlandı. Aşındırmanın yağlı yapılabilmesi için torna tezgahının kalemlğine bir yağ borusu monte edildi ve yağ borusunun deney malzemesine teması bir keçe ile sağlandı (Şekil2.3).



Şekil 2. 3. Deneyin yapılışının şematik resmi.

Aşındırma yüzeyine gelen basınç (Şekil 2.4):



Şekil 2. 4: Aşındırma yüzeyine etkiyen kuvvetler.

Statik denge şartında A noktasına göre moment alınırsa,

$$\sum M_a = 0$$

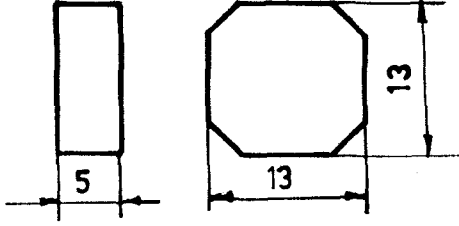
olur.

$$8.5 * F + 0.24 * 5 - 10.4 * 0.876 - 17 * 14.323 = 0$$

$$F = \frac{252.6 - 2.1}{8.5} = 29.7 \text{ kg}$$

bulunur.

Aşındırma plakentinin temas genişliği mikroskop altında ölçülerek ortalama 0.42 mm bulundu. Plakanın kalınlığı 5 mm olduğundan, sürtünen temas alanı $5 * 0.42 = 2.1 \text{ mm}^2$ dir (Şekil 2. 5).



Şekil 2.5 : Aşındırma plaketi.

Buna göre yüzeye gelen basınç;

$$P = \frac{29.7}{0.021} = 1414 \text{ kg/cm}^2$$

bulunur.

Aşındırma işleminin yapılışı:

Yukarıda belirtilen kesme parametreleri ile elde edilen 6 değişik yüzeyin her biri ikişer defa olmak üzere aşındırma işlemine tabi tutulmuştur.

Aşındırma şartları:

Yüzey basıncı = 1414 kg/cm^2

Aşındırma zamanı = Her yüzey için 30 dak.

Aşındırma şekli : Yağlı, plaka - silindir sistemi

Deney malzemesinin dönme devri = 710 d/dak.

2. 3. 2. İkinci Seri Deneylerin Yapılışı

İkinci aşama numuneleri için, ek kenarlı kesme kalemi yerine ek kenarsız kesme kalemi kullanıp, yukarıda yazılı diğer koşullara uygun olarak deneyler tekrarlanmıştır. Kullanılan kesme kaleminin uç profil fotoğrafı Şekil 2.6 da görülmektedir.



Şekil 2.6: Ek kenarsız kalem ucu profili.

2. 3. 3. Üçüncü Seri Deneylerin Yapılışı

Üçüncü aşama deneylerde deney numunelerinin yüzeyi sabit kesme parametrelerinde ($V = 156$ m/dak. , $S = 0.20$ mm/dev. , $a = 0.25$ mm), ek kenarsız sert metal (P10) uçla işlenerek tek bir yüzey kalitesi elde edilmiş ve aşındırma yüzey basıncı sabit tutulup, 6 ayrı aşındırma zamanı için (15 - 20 - 30 - 40 - 45 - 60 dakika) yağlı olarak aşındırılmıştır.

Aşındırma yüzey basıncı = 1414 kg/cm²

Deney numunesinin dönme devri = 710 dev./dak.

Aşındırma şekli = plaka - silindir

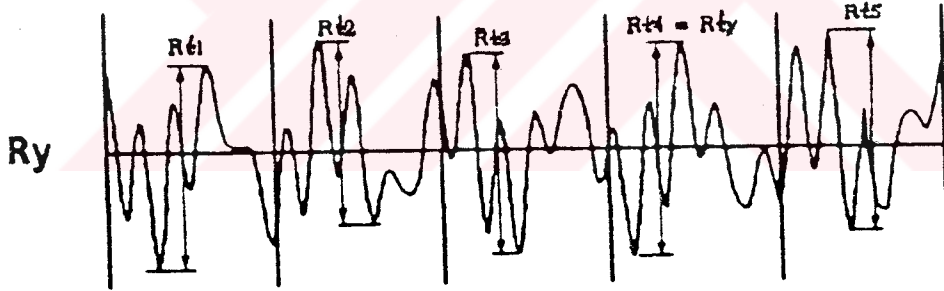
2. 3. 4. Dördüncü Seri Deneylerin Yapılışı

Üçüncü aşama deney numunelerinin yüzeyini elde etmede kullanılan kesme parametreleriyle tornalama yapılarak üçüncüye benzer yine tek bir yüzey kalitesi elde edildi. Elde edilen bu yüzey 6 değişik yüzey basıncı için (543 - 684 - 802 - 1018 - 1207 - 1414 kg/cm²) 30 ar dakika yağlı olarak aşındırılmıştır.

BÖLÜM 3. BULGULAR

3. 1. Deney Sonuçlarının Ölçülmesi

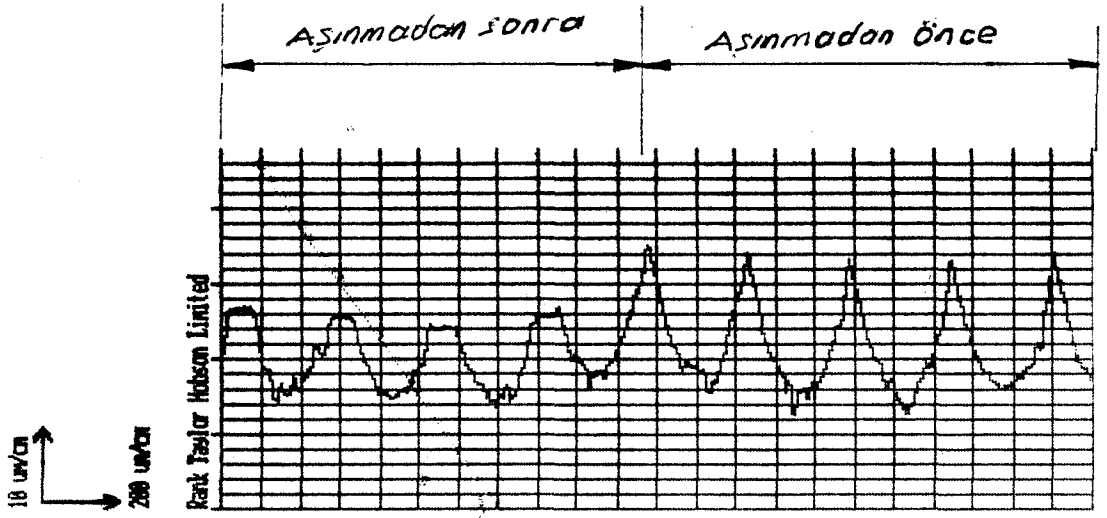
Tornalama sonucu elde edilen yüzeyler ile aşındırmadan sonraki yüzeylerin yüzey pürüzlülük parametreleri olan Ra, Rq, Rz(DIN) ve Sm değerleri yüzey pürüzlülük aletinden üçer kez okunup ortalama değerleri alındı. Bu parametrelerden Rz(DIN) değeri aşağıda görüldüğü gibi ortalama pürüz yüksekliklerini vermektedir (Şekil 3.1). Aşındırma işleminden önce ölçülen Rz(DIN) değeri ile aşındırmadan sonra ölçülen Rz(DIN) değeri arasındaki fark mikron olarak aşınma değerini vermektedir.



$$R_z(DIN) = \frac{(R_{t1} + R_{t2} + \dots + R_{tn})}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} R_{ti}$$

Şekil 3.1: Rz(DIN) Pürüzlülük değeri.

Aşındırma işlemine tabi tutulan bir yüzeyin, aşındırmadan önceki ve sonraki durumları Şekil 3.2 de yüzey pürüzlülük aletinin printerinden alınan diyagramında görülmektedir.

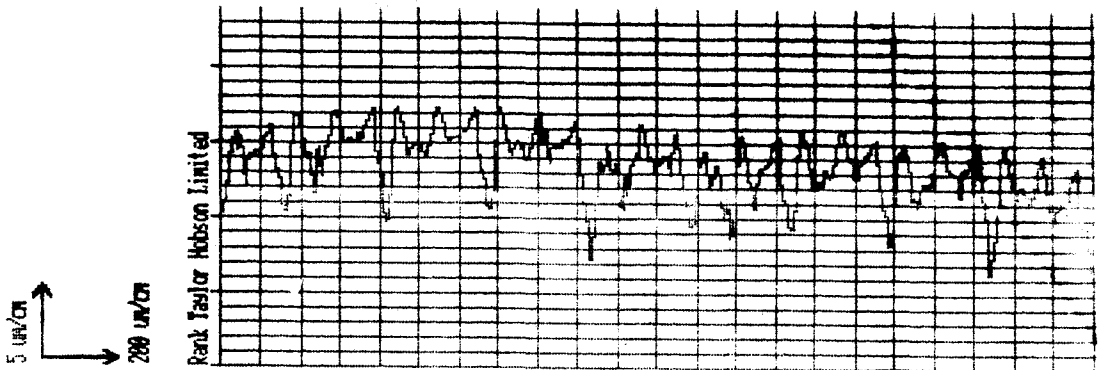


Şekil 3. 2. Bir yüzeyin aşınmadan önceki ve sonraki durumu.

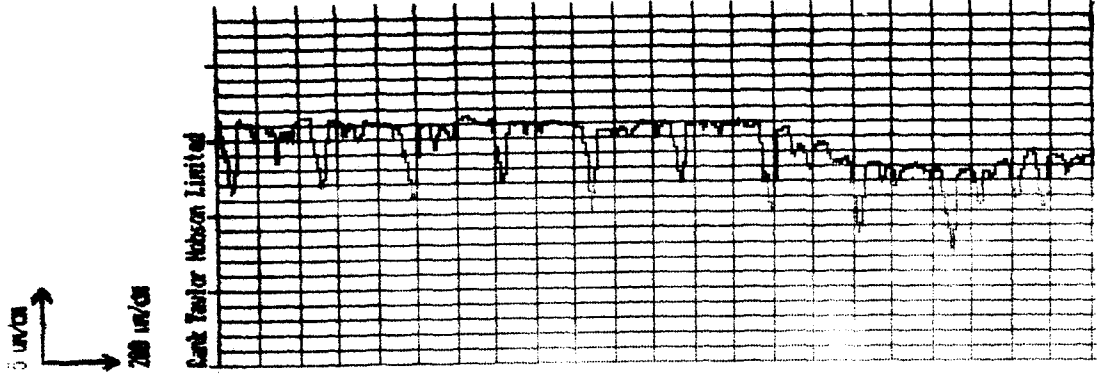
3. 2. Birinci Seri Deney Bulguları

P10 sert metal kesme kalem ucunda özel olarak oluşturulmuş "Ek Kenarlı" kalemle işlemede, altı değişik ilerlemeye bağlı olarak elde edilen yüzeylerin, aşındırma işleminden önceki ve sonraki aşınma değerleri yüzey pürüzlülük aletinden okunarak printer çıktıları aşağıda verilmiştir.

1- 0.36 mm/dev. İlerleme ile işlenen yüzeyin aşındırmadan önceki ve sonraki yüzey grafiği(Şekil 3.3).



Şekil 3. 3: Aşınmadan önceki yüzey grafiği.

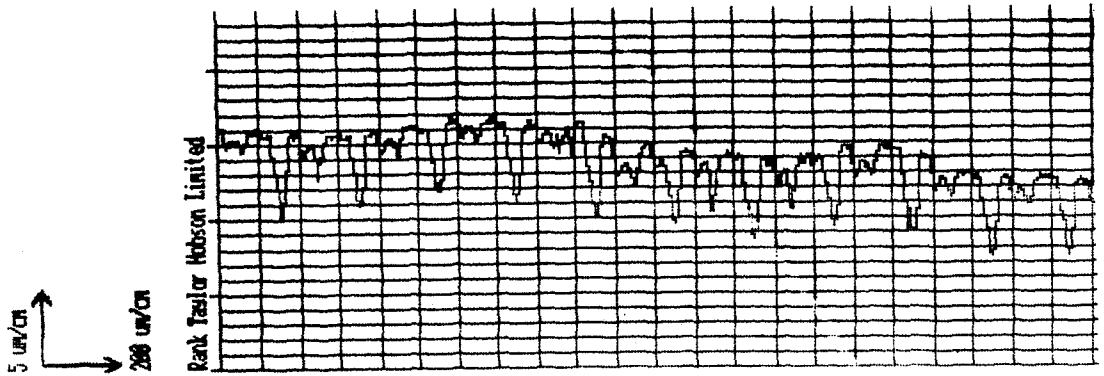


Şekil 3. 4: Aşınmadan sonraki yüzey grafiği.

2- 0.28 mm/dev. İlerleme ile işlenen yüzeyin aşınmadan önceki ve sonraki yüzey grafiği;

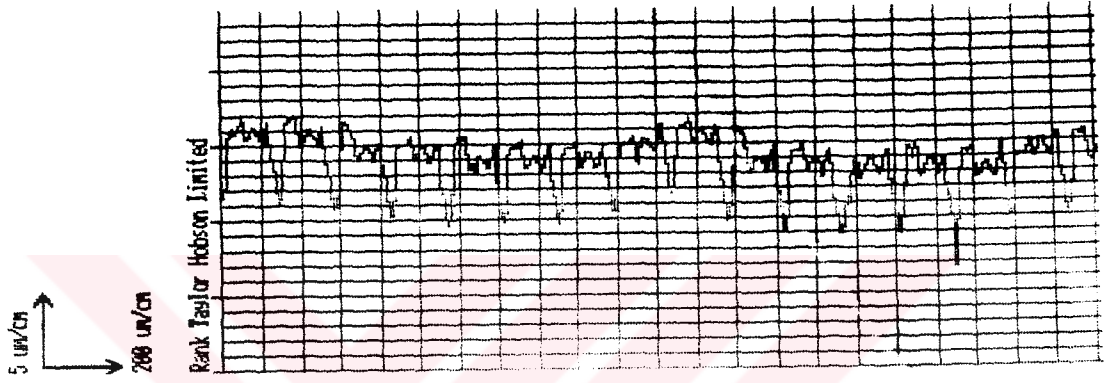


Şekil 3. 5: Aşınmadan önceki yüzey grafiği.

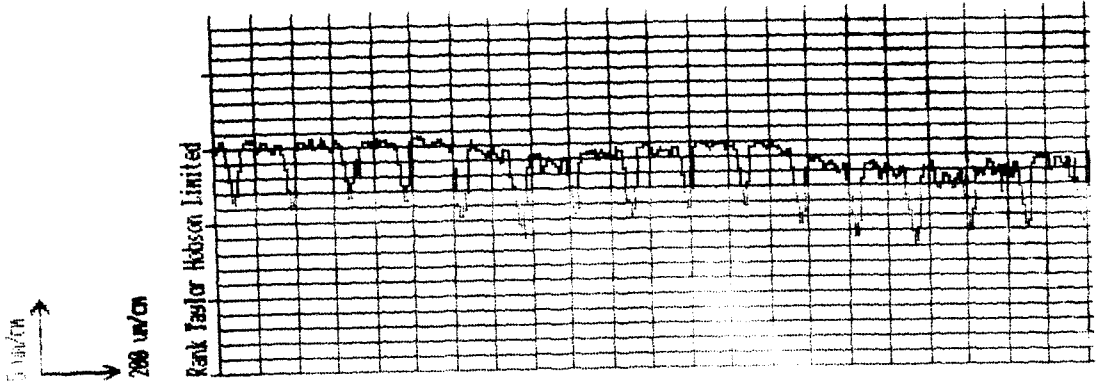


Şekil 3. 6: Aşınmadan sonraki yüzey grafiği.

3- 0.20 mm/dev. İlerleme ile işlenen yüzeyin aşınmadan önceki ve sonraki yüzey grafiği;

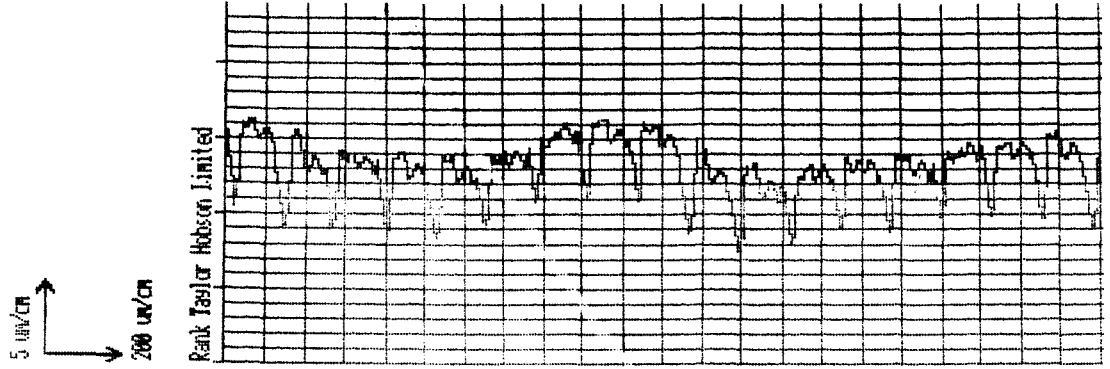


Şekil 3.7: Aşınmadan önceki yüzey grafiği.

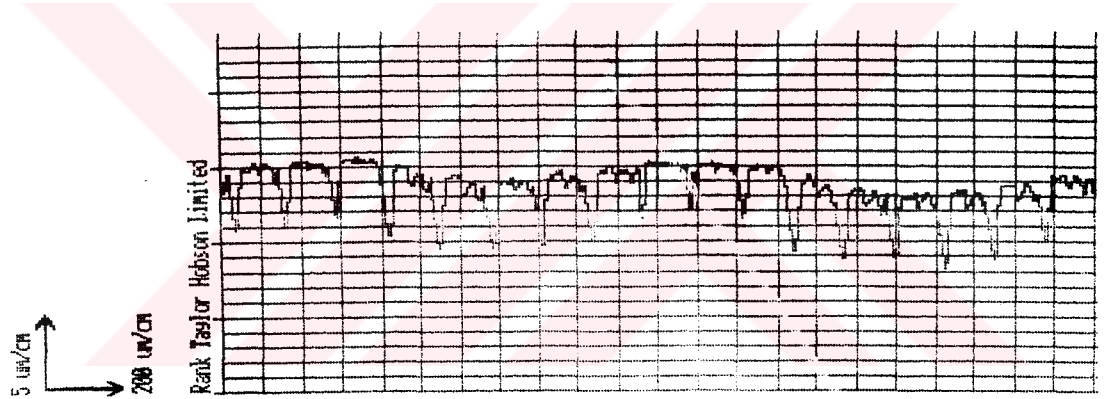


Şekil 3. 8: Aşınmadan sonraki yüzey grafiği.

4- 0.16 mm/dev. ilerleme ile işlenen yüzeyin aşınmadan önceki ve sonraki yüzey grafiği;

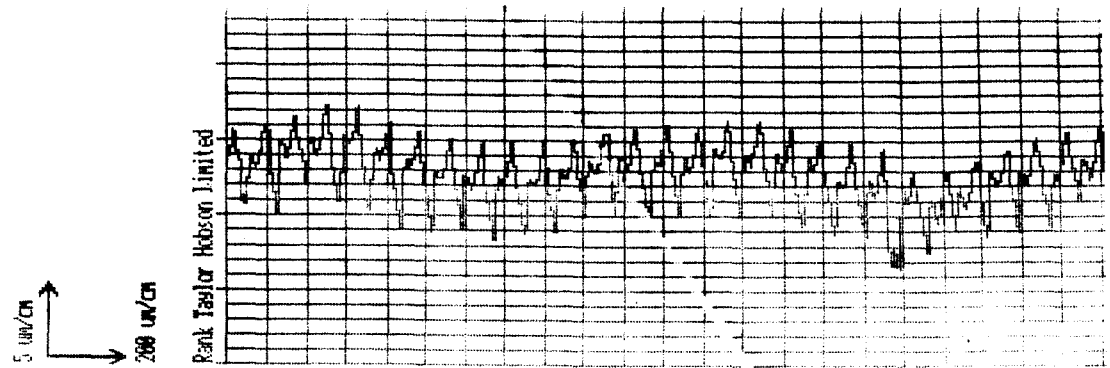


Şekil 3.9: Aşınmadan önceki yüzey grafiği.

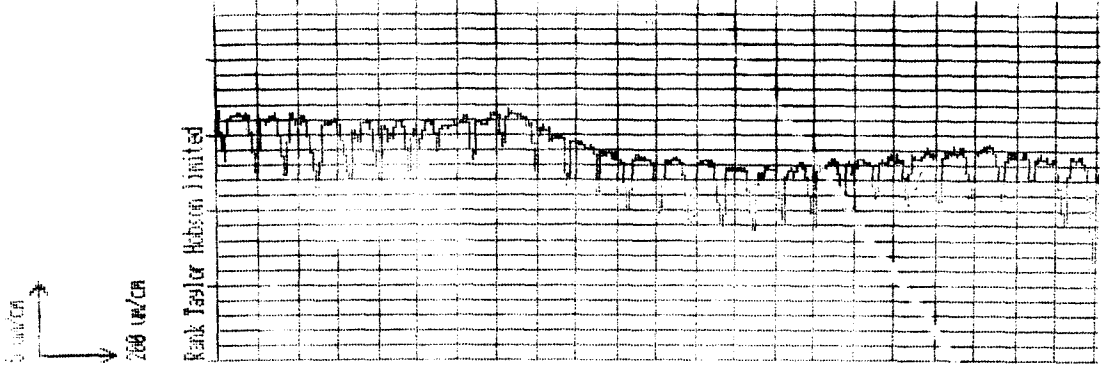


Şekil 3.10: Aşınmadan sonraki yüzey grafiği.

5- 0.12 mm/dev. İlerleme ile işlenen yüzeyin aşınmadan önceki ve sonraki yüzey grafiği;

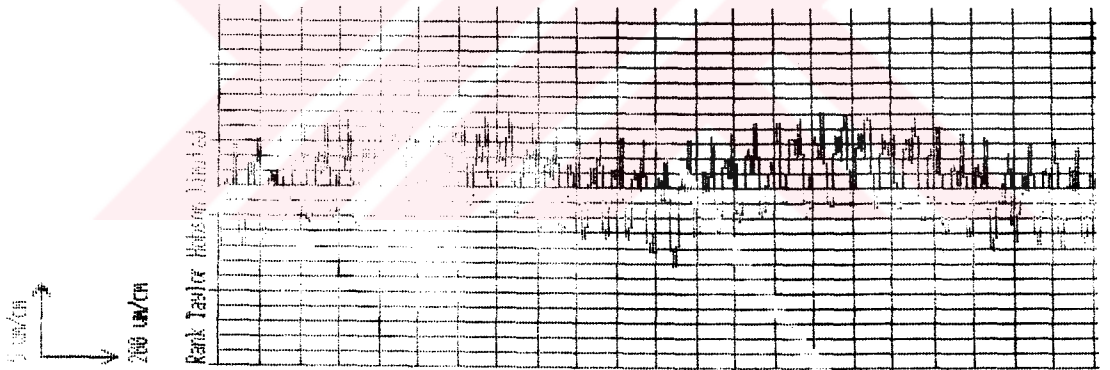


Şekil 3. 11: Aşınmadan önceki yüzey grafiği.



Şekil 3. 12: Aşınmadan sonraki yüzey grafiği.

6 - 0.08 mm/dev İlerleme elde edilen yüzeyin aşınmadan önceki ve sonraki yüzey grafiği;



Şekil 3.13 Aşınmadan önceki yüzey grafiği.

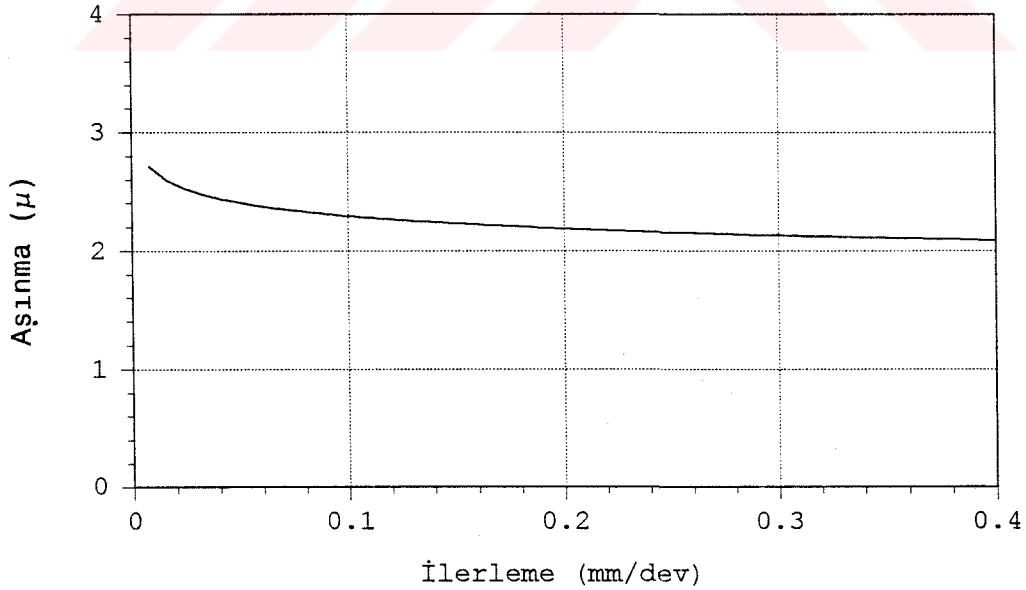


Şekil 3.14 Aşınmadan sonraki yüzey grafiği.

Yukarıda ölçülen birinci seri deneylere ait aşınma değerleri tablo 3.1 de gösterilmiştir. Bu değerler kullanılarak ilerleme, aşınma diyagramı çizilmiştir (Şekil 3.15).

Tablo 3.1: Birinci seri deneyleri aşınma değerleri
(Ek kenarlı ilerleme değişken)

İlerleme mm/dev	Aşınmamış Yüzey					Aşınmış yüzey	Aşınma Değeri
	Ra	Rq	Rz(DIN)	Ry	Sm	Rz(DIN)	μ
0.36	1.06	1.45	7.80	8.6	62	5.90	1.90
0.28	1.32	1.74	8.93	10.3	68	5.40	3.53
0.20	1.30	1.71	8.43	9.1	59	6.33	2.10
0.16	1.34	1.76	8.23	8.6	47	6.66	1.57
0.12	1.54	1.93	7.70	8.4	44	6.30	1.40
0.08	1.77	2.13	8.73	9.3	39	5.00	3.73



Şekil 3. 15: Ek kenarlı kalemle işlemede ilerleme - aşınma bağıntısı.

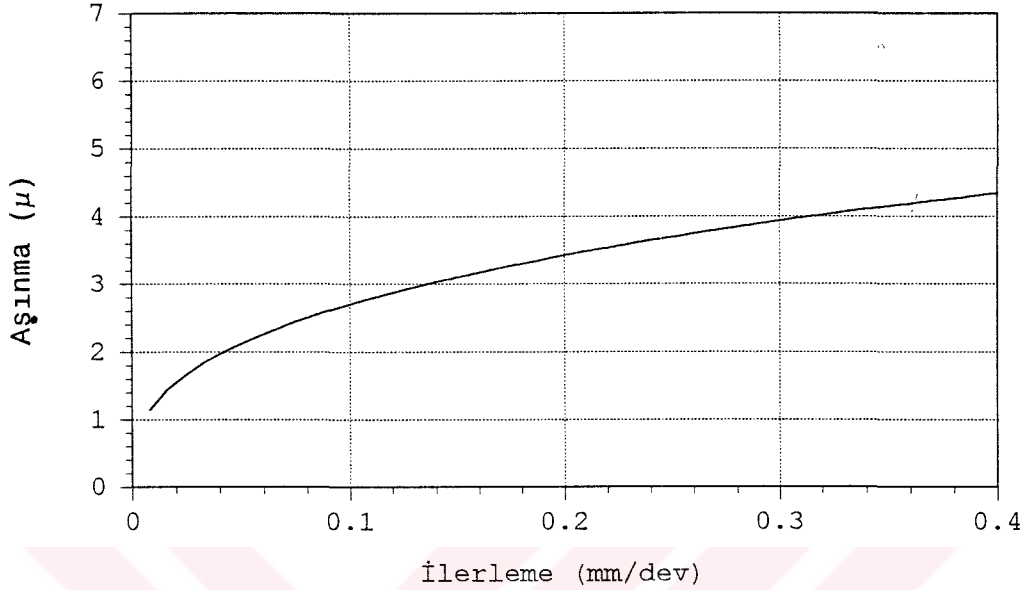
Ek kenarlı kesme ucu ile işlenen yüzeylerin aşındırılmasında, küçük ilerlemelerde aşınma miktarı fazla olurken, ilerleme arttığında aşınmanın düştüğü ancak daha büyük ilerleme değerleri için ilerlemenin aşınmayı çok fazla etkilemediği görülmüştür (Şekil 3.15).

3. 3. İkinci Seri Deney Bulguları

İkinci seri deneylerde değişken olarak kullanılan ek kenarlı bir kesme kalemi yerine, ek kenarsız bir kesme kalemi ile ve yine 6 değişik ilerlemeyle işlenen yüzeyler, birinci seri deneylere benzer şekilde ölçülerek aşağıdaki tablo elde edildi (Tablo 3.2) ve ilerlemeye bağlı olarak aşınma diyagramı çizildi (Şekil 3.16).

Tablo 3. 2: İkinci seri deneyleri aşınma değerleri
(Ek kenarsız, ilerleme değişken)

İlerleme mm/dev	Aşınmamış Yüzey					Aşınmış Yüzey	Aşınma Değeri
	Ra	Rq	Rz(DIN)	Ry	Sm	Rz(DIN)	μ
0.36	4.46	5.26	20.9	22.8	209	14.5	6.4
0.28	2.74	3.34	14.6	15.5	161	11.1	3.5
0.20	1.98	2.48	11.3	12.9	86	8.9	2.4
0.16	1.72	2.17	10.5	11.8	72	8.0	2.5
0.12	1.92	2.35	11.0	12.3	75	8.2	2.8
0.08	1.83	2.33	11.7	13.2	66	8.3	3.4



Şekil 3.16: Ek kenarsız kalemle işlemede ilerleme - aşınma bağıntısı.

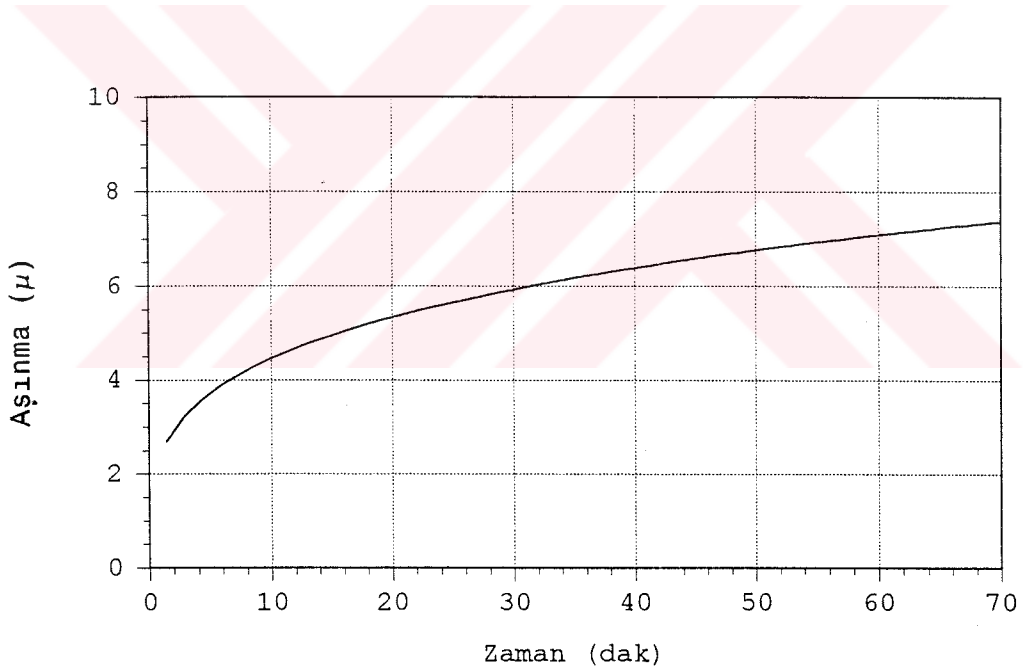
Ek kenarsız bir kalemle işlenen yüzeylerin aşındırılmasında, küçük ilerlemelerde aşınma değerinin küçük olduğu ancak ilerleme miktarı arttıkça aşınmanın arttığı tesbit edilmiştir (Şekil 3.16). Küçük ilerleme değerlerinde aşınma hızla artmakta ancak belirli bir değerden (yaklaşık 0.1 mm/dev.) sonra hız düşmekte ve aşınma ilerlemeye bağlı olarak lineer bir şekilde artmaktadır.

3. 4. Üçüncü Seri Deney Bulguları

Ek kenarsız kalemle ve 0.20 mm/dev. ilerleme ile işlenen yüzey, farklı aşındırma zamanlarında aşındırılıp, 1. ve 2. deneye benzer şekilde aşınma değerleri ölçüldü (Tablo 3.3) ve zamana bağlı olarak aşınma diyagramı çizildi (Şekil 3.17).

Tablo 3. 3: Üçüncü deney aşınma değerleri (zaman değiş.).

Aşınma Zamanı (Dak.)	Aşınmamış Yüzey					Aşınmış Yüzey	Aşınma Değeri
	Ra	Rq	Rz(DIN)	Ry	Sm	Rz(DIN)	μ
15	2.74	3.23	13.3	14.1	105	7.9	5.4
20	"	"	"	"	"	7.9	5.4
30	"	"	"	"	"	8.0	5.3
40	"	"	"	"	"	7.4	5.9
45	"	"	"	"	"	7.3	6.0
60	"	"	"	"	"	4.8	8.5



Şekil 3.17: S = 0.20 mm/dev. İlerlemede zaman - aşınma bağıntısı.

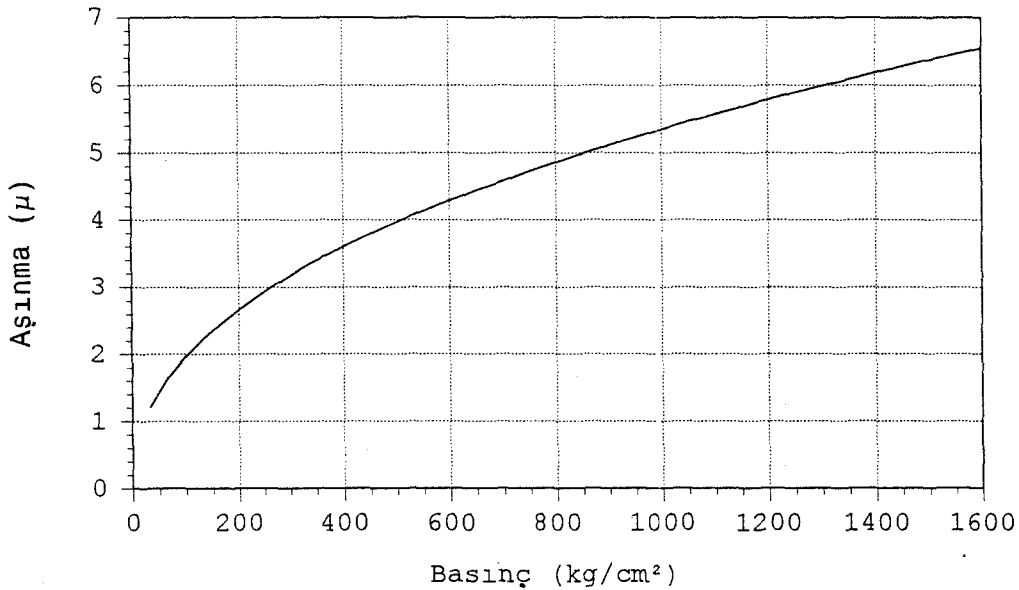
Sabit kesme parametreleriyle işlenen yüzeyler, sabit basınç altında 6 değişik aşındırma zamanında yağlı olarak aşındırıldığında, aşınmanın zamana bağlı olarak arttığı, ancak aşınma hızının ilk anlarda hızlı olduğu daha sonraları düştüğü tesbit edilmiştir (Şekil 3.17).

3. 5. Dördüncü Seri Deney Bulguları

Üçüncü seri deney şartlarında işlenen yüzeyler, 30 ar dakikalık aşındırma zamanı ve 6 değişik yüzey basıncında aşındırma işlemi yapıldı, Tablo 3.4 te gösterilen ve basınca bağlı olarak elde edilen aşınma değerlerine göre aşınma - basınç diyagramı çizildi (Şekil 3.18).

Tablo 3. 4: Dördüncü seri deneyleri aşınma değerleri
(Yüz. basıncı değişken, aşındırma zamanı 30 dak.)

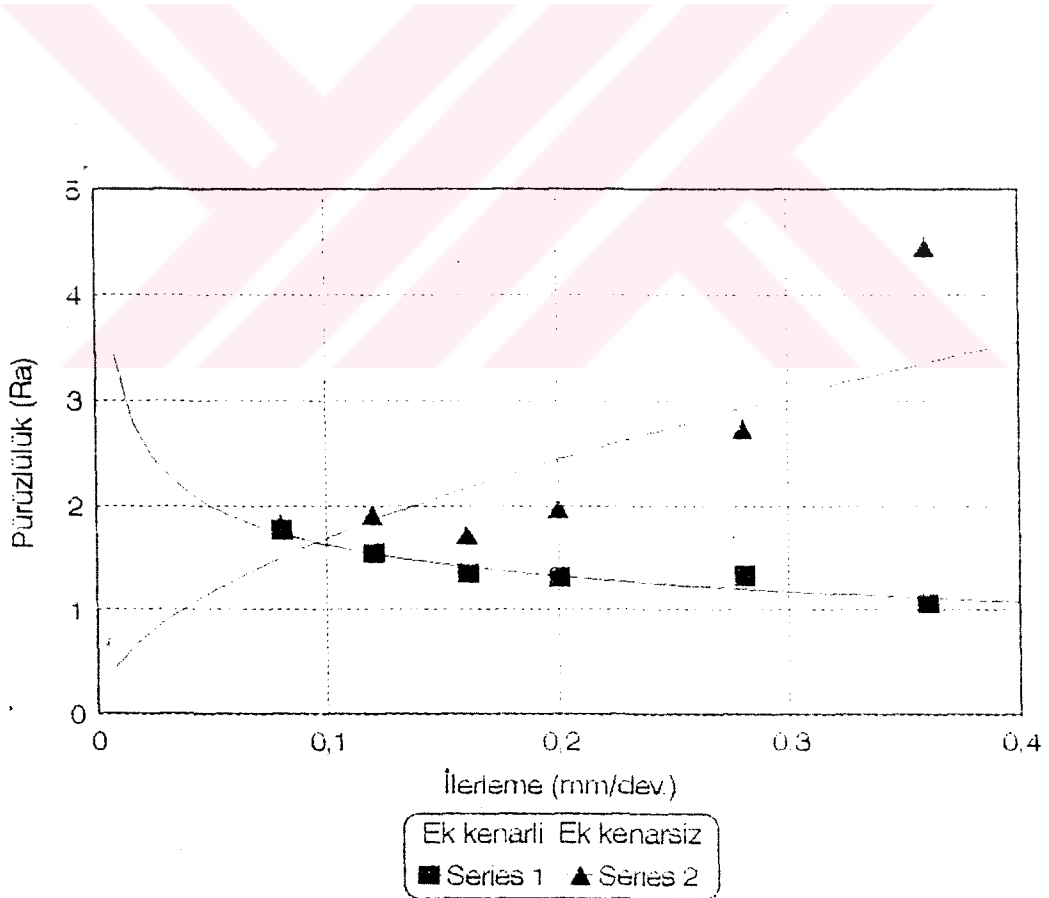
Uygulanan Basınç Kg/cm ²	Aşınmamış Yüzey					Aşınmış Yüzey	Aşınma Değeri
	Ra	Rq	Rz(DIN)	Ry	Sm	Rz(DIN)	μ
543	2.74	3.23	13.3	14.1	105	9.5	3.8
684	"	"	"	"	"	8.7	4.6
802	"	"	"	"	"	8.3	5.0
1018	"	"	"	"	"	7.4	5.9
1207	"	"	"	"	"	6.9	6.4
1414	"	"	"	"	"	8.0	5.3



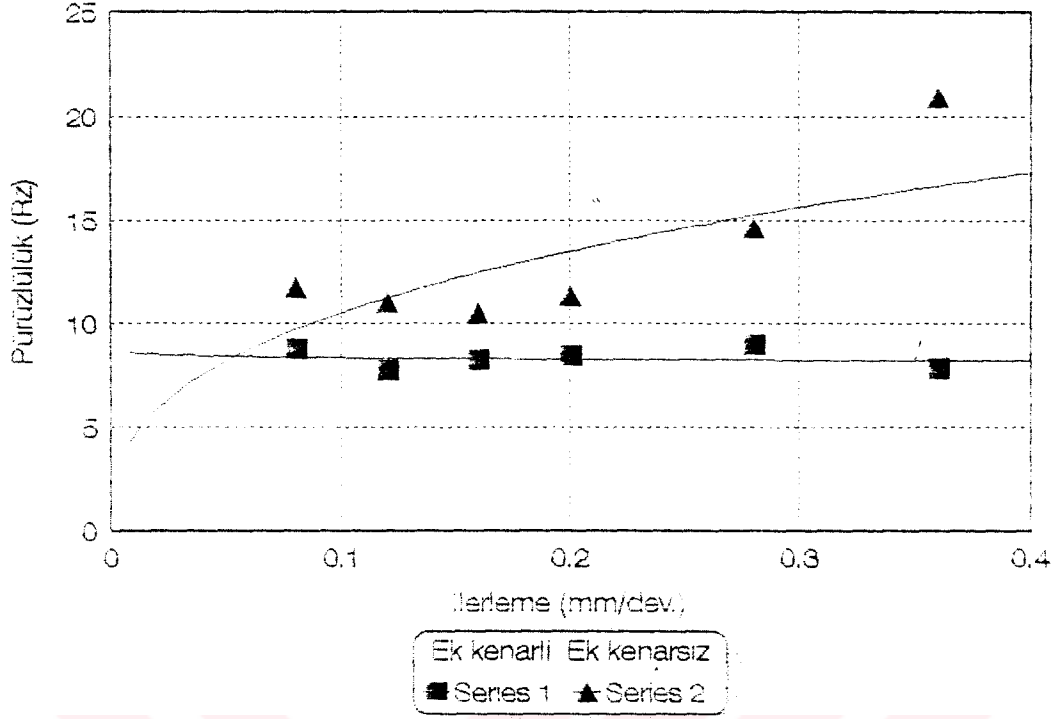
Şekil 3. 18: Yüzey basıncı - aşınma bağıntısı (Aşınma zamanı = 30 dak.).

Sabit kesme parametreleriyle işlenen yüzeyler, 30 ar dakikalık aşındırma zamanlarında ve 6 değişik yüzey basıncında yağlı olarak aşındırıldığında, aşınmanın yüzey basıncına bağlı olarak arttığı gözlenmiştir. Burada küçük basınç değerleri için, basınç değişiminin aşınmayı daha fazla etkilediği, basınç arttıkça aşınmanın hızla arttığı, ancak basınç belirli bir değere ulaştıktan sonra bu etkinin azaldığı gözlenmiştir.

BÖLÜM 4. TARTIŞMA VE SONUÇ

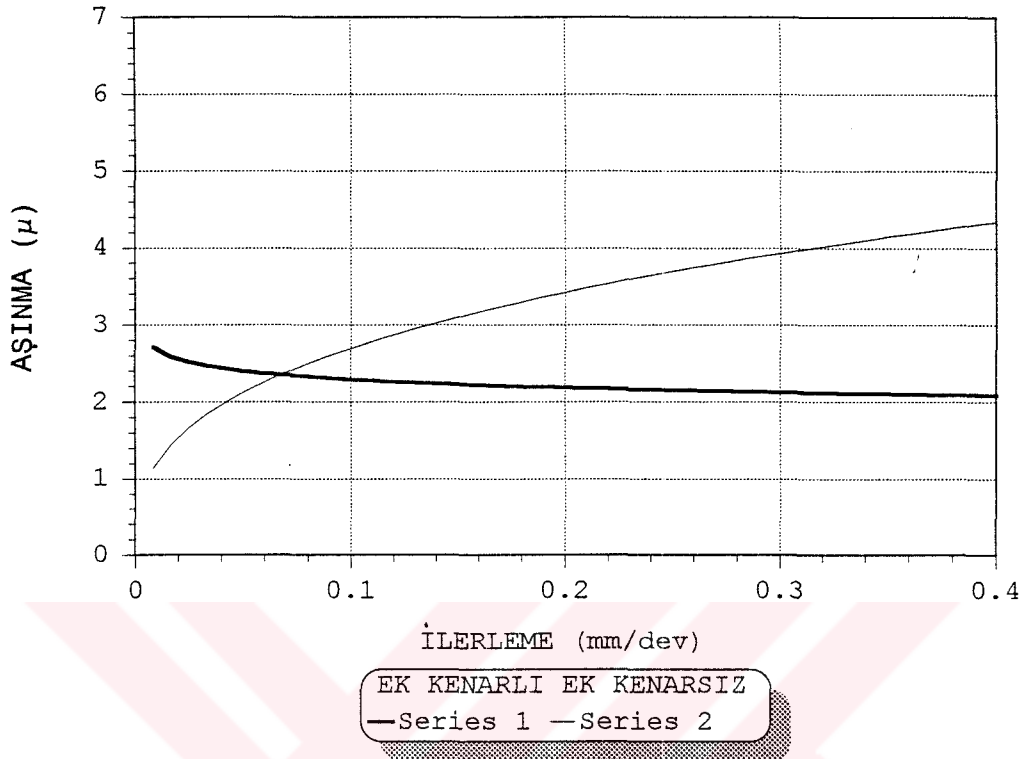


Şekil 4. 1: Ek kenarlı ve ek kenarsız kalemle işlenen yüzeylerin ilerleme - yüzey pürüzlülüğü (Ra) diyagramı.



Şekil 4. 2: Ek kenarlı ve ek kenarsız kalemle işlenen yüzeylerin ilerleme - yüzey pürüzlülüğü [Rz(DIN)] diyagramı.

Deneyde kullanılan malzemelerin dış yüzeyi "Ek Kenarlı" ve ek kenarsız olmak üzere iki tip kesme kalem ile aynı kesme parametrelerinde işlendiğinde, "Ek Kenarlı" kalemle işlenen yüzeylerin, ek kenarsız kaleme göre pürüzlülük değerinin daha düşük olduğu görülmüştür (Şekil 4.1 - 4.2). İlerlemenin artmasıyla ek kenarsız kalemle işlenen yüzeylerdeki yüzey pürüzlülüğü artarken, ek kenarlı kalemle işlenen yüzeylerde pürüzlülüğün çok fazla değişmediği gözlenmiştir. Bu da ek kenarlı bir kalemle silindirik yüzeylerin son işleminde, büyük ilerlemelerle çalışmaya olanak verdiği için işleme zamanını kısalmaktadır. Buna bağlı olarak işleme maliyeti düşecektir.



Şekil 4.3: Ek kenarlı ve ek kenarsız kesme kalem ile işlemede ilerleme - aşınma diyagramı.

Küçük ilerlemelerde, ek kenarsız kalemle işlenen yüzeylerdeki aşınma daha az olurken, büyük ilerlemelerle işlenen yüzeylerde aşınmanın arttığı gözlenmiştir. Buna karşın "Ek Kenarlı" kesme kalem ile işlemede aşınma miktarı, küçük ilerlemelerde fazla iken, büyük ilerlemelerde aşınma miktarının düştüğü ve daha büyük ilerlemelerde aşınmanın ilerlemeyle çok fazla değişmediği gözlenmiştir. (Şekil 4.3). Bu da "Ek Kenarlı" bir kalemle silindirik yüzeylerin son işlenmesinde daha büyük bir ilerlemeyle çalışma olanağı sağlamaktadır. Ve produktivite artırılabilir. Ayrıca aynı kesme parametrelerinde, "Ek Kenarlı" bir kesme kalem ile işlenen yüzeylerin, ek kenarsız bir kesme kalem ile işlenen yüzeylere göre daha az aşındığı saptanmıştır. Bu da makina elemanlarının ömrüne etki eden bir faktör olarak avantaj sağlamaktadır.

0.20 mm/dev. ilerleme ile işlenen bir yüzey, farklı aşınma zamanlarında aşındırıldığında; aşınma hızının ilk zamanlarda fazla olduğu, bir süre

sonra düştüğü görülmüştür (şekil 3.17). Yüzey pürüzlülüğü başlangıçta fazla olduğundan aşınma hızlı bir şekilde gerçekteşmekte (rodaj dönemi), ancak aşınma ile yüzey pürüzlülüğü azaldığından, aşınma hızı zamanla düştüğü diyagramdan açıkça görülmektedir.

Sabit kesme parametreleriyle işlenen yüzeyler, 30 ar dakikalık aşındırma zamanında, 6 değişik yüzey basıncında yağlı olarak aşındırıldığında, aşınmanın yüzey basıncına bağlı olarak arttığı gözlenmiştir(şekil3.18).

BÖLÜM 5. YORUMLAR

Bu çalışmada ek kenarlı ve ek kenarsız kalemlerin yüzey pürüzlülüğüne ve elde edilen yüzeylerin aşınmaya etkisi incelenmiş, ayrıca zamanın ve basıncın aşınmaya etkileri deneysel olarak araştırılarak aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır.

1- Büyük ilerlemelerle yüzey tornalama işleminde, ek kenarlı bir kalem kullanıldığında, ek kenarsız bir kalemle işlenene göre daha az yüzey pürüzlülüğüne sahip, daha kaliteli bir yüzey elde edilebileceği bulunmuştur.

2- Ek kenarlı bir kalem kullanılarak, büyük ilerlemelerle yapılan yüzey tornalama işlemlerinde, ilerleme miktarı arttırıldığında, yüzey kalitesinin fazla değişmediği, başka bir deyişle daha yüksek ilerleme değerleri ile yaklaşık olarak aynı kalitede yüzey elde edilebildiği, dolayısıyla yüksek ilerleme değeri kullanılarak imalat zamanının düşürülebileceği, buna bağlı olarakta imalat maliyetinin düşürülebileceği bulunmuştur.

3- Aynı kesme koşullarında ek kenarlı kalemle işlenen parçada yüzey kalitesi daha yüksek olduğundan, bu parçaların aşınma direncinin ek kenarsızla işlenmiş parçalara göre daha iyi olduğu bulunmuştur.

4- Yüzey basıncı - aşınma ilişkisi incelenmiş, yüzey basıncı arttıka aşınmanın arttığı, bu artışın başlangıçta düşük basınç değerlerinde fazla olduğu, daha sonra yavaşladığı gözlenmiştir.

5- Aşınma - zaman ilişkisi incelenmiş zaman arttıkça aşınmanın arttığı ve bu artışın başlangıçta, yani rodaj döneminde hızla gerçekleştiği daha sonra yavaşladığı gözlenmiştir.



KAYNAKLAR

- 1- Abişev E. , Patent No: 1491659, B23B 1/00, Kesme Prosesinin Yönetme Metodu.
- 2- Abişev E. , Önder A. , "Yağ Ceblerinin" Yapılış Metodu, 1994, Ankara, Uluslararası Makina Tasarım ve İmalat Kongresi, ODTÜ
- 3- Akkurt M. , 1992, İstanbul, Makina Elemanları Cilt: 2 , Teknik Üniversite Matbaası, İstanbul
- 4- Akkurt M. , 1978, İstanbul, Yağlama Semineri TMMOB Makina Mühendisleri Odası, İstanbul Şubesi
- 5- Bowden F. P. and Tabor, "Part 1 Frictional Lubrication of Solid" Oxford Un. , Press 1950
- 6- Demirci A. H. , 1982, İzmir, Ötekteoit Altı Alaşımız Çeliklerin, Yeni İmal Edilen Bir Sürtünme - Aşınma Deney Standında, Isıl İşlemlere Bağlı OLarak Aşınma Davranışlarının İncelenmesi ve Optimizasyonu, E. Ü. M. F. Doçentlik Tezi
- 7- Eyre T. S. , 1970, Wear Charcteristics of Gray Iron, Foundry Journal Deç.
- 8- Halling J. , 1983, London, Prenciples of Tribology, The Mawmillan, P.72-92 Press LTD
- 9- İpek R. , 1987, Kayseri, Tren Fren Papuclarının Aşınmasının Deneysel İncelenmesi, E. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi
- 10- İpek R. , 1992, Kayseri, AISI 1020 Çeliğın, Yüzey Sertleştirme İşlemleri Uygulanarak AISI 5115 Çeliğının Yerine Kullanılabilirliğinin Deneysel Araştırılması, E. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi

- 11- Karamış M. B. , 1985, Kayseri, Toprak İşleme Aletlerinde İş organının Aşınması Etüdü, E. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi
- 12- Rank Taylor Hobson Limited, 1992, Leicester, Surtronic 3+ Operating Instructions
- 13- Rijiov E. , Suslov A. , Fyodrov B. , Makina Parçalarının İşletme özelliklerinin Sağlanması, M. : "Maşinostroenye", 1979, 174 s.
- 14- Selçuk B. , 1994, Kayseri, Borlanmış AISI 1020 VE 5115 Çeliklerinin Sürtünme ve Aşınma Davranışlarının İncelenmesi, E. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi
- 15- Şneyder Y. , Parçaların Yüzeyindeki Regular Mikrorölyefin Oluşumu ve Bunların İşletme Özellikleri, L. "Maşinostroenye" , 1972, 210 s.
- 16- Tekin E. , 1985, Fren Papuçlarının İç Yapıları ve Aşınma Direncine Etkisi ODTÜ Metalurji Müh. O. Yayını
- 17- Tüken H. , 1988, Balıkesir, Türkiyede Üretilen Takım Malzemelerinin Talaşlı Şekillendirmede Aşınmalarının Deneysel Olarak Ölçülmesi ve Takım Ömrü Denklemlerinin Çıkarılması, U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi
- 18- Tschatsch H. Taschenbuch Spanede Formelung, Carl Hanser Verlag, München / Wien, 1980
- 19- Ulukan L. , 1984, Yağlama Tekniği Kısım 1, İTÜ Makina Fakültesi Yayını

ÖZGEÇMİŞ

1949 Zara doğumluyum. İlkokul ve ortaokulu Zara'da , lise tahsilimi İstanbul Sultanahmet Sanat Enstitüsü'nde tamamladıktan sonra 1970 yılında Ege Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Akademisi Makina Mühendisliği Bölümünde mühendislik eğitimine başladım . 1974 yılında aynı bölümden makina mühendisi olarak mezun oldum.

1975-1976 yılları arasında askerlik hizmetimi yedek subay olarak tamamladım.

1977-1980 yıllarında Sivas DSİ Bölge Müdürlüğü'nde atelye mühendisi ve başmühendis olarak görev yaptım.

1980 yılında Cumhuriyet Üniversitesi Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığı'na naklen geçtim.

Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığı'nda;

1980-1982 yıllarında Kontrol Mühendisi,

1982-1988 yıllarında Şube Müdürü,

1988-1990 yıllarında Daire Başkanı olarak görev yaptım.

1990 yılında Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünde Öğretim Görevlisi olarak göreve başladım ve halen aynı görevimi sürdürmekteyim.

Evli ve üç çocuk babasıyım.

Arif ÖNDER