

23196

AISI 1020 ÇELİĞİNİN, YÜZEY SERTLEŞTİRME İŞLEMLERİ UYGULANARAK
AISI 5115 ÇELİĞİNİN YERINE KULANILABİLİRLİĞİNİN DENEYSEL
ARAŞTIRILMASI

Rasim İPEK
Makina Yük. Müh.

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ'NE
MAKİNA ANABİLİM DALINDA DOKTORA TEZİ
OLARAK SUNULMUŞTUR.

AGUSTOS - 1992

**T.C. YÜRSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

Erciyes Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü'ne

Bu çalışma, jürimiz tarafından Makina Anabilim dalında
Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

24 107 /1992

Başkanı:

Üye

Üye

Doc.Dr. M. Baki KARAMİŞ

Yrd.Doc.Dr. Mustafa AKSOY

Yrd.Doc.Dr. Durmuş ODABAŞ

ONAY :

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait
olduğunun onaylarım.

AGUSTOS 1992
1992
Prof. Dr. Bekir Sami YILBAŞ
Müdür

ÖZET

Bu çalışmada, yüzeyi sementasyonla sertleştirilerek kam mili üretiminde kullanılmakta olan AISI 5115 (DIN 16MnCr5) çeliğinin yerine karbonitrürlenerek yüzeyi sertleştirilen AISI 1020 (Ck22) çeliğinin kullanılabilirliği deneysel olarak araştırılmıştır. Deneysel çalışmada, yüzey pürüzlülüğü, çekme deneyi, aşınmadan önce ve sonra sertleştirilmiş tabakanın mikro yapısı ve mikro sertlik dağılımı, sürtünme ve aşınma davranışları ile aşınmış ve aşınmamış yüzey partiküllerinin X-Ray diffraction metodu ile analizi yapılmıştır.

Bu deneyler için hazırlanan AISI 5115 ve 1020 çelik numunelerinin yüzeyleri hem sementasyonla hemde karbonitrürasyonla Kayseri-Taksan fabrikalarında sertleştirilmiştir. Yüzey sertleştirme işleminden sonra her bir numunenin yüzeyi taşlanmış ve yüzey pürüzlülüğü ölçülmüştür. Yüzey pürüzlülük değerleri 0,2 - 0,4 aralığında tesbit edilmiştir.

Karbonitrürasyonla ve sementasyonla yüzeyleri sertleştirilmiş 5115 ve 1020 çeliklerden standart boyutlarda ($\phi 11$) hazırlanan numunelerin çekme deneyleri Cum.Ün. SMYD Metalurji Lab. yapılmış ve deney sonuçları grafiklerle aktarılmıştır. En yüksek çekme mukavemetine karbonitrürlenmiş 5115 çeliği (112 kg/mm^2), en düşük çekme mukavemetine ise semente edilmiş 1020 çeliğinin sahip olduğu (80 kg/mm^2) görülmüştür. Semente edilmiş 5115 ile karbonitrürlenmiş 1020 çeliklerinin çekme değerleri birbirine yakın bulunmuştur (Sırasıyla 98, 96 kg/mm^2).

IV

Sertleştirilmiş tabakanın aşınmadan önce ve sonraki mikro sertlik dağılımı ve serleştirilmiş tabaka metalografik olarak incelenmiş ve kesit görünüşleri fotorafıanmıştır. Sementasyonla sertleştirilmiş numunelerin etkili sertlik derinliklerinin daha fazla olduğu görülmüştür.

Kuru ve yağlamalı ortamda yapılan aşınma deneyleri için pim-disk deney düzenegi seçilmiş ve bu düzenegine sürtünme katsayısını tesbit edebilmek için kalibre edilmiş bir kompratör yay mekanizması sisteme ilave edilmiştir. Sürtünme katsayısı, aşınma test sürelerinde, bu komparatörden okunmuştur.

Herbir numune ayrı ayrı 50, 100, ve 150 N yükte, 5 ve 10 m/s kayma hızında ve 1, 3, 5, 8 ve 10 dakikalık kayma süreleri boyunca aşınma testine tabi tutulmuştur. Herbir durumda aşınma kayıpları, ile Quinne ve Archard'a göre aşınma katsayıları bulunmuştur. Bu değerlerin, aşınma değişkenleri ile değişimleri grafiklerde gösterilmiştir. En yüksek aşınma direncine karbonitrürlenmiş 5115 çeliğinin sahip olduğu görülmüştür. Bu çeliği sırasıyla, semente edilmiş 5115, karbonitrürlenmiş 1020, semente edilmiş 1020, normalize edilmiş 5115 ve normalize edilmiş 1020 çelikleri takip etmektedir.

Yağlamalı durumda da, numunelerin aşınma dirençeleri sıralaması aynı kalmış ancak bu durumda aşınma miktarının çok düşük olduğu tesbit edilmiştir.

Aşınmış ve aşınmamış sertleştirilmiş yüzey partikülleri X-Ray Diffraction metodu ile analiz edilmiş fakat beklenen faz gözlenememiştir.

Yapılan deneylerin sonuçları birbirleri ile mukayese edilmiş, buna göre karbonitrürasyonla sertleştirmenin sementasyona göre daha etkili olduğu ve karbonitrürlenerek yüzeyi sertleştirilen 1020 çeliginin düşük yüklerde sement edilmiş 5115 çeliginin yerine kam mili üretiminde ve diğer kullanıldığı yerlerde kullanılabileceği kanaatine varılmıştır.



SUMMARAY

In this study whether AISI 1020 (DIN Ck22) case carbonitrided steel instead of AISI 5115 (DIN 16MnCr5) case hardened by carburizing is used in manufacturing cam shaft was experimentally investigated. The experimental study included the following;

1. The tensile test
2. The surface roughness
3. The micro structure of the hardened case before and after wear
4. The micro hardness of the hardened case
5. The friction and wear behavior and
6. The particle analyzing of the hardened case and debris by the metod of x-ray diffraction

For the experiments mentioned above hundreds of specimens were prepared from AISI 1020 and 5115 steels at the required size. Most of these specimens were case hardened by carburizing and carbonitriding. The other were normalized at Kayseri - Taksan factories. After the heat treatments they were grinded. Then the roughness of their surfaces was measured. The result of surface measured showed that it was nearly same for each specimens.

The standart size ($\phi 11$) and shape specimens prepared from hardened steels for tensile test were tested at Cum. Un. S.M.Y.O. According to the tesult of the tensile test, carbonitrided 5115 steel had the highest value(120 kg/mm²)

and carburized 1020 had lowest value (80 kg/mm²). The other carburized 5115 and carbonitrided 1020 had nearly same tensile strength (98, 96 kg/mm² respectively).

The micro hardness distribution of the case hardened steels was investigated before and after wear and the photographs of cross section appearance of the hardened case under the microscopy were taken. The obtained result showed that the effective hardness case depth of carburized steels was higher than one of carbonitrided steels.

5115 carbonitrided steel had the highest resistance to wear among the specimens. This steel was followed by carburized 5115, carbonitrided 1020, carburized 1020, normalized 5115 and normalized 1020 respectively. The wear resistance under the lubrication was the same as one in dry wear but the wear loss under the lubrication was much lower than one in dry wear.

The hardened case particles were analyzed by the method of x-ray diffraction before and after wear but the obtained result wasn't as expected.

When all the results of the experiments were compared with each other, it follows that the case hardened by carbonitriding is more effective than the case hardened by carburizing and that 1020 carbonitrided steel instead of 5115 carburized steel can be used in manufacturing a cam shaft at least under low force.

UZ GEÇMİŞ

1958'de Sivas'ta doğdu. İlk ve orta öğrenimini Sivas'ta, Yüksek öğrenimini Yıldız Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünde 1981'de tamamladı. 1983 yılında yedek subay olarak askerliğini bitirdi. 1984 yılına kadar özel bir şirkette makina mühendisi olarak çalıştı. 1987 de Erciyes Üniversitesinde yüksek lisansını tamamlayan Rasim İPEK, 1988 yılında bir yıl süreyle Japonya'da, 1990 yılında üç ay İngiltere'de mesleki eğitim programına katıldı. 1984 yılından beri Cumhuriyet Üniversitesi S.M.Y.O. da öğretim görevlisi olarak çalışmakta olup, evli ve bir çocuk sahibidir.

TEŞEKKÜR

Twz çalışmasının bütün safhalarında bilgi ve yardımlarından sürekli faydalandığım değerli hocam Doç.Dr. M. Baki KARAMIS'a sonsuz teşekkür ederim.

Yüzey sertleştirme işlemlerinin yapılması, mikro sertlik taranmasında ve yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesinde büyük yardım ve desteklerini esirgemeyen TAKSAN-KAYSERİ Kalite Kontrol Labaratuvarı teknik elemanlarına teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Rasim İPEK

Temmuz - 1992, Sivas.

SEMBOLLER

A_o	Gerçek temas alanı	(m^2)
A_n	Görünen temas alanı	(m^2)
a	Pürüz capı	(cm)
ES	Etkili sertlik	(HV)
ESD	Etkili sertlik derinliği	(mm)
E1	Semente edilmiş AISI 5115 çeliginin ESD,	(mm)
E2	Semente edilmiş AISI 1020 çeliginin ESD,	(mm)
E3	Karbonitrürlenmiş AISI 5115 çeliginin ESD,	(mm)
E4	Karbonitrürlenmiş AISI 1020 çeliginin ESD,	(mm)
$F_{\mu r}$	Sürtünme kuvveti	(N)
$F_{n o r}$	Normal kuvvet	(N)
HB	Brinell sertlik	(kg/mm^2)
HV	Vickers sertliği	(kg/mm^2)
HR	Rockwell sertliği	
K	Pürüzlerin temas ihtimali	
K_1	Quinn'e göre aşınma katsayısı	(m^3/Nm)
K_{11}	Archard'a göre aşınma katsayısı	
k	Diffüzyon katsayısı	
L	Kayma mesafesi	(m)
L_o	Moment kolu uzunluğu	(mm)
n	Devir sayısı	(dev/dk)
P	Moment koluna uygulana yük	(N)
P_o	Temas yüzeyine etkiyen basınç	(N/mm^2)
P_o	Motorun boşa çalışmaya harcadığı güç	(Kw)
P_s	Sürtünmeye harcanan güç	(kw)
P_y	Morun yükte çektiği güç	(Kw)
Q	Aşınma miktarı	(cm^3)

XI

Ra	Yüzey pürüzlülüğü	
r	Sonsuz vida mil yarı çapı	(mm)
T	Numuneye etki eden yük	(N)
t	Diffüzyon süresi	(h)
W	Acısal hız	(rad/s)
W	Toplam kuvvet	(N)
X	Sementasyon derinliği	(mm)
V	Cizgisel hız	(m/s)
V	Hacısal aşınma kaybı	(m ³)
σ_{ko}	Kopma mukavemeti	(kg/mm ²)
τ_{km}	Metalik bağların kayma mukavemeti	(kg/mm ²)
τ_{ko}	Tabakanın kayma mukavemeti	(kg/mm ²)
μ	Sürtünme katsayısı	
α	Metal bağı teşkil etmiş pürüz oranı	(%)

İÇİNDEKİLER		SAYFA
BÖLÜM-I. SÜRTÜNME VE AŞINMA		
1.1.	GİRİŞ	1
1.2.	SÜRTÜNME	1
1.3.	YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ VE GERÇEK TEMAS ALANI	5
1.4.	AŞINMA	8
1.5.	AŞINMANIN TEMEL UNSURLARI	9
1.6.	TABI AŞINMA	10
1.6.1.	Adhesive Aşınma	12
1.6.2.	Abrasiv Aşınma	14
1.6.3.	Korozif Aşınma	16
1.6.4.	Yorulma Aşınması	16
1.6.5.	Erozyon	16
1.6.6.	Kavitasyon Erozyonu	17
1.6.7.	Yenme	17
1.7.	AŞINMA DEĞİŞKENLERİ	17
1.7.1.	Malzeme Cinsi ve Kimyasal Terkibi	17
1.7.2.	Malzemenin Mikro Yapısı	18
1.7.3.	Malzeme Sertliği	18
1.7.4.	Kayma Çifti	19
1.7.5.	Kristal Yapı	20
1.7.6.	Isıl işlemin Etkisi	20
1.7.7.	Ortama Bağlı Faktörlerin Etkisi	21
1.7.8.	Yük ve Hızın Etkisi	21
1.8.	AŞINMA DENEY İSULLERİ	23
1.9.	AŞINMA MİKTARININ ÖLÇÜLMESİ VE BİRİMİ	23

BÖLÜM-II. ISIL İŞLEMLER

2.1.	GİRİŞ	26
2.2.	DEMİR KARBON İKİLİLERİ	28
2.3.	ÇELİKLERİN SERTLEŞTİRİLMESİ	29
2.4.	ZAMAN SICAKLIK DÖNÜŞÜM DİYAGRAMI	31
2.5.	SERTLEŞEBİLİRLİK	33
2.6.	YÜZEYİN KİMYASAL TERKİBİNİ DEĞİŞTİRMEYEN YAPILAN YÜZEY SERTLEŞTİRME İŞLEMİ	34
2.6.1.	Alevle Yüzey Sertleştirme	35
2.6.2.	Fırında Isıtılarak Yüzey Sertleştirme	36
2.6.3.	Banyoya Daldırılarak Sertleştirme	36
2.6.4.	İndüksiyonla Yüzey sertleştirme	36
2.7.	YÜZEYİN KİMYASAL DURUMUNU DEĞİŞTİREREK YAPILAN YÜZEY SERTLEŞTİRME	38
2.7.1.	Karbürüzyon (Sementasyon)	39
2.7.2.	Karbürüzyon Metodları	40
2.7.2.1.	Kutu Karbürleme	41
2.7.2.2.	Sıvı Karbürüzyon (Tuz banyosu)	42
2.7.2.3.	Gaz karbürüzyon	43
2.7.3.	Sertleştirme	44
2.7.4.	Karbürüzyon Derinliği	46
2.7.5.	Yüzey Sertliği	48
2.7.6.	Çekirdek Sertliği	51
2.8.	KARBÜRLEMENİN MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ	52
2.8.1.	Sertlik Durumu	52
2.8.2.	Yorulma Durumu	53
2.8.3.	Aşınma Durumu	54

2.8.4. Tokluk Durumu	55
2.8.5. Yüzey ve Boyut Durumu	55
2.9. SEMENTASYON ÇELİKLERİNİN SERTLEŞEBİLİRLİK EGRİLERİ	56
 BÖLÜM-III. NİTRÜRASYON	
3.1. GİRİŞ	57
3.2. NİTRÜRENEBİLİRLİK	58
3.3. AZOTUN DİFUZYONU	60
3.4. ÇELİKLERİN NİTRÜRASYONLA SERTLEŞTİRİLMELERİ	61
3.5. NİTRÜR TABAKASI	63
3.6. NİTRÜRASYON METODLARI	65
3.6.1. Gaz Nitrürasyonu	65
3.6.1.1. Amonyakla Gaz Nitrürasyonu	65
3.6.1.2. Amonyak, Azot veya Hidrojenle Gaz Nitrürasyonu	67
3.6.1.3. Amonyak veya Hidrokarbonla Gaz Nitrürasyonu	67
3.6.1.4. İyon Nitrürasyonu	68
3.6.2. Tuz Banyosu Nitrürasyonu	69
3.6.3. Toz Nitrürasyonu	71
3.7. GAZ VE TUZ BANYOSUNDA NİTRÜRLEMENİN MUKAYESESİ	71
3.8. NİTRÜRASYON DEĞİŞKENLERİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ	72
3.8.1. Yüzey Sertliği	72
3.8.2. Gevreklik Testi	73
3.8.3. İşlem Süresi	72
3.8.4. Temizlik	73
3.8.5. Nitrürasyon Derinliği	74
3.8.6. Boyutsal Kararlılık	74

3.8.7. Aşınma Direnci	74
3.8.8. Tokluk	75
3.9. NİTRÜRASYON DERİNLİĞİNİN TESBİTİ	75
3.10. NİTRÜRASYON ÇELİKLERİ	75
3.11. NİTRÜLENMİŞ ÇELİKLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ	77
3.11.1.Aşınma Direnci	77
3.11.2.Temperleme Direnci	78
3.11.3.Yorulma Mukavemeti ve Çentik Hassasiyeti	78
3.11.4.Korozyon Direnci	80
3.12. NİTRÜRASYONUN GENEL DEĞERLENDİRİLMESİ	80

BÖLÜM-IV. KARBONİTRÜRASYON

4.1. GİRİŞ	83
4.2. KARBONİTRÜRASYON ÇELİKLERİ	84
4.3. KARBONİTRÜRLEMENİN YAPILIŞI	85
4.4. TABAKA YAPISI	86
4.5. TABAKA DERİNLİĞİ	90
4.6. KARBONİTRÜRASYON SICAKLIĞI VE ZAMANI	92
4.7. TABAKA KALINLIĞININ UNIFORMLUĞU	93
4.8. SERTLİK GRADYANI	94
4.9. YÜZEYİN SERTLEŞEBİLİRLİĞİ	94
4.10. YÜZEYİN SERTLEŞEBİLİRLİĞİNE AMONYAKIN ETKİSİ	97
4.11. KARBONİTRÜRASYONUN MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ	99
4.12. FIRIN TECHİZATI	100
4.13. FIRIN TİPİNİN ETKİSİ	100
4.14. FIRIN AĞZI ATMOSFERİ	101
4.15. FIRIN ATMOSFERİ	102
4.16. KİMYASAL YAPININ KONTROLÜ	103

4.17. ATMOSFERİN KİMYASAL MUHTEVASI	104
4.17.1.Taşınan Gaz	104
4.17.2.zenginleştirme Gazı	105
4.7.3.Amonyak	106
4.18. ATMOSFERİN KONTROLÜ	106
4.19. AMONYAK İLAVE SÜRESİ	106
4.20. SICAKLIĞIN SEÇİMİ	107
4.20.1.Çeligin Kimyasal Terkibi	107
4.20.2.Boyut Kontrolü	108
4.20.3.Artık Austenitin Kontrolü	109
4.20.3.1.Fırın Sıcaklığı	110
4.20.3.2.Karbon Miktarı	110
4.20.3.3.Amonyak Miktarı	110
4.21. EMNİYET	110
4.22. SOĞUTMA	111
4.22.1.Suda Soğutma	111
4.22.2.Yagda Soğutma	112
4.22.3.Gazda Soğutma	112
4.23. TEMPERLEME DİRENCİ	112
4.24. KARBONİTRÜRASYONDA SINIRLAMALAR	114

BÖLÜM-V. DENEYSEL ÇALIŞMA

5.1. GİRİŞ	117
5.2. KAM MİLİ	118
5.3. KAM MİLİ YAPIM VE ÖZELLİKLERİ	119
5.4. KAM MİLİ MALZEMELERİ	120
5.4.1. Dökme Demir Alaşımları	120

5.4.2. Çelik ve Aşınmaları	120
5.5. DENEY TESİSATININ ÖZELLİKLERİ	121
5.6. DENEY MALZEMELERİ	123
5.7. SÜRTÜNME ÇİFTLERİ	126
5.8. DENEYLERİN YÜRÜTÜLMESİ	127
5.8.1. Numunelerin Hazırlanması	128
5.8.2. Kayma Hızının Belirlenmesi	129
5.8.3. Normal Yükün ve Kayma Süresinin Tayini	129
5.8.4. Sürtünme Kuvveti ve Katsayısının Tayini	130
5.8.5. Deney Sonuçlarının Tesbiti	132

BÖLÜM-VI. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

6.1. MİKRO YAPI ÖZELLİKLERİ	135
6.2. ÇEKME DENEY SONUÇLARI	142
6.3. SÜRTÜNME KATSAYISININ NORMAL YÜKLE VE KAYMA MESAFESİ İLE DEĞİŞİMİ	146
6.3.1. Alışma Sürtünmesi	147
6.3.2. Kararlı Sürtünme	148
6.4. AŞINMA DENEY SONUÇLARI	158
6.4.1. Aşınma Miktarı	159
6.4.1.1. Aşınmanın Kayma Süresi ile Değişimi	159
6.4.1.2. Aşınmanın Normal Yük ile Değişimi	165
6.5. AŞINMADA MEYDANA GELEN OKSİTLER	188

BÖLÜM-VII.

7.1. İRDELEME	190
7.2. SONUÇLAR	193
7.3. ÖNERİLER	195

XVII

Ek1	AŞINMIŞ YÜZEY GÖRÜNÜŞLERİ	197
Ek2	YÜZEY PARTİKÜLLERİNİN X-RAY ANALİZ SONUÇLARI	206
Ek3	AŞINMA MİKTARLARI	210
	KAYNAKLAR	221



BÖLÜM I

SÜRTÜNME VE AŞINMA

1.1. GİRİŞ

Bugün makina elemanlarının en önemli problemlerinden biri aşınmadır. Aşınma nedeniyle boyutu değişen ve görev gördüğü makinanın hassasiyetinde azalmaya sebep olan makina elemanları, böylece o makinada imal edilen mamülün istenen kalitede ve hasasiyette olmamasına sebep olurlar. Olayın çok karmaşık olması nedeniyle bu problemin çözümü için yapılan araştırmaları henüz sistematik bir çözüm getirelememiştir. Ancak aşınmanın temel unsurları belirlenmiştir.

1.2. SÜRTÜNME

Sürtünme, bir katı cisimin kendisiyle temasta olan başka bir katı cisimin bağıl hareketine göstermiş olduğu dirençtir. Hareket doğrultusunda ve zıt yönde olan bu dirence sürtünme kuvveti denir. Temasta olan katı cisimlerinden birinin diğeri

üzerinde kayma hareketine başlaması için gerekli olan kuvvete **Statik sürtünme kuvveti**, kayma hareketini devam ettirmek için gerekli kuvvete de, **Kinetik (Dinamik) sürtünme kuvveti** denir. Dinamik sürtünme kuvveti, genellikle statik sürtünme kuvvetinden daha küçüktür. Sürtünme de, temas eden yüzeyler arasındaki hareket kayma ve yuvarlanma ya da bu iki hareketin bileşimi şeklindedir[1].

iki temel sürtünme kanunu vardır. Birinci kanunda; Sürtünme kuvvetinin sürtünen yüzeyler arasındaki temas alanından bağımsız olduğu, ikinci kanunda ise sürtünme kuvvetinin, sürtünen cisimlere gelen normal kuvvetle orantılı olduğu belirtilmiştir[1,2].

ikinci kanuna göre sürtünme katsayısı tanımı yapılabilir. Buna göre; sürtünme kuvveti normal kuvvetle orantılıdır.

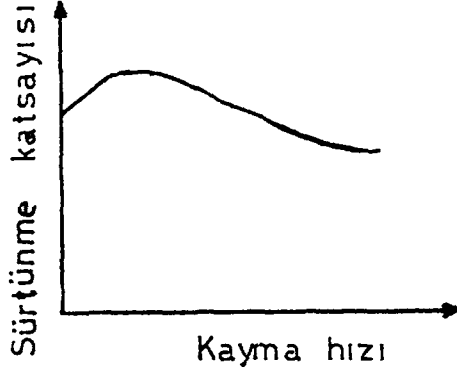
$$F_{sür} \propto F_{nor}$$

$$F_{sür} = F_{nor} \cdot \mu \quad (1-1)$$

Sürtünme katsayısı μ , sürtünmeyi karakterize eden, önemli bir faktördür. Statik durumda statik, dinamik durumda ise dinamik sürtünme katsayısı olarak tanımlanır. Statik sürtünme katsayısı, dinamik sürtünme katsayısından biraz daha büyüktür. Deneyler göstermiştir ki; dinamik sürtünme katsayısı kayma hızına bağlıdır. Hızın artması halinde azda olsa değerinde bir düşme görülür(Şekil-1.1).

Statik sürtünme katsayısı ise şekil-1.2'den görüldüğü gibi temas süresine bağlıdır. Temas süresinin artmasıyla, μ sürtünme katsayısında artar. Yine yapılan çeşitli deneyler,

sürtünme katsayısının sertlik, kayma mesafesi ve temas yüzeyinin ortalama tane büyüklüğüne bağlı olduğunu göstermiştir[3].



Şekil-1.1. Sürtünme katsayısının kayma hızı ile değişimi [1].

μ sürtünme katsayısı belirli çalışma şartlarında, sürtünen malzeme çiftleri için verilen bir sabittir. Farklı malzeme çiftleri için farklıdır. Tablo-1.1. de bazı malzeme çiftlerine göre sürtünme katsayı değerleri görülmektedir[2]. Sürtünme katsayısı, ayrıca kayma mesafesinde bağlı bir değişkendir. Sürtünme katsayısının, başlangıçta kayma mesafesi artışıyla belirli bir değere kadar arttığı, daha sonra sabit bir değere yaklaştığı görülmektedir.

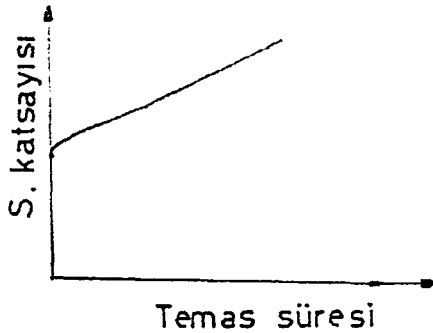
Tablo-1.1. Çeşitli malzeme çiftlerine göre sürtünme katsayısı[2].

Malzeme Çifti	Sukunet Sürtünmesi		Kayma Sürtünmesi	
	Kuru	Yağlı	Kuru	Yağlı
Çelik/Çelik	0,15	0,1	0,015	0,1
Çelik/Bronz	0,19	0,1	0,18	0,01
D.Demir/D.Demir	-	0,16	-	0,1
Çelik/Buz	0,027	-	0,014	-
Tahta/Tahta	0,4	0,16	0,2	0,08
Tahta/Taş	0,7	0,4	0,3	-
Tahta/Metal	0,6	0,11	0,4	0,1

Sürtünme katsayısı, temas yüzeyinin ortalama tane büyüklüğüne de bağlıdır. Yüzey tabakasının tane büyüklüğünün artışı ile sürtünme katsayısıda artar. Bu durum sürtünme katsayısının, kayma mesafesi değişimine benzer(şekil-1.2).

Birinci sürtünme kanununda; sürtünmenin temas alanından bağımsız olduğu belirtilmiştir. Fakat sürtünme yüzeyindeki mikroskopik düzensizliklerin sürtünmeyi etkiledikleri ve bu pürüzlerin gerçek temas alanından bağımsız olduğu tesbit edilmiştir. Buna göre; sürtünmenin görünen temas alanından bağımsız ancak gerçek temas alanı ile ilgili olduğu söylenebilir.

Fiziksel anlamda kuru sürtünme yalnızca vakum ortamında mevcuttur. Makina tekniğinde sürtünme, sürtünmenin meydana geldiği atmosfer ve atmosferi teşkil eden elemanların tesirindedir. Atmosferin etkisindeki sürtünme yüzeylerinde absorbe edilmiş gazlar ve bu gazların oluşturduğu oksitler gibi kiyasal bileşikler mevcuttur. Bu oksitler sürtünmeyi kısmen azaltır ve bir yağlayıcı malzeme gibi rol oynar.



Şekil-1.2. Sürtünme katsayısının kayma mesafesi ile değişimi[2].

Yüzeyler arasına bir yağlayıcı malzeme konulduğu takdirde sürtünmenin azaldığı bilinmektedir. Yağlayıcı madde, malzeme yüzeyi üzerinde adhezyon kuvveti nedeniyle bir flim teşkil ederek, metalik teması kısmen veya tamamen önler. Eğer yüzeyler tamamen metalik temastan ayrılmış ise buna sıvı sürtünmesi kısmen ayrılmış ise bu durumda yarı sıvı sürtünmesi denir(şekil-1.3).

1.3. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ VE GERÇEK TEMAS ALANI

Kuru sürtünmede, iki yüzey birbirine sürtündüğünde, bağıl harekete karşı bir direnç oluşması sonucu, temas yüzeyinde bozulmalar meydana gelir. Sürtünme teorilerinde, temas alanına düşen kuvvet sabit kabul edilir. Bu durumda;

$$F = A_0 P \quad \text{Yazılabilir.} \quad (1-2)$$

A_0 , gerçek temas alanı, yapılan deneyler sonucu görünen temas alanının 1/1000-1/500 arasında olduğu tesbit edilmiştir. Gerçek temas alanı; basınç ve deformasyon sebebi ile artar. Mikro mertebedeki yüzey pürüzlülüğü, yüzeye tatbik edilen işlemlere bağlıdır[3]. Bowden ve Tabor[1], temas yüzeylerindeki pürüzlerin plastik olarak şekil değiştirdiklerini kabul ederek gerçek temas alanını,

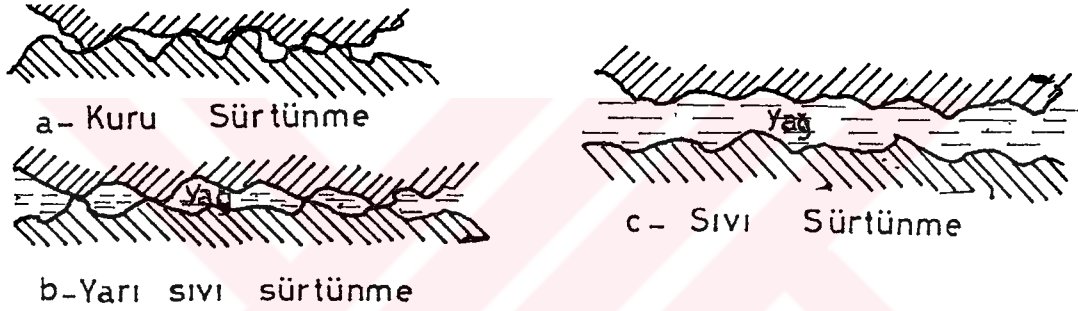
$$A_0 = \frac{F_n}{HB} \quad \text{olarak bulunmuştur.} \quad (1-3)$$

Yüzey ise; atmosferin etkisinde olduğundan yağ, oksit ve su buharı gibi tabakalarla kaplıdır(şekil-1.4).

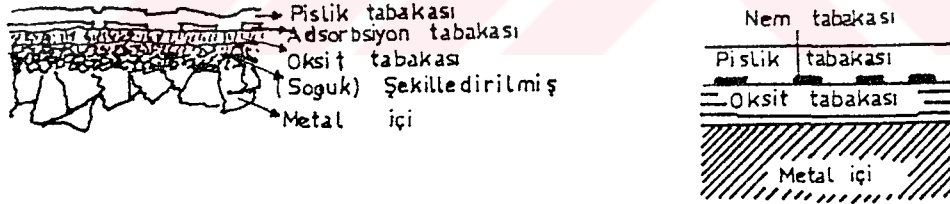
Yük tatbik edilmeden önce yüzeylerdeki bu tabakalar arasında

bir bağlantı oluşur. Yüklemeden sonra tabakaların bir kısmı kopar ve temas alanında metal kaynaması meydana gelir(Şekil-1.5).

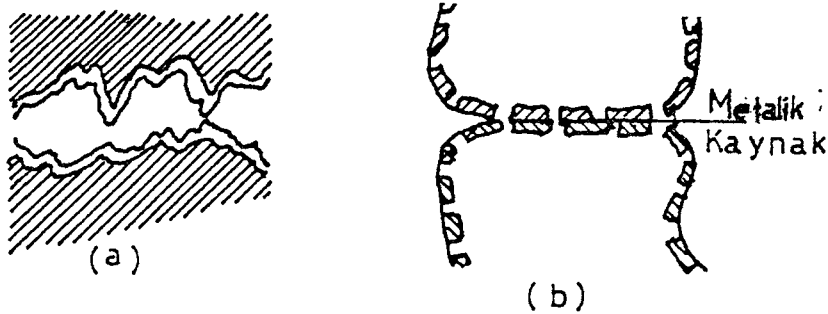
Sürtünme kuvveti; hem kaynak bağlarını hemde metal bağlantılarını koparan kuvvettir[4]. Yükü taşıyan temas alanının (A_n) metal bağı teşkil eden %'si (α), metal kaynak bağı teşkil etmiş olan temas noktalarının kayma mukavemeti ($\tau_{k,n}$) ve doğal tabakalar arasındaki bağlantıların kayma mukavemeti($\tau_{k,o}$) ile ifade edilirse, sürtünme kuvveti;



Şekil-1.3. Sürtünme çeşitleri



Şekil-1.4. Atmosferin etkisinde malzeme yüzeyinde oluşan tabakalar[4].



Şekil-1.5. Metal-metal temasında adhezyon ve kopma bölgeleri[6].

$$F_s = \alpha A_h \tau_{k_m} + (1-\alpha) A_h \tau_{k_o} \quad \text{olur.} \quad (1-4)$$

(1-2) ve (1-3) denklemleri dikkate alınır, sürtünme katsayısı (μ);

$$\mu = \frac{F_s}{F} = \alpha \frac{\tau_{k_m}}{HB} + (1-\alpha) \frac{\tau_{k_o}}{HB} \quad (1-5)$$

HB yerine tabakanın kopma mukavemeti yazılırsa;

$$\mu = \alpha \frac{\tau_{k_m}}{\sigma_{k_o}} + (1-\alpha) \frac{\tau_{k_o}}{\sigma_{k_o}} \quad (1-6)$$

Hakiki temas alanı metalsel temas noktalarından ibaret olduğunda, $\alpha=1$ olur ve

$$\mu = \frac{\tau_{k_m}}{\sigma_{k_o}} \quad \text{yazılır.} \quad (1-7)$$

(1-6) denkleminde, metalik temas olmaması halinde ($\alpha=0$) sürtünme katsayısı;

$$\mu = \frac{\tau_{k_o}}{\sigma_{k_m}} \quad \text{olur.} \quad (1-8)$$

yukarıdaki bağıntılarda $\alpha, \tau_{k_m}, \tau_{k_o}$ değerlerini tesbit etmek oldukça güçtür. Bu bağıntılardan aşağıdaki sonuçlar çıkartılabilir.

1. Sürtünme katsayısı, metalik kaynak bağı teşkil etmiş temas noktalarının kayma mukavemeti (τ_{k_m}), tabakanın kopma mukavemeti (σ_{k_o}) ve bağlantının kayma mukavemetine (τ_{k_o}) bağlıdır.

2. Temas noktalarının kayma mukavemeti, temastaki malzemenin cinsine bağlıdır. Birbirleriyle kolayca alaşım yapan malzemeler arasında kuvvetli bağlar oluşur. Demir-karbon ve demir-nikel gibi birbiri üzerinde kayan

malzemelerden, biri sert diğeri yumuşak olduğu takdirde; yumuşak malzeme diğeri malzemeyi kendi parçacıklarından oluşan ince bir tabaka ile kaplar ve bu şekilde iki yumuşak malzeme birbirini üzerinde kaymış olur. Yumuşak malzeme bir yağlayıcı malzeme gibi rol oynar. Bu durumda sürtünme katsayısı düşer. Bilindiği gibi birbirleri ile kolayca alaşım yapan malzemeler arasında kuvvetli kaynak bağları oluşacağından sürtünmenin bu gibi iki malzeme arasında olmamasına özen gösterilmesi gerekir. Yapılan araştırmalar, hegzagonal kafesli metallerin sürtünme katsayılarının daha düşük olduğunu, kübik hacim ve yüzey merkezli kafes sistemine sahip metallerin sürtünme katsayılarını ise daha büyük olduğunu göstermiştir[5].

1.4. AŞINMA

Aşınma her sektörde rastlanan çok karmaşık bir malzeme kaybıdır. Tam açıklayıcı bir tanım yapmak zor olmakla beraber kabul edilen birkaç tanım aşağıdadır. **Aşınma; Mekanik etkenlerle cisimlerin yüzeyinde zamanla meydana gelen malzeme kaybıdır.** 1976'da yayınlanan DIN 50320'ye göre de; **Aşınma; katı cismin yüzey bölgesinden tribolojik zorlamalar sonucu sürekli ilerleyen malzeme kaybıdır**[6]. Mühendislikte malzemede görülen yıpranmanın aşınma sayılabilmesi için şu şartların mevcut olması gerekir.

1. Mekanik bir etken olması,
2. Sürtünmenin olması(bağıl hareket),
3. Yavaş ve devamlı olması,
4. Malzeme yüzeyinde değişiklik meydana getirmesi,
5. İsteğimiz dışında meydana gelmesidir.

1.5. AŞINMANIN TEMEL UNSURLARI

Aşınmanın başlaması ve devam edebilmesi için sürtünme olmalıdır. Sürtünen iki cisimin temas alanı aşınma açısından oldukça önemlidir. Gerçek temas alanı, görünen temas alanından küçüktür. En hasas işlemlerde bile katı malzemelerin yüzeyi hiç bir zaman düz değildir. Yüzeyde bir kaç mikron yüksekliğinde mikroskopik pürüzler mevcuttur. Temas durumunda bu pürüzler etkileşirler. İlk temas bir kaç pürüz tepeleri arasında olur. Pürüz tepeleri arasındaki girintiler temas etmezler (Şekil-1.6). Gerçek temas alanı, temasta olan pürüzlerin toplam alanıdır[6].

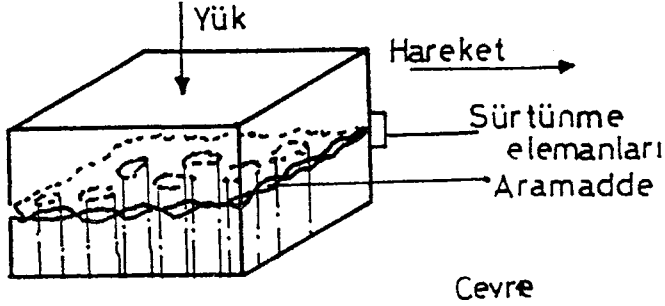
$$A_0 = a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_n = \sum_{i=1}^n a_i \quad (1-8)$$

Yük ve yüklemenin şekli temas alanının büyüklüğünü etkiler. Yük, artınca pürüzlerin şekil değiştirmesi artar ve yeni pürüzler birbirleri ile temas eder. Yüklemenin devam etmesi durumunda gerçek temas alanı artar ve pürüz sayısı da azalır [6]. İki cisim birbiri üzerinde kayacağı gibi yuvarlanma, kaymalı yuvarlanma gibi bağıl hareket yapabilir. Temasta olan cisimlere bağıl hareket yaptırabilmek için sisteme bir enerji girer. Bu enerji yük ve hareket şeklindedir. Giriş ile çıkış enerjisi arasındaki fark, sürtünme enerjisine, aşınmaya, mekanik titreşime, ısı ve ses enerjisine dönüşür (Şekil-1.7)[7].

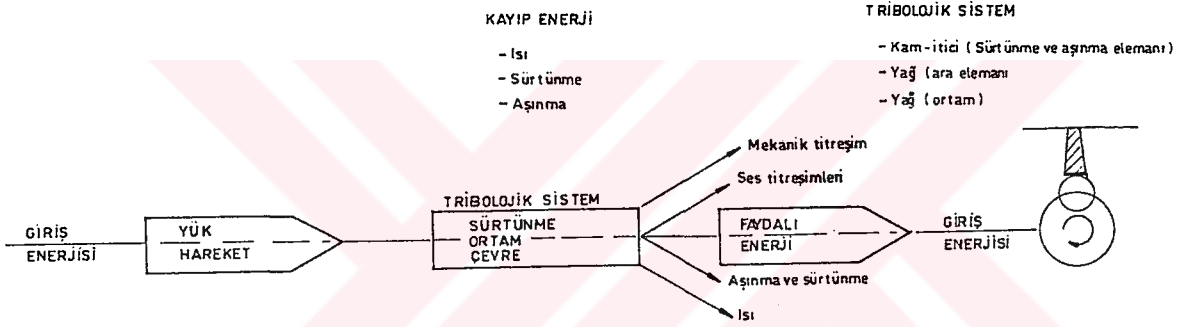
Aşınmayı iki temel halde inceleyebiliriz;

1. Bağıl hareket şekline göre aşınma,
2. Mekanizmalara göre aşınma

Bağılı harekete göre aşınma mekanizmaları Tablo-1.2' de gösterilmiştir.



Şekil-1.6. Sürtünen iki cismin temas alanları ve aşınmanın temel unsurları[6].



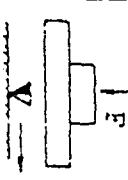
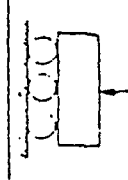
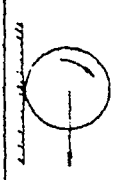
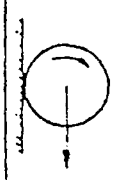
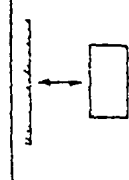
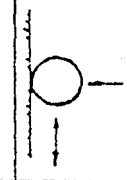
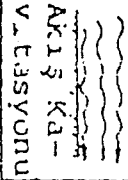
Şekil-1.7. Tribolojik sisteme giren enerjinin dağılımı.

1.6. TABİ AŞINMA

Birçok mekanizma adı altında incelenen aşınma genel olarak, Burwell'in de belirttiği gibi dört kısma ayrılır[5].

1. Adhesive aşınma,
2. Abrasive aşınma,
3. Korozif aşınma ve
4. Yüzey yorulmasıdır.

Ayrıca erozyon, kavitasyon ve ufalama olaylarının da beşinci aşınma mekanizması olarak kabul eder. Bu aşınma mekanizmaları aşağıda özet olarak açıklanacaktır.

İzafi Hareketin		Tribolojik Sistem		Aşınma Mekanizmaları						Yüzeyin Görünümü	
Adı	Şekil	Sürtünme Elemanları	Arzımadde	Adhezyon	Abrasyon	Yüzey Yorulması	Tribo Oksidasyon	Abilativ			
Kayma		Kırtı/Kırtı	Y. A. Ö. L. A. M. A. S. I. Z	++	++	+	++	+	Plastik Deformasyon ve Yenme		
Taneli Kayma				+	+++	++	+	+	+	Yarık Oyük Çizgi	
Yuvarlanma				+	L	+	L	L	L	Soyulma	
Kaymalı Yuvarlanma				++	++	++	++	++	+	Plastik Deformasyon ve Yenme	
Çarpma				L	L	++	++	++	L	Plastik Deformasyon ve Kırılma	
Titrasyon Salınım				İzafi Hareketlerin ve Aşınma Mekanizmalarının Kombinasyon Etkileri							
Hidro Aşınma				Kırtı/Sıvı	PARÇACIKLI veya PARÇACIKSIZ	-	+	+	L	-	Yüzeyde Dalgalılık

Tablo-2.1. Bağıl Harekete Göre Aşınma Mekanizmaları [8].

1.6.1. Adhesive Aşınması

Daha önce belirtildiği gibi, yüzeyler ne kadar hassas işlenirse işlensin mikro mertebede pürüzler mevcuttur. Benzer kafes yapısına sahip iki metalin yüzeyleri arasında adhezyon çekim kuvveti söz konusudur. Bu kuvvetin oluşması moleküllerin yaklaştırılmasına bağlıdır. Temas halindeki yüzeyler birbirleriyle pürüzlü noktalarda etkileşirler. Metal ağırlığı veya herhangi bir dış kuvvet, temasta olan çok küçük pürüz tepelerine çok yüksek basınç olarak etkir. Bu basınç; pürüzlerin akma sınırını aşınca, plastik deformasyona, pürüzlerin birbirlerini çizmesine, yarmasına ve birbirlerine sıvanıp kaynak yapmalarına neden olur[8].

Pürüzlerin deformasyonu sonucu, mikro adhezyon hızla temas yüzeyi boyunca yayılır. Sonuçta yüzeyde adsorbe edilmiş sıvı veya gaz molekülleri ve oksit tabakaları parçalanır. Malzeme molekülleri direk temasa geçer. Neticede, temas noktalarında mikro soğuk kaynak bağları meydana gelir. Özellikle çelik ve plastik gibi esnek malzemelerde, böyle bir temas sonucu, difüzyon veya tane büyümesi ile çok güçlü adhezyon oluşur. Bağlı hareketin devamı halinde, bağlar kırılarak malzeme kaybına neden olur. Eğer adhezyon bağ mukavemeti pürüz mukavemetinden daha düşükse, pürüz temas noktalarından kopar ve hiç bir malzeme kaybına neden olmaz. Eğer aksi olursa, yani adhezyon bağın mukavemeti, pürüz mukavemetinden büyük olursa, bu durumda pürüz kopar ve malzeme kaybına neden olur[6]. Kırılan parçalar ara yüzeyde serbest kalacağı gibi metallardan birine bağlı kalarak taşınabilirler. Parçacığın

bir yüzeyden diğer yüzeye taşınmasına Metal transferi adı verilir.

Adhezyon aşınması kolay alaşım yapabilen benzer malzemelerde görülür. Bu aşınma izafi hıza ve normal kuvvete bağlıdır. Temiz yüzeylerde adhezyon aşınması kısmen daha düşük hızlarda meydana gelir [7,8].

Adhesive aşınma için Archard'ın yaklaşımlarını kullanarak bazı kanunlar çıkarabiliriz[4]. Pürüz yarı çapı ; (a) olan belli sayıda pürüzlerin temas durumunu ele alalım. Her bir temas alanı πa^2 ve gelen kuvvet $P_0 \pi a^2$ olsun. P_0 ; Temas yüzeyine uygulanan basıncıdır. Yüzeylerin kayma esnasında tek geçişte kayma mesafesi $2a$ 'dır. Herbir pürüzün yarım küre şeklinde aşındığını kabul edersek, hacımsal aşınma miktarı $2/3 \pi a^3$ olur.

Birinci sürtünme durumunda aşınma miktarı;

$$Q = \Sigma \frac{2/3 \pi a^3}{2a} \quad (\text{cm}^3/\text{cm}) \quad (1-9)$$

$$Q = \Sigma \frac{\pi A^2}{3} = \frac{\pi a^2}{3} n \quad (1-10)$$

Her bir temas noktasına gelen kuvvet $P_0 \pi a^2$ olduğuna göre toplam kuvvet;

$$W = P_0 \pi a^2 \quad (1-11)$$

$$n \pi a^2 = \frac{W}{P_0} \quad (1-12)$$

$$Q = \frac{W}{3P_0} \quad (1-13)$$

Yukarıdaki bağıntı bütün pürüzlerin temas ettiği ve aşındığı kabul edilerek çıkartılmıştır. Bu nedenle bir katsayı tanımlamak gerekir.

$$Q = K \frac{W}{3P_0} \quad (1-14)$$

K; pürüzlerin temas etme ihtimali olarak tanımlayabiliriz. Sürtünme şartlarına göre farklı malzeme çiftleri için değeri farklıdır. Deneyler sonucu tesbit edilir.

Yukarıda çıkarılan bağıntılardan şu sonuçları çıkarabiliriz.

1. Aşınan malzeme hacmi, sürtünme mesafesiyle doğru orantılıdır.
2. Aşınan malzeme hacmi, uygulanan kuvvetle orantılıdır.
3. Aşınan malzeme hacmi, malzemenin sertliği ile ters orantılıdır.

1.6.2 Abrasive Aşınma

Uygulanan kuvvet ve hareketin etkisiyle sürtünen iki cisimden daha sert olan cismin pürüzleri ile diğer cismin yüzeyini çizerek mikro talaş kaldırması olayıdır. Bu tür aşınma iki şekilde meydana gelir.

1. Sürtünen iki cisimde daha sert olanın yüzeyindeki pürüzler ile daha yumuşak olan malzeme yüzeyini çizerek tahrip etmesi şeklindeki aşınmaya iki cisimli abrasive aşınma denir(Şekil-1.8).

2. Sürtünen yüzeyler arasında yuvarlanan sert tanecikler yüzeyleri çizerek tahrip etmesi şeklindeki aşınmada üç

cisimli abrasive aşınma denir(Şekil-1.9). Genellikle aşınma; metal-metal sürtünmesinde abrasive veya adhesive olarak başlar, araya giren toz mineral taneleri çizilmeyle oluşan mikro talaşla veya paçalanmış oksit parçacıkları ile üç cisimli abrasive aşınma şeklinde devam eder.

Khruschov ve Babichev[7], aşındırıcı tanelerin, yüzeyleri iki şekilde aşındırdığını belirtmişlerdir.

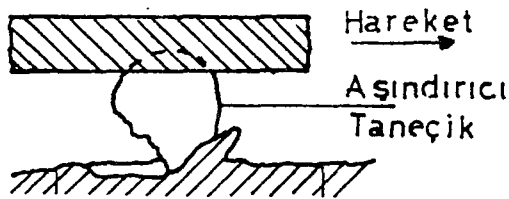
1. Sert taneciğin yüzey üzerine sürtünerek metal kaldırmadan plastik deformasyon meydana getirerek yüzeyi çizmesi,

2. Sert taneciğin daha yumuşak yüzeydeki tanecikleri parçalayarak yüzeyden mikro talaşların ayrılmasına sebep olması şeklindedir.

Abrasive aşınma olabilmesi için temasta olan yüzeylerin pürüzlü ve birinin diğerinden daha sert olması gerekir.



Şekil-1.8. Sert ve kaba bir yüzey tarafından aşındırılan bir yüzeyin deformasyonu



Şekil-1.9. Üç cisimli abrasive aşınması

1.6.3. Korozif Aşınma

Metal veya metal alaşımlarının çevreleri ile (katı, sıvı ve gaz ortamlar) kimyasal, elektro kimyasal veya metalurjik ilişkiden dolayı yüzeylerinde yapısı farklı tabakaların oluşması ve sürtünme hareketleriyle bu tabakaların parçalanıp taşınması sonucu meydana gelen hasara Korozif aşınma denir. Korozyon; Birim zamanda metal malzemelerde kimyasal etkilerle meydana gelen malzeme kaybı şeklinde tanımlanır.

Korozif aşınma için gerekli şart, korozyonun ve sürtünme hareketinin olmasıdır. Korozif aşınmanın faydası, çok yüksek basınç altında çalışan yüzeylerin, meydana gelen oksit veya diğer ara tabakalara yapışmasını önleyerek adhesive aşınmayı azaltmasıdır. Korozif aşınma, abrasive ve adhesive aşınması ile birlikte meydana gelebilir[3].

1.6.4. Yorulma Aşınması

Malzemelerde yorulma olayı tekrarlanan kuvvetler etkisi altında ve zamanla meydana gelir. Yorulma yüzeyde başlar ve mikro çatlaklara sebep olur. Sürtünen yüzeylerde pulcuklar şeklinde malzeme ayrılımları meydana gelir.

1.6.5 Erozyon

Malzeme yüzeyi ile temas ortamı arasındaki bağıl hızın yüksek değerlere ulaştığı sistemlerde malzeme yüzeyinde görülen bozulma şekline erozyon denir. Erozyon, içinde katı tanecikler ihtiva eden bir sıvının katı cismin yüzeyine çarpması sonucu meydana gelir[3].

1.6.6. Kaviteasyon Erozyonu

Bir katı cisim ile sıvının bağıll hareket yapması durumunda sıvı içinde oluşan kabarcıklar, basıncın düşmesi ile büyür ve patlar. Bunun sonucu olarak meydana gelen şok dalgaları katı cismin yüzeyine çarparak tahribat meydana getirir[3].

1.6.7. Yenme

Bir adhesiv aşınma mekanizması olmakla beraber, ayrı olarak incelemek faydalı olacaktır. Birbirlerine kuvvetle tesir eden iki metal yüzeyi arasında düşük genlikli titreşim hareketinin meydana gelmesi ile oluşur. Bu hadise, iletme ve çalışma esnasında, çoğu makinalarda titreşimlerin oluşması ile ortaya çıkar. Yenme bir adhesive aşınma şeklidir[3].

1.7. AŞINMA DEĞİŞKENLERİ

Yapılan çalışmalarda aşınma değişkenleri belirlenmiş ancak aralarındaki ilişki tam olarak açıklığa kavuşturulamamıştır. Aşağıda bazı değişkenlerin aşınma üzerine olan etkileri kısaca belirtilmiştir.

1.7.1. Malzemenin Cinsi ve Kimyasal Terkibi

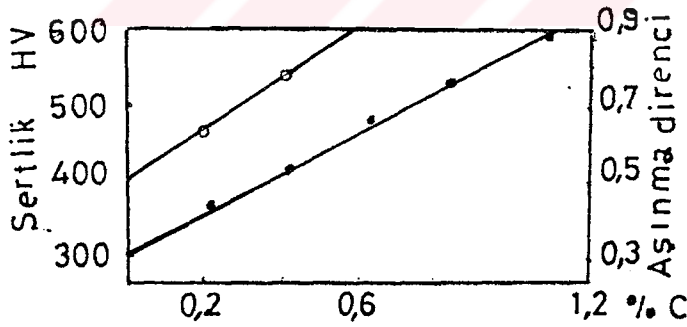
Bazı malzemelerin aşınma dirençleri kimyasal terkiplerine bağıll olarak değişmektedir. Mesela çeliklerde karbon miktarının artması ile aşınma direncinin arttığı şekil-1.10' da görülmektedir[7]. Cr ve P ' un, çeliklerin aşınma direncini artırdığı deneyler sonucu tesbit edilmiştir[9,10]

1.7.2. Malzemenin Mikro Yapısı

Bugüne dek yapılan çalışmalarda mikro yapının aşınmayı nasıl etkilediği henüz açıklığa kavuşmamakla birlikte aşınma olayını etkilediği muhakkaktır. Bilindiği gibi mikro yapı malzemenin mekanik özelliklerini belirler. Mesela malzemenin sertliği, malzemenin mikro yapısına bağlıdır ve aşınma direncini önemli derecede etkiler[3].

Yapılan araştırmalar, demir ve çeliklerde karbonun bünyede dağılımı ve tane boyutu aşınmayı direk etkilediğini ortaya konmuştur. Yapının sementit veya perlitik olmasının aşınma direncini artırdığı deneysel olarak bulunmuştur[11].

Martenzitik yapı en fazla aşınma direncine sahiptir. En az aşınma direncinin ise ferritik yapıları çeliklerde meydana geldiği tesbit edilmiştir[12].

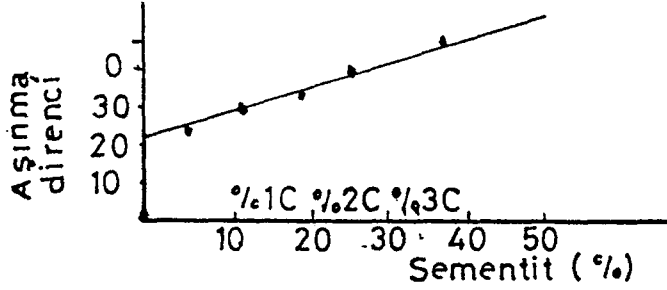


Sekil-1.10. Karbonlu çeliklerde, C oranının malzemenin sertlik ve aşınma direncine etkisi[8].

1.7.3. Malzemenin Sertliği

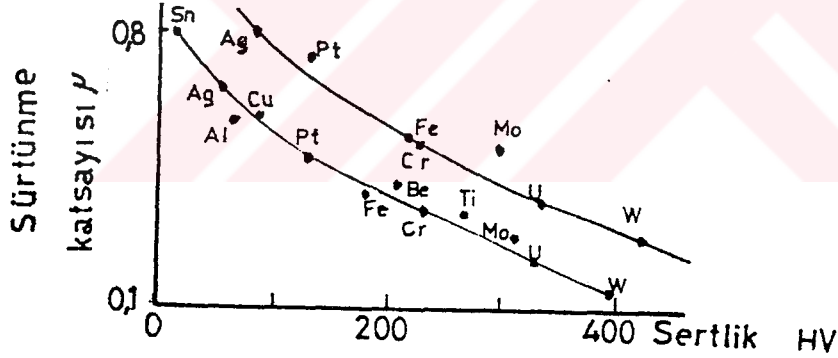
Aşınma direncini etkileyen faktörlerin başında sertlik gelmektedir. Belirli sertlik değerine kadar aşınma direnci

önemli ölçüde artmakla beraber bu değerden sonra fazlaca değişmediği görülmektedir. Sertlik artışı ile şekil-1.12' de görüldüğü gibi sürtünme katsayısı da düşmektedir. Düşük sürtünme katsayısının aşınma direncini artırdığı bilinmektedir[3].



Şekil-1.11. % Sementitin aşınmaya etkisi[7].

Daha önce belirtildiği gibi yüzey pürüzlülüğü artışı ile aşınma direnci azalır.



Şekil-1.12. Sertlikle sürtünme katsayısı değişimi[3].

1.7.4. Kayma Çifti

Kuru veya sıvı sürtünme durumunda, kayma çiftinin meydana getirdiği metalik bağın mukavemeti; aşınma direncini önemli oranda etkiler. Daha az sayıda kaynak bağı meydana gelmesi ile metal transferi ve pürüzlerin çalışma sertleşme eğilimi daha düşük olur.

Aşınma direnci açısından karşılıklı çalışan malzeme çifti, aşağıdaki özelliklere sahip olmalıdır.

1. Birbiri içerisinde çözünmez olmalıdır.

2. En azından metallerden biri periyodik tabloda işaret edilen B alt grubundan olmalıdır (tablo-1.3).

Karşılıklı çözünebilirlik, kayma çiftinin oluşturacağı metalik bağın şeklini, sayısını ve karakterini belirler. Demir ile çözünmeyen B grubu malzemeleri, inter-metalik alaşım oluşturur. Bu alaşımın adhezyon aşınma direnci çok yüksektir[8].

1.7.5. Kristal Yapı

Aşınma çiftlerinin kristal yapıları çok önemlidir. (kübik, hegzagonal,...) Metalik kaynak bağları bir düzlem boyunca yer alır. Gerekli kayma mukavemeti bu düzlem boyunca bağlıdır. Kübik kafes yapısına sahip metallerin kayma mukavemeti iki sebepten ötürü, hegzagonal kafes yapıya göre daha yüksektir. Birincisi; kaymada kübik yapıya metallerin sertleşmesi daha yüksektir. İkincisi; hegzagonal yapıya malzemelerin kolayca kayan düzlemde sahip olmalarıdır (easy-slip). Oluşan çalışma sıcaklığı ile hegzagonal yapı değişmeden kalır. Böylece daha az yüzey kaynak yapar[3].

1.7.6. Isıl İşlemin Etkisi

Aşınma direncini artırmada en etkin yol ısıl işlemdir. Mesela sertleştirme ile aşınma direnci artırılabilir. Yine ısıl işlemlerle malzemenin mikro yapısı değiştirilebildiğinden

aşınmaya etki eden birçok faktörü değiştirilerek, metallerin aşınma davranışlarını önemli ölçüde geliştirmek mümkündür[7].

Tablo-1.3.1045 Çeliğine Karşı Bazı Metallerin Aşınma Direnci [8].

Çok iyi	İyi	Kötü	Çok kötü
Germenyum * Gümüş Kadmiyum * Kalay * Kurşun * Bizmut *	Karbon Bakır * Selenyum *	Magnezyum Alüminyum Çinko Baryum Tungsten	Berilyum Silisyum Kalsiyum Titanium Krom Demir Kobalt Nikel Molibden

* Peryodik tabloda B- alt grubu metalleri

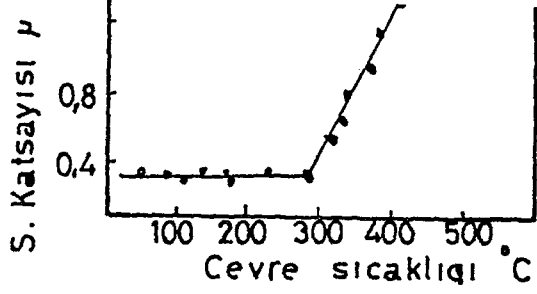
1.7.7. Ortama Bağlı Faktörlerin Etkisi

Ortamın nemi, atmosferi ve sıcaklığı aşınmayı etkileyen en önemli faktörlerdendir. Aşınma direnci, çevre sıcaklığının belli bir değerine kadar önce artar, sonra hızla düşer. Metal-Metal temasında, kaynak bağları oluşma ihtimali ergime sıcaklığına bağlı olduğundan, sıcaklık artışı ile düşük ergime sıcaklığına sahip metallerde kaynak bağları oluşur. Bu nedenle ergime derecesi yüksek metallerin aşınma direnci daha yüksektir. Ortamın sıcaklığı ve neminin sürtünme katsayısını etkilediği bilinmektedir. Şekilde görüldüğü gibi (şekil-1.13) belli bir sıcaklıktan sonra sürtünme katsayısı hızla artmaktadır[7].

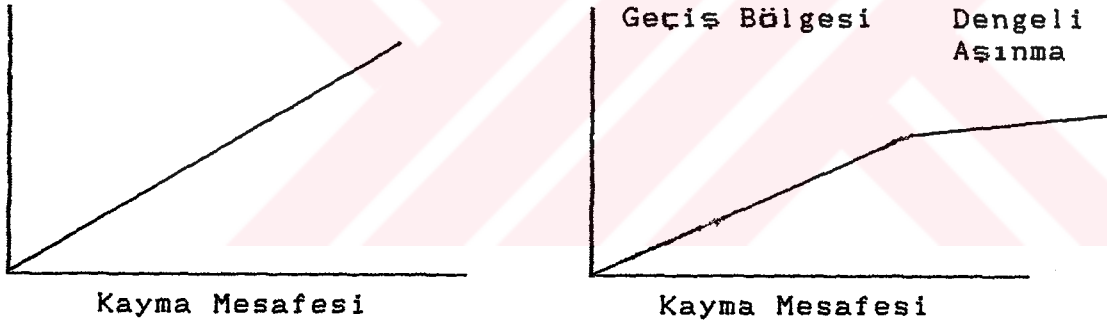
1.7.8. Yük ve Hızın Etkisi

Karşılıklı çalışan iki katı cisimden en az birinde aşınma meydana gelir. Sabit hızda ve yükte, kayma mesafesi ne karşı

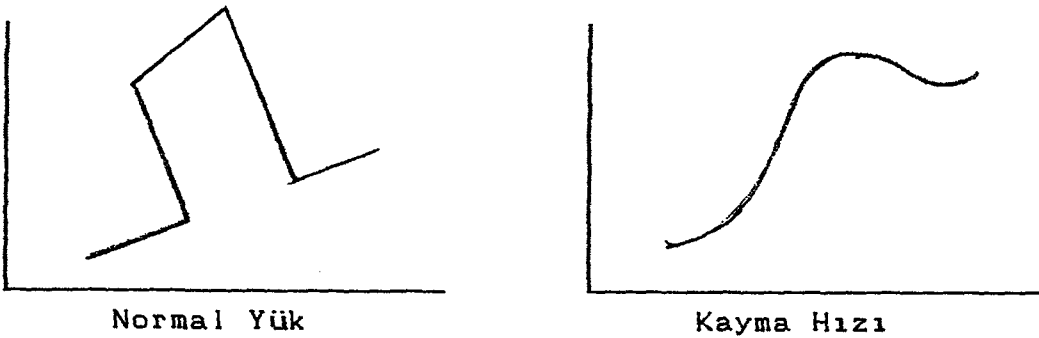
aşınma durumu şekil-1.14 ve 1.15'deki grafikte görülmektedir. Her iki durumdada aşınma kayma mesafesiyle orantılı artmaktadır. Başlangıçta aşınma biraz hızlı, sonra yavaştır. Başlangıçtaki aşınmaya, Çalışma (alışma) aşınması, sonraki aşınmayada, Dengeli aşınma denir.



Şekil-1.13. Co/Co çiftinin sıcaklığa bağlı olarak, vakumda sürtünme katsayısının değişimi[7].



Şekil-1.14. Aşınmanın kayma mesafesi ile değişimi[8].



Şekil-1.15. Aşınmanın yük ve hızla Değişimi[8].

Yukarıda belirtildiği gibi yük arttıkça aşınma artar. Fakat

yük artışıyla aşınma artış hızı azalır. Yük artınca temas alanı artar ve yüzeyde pekleşme olur. Bu nedenlerden dolayı plastik deformasyon önlenir ve aşınmada yavaşlar. Normal basınç malzemenin akma mukavemetini aştığında adhesive aşınma katsayısı ani olarak yükselir. Buna Şiddetli aşınma denir[8]. Abrasive aşınmada, 0-2,5 m/s kayma hızlarına kadar aşınma hızı ile orantılı artar. Çalışma süresi veya kayma mesafesi artıkça aşınma miktarı artar[8].

1.8. AŞINMA DENEY USULLERİ

Aşınma deneyleri, çeşitli model deneylerle yapıldığı gibi gerçek işletme şartlarında da yapılabilir. Ancak işletme şartları değiştiğinden, deneylerin aynı şartlarda yapılması zordur. Sonuçların mukayesesi güçtür. Bu nedenle aşınma deneylerinin, işletme şartlarına yakın şartlarda laboratuvarlarda yapılması daha uygundur. Böylece bugün oldukça fazla deney aparatları yapılmıştır. Aşağıda bazı deneylerin şematik resimleri gösterilmiştir(şekil-1.16).

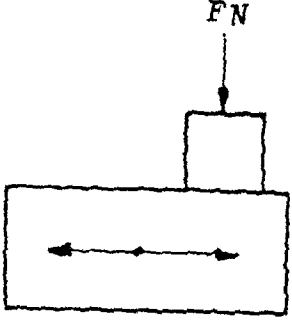
1.9. AŞINMA MİKTARININ ÖLÇÜLMESİ VE BİRİMİ

Aşınma deneylerinde elde edilen sonuçların, çoğu zaman bir mukayese edilmesi gerekir. Bu mukayesenin yapılabilmesi için aşınma durumu bilinmeli veya aşınma miktarı belirtilmelidir. Özellikle aynı gayeye yönelik deneylerden elde edilen sonuçların aynı birimlerle ifade edilmesinde büyük faydalar vardır ve mukayeseleri bu şekilde kolayca yapılabilir. Nitekim DIN 50321' de müşterek büyüklükler tavsiye edilmiştir [7].

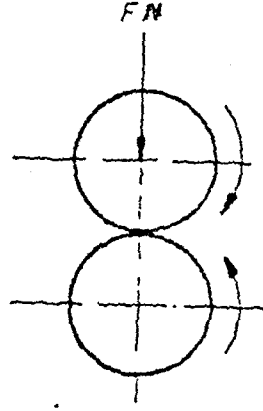
Aşınma miktarları genel olarak Hacımsal aşınma miktarı (cm^3) ve Ağırlık kaybı olarak aşınma (g) veya (mg) cinsinden ifade edilir. Bu miktarlar deney şartlarına bağlı olarak kayma yoluna veya birim alana düşen aşınma miktarı olarak belirlenebilir. Mesela hacımsal aşınma miktarının kayma mesafesine oranı (cm^3/m , cm^3/km) ağırlık kaybının kayma yoluna oranı (g/km, mg/m), kayma yolu başına aşınma miktarını ağırlık olarak verir. Ağırlık kaybının birim yüzeye oranı (g/cm^2 , g/mm^2), birim yüzeydeki aşınma kaybını ağırlık olarak verir. Diğer bir yöntemde, radyoaktif elementlerin neşrettiği gama ışınları ve radyoaktif atomların yardımı ile çok büyük hassasiyetle aşınma miktarı ölçülebilir. Bu ölçme sisteminin en büyük avantajı işletme şartlarında, cihaz durdurulmadan aşınmanın sürekli tesbit edilebilmesidir[8].

Deneylemlerin sonuçlarının doğru değerlendirilebilmesine yardımcı olabilmek ve mukayese yapmak için aşınma durumu belli olan bir malzeme ile, denemek istediğimiz malzeme aynı şartlarda deneye tabi tutularak karşılaştırılabilir. Bu şekilde çevre şartlarının değişen etkisi berteraf edilmiş olur.

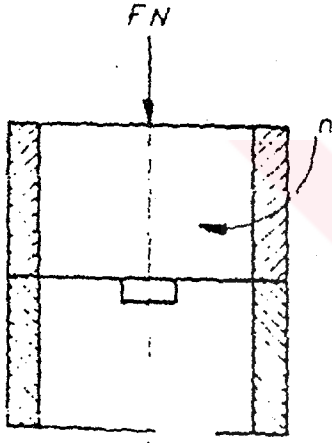
Şekil-1.16. Bazı aşına deney tesisainin şematik görünüşü



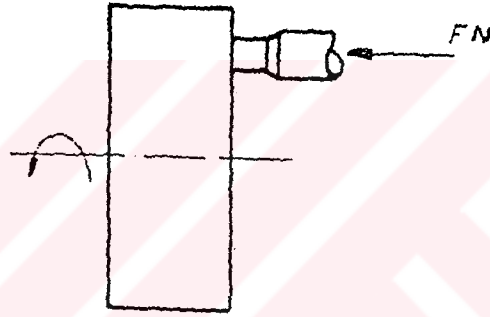
a- Kayma Sistemi



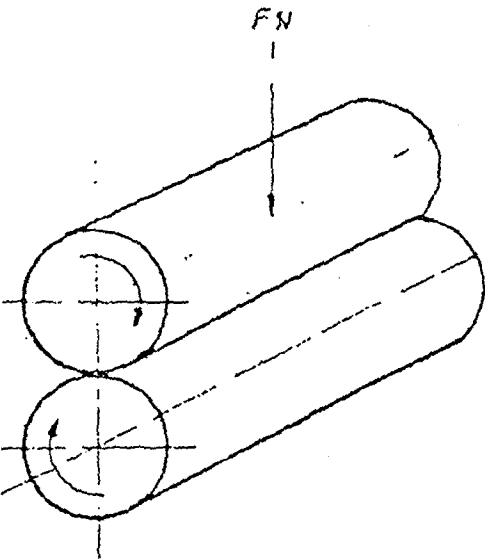
b- Yuvarlanma Sistemi



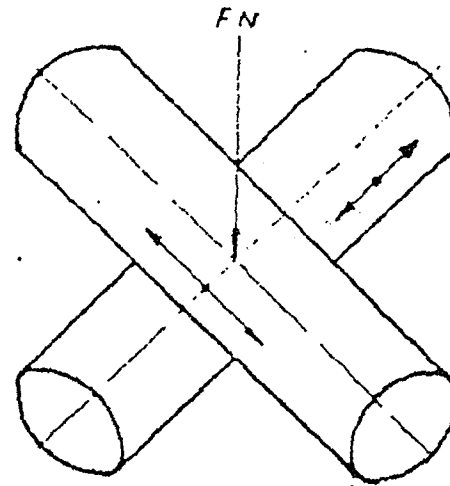
c- Siebel-Kehl Sistemi



d- Pim-Disk Sistemi



e- Amstler Sistemi



d- Çapraz Silindir Sistemi

BÖLÜM II

ISIL İŞLEMLER

2.1. GİRİŞ

Temel elemanı demir ve karbon olan günümüz teknolojisinin en önemli alaşımı çeliğin mekanik özelliklerinin geliştirilebilmesi son derece önemlidir. Karbonun yapıdaki miktarı ve dağılımı çeliğin mekanik özelliklerini belirler. Karbonun demire kazandırdığı bu özellikler şunlardır;

1. Yapının serliğinin karbonun oranının % 0,8 değerine kadar artması,
2. Mukavemet kazandırması ve
3. Yapıda grafit halde bulunması durumunda, aşınma direncini artırması şeklindedir.

Özellikle düşük ve orta miktarda karbon ihtiva eden çelikler (karbon oranı % 0,2 - 0,8 arsında), her türlü şekillendirme

yöntemi ile işlenebilir. Bu çelikler, soğuk ve sıcak dövülebilir, çekilebilir, preslenebilir ve her türlü talaşlı imalat yöntemleri ile şekillendirilebilir[13]. Düşük karbonlu çelik, makina imalat sektörün en önemli malzemesidir. Şekillendirilmeleri zor olan yüksek karbonlu çelikler (karbon oranı % 1-1,7 arasında) ise daha yüksek mukavemete sahiptir ve takım çeliklerinin yapımında kullanılır.

Son yıllarda hızla gelişen teknoloji çok çeşitli mekanik özelliklere, ihtiyaç duymaktadır. Bu ihtiyaçların bir kısmı zor, riskli ve pahalı olan alaşımlama ile sağlanır. Genellikle çeliklerin mekanik özellikleri, alaşımlama yerine daha ucuz ve kolay bir şekilde tatbik edilebilen Isıl İşlem le de geliştirilir.

Katı haldeki malzemenin, belli bir sıcaklığa kadar ısıtılıp bu sıcaklıkta bir müddet bekletilmesi ve tekrar soğutulması işlemine genel olarak Isıl İşlem denir[14]. Isıl işlemle malzemenin aşağıdaki özellikleri geliştirilebilir. Bunlar;

1. Tane yapısı,
2. İç yapısı,
3. Sertliği,
4. Tokluğu,
5. Mukavemet değerleri,
6. Korozyon ve aşınma direnci,
7. Elektrik iletkenliği ve
8. Yorulma direncidir.

2.2. DEMİR KARBON İKİLİLERİ

7,8 gr/cm³ yoğunluğunda ve 60 HB sertliğinde olan saf demirin akma sınırı; 10 kg/mm², çekme mukavemeti; 20kg/mm² kopma uzaması; % 50 ve kesit daralması; % 80 dir. Saf demir, mukavemetinin düşük olmasından dolayı teknolojik öneme sahip değildir. Saf karbonun da, demir gibi mukavemeti düşüktür ve tek başına önemli bir malzem değildir. Saf demire teknolojik özellik kazandıran karbondur. Demirle karbon bir araya getirilip alaşımlandığında, geniş mekanik özellikleri bulunan bir seri alaşım elde edilir. Yapı içerisindeki karbon, bünyede bir kaç durumda bulunabilir. Bu oluşum soğuma şartlarına ve yapıdaki mangan ve silisyum miktarına bağlıdır. Eğer yapıda silisyum miktarı fazla ve soğuma yavaşsa, karbon yapıda grafit halde bulunur. Eğer yapıda mangan fazla ve soğuma hızlı ise, karbon demire bağlı olarak bulunur[15].

Topraktan çeşitli bileşikler halinde çıkarılan demir filizi, mekanik temizlemeden sonra yüksek fırınlarda redüklenir. Elde edilen ham demir, çelik ve dökme demir elde etmek için üretim fırınlarına gönderilir. Demir - karbon alaşımında; % 2'ye kadar karbon, % 1'e mangenez, % 0,5 silisyum, % 0,05' ten az olmak üzere kükürt ve fosfor ihtiva eden malzemeye Çelik denir. Karbon oranı % 2'den fazla olan demir karbon alaşımına da Dökme Demir denir[16].

Yukarıda bahsedildiği gibi, soğuma şartlarına ve silisyumla mangan miktarı yapı üzerinde çok etkilidir. Bu nedenle yapı farklılıkları meydana gelmektedir. Bu yapılar Şunlardır;

Ferrit ; Saf demirdir. 9 atomlu kübik hacim merkezli kristal yapıya sahiptir. Yapıya esneklik ve yumuşaklık verir.

Perlit; % 0,8 C ihtiva eden ferrit ve sementitten teşekkül eder.

Sementit; Demir karbon bileşiği olup, yapıya beyaz rengi verir. Demire sertlik ve mukavemet artışı kazandırırken, şekil değiştirme kabiliyetini azaltır.

Austenit; 723 °C üzerinde karbon çözüdüren 14 atomlu ve yüzey merkezli kübik demirdir.

Grafit; Saf karbondur. Yapıya kırılganlık verir.

Ledeburit; Perlit ile sementitin ötektiğidir. % 4,3 C bulunan yapıdır.

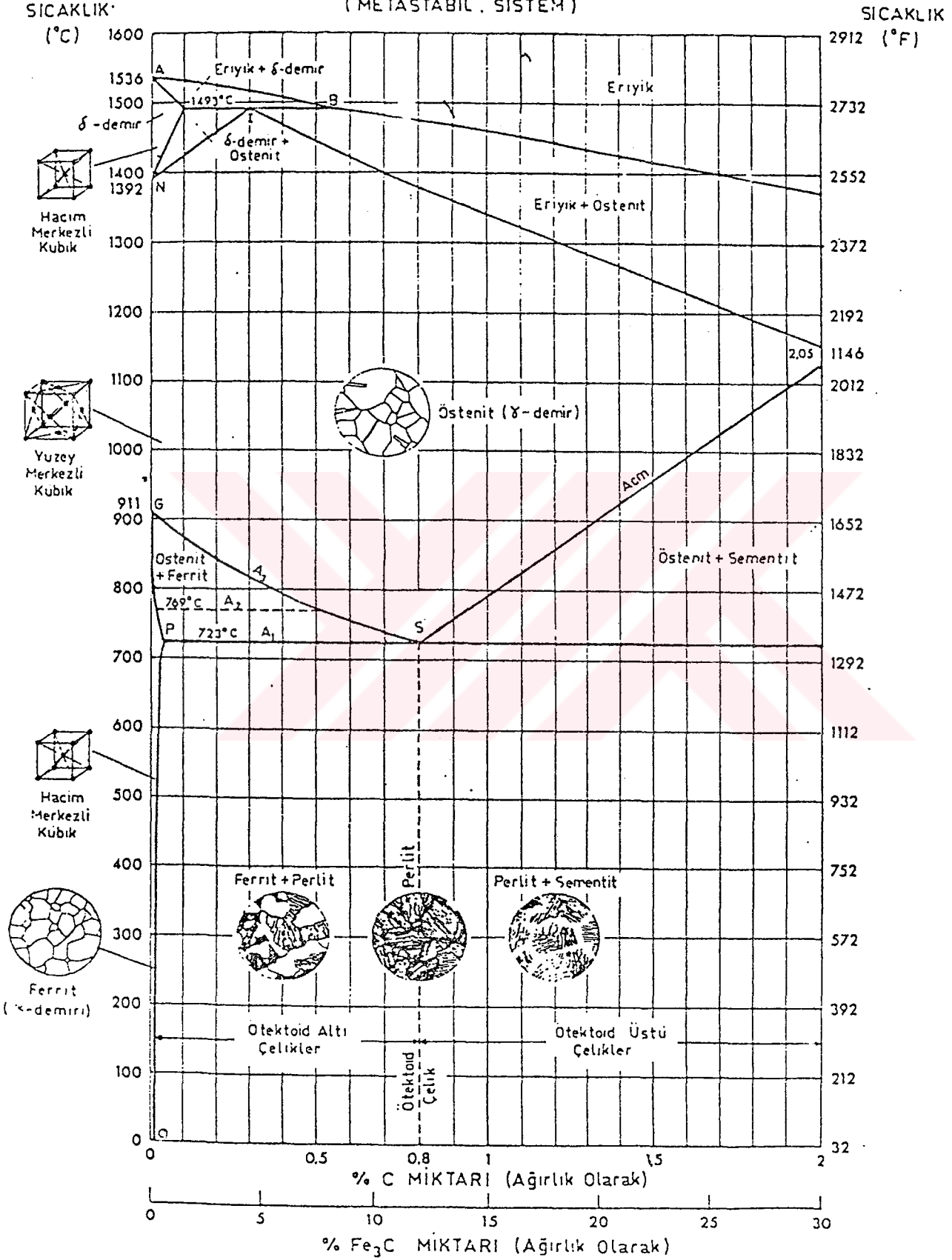
Bu yapılar denge diyagramından görüldüğü gibi, Karbon oranına ve sıcaklığa bağlı olarak bir veya bir kaç bir arada bulunabilir[15,16](şekil-2.1).

2.3. ÇELİKLERİN SERTLEŞTİRİLMESİ

Çoğu makina elemanı ve özellikle takım çelikleri, ulaşılabilir en yüksek sertlik derecesine ve aşınma mukavemetine sahip olması istenir. Bunu sağlamanın en yaygın ve başarılı yolu sertleştirmedir.

Sertleştirme işlemi için önce çelik dönüşüm sıcaklığının üzerine kadar ısıtılır, yapı tamamen austenite dönüşüncüye kadar beklenir ve sonrada hızla soğutulur. Sertleştirme sonucu amaç martenzitik bir yapı elde etmektir. Sade karbonlu çeliklerde sertleştirme ortamı su ile sağlanır. Sertleştirildikten sonra bu çeliklerin sertlikleri, HRC

DEMİR - KARBON DENGE DİYAGRAMI (ÇELİK KISMI)
(METASTABİL . SİSTEM)



Şekil-2.1. Demir - Karbon Denge Diyagramı (Çelik Kısmı)

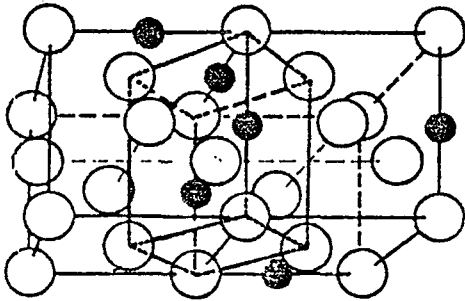
(Metastabil- Sistem) [15].

cinsinden 60-65 HRC'e kadar çıkabilir[14].

Çelik, normal ortamda austenitten soğumaya terk edilirse, yapı perlite dönüşür. Sertleştirmede önemli olan sürekli soğuma durumunda, kritik soğuma hızı aşılarak austenitin perlite dönüşümü engellenmeli ve bunun yerine martenzit yapı teşekkül ettirilmelidir.

Austenit dönüşüm sıcaklığının 30-50 °C üzerine kadar ısıtılan çelik, austenit yapıda olup karbonu bünyesinde çözündürür. Oda sıcaklığında ferritik çeliğin kafes yapısında karbon atomu bulunmaz. Austenit kafes yapısında çözünmüş olan karbon atomları hızlı soğuma sonucu buldukları kafesten çıkamazlar. Oda sıcaklığında zoraki hapsedilmiş karbon atomlu bu yapıya Martenzit adı verilir. Martenzit yapıları kafes tetragonal hacim merkezli görünümündedir(şekil-2.2).

Tetragonal kristal kafesi sürekli kayma düzlemleri içermediğinden şekil değiştirmeye karşı dirençleri yüksektir. Eğer kuvvetler çok büyükse, şekil değiştirmeden kırılırlar.



Şekil-2.2. Martenzit kafes yapısı[13].

2.4. ZAMAN SICAKLIK DÖNÜŞÜM DİYAGRAMI

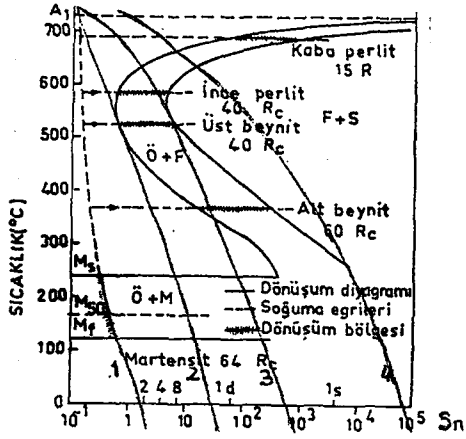
Çeliğin mekanik özelliklerini tayin eden iç yapı farklılığına

sebepe, austenitin dönüşümünde ortaya çıkar. Çelikler soğuma şartlarına göre, farklı yapı ve özellik arz eder[17].

Bu dönüşümleri belirten iki diyagram mevcuttur. Biri **Demir-Karbon** denge diyagramı, diğeri **Zaman-Sıcaklık-Dönüşüm** diyagramıdır. Bu diyagrama **Bain** veya **S** diyagramı da denir. Bu diyagram bir çeliğin austenit sıcaklığından, belli sıcaklıklara aniden düşürüldüğünde, bu sıcaklıklarda yapının zamana bağlı olarak nasıl değiştiğini gösterir(Şekil-2.3).

Diyagramda, perlit gibi, ferrit ve sementitten oluşan ve beynit olarak adlandırılan başka bir yapı daha vardır. Bu yapı perlitten daha sert ve tokluğu yüksektir. Beynit yapı sürekli soğuma ile elde edilmez. Şekil-2.3'de dört ayrı soğuma eğrisi verilmiştir. (2) nolu soğuma eğrisi (S) eğrisine teğettir. Buna kritik soğuma eğrisi (KSE) adı verilir ve sertleştirmede çok önemlidir. Yapı sert ve % 100 martenzittir. Soğuma eğrisi (3 ve 4) KSE 'nin sağında yani daha yavaş soğuma durumunda olup, yapıda perlit oluşur. Sertleştirme olmaz. (1) nolu soğuma eğrisi, KSE' nin solunda yani daha hızlı soğuma durumunu gösterir. Bu durumda, yapı sert ve martenzittir. Ancak iç gerilmeler (2) soğuma durumuna göre daha fazladır.

Sertleştirme için gerek şart; yapının martenzit olmasıdır. Bununla beraber en az iç gerimeye sahip olması arzu edilir. KSE ideal soğuma eğrisi olup yapı, %100 martenzit ve minimum iç gerilmeye sahiptir.



Şekil-2.3. Ekteoit çeliğinin Zaman-Sıcaklık-Dönüşüm diyagramı[17].

2.5. SERTLEŞEBİLİRLİK

Sertleştirme işleminde (su verme) bir çelik parçanın yüzeyinden başlayarak merkezine doğru sertliğinin ne kadar ilerleyebildiğinin ölçüsüne, o çeliğin sertleşebilirliği denir. Bir çelik ne kadar çok derinlemesine sertleştirilebiliyorsa, o çeliğin sertleşebilirliği o oranda fazladır. Bu kavram her bir çeliğin Sıcaklık-Zaman-Dönüşümüne bağlıdır. Sertleşebilirliğin ölçüsü, Jominy Deneyi ile tesbit edilir[18].

Sertleşebilirlik çelikler için çok önemlidir. Alaşımlamanın bir başka etkisi, sertleşebilirliğe olan katkısıdır[19]. Çeliklerin sertleşebilirliklerini artıran en önemli faktör, alaşım elemanlarıdır. Çeliklere katılacak her türlü alaşım elemanı sertleşebilirliği artırır (kobalt hariç). Alaşım elemanları KSE'nin sağa doğru kaymasını sağlar. Böylece sertleştirme, daha düşük soğuma hızlarında, yağda ve havada yapılır. Soğuma hızının düşük olması iç gerilmelerin daha az olması anlamına gelir.

Sertleştirmede en önemli eleman karbondur. Düşük karbonlu çeliklerin(% 0,35 kadar karbon ihtiva eden çelikler) sertleştirilmeleri için karbon oranı yeterli değildir. Bir çok makina elemanların yalnızca yüzeylerinin sertleştirilmeleri konstrüksiyon gereğidir. Geliştirilen bazı yöntemlerle, bu tür çeliklerin yalnız yüzeyleri sertleştirilmektedir. Yüzey sertleştirme ile malzemenin dış kısmı sert iç kısmı yumuşak kalır. Bu durumda malzeme hem sert, hemde esnek olup darbeleri yüklere, yorulmaya ve aşınmaya karşı dirençli olur[20].

Yüzey sertleştirme iki ana grupta mütala edilebilir. Bunlar;

1. Yüzeyin kimyasal terkipini değiştirmeden yapılan yüzey sertleştirme yöntemi(Termal),
2. Yüzeyin kimyasal terkipini değiştirerek yapılan yüzey sertleştirme yöntemidir(Termo kimyasal).

2.6. YÜZEYİN KİMYASAL TERKİBİNİ DEĞİŞTİRMEYEN YAPILAN YÜZEY SERTLEŞTİRME İŞLEMİ

Bir malzemenin kimyasal terkipini değiştirmeden sertleştirilebilmesi için malzemenin ihtiva ettiği karbon miktarının yeterli olması gerekir(C oranı % 0,4 den az olmamalıdır). Bu çeliklerin sadece yüzeyleri, ısıtılarak austenite dönüşmesi sağlanır. Isıtma işlemi için alev veya indüksiyon akımı kullanılır. Bu yöntemlerden hangisi kullanılırsa kullanılsın, parça yüzeyinin austenite dönüşmesi gerekir. Sonra aniden su püskürtülerek soğuması sağlanır[21]. Yüzeyin kimyasal yapısını değiştirmeden yapılan yüzey

sertleştirme yöntemleri şunlardır;

1. Alevle sertleştirme,
2. Fırında ısıtarak yüzey sertleştirme,
3. Banyoya daldırarak yüzey sertleştirme ve
4. indüksiyonla yüzey sertleştirme.

2.6.1 Alevle Yüzey Sertleştirme

Krom-nikel veya krom-molibden alaşımlı çeliklere ve karbon oranı % 0,35-0,70 arasında olan sade karbonlu çeliklere uygulanır. Alevle sertleştirme, bir çeliğin sertleştirme sıcaklığına kadar bir kaynak üflecinden çıkan alevle ısıtıldıktan sonra su veya yağ ile soğutulmasıdır. Eğer çeliğin sertleşme yeteneği fazla ise istenilen sertlik havada soğuma ile sağlanır.

Alevle sertleştirmede kullanılan gaz genellikle, oksijen ile asetilen, doğal gaz veya propan gibi yanıcı gazların karışımıdır. Alevin şiddeti ve parçanın alevde kalma süresi istenilen sertlik derinliğine ve değerine bağlıdır. Bu yöntemle sertleştirilmiş kabuk derinliği 3-4mm dolayındadır. Bu yöntemle, her türlü büyüklükte çeliğin yüzeyini doğrudan ısıtmak mümkündür. Alevle sertleştirme, el ile yapıldığı gibi, Spin adı verilen dönel bir tabla üzerinde yapılır. Simetrik iş parçaları için geliştirilmiş başka bir uygulaması daha mevcuttur. Ayrıca sertleştirme kademeli olarakta yapılabilir. Alevle sertleştirme yönteminde, çeliğin aşırı ısıtılması durumunda, oksitlenme tehlikesi vardır. Sertleştirmede kolayca ulaşılan 1100 °C de çelik şiddetle oksitlenir, hatta

yapıda azda olsa var olan bakır erir. Bu durumda, çelik yüzeyi çekme gerilmesine maruz kalırsa, bakır tane sınırlarında toplanır ve çatlamaya sebep olur[14,16,21].

2.6.2. Fırında ısıtılarak Yüzey Sertleştirme

Parçanın dış kısmı içindeki karbon miktarına bağlı olarak dönüşüm sıcaklığının biraz üstünde tavllanır yada bu sıcaklıklardaki fırınlara konur. Bu fırınlarda en azından parça yüzeyinin austanit dönüşmesi tamamlanincaya kadar beklenir. Ancak bu süre oldukça önemli olup iyi ayarlanmalıdır. Malzeme daha sonra uygun bir ortamda soğutularak sertleştirilir[16].

2.6.3. Banyoya Daldırılarak Sertleştirme

Daldırma ile sertleştirme işleminde 1000-1200 °C sıcaklıktaki tuz veya metal banyolarına daldırılarak parçanın dış yüzeyi su verme sıcaklığına erişinceye kadar hızla ısıtılır. Bu durumda parçanın iç kısmı yeterince ısınmaz. Metal banyoları (erimiş bronzlar) iyi ısı iletkenlikleri nedeni ile sertleştirilecek parçanın hızla ısınmasını sağlar. Daldırma, parçanın büyüklüğüne göre bir kaç saniyeden iki dakika kadar süreler içinde yapılır. Isıl işleme tabi tutulmuş parçaların, banyoya daldırılarak sertleştirilmeleri daha yaygındır[14].

2.6.4. İndüksiyonla Yüzey Sertleştirme

Esas itibarı ile alevle sertleşmeye benzer. Parçaları ısıtma sistemleri değişiktir. İndüksiyonla sertleştirmede, enerji

kaynağı olarak, elektrik enerjisi kullanılır. Yüksek frekanslı bir alternatif akım kaynağına bağlı bakır sargılar yardımı ile parça yüzeyinde indüksiyon akımı oluşturulur. Bu akım ile ısıtma sağlanır. Meydana gelen olay transformatördeki benzerdir. Bobin primer sargıyı, parça ise demir çekirdeği ve sekonder sargıyı oluşturur. Parça yüzeyi kısa devre olmuş sargı gibidir. Bunun dışında ayrıca parça içerisinde ısınmaya neden olan kabuk "Skin efekt" etkisi vardır. Akımın frekansının artması ile indüksiyon akımı yüzeyde sıkışır. Bu amaç için 10-10000 Hz frekanslardaki akımlar kullanılır[22,23].

Yüksek frekanslı elektromanyetik alandan geçirilen çelik ve bazı dökme demirler, bir kaç saniyede sertleşme sıcaklığına ulaşır. Tavlanan yüzey daha sonra uygun bir yöntemle kısa sürede soğutulur ve sertleştirilir. Indüksiyonla sertleştirmede ulaşılan sertlik 50-60 HRC ve etkili sertleşme derinliği 3-5mm dir[17].

Indüksiyonla sertleştirme diğer klasik yöntemlerle mukayese edildiğinde, önemli avantajları vardır. Bunlar;

1. Sınırlandırılmış bölgesel sertleştirme,
2. Kısa ısıtma süresi,
3. En az oksitlenme riski,
4. Az miktarda deformasyon,
5. Yorulma direncinde artış ve
6. Düşük maliyettir.

Dezavantajları ise, tehzizatın maliyetinin yüksek olması ve

ancak belli şekildeki parçalara uygulanabilmesi sayılabilir[22,23].

2.7. YÜZEYİN KİMYASAL DURUMUNU DEĞİŞTİREREK YAPILAN YÜZEY SERTLEŞTİRME

Bazı metaller ve özellikle düşük karbonlu çeliklerin normal yollarla sertleştirilmeleri yeterli değildir. Sertleştirmede en önemli rolü karbon oynar. Yapıda yeterli karbon bulunmazsa, istenen sertleştirme olmaz. Ayrıca yüzeyin kimyasal durumunu değiştirerek yapılan sertleşme ile malzemenin sertliği, diğer sertleştirme metodlarına göre daha fazla artar.

Yüzeyde sert bir kabuk oluşturmak amacıyla, yüzeyin kimyasal yapısı değiştirilir. Bunun için geliştirilmiş belli başlı metodlar; Karbürizasyon, nitrürasyon karbonütrürasyon ve yüzey alaşımlama metodlarıdır. Sementasyon olarak bilinen karbürizasyonla, düşük karbonlu çeliklerin, yüzeyindeki karbon miktarının sertleştirme için yeterli seviyeye gelmesi sağlanır. Nitrürasyon da ise yüzeyde sert bir nitrür tabakası elde edilir. Karbonütrürasyon işleminde ise bu iki yöntem birleştirilmiştir[22].

Malzeme yüzey sertliğini artırmanın bir diğer yöntemi de yalnızca malzeme yüzeyinin alaşımlandırılmasıdır. Alaşım elemanı olarak Si, Br gibi elementler kullanılarak, yüzeyde bunların karbürleri oluşturulur. Yüzey alaşımlamada enerji kaynağı olarakta laser veya elektron ışını kullanılır. Bu yöntemle yüksek yüzey sertliği elde edilir.

2.7.1. Karbürüzasyon (Sementasyon)

Düşük karbonlu çelik parçaların yüzeyi karbon verici ortamda (yaklaşık 900°C sıcaklıkta), saatlerce tutulup karbonca zenginleştirildikten sonra hızla soğutularak yapılan yüzey sertleştirme işlemine **Sementasyon** denir. Karbürlemeyle sertleştirilmiş çeliklerin yüzeyleri sert ve aşınmaya dayanıklıdır, çekirdeği ise daha yumuşak ve toktur.

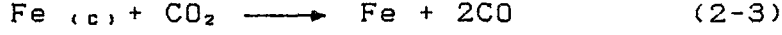
Karbonlama işlemi çeşitli karbon verici ortamlarda yapılabilir. Austenit sıcaklığındaki çelik parça, karbon monoksit (CO) ihtiva eden ortamda, gaz-metal reaksiyonu sonucu karbon emer. Sementasyon işlemi takriben 900 °C sıcaklıkta yapılır ve bu sıcaklığa **sementasyon sıcaklığı** denir[22]. Karbon emme aşağıdaki reaksiyonlara göre olur.



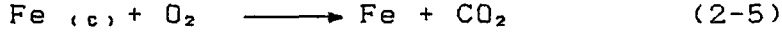
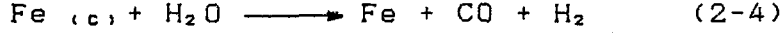
Meydana gelen karbon monoksit, austenit fazdaki çelik parça yüzeyinde parçalanır. Açığa çıkan karbon, çelik yüzeyi tarafından alınır.



Fe (c), reaksiyon sonucu austenit fazda karbonu çözüdüren demirdir. Yukarıdaki reaksiyonlar tersinirdir. Bu nedenle sıcaklığın azalması ile reaksiyonlar sağdan sola doğru ceryan eder ve karbondioksitçe zengin bir gaz atmosferi oluşturur. Eğer çelik böyle bir ortamda kalırsa, (2-2) reaksiyonu tersine ceryan eder ve karbonun yüzeyden atmosfere geçmesiyle neticelenir. Bunun sonucunda, yüzeydeki karbon oranı azalır. Buna **Dekarbürizasyon** denir (karbonsuzlaşma).



Dekarbürüzasyon aşağıdaki reaksiyonlar sonucunda meydana gelebilir. Bu reaksiyonlar şunlardır;



Eğer çelik parça dekarbürüze olursa, yüzeyin karbon oranı azalacağından, martenzit teşekkül etmez ve sertleşme olmaz böylece yüzey yumuşak kalır. Bu arzu edilen bir durum değildir. Dekarbürüzasyonu önlemek için, fırında endotermik gaz atmosferi oluşturulur ve böylece çelik parçanın yüzeyi karbonmonoksit, oksijen ve su buharından korunur[24].

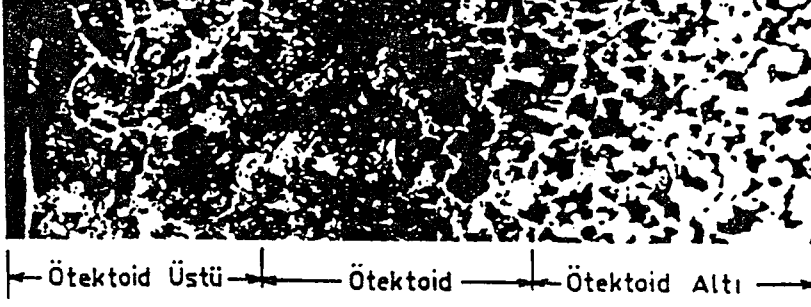
Karbürleme sıcaklığında, karbon difüzyonu arzu edilen derinliğe kadar ilerlemesi için bekleme süresi iyi ayarlanmalıdır. Bunun için gerekli süreye **Sementasyon Süresi** denir. Bu süre sonunda karbonun ilerleme derinliğine **Sementasyon Derinliği** denir. Yüzeyden itibaren karbon miktarı derinlik boyunca azalır. Eğer çelik yavaş soğutulursa, endiş kabuk perlit ve sementit ihtiva eder ve yüksek karbonlu ötektoit üstü çelik yapısında olur. Yüzeyin biraz altında ötektoit yapı görünümü hakimdir. Daha derinlerde ise, ötektoit altı ferritik yapıdır(şekil-2.4)[24,25].

2.7.2 Karbürüzasyon metodları

Karbürleme metod ve uygulama olarak karbonun elde edildiği kaynak ve elde ediliş yöntemine bağlıdır. Karbonlamanın yapılış biçimlerine **Karbürleme Metodları** denir. Bunlar;

1. Kutu karbürleme(karbonlama),

2. Sıvı (Tuz banyosunda) karbürleme ve
3. Gaz karbürlemedir.



Sekil-2.4. % 0,2 C ihtiva eden bir çelik 6 saat süreyle semente edildikten sonraki yapısının mikroskop altındaki görünüşü[26].

2.7.2.1 Kutu Karbürleme

Kutuda yapılan karbürleme işleminde karbon verici olarak genellikle odun kömürü kullanılır. Karbürlenecek parçalar, çelik ve dökme demirden yapılmış kutuların içerisindeki odun kömürüne gömülür ve kutunun ağzı iyice kapatılarak fırına konulur. Yüksek sıcaklıkta odun kömürü kutudaki oksijenle reaksiyona girerek, CO_2 oluşturur. CO_2 gazı tekrar odun kömürü ile reaksiyona girer ve CO gazını oluşturur. Bu reaksiyon (2-1) deki gibi cereyan eder[20].

Sıcaklık artıkça, CO gazı oluşumu artar. Bu gaz çelik yüzeyinde parçalanarak CO_2 ve atomik karbona (C) ayrışır. Atomik karbon, austenit fazda bulunan çelik tarafından emilir. Böylece çelik parçanın yüzeyi karbonca zenginleşir. Açığa çıkan CO_2 gazı odun kömürü ile tekrar reaksiyona girer ve bu reaksiyon zincirleme olarak devam eder. Kutudaki

oksijen miktarı gittikçe azalır ve CO gazı yetersiz bir seviyeye gelir. Bu nedenle odun kömürüne % 20 oranında reaksiyon hızlandırıcı alkali metal karbonatları ilave edilir. Bu karbonatların % 50-70'i Baryum karbonat ($BaCO_3$), arta kalanı ise kalsiyum karbonat ve sodyum karbonattan ibarettir.

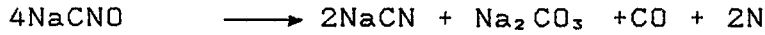
Isıtma ve soğutmaya fazlaca zaman harcanması nedeniyle büyük parçaların bu yöntemle karbürlenmesi uygun değildir. Kutu karbürlemede, kabuk kalınlığı 1 mm den fazla ve çarpılma 0,2 mm dir. Bu metod, techizatı basit ve yatırım maliyeti düşük olmasından dolayı, seri üretim yapmayan düşük kapasiteli işletmeler için uygundur[20,23].

2.7.2.2 Sıvı (Tuz Banyosu) Karbürüzasyonu

Bu metodta, karbon veriçi ortam olarak siyanür ($NaCN$) veya potasyum siyanür (KCN) gibi tuzlar kullanılır. Bu tuzların seçimi, karbürleme sıcaklığı ve derinliğine bağlıdır.

Birinci tür, düşük çalışma sıcaklıklarında kullanılır ve kabuk derinliği daha incedir. Bu durumda; % 20 siyanür bulunur ve çalışma sıcaklığı 845-899 °C dir. Bu banyoda, yaklaşık olarak 0,9 mm kalınlığında kabuk elde edilebilir. İkinci tür ise, kabuk derinliğini artırır. Bu tuz % 0,10 siyanür ihtiva eder ve 899-954 °C sıcaklıkları arasında kullanılır. Bu tip tuz banyosunda, kabuk derinliği normal olarak 3 mm kadardır. İstenirse bu derinlik 6 mm 'e kadar çıkarılabilir.

Sıvı karbürüzasyon aşağıdaki reaksiyona göre cereyan eder.



(2-6) reaksiyonu, siyanür tuzu ile oksijen arasında meydana gelir. Meydana gelen NaCNO, CO ve atomik azot (N) olarak ayrışır. 850-950 °C sıcaklıkta, austenit fazda bulunan çelik, CO gazı ile reaksiyona girerek, C 'la beraber bir miktar azotu da bünyesine alır. Absorbe edilen karbon ve azotun miktarı, banyonun sıcaklığına ve siyanür oranına bağlıdır[25].

Parçalar tuz banyosuna daldırılmadan önce, 100-400 °C sıcaklıkta tavlansarak, parçaların nemi atılır. Tuz banyosunda büyük parçalar, karbürlenirken homojenlik sağlamak için sıvı karıştırılır.

Sıvı karbürlemede Yüksek ısı iletimi nedeniyle parçalar, kısa sürede istenilen sıcaklığa ulaşır. Bu metod genellikle, kabuk derinliği 2 mm den fazla olmayan, kısmen daha küçük ve az girintili çıkıntılı parçalara uygulanır[25].

2.7.2.3 Gaz Karbürüzasyon

Son yıllarda oldukça yaygın hale gelen gaz karbürleme ile çok başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Gaz karbürleme; metan (CH₄) veya propan (C₂H₆) ihtiva eden CO-CO₂ esaslı kapalı fırın atmosferinde gerçekleştirilir. Karbon kaynağı, CO gazı veya çeşitli hidrokarbonlardır. Karbürleme sıcaklığında çeşitli reaksiyonlar oluşur. Aşağıdaki reaksiyonlar sonucu

açığa çıkan atomik karbon, austenit fazdaki çelik bünyesine girerek yüzede karbonca zengin bir kabuk oluşturur.

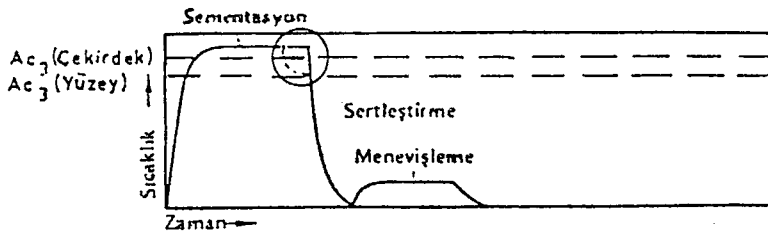


Gaz karbürleme metodu ile daha hassas, temiz ve hızlı sertleştirme yapılabilir[26].

2.7.3. Sertleştirme

Karbürleme işlemiyle, yüzeyi karbonca zenginleştirilmiş parçaya, istenen kabuk ve çekirdek özelliklerine bağlı olarak, çelikler çeşitli şekillerde sertleştirilebilir(TS 2850 ve DIN 17200 de belirtildiği gibi). En yaygın olanı 900°C veya biraz daha düşük sıcaklıklarda(800°C) yapılan sertleştirmedir. Çelik, karbonu emdikten sonra, istenen sertlik durumuna göre, aşağıdaki şekillerde sertleştirilir[26].

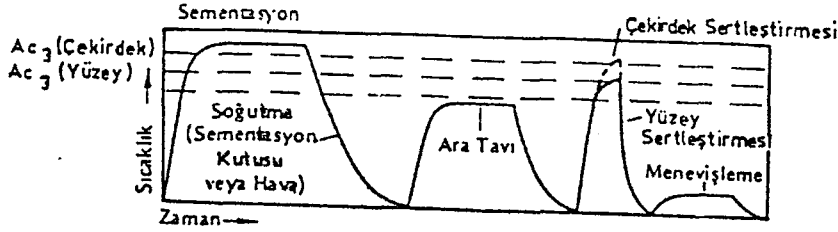
1. Direkt sertleştirme: Çelik, sertleştirme sıcaklığından direkt olarak uygun yağ, su ve sıcak banyo ortamında soğutulur ve menevişlenir(Şekil-2.5).



Şekil-2.5. Direkt sertleştirme[26].

2. Basit sertleştirme: Çelik, fırında veya havada

soğumaya bırakılır. Çelik, aşağıdaki grafikte görüldüğü gibi tavlamaya tabi tutulur, sonra tekrar austenit dönüşüm sıcaklığına kadar ısıtılır ve yeniden istenilen sertlik durumuna göre soğutulur(şekil-2.6).



Şekil-2.6. Basit sertleştirme[26]

Bazı durumlarda, yüzey ve çekirdek sertleştirme için nihai işlem olarak menevişleme yapılır. Bazen de ara tavlama yapılmaz.

3. Çift sertleştirme: Karbonlanan malzeme, direk sertleştirilir, sonra yüzey dönüşüm sıcaklığına kadar ısıtılarak tekrar sertleştirilir ve menevişlenir. Bu yöntemle iyi sonuçlar elde edilmesine karşılık ard arda yapılan sertleştirmeler sonucu çelikte çarpılmalar olabilir.

Sertleştirme işleminden sonra meydana gelen iç gerilmelerden dolayı malzemenin çatlama ve çarpılma riskini azaltmak için 160-220 °C sıcaklıkları arasında **Menevişleme** yapılır. Menevişleme süresi 1-2 saat kadardır. Eğer parça yüzey sertliğinin, 60 HRC den az olması isteniyorsa, menevişleme sıcaklığı 180°C den fazla olmalıdır[25].

Karbürlemede, çeliğin terkibi ve özellikle ortamdaki nem miktarının, yüzeydeki karbonun çelığe geçişini etkiler. Ayrıca çeliğin çözüdüreceği karbon miktarı parçanın fırında

kalış süresine de bağlıdır. Bu faktörler, karbonlamadan sonraki sertleştirme işlemini de etkiler[24].

2.7.4. Karbürüzyon Derinliği

Karbürleme sonunda çelik, yüzeyden belli bir derinliğe kadar karbon emer. Karbonlanmış çeliklerin, etkili sertlik derinliği, karbürleme sınır değeri olarak esas alınır. Sınır değeri olarak kabul edilen bu derinlikteki toplam karbon oranı, yavaş soğuma sonucu belli bir perlit yüzdesine tekabül eder ve yüzeyin sertleştirilmesi için yeterlidir. Bu değerlerin sertliğe olan etkileri, soğuma şartları, çeliğin kimyasal terkipi ve parça boyutu ile beraber değerlendirilir. İstenen sertlik değerini elde etmek için bu faktörler arasında uygunluk sağlanır. Bu değerler, Etkili Derinlik sınır değerine göre belirlenir. TS 1719 ile "Sementasyon ve Sertleştirmede Elde Edilen Etkili Derinliğin Tayini ve Kontrolü" belirlenmiştir. Mesela, 0,3 mm 'den büyük sertlik derinliklerin tayininde sınır değeri olarak 550HV öngörülmüştür. Pratikte 55HRC sertliğine tekabül eden derinlik, Etkili Derinlik olarak kullanılmaktadır[24].

Yapılan deneyler sonucu, aşağıda görüldüğü gibi sertlik ve sementasyon derinliğini gösteren grafik elde edilmiştir. Bu grafikte etkili derinlik, 1,15 mm dir. Difüzyon denklemine göre de sementasyon derinliği hesaplanabilir. Difüzyon denklemi;

$$X = k \sqrt{t} \text{ dir.} \quad (2-12)$$

Burada, X sementasyon derinliğini, k difüzyon katsayısını ve

t difüzyon süresini temsil eder. k katsayısı 875, 900 ve 925 °C sıcaklıklarda sırasıyla, 0,34, 0,41 ve 0,52 mm/√h dir (tablo 3-1). Difüzyon katsayısı (k) sertleştirme şartlarına ve parçaya bağlı olarak değişir [22,27].

% 0,20 C ihtiva eden sade karbonlu çeliğin 1050 ° C de sementasyon derinliğinin sementasyon süresi ile değişimi şekil-2.7 de görülmektedir [27]. Sertleşme derinliği, k katsayısı gibi parçanın boyut ve yapısı ile soğuma şartlarına bağlı olarak değişir. Şekil-2-8 de, 900°C kutu karbürlelendikten, sonra 780°C suda, şekil-2.9 de ise 820 °C sertleştirilen, 13NiCr6 çeliğine ait sertlik ve sementasyon derinlikleri görülmektedir.

Tablo-2.1. Sementasyon derinliğinin sıcaklık ve zamanla ilişkisi [25].

Sıcaklık Zaman (Saat)	SEMENTASYON DERİNLİKLERİ (mm)				
	843 °C	871 °C	899 °C	927 °C	954 °C
1	0.38	0.46	0.53	0.63	0.74
2	0.53	0.63	0.76	0.89	1.04
3	0.64	0.79	0.94	1.09	1.30
4	0.74	0.89	1.07	1.27	1.50
5	0.84	1.02	1.19	1.42	1.68
6	0.91	1.09	1.32	1.55	1.83
7	0.99	1.19	1.42	1.68	1.98
8	1.04	1.27	1.52	1.80	2.11
9	1.12	1.35	1.6	1.90	2.24

Sementasyon derinliği, çelik kalitesine bağlıdır. İnce kesitli parçalarda bu durum fazla önemli değildir. Büyük boyutlu parçalarda etkili derinliğin fazla olması istendiğinde, karbürleme zamanı oldukça önemlidir [26].

2.7.5. Yüzey Sertliği

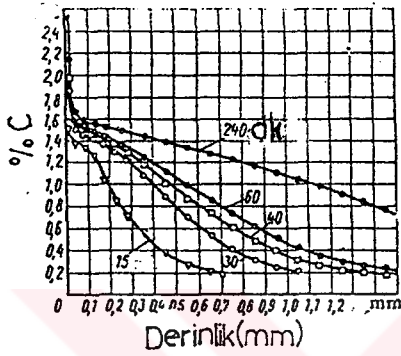
Karbürleşmiş parçaların yüzey sertliği bir çok değişkene bağlı olmakla beraber, temel faktör, austenit fazda çözünen karbon miktarıdır. Yüksek karbonlu veya alaşımlı çelikler genellikle sıfırın altındaki sıcaklıklarda sertleştirilirler. Oda sıcaklığında sertleştirilen yüksek oranda karbürleşmiş çeliklerin yüzeyinde bir miktar artık austenit bulunur. Bu nedenle yüzeyde çözünen karbon oranının % 0,80-1,00 civarında olması tavsiye edilir. Karbürleşmiş bir parçada sertlik dağılımı şekil-2.10 da verilmiştir. Sertlik iç kısma gidildikçe önce artar sonra azalır. İdeal şartlarda yapılan yüzey sertleştirme ile yüzey sertliği 65-67HRC değerine ulaşabilir[25].

Yüzeyde karbon oranının fazla olması iki sebepten sakıncalıdır. Birincisi, eğer çelik sementasyon sıcaklığından itibaren yavaş soğutulursa, perlit tane sınırında sementit ağı oluşur. Bu yapıdaki çelik, ötekoit üstü çelikler için öngörülen sıcaklıkta sertleştirilmesi durumunda sementit ağı yapıda olduğu gibi kalır ve sertlik beklenilenden daha düşük olur. İkincisi ise, yüzeyde karbon oranı % 0,80 i aşarsa, sertleştirme sonrası yapıda artık austenit kalır ve bu nedenle sertlik azalır(şekil-2.10). Böylece yüzeydeki karbon oranının üst sınırı olarak % 0,80 esas alınır.

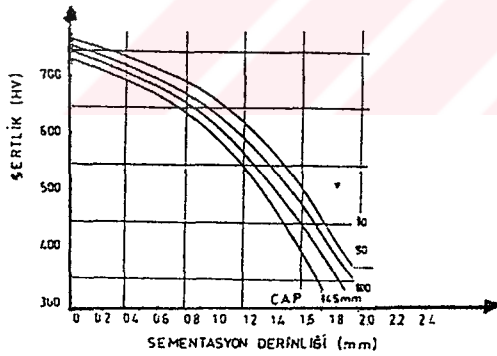
Yüzeydeki karbon oranı sementasyon süresi ile ayarlanır. Bu süre fazla olursa artık austenit riski artar. Austenit fazda çözünen karbon miktarı, kontrol edilir ve sertleştirme

sıcaklığı uygun seçilirse, artık austenit oranı azalır.

Kutu karbürlemede, karbon oranı bir dereceye kadar karbon verici karışımın aktifliği ile ayarlanabilir. Karbon kaynağının aktifliği ve sementasyon sıcaklığı düşükse, karbonun çelik yüzeyine geçişinde yavaş olur.



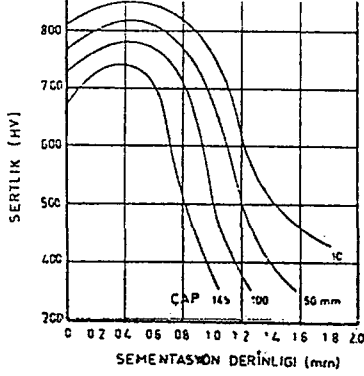
Şekil-2.7. %0,20 C lu bir çeliğin sementasyon süresinin sementasyon derinliğine etkisi[26].



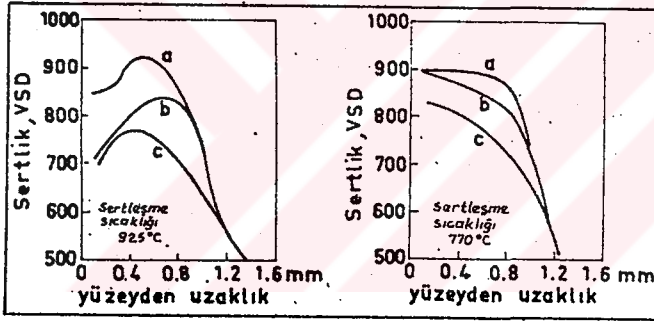
Şeki-2.8- 13NiCr6 çeliği, 900°C de kutu sementasyonu yapıldıktan sonra 780°C den suda basit sertleştirmesi ile elde edilen yüzey sertlik değişim eğrileri[26].

Sementasyon zamanı da önemli bir faktördür. Bu zaman artırılırsa, austenit fazda çözünen karbon miktarı da artar. Yapıda yer alan artık austenit oranını çift sertleştirme ile

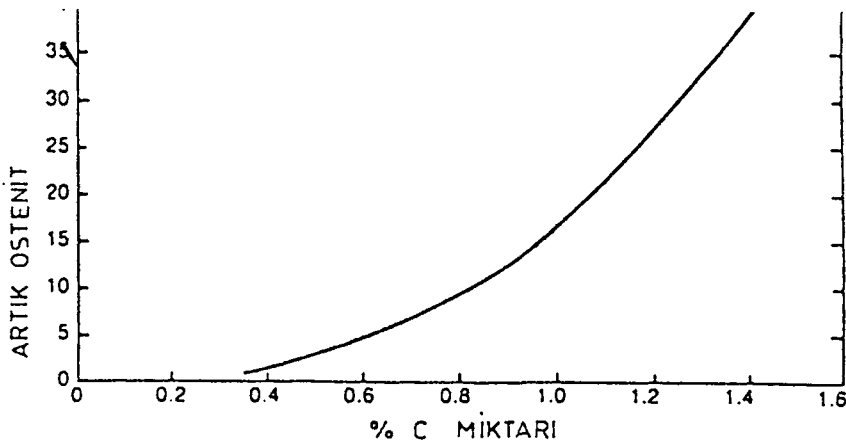
kontrol etmek mümkündür. Şekil-2.13 ve 14 de sementasyon süresinin, 13NiCr6 çeliğinin sertleşmesine ve sertlik derinliğine olan etkisi gösterilmiştir.



Şeki-2.9. 13NiCr6 çeliği, 900°C de kutuda semente edildikten sonra, 820°C den yağda basit sertleştirilmesi sonrası elde edilen yüzey sertlik değişim eğrileri[26].



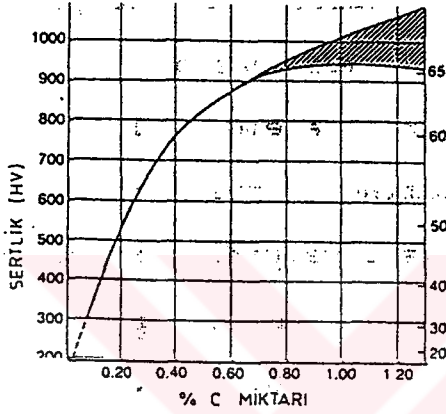
Şekil-2.10. Ck 15 (1015) çeliğinin çeşitli ortamlardaki sertlik dağılımı a: -80°C de, b: Oda sıcaklığında, c: Oda sıcaklığında su verilmiş ve 180°C de menevişlenmiş[25].



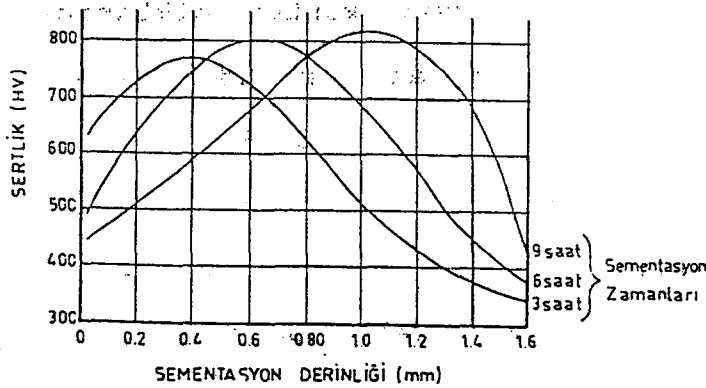
Şekil-2.11. Demir-karbon alaşımında, karbon miktarına bağlı olarak martenzit yapısındaki artık austenit değişimi[27].

2.7.6. Çekirdek Sertliği

Çekirdek sertliğine, parçanın boyutu, sementasyon sonrası sertleştirme sıcaklığı ve azda olsa yüze emdirilen karbon oranının tesirleri vardır. Yapılan bir çok çalışma ile çekirdek sertliğinin bağlı bulunduğu değişkenler ortaya konmuştur.

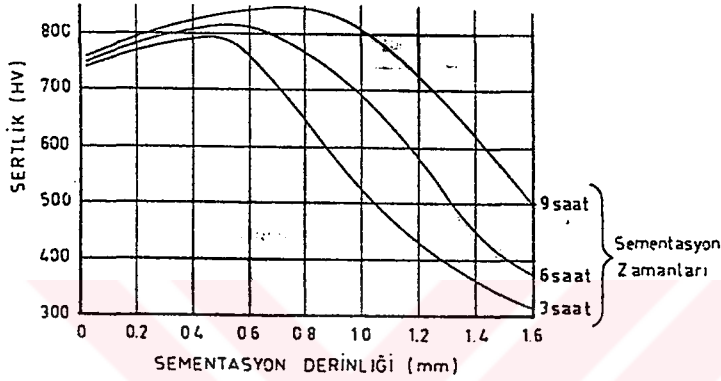


Sekil-2.12. Karbon miktarının, martenzitik çeliklerin sertliğine etkisi. Taranmış bölge, artık austenitin sertlik azalmasına tesirini göstermektedir[27].



Sekil-2.13. 13NiCr6 sementasyon çeligin 925°C de değişik sürelerde kutuda semente edildikten sonra yağda direkt sertleştirme sonrası sertlik değişim eğrileri[26].

Ck15 çeliğinden hazırlanan 10 ve 15 mm çapındaki numuneler, farklı sıcaklıklarda (915, 830 ve 770°C) sertleştirilmişlerdir. Bu numunelerin sertlikleri, derinlik boyunca yani çekirdeğe doğru azalmaktadır. Ayrıca parçanın çapı arttıkça, sertlik değeri azalmaktadır (Şekil-2.15, 16 ve 17) .



Şekil-2.14 13NiCr6 çeliği 925°C'de değişik sürelerde kutuda sementasyon edildikten sonra 830°C'de yağda basit sertleştirme sonrası sertlik değişim eğrileri [26].

13NiCr6 çeliği için yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar, Şekil-2.18'de verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi sertlik, sementasyon sıcaklığının artışı ile artar. Ayrıca metalurjik incelemeler, sıcaklık artışı ile yapıdaki ferrit oranının azaldığını göstermektedir.

2.8 KARBÜRLEMENİN MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ

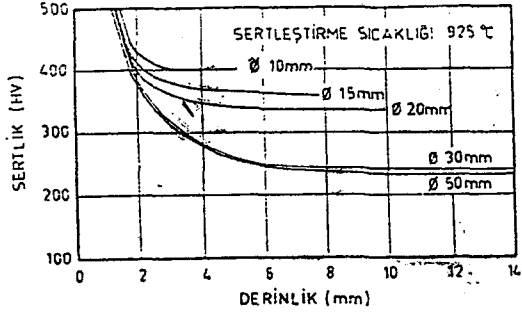
2.8.1 Sertlik Durumu

Karbürleme, esasen yüzey sertleştirme amacı ile yapılır. Bu işlemle, yüzey % 100 martenzit iken, sertlik maksimum 67 HRC'e ulaşabilir. Ancak bazı hallerde, mesela; alaşımlı

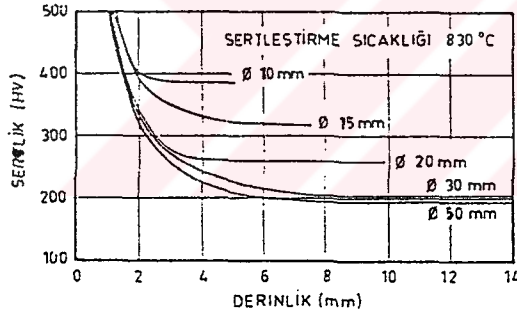
çeliklerin sertleştirilmiş yapısında, artık austenit bulunması nedeniyle, sertlik bir miktar düşer[25,26,27].

2.8.2. Yorulma Durumu

Karbürleşmiş parçalar, yüksek yüzey mukavemetine sahiptir. Ayrıca kabukta oluşan basma iç gerilmeleri, yorulma



Şekil-2.15. 915°C de sertleştirilen 10 ve 15 mm çaplarındaki Ck15 çeliğinin sertliğinin derinlikle değişimi[26].

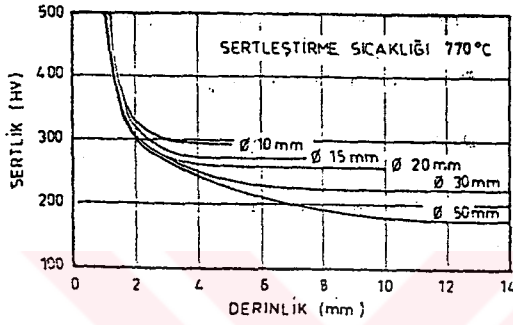


Şekil-2.16. 830°C de sertleştirilen 10 ve 15 mm çaplarındaki Ck15 çeliğinin sertliğinin derinlikle değişimi[26].

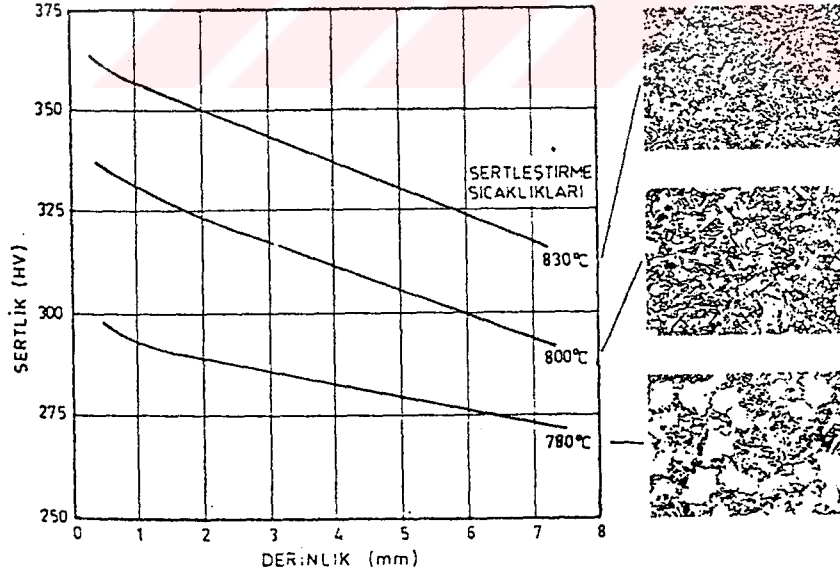
mukavemetine artırır[28]. Basma iç gerilmeleri, yüzeydeki karbon oranı ve soğutma hızı ile orantılı artar. Karbürleşmiş parçalarda, yorulma çatlakları kabuğun hemen altındaki çekme iç gerilmeleri bölgesinde başlar. Kabuk kalınlığı ne kadar fazla ise çekme gerilmeleride o denli fazladır[20,24,25].

2.8.3. Aşınma Durumu

Aşınma bahsinde belirtildiği gibi, aşınma direncini artıran en önemli mekanik etki sertliktir. Bu nedenle karbürleme öncelikle sertlik artışı sağladığından, aşınma direncini artırır. Yüzeyde kayma mukavemeti yüksek olan martenzit yapının olması çeliğin, sertlik ve aşınma direncini artırır[28].



Sekil-2.17. 770°C de sertleştirilen 10, 15, 20, 30, ve 50 mm çaplarındaki Ck15 çeliğinin sertliğinin derinlikle değişimi[26].



Sekil-2.18. 13NiCr6 çeliğinin sertleştirme sonrası iç yapısının sertliği ve bu sertliğin sementasyon sıcaklığı ile ilişkisi[26]

Yüzey sertliği 58 HRC nin altına düşmedikçe, kalıntı austenit aşınma direncine etkisi yok denecek kadar azdır. Yapısında artık austenit bulunan bir çelik, yüzey deformasyonuna maruz bırakılırsa, aşınma direncin de önemli artışlar olur. Yüksek aşınma direnci, şekil değiştirme sertleşmesine maruz bırakılmış ve daha sünek, alaşımlı çeliklerde görülür[29].

2.8.4 Tokluk Durumu

Karbürleme, düşük karbonlu çeliklere uygulanır. % 0,1-0,35 C ihtiva eden sade karbonlu ve alaşımlı çelikler bu yöntemle sertleştirilir. Bu çelikler yumuşak ve sünektirler. Bu çeliklerin yüzeyi sertleştirildiğinde, yumuşak kalan iç kısım sert dış kabuğu desteklediğinden, çeliğin darbeleri yüklere karşı mukavemeti korunmuş olur. Böylece dış kabuğun kırılma eğilimi de bertaraf edilir[29].

Genel olarak sertleştirilmiş çeliğin yüzey sertliği, yapısı, çekirdek özellikleri ve dayanımı, çeliğin sertleşebilirliğine ve soğuma şartlarına bağlıdır. Yüksek karbon miktarı ile yüzeyde sertleşme rahatlıkla sağlanırken, çekirdeğin tam sertleşmesi sağlanamaz. Yüzeyle çekirdek arasındaki % 0,05 lik karbon farkının sertliğe etkisi, 30-40 HBR dir. Çekme mukavemetine etkisi ise 100 MPa dır. Çekirdek, tokluğu artırmak için fazla yumuşak seçildiğinde, toplam yükü taşırsa bile sert ve kırılma eğilimli kabuğa gerekli desteği sağlanamaz[25].

2.8.5. Yüzey ve Boyut Durumu

Karbürlenmiş kabuğun, işlenerek kaldırılması ve taşlaması

halinde yüzeyde çatlamlar olabilir. Bununla beraber, karbürlenen çeliklerde boyut değişimi görülür. Bu iki sebepten ötürü hassas toleranslı parçaların karbürleme ile sertleştirilmeleri zordur[28]. Ek önlemlerle, mesela basınç altında bu yöntemle sertleştirme yapılabilir. Bu durumda maliyet artar. **Sementasyon Çelikleri**, TS2850, DIN 17210 ve ISO 683/XI ile standart hale getirilmiştir. Bu standartlarda, çeliklerin kimyasal yapıları, sertleşebilirlikleri, işlem sıcaklıkları ve mekanik özellikleri verilmiştir.

2.9. SEMENTASYON ÇELİKLERİNİN SERTLEŞEBİLİRLİK EĞRİLERİ

Sementasyon çeliklerinin seçiminde tecrübe çok önemlidir. Karbonlanmış yüzey sertliği 58- 60 Rc olmalıdır. Çelik seçimi için, parçanın şekli ve boyutu, sertleştirme sıcaklıkları, sertleştirme hızı ve yöntemi, şekil ve boyut değişim sınırları dikkate alınarak, gerekli kabuk ve çekirdek özellikleri sertleştirme ile beraber değerlendirilmelidir[26] Bunun için geliştirilmiş **Jominy** eş değer eğrileri kullanılmalıdır. Şekil ve boyut değişiminin hassas olmadığı küçük ($\phi < 50\text{mm}$) parçaların üretimi için sade karbonlu çelikler ekonomik nedenlerle yaygın olarak kullanılmaktadır.

Karbürleme, şekil ve boyutun kontrol edildiği, Mn-Cr veya Mo-Cr'lu büyük boyutlu çeliklere de uygulanır. Şekil ve boyut değişiminin fazla olduğu Cr-Ni-Mo'li çelikler yağda soğutulur ve böylece çatlama riski azaltılır. Tokluğun önemli olduğu durumlarda nikelli alaşımlar tercih edilmelidir[21,24,26,28,27].

BÖLÜM III

NİTRÜRASYON

3.1. GİRİŞ

Yarım asırlık bir geçmişe sahip olan bu usul, Adolph Fry tarafından bulunmuştur. Geniş uygulama alanı bulunan bu metotta az karbonlu ve az alaşımlı (Cr,Mo,Al'lu) çeliklerin yüzeyleri sertleştirilir[30,31].

Nitrürleme, parçanın azot verici bir ortamda, 480-590 °C sıcaklık aralığında saatlerce tutularak parça yüzeyinin azotça zenginleştirilmesi esasına dayanan bir yüzey sertleştirme işlemidir. Ferritik bölgede yapılan azotça zenginleştirme işleminden sonra parçaya su verilmesi gerekmez. İşlem sırasında yüzeyde oluşan nitrür ve karbonitrür bileşimleri yüzeyi sertleştirirler[30].

Tüm karbür yapıcılar aynı zamanda nitrür yapıcı

elementleridir. Azot, çeliğin yüzeyine nitrürleme yoluyla sokulabilir. Bu nitürler, nitrürleme sıcaklığına ve bu sıcaklıkta bekleme süresine bağlı olarak yapıda, α -Fe, τ' -Fe₄N ve ϵ -Fe₂N veya ϵ -Fe₃N şeklinde bulunabilir.

3-2 NİTRÜRENEBİLİRLİK

Nitrürlenebilirlik kavramı, çeliğin azotu adsorbe (bünyesine alma) edebilme kabiliyetini ve azotun sağladığı sertlik artışını içerir. Nitrürlenecek çelik, öncelikle Al, Cr ve Mo ihtiva etmelidir. En büyük etkiye sahip Al'u , Ti takip eder ve sonra Cr, Mo ve V gelir. Nitrürleme ile Ni'li ve sade karbonlu çeliklerin aynı yüzey sertliğine sahip olduğu görülmüştür. Çeliklerin, ihtiva ettikleri alaşım elemanının miktarı ve cinsine göre nitrürlenebilirlikleri belirlenir. Mesela; Al, Cr, ve Mo'li çelikler, nitrürleme sonucu yüksek sertliklere ulaşmışlardır[31].

Mikro yapı, çeliğin nitrürlenebilirliğine iki şekilde etki eder. Yüksek oranda serbest feritli mikro yapı azotun difizyonu için, düşük karbür içerikli mikro yapı ise, hem azotun difizyonu hemde sertlik için uygundur. Alaşımli çeliklere genellikle, ısıl işlem uygulanmış halde, yani su verme ve 550-650 °C de temperlemeden sonra nitrürasyon uygulanır.

Bu sıcaklık aralığında çökeltme ve aynı zamanda da karbürlerin birleşmesi söz konusudur. Karbür çökeltmesi, tane sınırında olur. Nitrür ve karbonitrürler, karbürlerden daha hızlı tane sınırlarında yer alırlar. Bu durumda karbürlerin çökeltmesi ve

difüzyonu engellenir.

Yapılan deneyler, çeliğin, sertleştirilmeden ve tavlansadan önce nitrürlenebilirliğinin daha iyi olduğunu göstermiştir. Nitrürlenebilirlik, çeliğin kimyasal terkiibinden başka daha bir çok faktöre bağlıdır. Bunlar; Nitrürlenme süresi, sıcaklığı ve soğuma şartlarıdır. Az alaşımlı çeliklerde nitrürasyon süresinin nitrürasyon derinliğine etkisini, basit difüzyon bağıntısı kullanarak çıkarabiliriz.

% 0.15 C'lu bir çeliğin tuz banyosunda nitrürasyonundan sonra nitrürler yüzey altında farklı derinliklerde elde edilmiştir. Esas olarak, nitrürasyon sıcaklığının etkisi çok önemlidir. Sıcaklık ne kadar düşük ise, yüzey sertliği o denli yüksek, aynı zamanda nitrürasyon derinliği o kadar düşüktür. Bu durum özellikle alaşımlı çelikler için geçerli olur[17].

Nitrürasyon işleminde, diğer önemli bir faktörde azotun aktifliğidir. Difüzyon kanunlarına göre, yüzey altına difüze olan azot miktarı, çeliğin yüzeyinde oluşturulan azot miktarı ve sıcaklıkla kontrol edilir.

Tuz banyosu ile nitrürasyon işleminde, azot aktifliği ise, birim zamanda çelik yüzeyinde ayrılan amonyak moleküllerinin bir fonksiyonudur. Nitrürasyon yapılacak parça, çok hızlı bir şekilde azot içeren atmosfer ile temas ettirilerek yüzeyinde yüksek bir azot miktarı elde edilir. Nitrürlenme atmosferindeki azotun ayrışma derecesi artarsa, beyaz tabakanın kalınlığıda artar. 0.02 mm veya daha fazla tabaka

kalınlıkları, kabarıp pul pul dökülme tehlikesi yüzünden hoş karşılanmayabilir. Bu nedenle, uygun tabaka kalınlığının ayrışma derecesi ile kontrolü gerekir[30].

En 41 B çeliği kullanılarak yapılan ilk araştırmalar sırasında, ayrışma derecesi, nitrürasyon süresi ve sıcaklığı değişken olarak ele alınmıştır. Ayrışma derecesi % 85 ve nitrürasyon süresi 5 saat olması durumunda, hemen hemen ideal bir nitrürasyon tabakası elde edilmiştir. Ancak yüksek ayrışma derecelerinde denitrürüze (nitrürsüzleşme) olması söz konusudur. Pratikte fan içermeyen fırınlarda bile, kabaca %50 ayrışma derecesi ile yapılan çalışmaların makul olduğu belirtilmiştir. Eğer yüksek ayrışma derecesi gerekli ise, fan bulunan fırınlar kullanılmalıdır veya nitrürasyon sıcaklığı artırılmalıdır. 510 °C de, ayrışma derecesinin %30' dan %50'ye çıkması, gaz atmosferinde amonyak miktarının %25 oranında azalmasını ifade eder. Eğer ayrışma derecesi %50-60'a çıkarılırsa, gazla nitrürlenmiş çeliklerin ömürlerinde büyük artış sağlanabilir[22].

3.3 AZOTUN DİFUZYONU

Nitrür yapıcı elementler aynı zamanda karbür yapıcıdır. Nitrür yapıcı elementler, menevişleme sırasında sıcaklık ve karbon miktarına bağlı olarak, karbür çökeltilerini oluştururlar. Bu durumda karbür olarak bağlanmış olan elementler, nitrürleme sırasında nitrür oluşturma işlevini yerine getiremeyeceğinden, nitrürlenmiş yüzey sertliği beklenenden düşük olur. Mesela, karbon oranı % 0.3 ve

menevişleme sıcaklığı 500-600 °C de olması durumunda bu fark birkaç yüz Vickers sertlik kadar düşük olur. Yüzey sertliğini artırmak için çeliğin karbon içeriğini ve nitrürleme sıcaklığını azaltmak yeterli ise de tercih edilmez[22,31].

Çelik yüzeyinde nitrür katmanının oluşması uzun zaman alır. 72 saat devam eden işlem sonunda elde edilen katman kalınlığı diğer yöntemlerle elde edilen katmanlardan daha incedir. Nitrür katmanı oldukça yüksek sıcaklıklarda da sertliğini kaybetmez ve diğer yöntemlerle sertleştirilmiş tabakalardan daha serttir. Nitrür tabakasının ayrıca sertleştirmesine gerek yoktur[22].

3.4. ÇELİKLERİN NİTRÜRASYONLA SERTLEŞTİRİLMELERİ

Çelikler genellikle üretici tarafından ıslah edilmiş durumda pazarlanır. Bu çelikler daha sonra çeşitli ısıl işlemlere tabi tutulabilir. Bunlar; yumuşatma, gerilmeleri giderme, normalleştirme ve sertleştirme olarak sayılabilir.

Nitrürleme, bir sertleştirme yöntemi olup, ferritik fazda yapılan bir termokimyasal işlemdir. Genellikle atomik nitrojenin 500-590 °C sıcaklıkları arasında ferrit yapıya geçmesini ve sonra herhangi bir faz dönüşümü olmadan yapılan soğutma işlemi ile sertleştirmedir.

Bu usul, sertleştirmeden sonra taşlanamayan ve yüksek sertlik dolayısı ile iç gerilmeleri fazla olan parçalara uygulanır. Mesala, kamyonların arka akslarındaki konik ayna dişlileri, takım tezgahlarının milleri, plastik malzeme püskürten

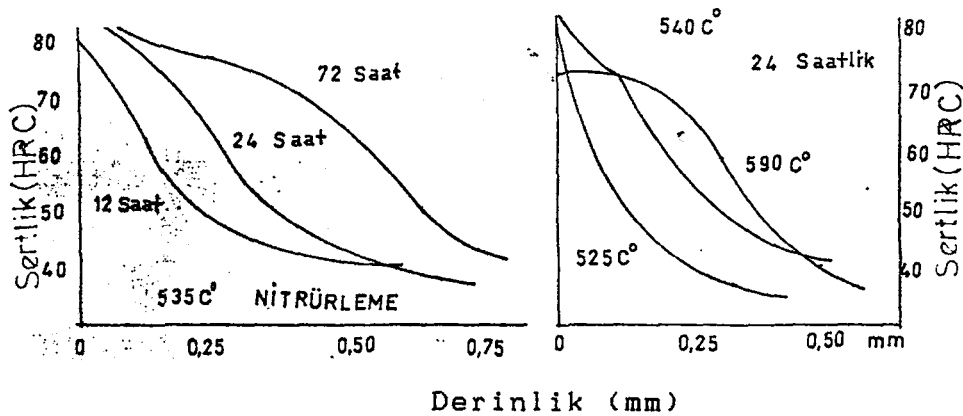
makinaların taşıyıcı salyangozları vb.

Nitrürasyon için gerekli sıcaklık(500°C), ıslah etme için gerekli olan sıcaklıktan(600°C) daha düşük olduğu için ıslah edilmiş iç yapı nitrürlemeden etkilenmez[22].

Nitrürasyon yapılacak çeliklerin karbon miktarı %0.2-0.4 ve nitrür meydana gelişini kolaylaştıran alaşım elemanların miktarıda %2-3 arasında olmalıdır. Katık elemanlar ise Cr, Mo, Al ve V dur. Bazen bu çelikler, nikel ilave edilerek daha dayanıklı hale getirilir[30].

Reaksiyon esnasında serbest kalan N ve H çelik yüzeyindeki karbonun yanmasına yol açabilir. Karbonun yanması durumunda, nitrür tabaka pul pul kalkar. Eğer nitrürasyonda başarı sağlanmazsa tekrarlama imkanı kesinlikle yoktur.

Şekil-3.1'de zaman, sıcaklık ve nitrür tabakası kalınlığı ile sertliğinin sıcaklık etkisi ile değişimini göstermektedir[22].



Şekil-3.1. Nitrürasyon değişkenlerinin sertliğe

etkisi[22].

Nitrürasyon alçak sıcaklıklarda uygulanan bir işlem olduğu

için fazla çarpılma ve gerginlik görülmez. Yine de az bir çarpılma görülebilir. Nitrürasyondan sonra ölçü büyümesi olur, büyüme nitrür tabakasının % 2 si kadardır. Nitrür tabakasının 0.5 mm olduğunu kabul edersek büyüme 0.01 mm olabilir. Bu fark taşlama ile giderilebilir[31].

Nitrürasyona tabi tutulan çeliklerin bazı bölgelerinin nitrülenmesi istenmiyorsa, bu bölgeler % 80 Pb ve % 20 Sn alaşımı ile kalaylanarak nitrür etkisinden korunur. Bakır ve nikel kaplama da bu amaç için kullanılır, fakat kaplama kalın olmalıdır.

Nitrürasyon işlemi ile çeliğin geliştirilebilen özellikleri şulardır;

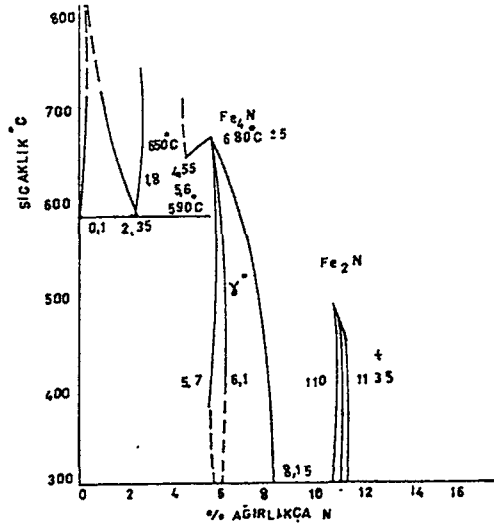
- 1- Yüksek yüzey sertliği ve aşınma mukavemeti,
- 2- Temperlemeye karşı yüksek direnç ve yüksek sıcaklık sertliği,
- 3- Yüksek yorulma mukavemeti ve düşük yorulma çentik hassasiyeti,
- 4- Daha iyi korozyon direnci ve
- 5- Yüksek boyutsal kararlılıktır[22,30,31].

3.5. NİTRÜR TABAKASI

Nitrürasyon işlemi için Fe-N denge diyagramından yararlanılabilir[şekil-3.2.]. Alışılmış nitrürleme sıcaklıklarında, azot demir içinde çözünür, ancak bu değer % 0.1 gibi çok düşük bir düzeydedir. Bu orandan biraz daha fazla azot bulunması durumunda, kimyasal formülü Fe_3N olan τ'

nitür oluşur. Eğer azot oranı % 6'yı aşarsa τ' nitürü ϵ nitürüne dönüşmeye başlar. 500°C'nin altında da ϵ nitür oluşabilir. Bu fazın azot oranı yaklaşık %11 ve kimyasal formülünde Fe_2N dir[22].

Metalurjik mikroskopta τ' ve ϵ nitürler Beyaz Tabaka adı verilen beyaz bir yüzey tabakası olarak görülürler. Nitürasyon sırasında beyaz tabakanın kalınlığıdaki artışla, azotun çeliğe daha fazla geçişi aynı anda olur. Çözünübilirlik sınırı azaldığında, nitürler tane sınırlarında ve belli kristallografik düzlemler boyunca çökeltirler. Alaşım elementlerinden Al, Cr ve Mo kuvvetli nitür oluştururlar. Ayrıca karbonda, karbonitür oluşturur. Karbonitürün miktarı, azotun ve karbonun aynı anda çelik tarafından bünyeye alınmasıyla artabilir.



Şekil-3.2. Fe-N denge diyagramı[22].

Karbonun, yüzey sertliği ve nitürleme hızına etkisi, çeliğin

nitrürleme öncesi yapısına bağlıdır. Uygulamada, gerekli çekirdek mukavemet artışı sağlamak ve kararlı yapı oluşturmak için, nitrürlemeden önce parça, su verilerek sertleştirilir ve nitrürleme sıcaklığının biraz üzerinde bir sıcaklıkta menevişlenir[13].

3.6. NİTRÜRASYON METODLARI

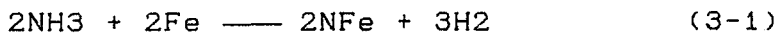
Nitrürasyon, azotun çekildiği ve işlemin yapıldığı ortama göre çeşitli adlar altında tolanırlar. Genel olarak bunlar; Gaz nitrürasyonu, tuz banyosunda nitrürasyon ve toz nitrürasyonu olmak üzere 3 çeşittir. Bu 3 yöntem kendi içinde birçok farklı tipi vardır.

3.6.1. Gaz Nitrürasyonu

Gaz nitrürasyonda, nitrürleme azot ihtiva eden bir gaz atmosferinde yapılır. Bu atmosferde azot verici olarak kullanılan gazlara göre çeşitli gaz nitrürasyonu geliştirilmiştir.

3.6.1.1 Amonyakla Gaz Nitrürasyonu

Bu yöntemde, azot kaynağı olarak amonyak gazı kullanılır. Takriben 510°C de amonyak gazı parça üzerinden geçirilir. Amonyak gazı, aşağıdaki reaksiyona göre ayrışır.



Reaksiyon sonucu, azot çelik tarafından absorbe (bünyeye alma) edilir. Meydana gelen 2NFe bir karbonitrürdür ve yüzeye sertlik kazandırır.

Amonyakda gaz nitrürasyonu ile 0.2 ve 0.7 mm arasında bir sertleşme derinliği elde edilir. Nitrürleme, hassas sıcaklık kontrollü bir elektrikli fırında uygulanır(34). Nitrürasyon için kullanılan muhafazalar, gazla reaksiyona girmeyecek malzemedir yapırlar. Nikel, Inconel ve benzer alaşımlar idealdir. % 25 Cr, % 20 Ni'li ısıya karşı dirençli çelikler, bu amaç için uygundur. Eğer sadece birkaç adet nitrürleme işlemi uygulanacaksa, nitrürasyon kutuları çelik saçtan yapılabilir.

Gaz daima çok az miktarda su buharı içerir. Gazın neminin nitrürasyon kutusundan önce alınması gerekir. Aksi halde su buharı nitrürlenmiş parçaların oksidasyonuna neden olur. En iyi nem giderme, gazın sönmemiş kireç filtresinden geçirilmesinden önce, 1100 °C ye ısıtılması ile sağlanır[22]. Nitrürasyon kutusundaki amonyak gazının, nitrürasyon işlemine uygun olarak ayrıştığını kontrol etmek için çıkış gazının kimyasal bileşimi, bir ayrışma pipeti ile tesbit edilir. Nitrürlenecek, parçalar çok iyi temizlenmeli ve yağdan arındırılmalıdır. Parçaların üzerinde kesinlikle, herhangi bir toz veya tufal belirtisi olmamalıdır.

Parçanın tüm yüzeyleri gaz ile temasa gelecek şekilde nitrürasyon kutusu içerisine yerleştirilir. Kutu kapatıldıktan sonra, kutunun içindeki havanın tümü dışarı atılincaya kadar, kutunun içi amonyakla yıkanır ve sonra amonyak kutu içinde bırakılır.

Nitrürasyon tamamlandığında, kutu, gazın akışını

durdurmaksızın fırından çıkarılır. Şarj 200 ° C ye soğutulduktan sonra gaz veriş i kesilir ve kutu içinde kalan gaz, kutu açılmadan önce komprösörle uygun bir şekilde dışarı atılır. Nitrürlenmiş parçalar, bu anda normal olarak mat-gri bir renktedirler. Bazen nitrürlenmiş parça yüzeyinde sarı, mavi ve pembe bölgeler görülür. Bunlar hata olduğu anlamına gelmemelidir. Sistemdeki oksijenin mevcudiyetinden ileri gelen bu bölgeler, gazın tam olarak kurutulmamış olmasından veya kutudaki veyahut gaz besleyici tüpteki bir miktar sızıntıdan oluşmuş olabilir[22,31].

3.6.1.2. Amonyak, Azot veya Hidrojenle Gaz Nitrürasyonu

Bu yöntemde, % 20 amonyak ve % 80 azot içeren bir gaz karışımı kullanılır. Düşük amonyak miktarı düşük bir azot aktifliği verir ve bu durumda daha tok bir tabaka elde edilir. Bununla beraber, sadece amonyak veya hidrojen ilave edilerek nitrürleme yapıldığında, amonyağın ayrışma miktarını artırarak benzer sonuçlar alınabilir[22].

3.6.1.3. Amonyak Veya Hidrokarbonla Gaz Nitrürasyonu

Bu yöntemde, nitrür gazına saf propan veya endo gaz şeklinde hidrokarbonlar ilave edilebilir. Nitrürleme, normalinden bir miktar yüksek sıcaklıkta uygulanır. İşlem sırasında C ve N, aynı anda çeliğe difüze olurlar, beraber (E) tipi karbonitrür oluştururlar. Yüzeyindeki yüksek karbon miktarı, çeliğin aşınma direncini artırır ve böylece aşınma durumunda yüzey tabakasının parçalanıp dökülme tehlikesini azaltır[22].

3.6.1.4. İyon Nitrürasyonu

Bu yöntem, 1930 larda geliştirilmiş olmasına rağmen tehzizatın pahalı ve yüksek teknoloji gerektirmesinden dolayı yıllarca endüstriyel uygulamaya girememiştir. Son yıllarda ise tekrar ön plana çıkmıştır.

Nitrürasyon, seyreltik amonyak veya hidrojen-azot karışımı içinde uygulanır. Hidrokarbonlar normal gaz nitrürasyonunda olduğu gibi ilave edilirse ve beyaz tabaka ϵ karbonitrürlerini ihtiva eder[32]. Nitrürasyon işleminde sadece τ -nitrür veya ϵ - nitrür vayahut bunların karışımını elde etmek mümkündür. Yapılan deneylerde, beyaz tabakanın kalınlığı 6-10 μm ve kimyasal yapısı $\epsilon\text{-Fe}_2\text{-3N}$, $\tau\text{-Fe}_4\text{N}$ şeklindedir[33].

Nitrürasyon işleminde, parça katot olarak elektrik güç kaynağına bağlanır. Meydana gelen iyonizasyon sonucu, atomik hale gelen azot, çeliğin bünyesine difüze olur. Nitrürasyon için gerekli sıcaklığa, deşarj başlangıcı ile aynı anda ulaşılır. İyon nitrürleme işleminin ilk safhaları normal gaz nitrürasyonundan daha hızlı bir şekilde cereyan eder. Normal gaz nitrürasyonunda 1-5 saat sürede işlem sıcaklığına ulaşılır. Nitrürasyon derinliğindeki farklılıklar, nitrürleme süresi ile telafi edilir. Mesela 40 saat süreyle iyon nitrürasyonu uygulanmış ve daha sonra aynı çelik alışla gelmiş gaz nitrürasyonuna tabi tutulmuştur. Bu çelilerin, nitrürlenmiş tabaka derinliğinde herhangi bir farklılık görülmemiştir.

Ağır iş makina parçaları iyon nitrürleme ile başarılı bir şekilde sertleştirilmektedir. Bu çelikler, iyon nitrürleme ile 1100-1250 Hv sertliğe ulaşılırken ömürleri 1,5-2 katına çıkmaktadır[33].

İyon nitrürleme, teknik açıdan en gelişmiş bir gaz nitrürleme yöntemidir. Çünkü bu yöntemle nitrür tabakasının durumu çok iyi bir şekilde kontrol edilir ve yüzey temiz olur[32,33].

3.6.2. Tuz Banyosunda Nitrürasyon

Çeliğin tuz banyosunda nitrürasyonu, hemen hemen orjinal gaz nitrürasyon yöntemi kadar eskidir. Başlangıçta kullanılan tuz karışımı, ağırlıkça % 60-70 NaCN ve % 30-40 KCN içermektedir. İlave olarak, biraz karbonat ve siyanat mevcuttur. Banyoyu 575 °C de 12 saat yaşlandırmayla, siyanat miktarı istenilen seviyeye çıkarılabilir. Çelik parçaları yaşlandırma kademesinde banyoya daldırılmamalıdır. Tuz banyosu nitrürasyonu için normal çalışma sıcaklığı yaklaşık 550-575 °C dir ve nitrürleme süresi nadiren iki saati aşar.

1950 lerin ortalarına kadar, nitrürleyici tuz banyoları sınırlı bir ölçüde kullanılırken ve sonraları 10-30 dakika gibi kısa sürelerde helisel matkaplarının nitrürasyonunda kullanılmıştır. Eğer nitrürleme süresi fazla olursa, çelik yüzeylerinde çukurlar oluşur ve nitrürasyon sonucu yüzey düzensiz bir şekle döner. Bu her iki olay banyodaki siyanat miktarlarındaki değişimlerden ve çelik parçanın yüzey oksidasyonuna neden olan demirin, potadan çözünmesinden ileri

gelir. Son 10 yılda tuz banyosunda nitrürasyon yöntemi, banyonun içerisine hava enjeksiyonu uygulanmasıyla çok popüler hale gelmiştir. Bu durumda siyanat miktarı çok daha iyi bir şekilde kontrol edilir. Daha ileri bir gelişme, titanyum potanın kullanılmasıyla sağlanmış ve böylece demir potada oluşan tuz ayrışması önlenmiştir.

Tuz banyosu nitrürasyonun diğer bir çeşiti Sulfinuz işlemidir. Bu işlemde, banyoda NaCN ve NaCNO den başka aktif olarak Na_2S (Sodyum silfür) mevcuttur. Alışıla gelmiş tuz banyosu nitrürasyonu sırasında, azot ve karbon çeliğin yüzeyi tarafından absorbe edilir. Nitrürleme işleminde kükürtün bulunması (Sulfinuz) ile çeliğin aşınma direnci daha da artar. Özellikle düşük karbonlu çelik (% 0.20-0,4 C'lu çelikler), 570 °C de 2 saat sulfinuz işlemine tabi tutulmasıyla nitrürlenmiş tabakanın mükemmel olan sürtünmeye karşı özelliklerini daha da artığı görülmüştür[22].

Bazı hallerde, sulfinuz işlemiyle çeliğin yüzeyinde hafif bir korozyon oluşması söz konusu olabilir ve bu yüzeyden 0.005 mm lik bir kayıba tekabül eder. Bundan başka çelik parçaların dış kısımlarında çok ince yüksek kükürtlü bir tabaka oluşabilir. Tuz banyosunda nitrürasyon sonrası yüzey temizdir ve taşlama işlemine normal olarak gerek duyulmaz. Tuffride veya Sulfinuz işlemiden sonra, en iyi yüzey çeliklerin ılık suda soğutulması halinde elde edilir. Bu şekilde hızlı bir soğutma ile α demiri, azotça aşırı doymuş katı bir eriyik haline gelir. Nitrürlemedeki bu katı eriyik, çeliğin yorulma

mukavemetine ilave bir katkıda bulunur. Bununla beraber aşırı doymuş α -katı eriyiğinin oluşması sırasında meydana gelen iç gerilmeler tokluğu azaltır. Sade karbonlu ve düşük alaşımlı çelikler eğer 200 °C de temperlenirse, oluşan nitrür çökmesi yorulma mukavemetini azaltır ve tokluğu artırır. Gaz nitrürasyonunda olduğu gibi yavaş soğuma sırasında, bu tür çökme otomatik olarak elde edilir[22].

3.6.3. Toz Nitürasyonu

Toz nitürasyonunda parçalar tıpkı kutu karbürizasyonunda olduğu gibi, kutu içerisine yerleştirilirler. Yaklaşık olarak ağırlıkça % 15 oranında nitürasyonu hızlandırıcı malzeme kutunun dibine ilk olarak konulur. Daha sonra nitürlenecek parçalar yerleştirilir ve nitürasyon tozlarında bir tabaka halinde bu parçaların üzerine konulur. Parçaların nitürasyonu hızlandırıcı malzemelerle temas etmemesi gerekir. Nitürleme tozu ile parçalar, sırası ile ard arda yerleştirilir. Kutular sıkıca kapatıldıktan sonra sıcaklığı 520-570°C olan bir muflu fırının içerisine yerleştirilir. Nitürasyon işleminin 12 saati geçmemesi tavsiye edilir. Toz nitürasyonundan sonra çelik yüzeyinin oyuklaşması ve kabarıp pul pul dökülme görülebilir[31].

3.7.GAZ VE TUZ BANYOSUNDA NİTRÜRLEMENİN MUKAYESESİ

Her iki yöntemin mukayesesinde genel olarak aşağıdaki hususlar ileri sürülmektedir.

1. Gaz nitürasyonununun 12-120 saatlik nitürleme

zamanına karşılık, tuz banyosunda nitrürasyon için 1-4 saatlik çok kısa bir süre yeterlidir.

2. Gaz nitrürasyonu çeliği gevrekleştirir, tuz banyosu nitrürasyonunda böyle bir durum mevcut değildir.

Gaz nitrürasyonu sırasında çeliğin gevrek olmasının nedeni τ' - nitrür gibi gevrek bir partikülün varlığıdır. Bu partikül tuz banyosunda nitrürasyon sonrası mevcut değildir. Tuz banyosu nitrürasyonundan sonra ϵ ve ϵ/δ nitrürleri oluşur[34,35].

3.8. NİTRÜRASYON DEĞİŞKENLERİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

3.8.1 Yüzey Sertliği

Nitrürlenmiş birçok çelik numune üzerinde yapılan deneyler, yüzey sertliklerinin, malzeme kompozisyonuna ve işlem sıcaklığına bağlı olarak yaklaşık 600-700 HV arasında olduğunu göstermiştir. Mesela, 510°C de nitrürlenmiş çeliğin sertliği 675 HV iken, 550° ve 570 °C de yapılan nitrürlemede, sertlik biraz daha düşük olup, 575 HV civarındadır.

Nitrür tabakasının sertliğini, nitrürleme sıcaklığı kadar nitrürleme süreside etkiler. Nitrürleme süresi uzun tutulursa hem sertlik hemde nitrür tabakası kalınlığı artırılabilir. Mesela, 550° de 20 saat süreyle yapılan nitrürasyonla elde edilen tabakaka kalınlığı ve sertliği, 570 °C de 4 saatte yapılan nitrürasyon işleminde elde edilene eşdeğer olduğu görülmüştür[22].

3.8.2. Gevreklik Testi

Beyaz tabakanın gevrekliğini tesbit edebilen güvenilir bir yöntem bulmak zordur. Nitrür tabakasının gevreklik tesbiti, metallografik muayene ile yapılmaktadır. İlave olarak numunenin sertliği ölçülür ve sertlik izlerinin görünüşü mikroskop altında incelenir.

Yapılan çalışmalarda, nitrür tabakasının özelliklerinin her yerde homojen kalmadığı görülmüştür. 570 °C de 10 saat nitrürasyondan sonra yapılan brinell sertlik testi neticesinde yüzeyde, hem radyal hemde müşterek merkezli çatlaklar gözlenmiştir. Uzun bir nitrürlemeden sonra veya daha yüksek sıcaklıklarda sadece müşterek merkezi çatlaklar gözlenmiştir[22].

3.8.3. İşlem Süresi

Bu konuda tuz banyosu nitrürasyonu, alışıl gelmiş gaz nitrürasyonla mukayese edildiğinde, tuz banyosu nitrürasyonu daha avantajlıdır. 2 saat tuz banyosunda nitrürlenmiş çelik yüzeyinde 0.1 mm lik nitrürasyon derinliği elde edilirken bu derinlikte nitrür tabakasına gaz nitrürasyonla çok daha uzun sürede ulaşılır.

3.8.4. Temizlik

Gaz nitrürasyonunda çalışma sahasının veya nitrürlenmiş parçaların kirlenmesi söz konusu değildir. Halbuki tuz banyosunda nitrürasyonda, fırının üst kısmına ve etrafına tuz çökmesi çok kolaydır. Bu nedenle tuz banyosunda işleme tabi

tutulan parçalar, sıcak su ile yıkanmalıdır. Siyanür tuzu zehirlidir, ancak işlem doğru uygulandığı sürece zehirlenme olayıyla nadiren karşılaşılır.

3.8.5. Nitrürasyon Derinliği

Tuz banyosunda nitrürlemede, işlem süresinin artmasıyla artış gösteren boşluklar nedeniyle nitrürleme süresi 4 saatle sınırlıdır. Gaz nitrürasyonunda bu konuda herhangi bir kısıtlama yoktur. Fakat pratik nedenlerden ötürü 90 saatlik sürenin aşılması öngörülmektedir. Bundan dolayı tuz banyosu nitrürasyonunda elde edilen nitrürasyon derinliği, yeterli değildir. Gaz nitrürasyonunda ise nitrür derinliği yeterlidir.

3.8.6. Boyutsal Kararlılık

Nitrürasyon esnasında, meydana gelen basma gerilmeleri, çeliğin boyutlarında değişime yani distorsiyona neden olur. Aynı nitrürasyon derinliği için her iki yöntemde de çarpılma (distorsiyon) oluşur. Tuz banyosunda nitrürleme de ısı (termal) gerilmeler daha fazla olması nedeniyle, şekil değişimi daha fazla görülür[31].

3.8.7. Aşınma Direnci

Tuz banyosu nitrürasyonu sırasında oluşan karbonitrür miktarı, alışıl gelmiş gaz nitrürasyonuna oranla daha fazladır. Bu karbonitrür tabaka, aşınma direncinde artış sağlar. Gaz nitrürasyonu sırasında hidrokarbonların

ilavesiyle, karbonitrür miktarı tuz banyosunda nitrürasyon sırasında elde edilen değerine kadar yükseltilebilir.

3.8.8. Tokluk

Gaz nitrürasyonu sonrası elde edilen nitrürlenmiş tabakanın tokluğu, soğuma hızına bağlıdır. Hızlı soğuma durumunda, tabakanın tokluğu daha kötü olur. Bu durumun pratik sonuçları, gaz ve tuz banyosu ile nitrürlenmiş parçaların soğuma hızlarının mukayesesinde gözlenmiştir.

Kısa işlem süresi ve bunun sonucu olan düşük maliyeti ile tuz banyosunda nitrürasyonunun, gaz nitrürasyonuna olan yegane üstünlüğüdür.

3.9. NİTRÜRASYON DERİNLİĞİNİN TESBİTİ

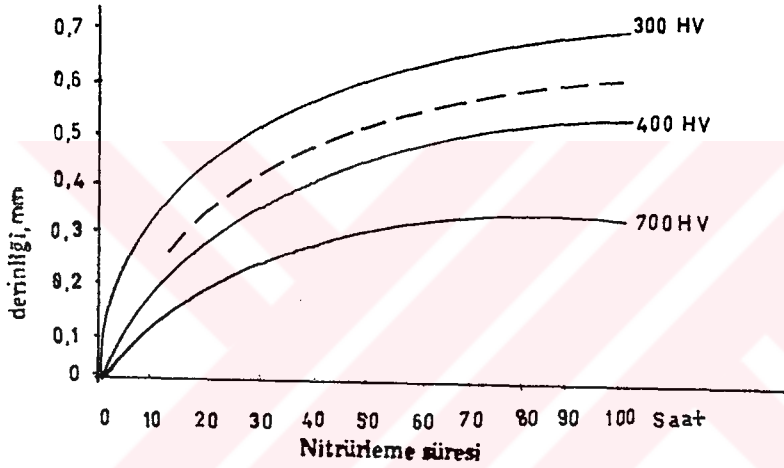
DN şeklinde gösterilen nitrürasyon derinliği, SIS 11700 'a göre, nitrürlenmiş yüzeyin enine kesiti üzerinde sertlik (HV) ölçümleri alınarak belirlenir. Sertliğin sınırı yaklaşık 400 HV dir. Nitrürasyon derinliği, yüzeyi sertleştirilmiş çeliklerin kesiti alınarak tesbit edilir. Şekil-3.3 de BS 905 M 36 çeliği için sertlik taraması sonuçları verilmiştir[22].

3.10. NİTRÜRASYON ÇELİKLERİ

% 3 Cr, % 0,5 Mo ve % 0.20-0.40 C ihtiva eden alaşımlı ve Al'lu çelikler nitrürasyonla yaygın biçimde sertleştirilir ve bu işlemle sertlikleri 1100 HV'e kadar çıkarılabilir. Isıl işlem uygulanabilir alaşımlı çelikler, eğer nitrürleme öncesi sertleştirilmiş ve temperlenmiş ise nitrürleme ile

sertlikleri 650 HV ulaşır. Alaşimsız sade karbonlu çelikler, gaz nitürasyonu ile uzun sürede nitürlenerek setleştirilmeleri azda olsa mümkündür. Tuz banyosunda nitürlemede bazı hidrokarbonlar ilave edilmektedir.

Sıcak iş takımlarının, nitürasyonla sertlikleri 1300-1600 HV çıkarılabilir. Ancak nitürasyon derinlikleri Cr'lu çeliklerde olduğu gibi, oldukça düşüktür.



Şekil-3.3. Nitürlenmiş çeliğine ait sertlik değerleri[22].

Yüksek hız çelikleri, nitürasyonla 1300 HV üzerinde sertliğe sahip olsalar bile, istenmez. Ancak toklukları, temperlemeyle geliştirildikten sonra amaca uygun hale gelir[36].

Paslanmaz çeliklerde, ön işlem uygulanmaksızın nitürleme yapılamaz. Nitürleme esnasında yüzeyde oluşan krom-oksit nitür teşekkülünü ve parçaya azotun difüzyonunu engeller. Bu nedenle nitürleme öncesi kum taşlaması yapılır. Bu şartlar altında nitürlenmiş paslanmaz çeliklerin sertlikleri

artmakla beraber, korozyon dirençleri önemli ölçüde azalır[34,36].

3.11. NİTRÜRLENMİŞ ÇELİKLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ

Nitrürlenmiş çeliklerle yapılan deneyler, nitrürlenmenin mekanik özelliklere etkisi, nitrürlenme sonrası çeliğin mikro yapısına bağlı olduğunu göstermiştir. Genel olarak nitrürlenme sonucu çeliğin, mukavemet değerleri, yorulma direnci ve en önemlisi aşınma direnci artar. Bu değerlerin artması daha öncede belirtildiği gibi, mikro yapının durumuna bağlıdır(Tablo-3.1)[24].

3.11.1. Aşınma Direnci

Çeliklerin aşınma direnci genel olarak, sertlik artışıyla artar. Aşınma, çok sayıda değişkene bağlı olduğu için karmaşıktır ve kesin hüküm vermek yanıltıcı olur. Nitrürlenmiş çeliklerin, çizik şeklindeki "Abrasive" aşınmaya karşı direnci düşüktür. Adhesive aşınmaya karşı ise yeterli direnci sahiptir[37].

Nitrürlenmiş çeliklerin, sürtünme aşınması düşüktür. Çünkü nitrürlenmiş yüzeyin sürtünme katsayısı daha düşüktür ve böylece nitrürlenmiş tabakanın aşınması azaltılmış olur[34]. Aşınarak parçalanma eğilimi gösteren yüzey sertleştirme işlemi uygulanmış haddeler ile yapılan deneylerde, Cr-Ni li nitrürlenmiş çeliğin karşı malzemeyi aşındırdığı görülmüştür. Bu çeliklerin yüzeyleri 550 °C de 2 saat nitrürlenme ile sertleştirildikten sonra, 2 saat çalışma süresi sonunda

nitrürlenmiş yüzeyde herhangi bir aşınma belirtisine rastlanmamıştır[22].

Tablo-3.1. Nitrürlenmiş Bazı Çeliklerin mekanik Özellikleri[17].

Çeliğin standardı, kısa gösterilişi ve malzeme numarası			Yumuşatma Tavı Uygulanmış Sertlik		Akma Dayancı MPa En az	Çekme Dayancı MPa	Kopma Uzaması % En az	Darbe Dayancı kgfm/cm ² En az	Nitrülen Yüzey Sertliği VSD (yaklaşık)		
TS 256	DIN 17211	ISO 683/X	En	BSD 30 En çok						Çap mm	
31 CrMo 12	1,8515	31 CrMo 12	1	29 B	248	$\phi \leq 16$	883	1080-1275	10	6	800
						$16 < \phi \leq 40$	834	1030-1226	10	7	
						$40 < \phi \leq 100$	784	981-1177	11	7	
						$100 < \phi \leq 160$	735	932-1128	12	7	
						$160 < \phi \leq 250$	686	883-1080	12	7	
39 CrMoV 139	1,8523	39 CrMoV139	2	40 C	262	$\phi \leq 70$	1080	1275-1471	8	4	800
34 CrAlMo 5	1,8507	34 CrAlMo 5	3	—	248	$\phi \leq 70$	588	784-981	14	6	950
41 CrAlMo 7	1,8509	41 CrAlMo 7	4	41 B	262	$\phi \leq 100$	735	932-1128	12	5	950
34 CrAlNi 7	1,8550	34 CrAlNi 7	—	—	245	$100 < \phi \leq 160$	637	834-1030	14	6	950
						$70 < \phi \leq 250$	588	784-981	13	6	
—	1,8506	34 CrAlS 5	—	—	217	$\phi \leq 60$	440	637-784	12	—	900

3.11.2. Temperleme Direnci

Temperlemeye karşı yüksek direnç ve yüksek sıcaklıklarda sertliğin korunması nitrürasyon çeliklerinin en belirgin özelliklerinden biridir. Çelikler, nitrürlendikten sonra, oda sıcaklığından herhangi bir sertlik değişmesi olmaksızın nitrürleme yapılan sıcaklığa ve bazı hallerde ise daha yüksek sıcaklığa kadar ısıtılabilir[38].

3.11.3. Yorulma Mukavemeti ve Çentik Hassasiyeti

Nitrürasyon çelikleri, yüksek yorulma mukavemeti ve düşük çentik hassasiyetiyle karakterize edilirler. Yorulma mukavemetindeki artış, sade karbonlu ve düşük alaşımlı çelikler için çok yüksektir ve bu durum genellikle nitrürleme süresinin artmasıyla artar. Maksimum çekme mukavemeti 90

kgf/mm² olan standartlaştırılmış nitrürasyon çelikleri yaklaşık 45 kgf/mm² yorulma mukavemetine sahiptirler. Bu değer, 10 mm çapında çok iyi taşlanmış deney çubukları üzerinde eğilme deneyleri ile belirlenmiştir. 510 °C de 20 saat gaz nitrürasyonu ile yorulma mukavemeti kabaca 56 kgf/mm² değerine çıkar. 60 saat süren nitrürasyon sonucu 10⁷ yük çevrimlerinde 62 kgf/mm² lik bir yorulma mukavemeti elde edilir[22].

Çentik, makina parçalarının yorulma mukavemetini düşürdüğü bilinmektedir. Bu durum nitrürasyonu sırasında oluşturulan basma gerilmeleriyle çentik kısmen azaltılır. Mesela; civatalar gibi yüksek çentik mukavemeti istenen makina parçalarının yorulma mukavemeti, nitrürleme ile artırılır. Sertleştirilmiş ve temperlenmiş DIN 14CrMo çeliğinden yapılmış deney çubuklarında, çentik etkisi araştırılmış ve yorulma mukavemetinde yarıyarıya azalma görülmüştür.

Maksimum yorulma mukavemeti veren nitrürasyon derinliği, malzemenin kalınlığına ve şekline bağlıdır. 1 mm çaplı enine bir deliğe sahip 6.5 mm çaplı bir çubukta, 0.3 mm lik bir nitrürasyon derinliği ile maksimum yorulma mukavemeti elde edilmiştir. Delik açılmamış bir çubukta ise, maksimum yorulma mukavemeti 0.4 mm lik bir nitrürasyon, derinliği ile sağlanmaktadır.

Çeşitli çeliklerle yapılan deneylerde, nitrürlemeden önce yapılan temperleme işlemiyle çeliklerin mekanik özellikleri önemli ölçüde iyileşmektedir. mesela, nitrürlemeden önce 600°

C de, yapılan temperleme sonucunda tokluğun artığı görülmüştür[38].

3.11.4. Korozyon Direnci

Nitrürasyon sonucu, çeliklerin korozyon dirençleri artış gösterir. Korozyon bakımından beyaz tabaka, % 13 martensitik kromlu çeliğin korozyon direncine eşdeğerdedir[22].

Nitrürlenmiş paslanmaz çeliklerin korozyon direncin de ise bir azalma görülür. Nitrürasyon sırasındaki sıcaklık artışı, kararlı halde olmayan 18/8 tipi paslanmaz çeliklerde taneler arası korozyona neden olur. Korozyon direnci nitrürlenmiş ve parlatılmış yüzeyler için çok büyüktür, mesela; 0.03 mm lik bir taşlama ile beyaz tabakanın kaldırılması, dolayısıyla korozyon direncinin artırılması mümkündür. BS 905 M 39 çeliği, 0.03-0.06 mm taşlama sonrası alışıla gelmiş ısıl işleme tabi tutulabilen çeliklerde ve BS 420 S 37 çeliğinden daha iyi korozyon direncine sahiptir. Tuzlu su püskürtme deneyi yapıldığında, en son bahsedilen iki çeliğin nitrürasyon tabakalarının aynı korozyon direncine sahip olduğu görülmüştür. 18/8 çelikleri ile yapılan çeşitli deneylerde farklı sonuçlar elde edilmiş, ancak hiç bir durumda korozyon direncinin,sertleştirilmiş ve temperlenmiş martensitik kromlu çeliklerin korozyon dirençleri seviyesine kadar düşmesi beklenmemelidir[17].

3.12. NİTRÜRASYONUN GENEL DEĞERLENDİRİLMESİ

Nitrürleme ile martenzitten çok daha sert (HV=900kp/mm²) bir

nitür tabakası meydana gelir. Bu tabakanın sürtünme ve aşınma direnci yüksektir. Su vermeye gerek olmadığı için yapı dönüşümü ve parça ölçü değişimi olmaz. Bu nedenle son işlem olarak uygulanabilir. Nitürasyon tabakasının korozyona karşı dayanıklılığı, özel işlem görmüş çeliklerinkinden daha iyidir[17,37].

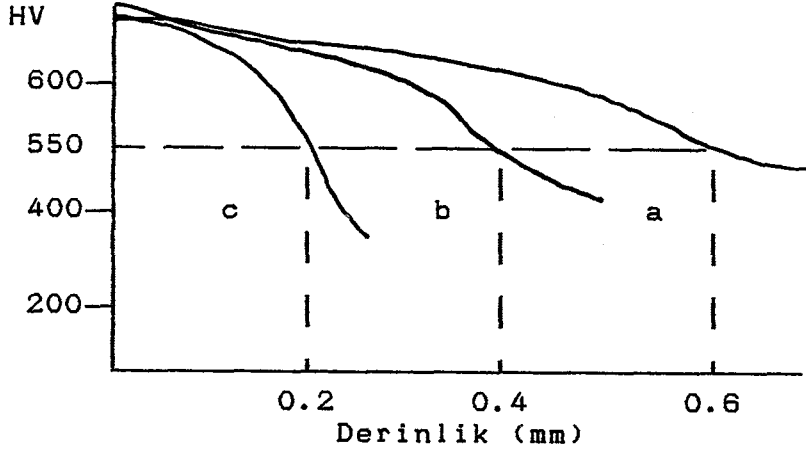
18KhGT (% 0,2C, 1,25 Cr, 0,95 Mn, 0,08 Ti) çeliği hem karbürleşmiş, hemde nitürlenerek sertlik, sertleşme derinliği ve aşınma değeri mukayese edilmiştir(şekil-3.4. ve şekil-3.5.). Aşınma dirençlerinin yaklaşık aynı olduğu görülmüştür. İşlem şartları karşılaştırıldığında, nitürleme tercih edilir[37].

Uzun tavlama süreleri sonunda dahi ancak ince tabakalar (yaklaşık 0.3 mm) oluşmaktadır. Taşlama gibi başka bir işleme gerek kalmadığı için genellikle bu kalınlıkta tabakalar yeterlidir. Nitürlemenin diğer yüzey sertleştirme işlemlerine üstünlükleri şöyle sıralanabilir:

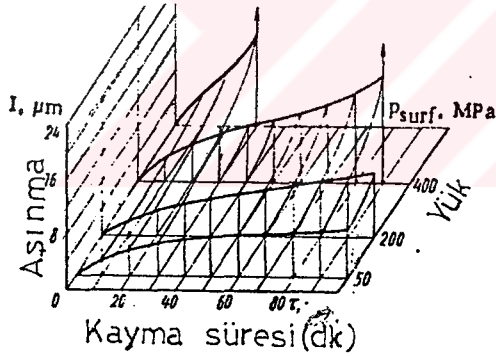
1. Düşük işlem sıcaklığı ve yavaş soğutma nedeniyle parçanın şekil ve boyut değişim miktarı ile çatlama riski çok daha azdır.
2. Yaklaşık 400-500°C sıcaklıklarda bile sertlikte önemli bir düşüş olmaz.
3. 1200 HV (70-72 Rc) gibi çok yüksek yüzey sertliklere ulaşılabilir.
4. Aşınma ve yorulma mukavemeti genellikle daha iyidir.
5. Korozyon direnci de daha iyidir.

Bu üstünlüklerine karşın, nitürleme sürelerinin uzunluğu,

özel çeliklere uygulanabilmesi ve maliyeti diğer yüzey sertleştirme işlemlerine oranla daha yüksektir[22,31,37,38].



Şekil-3.4. 18KhGT(%0.2 C, 1.25 Cr, 0.95 Mn) çeliği a-) 930°C de 6 saat süreyle Karbürleşmiş, b-) 530°C de 30 saat nitrürlenmiş ve c-) 530°C de 6 saat süreyle nitrürlenmiş durumdaki sertlik ve sertlik derinliği[37].



Şekil-3.5. Karbürleşmiş ve nitrürlenmiş 18KhGT çeliğinin aşınmasının yük ve kayama süresi ile değişimi[37].

BÖLÜM IV

KARBONİTRÜRASYON

4.1. GİRİŞ

Bu işlem 80 yıldır bilinmekle beraber, 1935 yılına kadar çok az kullanılmış, 1941 yılından sonra hızla gelişmiş ve son 20 yıldan bu yanada sanayide kullanımı yaygınlaşmıştır. Karbonitrürasyon, karbürizasyon ve nitrürasyon işlemlerinin karışımı şeklinde olup, karbürleme banyosuna benzeyen tuz eriyikler içinde yapılır. DIN 17014'te yapılan tarifte; Çelik bir parçanın yüzeyinin termokimyasal bir işlemle, karbon ve azotla zenginleştirme işlemidir.

Karbonitrürasyonda işlem süresi kısadır ve genellikle 1-1.5 saati geçmez. Karbonitrürlenmiş malzeme oldukça sert (yaklaşık HRC 65) ve ince bir tabaka oluşurken parçanın içi dönüşüme uğramaz[22].

4.2. KARBONİTRÜRASYON ÇELİKLERİ

Karbonitrürlemede ilk amaç 0,075-0,75 mm derinliğinde sert bir yüzey elde etmektir. Karbonitrürlenmiş yüzeyin sertliği, diğer sertleşme yöntemlerine göre daha iyidir.

Karbonitrürasyonla düşük alaşımlı ve karbonlu çelikler daha düşük sertleşme derinliklerine sahip olurlar. Tam sertleşme, yağda ve benzeri ortamda, en az distorsyonla gerçekleştirilir. Sertleşme, gazda veya koruyucu gaz ortamında soğutulmaları ile de sağlanabilir.

Karbon oranı % 0,3'ün üzerinde bulunan 1000-1100-1200-1300-4000-4100-4600-5100-6100-8600 ve 8700 seri çelikleri genellikle karbonitrürasyonla sertleştirilir[39].

Karbon oranı %0,35-0,50 olan çeliklerin karbonitrürlenmiş kabuk derinliği 0,3 mm olup, özellikle transmisyon mil ve dişli örnekleri bu metodla, çekirdeğe kadar sertleştirilebilirler. Aynı zamanda sürtünme yüzeyleri daha büyük olan bu parçalar yeterli tokluktadır.

Alaşımlı ve orta karbonlu çelikler daha iyi aşınma direnci sağlamak amacıyla karbonitrürasyona tabi tutulur. 4140-5140-8640-4340 gibi ağır iş makina parçaları 845 °C de karbonitrürasyon işlemine tabi tutulurlar[39]. Bu tür ağır yükler altında çalışan parçalar önce 0,060-0,070 mm kalınlığında karbürize edilir, daha sonra karbünitrürasyon ortamında ısıtılır ve yağda soğutulur. Böylece çok sert ve temiz bir yüzey elde edilebilir ve bu durumda parçanın aşınma

direnci çok yüksektir.

Karbonitrürleme işlemi genellikle karbonlama sıcaklığının altında yapıldığı için, yayılma hızları daha düşük, kabuk derinlikleri daha azdır ve 0,050 mm ile 0,75 mm arasında kalırlar. Bu nedenle, genellikle 35 mm'den büyük çaplı parçalara karbonitrürleme uygulanmaz[40].

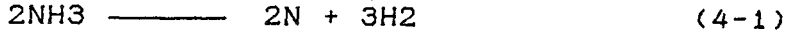
4.3. KARBONİTRÜRLEMENİN YAPILIŞI

Kuru, gaz siyanürleme, nitrokarbürleme ve nitrokarbürürasyon isimleri ile tanımlanan karbonitrürasyonda, önce çelik parçalar dönüşüm sıcaklığının üzerine kadar ısıtılır, sonra nitrojen ve karbon ihtiva eden gaz atmosferinde yeterli bir süre tutulur ve daha sonrada istenen yüzey şartları elde edilecek tarzda soğutulur. Böylece yüzeyin, kimyasal yapısı ve buna bağlı olarakta mekanik özellikleri değiştirilir. Karbürizasyon işlemi için, sıvı hidrokarbon buharı veya karbonca zengin gazdan karbon sağlanır. Amonyak ise nitrojen için kaynak teşkil eder.

Karbonitrürasyon, nitrürleme işleminden daha çok karbürizasyon işlemi olup, karbürizasyon atmosferine nitrojen ilave etmektedir. Pratik olarak, karbürleme ortamına amonyak ilave edilerek ortamın azot konsantrasyonu yükseltilir. Karbonitrürasyon, 820-920 °C sıcaklıkları arasında yapılır. Fırın atmosferinde sadece karbon değil, aynı zamanda amonyaktan gelen azotta bulunmaktadır ve her ikiside çelik parçanın yüzeyine geçer[40].

Amonyak, karbonitrürleme sıcaklığında, aşağıdaki reaksiyona

göre ayrışır.



Bir amonyak molekülü tam ayrıştığı anda meydana gelen serbest azot atomik haldedir ve çelik parçanın yüzeyine kolayca nüfuz eder.

Fırın atmosferine amonyak ilavesiyle, parça yüzeyindeki karbon miktarında bir azalma görülür. Bu konuda uzun yılların tecrübesi göstermiştir ki, gerekli olan toleranslar içinde ve arzu edilen sertlik değerlerinin sağlanması durumunda, yüzeydeki bu karbon azalması karbonitrürlenmiş parçaların aşınma mukavemeti ve yorulma özelliğinde bir olumsuzluk yaratmamaktadır[41].

Tablo 4-1.'de başarı ile karbonitrürlenmiş çeliklerin karbonitrürlenme şartları verilmiştir. Bu değişkenler, soğutma ortamı, temperleme ve karbonitrürlenme sıcaklığı ve kabuk derinliğidir. Alaşımli çelikler de karbonitrürasyonla sertleştirilebilirler [40].

400 mm uzunluğunda kağıt kesme takımı olarak kullanılan 1117 çeliği, karbonitrürlenmiş ve karbonitrür tabakası derinliği 0,75 mm, sertliği ise HRC-58-62'olarak bulunmuştur. Karbonitrürlenmiş 1610 çeliği ise 58 HRC sertliğe ve 0,25-0,50 mm kabuk kalınlığına ulaşmıştır. Nitrukür tabakası temiz bir yüzey verir ve ilave bir taşlama gerekmez.

4.4. TABAKA YAPISI

Karbonitrürasyonda elde edilen yüzey tabakasının durumu

atmosferde bulunan maddelere, sıcaklığa, zamana ve çeliğin tipine bağlıdır. Karbonitrüleme sıcaklığı ne kadar yüksek ise amonyak o kadar az aktiftir.

Karbonitrülenmiş yüzeyde, demir-karbon ve nitrürden meydana gelen birleşik bir tabaka (Compound Layer) oluşur. Karbonitrüleme için, yüzeyde yeterli miktarda nitrojen ve karbon bulunması şarttır. Ayrıca bu işlem sonunda daha iyi aşınma direnci istenmezse soğutma sıvı içerisinde yapılmaz. Yüzeydeki nitrojenin malzemeye difüzyonu düşük sıcaklıklarda ve uzun sürede olur. Çünkü nitrojenin demire geçiş katsayısı düşüktür.

Çelik Türü	Kabuk Derinliği 0.1mm	Fırın Sıcaklığı °C	Fırındaki toplam süre	Soğutma Ortamı
1010	4,5	875°	5,5 saat	yağ
1020	0,5-1,5	780-745°	64 dk.	yağ
1010	0,5-1,5	780-745°	64 dk.	yağ
1113	2,5-3,5	845°	90 dk.	yağ
1020	1-1,5	805°	60 dk.	yağ
1015	1,5-2,5	745-815°	108 dk.	gaz
1213	3-4	850°	105 dk.	yağ
1117	4-5	845°	2,5 saat	yağ
1022	4-5	850°	105 dk.	yağ
1010	4-5	815°	2,5 saat	gaz
1018	4-5	875°	2 saat	yağ
1040	2,5-5	745-815°	162 dk.	gaz
8617	5-7,5	845°	6 saat	yağ
8622	1,5-2,5	745-815°	108 dk.	gaz
5140	3-5	800°	5,5 saat	yağ
4047	3-5	760°	5,5 saat	yağ
4047	2-4	790°	9 saat	yağ
8617	2-2,5	815°	1,5 saat	gaz

Tablo-4.1. Çeşitli çelikler için uygun karbonitrülenme şartları(Kabuk derinliği 0,1 mm, fırın sıcaklığı °C dir.)[40]
Karbonitrülenmiş veya nitrülenmiş çeliklerin yüzeyinde

oluşan kabuk, iki ayrı tabaka olarak değerlendirilebilir. Bunlar; a-) Birleşik tabaka, b-) Difüzyon tabakası şeklindedir (şekil-4.1).

a. Birleşik tabaka : ϵ -Fe(N,C) ve τ -Fe₄(N,C) demir-karbon nitridlerden oluşur. Bu tabakanın oluşumunu, soğutma ve temperleme şartları belirler. Bileşik tabakanın mikroyapısı şekil-4.2'de verilmiştir. En üsteki karanlık bölge ϵ -karbonitrür parlak kısımlar ise τ' karbonitrididir. ϵ karbonitrür tabakası yüksek miktarda C ihtiva eder. τ' ise %0,2 C çözüdürür[41].

b. Difüzyon tabakası : İşlem sonrası soğumaya ve oda sıcaklığındaki yaşlanmaya bağlıdır. Nitrojen metastabil α'' -Fe₁₆N₂ ve stabil τ' -Fe₄N nitridleri şeklinde çökeltirler (şekil-4.2). Bu yapılar, arayer katı eriyiktir. Bu bölgedeki demir-nitrid alaşımları difüzyon bölgesini oluşturur.

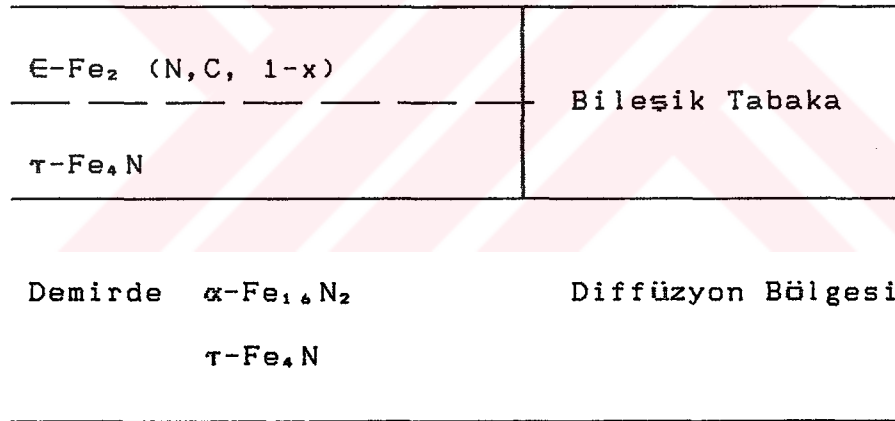
Karbonitrürleme sonucu yapıdaki nitrojen %1 civarında ise, kabuk yapısının esasını karbonitridler oluşturur. Bu durum düşük alaşımlı çeliklerde daha çok görülür. Nitrojen, %0,3-0,4 nisbetinde ise kabuk yapısı, martenzit ve sementit şeklindedir[42].

Karbonitrürleme düşük sıcaklıkta yapılırsa, yüzeyde yüksek nitrid oranı elde edilir. Şekil-4.3. de 790°C de karbonitrürlenmiş 8622 çeliğin yapısında, yüksek oranda nitrojen görülmüştür. Yüksek sıcaklıkta ve düşük oranda nitrojen bulunan atmosferde karbonitrürleme yapılırsa, amonyak miktarına bağlı olarak yapıda Artık Austenit yer alır. Şekil-4.4. de bu durum görülmektedir. Resiminsol

tarafındaki beyaz bölge artık austenittir. Dış tabakada yer alır. Bu şekilde anlaşıldığı gibi, yapıda artık austenitle fazla olursa, martenzit yapı azalır veya artık austenit azalırsa, martenzit teşekkülü artar.

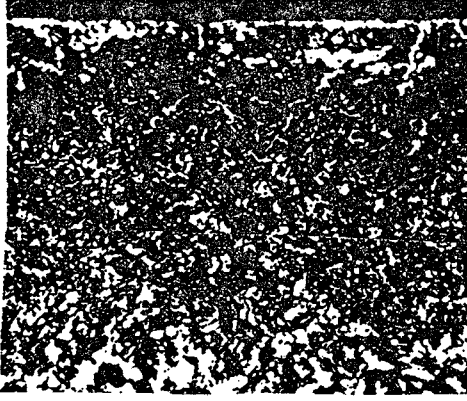


Şekil-4.1. Karbonitrürlenmiş bir çeligin, kabuk mikro yapısı[41].



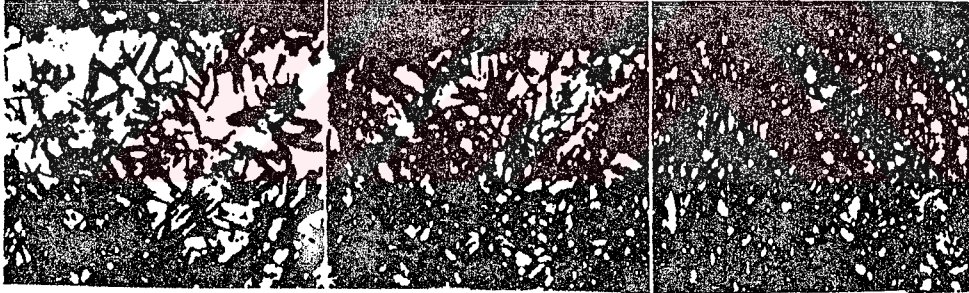
Şekil-4.2. Karbonitrürlenmiş bir çelik yüzey yapısı[41].

Artık austenit miktarını, karbonitrürasyon atmosferindeki nitrojen veya amonyak oranı ile ayarlayabiliriz. Mesela; şekil-4.4 de görüldüğü gibi, amonyak miktarı işlemin son 15 dakikasında %11 ilave edilmiş ve bu durumda, yapıda artık austenit miktarı azalmıştır.



Şekil-4.3. 8622 Çeliğinin 790°C de karbonitrürlenmesi sonucu elde edilen mikro yapı (Beyaz kısımlar artık austenittir) [22].

Yapılan başka deneylerde de benzer sonuçlar elde edilmiştir. Şekil-4.5 de karbonitrürlenmiş ferritik çeliğin mikro yapısını, ortamın nitrojen ve karbon oranının nasıl etkilediği grafik olarak verilmiştir [43].



% 11 NH₃

% 3 NH₃

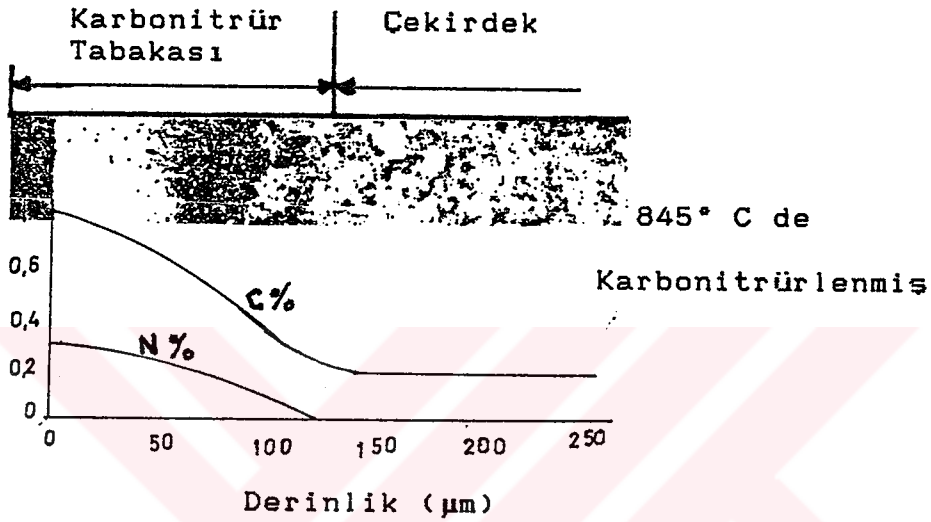
% 11 NH₃ (son 15dk)

Şekil-4.4. Amonyak oranının artık austenit miktarına etkisi [22].

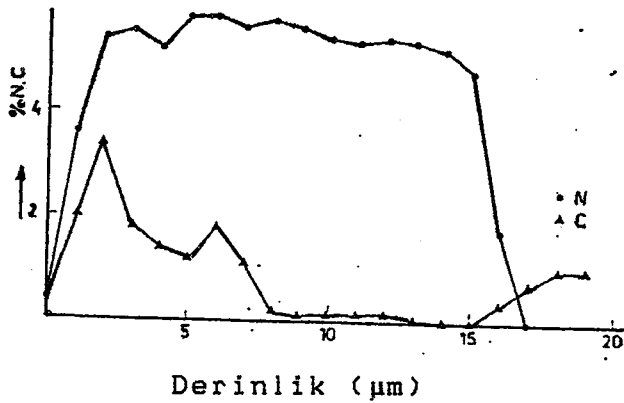
4.5. TABAKA DERİNLİĞİ

Tercih edilen karbonitrür tabaka, istenen çekirdek sertliğine ve parçanın çalışacağı ortama göre belirlenir. Hafif yüklerde aşınmaya maruz parçalar için 0,2-0,6 mm kalınlık öngörülür. Yüksek basma gerilmelerine maruz kam mili gibi

makina elemanlarının, sertleştirilmiş kam çıkıntısının kabuk derinliği 0,75 mm veya daha fazla olması istenir. Yüzeysel temasta olan, eğmeye, basmaya ve çekmeye maruz, dişliler ve millerde kabuk derinliği en az 0,70-0,75 mm alınır(şekil-4.6)[41].



Şekil-4.5. Nitrojen ve karbonun, karbonyürasyonla çelik yapısına geçişiyle elde edilen mikro yapı[43].



Şekil-4.6 Karbonitrür derinliği boyunca, nitrojen ile karbon oranının değişimi[41].

Otomobillerde dişli ve mil malzemesi olan düşük alaşımlı orta karbonlu çelikler bu methodla sertleştirildiklerinde kabuk kalınlığı 0,10-1,15 mm dir.

Kabuk kalınlığı aslında Etkili kabuk kalınlığı esas alınarak ölçülür, ancak özellikle düşük sıcaklıkta ve düşük karbon oranına sahip parçaların karbonitrürasyonda elde edilen kabuk kalınlığı hemen hemen aynıdır. Yüksek sıcaklıkta yapılan karbonitrürlemede, eğer çeliğin karbon oranı fazla ise bu durumda etkili derinliği tesbit etmek zordur.

4.6. KARBONİTRÜRASYON SICAKLIĞI VE ZAMANI

Sabit sıcaklık şartlarında, karbonitrürasyon çevrimi çeliğin nitrojen ve karbonla doyması, FICK kuralı olarak bilinen difüzyon kanununa göre ceryan eder[44]. Difüzyon kanunu bölüm (2.7.4) de bahsedilmiştir.

Tablo-4.2.'de sıcaklığa bağlı olarak α -demiri içerisinde N ve C'nin difüzyon katsayısı verilmiştir. Azotun demirle olan ilişkisi nitrürleme bahsinde belirtilmiştir (Şekil-3.2. de Fe-N denge diyagramında gösterilmiştir).

Azotun, α demiri içerisindeki difüzyonu, τ demirine oranla 50 kat daha fazladır. Karbon için bu oran 40'dır. Ayrıca temper sıcaklığında yüzeyde oksit film varsa difüzyon hızlanır[45]. 1150°C sıcaklıklarda, 3, 30 ve 130 sn bekletilerek elde edilen karbonitrür kabuk derinliği verilmiştir[44]. 80-200 μ m kalınlığındaki difüzyon tabakasında, karbon %0,9 ulaşmıştır. Bekleme süresi artması ile difüzyon tabakası kalınlığında

artmaktadır.

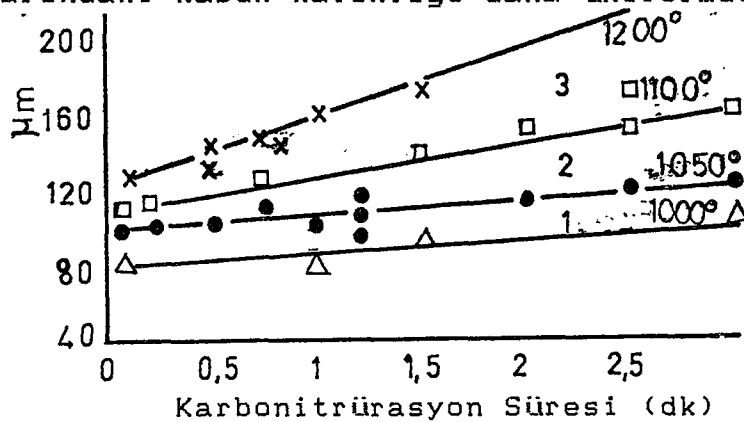
Tablo-4.2. Azotun demir içerisindeki difüzyon katsayısı[22].

Sıcaklık °C	α demiri içindeki difüzyon katsayısı cm ² /s	
	N	C
300	5,3 10 ⁻¹⁰	4,3 10 ⁻¹⁰
500	3,6 10 ⁻⁹	4,1 10 ⁻⁹
700	4,4 10 ⁻⁷	6,1 10 ⁻⁷
900	2,3 10 ⁻⁶	3,6 10 ⁻⁶

Şekil-4.7. de %0,4 C ihtiva eden çelik, 1000,1050,1100 ve

4.7. TABAKA KALINLIĞININ ÜNİFORMLUĞU

Karbonitrüasyonda kabuk kalınlığının yüzey boyunca aynı kalması, fırının şarzına, boşaltılmasına ve bütün bunların iyi derecede kontrol edilmesine bağlıdır. Düşük sıcaklıkta yapılan karbonitrüasyonda daha üniform yapı elde edilir. Bazı karbonitrürlenmiş çelikler, 0,07-0,10 ve 0,12-0,15 mm aralıklarındaki kabuk kalınlığı daha üniformdur.



Şekil-4.7. Indiksiyonla ısıtılarak karbonitrürlenmiş 40 KhN Çeliginin sert tabaka kalınlığının, işlem parametreleri ile değişimi[46].

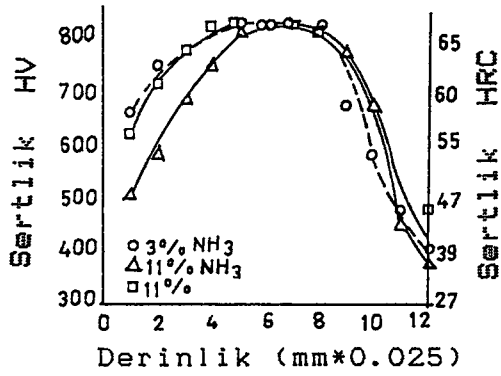
Yüzeyde daima bulunan O_2 , yüzeyin mekanik karakterini etkilememekle beraber nitrürleme etkisini artırır ve yüzey pürüzlülüğüne sebep olur. Yüzeydeki oksijen miktarının %0-2 arasında olması, yapıya üniformaluluk sağlar. Yapıda karbonun serbest olması olumlu sonuç verirken, O_2 serbest olması tatmin edici sonuç vermez[43].

4.8. SERTLİK GRADYANI

Sertlik tamamen yapıya bağlıdır. Şekil.4.4'de mikro yapısı verilen 1117 çeliğinin sertliği, Şekil-4.8 'de verilmiştir. Kısmi olarak yüksek amonyak atmosferindeki karbonitrürasyonda nitrojen miktarı yüksektir. Yüzeyin hemen altında 0,025 mm içinde soğuma sonunda, sertlik 48 RC (510 Kropon) kadar düşük ve yapıda artık austenit mevcuttur. Daha önce belirtildiği gibi, yapıda artık austenit miktarı azaltılırsa, sertlik artar. Bu durumda amonyak miktarı azaltılır. Şekil-4.9 ve 10'da, 1018 ve 1020 çeliklerinin sertlikleri çeşitli değişkenlere bağlı olarak verilmiştir.

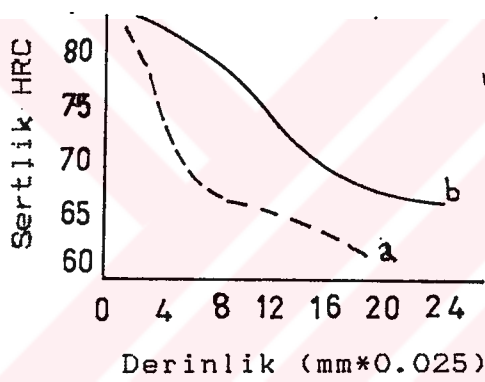
4.9. YÜZEYİN SERTLEŞEBİLİRLİĞİ

Sertleştirme bahsinde anlatıldığı gibi, yüzey sertleştirme yalnızca, % C ve N oranı ile soğuma hızına bağlı değildir. Tatbik edilen işleme, diğer alaşım elemamlarının oranları da bağlıdır. Karbonitrürleme ile sertleştirmede de çok sayıda faktör etkilidir. Bunlar, sertleştirme bahsinde belirtilen genel sertleştirme faktörlerine ilaveten, karbonitrürasyonda etkili olan bir başka değişkende, kimyasal kompozisyonun sabit olmayışıdır[47].



800°C de 2,5 saat süreyle
Karbonitrülenmiş

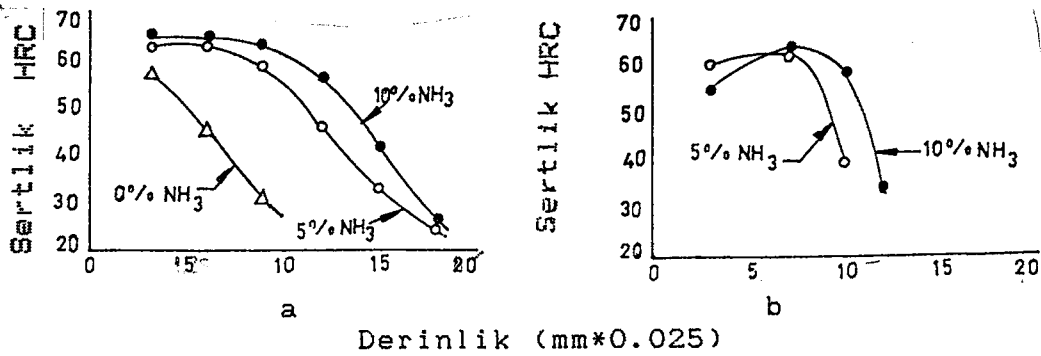
Şekil-4.8. 1117 çeliginin 790°C de elde edilen karbonitrür tabakasının amonyak miktarına göre sertliği[22].



4 saat süreyle,

- 900°C de Karbürleşmiş ve
- 925°C de Karbonitrülenmiş

Şekil-4.9. Karbürleşmiş (a) ve karbonitrülenmiş(b) aynı çeligin sertlik dağılımı[22].

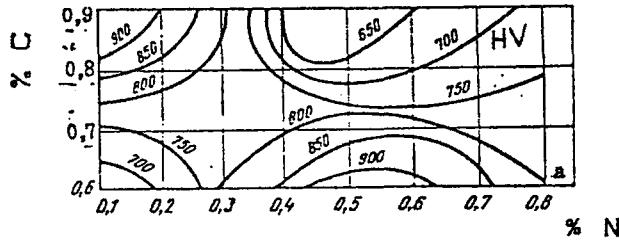


Şekil-4.10. 1018 çeligi 2,5 saat (a) 850°C de, (b) 775°C de karbürleşmesi durumunda amonyakın sertliğe etkisi [22].

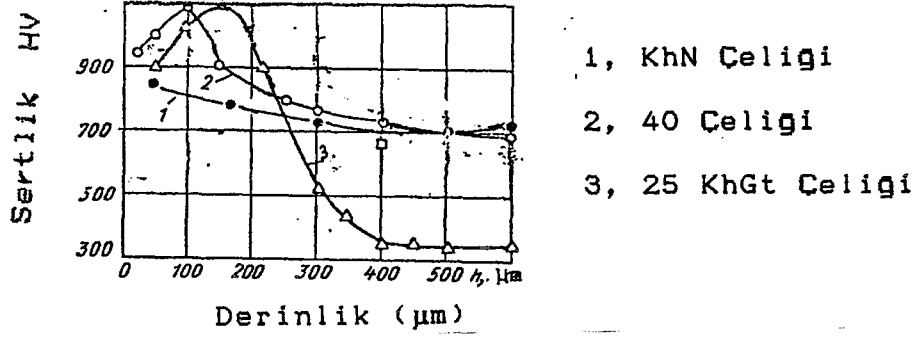
Karbonitrürlenmiş iş parçasının nitrürlenmiş tabakasının kalınlığı, sertliği ve kalitesi çok önemlidir. "Regression" metodu ile analiz edilerek karbonitrürlenmiş düşük karbonlu (%0,25) ve az alaşımlı çelikler ile yapılan deney sonuçları Şekil-4.11'de görülmektedir[48].

Karbonitrürasyonun en önemli özelliği, işlem sırasında nitrojen absorbe ederek kritik soğuma hızını düşürmesidir. Aynı yapıdaki çeliğe, nitrojen vererek yapılan karbonitrürlenme sertleşmesi, karbürlemeye göre daha yüksektir(şekil-4.9). Ayrıca karbürlemeyle üniform olarak sertleştirilemeyen çeliklerin, karbonitrürasyonla daha düşük maliyetle ve üniform olarak sertleştirilirler.

Çeşitli karbonitrürlenmiş çeliklerin sertlikleri artık austenit miktarı ile azalmakta olduğu tesbit edilmiştir. Bu nedenle karbonitrürlenmiş tabakanın sertliği, austenit miktarı ile belirlenir. 1050°C de karbonitrürlenmiş %0,25-0,40 C'lu çeliğinin sertliği yüzeyde 60-61 HRC, %0,45 C çeliğinkine ise 64-66 HRC'dir. Şekil-4.12 'de difüzyon tabakası sertlik profili görülmektedir[46].



Şekil-4.11. Karbonitrürlenmiş 20khN3A (S.S.C.B. Standardı) çeliklerin kabuk sertliğinin nitrojen ve karbon oranı ile değişimi. 20khN3A çeliğinin yapısında % 0,25 C bulunur[48].



Şekil-4.12 Difüzyon tabakasının sertlik profili[46].

Şekil-4.13 'de ise, karbonitrürlenmiş ferritik çeliğin kabuk tabakası sertliğinin, kalınlıkla nasıl değiştiğini göstermektedir[43].

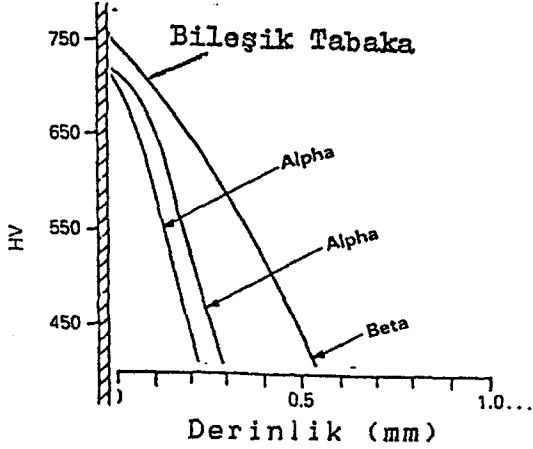
Karbonitrürlenmiş 1010, 1020 ve 1113 çelikleri yağda soğutulmuş, sert martenzit yapı elde edilir. Bu yapının distorsiyonu minimum olup, çeliğin boyut hassasiyet kontrolü daha yüksektir.

4.10. YÜZEYİN SERTLEŞEBİLİRLİĞİNE AMOYAĞIN ETKİSİ

Yüzeye nüfuz eden azot, yüzey tabakasının sertleşebilirliğini artırır. Yüzeğin sertliği özellikle, noktasal yükler taşıyan makina parçaları için çok önemlidir. Yüzeğin martenzit olmayan yapılar, dış bölgelerde sertlik azalmasına sebep olur. Statik durumda, bu yapının yorulma mukavemeti %30, darbeli yükleme durumunda ise 2-2,5 defa daha azdır[47]. Bu durum, özellikle yağda su verildiğinde % 100 martenzitik yapı elde edilemeyen alaşımsız ve düşük alaşımlı çeliklerin sertleştirilmesinde görülür.

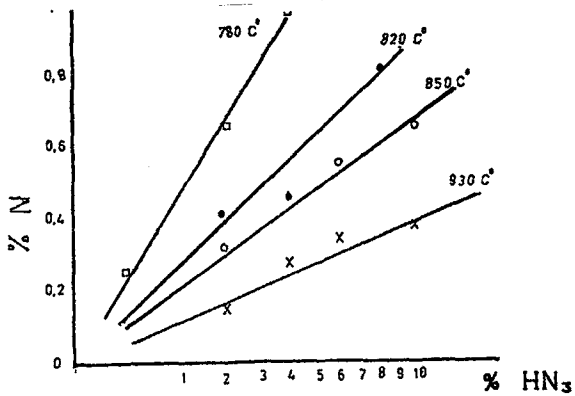
850°C de yapılan karbonitrürlenmeler göstermiştir ki; Nitrojenin, yüzey sertliğinde arzu edilen etkiyi

sağlayabilmesi için amonyak miktarının fırına verilen endogazın % 5'i kadar olmalıdır[22].



Şekil-4.13. Karbonitrürlenmiş ferritik çeliğin kabuk sertliği[43].

Parça yüzeyinin her tarafında aynı miktarda azot elde edebilmek için yüksek sıcaklıklarda daha fazla amonyak gerekirken, düşük sıcaklıklarda daha düşük oranlarda amonyakla çalışabilir(şekil-4.14). Arzu edildiğinde yüzeydeki N miktarı % 3'e kadar çıkarılabilir[45].



Şekil-4.14. Karbonitrürasyonda, yüzeydeki azot miktarının ortamdaki amonyak miktarı ile değişimi[49].

% 0,8 C'lu bir çelik, hem 860° C de karbonitrürleşmiştir ve hemde sementasyonla sertleştirilmiştir. Kendi aralarında mukayese edilmiştir. %0,8 C'lu çelik sertleşebilirliğinde, azotun olumlu etkisi çarpıcı biçimde ortaya konmuştur.

Ayrıca Prenosil[22], azotun sertleşmedeki rolü ile ilgili ayrıntılı çalışmalar sonucu, %0,2 civarında azotun sertleşmede etkin olduğunu ortaya koymuştur[22].

%0,25 C ihtiva eden çelik, karbonitrürasyonla sertleştirilmiş ve en yüksek sertlik değeri (850-900 HV) bulunmuştur. Bu durumda yüzeyde, %0,8-0,9 C, %0,1-0,2 N ve %35-50 artık austenitin bulunduğu tesbit edilmiştir[42].

4.11. KARBONİTRÜASYONUN MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ

Önceki bölümlerde karbonitrürasyonun, sertliği nasıl etkilediği tartışılmıştır. Yapılan çok sayıdaki araştırma ve deneyler, karbonitrüleme ile malzemenin tribolojik özelliklerinin iyileştiği ortaya konmuştur[22,46,47,50].

Malzemenin tribolojik özelliklerinin yanısıra, yorulma direncinde önemli miktarda artırdığı belirlenmiştir. Difüzyon bölgesinde yer alan ara yer katı eriyik alaşımı olan demir-nitrid alaşımları, soğumaya bağlı olarak yapıda teşekkül eder ve yorulma direnci bu yapıya atfedilir[50]. Wells[50], Danefzer ve Edrayer'in[51] yaptığı çalışmalarla, nitrürleme işlemi sonrası soğuma durumuna bağlı olarak malzemenin akma ve elastiklik sınırında önemli artışlar tesbit ettiklerini ifade etmektedirler. Aynı çalışma ile

yavaş soğumadaki 55 MPa olan akma gerilme değeri hızlı soğuma ile 200 MPa yükseldiği ortaya konmuştur[50]. 140°C'de yapılan tavlama sonucu ise hem elastiklik sınırında ve hemde % uzamada iyileşmeler görülmüştür.

Şekil-4.15 'de çeşitli şartlarda azot emdirilmiş çelik numunenin çekme deney sonuçları verilmiştir. Karbonitrüasyon işlemi sonucu yüzeyde iç gerilme bulunmaz[50].

Karbonitrülenmiş bir dişli, farklı yüklerde yorulmaya maruz tutulmuştur. Yapılan deney sonuçları şekil-4.16'da görülmektedir. 10⁷ yük tekrar sayısı esas alındığında yorulma direncinin % 30 arttığı görülmektedir(şekil-4.16)[42].

%0,2-0,25 C ihtiva eden çeliklerin karbonitrüasyon sonrası yapılan ısıl işleme setliklerinde ve yorulma dirençlerinde önemli gelişmeler sağlanabilmektedir. Mesela sertliği 720HV 'den 900 HV'e çıkarken, yorulma direnci 2,5 kat artmaktadır. Bu durum artık austenit miktarındaki azalmaya yorumlanmaktadır[52].

4.12. FIRIN TEÇHİZATI

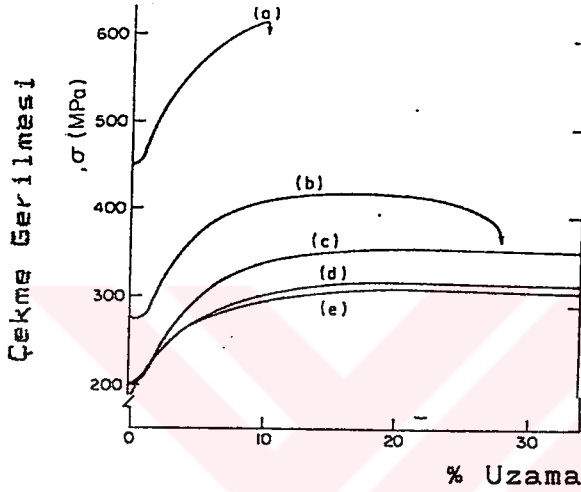
Gaz karbürizasyonda kullanılan bütün teçhizat karbonitrüasyon içinde uygun hale getirilebilir. Yükleme fazla ise fan kullanılır.

4.13. FIRIN TİPİNİN ETKİSİ

Farklı nitelik ve miktarlarda yapılacak işler için hacim ve kapasiteleri farklı fırınlar gerekir. Karbonitrülemede,

aşağıdaki faktörlere dikkat edilmelidir. Bunlar;

- a. Fırın atmosferindeki gazla reaksiyona girebilecek fırın tuğlası ve alaşımı,
- b. Fırın sızdırmazlığı, kapı ve havalandırma durumu,
- c. İş parçasının yüzeyine ve yük miktarına bağlı olarak, gaz sirkülasyonudur.

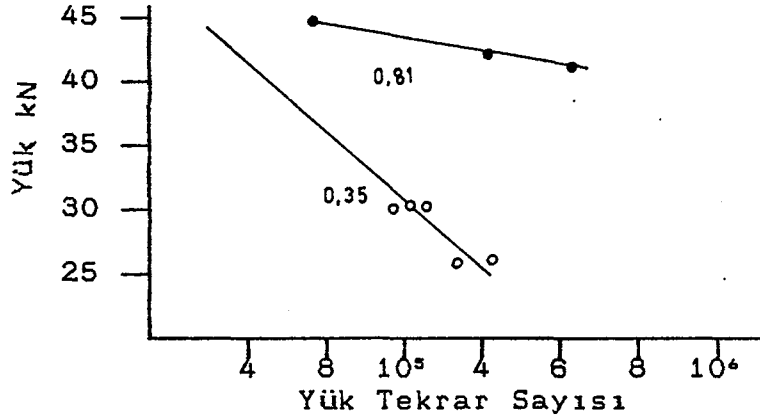


Şekil-4.15 Tuz Banyosunda Nitrürlenmiş ve Isıl işlem görmüş(a,c), Düşük Sıcaklıkta Karbonitrülenmiş, Isıl işlem görmüş(b,d) ve işlem görmemiş(e), %0,1 C ihtiva eden Mn'lı çeliğin çekme deney sonuçları[50].

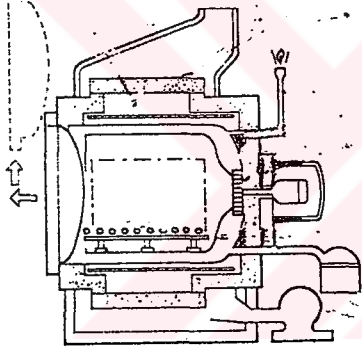
4.14. FIRIN AĞZI ATMOSFERİ

Homojen bir karbonitrürasyon kabuğu ve kabuk yapısı için önce çelik, karbonitrürleme sıcaklığına kadar ısıtılmalıdır. Gaz miktar ve oranları işlem boyunca sabit ve istenilen durumda olmalıdır. Karbonitrürleme kısmında ise amonyak ilave edilerek zenginleştirilen gaza endotermik jeneratör gazı katılır. Bu durumda fırın ağızı atmosferi istenen kimyasal terkipte olur. Fırın içerisinde ise yeterli ısı kapasitesine

sahip etkili gaz atmosferi elde edilir.



Şekil-4.16. Karbonitrürlenmiş, % 0,35 ve 0,8 C ihtiva eden çeliklerin yorulma dirençleri[42].



Şekil-4.17. Basit Bir Fırın ve Tesisatı[43].

4.15. FIRIN ATMOSFERİ

Fırın atmosferi kontrolü, fırın ağız kontrolü gibidir. Birinci derecede fırın atmosferinin sirkülasyonu ve fırın sıcaklığının kontrolü önemlidir. Fırın sıcaklığının, işlem sıcaklığı ile aynı olduğu bölgeye amonyak gönderilir. Özellikle sıcaklığın düşük olduğu bölgelerde, atmosferdeki karbon oranı ile iş parçası aktif reaksiyona girmez. Bu nedenle taze amonyak daha hızlı hareket eder.

4.16. KİMYASAL YAPININ KONTROLÜ

Karbürizasyonda olduğu gibi karbonitrürasyonda da elde edilen yapının kimyasal muhtevası için, atmosferin kimyasal yapısı kontrol edilmelidir. Fırının kapasitesine, yüküne ve karbonitrürasyon sıcaklığına bağlı olarak hesaplanan amonyak miktarı, fırına girişinde debimetre ile kontrol edilir. Bu değer, öngörülenden \pm %10 kadar farklı olmasına müsaade edilir. Mesala:%7 Amonyak öngörülen bir durumda, amonyak miktarı %6,3-7,7 arasında olabilir.

Karbürizasyonda oldukça etkili olan su buharı, metan ve karbondioksit, karbonitrürasyon kabuğunu fazla etkilemez. Bunun sebebi, karbonitrürasyonun, düşük işlem sıcaklığında ve düşük karbon oranında yapılmasıdır. Düşük işlem sıcaklığı daha fazla karbondioksit ihtiva eder ve çığ noktası daha yüksektir.

926 °C' deki karbürleşmiş yüzeydekide karbon oranı %0,9-0,8'dir. Çığ noktası ise -18°C veya -17°C dir ve karbondioksit kontrol değeri \pm 0,005 dir. 815°C'de karbonitrürlemede, kabuktaki karbon oranı \pm 0,8, çığ noktası -16 veya -17 °C ve karbondioksit kontrol oranı \pm 0,03 olması arzu edilir. Bu değerler, 815°C-898°C arasında karbürleme limit değerlerine çok daha yakın değerlerdir.

Karbonitrürasyonda çığ noktası, karbürizasyondaki değerinden azda olsa düşüktür. Yüzeyde %0,90-0,80 karbon bulunan, 1018 ve 8620 çeliği için % 1'den az olmak üzere propan ve % 5

amonyak ilave edilir. "Endotermik jeneratör gazı" olarak tanımlanan bu gaz için 843°C'de çığ noktası -6°C, 815 °C' de -3°C olması gerekir.

Jeneratörde, çığ noktasının ölçümü daha önemli olup, zamanın bir fonksiyonudur. Gaz atmosferin kontrolü gaz jeneratöründe başlar. Hava/gaz oranı, çığ noktası -3°C veya -1°C olacak şekilde ayarlanır. İki veya daha çok jeneratör beraberce çalıştığı durumda, jeneratör gazı bir ana manifoldta bağlanır. Her 8 saatte bir kontrol edilen çığ noktası ile jeneratör gazının analizi(orsat) günlük yapılır.

Özel olarak geliştirilmiş çığ noktası göstergeleri sisteme ilave edilmiştir. Jeneratörde olduğu gibi, fırın içerisinde fırın atmosferini kontrol eden cihazlar mevcuttur.

Çığ noktası ve karbondioksitin muayene sıklığı, yükleme durumuna bağlıdır. Üretim seri ise günde bir kere muayene edilmesi yeterlidir. Ticari durumda ise her bir yükleme için muayene gerekir[22,40]

4.17. ATMOSFERİN KİMYASAL MUHTEVASI

Karbonitrürlemede, taşınan gaz, zenginleştirme gazı ve amonyaktan oluşan bir gaz karışımı kullanılır. Bu gazlarla ilgili detaylı bilgiler Tablo-4.3 'de verilmiştir.

4.17.1. Taşınan Gaz

Endotermik jeneratörde, hava ile diğer hidrokarbonların veya doğal gazın ayrışması ile hazırlanan, karbondioksit, su

buharı, metan, karbonmonoksit, hidrojen ve nitrojen karışımıdır. Bu karışım fırına yeteri basınçta ve miktarda gönderilir. İşlemin kontrolünü kolaylaştırmak için aktif olan amonyak ve hidrokarbon sulandırılır. Gaz odaya kontrol edililerek alınır.

Tablo-4.3. Karbonitrürleme atmosferini oluşturan gazlar ve bu gazların kimyasal terkibi[40].

Gaz	CO2	O2	N2	CO	H2	CH4	C2H6	C2H4
	Karbon Kaynağı							
Doğal gaz	-	-	0,8	-	-	83,4	5,8	-
Doğal gaz	0,8	-	8,4	-	-	84,1	0,7	-
Baca gazı	2,2	0,8	8,1	6,1	46,5	32,1		3,5
T. Bütan	(C4H10, % 93 ; C3H8, % 7)							
T. Propan	(C3H8, % 95)							
	Nitrojen Kaynağı							
Amonyak	(NH3, % 100; ısı ile ayrışma % 75H2 % 25 N2)							
	Taşınan gaz							
Endotermik J. gazı			38	21	40	1,0	-	-
Güçlendirilmiş J. gazı			59	18	23	-	-	-
Saf Exotermik gaz			74	10	15	1,0	-	-
CH4, metan, C2H6 etan, C2H4 etilen, C6h6 benzen, C4 H10 bütan ve C3H8 propandır.								

4.17.2 Zenginleştirme Gazı

Birinci derece karbon kaynağı olarak çelik yüzeyine temas eden gazdır. Doğal gaz, propan ve bütan gibi hidrokarbonlar zenginleştirme gazı olarak kullanılır. Sıvı hidrokarbon kullanılması halinde, taşınan gaz kullanılmaz. Bu durumda yüksek sıcaklıkta sıvı hidrokarbon hızla buharlaşır ve karbon kaynağını teşkil eder.

4.17.3. Amonyak

Nitrojen kaynağı olarak amonyak kullanılır. Amonyak fırın sıcaklığının ve basıncının yeterli olması durumunda nitrojene ayrışır. Bu nitrojen çelik tarafından absorbe edilir.

4.18. ATMOSFERİN KONTROLÜ

Karbonitrürleme atmosferini oluşturan gazlar, debimetre ile kontrol edilirler veya sabit oranlarda karıştırılmış durumda fırına gönderilir. Büyük çaplı ve daha hassas karbonitrürasyon işlemlerinde birçok noktada kontrol etmek gerekir. Atmosfer Kontrolü, karbonitrürleme atmosferini oluşturan gazların miktarını, bileşimlerini ve çiğ noktasının kontrolü olarak tanımlanabilir. Özellikle zenginleştirilmiş gazda hidrokarbon fazla olursa, fırında patlamaya neden olur. Patlama sonu artıkların fazla olması durumunda zaten zor olan fırın temizliği ve istenilen karbonitrürasyonu sağlamak güçtür.

4.19. AMONYAK ILAVE SÜRESİ

Amonyak ilavesi genellikle tüm karbonitrürleme süresince yapılır. Operasyonun ikinci yarısında veya üçüncü çeyreğinde amonyak oranını azaltmanın fazla bir yararı veya mantıklı bir izahı bulunmamaktadır. Zira bütün yayınlarda karbon ve azotun çelik içindeki yayılmasının eşit sıcaklıkta ve kesintisiz gaz verilmesi halinde eşit olduğu belirtilmektedir. Eğer azot bir çeliğin sertleşebilirliğini artırıyorsa şüphesiz bu çeliğin ulaştığı etkili sertlik derinliğine kadar geçerlidir. Karbon

konsantrasyonu yüzeye kıyasla sert tabakanın altında daha az bulunur ve bu iç bölgelerde soğuma daha düşük hızda olmaktadır. Her şeye rağmen bu iç bölgenin martenzitik yapıya dönüşüp dönüşmediğinden emin olmak gerekmektedir. Karbonitrürasyonda bu bölgeye karbonla beraber 106 azotta difüze olur. Böylece karbonitrürasyonda sözkonusu iç bölgelerin sertleşme şansı dahada artar.

Azot da karbon gibi aynı derinliklere kadar yayılabilir. Azot, karbonla aynı şartlarda ve aynı zaman diliminde verilmeye başlanırsa, difüzyon oranınının karbonla aynı olduğu görülür. Eğer azot ilavesi geciktirilirse, difüzyonda da bir gecikme olur. Bu durumda azotun, karbonla aynı difüzyon derinliğine ulaşması için konsantrasyonu artırılır (şekil-4.18)[49].

4.20. SICAKLIĞIN SEÇİMİ

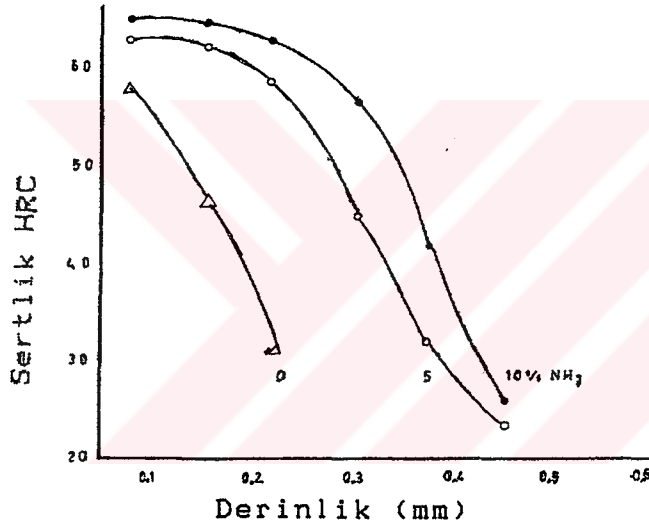
Karbonitrürleme sıcaklığı, çok sayıda değişkene bağlı olarak seçilir. Bu değişkenler; çeliğin kimyasal terkibi, boyut kontrolü, metalin yorulma ve aşınma özellikleri, sertliği, mikro yapının kimyasal durumu, maliyet ve mevcut karbonitrürleme teçhizatana bağlıdır.

4.20.1. Çeliğin Kimyasal Terkibi

Sıcaklığın artırılması ile genel olarak amonyak miktarı artırılır. Fakat yüksek alaşımlı çeliklerin karbonitrürlenmesinde amonyak miktarı azaltılır. Eğer yüksek alaşımlı çeliklerde de amonyak miktarı artırılırsa, artık

austenit miktarıda artar. Bu çeliklerde artık austenit miktarı minimuma indirmek gerekir.

Sıcaklık, atmosferin kimyasal terkibi ve alaşım muhtevası ile çok yakından ilişkilidir. Yaklaşık 700°C gibi düşük sıcaklıklarda karbonitrürlemede patlama riski ve yüzeydeki nitrojenin kırılgenlik etkisi büyüktür. Bu sıcaklıkta yapı daha kırılgen ve çekirdek sertliği daha düşüktür. Bu nedenle çoğu karbonitrürleme uygulamaları 788°C'de veya daha yüksek sıcaklıklarda gerçekleştirilir.



Şekil-4.18. Azotun çelik içerisinde difüzyonu[49].

4.20.2. Boyut Kontrolü

Karbonitrürleme sıcaklığı, boyut kontrolü için çok önemlidir. 780°C'den daha düşük sıcaklıkta gerçekleştirilen karbonitrürleme sonucu malzemenin daha az distorsyona uğradığı ve daha az esnek olduğu tesbit edilmiştir. Buna karşılık 780°C'den düşük sıcaklıklarda çalışma durumunda, gerekli kabuk kalınlığına daha uzun sürede ulaşılmaktadır (Şekil-4.19)[40].

Çekirdek sertliği ve yüzey durumu sıcaklıklarla sıkı ilişkilidir. Daha yüksek sıcaklıkta daha yüksek çekirdek sertliği elde edilir. Yüksek yüzey gerilimine sahip tatbikatlarda çekirdek sertliğinin yüksek olması arzu edilir. 788°' de yapılan karbonitrürlemede elde edilen ince yapılı ve yumuşak iç yapı tatmin ediçi aşınma direncine sahiptir.

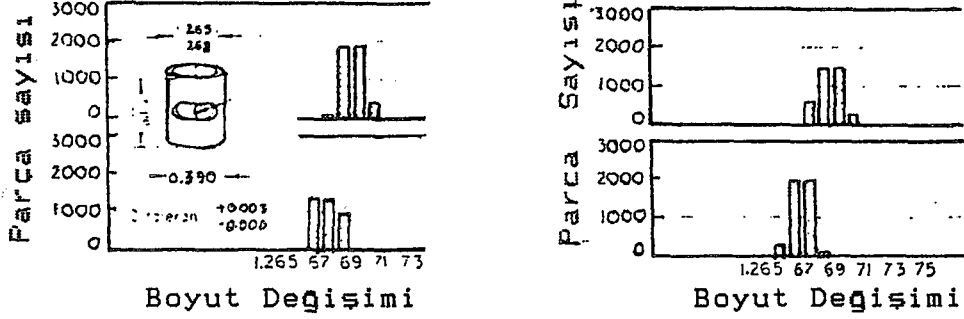
4.20.3. Artık Austenitin Kontrolü

Nitrojen, austenitin dönüşüm sıcaklığını düşürür. Bu nedenle aynı miktarda karbon ihtiva eden bir çeliğin, karbonitrürlenmiş yapısında, karbürlemeye göre daha fazla artık austenit bulunur. Artık austenit mukavemeti düşürür ve bu durum ağır yük altında çalışan parçalar için zararlıdır. Düşük sıcaklıklarda soğutma durumunda artık austenitin miktarında önemli azalmalar görülür. Hassas toleranslı parçalar önce bu işleme tabi tutulmalı sonra taşlanmalıdır. Sıfırın altında yapılan işlemlerde parçalar, ayrıca son temperleme işlemine tabi tutulmalıdır. Sıfırın altında çalışmak çok pahalıdır ve bu durumdan kaçınmak gerekir.

Karbonitrürasyonda, çeliğin hemen yüzeyinde bulunan, artık austenit miktarı taşlama işlemiyle, yüzeye orantılı olarak dağıtılır. Bu amacın dışında, yüzeyin taşlanması gerekli değilse, taşlama pahalı bir işlem olur. Artık austenit miktarını minimum etmek için, en ekonomik ve genel yol, çelik seçimi ve işlemin kontrollü yapılmasıdır. Artık austenit miktarını minimumda tutabilmek için bir çok işlem faktörünü değiştirmek gerekir.

4.20.3.1. Fırın Sıcaklığı

Fırın sıcaklığı artırılırsa, sertleştirilen dış kabukta nitrojen miktarı azalır. Böylece artık austenit minimuma iner.



850° C de Karbonitrürlenmiş 760° C de Karbonitrürlenmiş
Şekil-4.19. 1010 çeliğinden üretilmiş çelik parçaların

boyutuna karbonitrürlenme sıcaklığının etkisi[40].

4.20.3.2. Karbon Miktarı

Sertleştirme işlemlerinde, yüzeydeki karbon miktarı % 0,7-0,8 olması gerekir. Yüzeydeki karbon miktarı propan veya doğal gazla sağlanan Hidrokarbon miktarı ile kontrol edilmeli ve sağlanmalıdır.

4.20.3.3. Amonyak Miktarı

İstenilen mekanik özelliklere ve sertliğe bağlı olarak minimum seviyede amonyak kullanılmalı ve amonyak oranı sınırlanmalıdır. Genellikle %5 amonyak miktarı yeterlidir.

4.21. EMNİYET

Karbonitrürasyon gazları, hayli toksik, tutuşabilir ve patlayıcıdır. Gaz karbürizasyonunda olduğu gibi, personeli ve cihazları bu durumdan korumak gerekir. Emniyet cihazlarında

karbonitrürasyon teçhizatı ile beraber bulunur. Bu cihazlar periyodik olarak kontrol edilmelidir.

Karbonitrürasyonda kullanılan amonyak, boruların içinde sıvı olarak manifoldta taşınır. Sıvı amonyak tesisatı, paslanmaya karşı dirençli ve donmayı önleyecek özellikte olmalıdır.

Amonyak silindirleri fırına yakın yerde olmalı ve güneş ışığına direk maruz kalmamalıdır. Ayrıca patlayıcı ve tutuşabilir gazlardan ve ortamdaki uzak olmalıdır. Amonyak silindirleri için ateşe dayanıklı duvarlarla bölümlenmiş ve iyi havalandırılan bir oda en uygundur.

4.22. SOĞUTMA

Karbonitrürasyonda parçanın, suda, yağda veya gaz ortamında soğutulması, fırın tipine ve karbonitrürasyon teçhizatına bağlıdır. Ayrıca çeliğin, metalurjik yapısına ve kimyasal terkibine, boyut durumuna ve kabul edilebilir distorsyona bağlıdır.

4.22.1. Suda Soğutma

Suda soğutma, parçanın distorsyonunu artırır. Düşük distorsyona sahip az karbonlu alaşımsız çelikler suda soğutulurlar. Soğuma, suda daha hızlıdır. Alaşımlı ve yüksek karbonlu çeliklerin suda soğutulması durumunda, çarpılma ve çatlama riski çok fazla olur ve distorsyon dolayısıyla boyut kontrolü zordur.

4.22.2. Yağda Soğutma

Yağda soğutma sıcaklığı 37°C-204°C arasındadır. Yüksek tutuşma sıcaklığına sahip özel yağ kullanılırsa distorsyonlar en aza indirilebilir. Aynı amaçla erimiş tuz da kullanılır. 48°C-71°C arasında soğumada kullanılan mineral yağın, tutuşma sıcaklığı 168°C'dir. Özel katıklar kullanılarak soğutma hızı arttırılır. Bu yağlara, azda olsa su karışırsa etkisi 3-6ay gibi bir sürede kaybolur. Buna rağmen soğuma etkisini arttırmak için bir miktar su karıştırılır.

4.22.3. Gazda Soğutma

Düşük basınç mukavemetine sahip, yüzeyi zorlanan, ince plaka şeklindeki parçalar, gazda soğutulur. Gaz ile soğutma durumunda distorsyonla beraber çatlama riski de azaltılır. Buna karşılık maliyet artar.

Fırın içine yerleştirilen parçanın, istenilen sertlikte elde edilebilmesi için yüzeyi gaz gönderilerek hızla soğutulur. Bu durumda fırının yüklenmesi ve iş parçası konumu önemlidir.

4.23. TEMPERLEME DİRENCİ

Karbonitrürlenmiş çeliğin temperleme direnci, yapıda azotun bulunması nedeniyle, karbürizasyona göre daha yüksektir. Yüzeydeki nitrojen miktarı, temperleme sonrası yumuşama oranını belirleyen en önemli faktördür. Karbonitrürasyonda, amonyak miktarının maksimum ve yapının tamamen martenzit olması(en az artık austenit bulunması) durumunda temperlemeye

karşı direnç, en yüksek değerindedir. Temperleme direncindeki bu artış, yüksek çalışma sıcaklıklarında arzu edilir.

Şekil-4.20'de karbonitrürlenmiş 1018 çeliğinin temperleme direncinin sıcaklık ve amonyak ile değişimi verilmiştir. Şekil-4.21 'de karbonitrürasyon sıcaklığının amonyak miktarı, temperleme direnci ve sertlik arasındaki ilişkiye ait örnekler verilmiştir. Nitrojenin, temperleme direncini en az 50°C artırdığı ortaya konmuştur(Şekil-4.22) [42].

Tablo-4.4 'de 426°C'deki karbonitrürasyonda temperleme ile çentik ve darbe dayanımındaki artış gösterilmektedir.

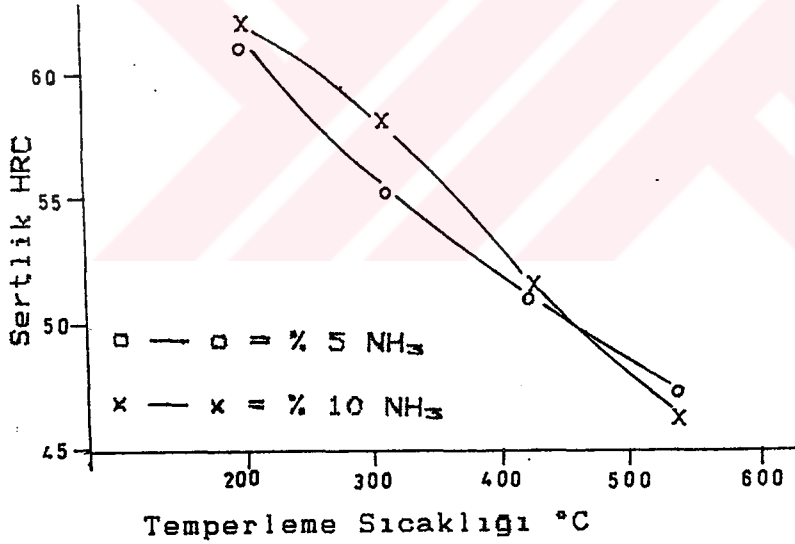
Tablo-4.4. 875 °C sıcaklıkta 3 saat süreyle %7 amonyak ihtiva eden ortamda, karbonitrürlenmiş 1041 çeliğinin çentik darbe mukavemetine temperleme sıcaklığının etkisi[40].

Test	Temperleme Sıcaklığı °C	Çentik Darbe Muk. Nt-m	Sertlik	
			Yüzey HRC	Çekirdek HRC
1	-	1.34	60	53
2	300	2.00	47	46
3	340	28.73	42	43
4	390	68.15	38	38
5	430	80.17	35	32

Deneyler, sabit temperleme şartlarında yorulmaya maruz bırakılarak yapılmıştır. Çoğu karbonitrürasyon işlemlerinde sertlik 58HRC'den aşağı olmamak üzere, kırılma direnci azaltmak için çelikler 190 °C - 204 °C' de temperlenirler. Alaşım

çelikler ise yüzeydeki taşlama çatlaklarını minimum etmek için temperlenir. Düşük karbonlu çelikler genellikle 135°C-176°C'de temperlenirler. Bunun sonucu olarak da, boyut değişimi en aza indirilir ve austenit dengelenir. Yalnızca aşınmaya dayanıklı olması istenen parçaların temperlenmesi gerekmez.

Yapılan çeşitli deneylerde, temperleme sıcaklığı artırıldığında sertliğin düştüğü görülmektedir. Mesela, 1018 çeliği ve 1041 çelikleri karbonitürlendikten sonra, 1018 çeliği 260°C'de temperlenmiş ve yüzey sertliği 55 HRC, 1041 çeliği ise 500°C'de temperlenmiş yüzey sertliği 50 HRC olduğu tesbit edilmiştir(şekil-4.22.)[49].

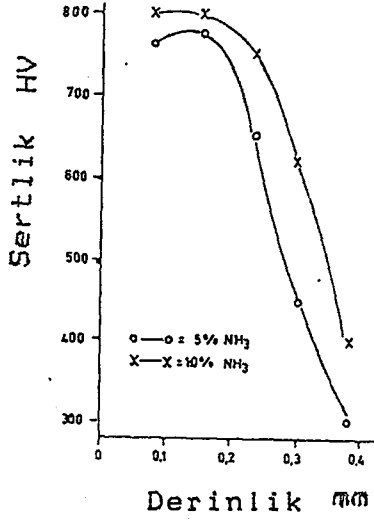


Şekil-4.20. Karbonitürlenmiş 1018 çeliğin sertliğinin temperleme sıcaklığı ile değişimi[49].

4.24. KARBONİTRÜRASYONDA SINIRLAMALAR

Karbonitürasyon daha önce belirtildiği gibi sertleştirilmiş kabuk derinliğindeki sınırlamalara ilaveten, çentik ve darbe

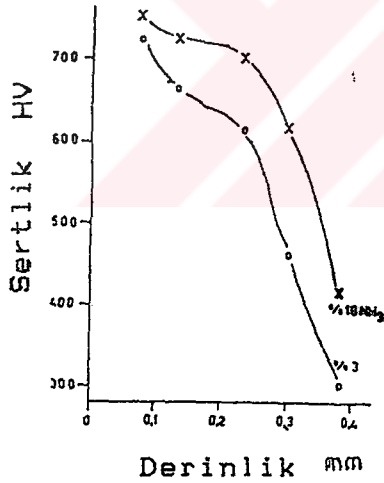
dayanımı, diğer yüzey sertleştirme metodları ile elde edilen kabuk kalınlığının yarısına eşittir (tablo-4.1).



845° C de
Karbonitrülenmiş

(mm)

Sekil-4.21. Çeşitli şartlar altında karbonitrülenmiş 1018 çeliginin kabuk kalınlığı boyunca sertliğinin değişimi [40].



845° C de
Karbonitrülenmiş

ve

200° C de Temperlenmiş

(mm)

Sekil-4.22. Karbonitrürasyonda amonyak ve temperleme sıcaklığının sertliğe etkisi [49].

Karbonitrüasyonun maliyeti yüksek ve distorsyon fazladır. Distorsyon herbir durum için ayrı ayrı değerlendirilmelidir. İndüksiyonla sertleştirme, karbonitrüasyona göre daha düşük distorsyonla sağlanmaktadır. Sıvı siyanürleme de ise daha düşük maliyetle ve üniform sertlik istenen küçük parçalar sertleştirilir.



BÖLÜM - V

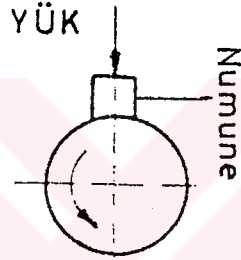
DENEYSEL ÇALIŞMA

5.1. GİRİŞ

Birbirine göre izafi hareket yapan elemanların, aşınma ve sürtünme davranışlarının araştırılması, bu elemanların çalıştığı tribolojik sistemlerin, laboratuvar şartlarına indirgenmesi ile mümkündür. Bu itibarla, laboratuvar şartları ve oluşturulan deneysel modelin, azami ölçüde gerçek işletme şartlarını temsil etmesi gerekir. Deneylein, gerçek işletme şartlarında yapılması durumunda, çok sayıdaki değişkenin tamamının kontrol edilmesi zordur. Bu değişken şartlarda yapılan deneylerin tekrarlanması ve sonuçlarının genelleştirilmesi gerçekçi olmaz. Deney sonuçlarının güvenilir olması için model sistemler geliştirilmektedir. İşletme şartlarını temsil eden bu model sistemler, aynı zamanda basit ve daha düşük maliyette olur. Şekil-1.16. da geliştirilmiş bazı aşınma deney modelleri görülmektedir.

Bu çalışmada, aşınma deney modeli olarak, kam mili mekanizmasına benzerliği dolayısı ile şekil-5.1 de görülen pim-disk sistemi seçilmiştir. Bu sistemin seçilmesinin diğer sebepleri şunlardır;

1. Yüksek kayma hızında daha az titreşimle çalışması,
2. Yüzeylerin tam kavraması,
3. Tek yönde hareket yaptığından sürtünme kuvvetinin hareket değişiminden daha az etkilenmesi ve
4. Kaymalı sürtünme yapan sistemleri daha iyi karakterize etmesidir[6].



Şekil-5.1. "Pim-disk" aşınma deney modeli.

5.2. KAM MİLİ

Kam mili, motoru oluşturan en önemli parçalardan biridir. Motorda, bir çok görevi yerine getirir. Bu görevleri şöyle sıralamak mümkündür.

1. Üzerindeki kam çıkıntıları vasıtası ile motorun emme ve ekzos subaplarına açma ve kapama görevlerini yaptırmak,
2. Distirübütör miline hareket vermek,
3. Yağ pompasını çalıştırmak ve
4. Benzin pompasını çalıştırmaktır.

Kam milleri, kam çıkıntılarında başka, çeşitli hareket ileticileri vasıtası ile yukarıda belirtilen görevlerini yapar[54].

5.3. KAM MİLİ YAPIM VE ÖZELLİĞİ

Kam miller, kaliteli çelik alaşımlardan presle dövülerek yada dökülerek tek bir parça halinde üretildiği gibi, yine demir esaslı dökme demir alaşımlarından da üretilir[54]. Mil üzerinde muylular, kamlar ve hareket dişlileri bulunur. Mil sertleştirilmeden önce, muylu ve kam yüzeyleri özel tezgahlarda kabaca işlenir. Sonra, kam ve muylular, ısıtılma işlemine tabi tutularak sertleştirilir. Kabaca işlenen ve sertleştirilen yüzey, hassas olarak özel tezgahlarda taşlanarak istenen ölçü tamlığına getirilir(şekil-5.2.).



Şekil-5.2. Bir kam mili enine kesiti[54].

Kam mileri, alev veya indüksiyonla sertleştirilirler. Sertlik derecesi, 500-700 HV arasındadır. Sertleştirme sonucu oluşturulan bu sert kabuk, aşınmaya karşı dirençli, sağlam ve özlü bir tabakadır. Bu kabuğun derinliği, 0,76-1,01 mm dir([55]).

Kam mili kam çıkıntıları, genellikle normal aşınmaya, korozyona, karıncalanmaya, derin çizik, çatlak ve kırılma gibi zorlamalara maruzdur(şekil-5.3.). Kam millerinin aşınması, daha çok kamın uçunda ve yan yüzeyinde olur. Bu durum, motorun sesli ve verimsiz çalışmasına neden olur.

5.4. KAM MİLİ MALZEMELERİ

Eksantrik kam millerinin üretiminde, demir esaslı alaşımlar kullanılır. Genellikle iki grupta toplanan bu malzemeler;

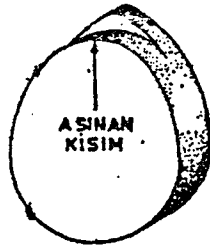
- a. Dökme demir çeşitleri,
- b. Çelik çeşitleri

5.4.1. Dökme demir alaşımları

Özellikle gri dökme demir alaşımlarından üretilen kam millerinin kam tepeleri çil etkisine maruz bırakılmasıyla kam sert, kam merkezi ve şaft yumuşak kalır. Döküm esnasında sertleştirilen kam tepelerinin ayrıca sertleştirilmesi gerekmez[55].

5.4.2. Çelik ve Alaşımları

Çok çeşitli çelik ve alaşımları, kam mili üretiminde kullanılabilir. Ancak seçilecek çeliğin özelliklerinin kam mili konstrüksiyonuna uygun olması gerekir. Genellikle motorun konstrüksiyonuna göre malzeme seçilir. En çok kullanılan çelik ve alaşımları; DIN 20MnCr5, 16MnCr5, Ck53, Ck60 ve Ck45 çelikleridir[55].



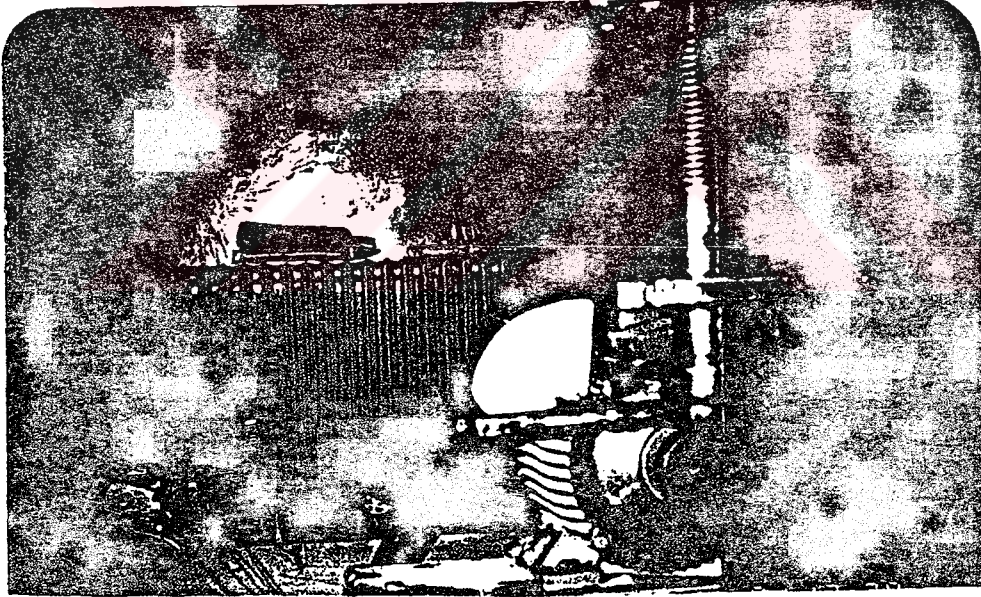
Şekil-5.3. Aşınmış bir kam[54].

5.5. DENEY TESİSATININ ÖZELLİKLERİ

Deneysel çalışmada, mevcut imkanlar dahilinde kayma sistemi olarak pim-disk deney tesisatı yapılmıştır. Numuneler pim, karşı elemanda disk olarak tasarlanmıştır. Deney tesisatı, aşınma deneyi için önerilen yapıdadır[52].

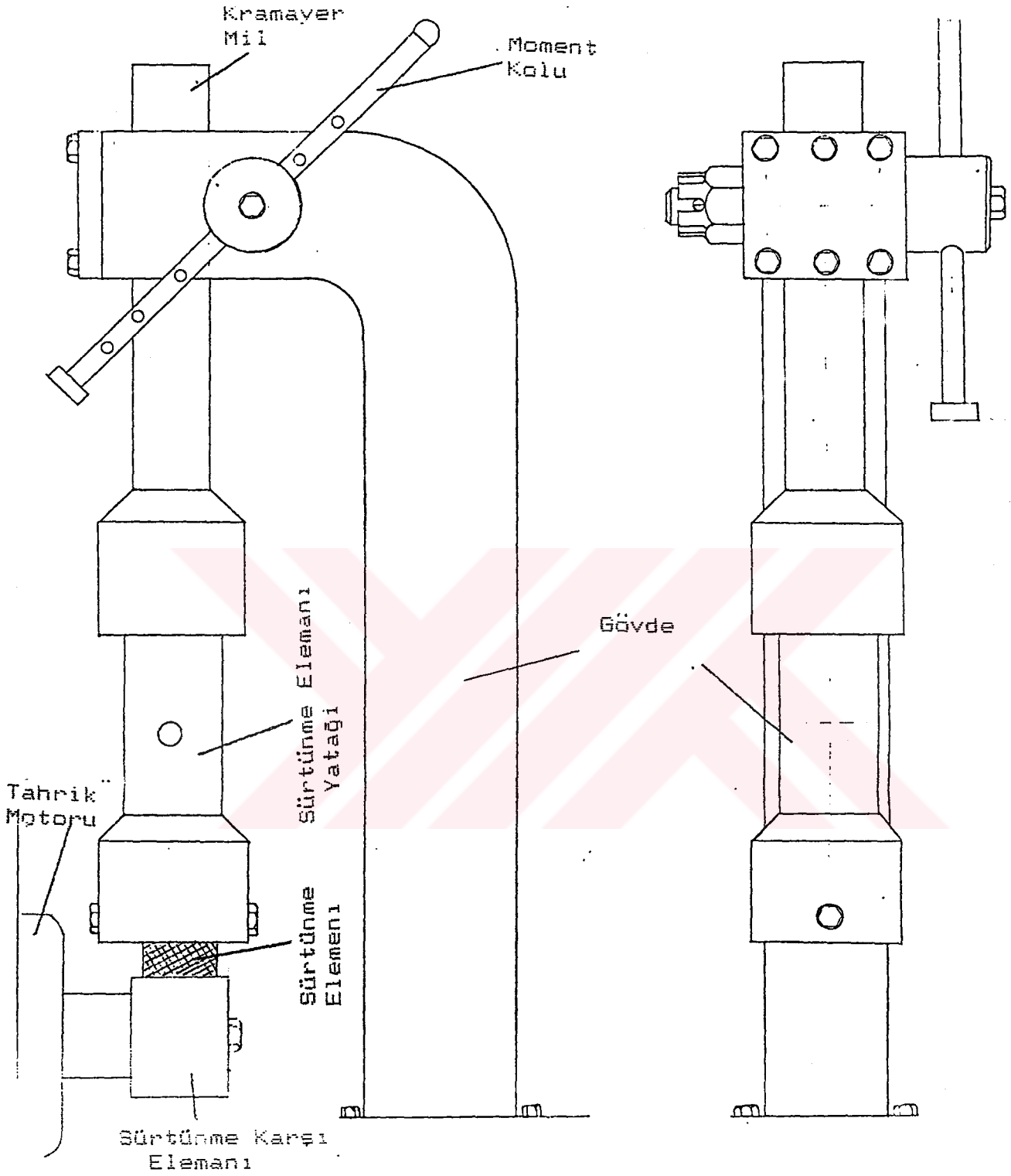
Tribolojik sistem, numune, karşı eleman ve atmosferden oluşmuştur. Şekil-5.4. de deney tesisatı görülmektedir.

Deney tesisatı, 3BG gücünde, üç fazlı ve dakikada 695 ve 1400 devirle dönen bir elektrik motoru ile tahrik edilmiştir. Karşı malzeme, motor miline kama ile bağlanmıştır. Deney tesisatı, aşınma deneyleri için öngörülen yapıdadır[52].



Şekil-5.4. Aşınma Deneylerinde Kullanılan Deney Tesisatı

Şekil-5.4 ve 5 den görüldüğü gibi ana gövdenin üzerinde yataklanmış moment(yük) kolu, sonsuz vida açılmış bir mile kramayer dişli ile hareket vermektedir. Yük kolu ile sonsuz vida mili dikey konumda hareket ettirilmektedir. Sonsuz vidanın diğer ucuna, numune boyutuna uygun yatak açılmıştır.



Şekil-3.5. DeneY Tesisatının Şematik Görünüşü.

Sonsuz vidalı mil iki parçalıdır. Bu iki parça birbirine hareketli bir mafsalla bağlanmıştır. Numunenin bağlı bulunduğu alt kısım, sürtünme kuvvetinin etkisi ile hareket edebilir durumdadır. Yük kolu, eksenal doğrultuda kaydırılarak, sonsuz vida üzerine etkiyen moment değeri artırılıp azaltılabilir. Bu şekilde numune üzerine etkiyen yük ayarlanabilmektedir. Sonsuz vida milinin, çalışma durumunda titreşimlerden etkilenmemesi için gövdeye ayrıca yataklanmıştır.

5.6. DENEY MALZEMELERİ

Esas sürtünme elemanı olarak, yüzeyi sementasyon ve karbnitrürasyonla sertleştirilmiş, AISI 1020 ve AISI 5115 çelikleri seçilmiştir. Semente edilmiş 5115 çeliği, orta derecede mukavemetli ve aşınma direnci istenen, ağır yükler altında çalışan mil, dişli, yatak ve kam mili gibi makina elemanlarının imalatında kullanılmaktadır.

1020 çeliği ise düşük mukavemet sahiptir, buna karşılık kolayca şekillendirilebilen, maliyeti düşük ve son derece esnek olması nedeniyle geniş kullanım alanı vardır. 1020 çeliği, sertleştirildikten (semente edildikten) sonra aşınma direnci artar. Aşınma direncindeki bu artış, ağır yük makinaları için yeterli değildir. Bu nedenle semente edilmiş 1020 çeliği, ağır yük altında çalışan makina elemanları imalatında tercih edilmez.

Tablo-5.4 de görüldüğü gibi AISI 1020 (DIN Ck22) ve AISI 5115

(DIN 16MnCr5) çeliklerinin mekanik özellikleri arasında fazla bir farklılık görülmektedir. Kullanıldıkları konstrüksiyonlar ise çok farklıdır. Bu nedenle AISI 1020 çeliğinin mekanik özelliklerinin biraz daha geliştirilmesiyle AISI 5115 çeliğinin yerine kullanılabileceği düşünülmüştür. Bu güne kadar yapılan çalışmalarda da, karbonitürlenmiş çeliklerin mekanik özelliklerinin, sementasyonla sertleştirilmiş çeliklere göre daha iyi olduğu ortaya konmuştur[40,43,48,50]. Bu çalışmada karbonitürasyon ve sementasyonla sertleştirilen AISI 1020 ve AISI 5115 çeliklerin çekme mukavemeti, sürtünme ve aşınma davranışları deneysel olarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre karbonitürlenerek sertleştirilen AISI 1020 (Ck22) çeliğinin, sementasyonla sertleştirildikten sonra kam mili imalatında kullanılmakta olan AISI 5115 (DIN 16MnCr5) çeliğinin alternatifi olup olmadığı mukayese edilmiştir. Karşı malzeme ise sertleştirilmiş AISI 8640 çeliğinden olup sertliği menevişlenmiş durumda, 321 HB30 dir. Yüksek mukavemete ve aşınma direncine sahip olan AISI 8640 çeliği, ağır yük altında çalışan makina parçalarının imalatında kullanılmaktadır. Deney numunelerini ve karşı sürtünme elamanının kimyasal terkipleri Tablo-5.1. de verilmiştir[53].

Her iki çelik, aynı şartlarda hem karbonitürlenmiş ve hemde semente edilmiştir. Kayseri - Taksan takım tezgahları fabrikasında yapılan yüzey sertleştirme işlem şartları aşağıdaki Tablo-5.2. de verilmiştir. Yüzey sertleştirme ipsten ısıtma tesisatında yapılmıştır.

Tablo-5.1. Deney malzemelerinin kimyasal bileşimleri.

Malzeme	Kimyasal Bileşim (%)							
	C	Mn	Si	P	Cr	S	Ni	Mo
AISI 1020	0,18	0,30	0,04	0,03	-	0,03	-	-
AISI 5115	0,18	1,25	0,03	0,03	1,10	0,03	-	-
AISI 8640	0,40	1,00	0,03	0,04	0,50	0,40	0,50	0,20

Tablo-5.2. Isıl İşlem Şartları.

Malzeme	Karbonlama			
	% C	Derinlik	Sıcaklık	Zaman
AISI 1020	0.8	0.8 mm	930 °C	4 saat
AISI 5115	0.8	0.8 mm	930 °C	4 saat
Malzeme	Karbonitrürleme			
	Endogaz	Amonyak	Sıcaklık	Zaman
AISI 1020	12 m ³ /h	0.8 m ³ /h	860°C	210 dk
AISI 5115	12 m ³ /h	0.8 m ³ /h	860°C	210 dk
Malzeme	Sertleştirme			
	Soğutma Ortamı	Soğutma Sıcaklığı	Yağ Sıcaklığı	Bekleme Süresi
AISI 1020	Yağ	840°C	50°C	30 dk
AISI 5115	Yağ	840°C	50°C	30 dk
Malzeme	Temperleme			
	Sıcaklığı	Süresi		
AISI 1020	200°	60 dk		
AISI 5115	200°	60 dk		

Tablo-5.3 de karşı malzeme olarak kullanılan 8640 çeliğin,

Tablo-5.4. de deney numunelerin mekanik özellikleri verilmiştir[39].

5.7. SÜRTÜNME ÇİFTLERİ

Şekil-5.6 ve 5.7 de boyutları ve şekli verilen esas sürtünme elemanları ve karşı eleman birbirleri ile tam kavraması için

Tablo-5.3. 850 °C de suda sertleştirilmiş ve 650 °C menevişlenmiş AISI 8640 çeliğinin mekanik özellikleri[39].

Kopma dayanımı	103 Kg/mm ²
Akma dayanımı	92 Kg/mm ²
Kopma uzaması	% 19 (5do)
Kesit Daralması	% 43
Sertlik	321 HB

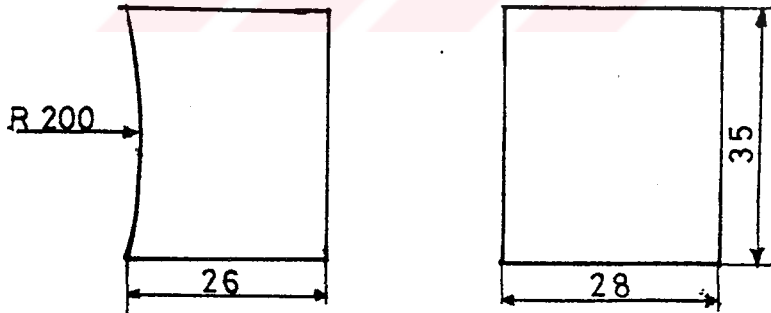
numuneler pim şeklinde, karşı malzeme ise silindir biçiminde tasarlanmıştır. Kayser-Taksan işletmelerinde ısıl işleme tabi tutulan numunelerin ve karşı sürtünme elemanının temas yüzeyleri taşlanmıştır(Tablo-6.1 ve 6.2 de yüzey pürüzlülüğü ve statik sürtünme katsayıları verilmiştir).

Nmuneler yatağında titreşimlerden etkilenmemesi için yuvasına vidalanarak kısmen sabitlenmiştir.

Karşı malzeme ise daha önce belirtildiği gibi motor miline sabitlenmiştir. Yatağında kısmen sabitlenmiş numune ile dönmekte olan karşı sürtünme elemanı yarım silindir şeklinde kavramaktadır(Şekil-5.4).

Tablo-5.4. AISI 5115 (DIN 16MnCr5) ve AISI 1020 (Ck22) çeliginin mekanik özellikleri (normalleştirilmiş durumda)[20,53].

Mekani özellik	Malzeme	
	AISI 5115	AISI 1020
Kopma direnci kg/mm ²	50	42
Akma sınırı kg/mm ²	40	27
Kopma uzaması %	27 (5do)	27
Kopma kesit daralması %	60	55
900°C de havada soğutulmuş ve 650°C de menevişlenmiş durumda		
Sertliği HB 30	150	140
Isıl işlem durumu (°C)		
Sıcak şekil verme	1100-850	1000-850
Yumuşatma tavlaması	790-840	700-650
Normalleştirme	870-910	950-900

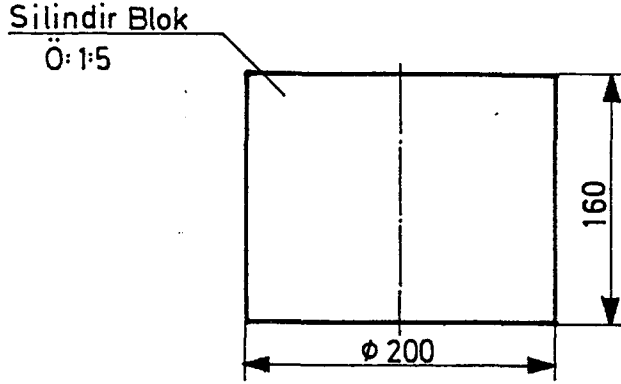


Şekil-5.6. Aşınma ve Sürtünme Deney Numunelerinin Şekli ve Boyutu.

5.8. DENEYLERİN YÜRÜTÜLMESİ

Yüzeyleri sementasyonla ve karbonitrürasyonla sertleştirilen numunelerin yüzey durumu, sürtünme ve aşınma

davranışları, yüzey ve mikro sertlik durumu, aşındırılmış yüzey ve sertleştirilmiş tabakanın metalografisi, aşınmış partiküllerin X-Ray diffractionla analizi ve çekme deneyleri yapılmıştır.



Şekil-5.7. Karşı Sürtünme Elemanının Şekli ve Boyutu.

5.8.1. Numunelerin Hazırlanması

Şekil-5.6 ve 5.7 görülen şekil ve boyutlarda hazırlanan numuneler Tablo-5.2 de verilen şartlarda semente ve karbonitrürlenerek sertleştirilmişlerdir. Daha sonra her bir numunenin sürtünme yüzeyleri taşlandıktan sonra yüzey pürüzlüğü ve statik sürtünme katsayıları tesbit edilmiştir.

Yüzey pürüzlülüğü Kayseri-Taksan işletmelerinde, statik sürtünme katsayıları Cumhuriyet Üniversitesi S.M.Y.O. temel fizik laboratuvarında tesbit edilmiştir.

Aşınma deneyinden önce ve sonra her bir sürtünme elemanı etil alkol içerisinde yıkanıp kurutulduktan sonra ilk ve aşınma sonrası ağırlıkları belirlemek üzere 0,1 mg hassasiyetindeki dijital bir terazide tartılmıştır. Deneylerin tamamı, normal atmosferik şartlarda ve 15-18°C de yapılmıştır.

5.8.2. Kayma Hızının Belirlenmesi

Deneysel çalışmalarda, kayma hızı 5 m/s ve 10 m/s olması için sabit devirli motorun boşta ve yükte çalışma devri bir takometre ile ölçülmüştür (motor özellikleri konu 5.5 de verilmiştir).

(5-1) bağıntısına göre, çevre hızının 5 ve 10m/s olması için devir sayısı 490 dev/dk ve 970 dev/dk olacak şekilde Cumhuriyet Üniversitesi S.M.Y.O. elektrik bölümünde düzenlenmiştir.

$$V = \frac{(\mu \cdot n)}{30} \quad (5-1)$$

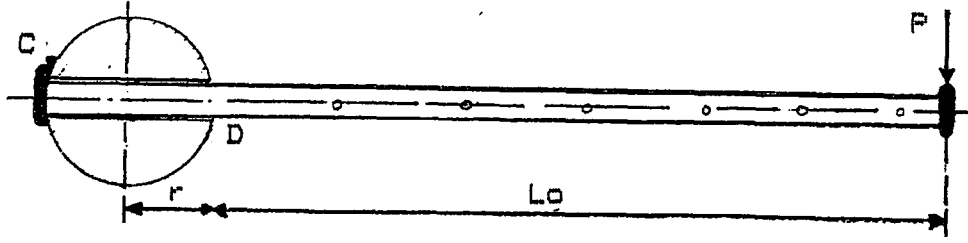
Hızın 5 m/s ve 10 m/s olabilmesi için (5-1) denkleminde (n)'i çekersek;

$n_1 = 954,9$ dev/dk ve $n_2 = 477,47$ dev/dk olarak bulunur.

Deneyler esnasında yapılan devir ölçümlerinde ise devir sayıları biraz daha düşük bulunmuş ancak çevre hızını 0.05 oranında etkilediği görülmüştür.

5.8.3. Normal Yükün ve Kayma Süresinin Tayini

Numuneler, şekil-5.4. ve 5.5. de gösterilen deney tesisatında boyutlarına uygun imal edilen sürtünme elemanı yatağına yerleştirildikten sonra numunelerin üzerine etkiyen yük, moment koluna uygulanan ağırlıklarla sağlanmıştır. Aşağıdaki bağıntılara göre tatbik edilen bu yük teoriktir. Şekil-5.8 'da görüldüğü gibi, numuneye etki eden yük denge denklemlerine göre hesap edilebilir.



Şekil-5.8. Yük kolu ve yükün uygulanması.

$$M_0 = 0 \text{ olmalıdır.} \quad (5-2)$$

$$P \cdot L_0 - T \cdot r = 0 \text{ olur.} \quad (5-3)$$

Buradan numunelere etkiyen yük;

$$T = (P \cdot L_0) / r \text{ olur.} \quad (5-4)$$

Burada; P ; uygulanan yükü, L_0 ; kuvvet kolunu, T ; numunelere etkiyen yükü ve r ; ise sonsuz vida mili yarı çapını göstermektedir.

Numunelere etki eden normal yük yukarıdaki bağıntılara göre yaklaşık değeri bulmuştur. Sistemin kendi ağırlığını ve toplam yüke etki eden diğer faktörleri dikkate alarak yükleme sonrası toplam gerçek yük, bir dinamometre ile tesbit edilerek belirlenmiştir. Deney çalışmalarda kam mili esas alındığı için buna uygun olarak 50, 100 ve 150 N seçilmiştir.

Aşınma süreleri de bu yükler altında yapılan bir seri ön denemeler sonucu tesbit edilmiştir. Maksimum süre 10 dakika olarak belirlenmiştir. Maksimum yük ve sürede, sertleştirilmiş numunelerin şiddetli aşınmaması esas alınmıştır.

5.8.4. Sürtünme Kuvveti ve Katsayısının Tayini

Sürtünme kuvveti ve katsayısı hesabı deneysel olarak tesbit edilmiştir. Sürtünme kuvveti, çeşitli yükleme durumunda motor

gücündeki değişmelerin tesbiti ile bulunur. Önce motorun boşta çalışma gücü P_o , bir wattmetre ile ölçüldü. Motor yüklendikten sonra aynı yöntemle motorun yükte çektiği P_y gücü ölçüldü. Bu iki güç arasındaki fark, sürtünme kuvvetini yenmek için harcanan güce eşittir. Sürtünmeye harcanan güç P_s , aşağıdaki bağıntılarla bulunur.

$$P_s = P_y - P_o \quad \text{dir.} \quad (5-5)$$

P_s , sürtünme gücünün mekanik değeri;

$$P_s = W.F_s \quad \text{dir.} \quad (5-6)$$

Burada W , acısal hızdır ve

$$W = (\pi.n) / 30 \quad (5-7)$$

Şeklinde tesbit edilir. (5-7) denklemini, (5-6) de yerine korsak;

$$P_s = (\pi.n.F_s) / 30 \quad \text{elde edilir.} \quad (5-8)$$

(5-7) denkleminde, sürtünme kuvveti F_s 'yi çekilerek,

$$F_s = (30.P_s) / (\pi.n) \quad \text{dir.} \quad (5-9)$$

P_s yerine, (5-5) denklemi yazılırsa;

$$F_s = 30.(P_y - P_o) / (\pi.n) \quad (5-10)$$

Denklemini elde edilir. (5-9) denklemindeki sürtünme kuvveti yerine,

$$F_s = \mu.N \quad (5-11)$$

denklemini yazılırsa;

$$F_s = \mu.N = 30.(P_y - P_o) / (\pi.n) \quad \text{olur. Buradan sürtünme}$$

katsayısı çekilerek,

$$\mu = 30.(P_y - P_o) / (\pi.n.N) \quad \text{bulunur.} \quad (5-12)$$

Deneylerden önce, motorun boşta ve çeşitli yükleme durumunda çektiği güç, ayrı ayrı hesaplandı. Bu değerler, (5-12)

bağıntısında yerine yazılmasıyla, yaklaşık dinamik sürtünme katsayısı μ , hesapla bulundu.

Sürtünme katsayısının, deney esnasında yukarıdaki hesaplama yöntemi ile sürekli tesbit etmek mümkün değildir. Bunun için (5-12) denkleminde bulunan sürtünme katsayısı (μ) esas alınarak μ 'ye, kalibre edilmiş komprator-yay düzeneği aşınma deney setine ilave edilmiştir. Böylece sürtünme katsayısı değişimi, deney esnasında tesbit edilebilmiştir[şekil-5.2].

5.8.5. Deney Sonuçlarının Tesbiti

Herbir deneyden sonra aşındırılmış numuneler tekrar etil alkolde yıkanıp kurutulduktan sonra tartılarak aşınma, kütlelesel ağırlık kaybı olarak tesbit edilmiştir. Deney sonuçları, hacımsal kayıp olarak elde etmek için her bir numunenin yoğunluğu tesbit edilmiştir. Böylece kütlelesel aşınma kayıpları, hacımsal birimlere dönüştürülmüştür. Kayma süresi ve yüke göre aşınma kayıpları hacımsal ve kütlelesel olarak tesbit edilmiş ve grafiklere aktarılmıştır. Ayrıca Quinne'e ve Archhard'a [6,56] göre aşınma katsayısı ayrı ayrı hesaplanmış ve aynı değişkenlere göre grafikleri çizilmiştir(deklem 5-13 ve 5-14)

Quinne'e göre aşınma katsayısı;

$$K_1 = \frac{V}{F * L} \quad (\text{m}^3/\text{nm}) \quad (5-13)$$

Archard'a göre aşınma katsayısı;

$$K_{11} = \frac{V * 3H_v}{F * L} \quad (5-14)$$

Burada, K_1 , Quinne'e göre aşınma katsayısı (m^3/nm), K_{11} , Archhard'a göre aşınma katsayısı (birimsiz) V ; Hacısal aşınma kaybı(m^3), H_v ; Yüzey sertliği(N/mm^2), F ; Normal yük(N) ve L ; Kayma mesafesidir(m).

Yağlamalı şartlarda yapılan aşınma testin de ise 30 numara motor yağı kullanılmıştır. Diskin alt kısmının yağa sürekli dalması sağlanmış ve deney süresince yağ sıcaklığı, yağın içerisine yerleştirilen basit bir termometre ile ölçülmüştür. Deneyler boyunca aşınma partikülleri toplanmıştır. Bu partiküllerle normal yolla numunelerin yüzeyinden kaldırılan talaş partikülleri E.Ü. Fen.Ed.Fak. de X-Ray Diffraction metodu ile analiz edilmiştir. Bu grafiklere göre partiküllerdeki oksit tipleri tesbit edilmeye çalışılmıştır. Aşınmış ve aşınmamış yüzeylerin ayrı ayrı metalografik muayene edilebilmesi için aşındırılmış numunelerden örnekler kesilerek bakalitlenmiştir(plastik kalıplama). Yüzeyleri bir seri zımparada parlatıldıktan sonra, % 2 Nital ve % 3 derişik HNO_3 karışım ile dağlanmıştır. Aşınmış ve aşınmamış numunelerin yüzey sertlikleri ve mikro sertlikleri taranmıştır. Mikro sertlik taraması Kayseri-Taksan işletmelerinde yapılmıştır.

Aşınmış yüzey ile aşınmamış yüzey durumları bir birleri ile mukayese edilebilmeleri için herbir numune ayrı ayrı metalografik incelemeye tabi tutulmuştur. Bu metalografik neticeler fotoğraflanmıştır. Metalografik deneylerin bir kısmı, C.Üniversitesi S.M.Y.O. da diğerleri ise Kayseri-Taksan işletmelerinde yapılmıştır.

Standart($\phi 11\text{mm}$) boyutlarda hazırlanan ısıtılma işlem görmüş numunelerin çekme deneyleri, Cumhuriyet Üniversitesi S.M.Y.O. Metalurji laboratuvarında yapılmıştır. Sonuçları ünivesal çekme tezgahının ploterine çizdirilmiştir. Bu değerler çekme sonundaki numunenin boyutları ile karşılaştırılmıştır.



BÖLÜM - VI

DENEY SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

6.1. MİKRO YAPI ÖZELLİKLERİ

Karbonitrürasyonla ve sementasyonla sertleştirilen AISI 1020(DIN Ck22), AISI 5115(DIN 16MnCr5) çelikleri ve bu çeliklerin işlem görmemiş numuneleri ile beraber yapılan yüzey ve mikro sertlik taramalarında, tahmin edildiği gibi işlem görmemiş her iki numunenin de sertliği düşük bulunmuştur. En düşük sertliğe işlem görmemiş 1020 çeliği sahiptir ve değeri 155 HV dir. Bu çeliği, 215 HV sertliğine sahip işlem görmemiş 5115 çeliği takip etmektedir. Tablo-6.1 de deney numunelerinin yüzey sertlikleri verilmiştir. Yüzeyi en sert numune, 773 HV sertliğine sahip olan karbonitrürlenmiş 5115 çeliğidir. Bunu 743 HV sertliğe sahip karbonitrürlenmiş 1020, 671 HV ile sement edilmiş 5115 ve 632 HV sertliği ile de sement edilmiş 1020 çeliği izlemektedir.

Bölüm 4 de belirtildiği gibi karbonitrürasyonla daha yüksek sertlik elde edilmiştir. Yüzey sertliğinin yüzeyin kabuk yapısına bağlı olduğu belirtilmektedir. Sementede edilmiş yüzey sertliği, sertleştirilmiş kabuktaki martenzit varlığındadır[20,,24,26]. Karbonitrürlenmiş yüzeyin sertliği, benzer biçimde yüzey tabakasına atfedilmektedir[22,43,47]. Bu yüzey tabakası demir, azot ve karbon bileşiklerinden oluşmaktadır. Birleşik tabaka olarakta adlandırılan karbonitrürlenmiş yüzeyin sertliği daha yüksek bulunmuştur.

Tablo-6.1. Deney numunelerinin yüzey sertlikleri.

	Yüzey sertliği
AISI 1020 (Ck22) Normelleştirilmiş	155 HV
AISI 1020 Sementede edilmiş	632 HV
AISI 1020 Karbonitrürlenmiş	743 HV
AISI 5115(16Mncr5) Normalleştirilmiş	215 HV
AISI 5115 Sementede edilmiş	671 HV
AISI 5115 Karbonitrürlenmiş	773 HV

Sertleştirilmiş numunelerin, kabuk sertlikleri ve etkili sertlik derinliği Şekil-6.1, 2, 3 ve 4 de verilmiştir. Yüzey sertleştirme işlemlerinde kabul edilen en düşük sertlik değerine etkili sertlik ve bu sertliğe tekabül eden maksimum tabaka kalınlığına da etkili derinlik denmektedir(Bölüm 2).

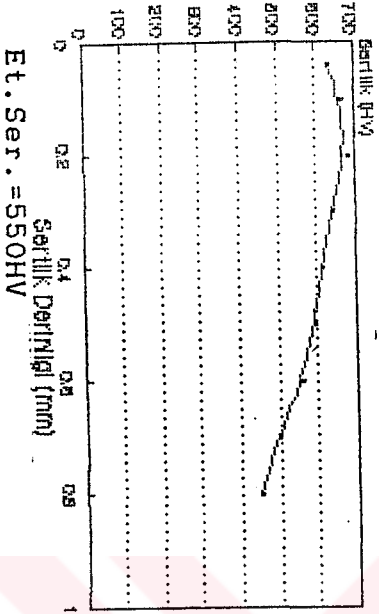
Bu çalışmada etkili sertlik değeri 550 HV alınmıştır. Mikro sertlik taramalarında etkili sertlik derinliği, sementle edilmiş AISI 5115 (Et.Ser.Der.= 0.785mm) ve AISI 1020 (Et.Ser.Der.=0.515mm) numunelerinde daha fazla olduğu görülmektedir. Bunu karbonitrürlenmiş AISI 5115 (Et.Ser.Der.= 0.474mm) takip etmektedir. Karbonitrürlenmiş AISI 1020 çeliğinin Et.Ser.Der. (0.385mm) en düşük olandır. En yüksek yük, kayma hızı ve aşınma süresi sonunda tesbit edilen mikro sertlik değerindeki değişim, (karbonitrürlenmiş 1020 çeliği hariç) aşınmadan önceki sertliği ile ters ve aşınma kaybı ile doğru orantılı olduğu görülmüştür(Şekil-6.1, 6.2, 6.3 ve 6.4). Karbonitrürlenmiş ve sementle edilmiş AISI 5115 çeliği aşındırıldıktan sonra bile Et.Ser.Derine sahiptirler (sırasıyla, 0.410 ve 0.457mm).

Mikro sertlik taraması yapılan yüzeyler, mikroskop altında incelenmiş ve fotoğrafları çekilmiştir. Şekil-6.1, 6.2,6.3 ve 6.4 de görülmektedir. Sementle edilmiş tabakalar tipik **Martenzit** görünümündedir. Karbonitrür tabakası ise açık renktedir **Bileşik tabaka (Beyaz)** olarak tanımlanan bu bölgenin hemen altında bir geçiş bölgesi (**Difüzyon Bölgesi**) görülmektedir. Bu güne kadar yapılan çalışmalarda belirtildiği gibi ESD (Et.Ser.Der.) bu tabakaların boyuna eşit bulunmuştur[48,50]. Karbonitrürlenmiş AISI 1020 çeliğinin fotoğrafında difüzyon tabakası seçilememiştir. Bu durum ESD'nin düşük tesbitine sebep olmuştur.

Aşınmadan sonra çekilen fotoğraflar, sertleştirilmiş tabakalardaki değişim, mikro sertlik değişimi ile tam bir



a- Aşınmadan önce

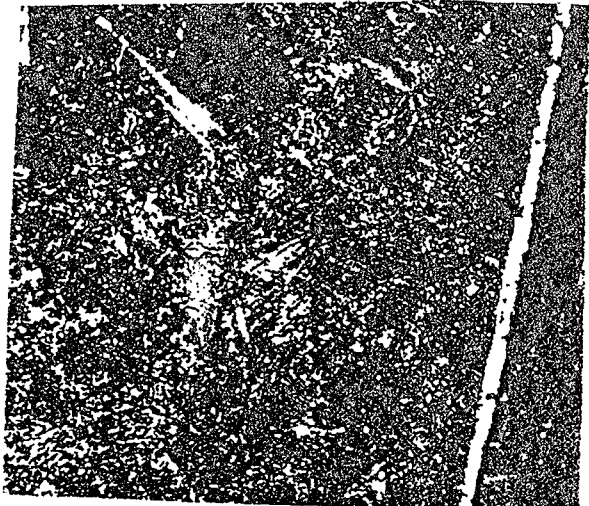


Et.Ser.Der. = 0.515

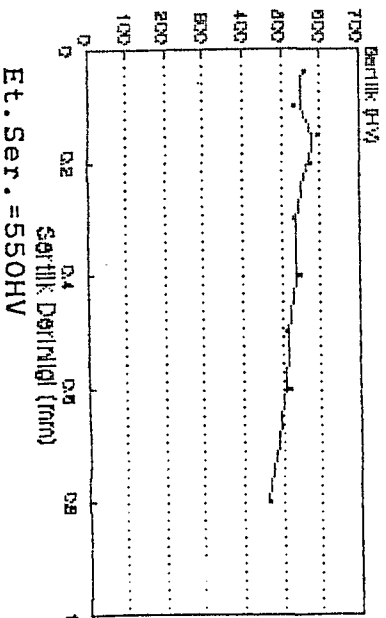
c- Aşınmadan önce

Mikro sertlik dağılımı

Sekil-6.1. Yüzeyi Sementasyonla Sertleştirilen AISI1020



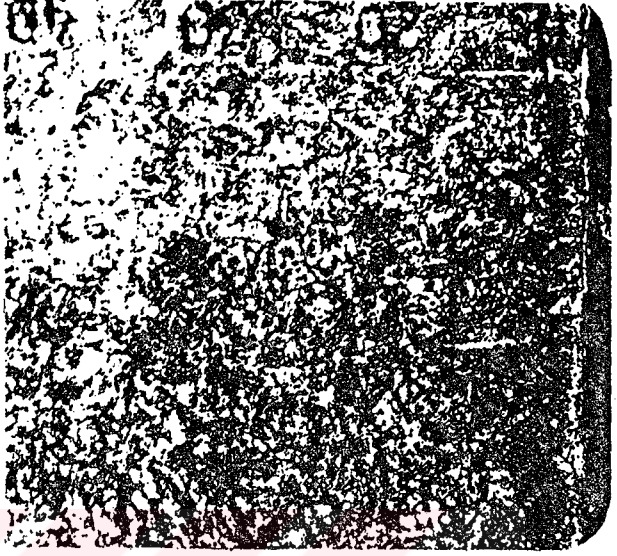
d- Aşınmadan sonra



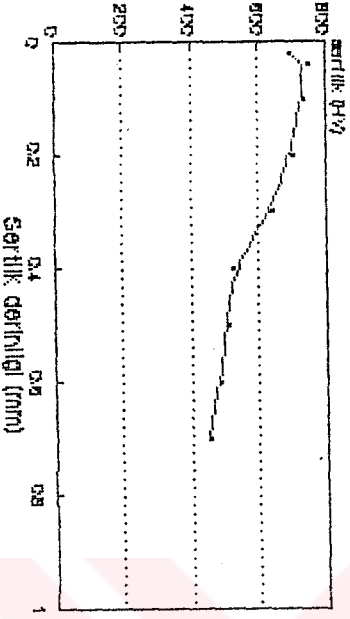
Et.Ser.Der. = 0.000

d- Aşındıktan sonra

Mikro sertlik dağılımı



a - Aşınmadan önce

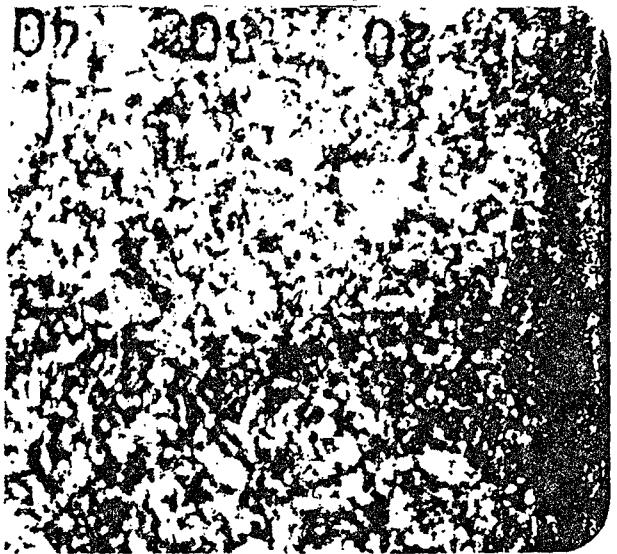


Et.Ser.=550HV

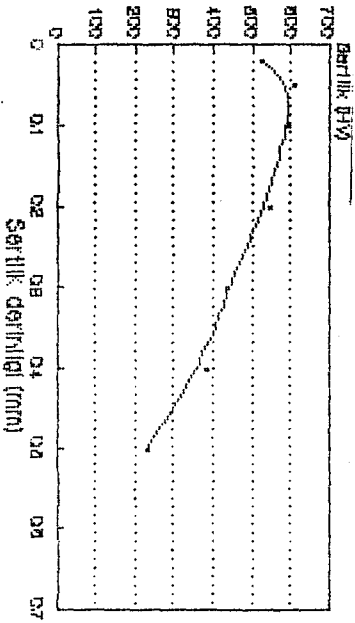
Et.Ser.Der. = 0.385

c - Aşınmadan önce

Mikro sertlik dağılımı



b - Aşındıktan sonra



Et.Ser.=550HV

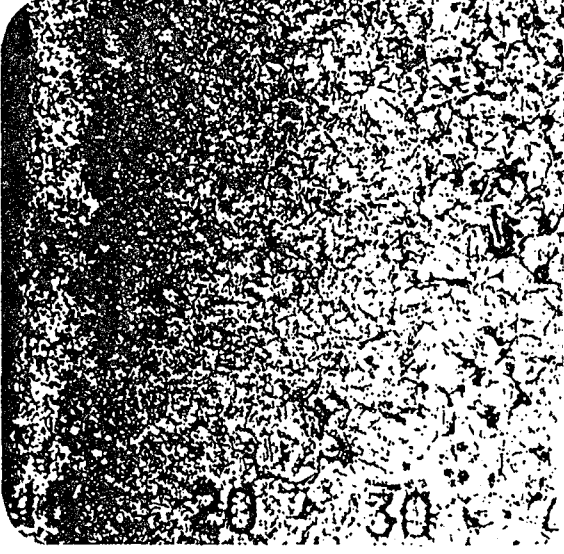
Et.Ser.Der. = 0.000

d - Aşındıktan sonra

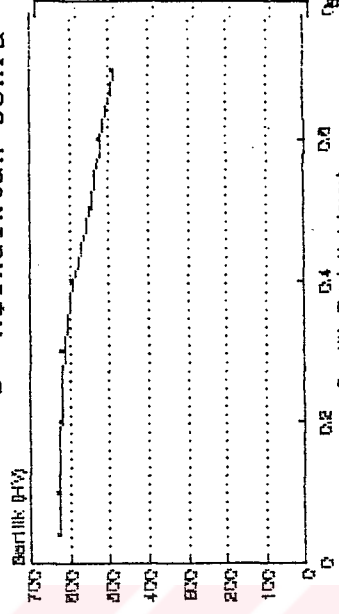
Mikro sertlik dağılımı

Şekil-6.2. Yüzeyi Karbonitrürasyonla Sertleştirilen

AISI1020 çeliğinin mikro sertliği ve sertleştirilmiş



b- Aşındıktan sonra

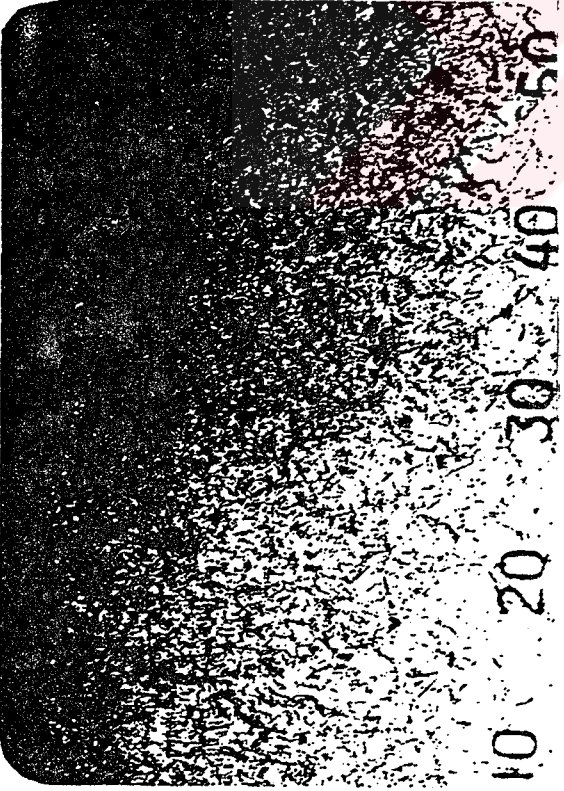


Et.Ser.=550HV

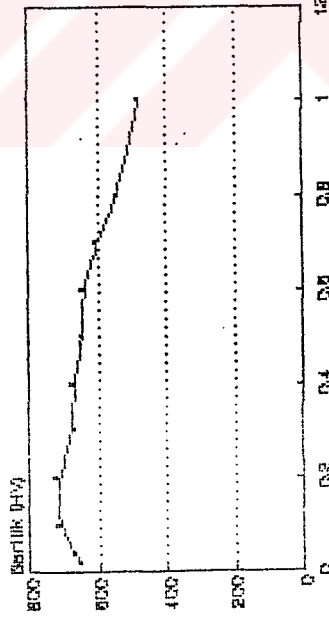
Et.Ser.Der.= 0.457

d- Aşındıktan sonra

Mikro sertlik dagilimi



a- Aşınmadan önce



Et.Ser.=550HV

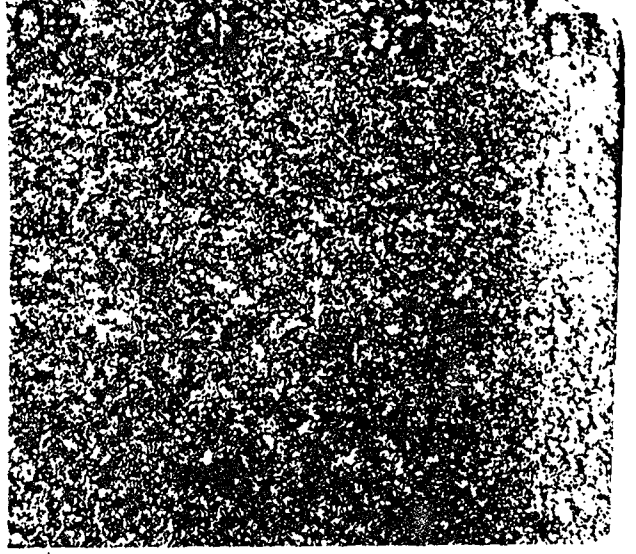
Et.Ser.Der.= 0.785

c- Aşınmadan önce

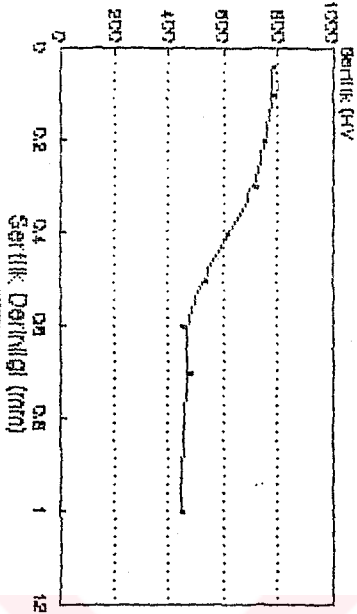
Mikro sertlik dagilimi

Şekil-6.3. Yüzeysel Sementasyonla Sertleştirilen AISI 5115

celiginin mikro sertligi ve sertleştirilmiş tabakanın
pürümlüğü.



a - Aşınmadan önce

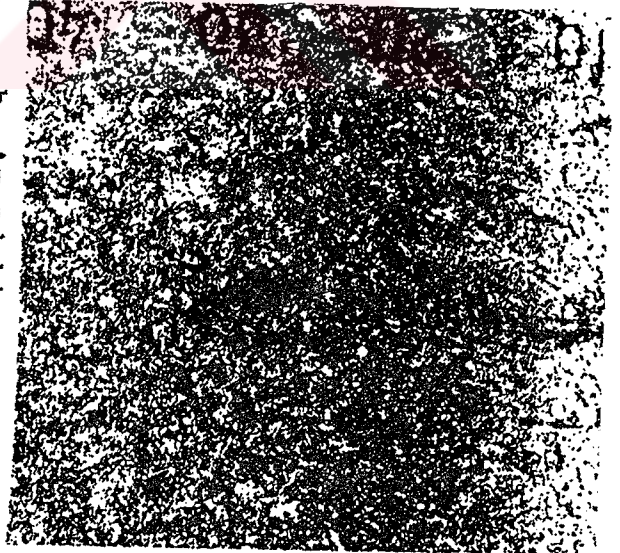


Et.Ser.=550HV

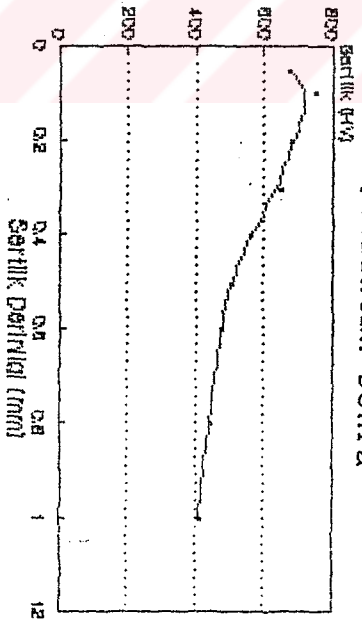
Et.Ser.Der. = 0.474

c- Aşınmadan önce

Mikro sertlik dağılımı



b - Aşındıktan sonra



Et.Ser.=550HV

Et.Ser.Der. = 0.410

d- Aşındıktan sonra

Mikro sertlik dağılımı

Şekil-6.4. Yüzeyi Karbonitürasyona Sertleştirilen

AISI 5115 çeliğinin mikro sertliği ve sertleştirilmiş

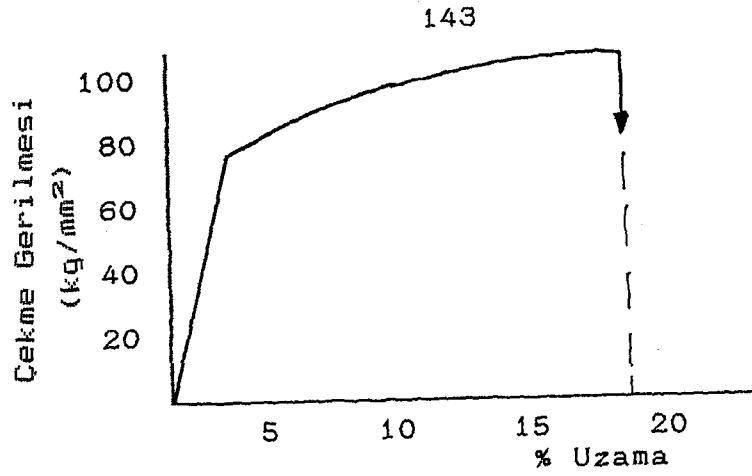
tabakanın görünüşü.

parelellik göstermektedir. Mikro sertlikteki azalma kadar, sert tabaka derinliğinin azaldığı görülmektedir.

Mikro sertlik değerlerinden açıkça görüldüğü gibi sementasyonla sertleştirilen tabaka derinliği daha büyük olmuştur. Sementasyonla sertleştirilmiş tabaka derinliği karbonun difizyonuna, karbonitrürasyonla sertleştirilmiş tabaka derinliği ise karbonla beraber azotun difizyonuna bağlıdır. Tablo-4.2. den görüldüğü gibi yüksek sıcaklıklarda (300 °C üzerinde) karbonun difüzyon katsayısı daha yüksektir. Aynı işlem şartlarında yapıya sertlik kazandıran karbon, azota göre daha derinlere diffüze olduğu şeklinde yorumlanabilir[22,41,43].

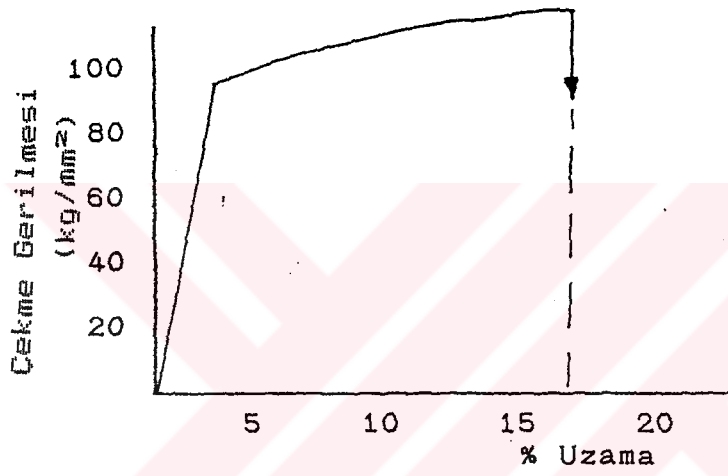
6.2. ÇEKME DENEY SONUÇLARI

Önceki bölümde, deney malzemelerinin işlem görmemiş ve semente edilmiş durumdaki mukavemet değerleri tablolar halinde verilmiştir. Şekil-6.5 ve 6 de karbonitrürlemiş AISI 1020 ve 5115 çeliklerinin çekme deney sonuçları verilmiştir. Şekil-6.7 ve Tablo-6.2 de aşınma deneyine tabi tutulan deney malzemelerinin çekme deney sonuçları bir arada gösterilmiştir. İşlem görmemiş 1020 çeliği, en düşük mukavemet değerine sahiptir. Bu çeliğin kesit daralması (%51) en yüksek orandadır. İşlem görmemiş 5115 çeliğinin mukavemeti, 1020 çeliğinden biraz daha iyidir. Üte yandan bu çeliğin, kopma uzaması (% 27) ile en yüksek değere sahiptir. Bu na karşılık kopma kesit daralması (%45), işlem görmemiş 1020 ye göre biraz daha düşüktür.



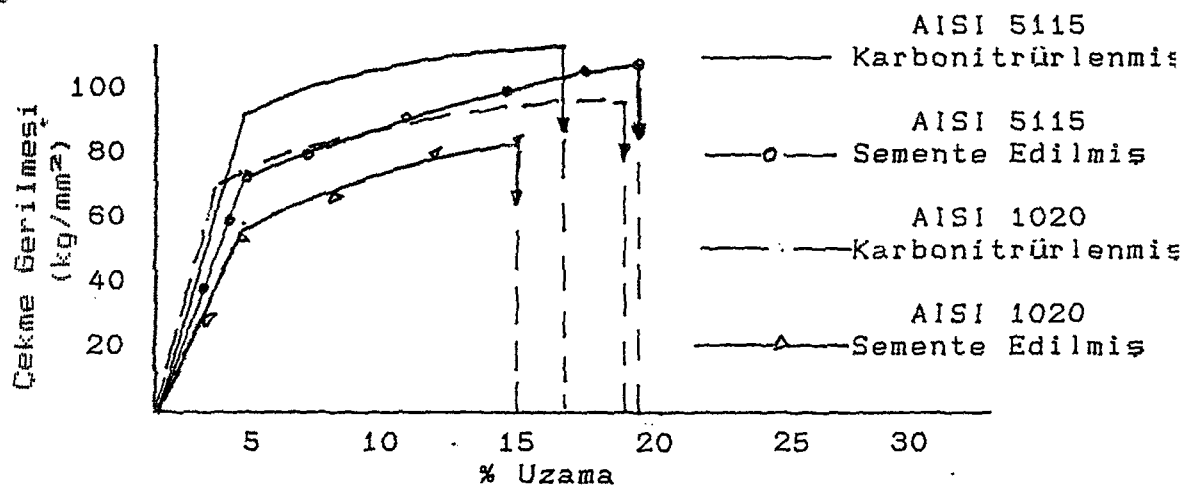
Şekil-6.5. Karbonitrürlenmiş AISI 1020 (DIN Ck22)

çeliğinin çekme diyagramı.



Şekil-6.6. Karbonitrürlenmiş AISI 5115 (DIN 16MnCr5)

çeliğinin çekme diyagramı.



Şekil-6.7. Deney numunelerinin çekme deney sonuçları.

Yüzeyi sertleştirilmiş numunelerden en yüksek mukavemete karbonitrürlenmiş ve semente edilmiş 5115 çeliği sahiptir. Karbonitrürlenmiş bu çeliğin mukavemeti, semente edilmiş durumuna göre daha yüksektir. Ancak aralarındaki fark çok büyük değildir. Karbonitrürlenmiş 5115 çeliğinin, semente edilmiş durumuna göre, kopma uzaması (%17) ve kesit daralması (%37) daha düşüktür. Karbonitrürlenmiş 1020 çeliğinin mukavemet değerleri, semente edilmiş durumuna göre daha yüksek ve yüzeyi sertleştirilmiş 5115 çeliğin değerlerine yakındır. Karbonitrürlenmiş 1020 çeliğinin kopma uzaması(%18) semente edilmiş durumuna göre daha yüksektir. % kesit daralma değerleri ise her iki durumdada birbirlerine çok yakındır.

Tablo-6.2. Deney malzemelerinin mukavemet değerleri.

Mekanik özellik	AISI 5115 (DIN 16MnCr5)		
	İşlem Görmemiş	Semente Edilmiş	Karbo Nitrürlenmiş
Kopma direnci kg/mm ²	58	98	112
Akma sınırı kg/mm ²	44	70	96
Kopma uzaması %	27	19	17
Kesit daralması %	45	41	37

Mekanik özellik	AISI 1020 (DIN Ck22)		
	İşlem Görmemiş	Semente Edilmiş	Karbo Nitrürlenmiş
Kopma direnci kg/mm ²	43	80	96
Akma sınırı kg/mm ²	27	48	69
Kopma uzaması %	24	15	18
Kesit daralması %	51	40	41

Bu sonuclara göre sementasyonla sertleştirmeye nazaran karbonitrürlenme ile mukavemet değerleri daha fazla artmaktadır. Karbonitrürlenme ile 5115 çeliğine nazaran, 1020 çeliğinin mukavemet, % kesit daralması ve % uzama değerlerinin artış oranı daha fazladır. Bu durum karbonitrür tabakasının martenzite olan üstünlüğünden kaynaklanmaktadır. Karbonitrürlenmiş ve semente edilmiş her iki numunenin Et.Ser.Der. ayrı ayrı oranlanırsa, semente edilmiş numunelerin Et.Ser.Der.likleri oranı daha fazla olduğu görülmektedir.

E1, Semente edilmiş AISI 5115 (DIN 16MnCr5) çeliğinin ESD, E2, Semente edilmiş AISI 1020 (DIN Ck22) çeliğinin ESD, E3, Karbonitrürlenmiş AISI 5115 (DIN 16MnCr5) çeliğinin ESD, E4, Karbonitrürlenmiş AISI 1020 (Ck22) çeliğinin ESD olarak alırsak;

$E1=0.785$, $E2=0.515$, $E3=0.474$ ve $E4=0.385$ dir.

$$\frac{E1}{E2} = 1.524 , \quad \frac{E3}{E4} = 1.231 \text{ bulunur.}$$

Semente edilmiş numunelerin ESD oranı 1,524 ve Karbonitrürlenmiş numunelerin ESD oranı 1,23. Bu durumda, sementasyonla sertleştirmeye göre karbonitrürlenmiş AISI 1020 çeliğinin mukavemet değerleri, karbonitrürlenmiş AISI 5115 çeliğinin mukavemet değerlerine daha yakın olmalıdır. Bu durumda, karbonitrürlenme ile AISI 1020 çeliğinin mekanik özellikleri diğer numuneye göre daha fazla iyileştiği söylenebilir.

6.3. SÜRTÜNME KATSAYISININ NORMAL YÜKLE VE KAYMA MESAFESİ İLE DEĞİŞİMİ

Deneylelerden önce, bütün numunelerin yüzey pürüzlülüğünün aynı olması için aynı şartlarda taşlanmıştır. Tablo-6.3 de, görüldüğü gibi deney numunelerin ortalama yüzey pürüzlülük değerleri yaklaşık olarak aynıdır.

Her bir numune grubunun, statik sürtünme katsayıları ayrı ayrı ölçülmüş [tablo-6.4.] ve sürtünme katsayıları da yüzey pürüzlülüğü gibi birbirine çok yakın bulunmuştur.

Tablo-6.3. Deney numunelerinin ortalama yüzey pürüzlülüğü Ra[μ m].

Malzeme Cinsi	Yüzey İşlem Durumu Ra[μ m]		
	İşlem Görmemiş	Semente Edilmiş	Karbonitrürlenmiş
AISI 1020	0,2-0,4	0,3-0,4	0,3-0,4
AISI 5115	0,2-0,4	0,3-0,4	0,3-0,5

Tablo-6.4. Numunelerin deney öncesi, ortalama statik sürtünme katsayısı.

Malzeme cinsi	Yüzey İşlem Durumu		
	İşlem görmemiş	Semente edilmiş	Karbonitrürlenmiş
1020	0,17-0,20	0,18-0,20	0,18-0,20
5115	0,18-0,19	0,18-0,20	0,18-0,20

6.8. den 6.23 e kadar olan şekiller, normal yüke ve aşınma

süresi veya kayma mesafesine ile sürtünme katsayısının değişimini göstermektedir. Bu şekiller incelendiğinde, temelde iki farklı karakterde sürtünme görülür. Bunlar;

1. Alışma sürtünmesi ve
2. Kararlı sürtünmedir.

6.3.1. Alışma Sürtünmesi (Kararsız Sürtünme)

Yapılan bütün aşınma deneylerinde, başlangıçta hem aşınma, hemde sürtünme katsayısının hızla artışı gözlenmiştir. Başlangıçta yaklaşık 60 saniye süreyle yüksek sürtünme katsayısı elde edilmiştir. Bu sürede, kuru sürtünme katsayısı 0,2 ile 0,7 arasında değişmektedir. Isıl işlem görmemiş numuneler ile karbonitrlenmiş numunelerin başlangıçtaki sürtünme katsayıları birbirlerine yakın bulunmuştur.

En düşük sürtünme katsayısı 100N yükte ve 10m/s kayma hızında sementle edilmiş 1020 çeliğin aşınmasında görülmüştür ve değeri 0.4 tür. En yüksek sürtünme katsayısı ise 5m/s hız ve 150N yükte karbonitrlenmiş numunelerle elde edilmiştir. 10m/s hız ve 150N yükte ısıl işlem görmemiş 5115 çeliklerinin sürtünmesi durumunda yine en yüksek ve 0.7 olarak tesbit edilmiştir(şekil-6.13 ve 6.14).

Başlangıç sürtünme katsayısı kayma hızının değişimi ile fazla bir değişiklik göstermemektedir. Sürtünme katsayısı yük artışı ile az da olsa artmaktadır(şekil-6.15 ve 6.20). Yağlı sürtünme durumunda, yapılan deneylerden elde edilen, sürtünme katsayısının kayma süresi ile değişimi şekil-6.25 de

verilmiştir. Bu durumda elde edilen sürtünme katsayısı değerleri arasında belli bir fark görülememiştir. Kuru sürtünmeye göre, bütün numunelerin sürtünme katsayısında önemli düşme izlenmiştir. ilk 60 saniyelik kayma süresin de, sürtünme katsayısı 0,1 civarına düşmüştür.

Başlangıçtaki sürtünme katsayısının, bu ani artışı, yüzeylerinde bulunan 0,1 µm kalınlığındaki çeşitli oksit tabakalarının parçalamasına atfedilmektedir. İlk çalışma anında, yüzeyde parçalanan oksit partikülleri, temas yüzeyleri arasında abrasiv partikülü gibi davranarak, yüzeyde kaymayı zorlaştırırlar[45,57].

6.3.2. Kararlı Sürtünme

Başlangıç sürtünmesinden sonra(60sn den sonra), yüzeyi sertleştirilmiş numunelerin, sürtünme katsayısının da belirli bir düşme görülürken, yüzeyi işlem görmemiş numunelerin sürtünme katsayılarında fazla bir değişiklik görülmemiştir. Sürtünme katsayısının fazla değişmediği bu durum kararlı sürtünme olarak tanımlanmaktadır.

Şekil-6.9 den 6.24'e kadar olan şekillerden görüldüğü gibi kaymanın başlamasından 60 saniye sonra, normal yükün 50N olması durumunda bütün numuneler, daha fazla yüklerde ise işlem görmemiş numuneler hariç diğer numuneler kararlı sürtünmeye geçmiştir. Normal yük ve kayma hızının düşük olması durumunda, işlem görmemiş numunelerin sürtünme katsayılarında önemli bir farklılık görülmemektedir. İşlem

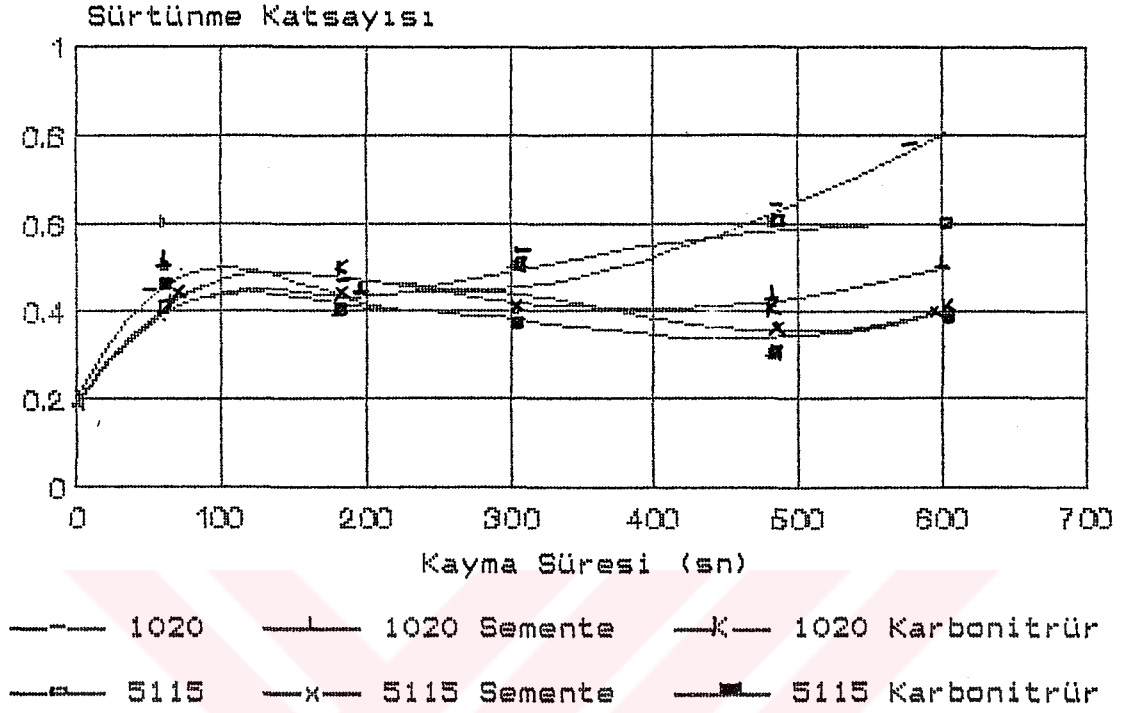
görmüş numunelerin sürtünme katsayısı ise düşük yükte(50N) ve 0,3'e kadar azalmıştır.

Yük artışı ile bütün numunelerin sürtünme katsayıları artmıştır. İşlem görmüş numunelerin sürtünme katsayıları, yük ve kayma hızına bağlı olmakla beraber 0,3-0,8 arasında ve 60-600. saniyeler arasında kararlı sürtünme durumundadır.

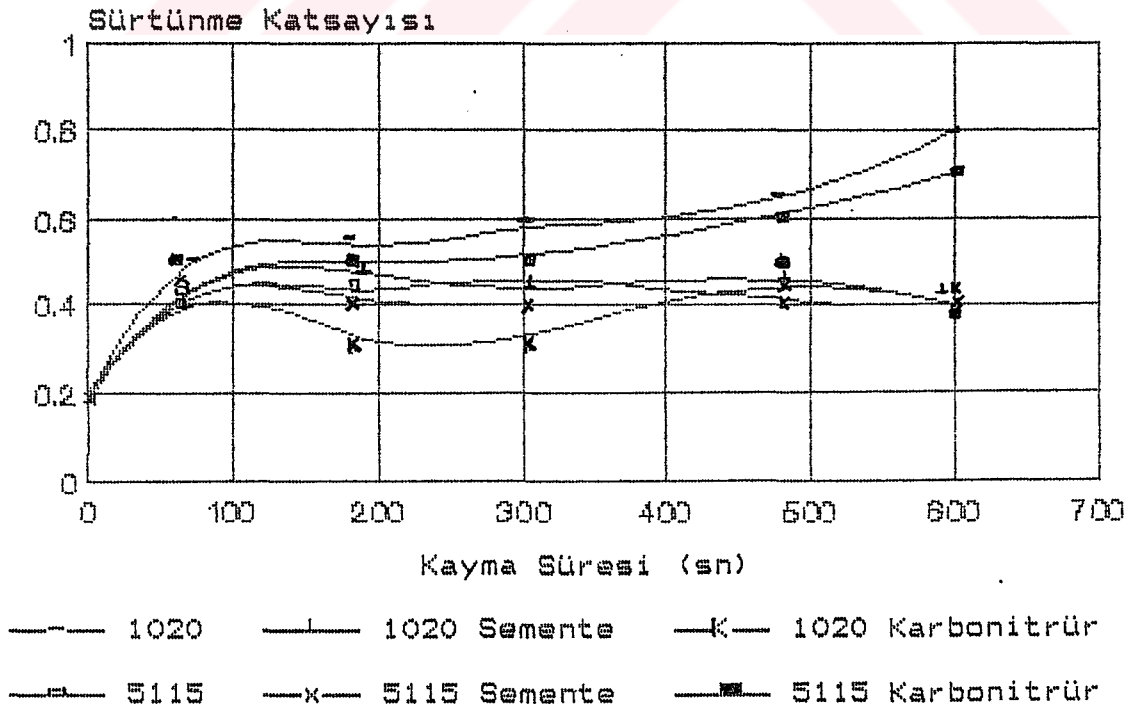
Sürtünme katsayısı, 50N yükte 0,3-0,5, 100N yükte 0,5-0,6 ve 150N yükte 0,5-0,8 arasındadır(şekil-6.16 den 6.24'e kadar). İşlem görmemiş numunelerin kararlı sürtünme durumu yüke bağlı olarak daha kısa sürmüştür. Kararlı sürtünme katsayısının, 0.4-0.7 arasında olduğu görülmektedir. Buna göre bu numuneler, 50N yükte bütün kayma süresince, 100N yükte 60-480 saniye arasında ve 150N yükte ise 60-180 saniye arasında kararlı sürtünme durumundadır. Kararlı sürtünmeden sonra bu numunelerin sürtünme katsayısı hızla artmıştır. Sürtünme katsayısında azda olsa artış olduğu görülmektedir. 1020 çeliğinin sürtünme katsayısı biraz daha fazla artmıştır. En büyük sürtünme katsayısı, yükün 150N olduğu durumda 1,2 olarak tesbit edilmiştir. Yük 100N ve kayma süresi 480 saniye olduğunda, işlem görmemiş he iki numunenin sürtünme katsayısı 0,9 olmuştur(şekil-6.17, 6.18, 6.19, 6.22, 6.23).

Kararlı sürtünme durumunda, yüzeyde oluşan oksit partikülleri yağlayıcı bir malzeme gibi rol oynaması sebebiyle sürtünme katsayısının azda olsa düşmesi beklenebilir. Deneylerimizde

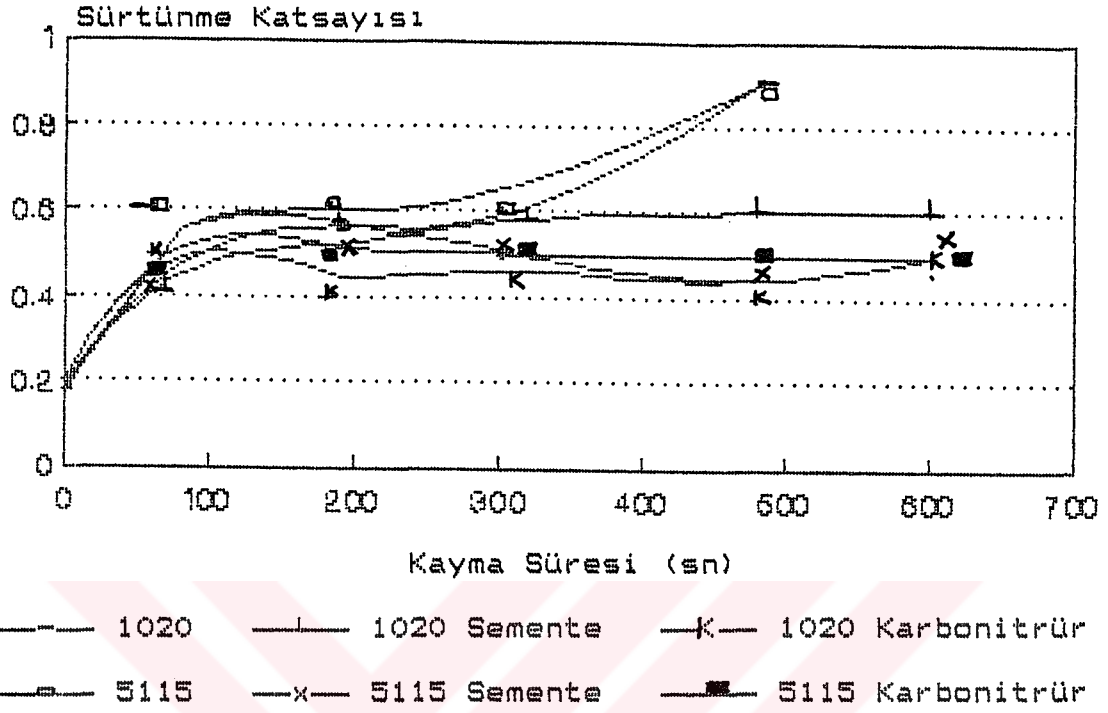
Sekil-6.8. 5 m/s kayma Hızında, 50 N Yükte Sürtünme Katsayısının Kayma Süresi ile değişimi



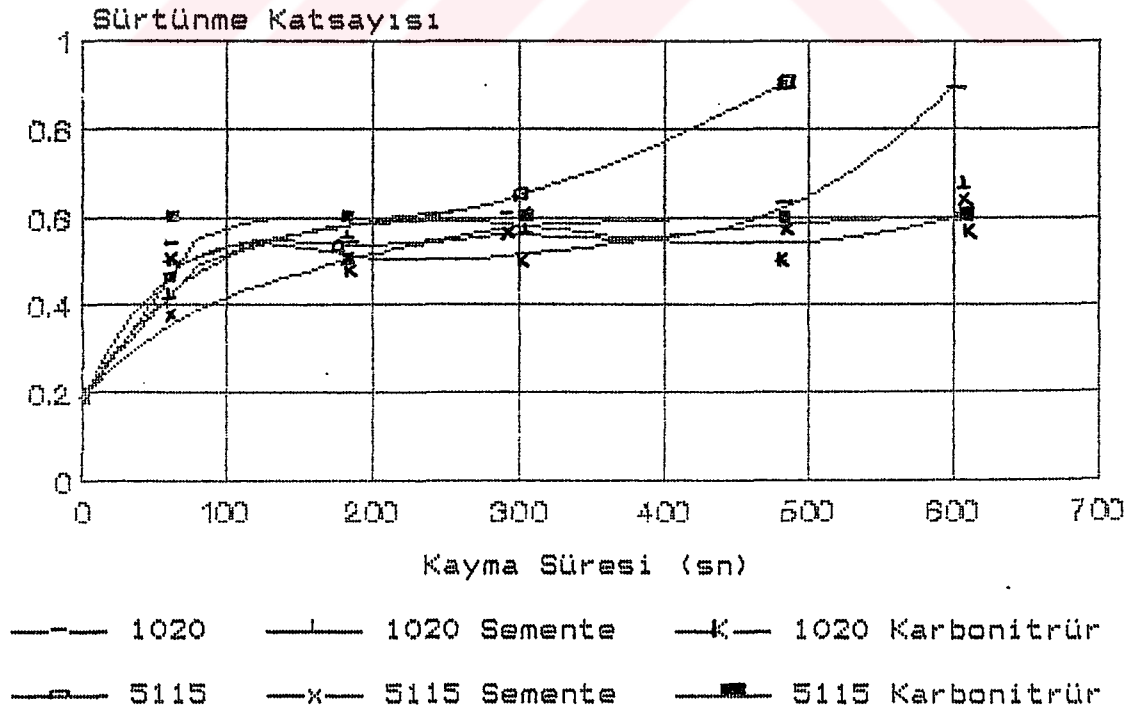
Sekil-6.9. 10 m/s kayma Hızında, 50 N Yükte Sürtünme Katsayısının Kayma Süresi ile değişimi



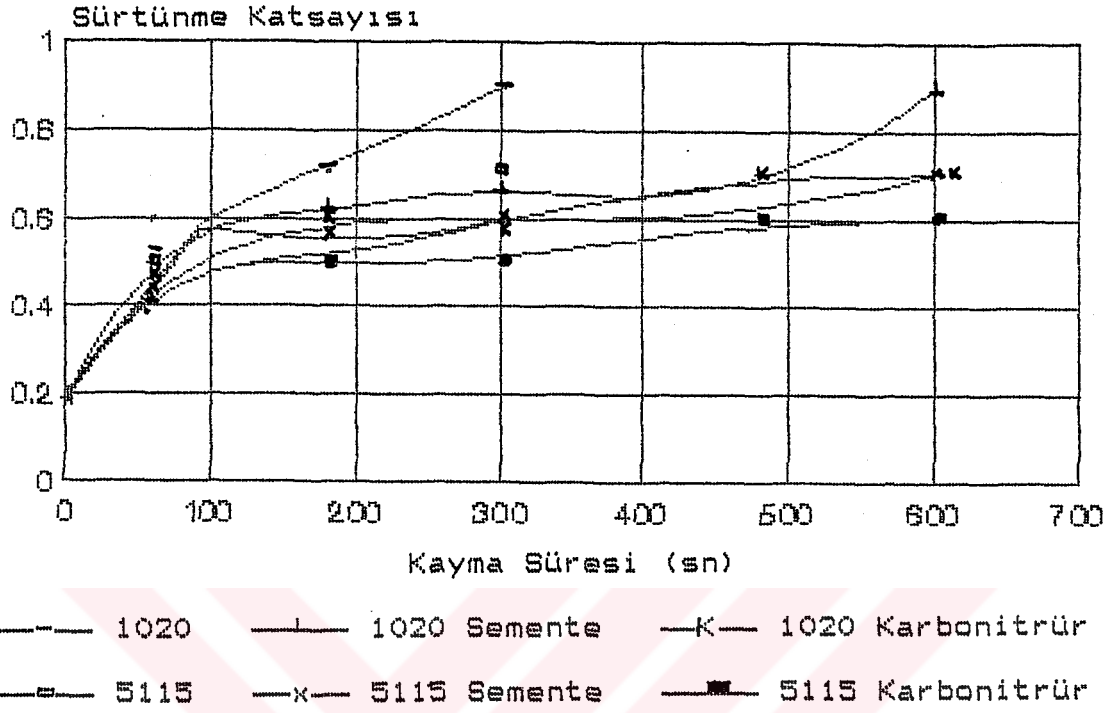
Sekil-6.10. 5 m/s kayma Hızında, 100 N Yükte Sürtünme Katsayısının Kayma Süresi ile değişimi



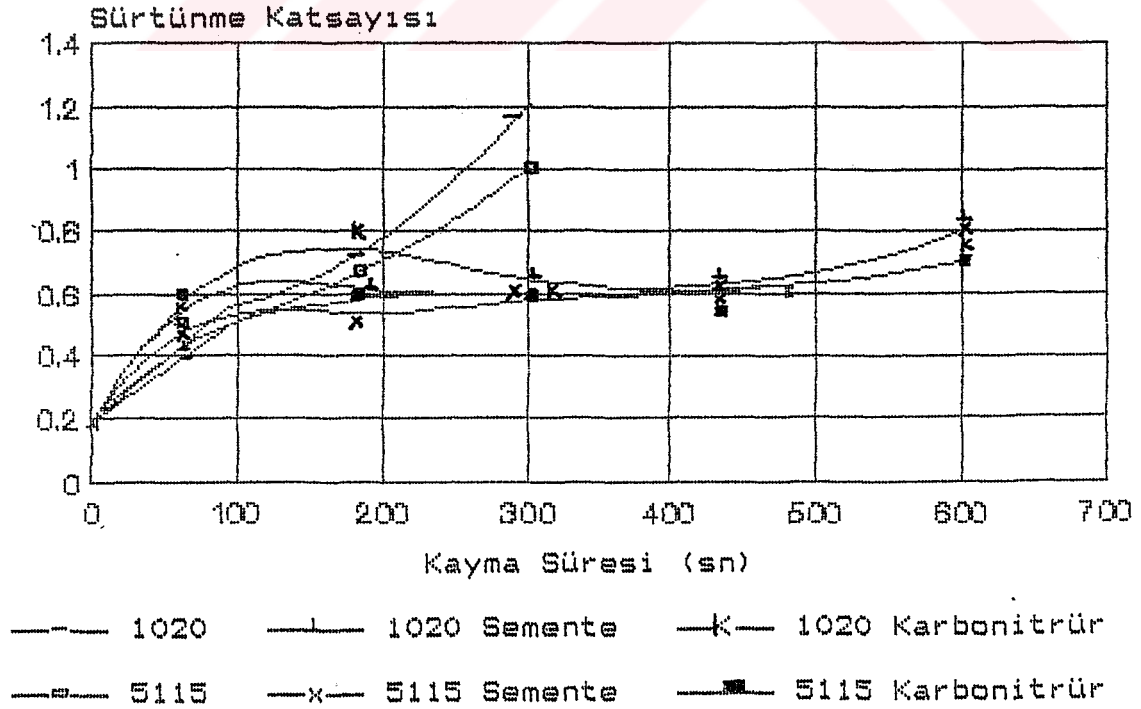
Sekil-6.11. 10 m/s kayma Hızında, 100 N Yükte Sürtünme Katsayısının Kayma Süresi ile değişimi



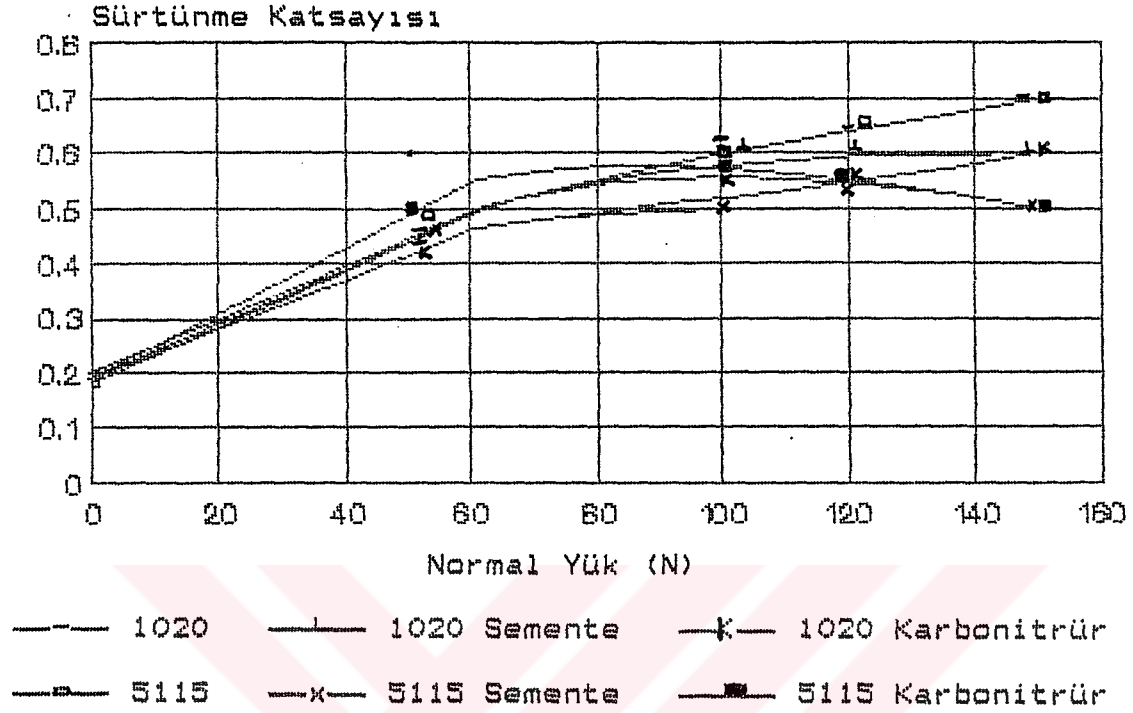
Şekil-6.12. 5 m/s kayma Hızında, 150 N Yükte Sürtünme Katsayısının Kayma Süresi ile değişimi



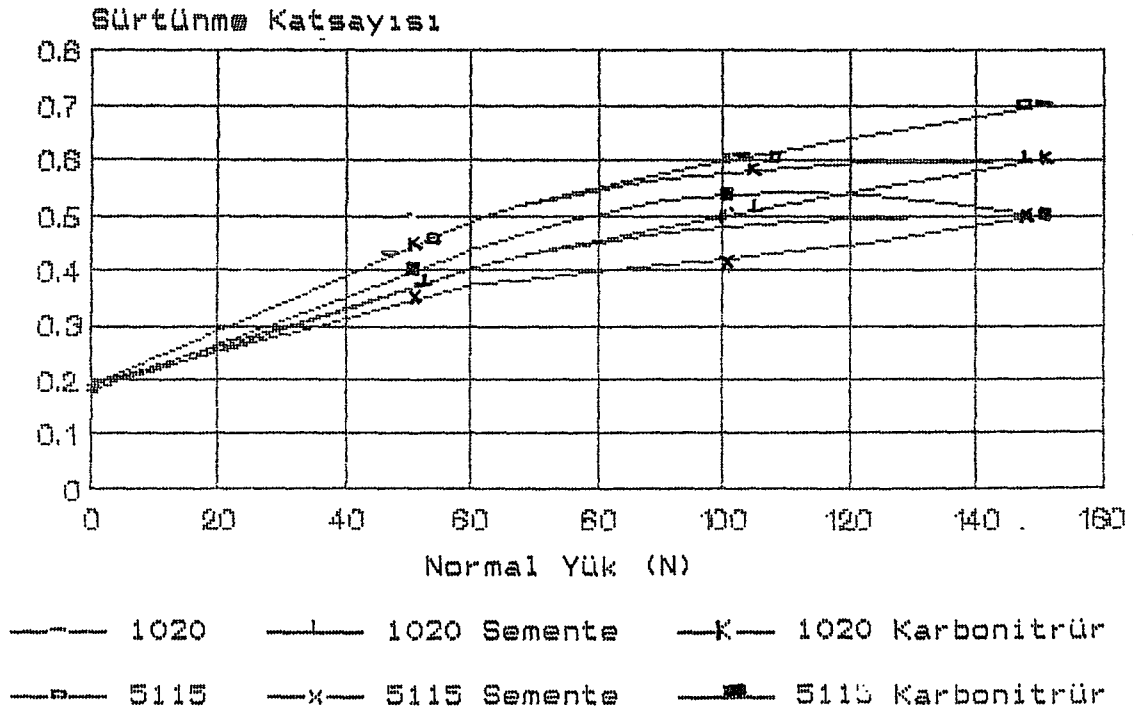
Şekil-6.13. 10 m/s kayma Hızında, 150 N Yükte Sürtünme Katsayısının Kayma Süresi ile değişimi



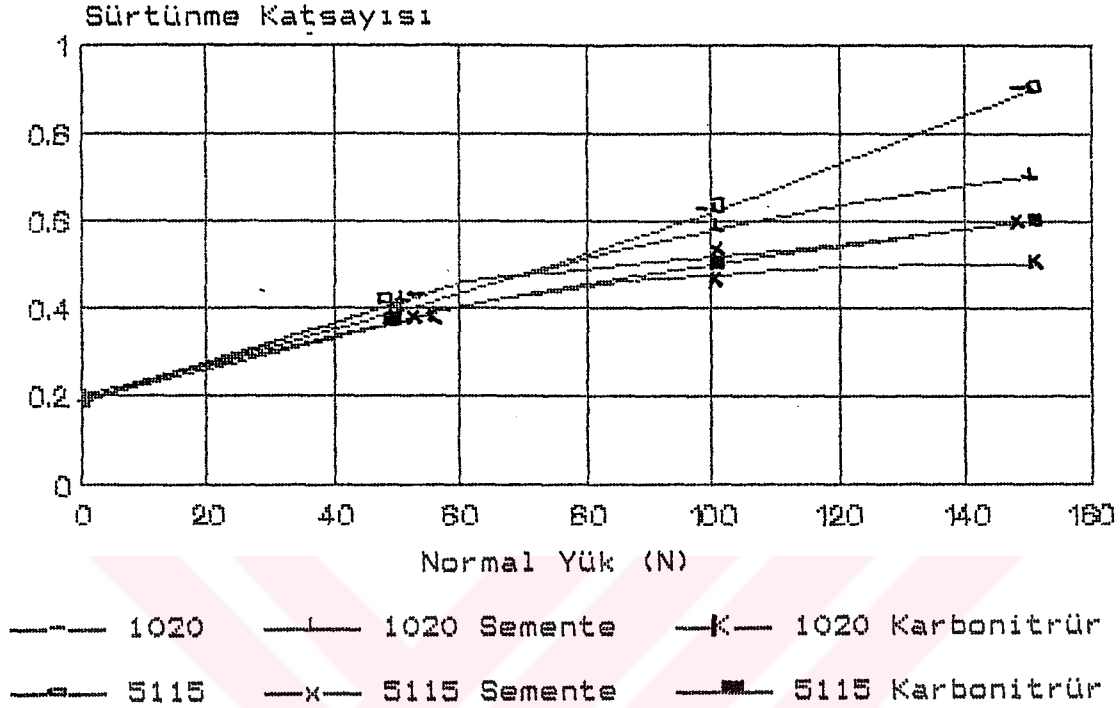
Sekil-6.14. 5 m/s Kayma Hızında ve Kayma Süresinin 60 sn Olması Durumunda, Sürtünme katsayısının Yükle değişimi.



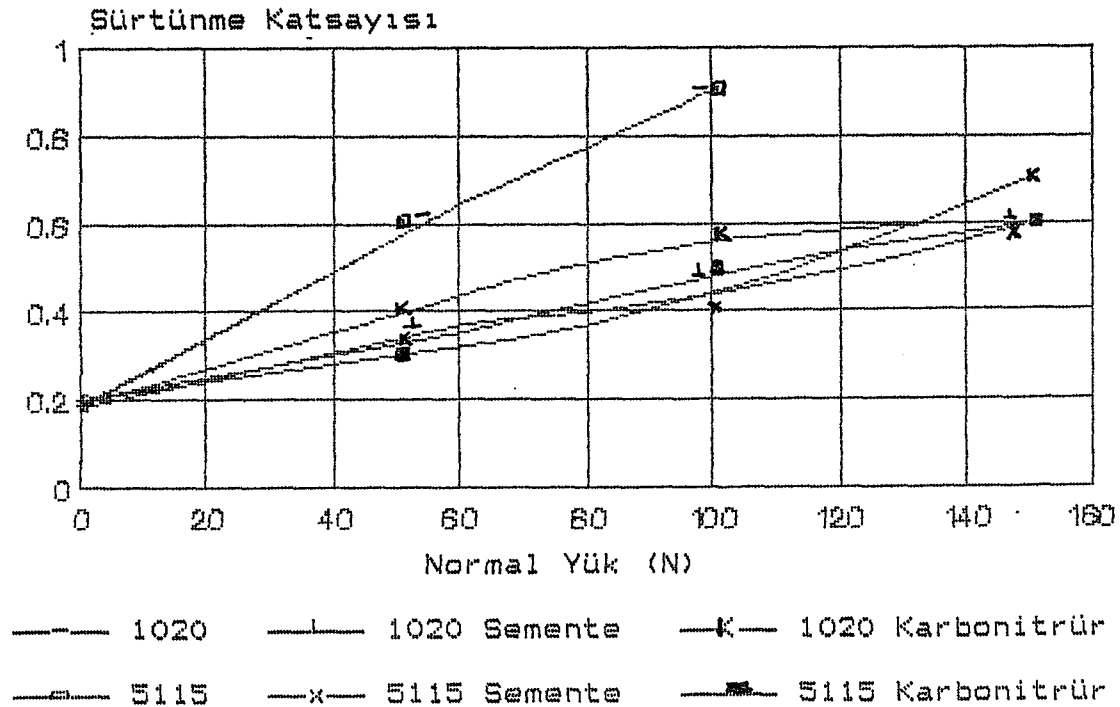
Sekil-6.15. 5 m/s kayma Hızında ve Kayma Süresinin 180 sn Olması Durumunda, Sürtünme katsayısının Yükle değişimi.



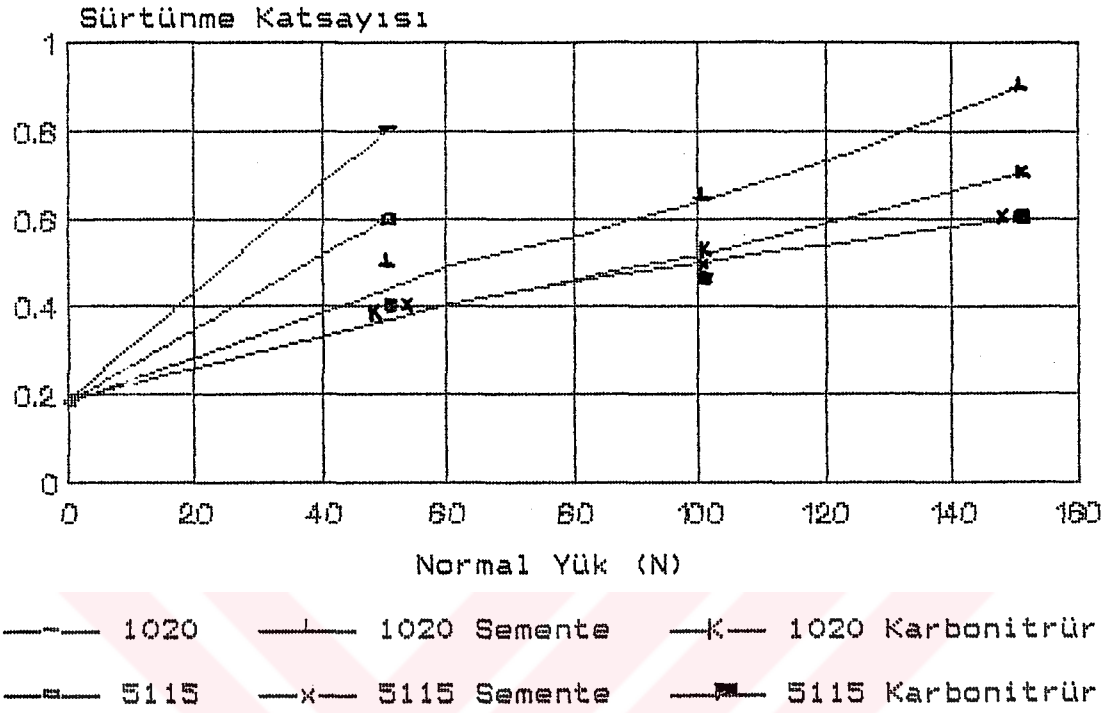
Şekil-6.16. 5 m/s Kayma Hızında ve Kayma Süresinin 300sn Olması Durumunda, Sürtünme katsayısının Yükle değişimi.



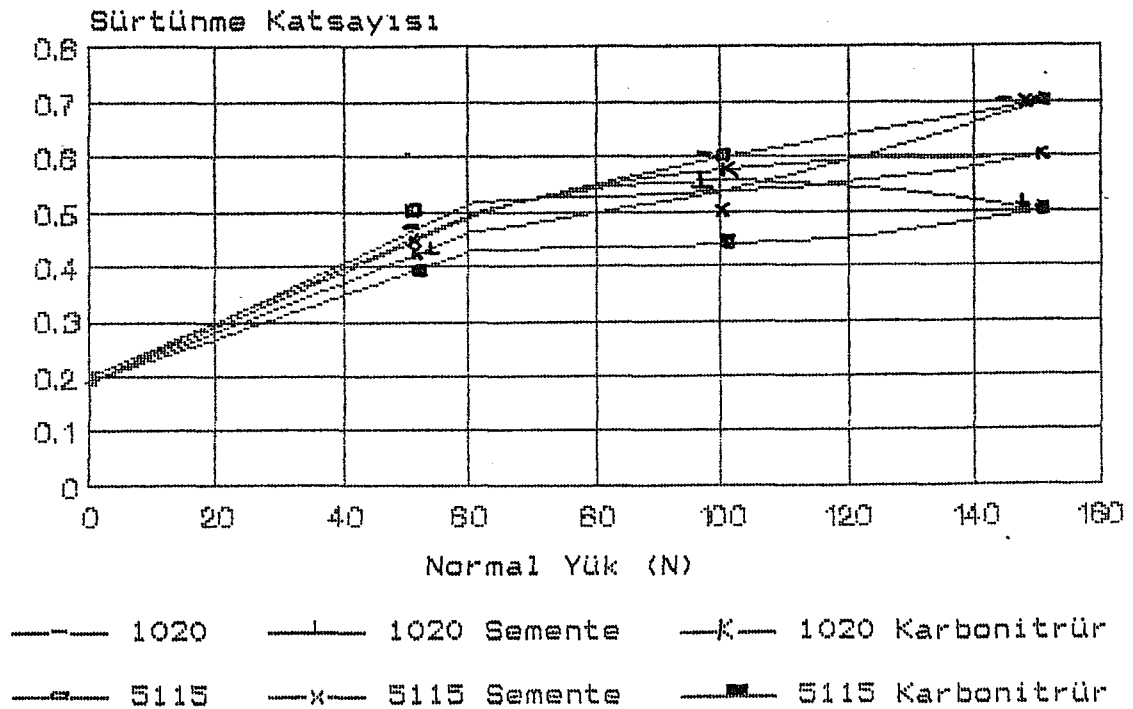
Şekil-6.17. 5 m/s kayma Hızında ve Kayma Süresinin 480 sn Olması Durumunda, Sürtünme katsayısının Yükle değişimi.



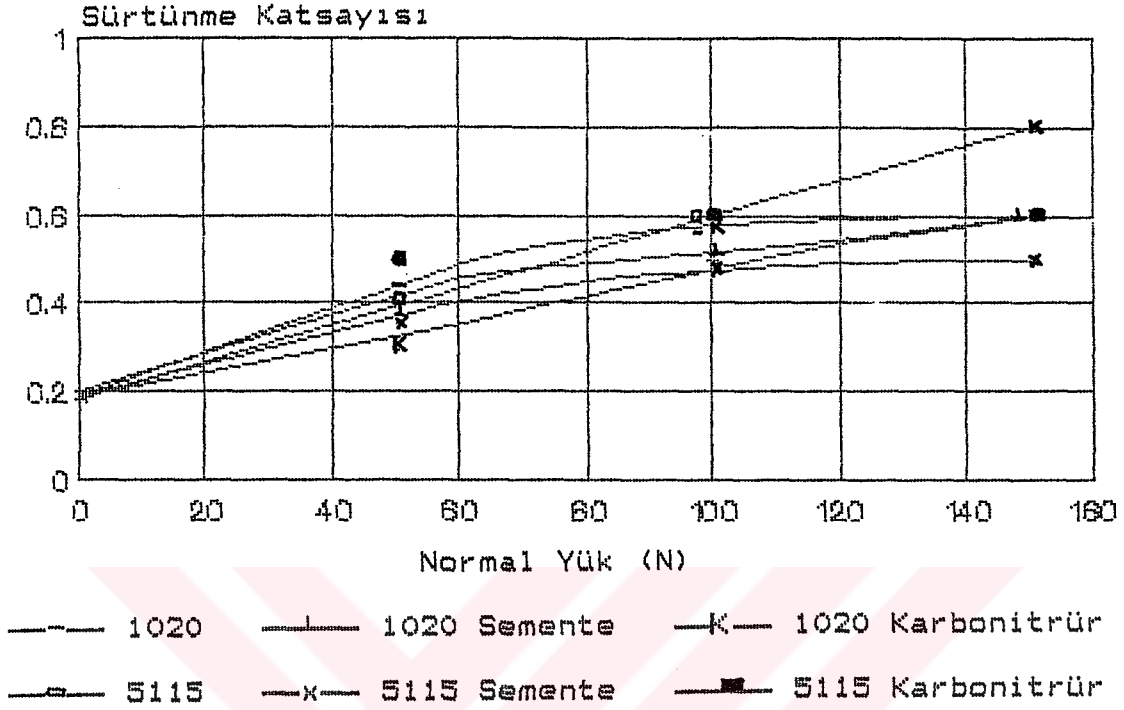
Sekil-6.18. 5 m/s Kayma Hızında ve Kayma Süresinin 600sn Olması Durumunda, Sürtünme katsayısının Yükle değişimi.



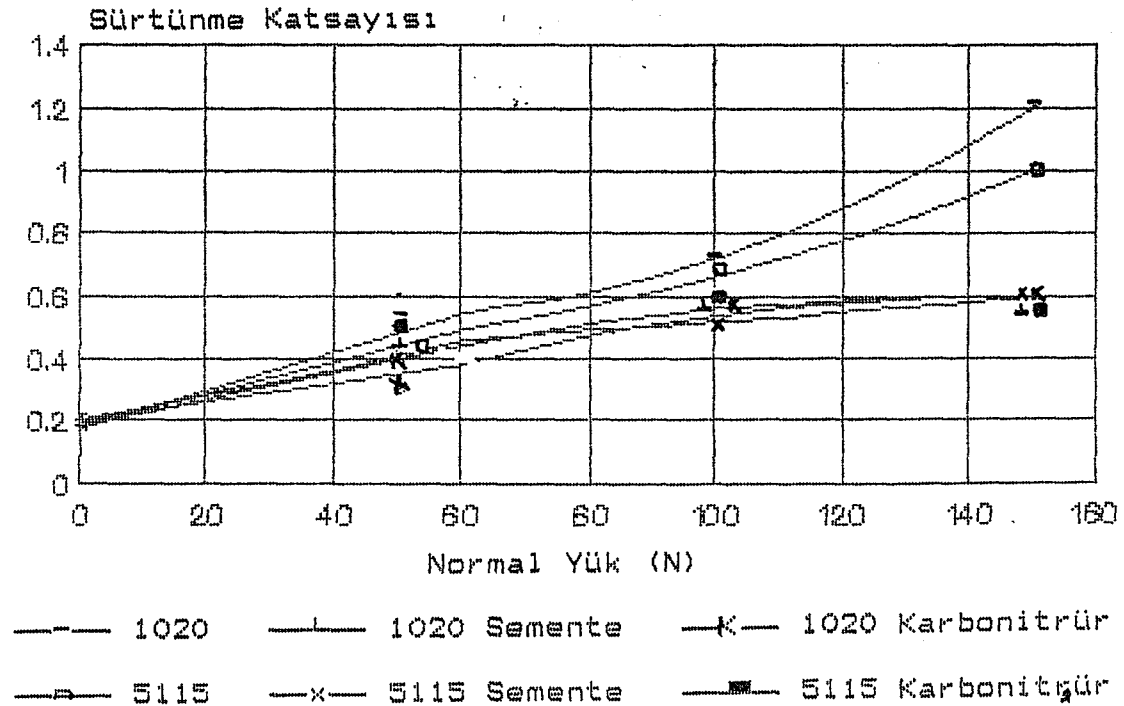
Sekil-6.19. 10 m/s kayma Hızında ve Kayma Süresinin 60 sn Olması Durumunda, Sürtünme katsayısının Yükle değişimi.



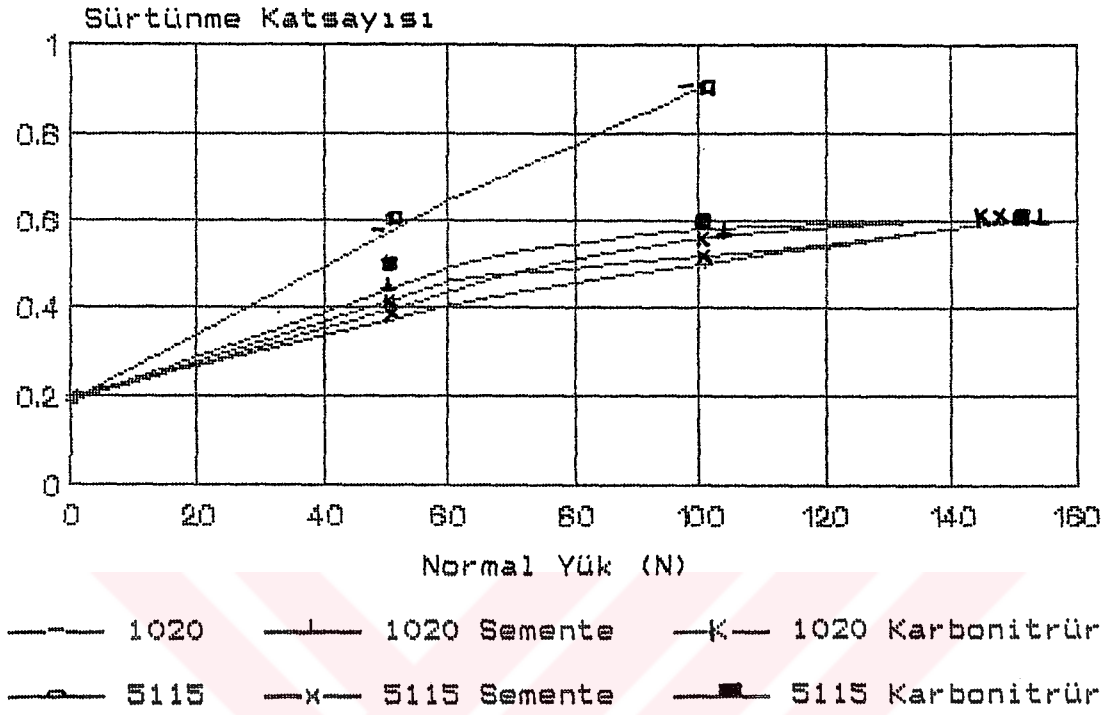
Sekil-6.20. 10 m/s Kayma Hızında ve Kayma Süresinin 180 sn Olması Durumunda, Sürtünme katsayısının Yükle değişimi.



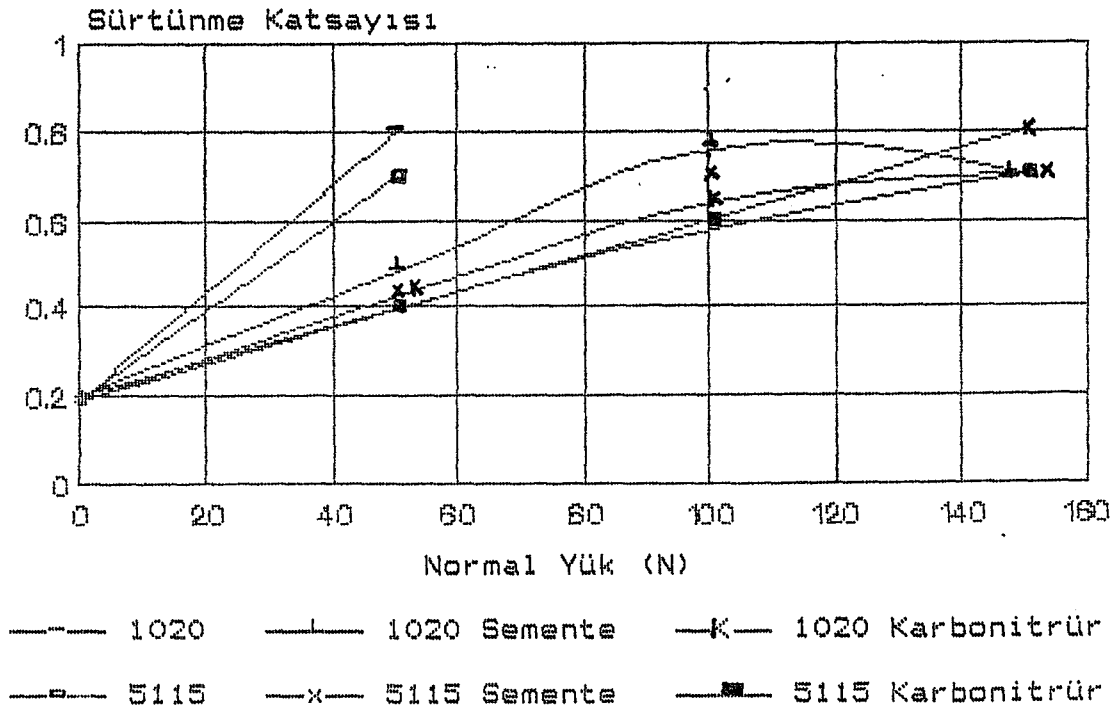
Sekil-6.21. 10 m/s kayma Hızında ve Kayma Süresinin 300 sn Olması Durumunda, Sürtünme katsayısının Yükle değişimi.



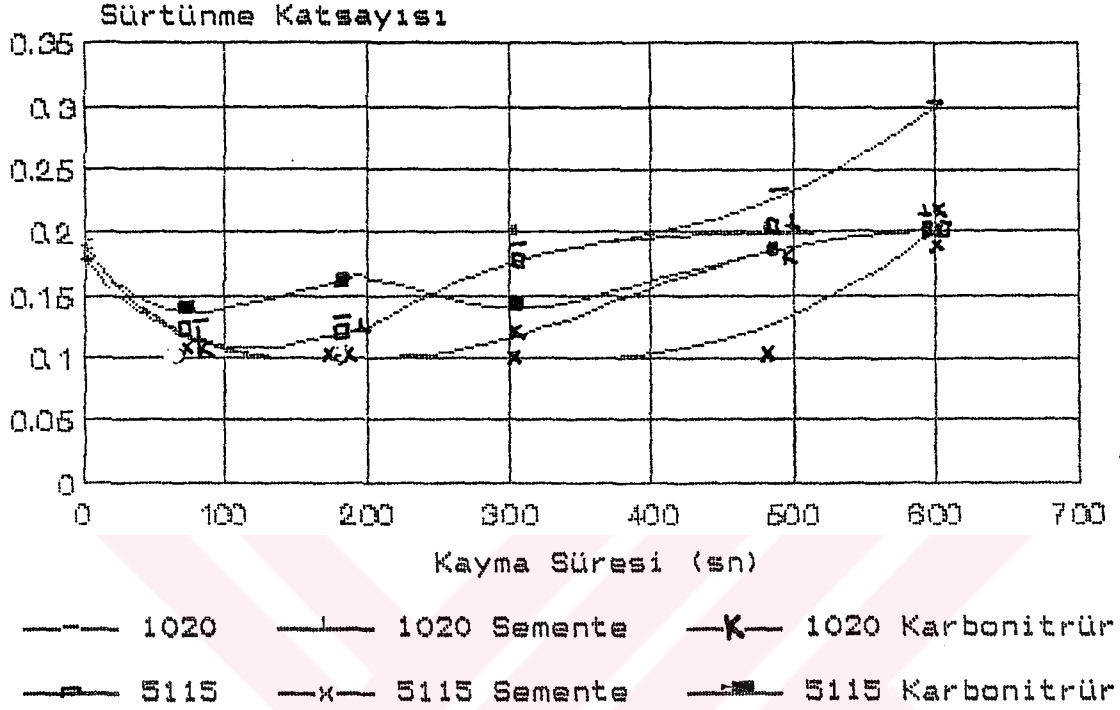
Sekil-6.22. 10 m/s Kayma Hızında ve Kayma Süresinin 480 sn Olması Durumunda, Sürtünme katsayısının Yükle değişimi.



Sekil-6.23. 10 m/s kayma Hızında ve Kayma Süresinin 600 sn Olması Durumunda, Sürtünme katsayısının Yükle değişimi.



Şekil-6.24. Yağlamalı Durumda 150 n yükte ve 10 m/s Kayma Hızında Sürtünme katsayısının Kayma Süresi ile değişimi



bu durum yalnızca düşük yükler de yüzeyi sertleştirilmiş numunelerde görülmüştür.

Maksimum yük ve kayma süresinde sürtünme katsayısının hızlı artışı ise metal-metal teması olduğu şeklinde yorumlanabilir [8,56,57].

6.4. AŞINMA DENEYİ SONUÇLARI

Daha önce belirtilen aşınma şartlarında, yapılan aşınma deney sonuçları şekil-6.25 den 6.58'e kadar gösterilen grafiklerde verilmiştir. Bu grafiklerden elde edilen sonuçlar ayrı ayrı değerlendirilerek, deney numunelerinin aşınma davranışları mukayese edilmiştir.

6.4.1. Aşınma Miktarı

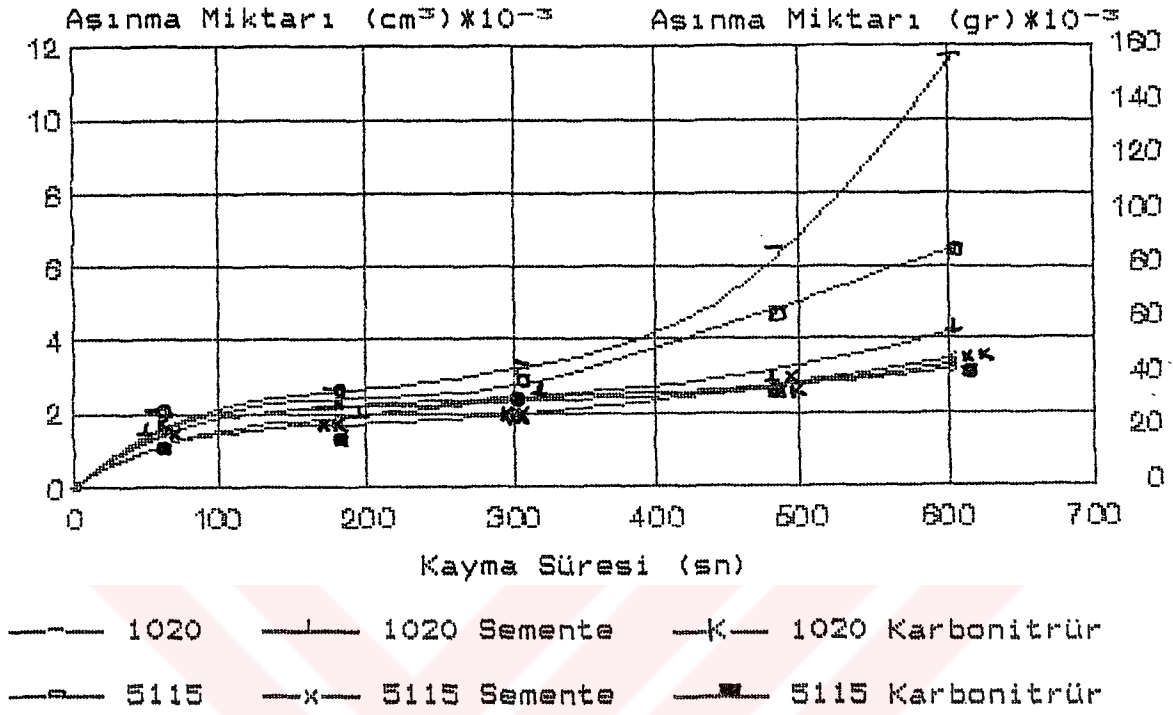
Şekil-6.25 den 6.30'a kadar olan grafiklerde, kütleli ve hacımsal kayıplarının, kayma mesafesi ile değişimi, şekil-6.31 den 6.40'a kadar olan grafiklerde ise hacımsal aşınma kaybının normal yük ile değişimi verilmiştir. Bu grafiklerde aşınma, kayma süresi veya kayma mesafesi, normal yük ve kayma hızına bağlı olarak tesbit edilmiştir. Aşınmayı bu değişkenlere göre ayrı ayrı değerlendirmek daha faydalı olacaktır.

6.4.1.1. Aşınmanın Kayma Süresi(Kayma mesafesi) ile Değişimi

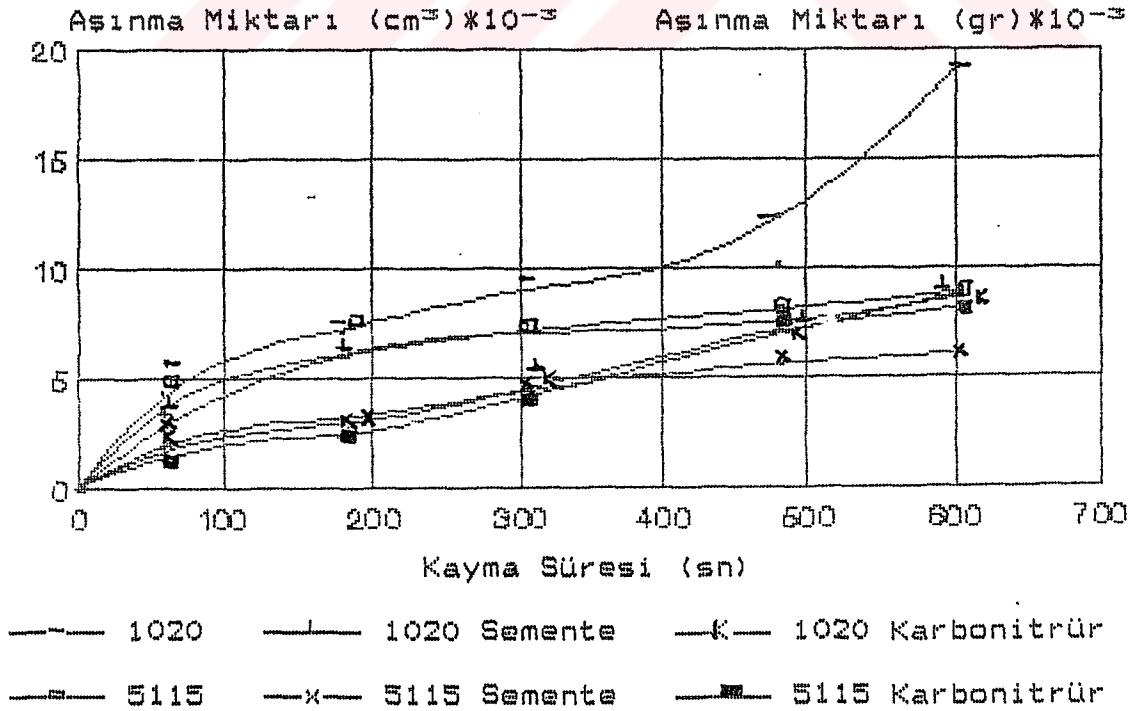
Şekil-6.25 den 6.30 ye kadar olan grafikler, kayma hızı ve yük sabit tutularak test süresi ile aşınma miktarının kütleli(gr) ve hacımsal kayıp(cm³) olarak değişimini göstermektedir. 6.30'e kadar olan grafikler, aşınmayı test süresi ile kütleli ve hacımsal kayıp değişimi olarak, 6.40'a kadar olan grafikler, normal yük ile yalnızca hacımsal aşınma kaybının normal yük ile değişimini ve diğerleride Quinne'e [56] ve Archarda'a[58], göre hesaplanan aşınma katsayısının test süresi ve normal yük ile değişimini göstermektedir.

Genel olarak, yüzeyi sertleştirilmiş numunelerin aşınma karakteri işlem görmemiş numunelere göre çok farklı seyretmektedir. İşlem görmemiş numunelerin aşınması her durumda oldukça fazla tesbit edilmiştir. Yükün ve kayma mesafesinin artışı ile işlem görmemiş numunelerin aşınması

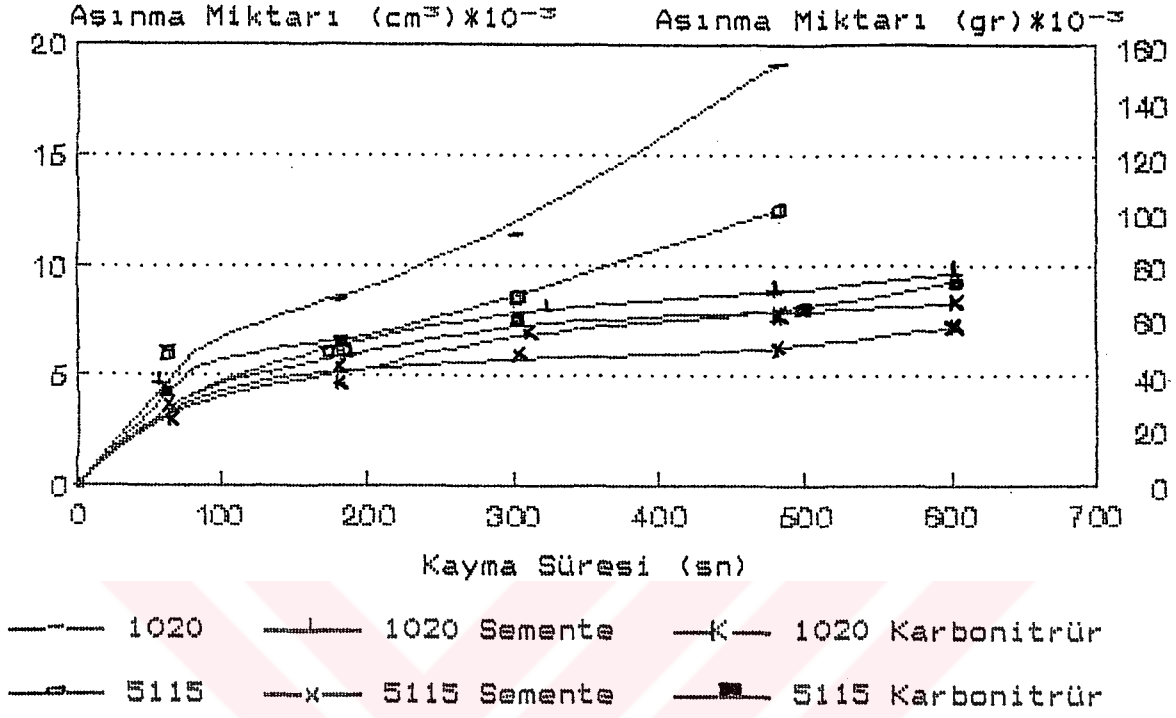
Sekil-6.25. 50 N Yükte ve 5 m/s Kayma Hızına Göre Aşınma Kayıplarının Kayma Süresi ile Değişimi.



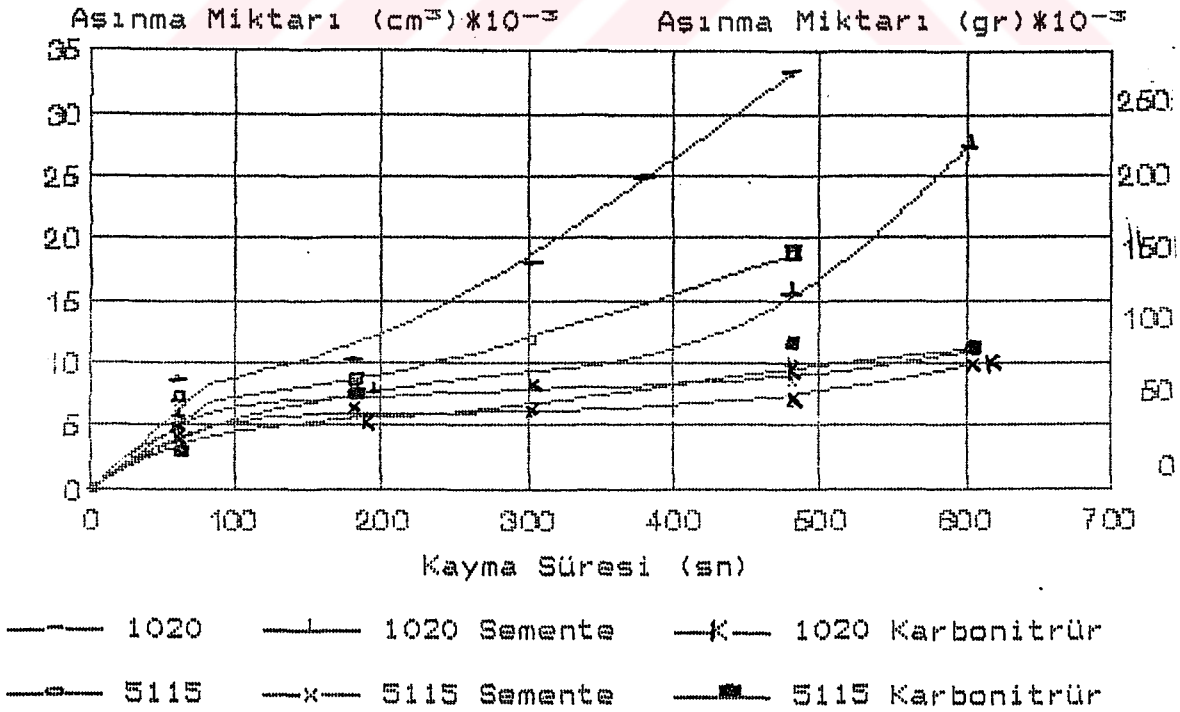
Sekil-6.26. 50 N Yükte ve 10m/s Kayma Hızına Göre Aşınma Kayıplarının Kayma Süresi ile Değişimi.



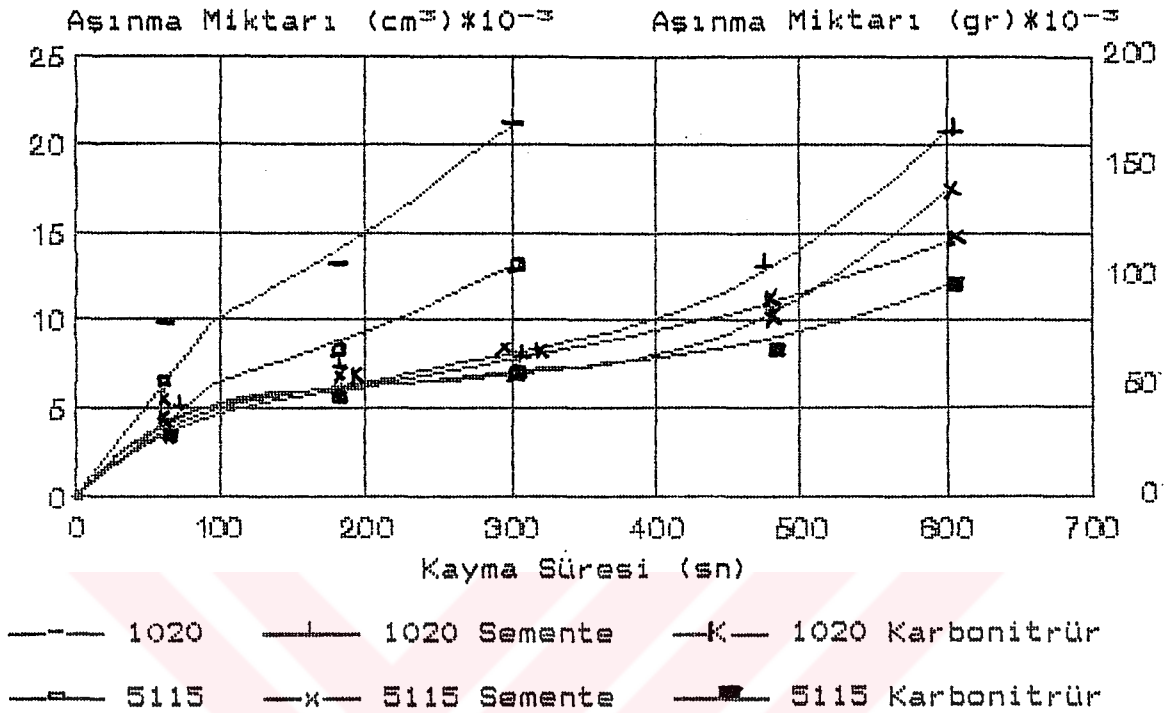
Sekil-6.27. 100N Yükte ve 5 m/s Kayma Hızına Göre Aşınma Kayıplarının Kayma Süresi ile Değişimi.



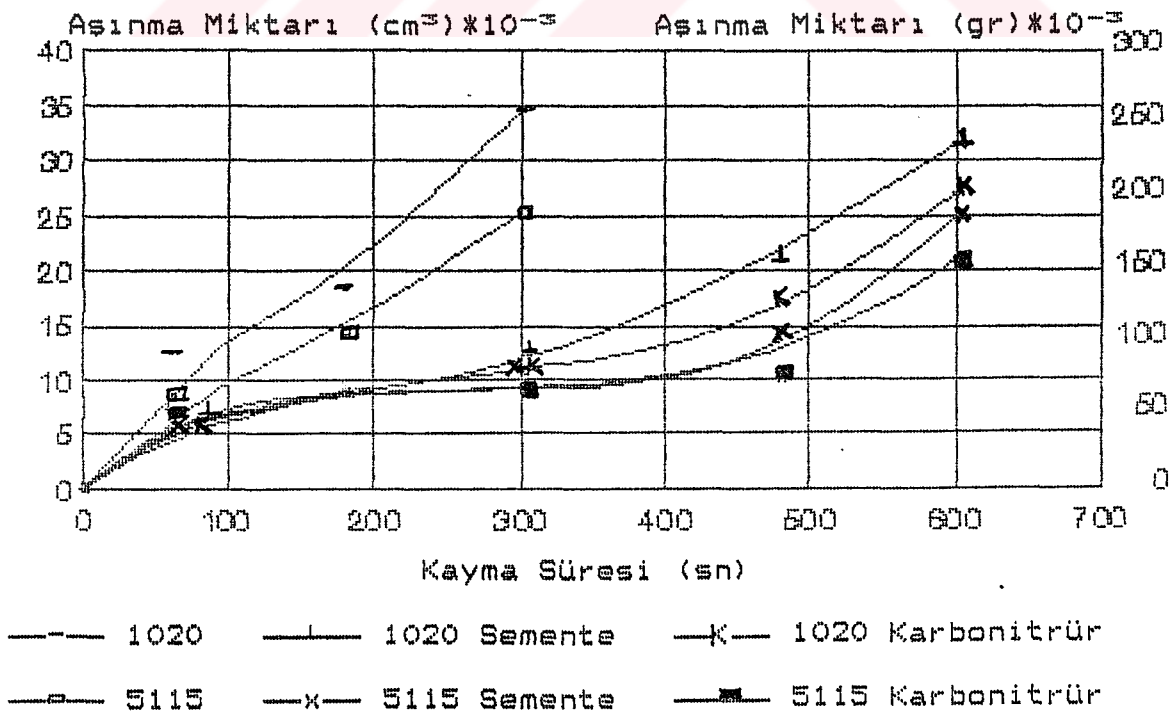
Sekil-6.28. 100N Yükte ve 10m/s Kayma Hızına Göre Aşınma Kayıplarının Kayma Süresi ile Değişimi.



Şekil-6.29. 150N Yükte ve 5 m/s Kayma Hızına Göre Aşınma Kayıplarının Kayma Süresi ile Değişimi.



Şekil-6.30. 150N Yükte ve 10m/s Kayma Hızına Göre Aşınma Kayıplarının Kayma Süresi ile Değişimi.



hızla artmıştır. Bu nedenle bu numunelerin deneyleri, yüksek yüklerde devam ettirilmemiştir. Karbonitrürlenmiş ve semente edilmiş numunelerin genel aşınma karakteri bir birlerine benzer durumdadır.

Bütün deneylerde aşınma kayıpları, kayma süresinin artışı ile artmaktadır. Bu artış kayma süresi boyunca orantılı değildir. Aşınma, kayma başlangıcında işlem görmemiş numuneler dahil bütün numuneler için daha hızlı, sonra yavaş olmaktadır. Bu durum aşınma katsayısı değişiminde de görülmekte ve kayma başlangıç süresinin 0-60.sn arasına tekabül etmektedir.

İşlem görmemiş numuneler başlangıçta(kayma süresi 0-60 sn arasında), işlem görmüş numunelerle aynı aşınma karakteri göstermektedir. Bu sürede aşınma hızla artar. Bu durum yüzeylerin alışincaya kadar birbirini kazımalarından kaynaklanmaktadır.

Aşınma hızı, 60-300.sn arasında azalmaktadır. Bu sürede kararlı aşınma söz konusudur. İşlem görmemiş numunelerin kararlı aşınma süresi (mesafesi) yüzeyi sertleştirilmiş numunelere göre daha kısa sürmüştür. 300.sn den sonra bu numunelerin aşınması tekrar hızlanmıştır. Bu artış, yükün fazla olması durumunda çok daha şiddetli meydana gelmiş ve bu numunelerle 100 ve 150N'luk yükte deneye daha fazla devam edilmemiştir(şekil-6.27, 28, 29, 30).

Yüzeyi sertleştirilmiş numunelerin, düşük yük ve kayma hızlarında, aşınma karakterleri ve değerleri birbirinden çok farklı değildir. Aşınma ortalama 60 - 300.sn arasında daha

yavaş ve dengelidir. Yükün ve kayma mesafesinin artması ile aşınma değerleri, numunelere göre azda olsa farklılık gösterir. Karbonitrürlenmiş 5115'in aşınma direncinin diğerlerinden azda olsa fazla olduğu görülmüştür. Semente edilmiş 1020 çeliğinin aşınması ise en fazla olmaktadır. Bu durum şekil-6.25 ten 6.40'e olan grafiklerde görülmektedir. Düşük kayma mesafelerinde(süresinde), karbonitrürlenme ile aşınma direnci biraz daha iyi netice vermektedir. Kayma süresi ve yükün artması ile aralarındaki fark azalmıştır.

Quinne'e göre aşınma katsayısının(K_1) test süresi ile değişimi, numunelerin aşınma miktarları ile ters orantılı olduğu görülmektedir. K_1 değeri başlangıçta(0-60sn arasında) hızla azalırken daha sonraki sürelerde fazla değişmemektedir. Kayma süresi sonunda tekrar yükselme eğilimindedir. Bu yükselme, işlem görmemiş numunelerde daha fazla olmuştur. Yüzeyi sertleştirilmiş numunelerin her durumda, K_1 değerleri diğerlerinden daha düşük olduğu görülmüştür. En düşük K_1 değerine 5115 çeliğinin sahip olduğu görülmüştür. Bu çeliği genel olarak, sırasıyla semente edilmiş 5115, karbonitrürlenmiş 1020 ve semente edilmiş 1020 çelikleri takip etmektedir(şekil-6.41a, 42a, 43a, 44a, 45a, ve 46a).

Archard'a göre aşınma katsayısı (K_{11}) kayma süresinin başlangıcında (0-60 sn arasında) aşınma miktarından ziyade yüzey sertliği ile orantılı olduğu görülmüştür. Kayma süresinin artışı (180-480 sn arasında) ile aşınma kaybının etkisi daha fazla olmaktadır ve aşınma miktarı daha düşük

olan numunelerin K_{11} değeri daha hızlı azalmaktadır. Kayma süresi sonunda (600 sn) yüzeyi sertleştirilmiş numunelerin K_{11} değerleri, aşınma sıralaması ile tam bir paralellik göstermektedir(Şekil-6.41b, 42b, 43b, 44b, 45b ve 46b).

6.3.1.2. Aşınmanın Normal Yük ile Değişimi

Şekil-6.31 den 6.40'a kadar olan grafikler aşınma miktarının (cm^3) normal yük ile değişimini, şekil-6.41 den 6.5'e kadar olan grafikler ise Quinne'e(K_1) ve Archard'a(K_{11}) göre hesaplanan aşınma katsayısının yüke göre değişimini göstermektedir. Bu grafiklerden de görüldüğü gibi, sabit kayma hızı ve kayma süresinde, yükün artmasıyla aşınma miktarı artmaktadır. Bu değişim numunelere göre farklılıklar göstermektedir. Düşük yükte ve kayma hızının başlangıcında, bütün numunelerin aşınma miktarı ve aşınma katsayıları birbirine yakın ve yüksektir. Yükün artması ile aşınma, önce hızlı artar sonra artış hızı yavaşlar. Numunelerin aşınma davranışlarındaki farklılıklar yük artışı ile daha belirgin hale gelmektedir.

Quinne'e[56] göre aşınma katsayısı(K_{11}) yük artışı ile yüzeyi sertleştirilmiş numunelerde daha düşük seviyede seyretmektedir(şekil-6.47a, 48a, 49a, 50a, 51a, 52a, 53a,54a, 55a, ve 56a). Düşük kayma mesafelerinde, K_1 normal yük artışı ile artarken kayma süresinin 480. saniyesinden sonra yüzeyleri sertleştirilmiş numunelerin K_1 değeri azalmaktadır.

Archard'a[58] göre hesaplanan aşınma katsayısı(K_{11}), yükün

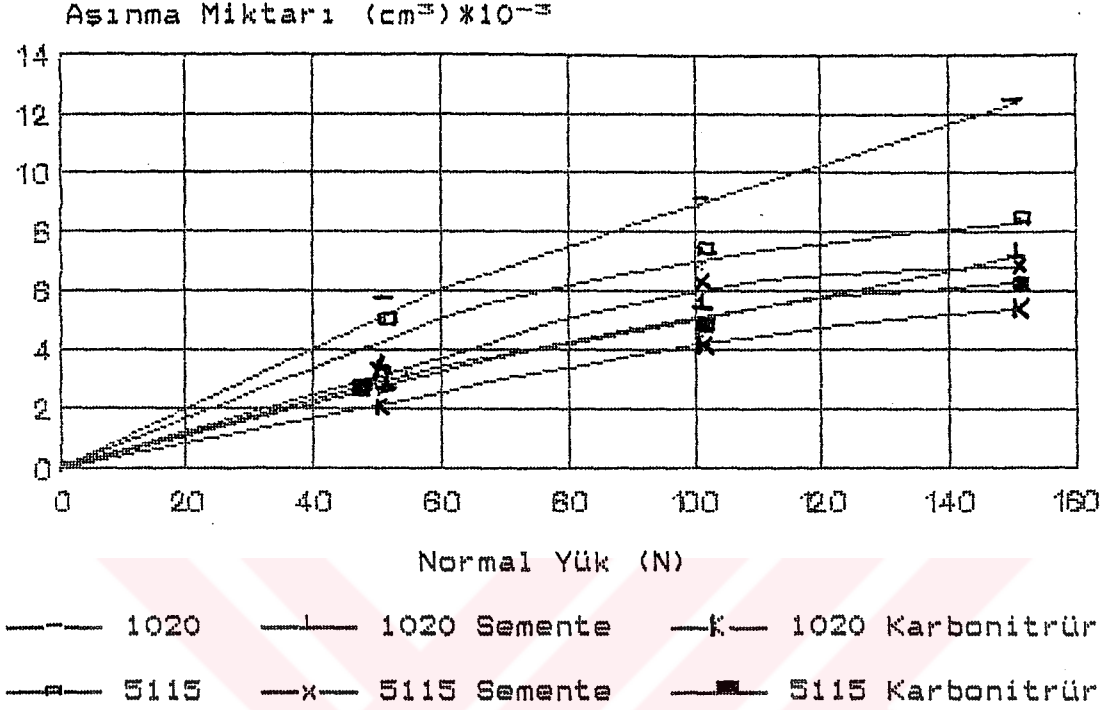
100N olması durumuna kadar artarken bu yükten sonra kısmen azalmaktadır. Bu azalma, yüzeyi sertleştirilmiş ve özellikle yüzey sertliği daha fazla olan numunelerde daha fazla olmaktadır(Şekil-6.47b, 48b, 49b, 50b, 52b, 53b ve 56b).

Yükün 100N ve 150N alması durumunda aşınma karakterlerinde numunelere göre farklılıklar daha açık biçimde görülür.

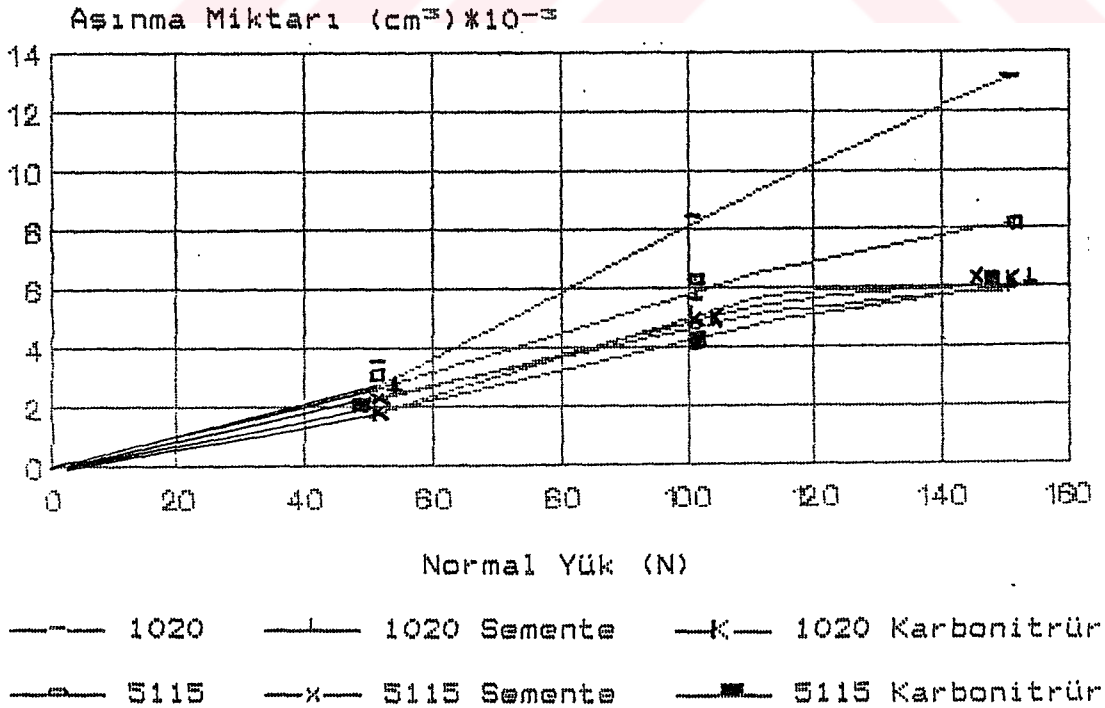
Yüzeyi sertleştirilmiş numunelerin aşınma katsayıları yük artışı ile azalmaktadır. Deney süresi boyunca, karbonitrürlenmiş 5115 çeliğinin aşınma kaybı ve katsayısının K_1 , her durumda daha düşük olduğu tesbit edilmiştir. Bu çeliği, semente edilmiş 5115, karbonitrürlenmiş 1020 ve semente edilmiş 1020 çelikleri takip etmektedir. K_{11} , aşınma katsayısı ise kayma başlangıcında ve düşük yükte, yüzey sertliği ile doğru orantılı bulunmuştur. Kayma mesafesi ve yük artışı ile K_{11} , K_1 ile aynı karakteri göstermektedir. Bu durum K_{11} 'i başlangıçta yüzey sertliği, daha fazla sonra ise aşınma miktarı ve kayma süresinin daha fazla etkilediği kabul edilebilir.

Karbonitrürlenmiş 5115 ve 1020 ile semente edilmiş 5115 çeliklerinin aşınma miktarı ve K_1 değerleri bir birlerine yakındır. Semente edilmiş 1020 çeliğinin K_1 , değeri ise yüzeyi sertleştirilmiş numunelerle diğer numuneler arasındadır. Yükün maksimum durumunda ise karbonitrürlenmiş 1020 çeliğinin aşınma miktarı ve K_1 , aşınma katsayısı semente edilmiş 1020 çeliğinin değerlerine yaklaşmakta olduğu görülmektedir(Şekil-6.46a ve 52a).

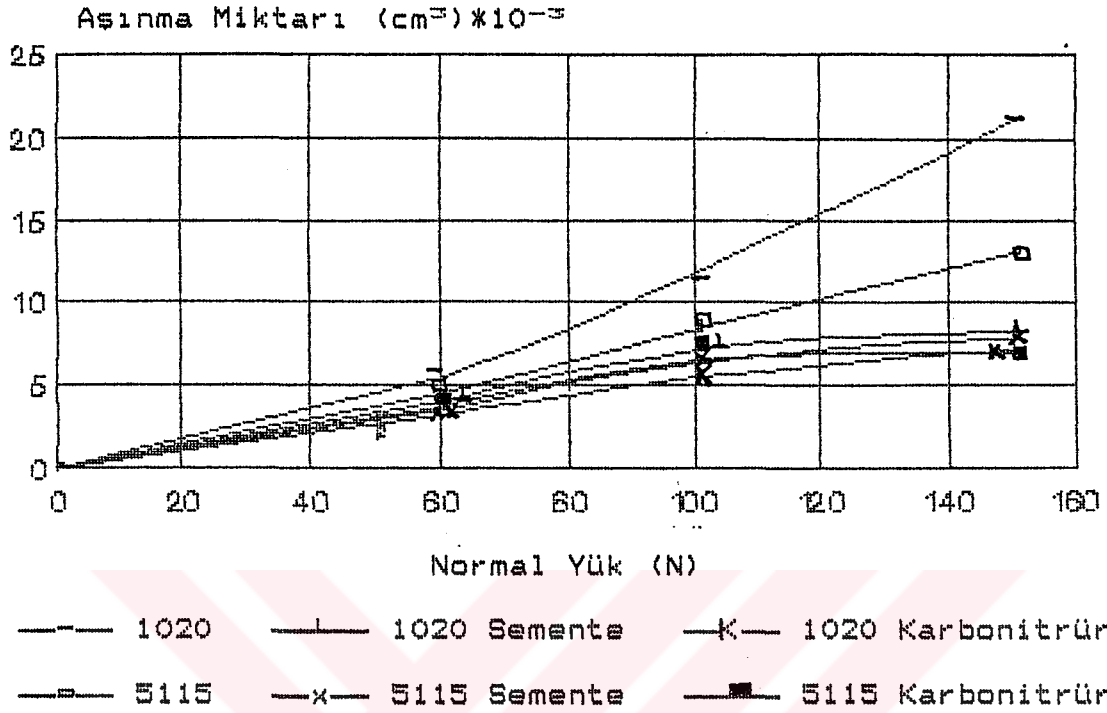
Şekil-6.31. 5 m/s Kayma Hızında ve kayma süresinin 60 sn Olması Durumunda, Aşınma Miktarının Yükle Değişimi.



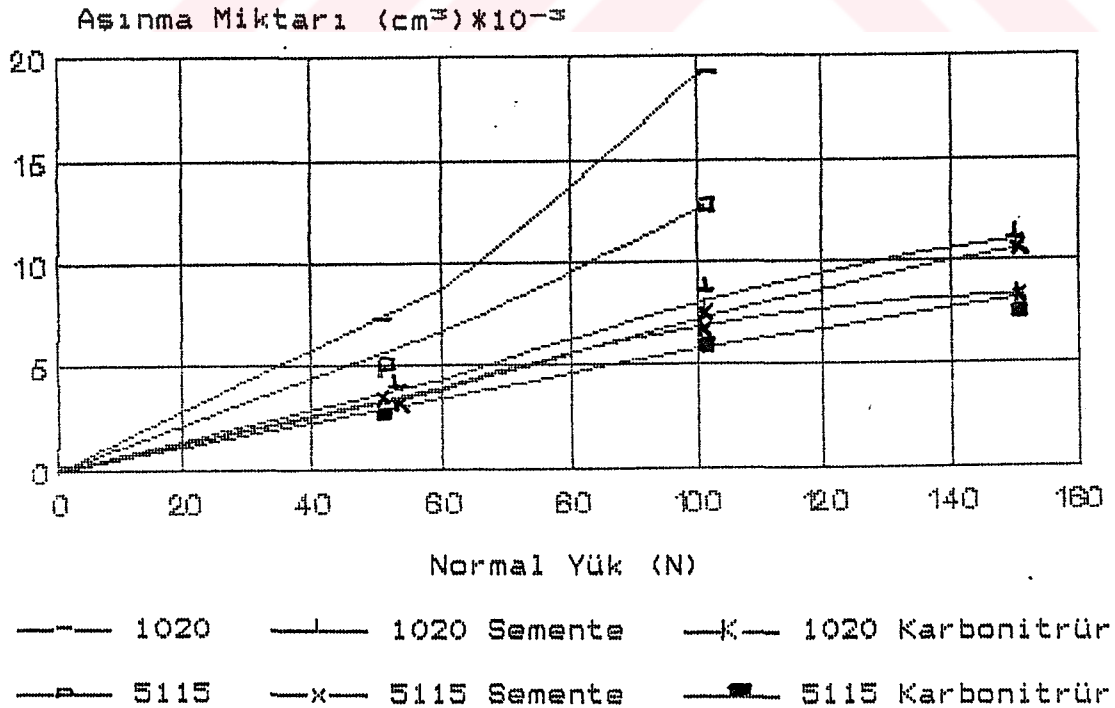
Şekil-6.32. 5 m/s Kayma Hızında ve kayma süresinin 180 sn Olması Durumunda, Aşınma Miktarının Yükle Değişimi.



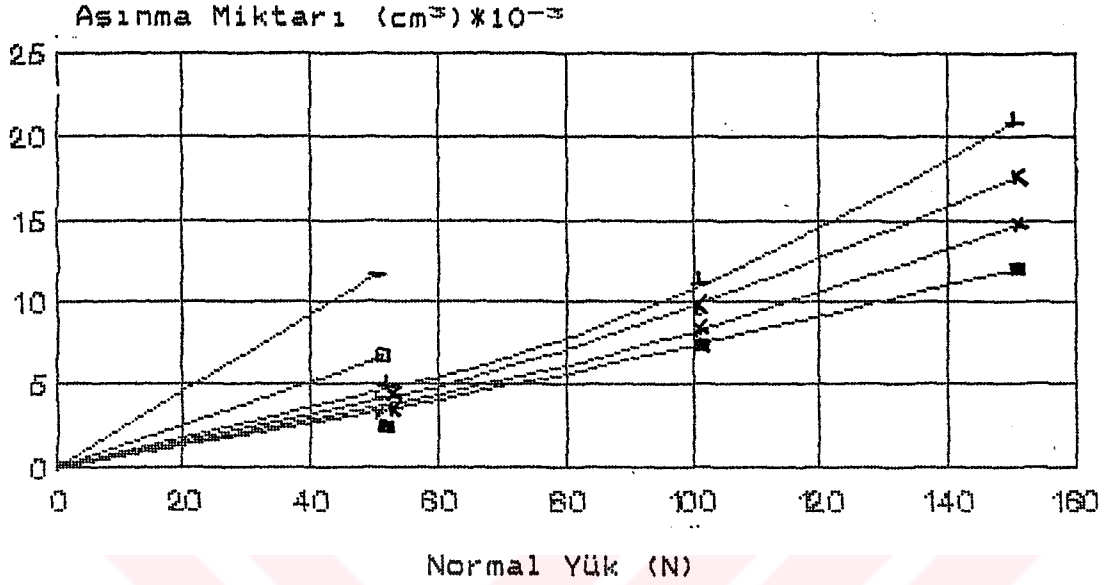
Sekil-6.33. 5 m/s Kayma Hızında ve kayma süresinin 300sn Olması Durumunda, Aşınma Miktarının Yükle Değişimi.



Sekil-6.34. 5 m/s Kayma Hızında ve kayma süresinin 480sn Olması Durumunda, Aşınma Miktarının Yükle Değişimi.

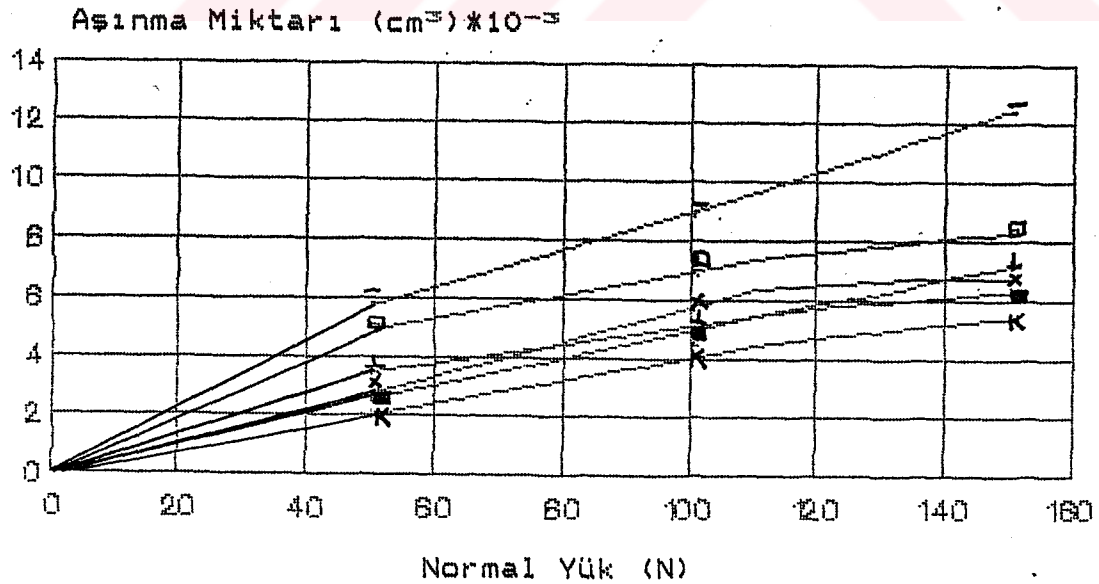


Sekil-6.35. 5 m/s Kayma Hızında ve kayma süresinin 60sn Olması Durumunda, Aşınma Miktarının Yükle Değişimi.



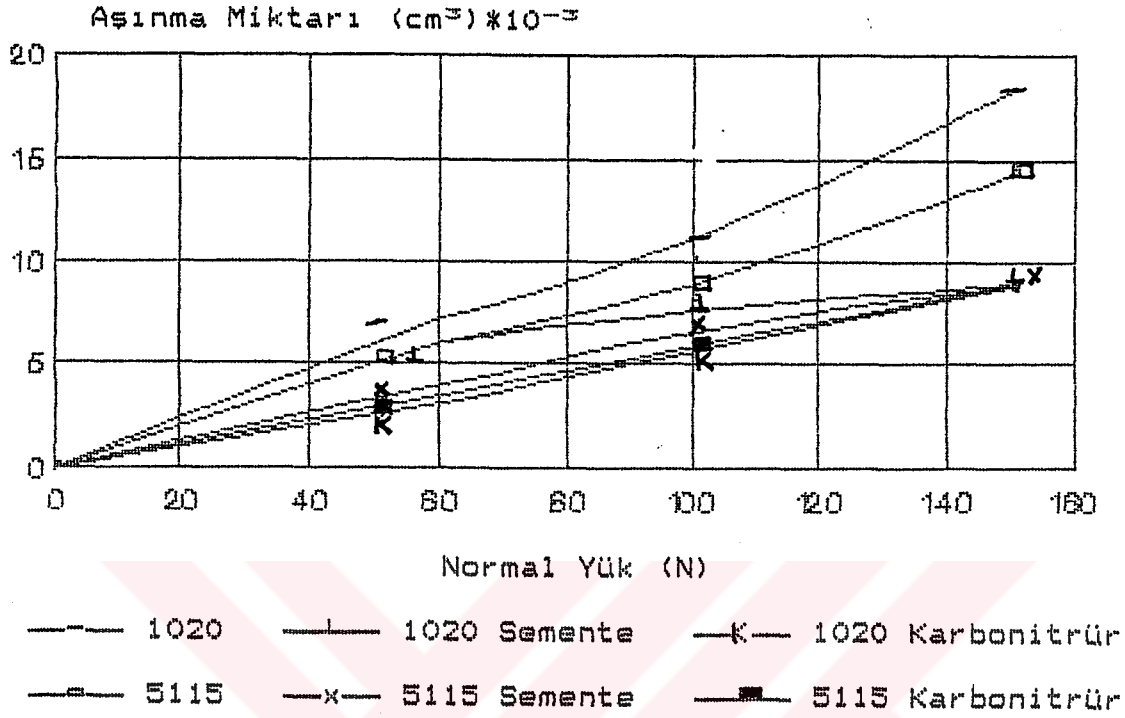
— 1020 — 1020 Sement — K — 1020 Karbonitrür
 —■— 5115 — x — 5115 Sement —■— 5115 Karbonitrür

Sekil-6.36. 10m/s Kayma Hızında ve kayma süresinin 60 sn Olması Durumunda, Aşınma Miktarının Yükle Değişimi.

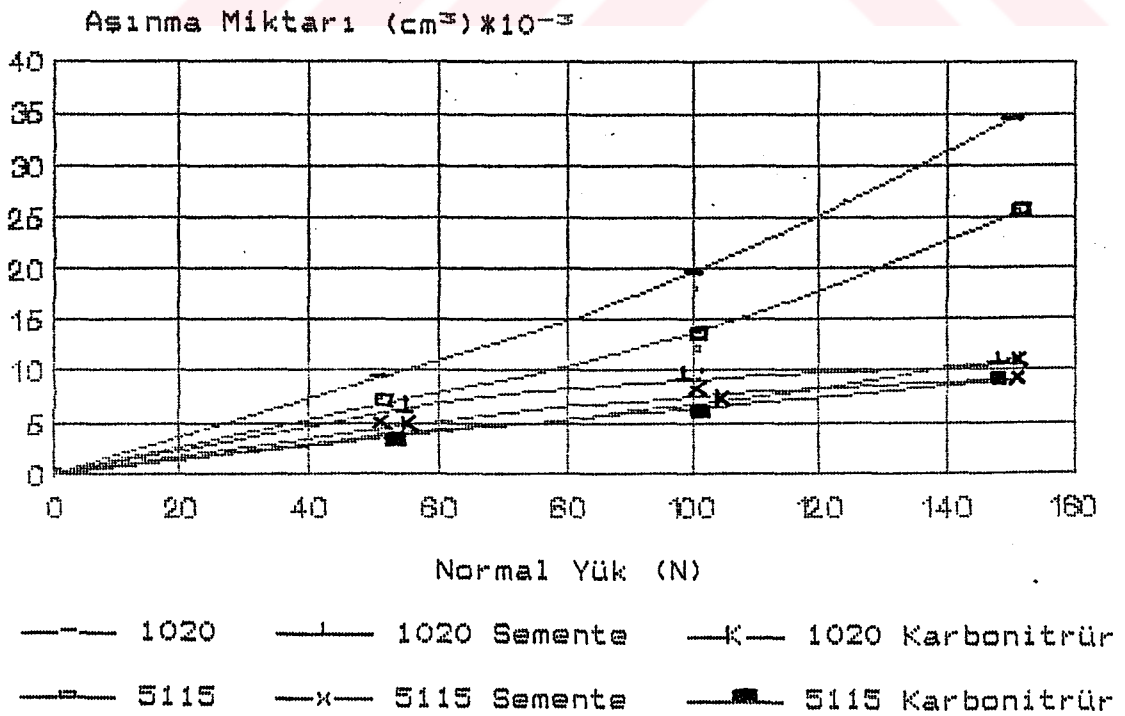


— 1020 — 1020 Sement — K — 1020 Karbonitrür
 —■— 5115 — x — 5115 Sement —■— 5115 Karbonitrür

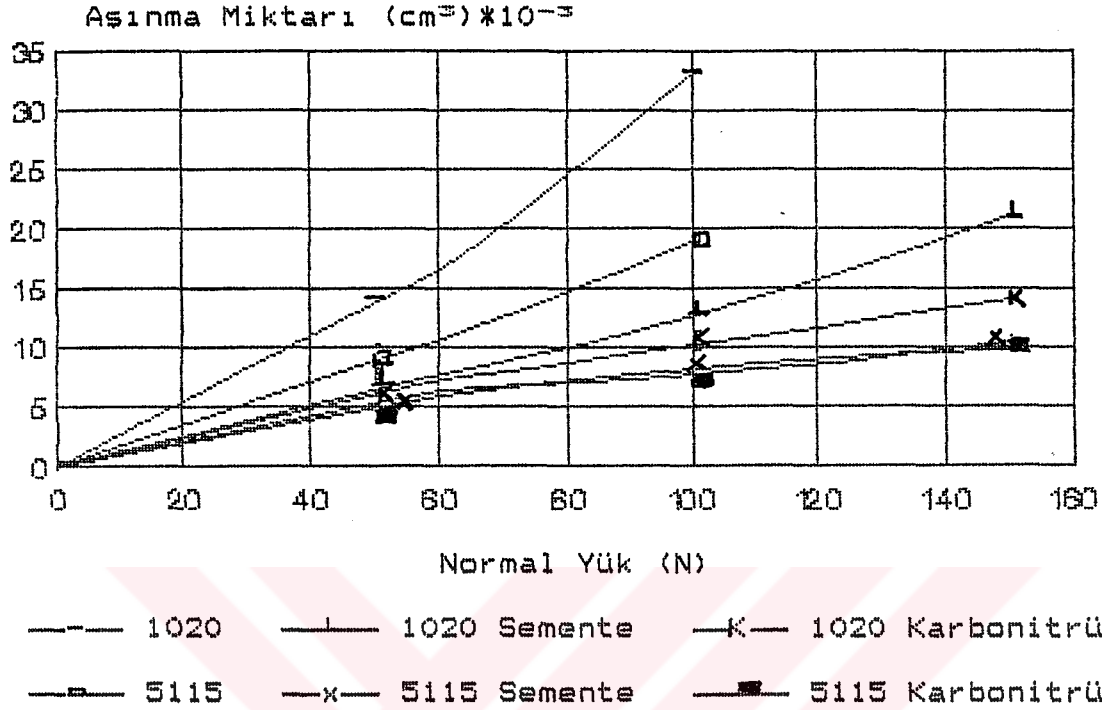
Sekil-6.37. 10m/s Kayma Hızında ve kayma süresinin 180sn Olması Durumunda, Aşınma Miktarının Yükle Değişimi.



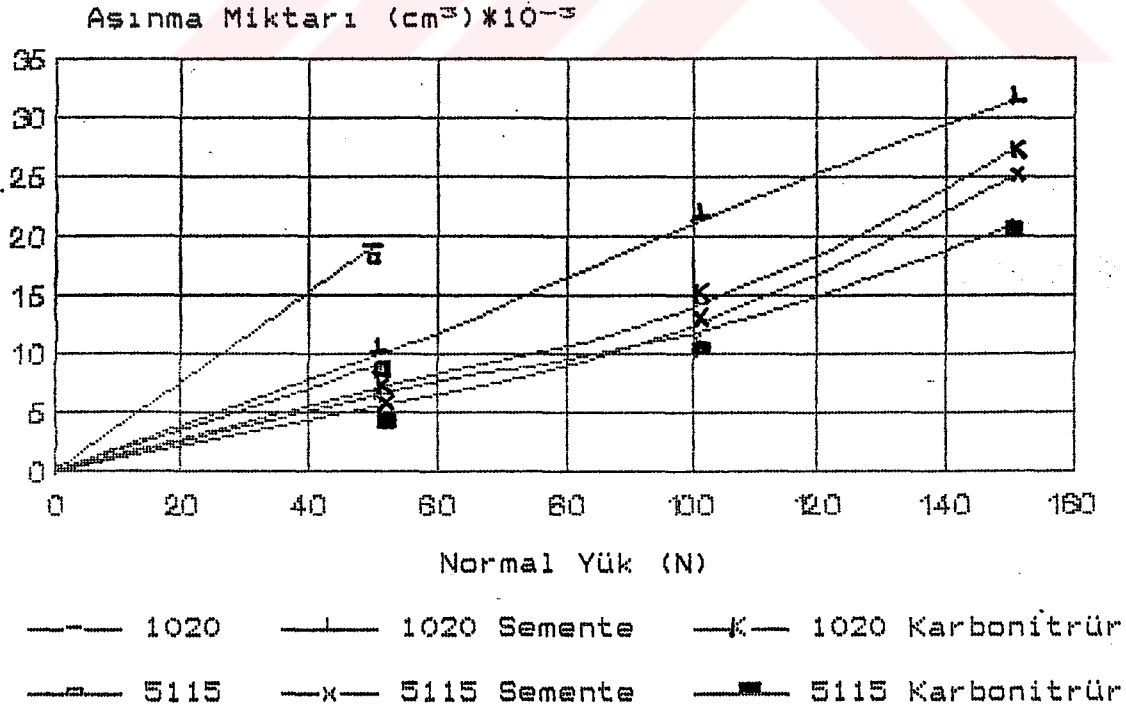
Sekil-6.38. 10m/s Kayma Hızında ve kayma süresinin 300sn Olması Durumunda, Aşınma Miktarının Yükle Değişimi.



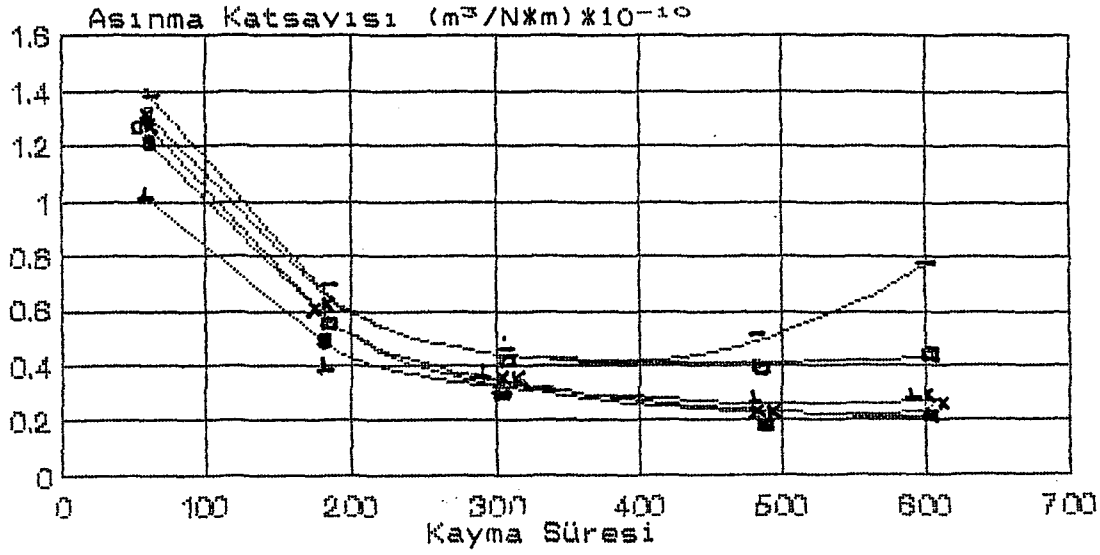
Sekil-6.39. 10m/s Kayma Hızında ve kayma süresinin 480sn Olması Durumunda, Aşınma Miktarının Yükle Değişimi.



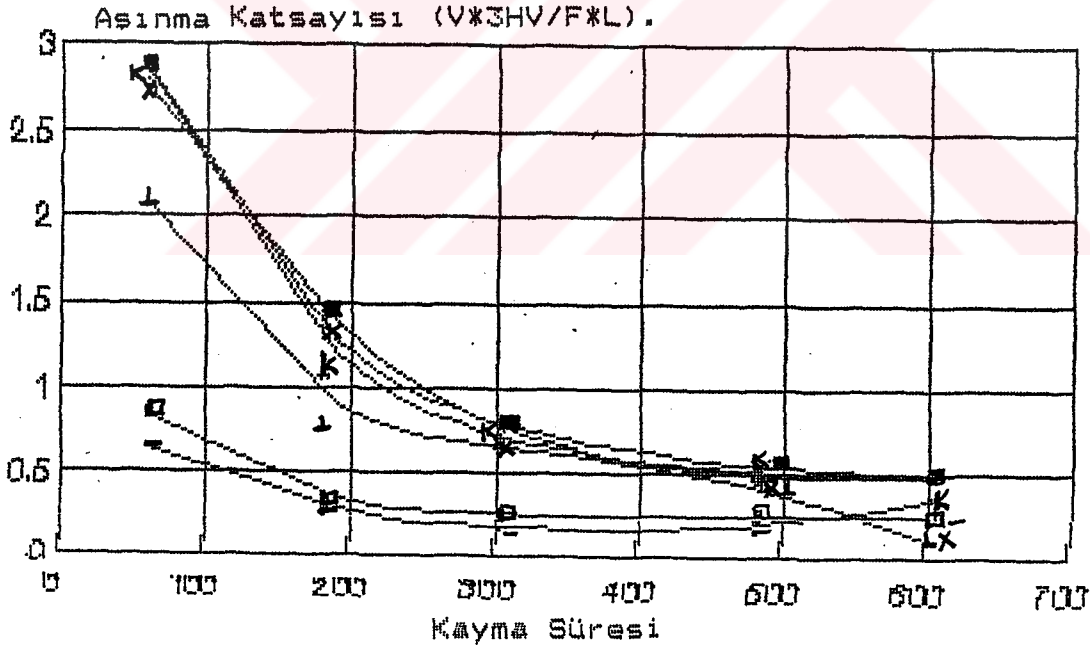
Sekil-6.40. 10m/s Kayma Hızında ve kayma süresinin 600sn Olması Durumunda, Aşınma Miktarının Yükle Değişimi.



Sekil-6.41. 50 N Yükte ve 5 m/s kayma Hızına Göre Aşınma Katsayısının Değişimi.



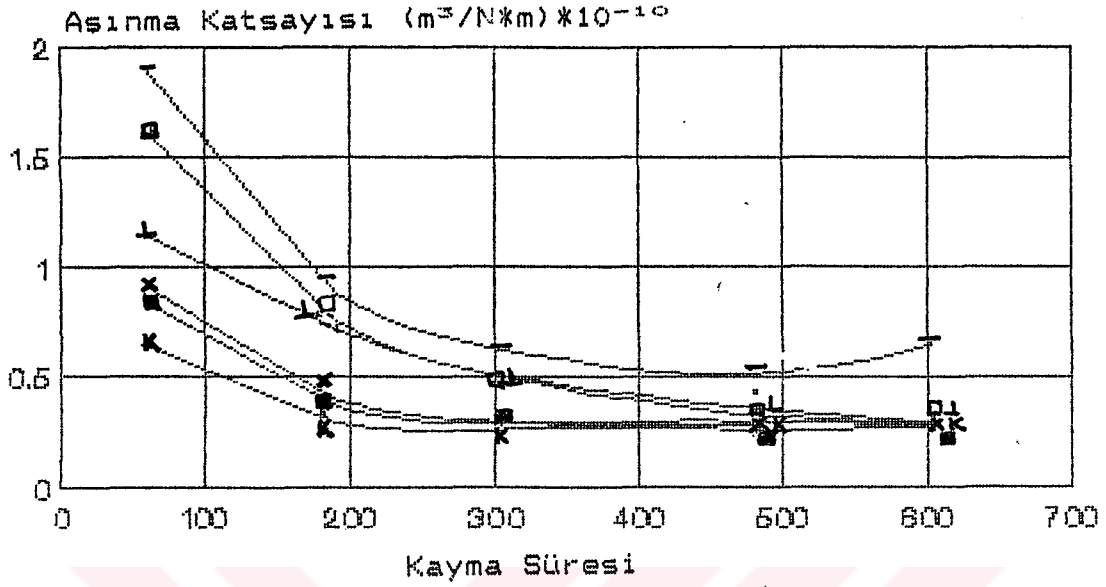
a- Quinne'e Göre Aşınma Katsayısı ($m^3/N*m$).



b-Archarda'a Göre Aşınma Katsayısı ($V*3HV/F*L$).

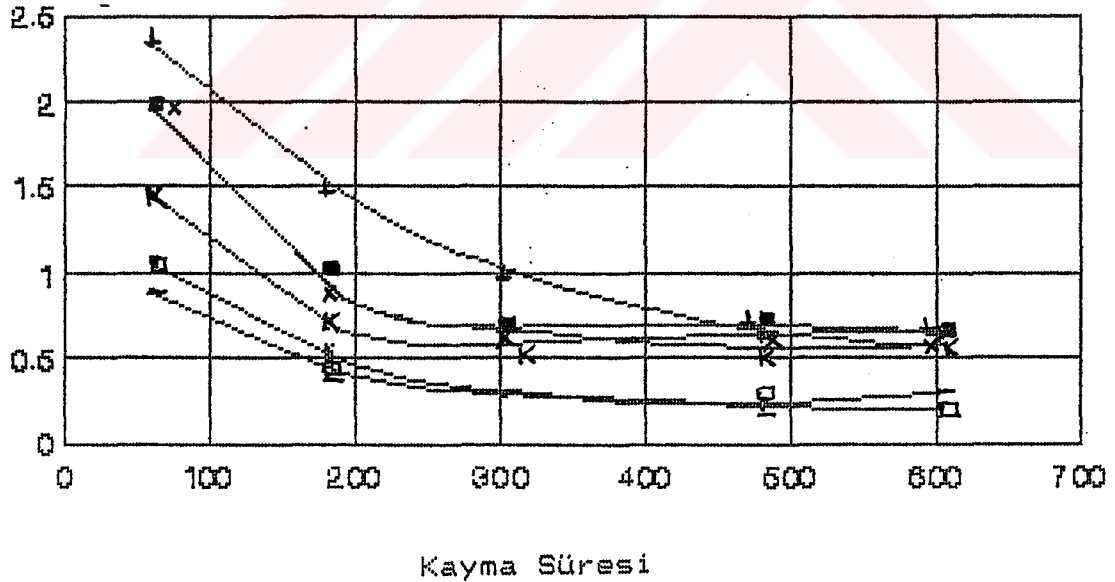
— 1020 — 1020 Semente —K— 1020 Karbonitrür
 — 5115 —x— 5115 Semente —■— 5115 Karbonitrür

Sekil-6.42. 50 N Yükte ve 10 m/s kayma Hızına Göre Aşınma Katsayısının Değişimi.



a- Guinne'e Göre Aşınma Katsayısı $(m^3/N*m)$.

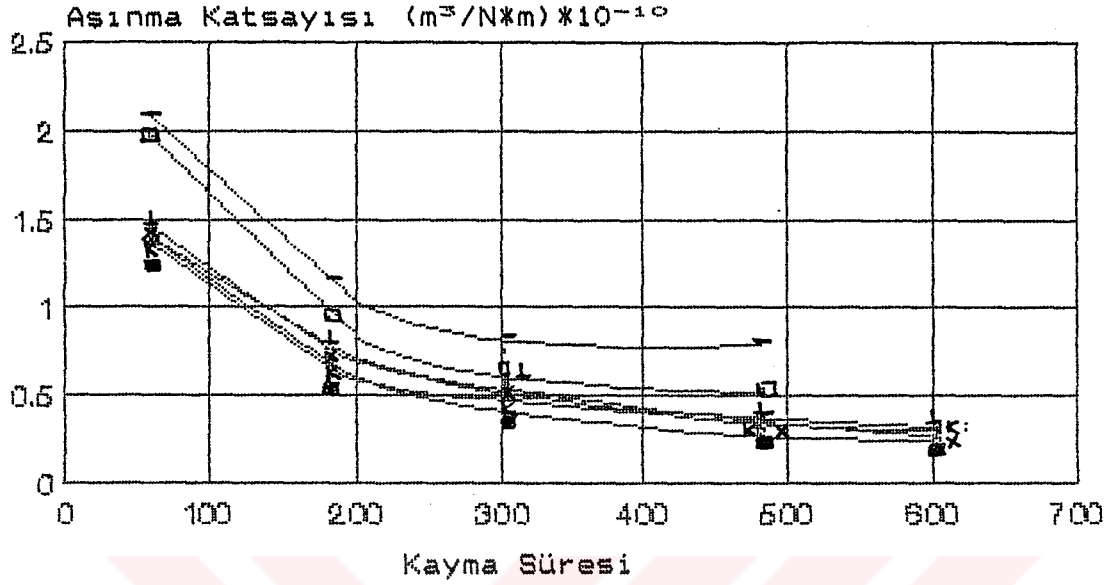
Aşınma Katsayısı $(V*3HV/F*L)$.



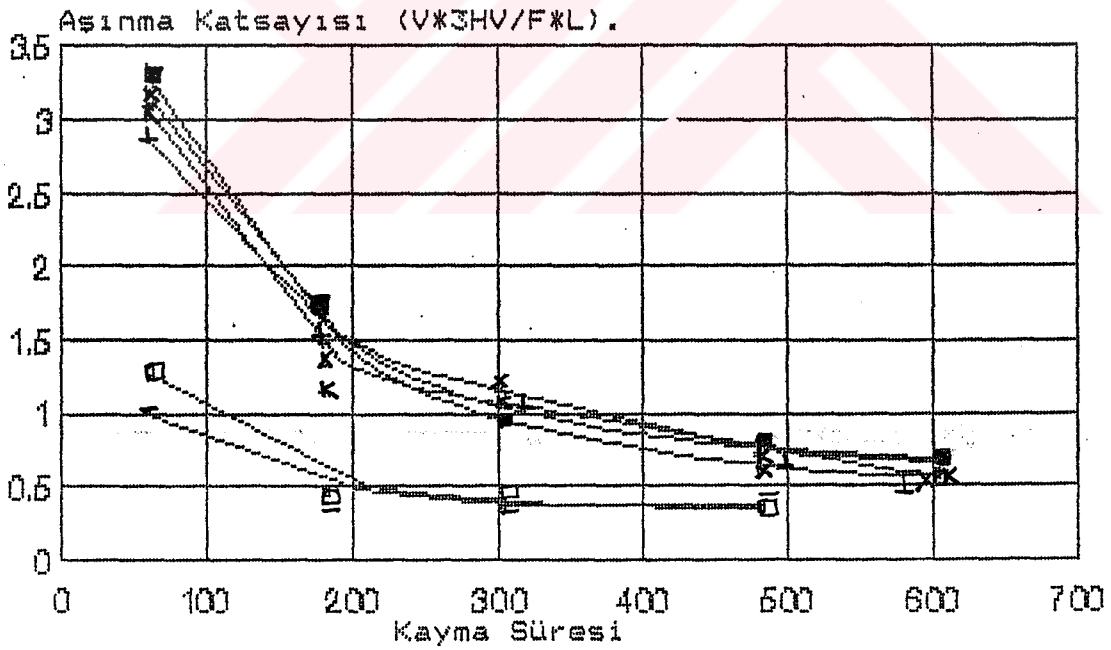
b-Archarda'a Göre Aşınma Katsayısı $(V*3HV/F*L)$.

—□— 1020 —△— 1020 Semente —○— 1020 Karbonitrür
—□— 5115 —x— 5115 Semente —■— 5115 Karbonitrür

Sekil-6.43. 100 N Yükte ve 5 m/s kayma Hızına Göre Aşınma Katsayısının Değişimi.



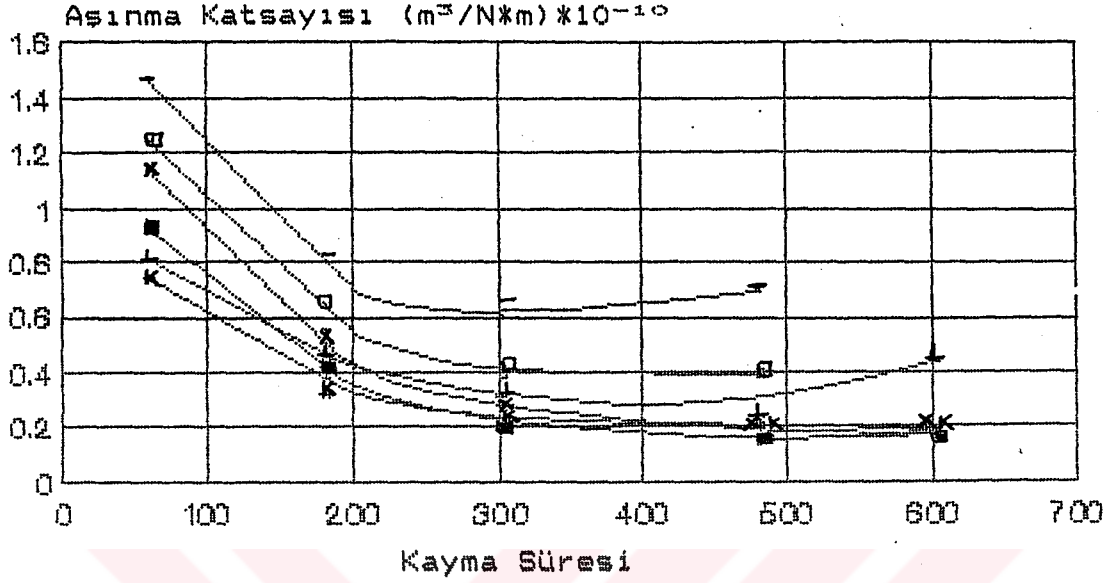
a- Quinne'e Göre Aşınma Katsayısı $(m^3/N*m)$.



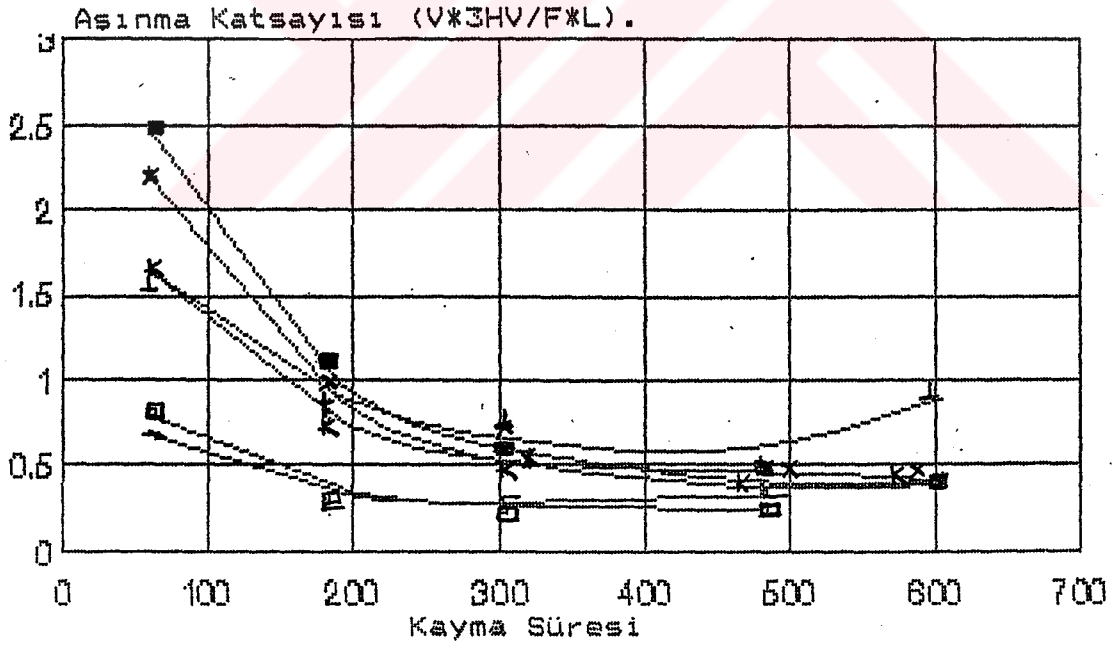
b-Archarda'a Göre Aşınma Katsayısı $(V*3HV/F*L)$.

— 1020 —|— 1020 Semente —K— 1020 Karbonitrür
 —□— 5115 —x— 5115 Semente —■— 5115 Karbonitrür

Sekil-6.44. 100 N Yükte ve 10 m/s kayma Hızına Göre Aşınma Katsayısının Değişimi.



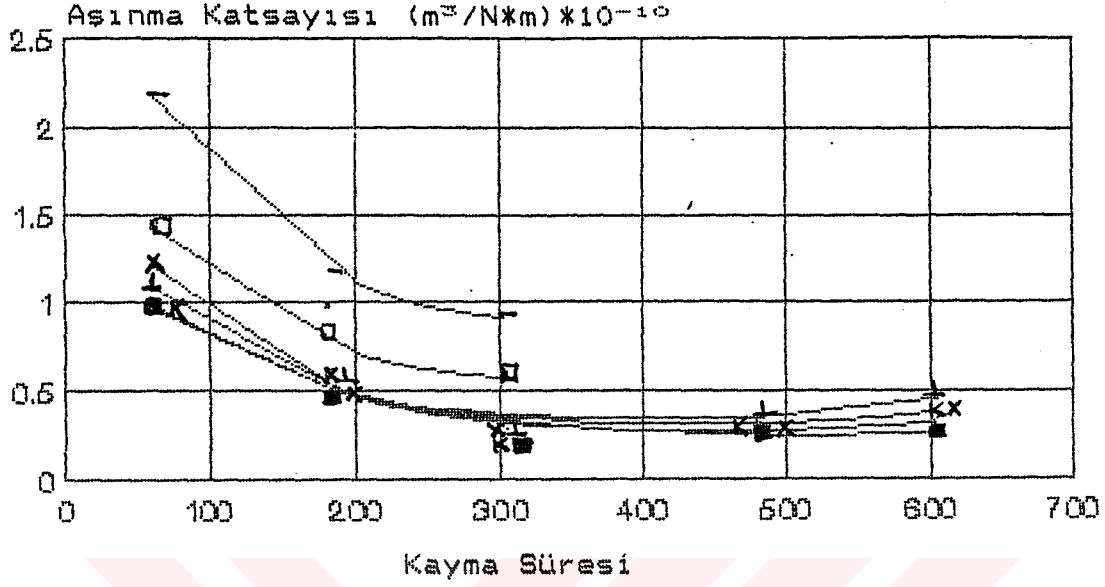
a- Quinne'e Göre Aşınma Katsayısı ($m^3/N*m$).



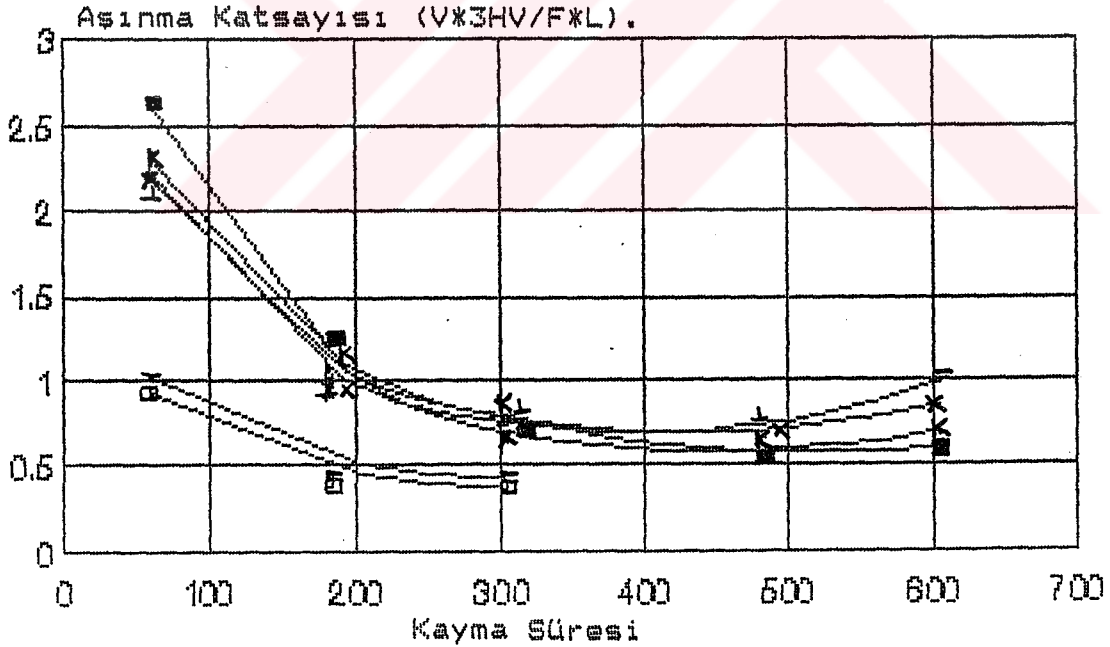
b-Archarda'a Göre Aşınma Katsayısı ($V*3HV/F*L$).

— 1020 — 1020 Semente —K— 1020 Karbonitrür
 — 5115 —x— 5115 Semente —■— 5115 Karbonitrür

Sekil-6.45. 150 N Yükte ve 5 m/s kayma Hızına Göre Aşınma Katsayısının Değişimi.



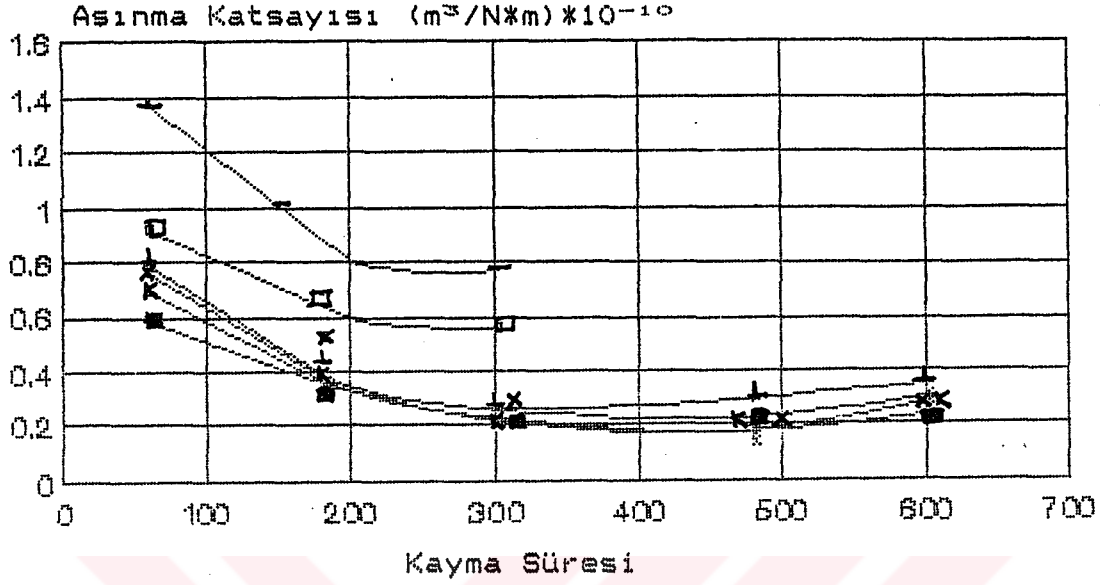
a- Quinne'e Göre Aşınma Katsayısı ($m^3/N*m$).



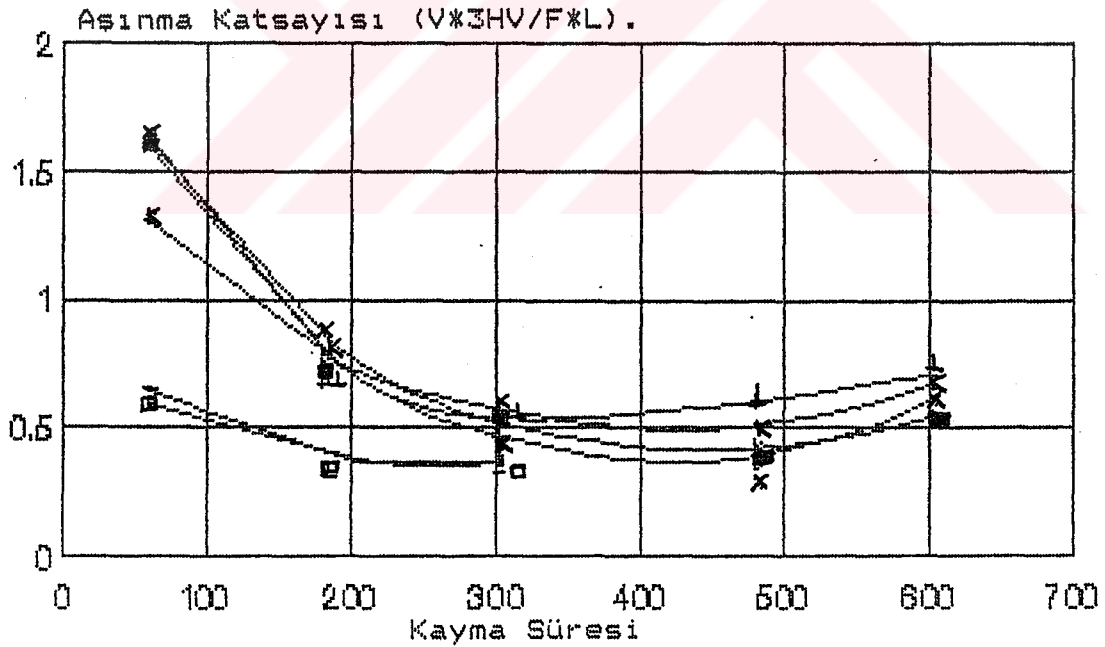
b-Archarda'a Göre Aşınma Katsayısı ($V*3HV/F*L$).

— 1020 —|— 1020 Semente —K— 1020 Karbonitrür
 —□— 5115 —x— 5115 Semente —■— 5115 Karbonitrür

Şekil-6.46. 150 N Yükte ve 10 m/s kayma Hızına Göre Aşınma Katsayısının Değişimi.



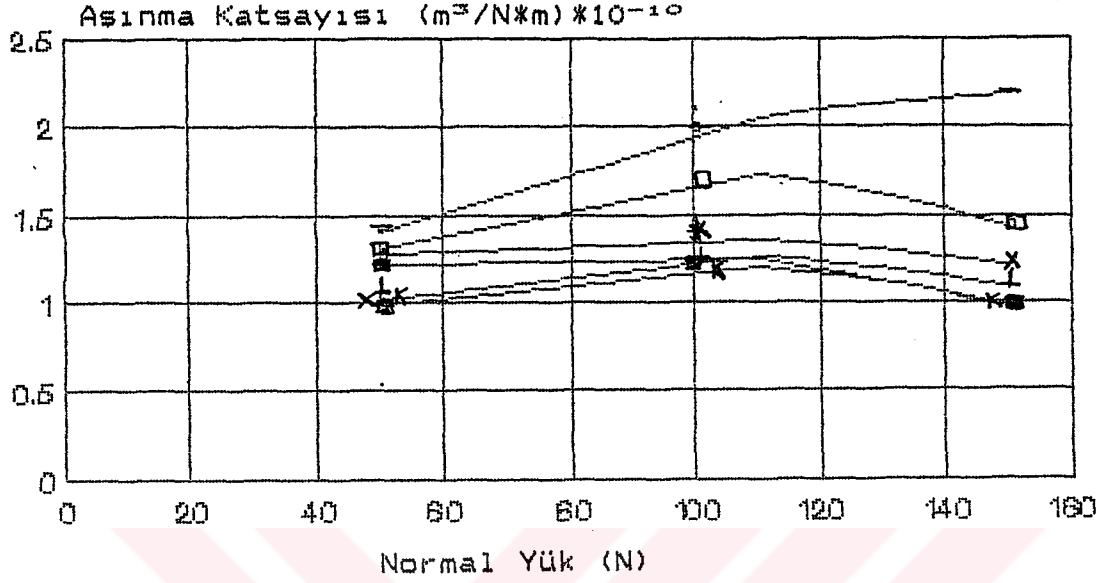
a- Quinne'e Göre Aşınma Katsayısı $(m^3/N*m)$.



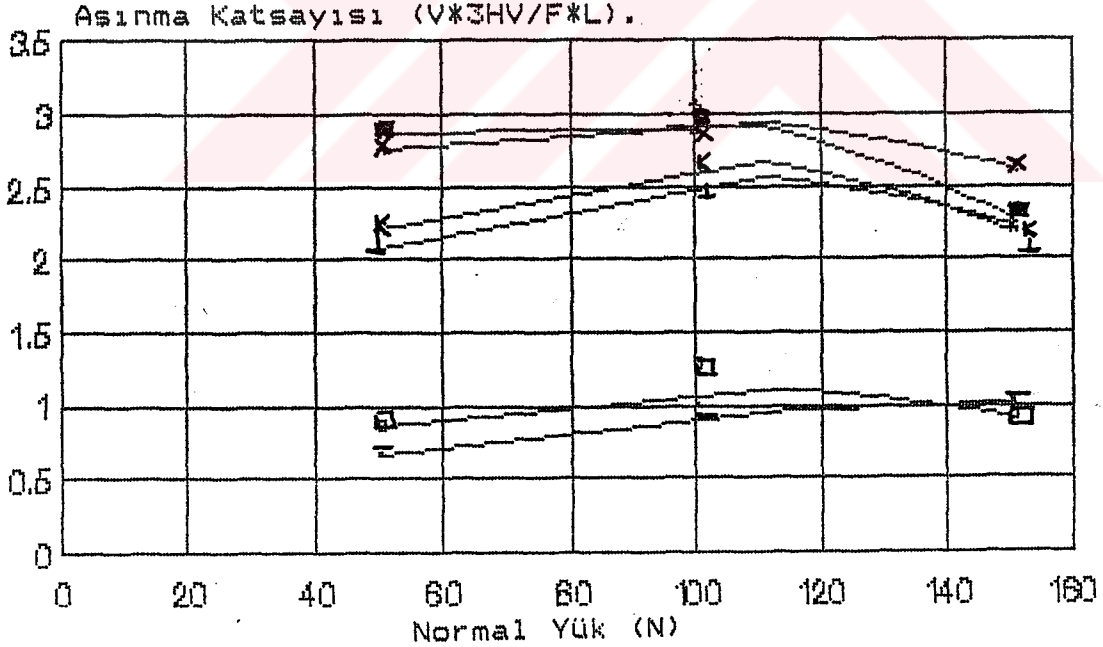
b-Archarda'a Göre Aşınma Katsayısı $(V*3HV/F*L)$.

——— 1020 ——— 1020 Semente —K— 1020 Karbonitrür
 ——— 5115 —x— 5115 Semente —■— 5115 Karbonitrür

Sekil-6.47. 5 m/s Kayma Hızında ve Kayma Süresinin 60 sn Olması durumunda, aşınma Katsayısının Yüke Göre Değişimi.



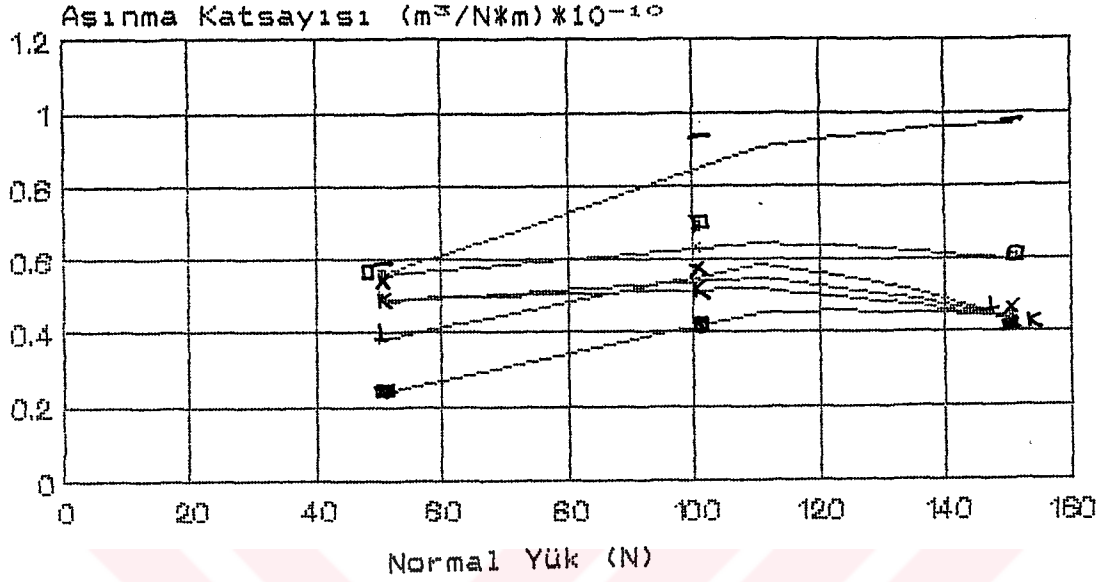
a- Quinne'e Göre Aşınma Katsayısı ($m^3/N*m$).



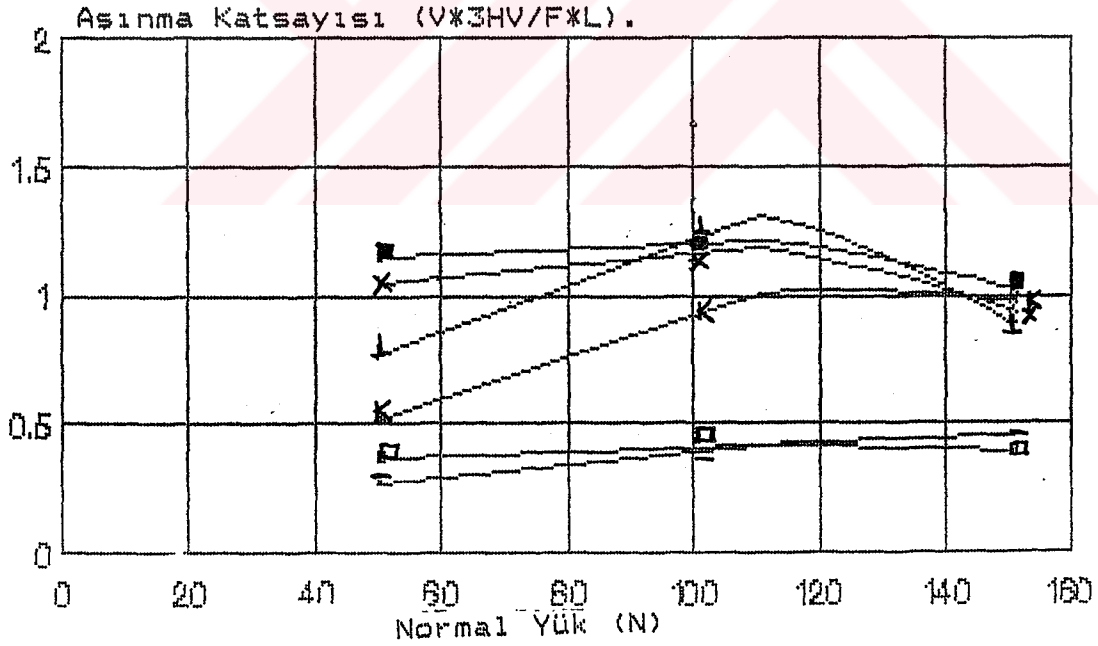
b-Archarda'a Göre Aşınma Katsayısı ($V*3HV/F*L$).

— 1020 — 1020 Semente —k— 1020 Karbonitrür
 —□— 5115 —x— 5115 Semente —■— 5115 Karbonitrür

Sekil-6.48. 5 m/s Kayma Hızında ve Kayma Süresinin 180 sn Olması durumunda, aşınma Katsayısının Yüke Göre Değişimi.



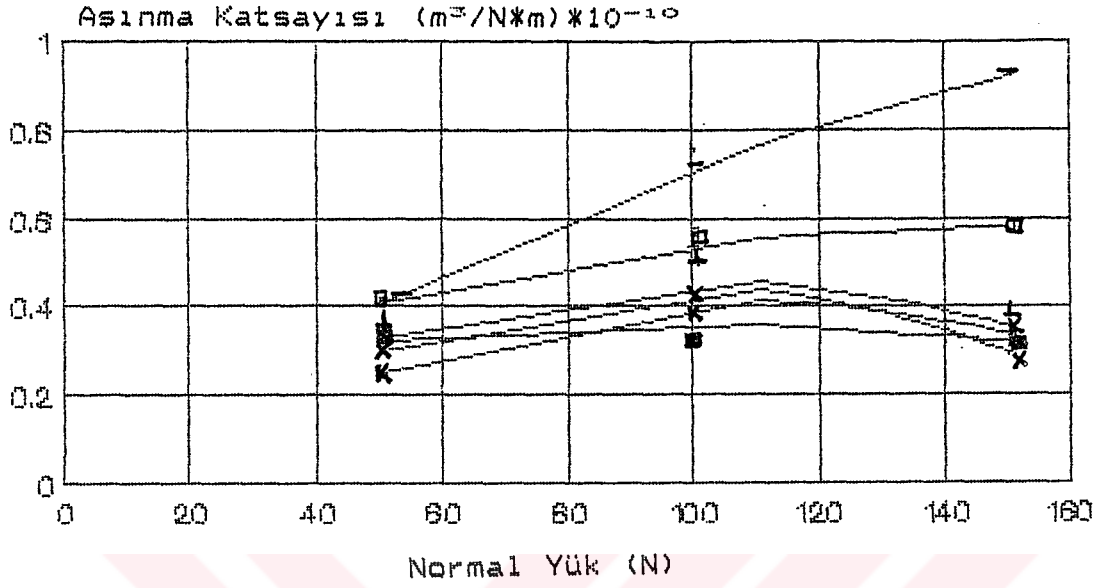
a- Quinne'e Göre Aşınma Katsayısı ($m^3/N*m$).



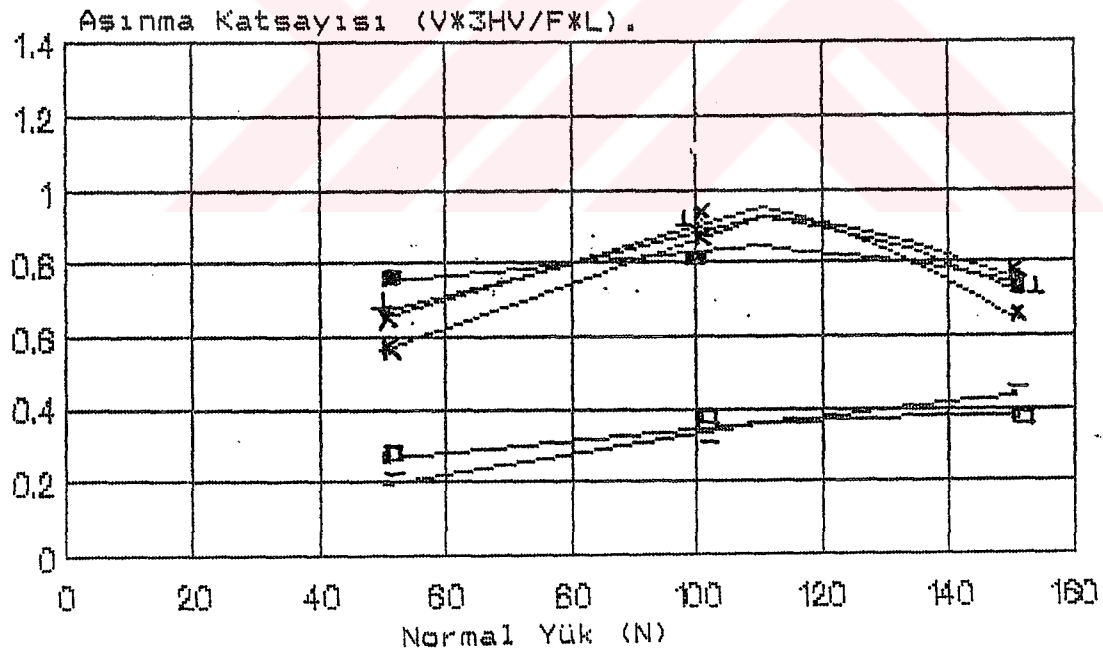
b-Archarda'a Göre Aşınma Katsayısı ($V*3HV/F*L$).

— 1020 —|— 1020 Semente —K— 1020 Karbonitrür
 —□— 5115 —x— 5115 Semente —■— 5115 Karbonitrür

Şekil-6.49. 5 m/s Kayma Hızında ve Kayma Süresinin 300 sn Olması durumunda, aşınma Katsayısının Yüke Göre Değişimi.



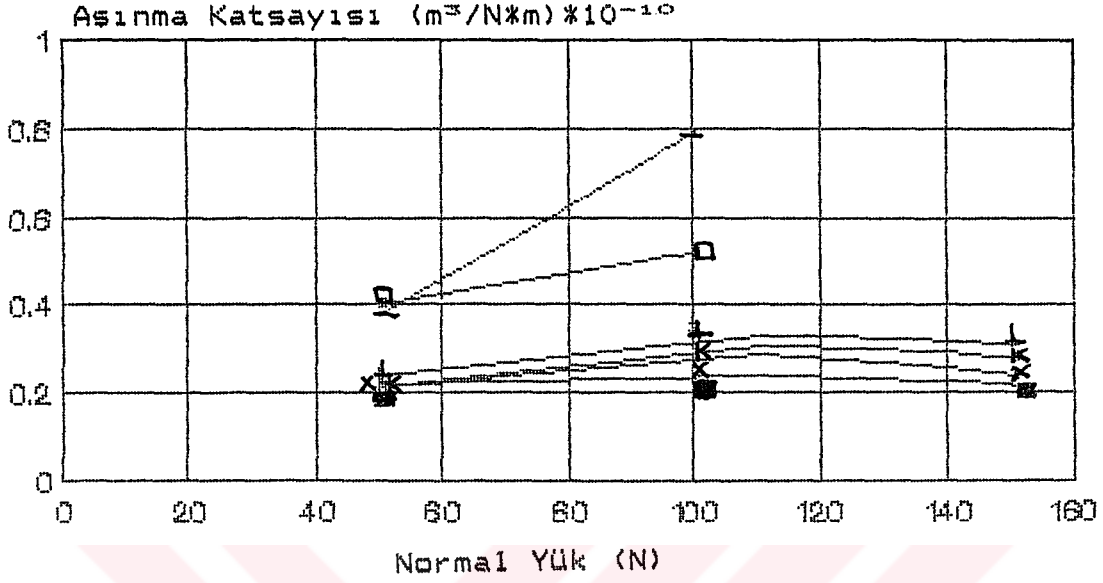
a- Quinne'e Göre Aşınma Katsayısı $(m^3/N*m)$.



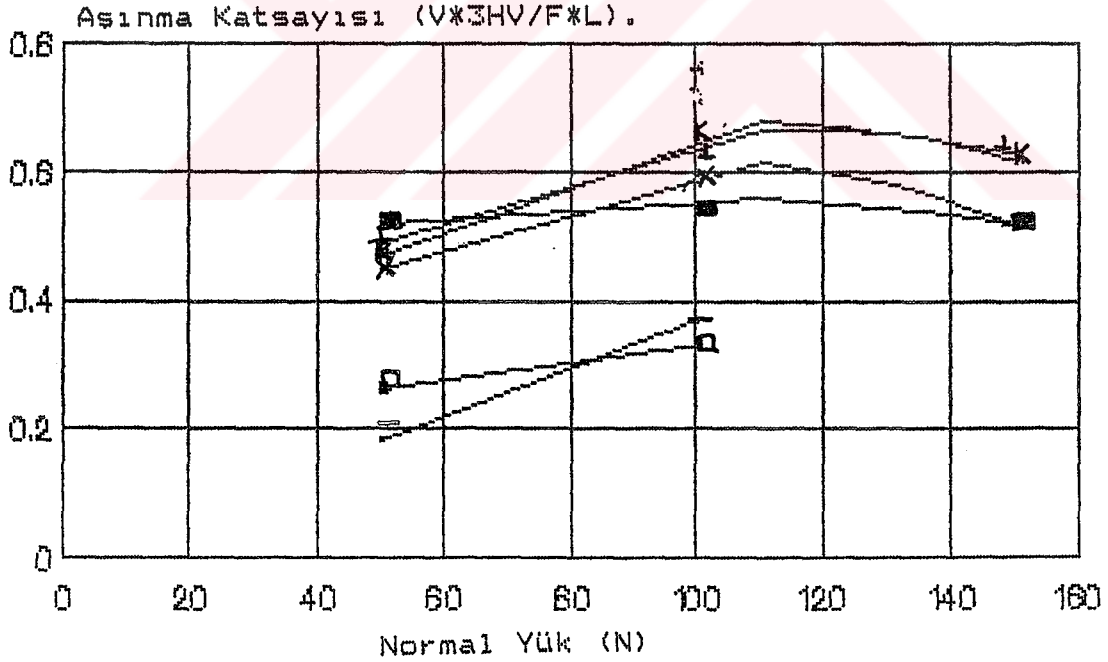
b-Archarda'a Göre Aşınma Katsayısı $(V*3HV/F*L)$.

— 1020 —|— 1020 Semente —K— 1020 Karbonitrür
 —■— 5115 —x— 5115 Semente —■— 5115 Karbonitrür

Sekil-6.50. 5 m/s Kayma Hızında ve Kayma Süresinin 480 sn Olması durumunda, aşınma Katsayısının Yüke Göre Değişimi.



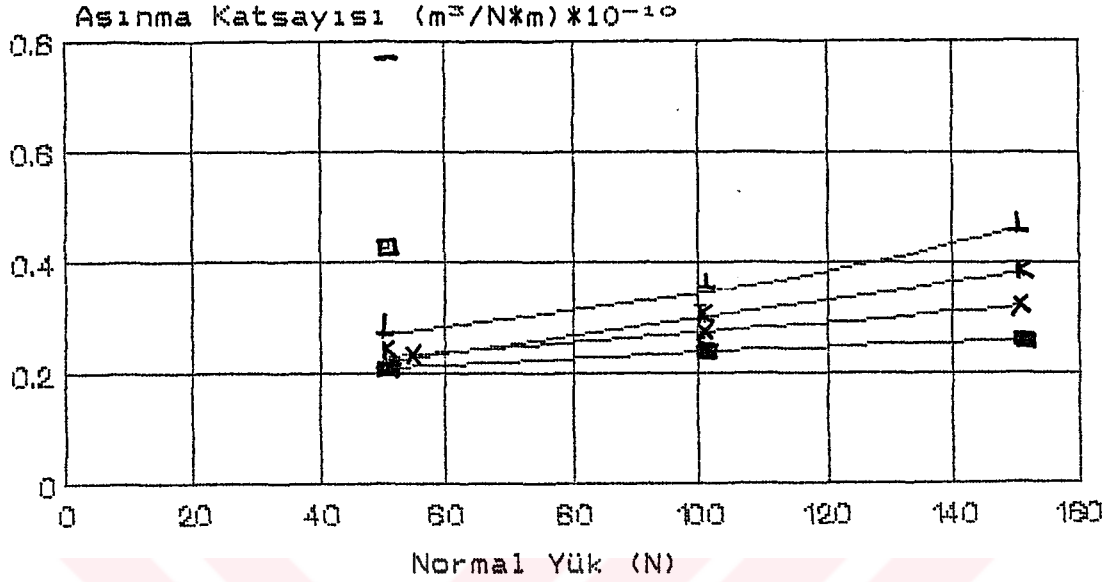
a- Quinne'e Göre Aşınma Katsayısı $(m^3/N*m)$.



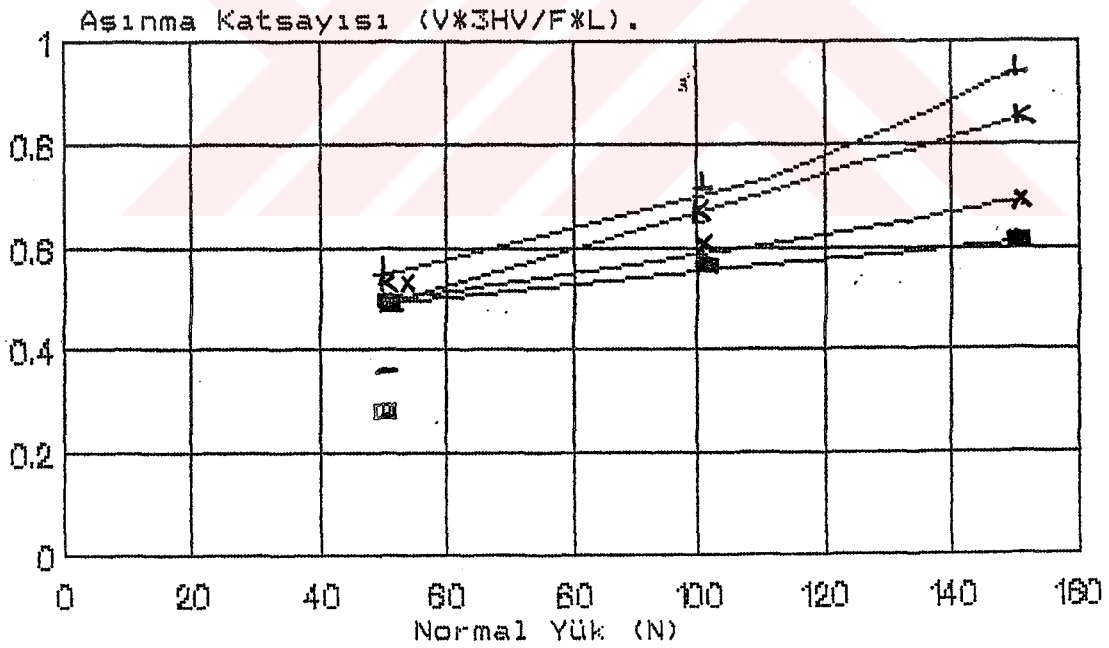
b-Archarda'a Göre Aşınma Katsayısı $(V*3HV/F*L)$.

—□— 1020 —△— 1020 Semente —K— 1020 Karbonitrür
 —x— 5115 —x— 5115 Semente —■— 5115 Karbonitrür

Şekil-6.51. 5 m/s Kayma Hızında ve Kayma Süresinin 600 sn Olması durumunda, aşınma Katsayısının Yüke Göre Değişimi.



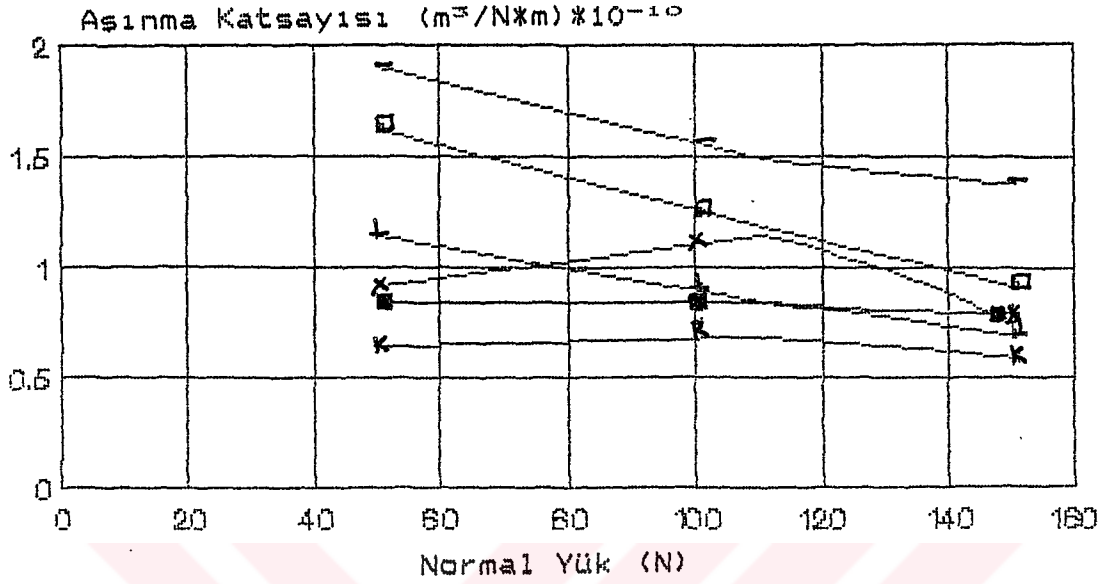
a- Quinne'e Göre Aşınma Katsayısı $(m^3/N*m)$.



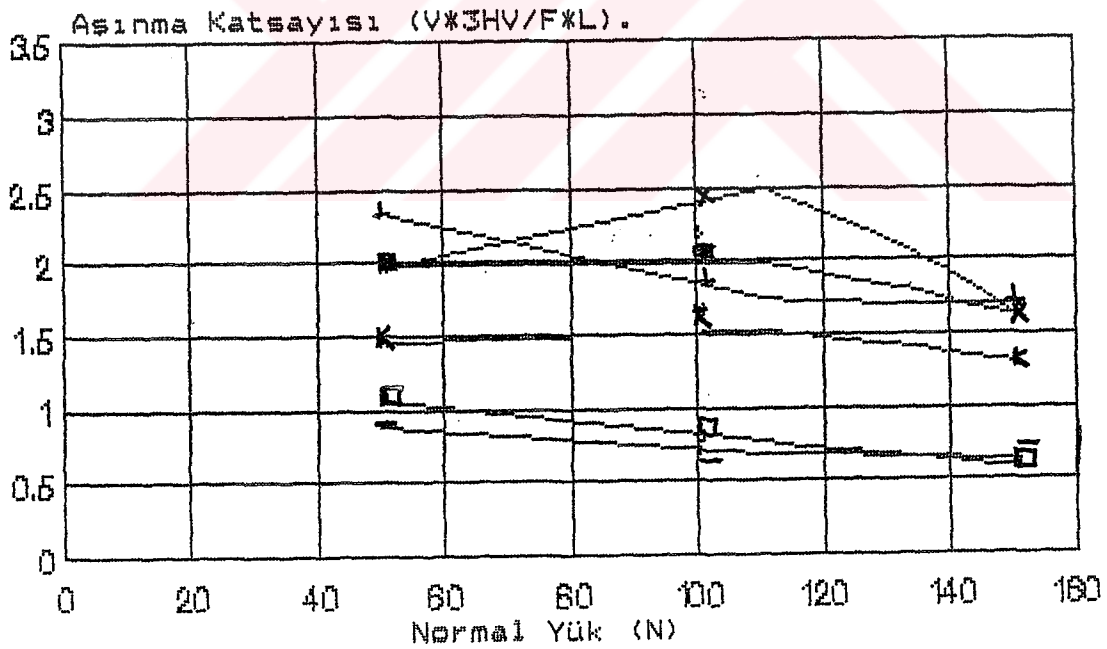
b-Archarda'a Göre Aşınma Katsayısı $(V*3HV/F*L)$.

— 1020 — 1020 Semente —K— 1020 Karbonitrür
 — 5115 —x— 5115 Semente —■— 5115 Karbonitrür

Sekil-6.52. 10 m/s Kayma Hızında ve Kayma Süresinin 60 sn Olması durumunda, aşınma Katsayısının Yüke Göre Değişimi.



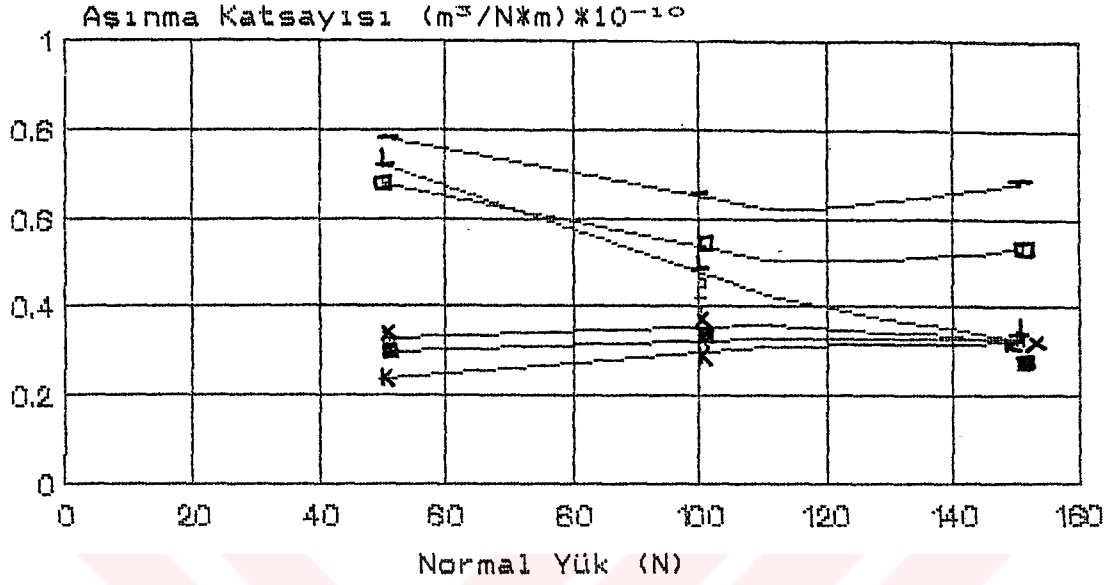
a- Quinne'e Göre Aşınma Katsayısı ($m^3/N*m$).



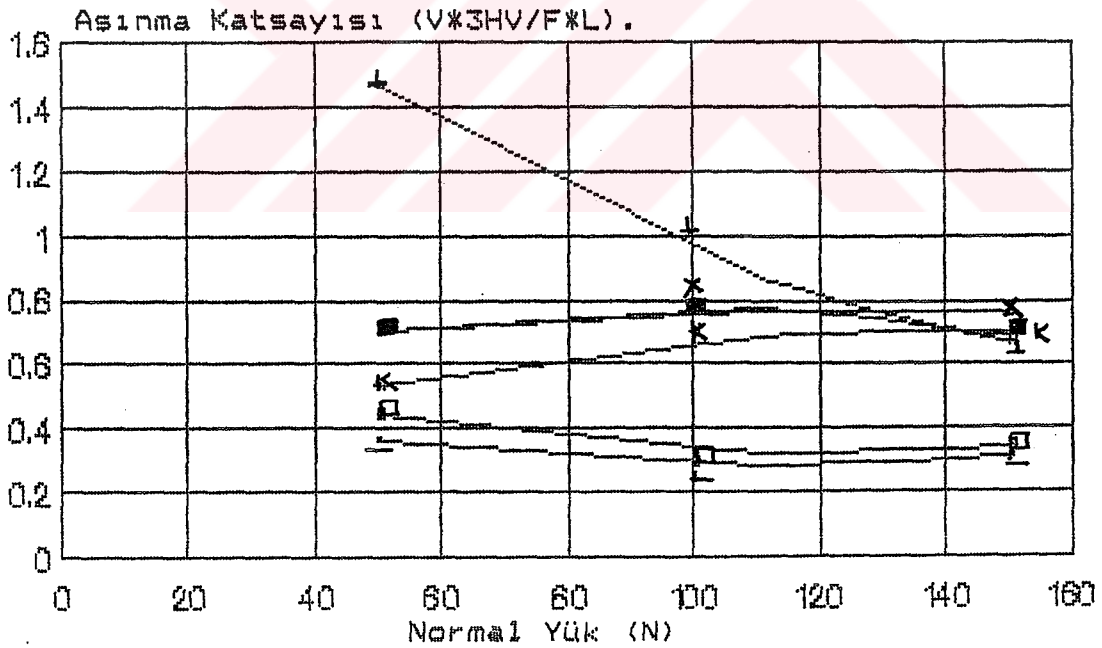
b-Archarda'a Göre Aşınma Katsayısı ($V*3HV/F*L$).

— 1020 —|— 1020 Semente —K— 1020 Karbonitrür
 —□— 5115 —x— 5115 Semente —■— 5115 Karbonitrür

Sekil-6.53. 10 m/s Kayma Hızında ve Kayma Süresinin 180 sn Olması durumunda, aşınma Katsayısının Yüke Göre Değişimi.



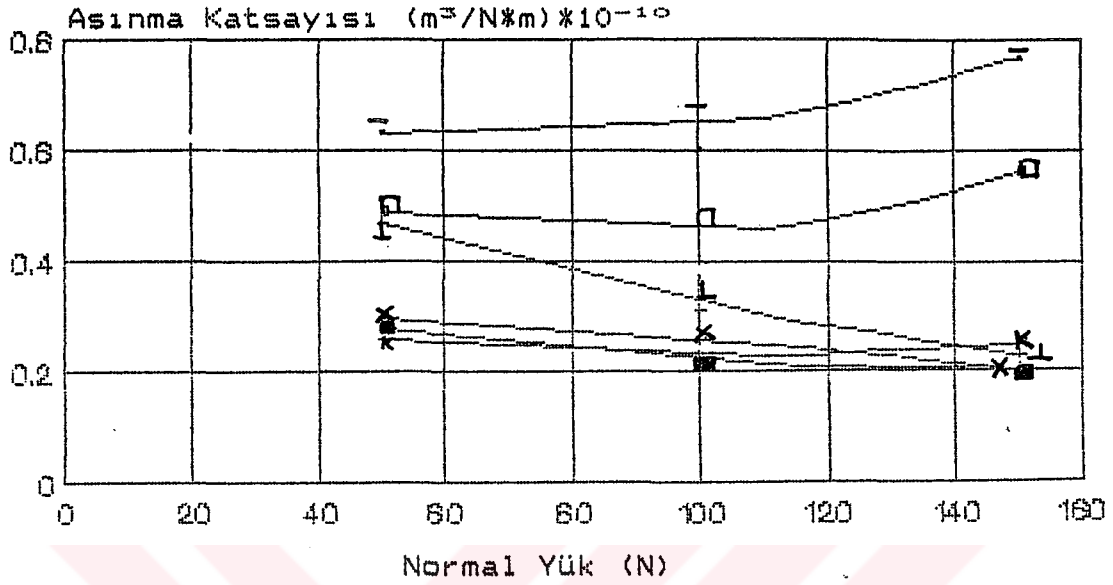
a- Quinne'e Göre Aşınma Katsayısı ($m^3/N*m$).



b-Archarda'a Göre Aşınma Katsayısı ($V*3HV/F*L$).

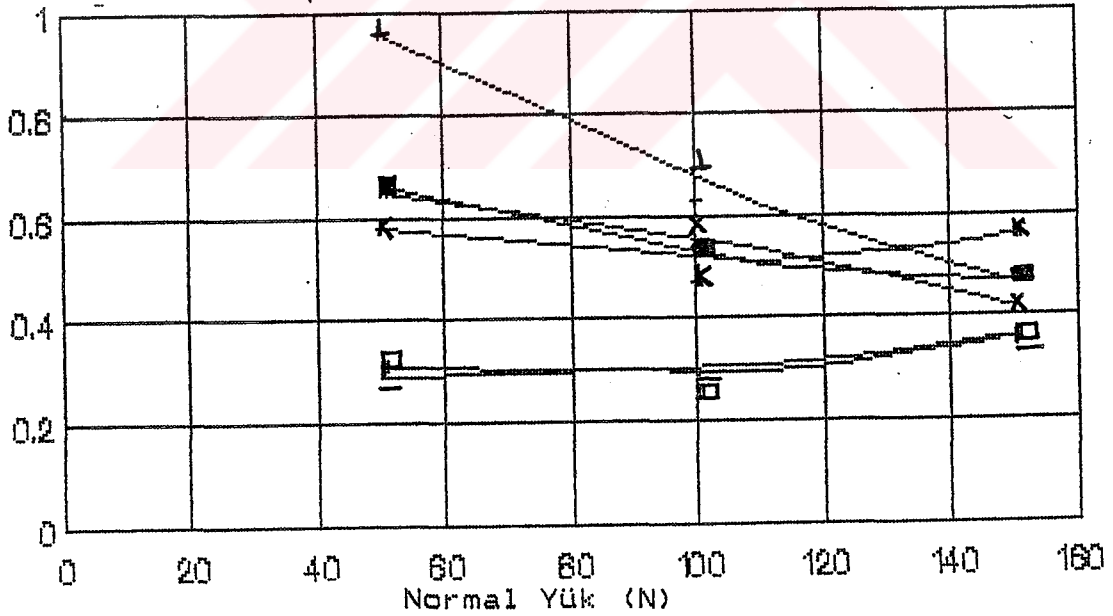
—□— 1020 —■— 1020 Semente —x— 1020 Karbonitrür
 —□— 5115 —x— 5115 Semente —■— 5115 Karbonitrür

Sekil-6.54. 10 m/s Kayma Hızında ve Kayma Süresinin 300 sn Olması durumunda, aşınma Katsayısının Yüke Göre Değişimi.



a- Guinne'e Göre Aşınma Katsayısı $(m^3/N*m)$.

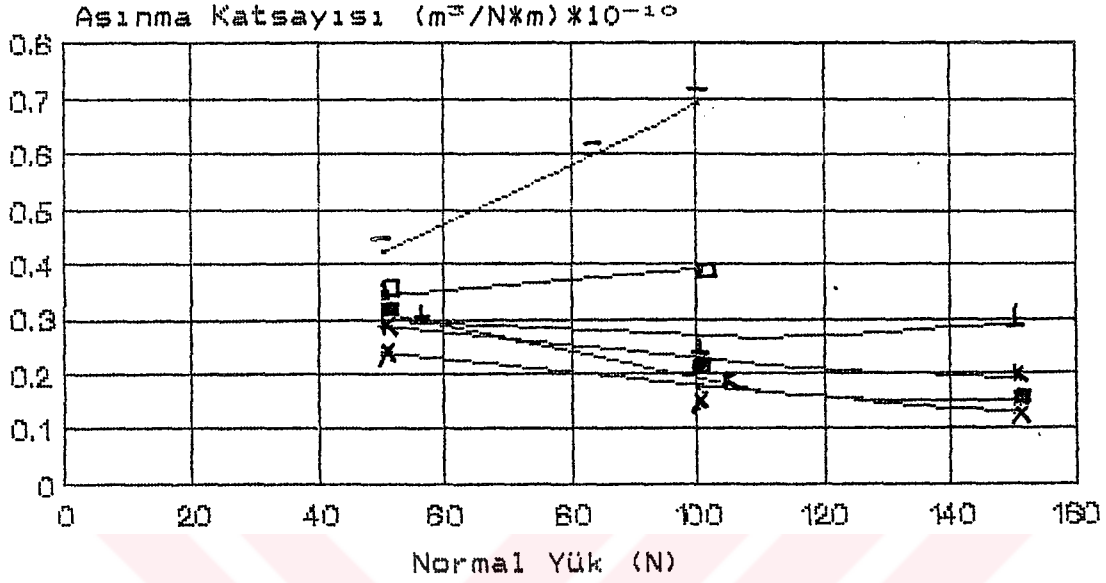
Aşınma Katsayısı $(V*3HV/F*L)$.



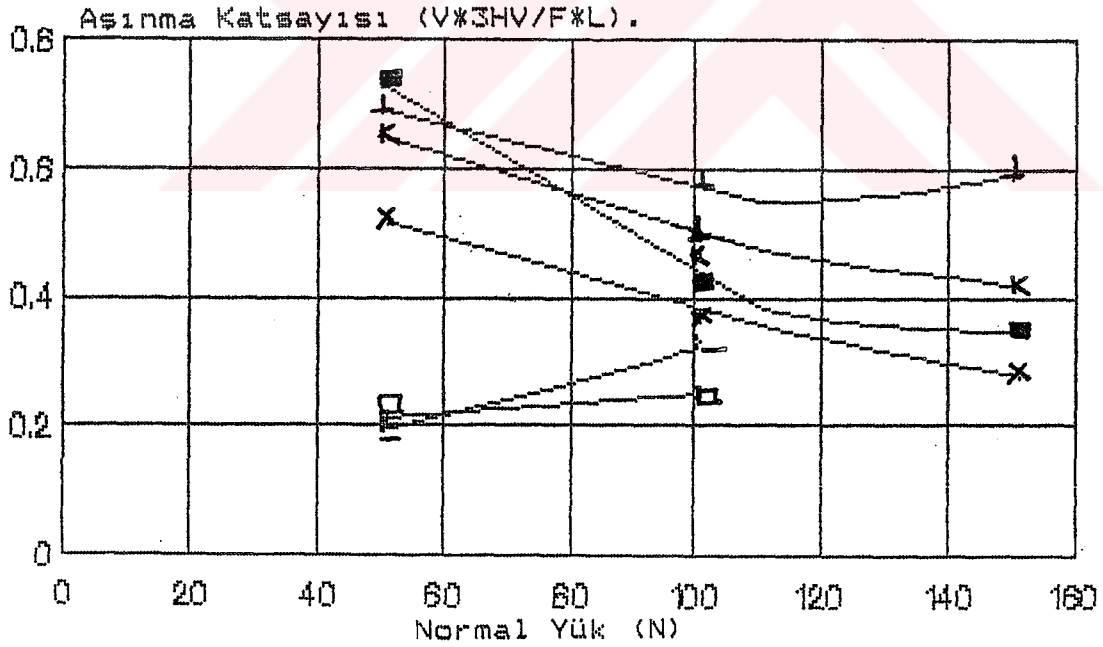
b-Archarda'a Göre Aşınma Katsayısı $(V*3HV/F*L)$.

—□— 1020 —x— 5115 —K— 1020 Karbonitrür
 —■— 5115 —x— 5115 Semente —■— 5115 Karbonitrür

Sekil-6.55. 10 m/s Kayma Hızında ve Kayma Süresinin 480 sn Olması durumunda, aşınma Katsayısının Yüke Göre Değişimi.



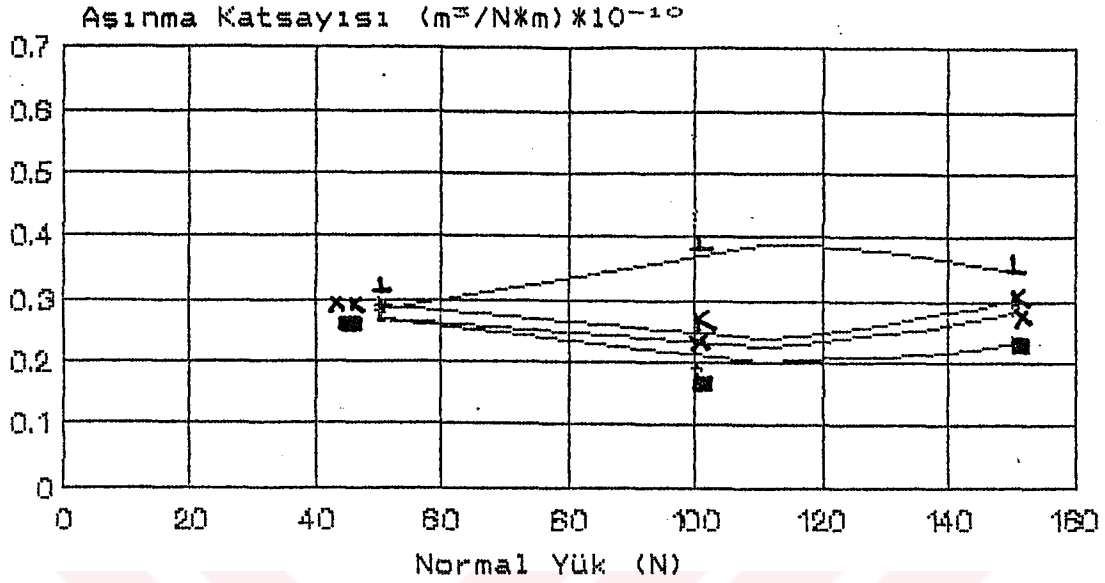
a- Quinne'e Göre Aşınma Katsayısı $(m^3/N*m)$.



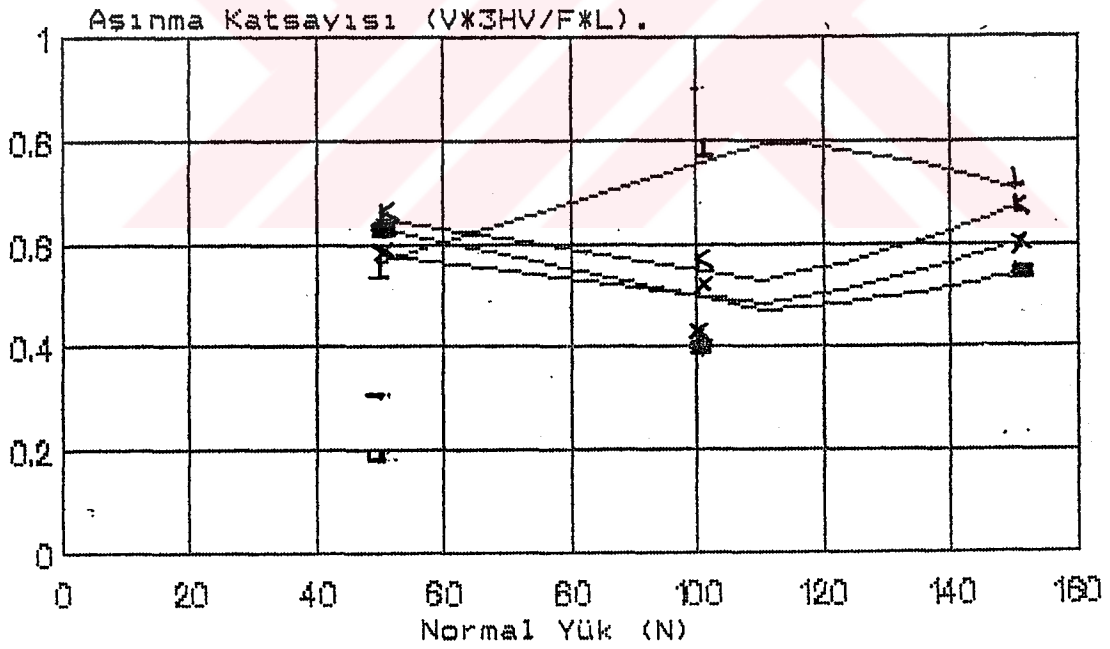
b-Archarda'a Göre Aşınma Katsayısı $(V*3HV/F*L)$.

—□— 1020 —L— 1020 Semente —K— 1020 Karbonitrür
 —■— 5115 —x— 5115 Semente —■— 5115 Karbonitrür

Sekil-6.56. 10 m/s Kayma Hızında ve Kayma Süresinin 600 sn Olması durumunda, aşınma Katsayısının Yüke Göre Değişimi.



a- Quinne'e Göre Aşınma Katsayısı $(m^3/N*m)$.



b-Archarda'a Göre Aşınma Katsayısı $(V*3HV/F*L)$.

— 1020 — 1020 Semente —k— 1020 Karbonitrür
 —e— 5115 —x— 5115 Semente —■— 5115 Karbonitrür

Semente edilmiş 1020 çeliğinin aşınması karbonitrürlenmiş 1020 çeliğinin aşınmasından fazladır. Karbonitrürlenmiş 1020 çeliğinin yüzeyi daha sert olmasına karşın semente edilmiş 5115 çeliğinden aşınması, mikro sertliğindeki değişim ve sertlik değerindeki düşme daha fazladır.

Bu durumun etkili sertlik derinliğinin yeterli olmamasından kaynaklandığı söylenebilir. Bu çeliğin özellikle maksimum yük ve kayma süresinin sonunda aşınma hızının artışı dikkate alındığında, bu yükleme şartlarında karbonitrürlenmiş 1020 çeliğinin yeterli dirence sahip olmadığı görülmektedir.

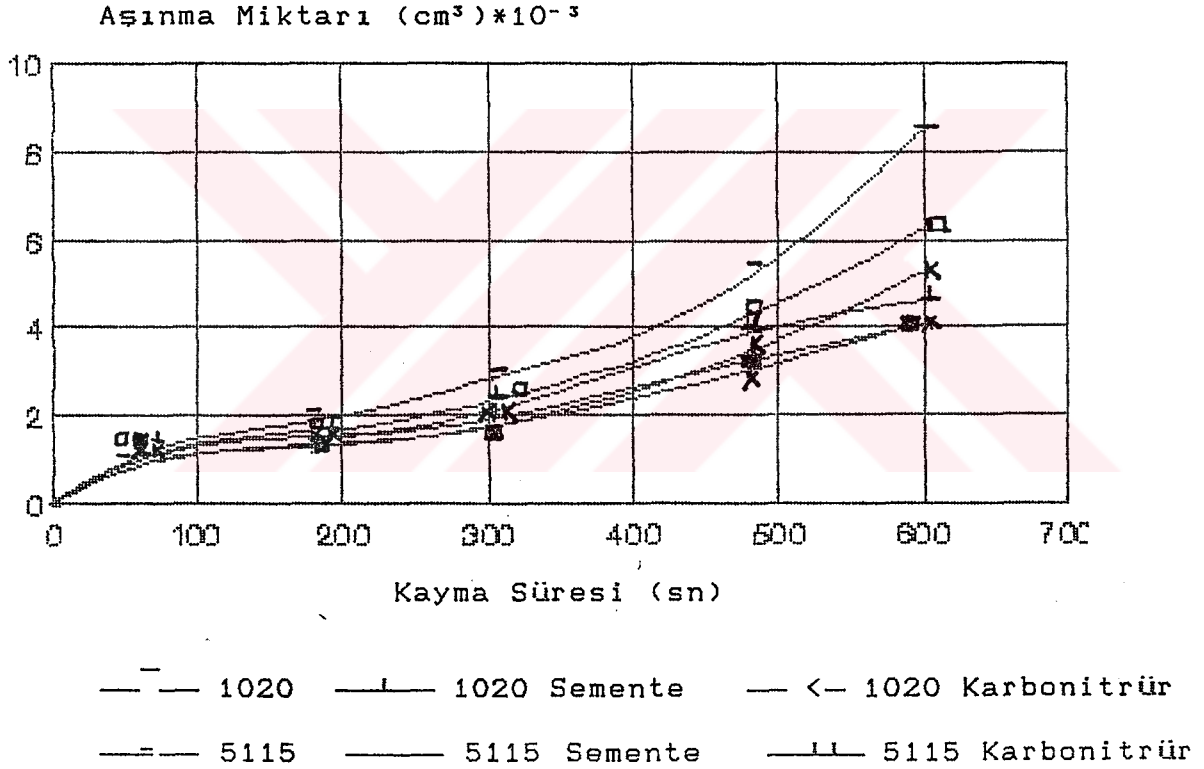
Aşınma teorisine göre; aşınma sonucu plastik şekil değiştirme nedeniyle sertlikte kısmen artışlar beklenebilir. Bu durum deneylerde görülmemiştir. Bunun sebebi yüzeyi sertleştirilmiş numunelerin aşınma esnasında plastik şekil değiştirmedikleri veya yüksek sertliğe sahip numunelerin sertliklerini etkileyecek oranda olmadığı düşünülebilir. Bunun aksine sertliklerindeki azalma ise sürtünme sonucu meydana gelen ısının tavlama etkisindedir.

Şekil-6.57 ve 58 de yağlamalı durumda yapılan aşınma test sonuçları verilmiştir. Genel olarak numunelere ve aşınma şartları itibarı ile aynı karakteri göstermektedir. Bu grafiklerden görüldüğü gibi bütün aşınma değerleri kuru aşınma değerlerine göre ölçüde düşük bulunmuştur. Bu durum yağlamalı sürtünme halinde aşınmanın önemli ölçüde azaldığını açıkça ortaya koymaktadır.

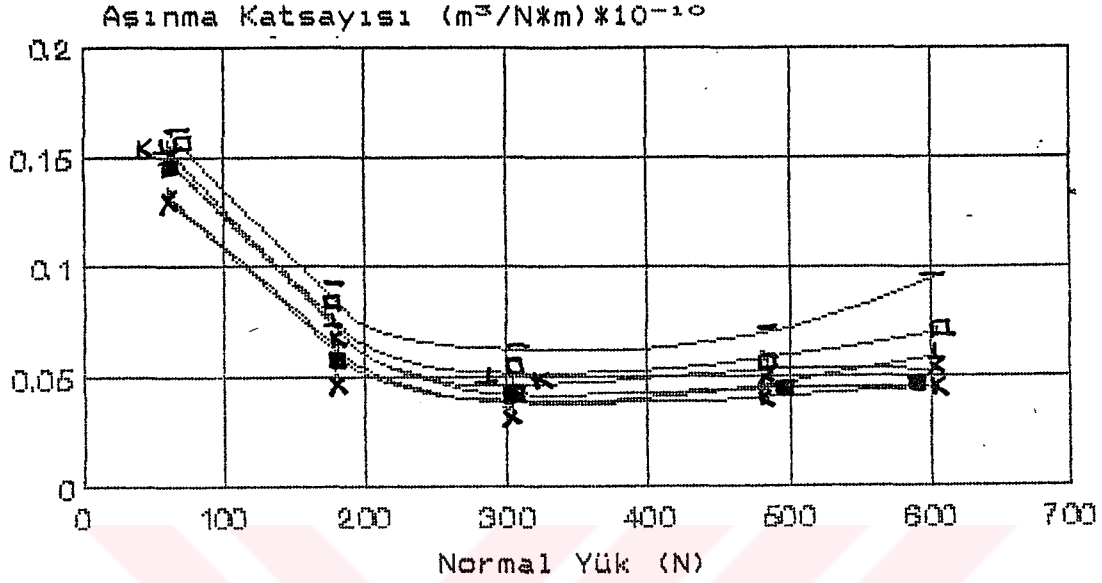
6.5. AŞINMADA MEYDANA GELEN OKSİTLER

Yapılan aşınma deneylerinde elde edilen aşınma partikülleri(debris) ile numunelerin yüzeyinden elde edilen diğer partiküller X'ray diffraction tekniği ile analiz edilmiştir(Ek2). Bu grafiklerden uygun neticeler bulunamamıştır.

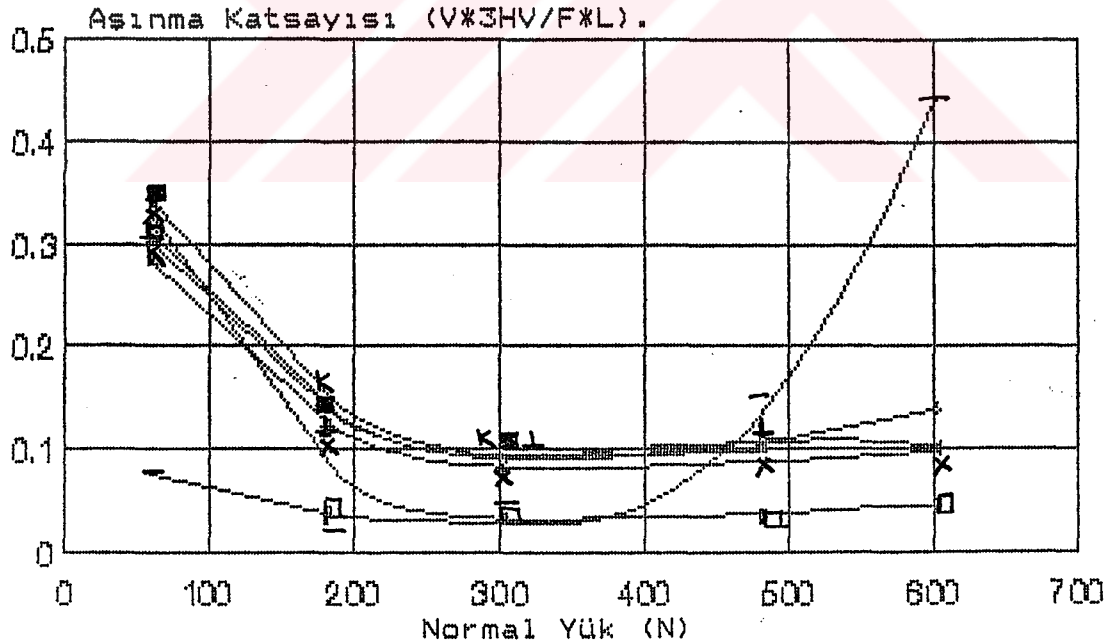
Şekil-6.57. 150 N Yükte ve 10 m/s Kayma Hızında, Yağlamalı Durumda Aşınma Kaybının(cm^3), Kayma Süresi ile Değişimi.



Sekil-6.58. 150 N yükte ve 10 m/s Kayma Hızında, Yağlamalı Durumda Aşınma Katsayısının Kayma Süresi ile Değişimi.



a- Quinne'e Göre Aşınma Katsayısı ($m^3/N*m$).



b-Archarda'a Göre Aşınma Katsayısı ($V*3HV/F*L$).

— 1020 — 1020 Sement —<— 1020 Karbonitrür
 — 5115 —x— 5115 Sement —■— 5115 Karbonitrür

BÖLÜM - VII

7.1. İRDELEME

Bu çalışmada yüzeyleri sementasyon ve karbonitrürasyonla sertleştirilen AISI 5115 ve 1020 çeliklerinin bazı mekanik özellikleri deneysel olarak araştırılmış ve birbirleri ile mukayese edilmiştir. Bu deneylerin yapıldığı alanlar şunlardır;

I. Herbir numunenin aşınma deney öncesi statik sürtünme katsayısı ve yüzey pürüzlülüğünün tesbiti,

II. Sertleştirilmiş numunelerin yüzey ve tane sertliklerinin taranması,

III. Sertleştirilmiş ve sertleştirilmemiş numunelerin çekme deneyleri,

IV. Herbir numunenin aşınma esnasındaki sürtünme katsayısı,

V. Herbir numunenin belli şartlar altında aşınma miktarı

ve aşınma katsayısını tesbiti,

VI. Herbir numunenin metalografik ve aşınmış ve yüzeylerinin mikroskop altında incelenmesi ve

VII. Herbir numunenin aşınma partikülleri ile aşınmamış partiküllerin X-ray diffraction ile analizi ve mukayeseleri yapılmıştır.

Yapılan yüzey sertleştirme işlemleri her iki metalinde mekanik özelliklerini iyileştirmiştir. Bu iyileşme her iki metalde aynı oranda olmamıştır. Deney şartlarının aynı olduğu düşünülürse bu duruma malzemelerin kimyasal terkiplerinden kaynaklandığı söylenbilir.

Deneylerde kullanılan bütün numunelerin yüzey pürüzlülüğü ve sertlik taramalarında bazı farklı değerler bulunmuştur. Bu değerlerden, çok farklı olanlar dikkate alınmamıştır. Bu durum çoğunlukla karbonitürülenmiş numunelerin yüzey durumunun tesbit edilmesinde görülmüştür. Bu malzeme yüzeylerinin çok sert olması sebebiyle taşlama ile istenen yüzey şartlarına ulaşmanın güç olmasındadır. Bu durumdaki numuneler aşınma testinde kullanılmamıştır.

Aşınma testi esnasında bazı durumlarda titreşimlerin arttığı hissedilmiştir. Bu durum sürtünme katsayısı değerlerinin sapmasına neden olmuştur. Özellikle testlerin başlangıcında titreşimler daha şiddetli olmuştur. Bu bölgede sürtünme ve aşınma da hızla artmıştır. Deneyler esnasında meydana gelen titreşimler aşınmanın şiddetinin göstergesi olarak kabul edilebilir. Titreşimlerin bertaraf edilebilmesi için numune

boyutları ve yük, alışıla gelmiş aşınma deneylerine göre daha büyük seçilmiştir.

Metaloğrafik muayenelerde çok sayıda fotoğraf çekilmiş ancak bunların bir çoğunda arzu edilen görüntüler elde edilememiştir. Özellikle aşındırılan yüzeyin eğimli olması nedeniyle tam netlik sağlanamamıştır. Bu çalışmada kullanılan fotoğraflar, bunların içerisinde ayıklanmıştır.

Aşınma süresince her bir grup numunenin aşınma partikülleri toplanmıştır. Bu partikül ve yüzeyden mekanik yolla kaldırılan yüzey partikülleri, ayrı ayrı X-Ray Diffraction metodu ile analiz edilmiş ve elde edilen grafikler Ek2 de verilmiştir. Bu grafikler incelenmiş ancak aşınma enasında meydana gelmesi beklenen oksitler hakkında bir fikir elde edilememiştir. Bu durum partüllerin daha geniş ölçüde taranmamasından kaynaklanmıştır. Sürtünme ve aşınma deney sonuçlarının genel olarak aşınma teorisine uygun olduğu görülmüştür. Isıl işlem görmemiş numunelerin aşınmasında karalı aşınmaya geçiş gözlenememiştir. Bunun sebebi seçilen yük ve kayma süresinin, bu numuneler için yüksek olduğu kanaatine varılmıştır.

Deney esnasında zaman zaman çok farklı değerler elde edilmiştir. Normal aşınma seyrindeki bu değişimeye, abrasiv aşınma partiküllerinin neden olduğu bilinmektedir. Bu deneyler tekralanarak deney sonuçlarını etkilememesi sağlanmıştır.

7.2. SONUCLAR

Bu çalışma ile elde edilen sonuçları şöyle özetleyebiliriz;

1. Yüzey sertleştirme işlemleri ile her iki metalin de yüzey sertliği önemli ölçüde artmıştır.

2. Karbonitrürlenmiş yüzey sertliği, semente edilmiş yüzeye göre daha fazladır.

3. Karbonitrürlenmiş çelilerin sertleştirilmiş tabaka derinliği (ESD) daha düşüktür.

4. Aşınmadan sonra sertleştirilmiş çeliklerin etkili sertliklik derinliği azalmaktadır.

5. Yüzey sertleştirme işlemleri ile her iki metalin de mukavemet değerleri artmıştır.

6. Mukavemet değerleri sırasıyla, en yüksek karbonitrürlenmiş ve semente edilmiş AISI 5115 (DIN 16MnCr5), karbonitrürlenmiş ve semente edilmiş AISI 1020 (DIN Ck22), işlem görmemiş DIN 16MnCr5 ve AISI 1020 çeliği gelmektedir.

7. Karbonitrürlenmiş AISI 1020 ve semente edilmiş AISI 5115 (DIN 16MnCr5) numunelerin çekme dayanımları yaklaşık aynıdır.

8. Yüzeyi sertleştirilmiş çeliklerin kopma uzama ve kopma kesit daralması bir birinden çok farklı değildir. Sertleştirilmemiş numunelerin, % kopma kesit daralması ve % kopma uzaması daha yüksektir.

9. Kararsız sürtünme katsayıları, yükün ve hızın artışı ile artmaktadır.

10. Kararlı sürtünme katsayısı, yük ve hız artışından fazla etkilenmemektedir.

11. Kararlı sürtünmeden hemen sonra sürtünme katsayısı ani olarak artmaktadır.

12. Kararsız aşınma bölgesinde, aşınma miktarı yük ve hız artışı ile artar ve bu bölgede aşınma hızı yüksektir. Aşınma katsayısı ise yük ve hız artışı ile ters orantılı değişmektedir.

13. Kararlı aşınma bölgesinde, aşınma miktarlarının artış hızı azalırken aşınma katsayısı fazla değişmemektedir.

14. Kararlı aşınma bölgesi sonunda aşınma tekrar hızlanmaktadır.

15. Kararsız aşınma bölgesinde (başlangıçta) numunelerin aşınma miktarları arasında önemli bir fark görülmemiştir.

16. Yüzey sertleştirme ile aşınma direnci önemli ölçüde artmaktadır ve aşınma direnci sertlik artışı ile orantılıdır.

17. Genel olarak aynı işlem şartlarında AISI 5115 (DIN 16MnCr5) çeliklerinin aşınma direnci muadiline göre daha iyidir.

18. Aşınma direnci, sementasyona göre aynı şartlarda karbonitrüleme ile daha da iyileşmektedir.

19. Sırasıyla aşınma direnci, en yüksek karbonitrürlenmiş AISI 5115 (DIN 16MnCr5), semente edilmiş 5115 karbonitrürlenmiş AISI 1020 (DIN Ck22), semente edilmiş AISI 1020, işlem görmemiş AISI 5115 (DIN 16MnCr5) ve AISI 1020 çeliği gelmektedir. Bu sıralama mukavemet sıralaması ile tam bir paralellik göstermektedir.

20. Aşınma sonunda etkili sertlik derinliği ve maksimum yük ve sürenin sonunda sertleştirilmiş çeliklerin yüzey sertliği azalmaktadır.

21. Çeliklerin çekme mukavemeti değerleri ile aşınma dirençleri sıralaması tam bir paralellik göstermektedir.

22. Kararlı ve kararsız sürtünme bölgesinde, sürtünme katsayısı ile aşınma hızı değişimi orantılıdır.

23. Yükün, kayma hızının ve özellikle kayma süresinin artması ile karbonitrürlenmiş AISI 1020 nin aşınma direnci de semente edilmiş numunelere göre daha fazla azalmaktadır. Aşınma artış hızı artmaktadır.

24. Yüzeylerinin yağlaması ile sürtünme katsayısı ve aşınma çok düşük olmaktadır.

25. Yüzeylerin yağlanması durumunda, sürtünme ve aşınma değerlerinde, yük, kayma hızı ve kayma süresi (mesafesi) artışı ile kuru sürtünmedeki gibi hızlı bir artış görülmemektedir.

26. Karbonitrürlenmiş AISI 5115 (DIN 16Mncr5) çeliği ise semente edilmiş durumuna göre daha yüksek aşınma direnci gerektiren konstrüksiyonlarda kullanılabilir.

27. Karbonitrürlenmiş AISI 1020 çeliğinin mukavemeti ve yükün ve kayma süresinin kısmen düşük olduğu durumlarda, aşınma direnci, semente edilmiş AISI 5115 çeliğinin değerlerine çok yakındır. Bu durumda, karbonitrürlenmiş AISI 1020 Çeliği, semente edilmiş AISI 5115 çeliğinin kullanıldığı konstrüksiyonlarda kullanılabilir.

7.3. ÖNERİLER

Bu çalışmada, düşük mukavemetli ve şekilledirilmesi kolay olan AISI 1020 (DIN Ck22) çeliğinin karbonitrürasyona

sertleştirilmesi sonucu çekme, sürtünme ve aşınma özelliklerinin nasıl değiştiği deneysel olarak incelenmiştir. Bu özellikleri işlem görmemiş AISI 1020, AISI 5115 (DIN 16MnCr5), sementle edilmiş ve karbonitrlenmiş AISI 1020, sementle edilmiş ve karbonitrlenmiş AISI 5115 çelikleri ile aynı şartlarda mukayese edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre karbonitrlenmiş AISI 1020 çeliği kısmen düşük yüklerde kam mili yapımında kullanılabileceği kanaatine varılmıştır. Bu konuda kesin bir karara varmak için aşağıdaki hususların yerine getirilmesi gerekir.

1. Karbonitrlenmiş AISI 1020 çeliğinin diğer mekanik testleri yapılmalıdır. Bunlar, yorulma, çentik ve boyut kontrolü olabilir.

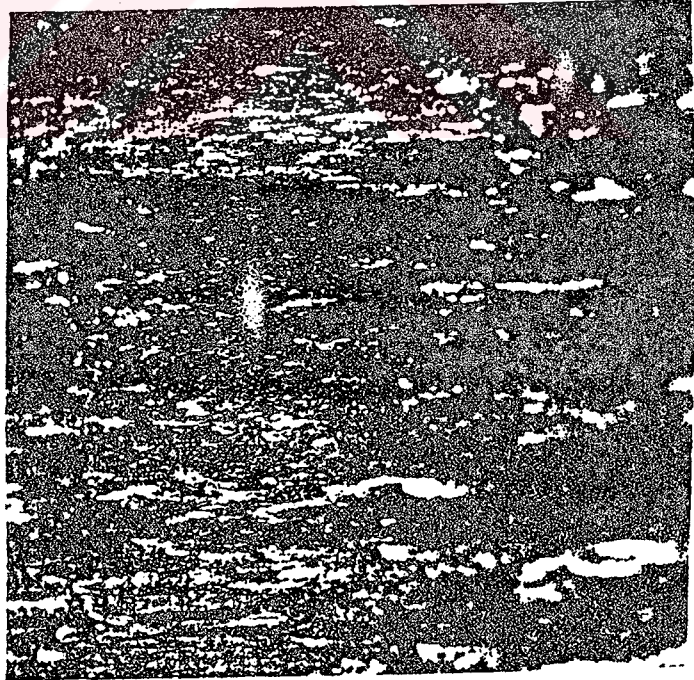
2. Karbonitür tabakasının kalınlığı düşüktür. Karbonitrlenmiş çeliğinin mukavemetinin ve mekanik özelliklerini daha da iyileştirmek için karbonitürasyon şartları yeniden değerlendirilme ve Et.Ser.Der. (ESD) artırılabilirliği araştırılmalıdır. Bu durumda, mekanik özellikler tekrar incelenmeli ve optimum çözüm aranmalıdır.

Ekl Cesitli Yük, Kayma Hızı ve Kayma Srelerinde
Aşındırılmış Numnelerin Yüzey Grnsleri.

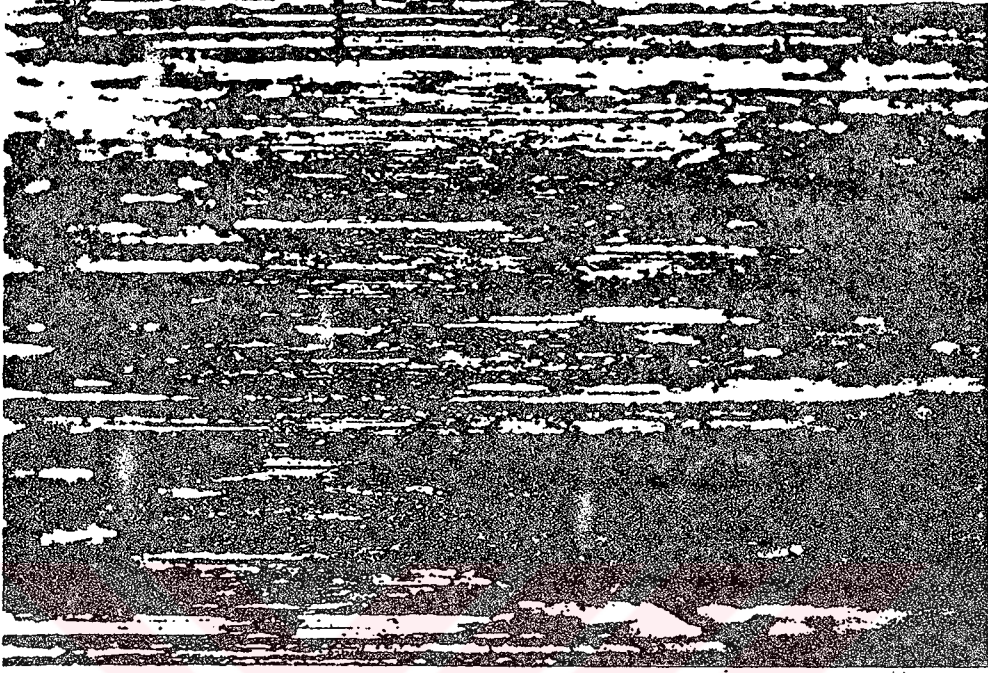
AISI 1020 Semente
Yük = 50N
Kayma Hızı = 10 m/sn
Kayma süresi = 10 Dk



AISI 1020 Karbonitrür
Yük = 50N
Kayma Hızı = 10 m/sn
Kayma süresi = 10 Dk



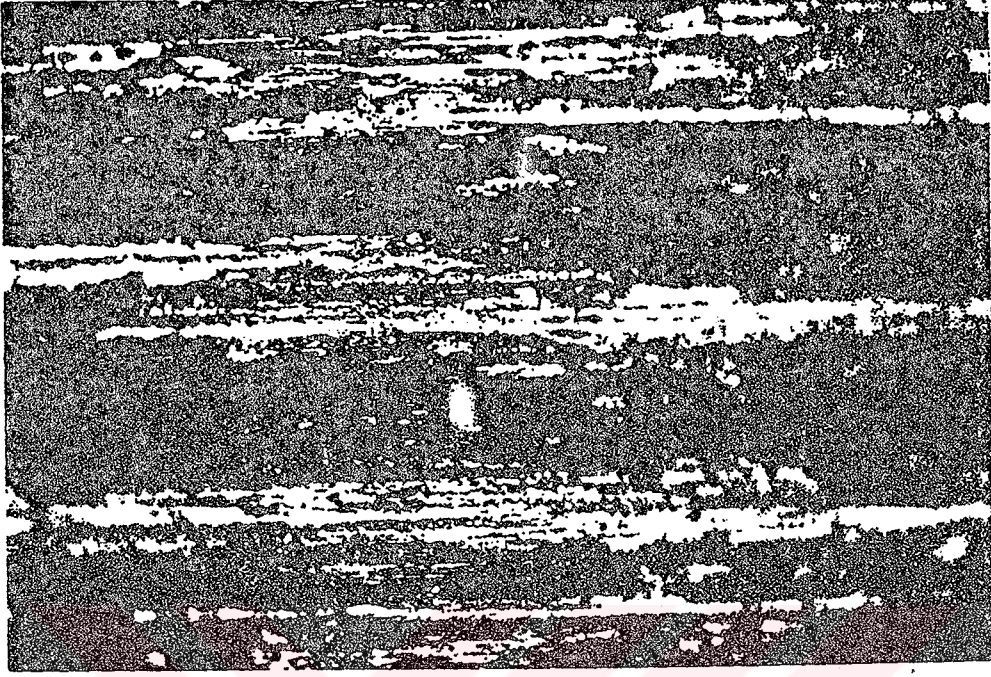
AISI 5115 Karbonitrürlenmiş
Yük = 100N
Kayma Hızı = 10 m/sn
Kayma süresi = 5 Dk



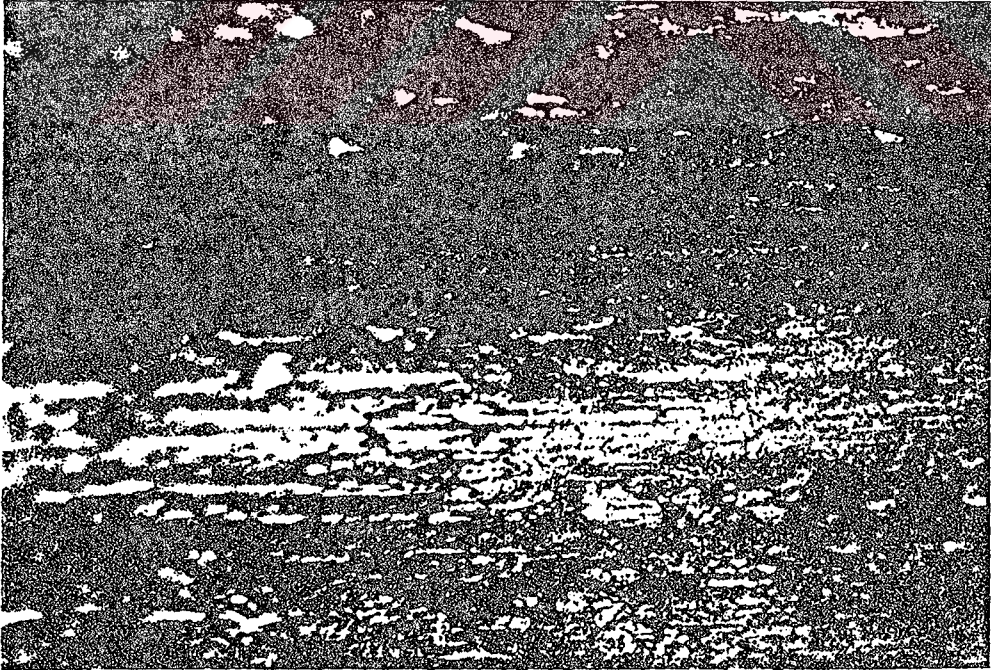
AISI 5115 Karbonitrürlenmiş
Yük = 100N
Kayma Hızı = 10 m/sn
Kayma süresi = 3 Dk



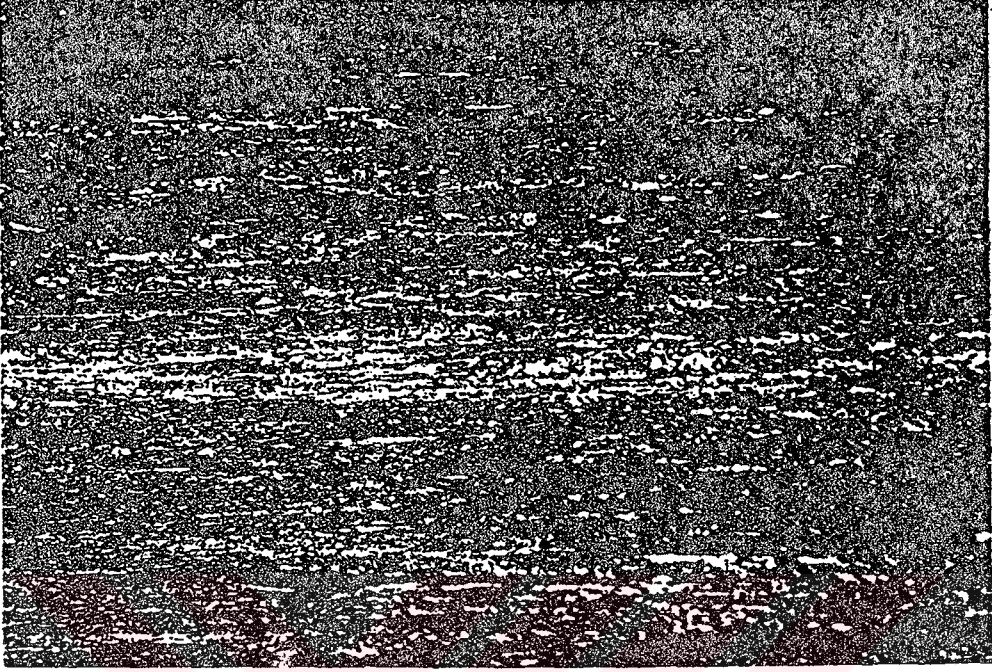
AISI 5115 Semente
Yük = 150N
Kayma Hızı = 10 m/sn
Kayma süresi = 5 Dk



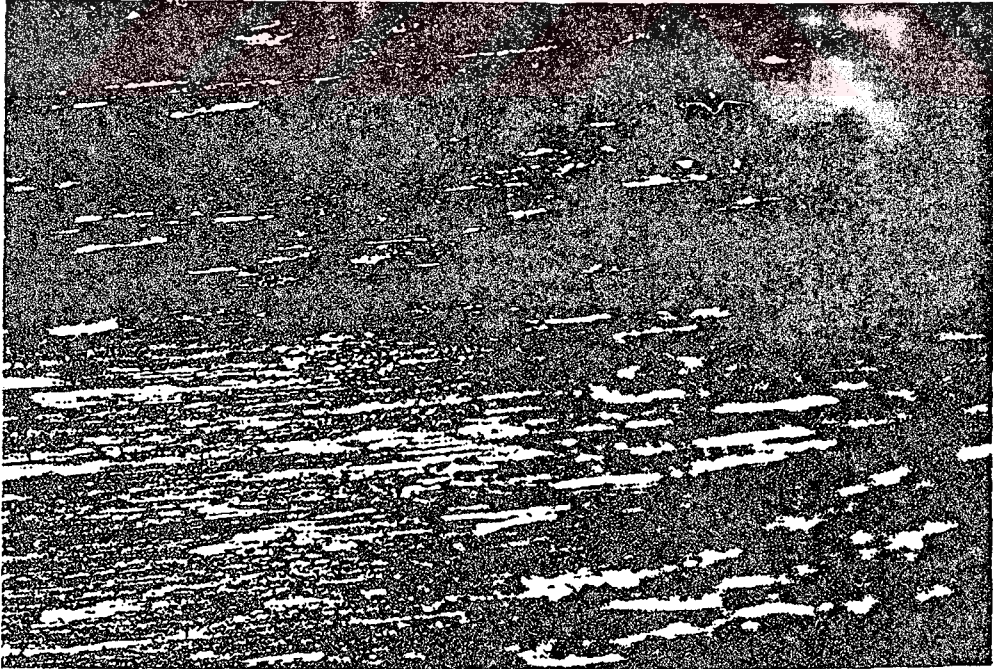
AISI 5115 Semente
Yük = 150N
Kayma Hızı = 10 m/sn
Kayma süresi = 6 Dk



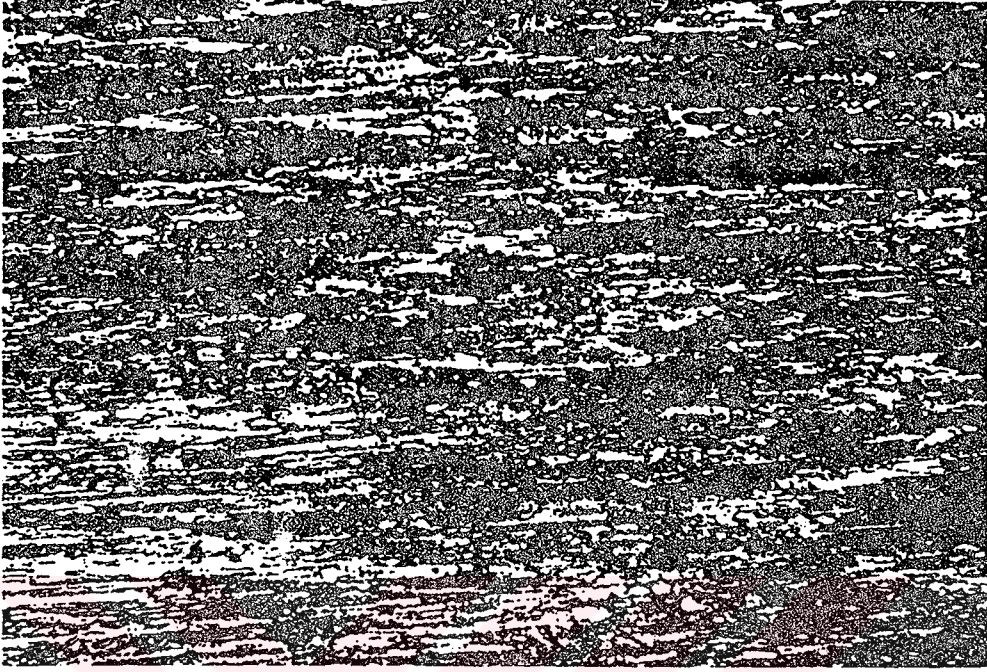
AISI 1020 Karbonitrürlenmiş
Yük = 150N
Kayma Hızı = 10 m/sn
Kayma süresi = 5 Dk



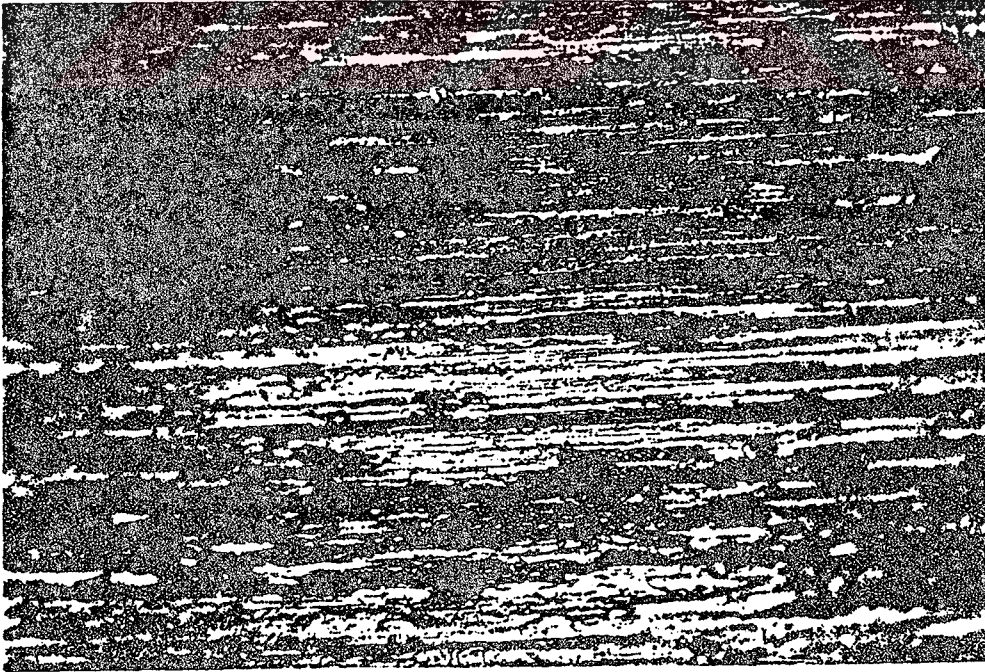
AISI 1020 Karbonitrürlenmiş
Yük = 150N
Kayma Hızı = 10 m/sn
Kayma süresi = 10 Dk



AISI 5115 Karbonitrürlenmiş
Yük = 100N
Kayma Hızı = 5 m/sn
Kayma süresi = 10 Dk



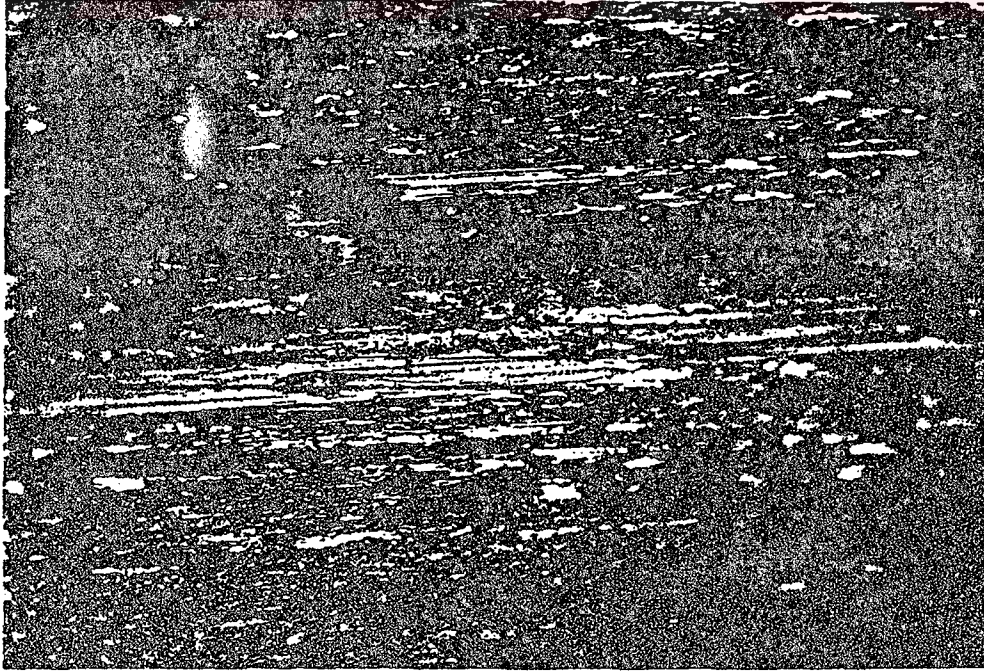
AISI 1020 Semente
Yük = 150N
Kayma Hızı = 10 m/sn
Kayma süresi = 5 Dk



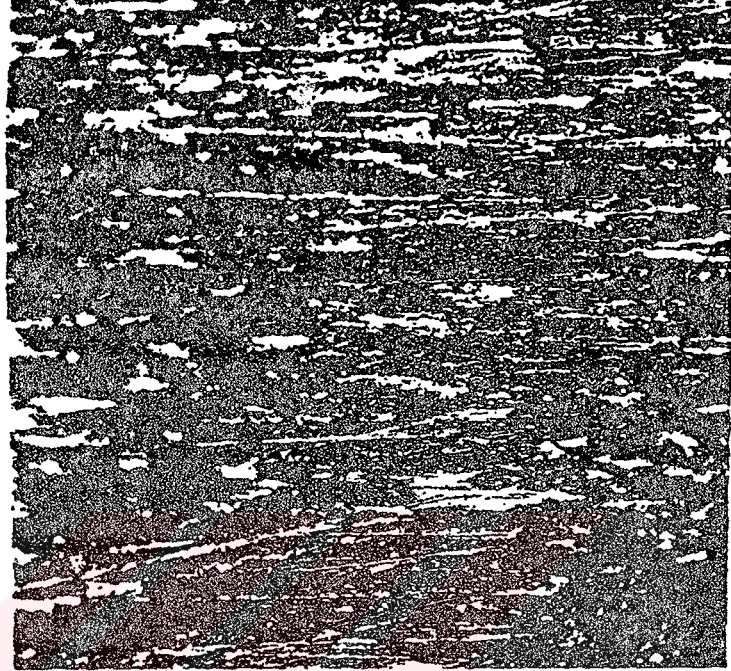
AISI 5115 Karbonitrürlenmiş
Yük = 150N
Kayma Hızı = 10 m/sn
Kayma süresi = 5 Dk



AISI 5115 Karbonitrürlenmiş
Yük = 150N
Kayma Hızı = 10 m/sn
Kayma süresi = 10 Dk

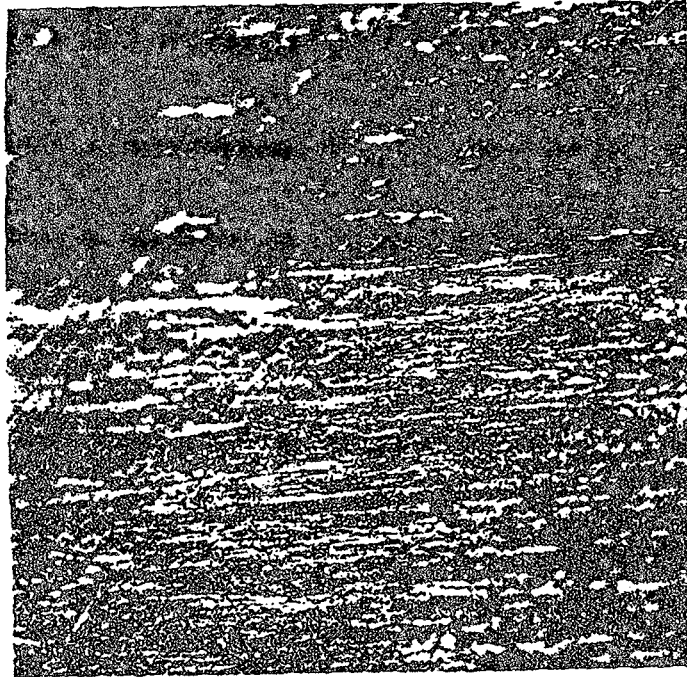


AISI 5115 Semente
Yük = 50N
Kayma Hızı = 10 m/sn
Kayma süresi = 10 Dk

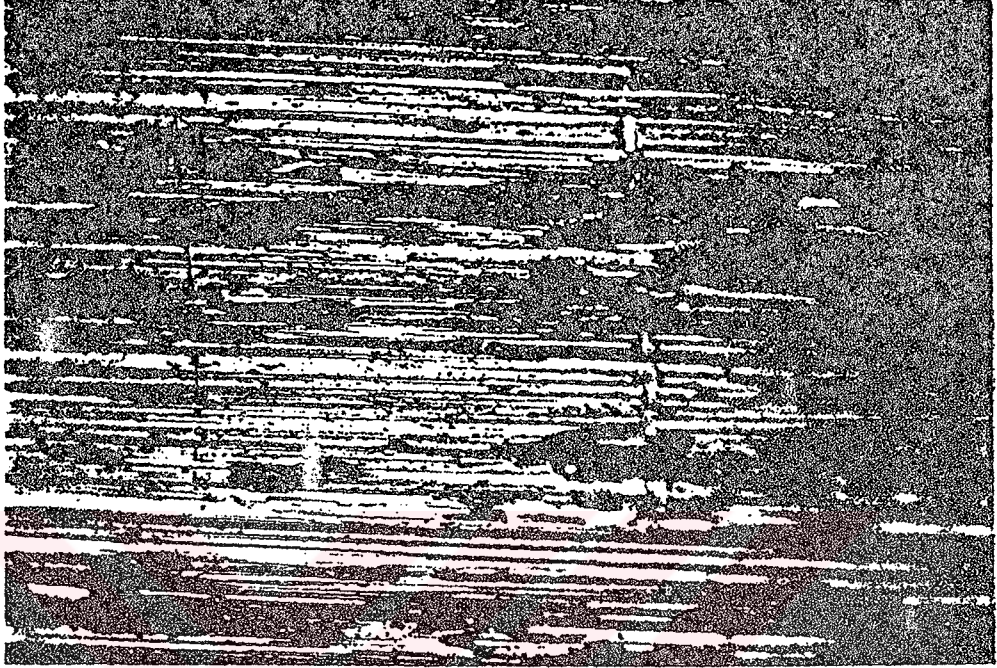


uygulandı:

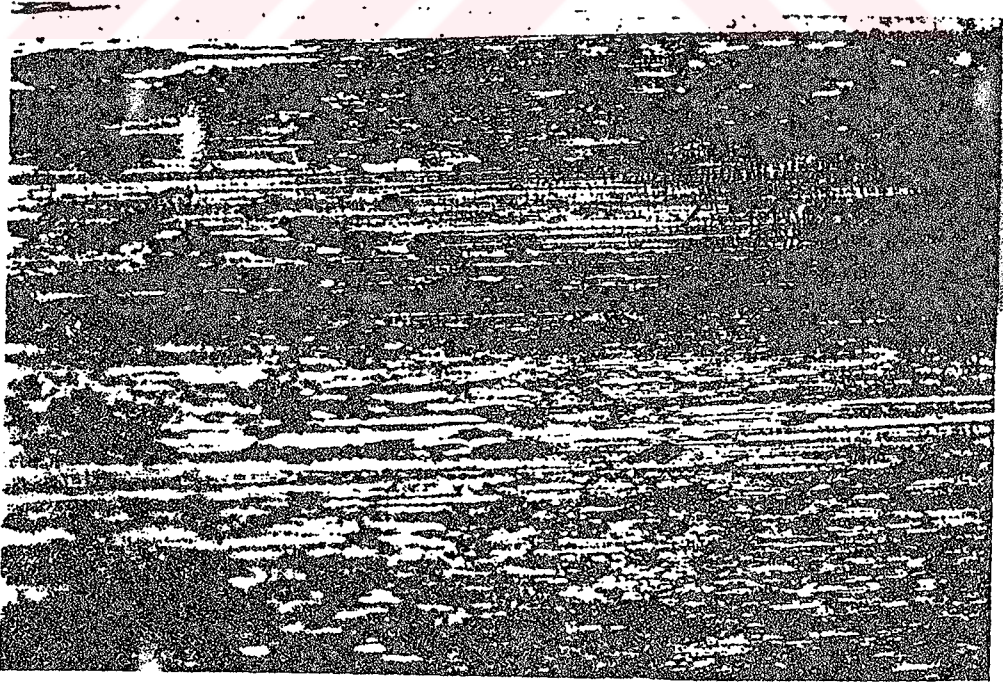
'N 16MnCr5 Karbonitrürlenmiş
Yük = 50N
Kayma Hızı = 10 m/sn
Kayma süresi = 10 Dk



AISI 1020 Sementa
Yük = 100N
Kayma Hızı = 10 m/sn
Kayma süresi = 5 Dk



AISI 1020 Karbonitrürlenmiş
Yük = 100N
Kayma Hızı = 10 m/sn
Kayma süresi = 3 Dk



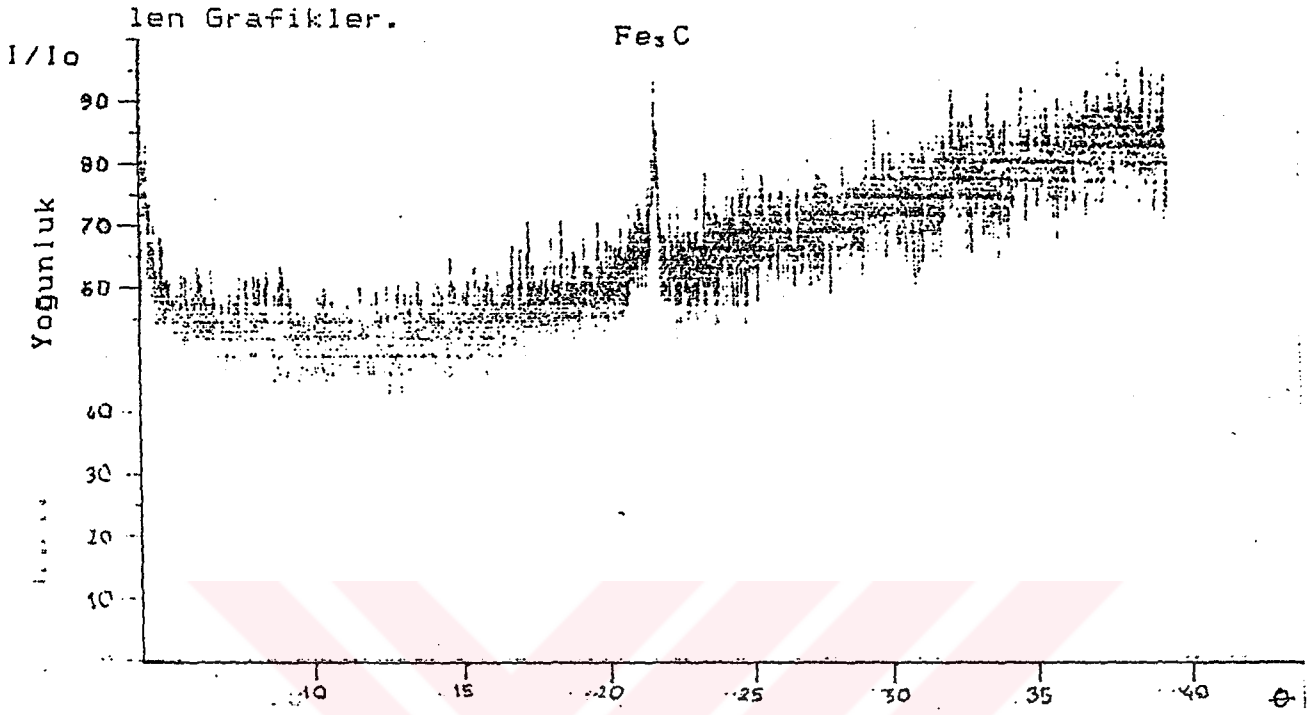
AISI 1020 Karbonitrürlenmiş
Yük = 100N
Kayma Hızı = 10 m/sn
Kayma süresi = 10 Dk



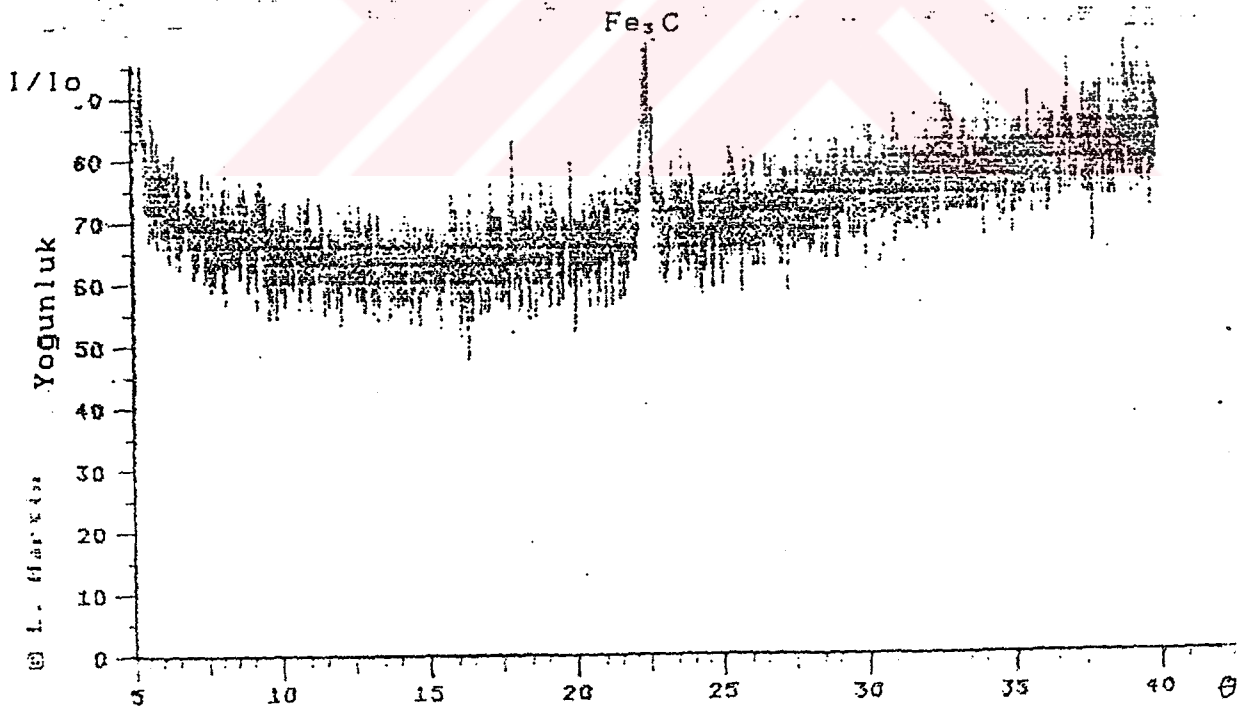
AISI 5115 Sementite
Yük = 100N
Kayma Hızı = 5 m/sn
Kayma süresi = 10 Dk



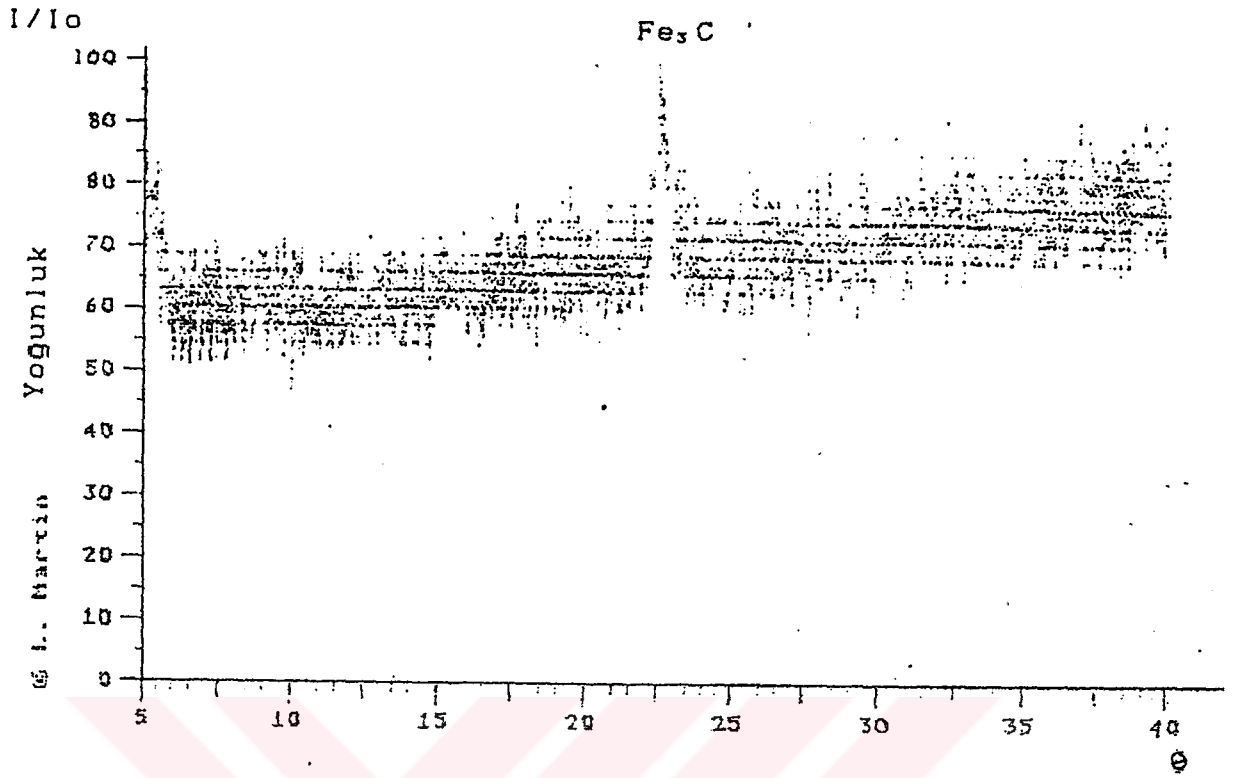
Ek2: Aşınma Partiküllerini ve Aşınmamış Yüzey Partiküllerinin X-Ray Difrraction Metodu ile Analiz neticeleri.



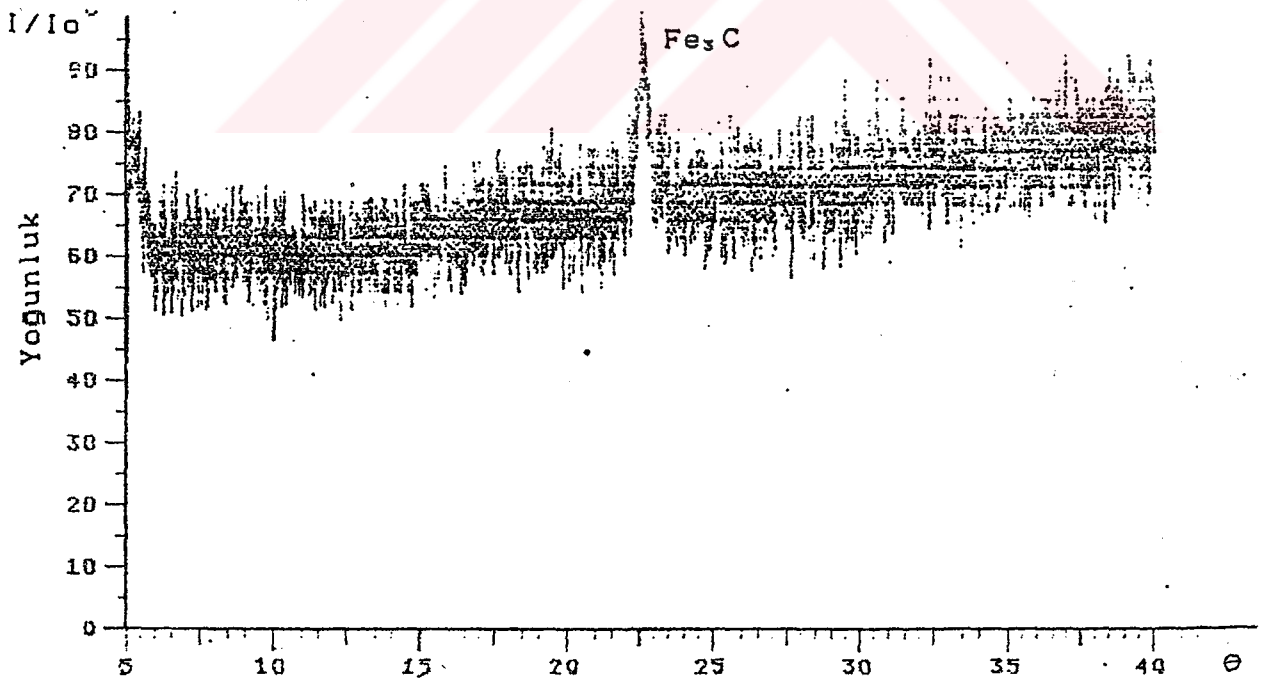
1. Aşınmamış, Semente Edilmiş AISI 1020 Çeligi



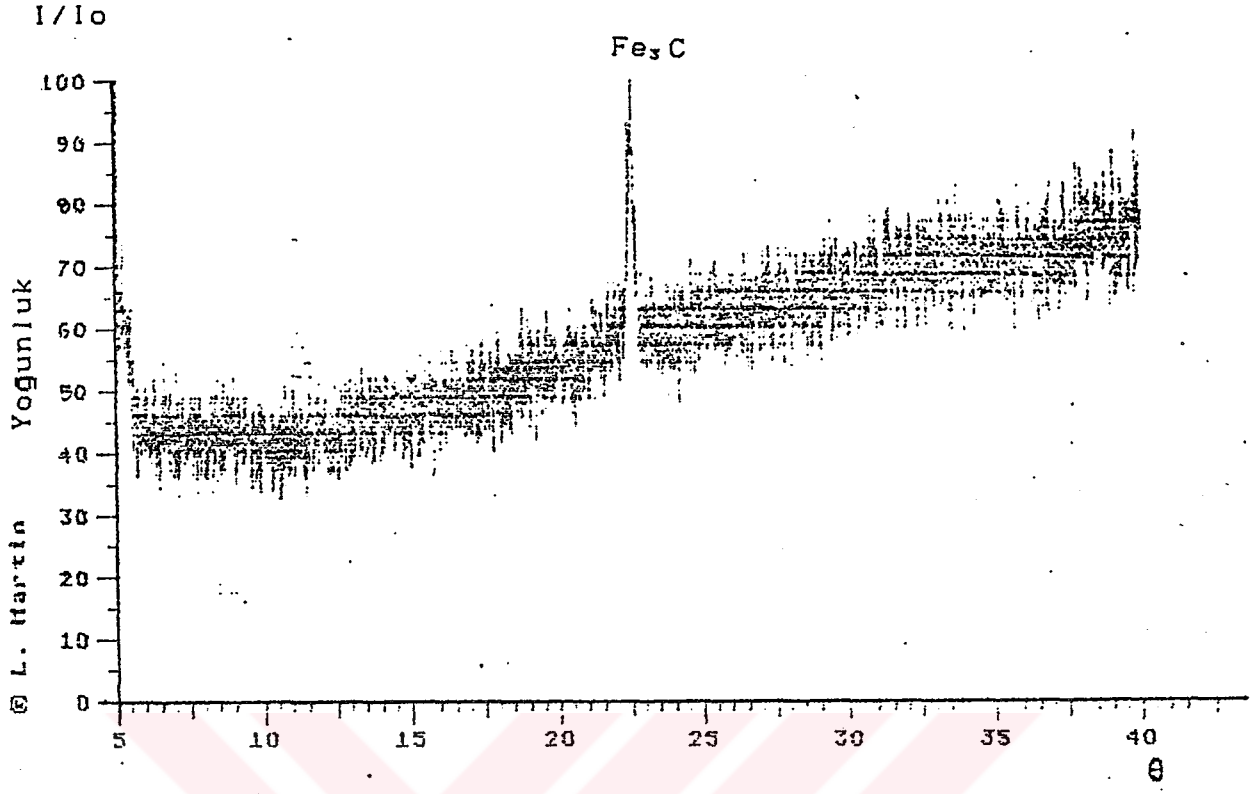
2. Aşınmış, Semente Edilmiş AISI 1020 Çeligi



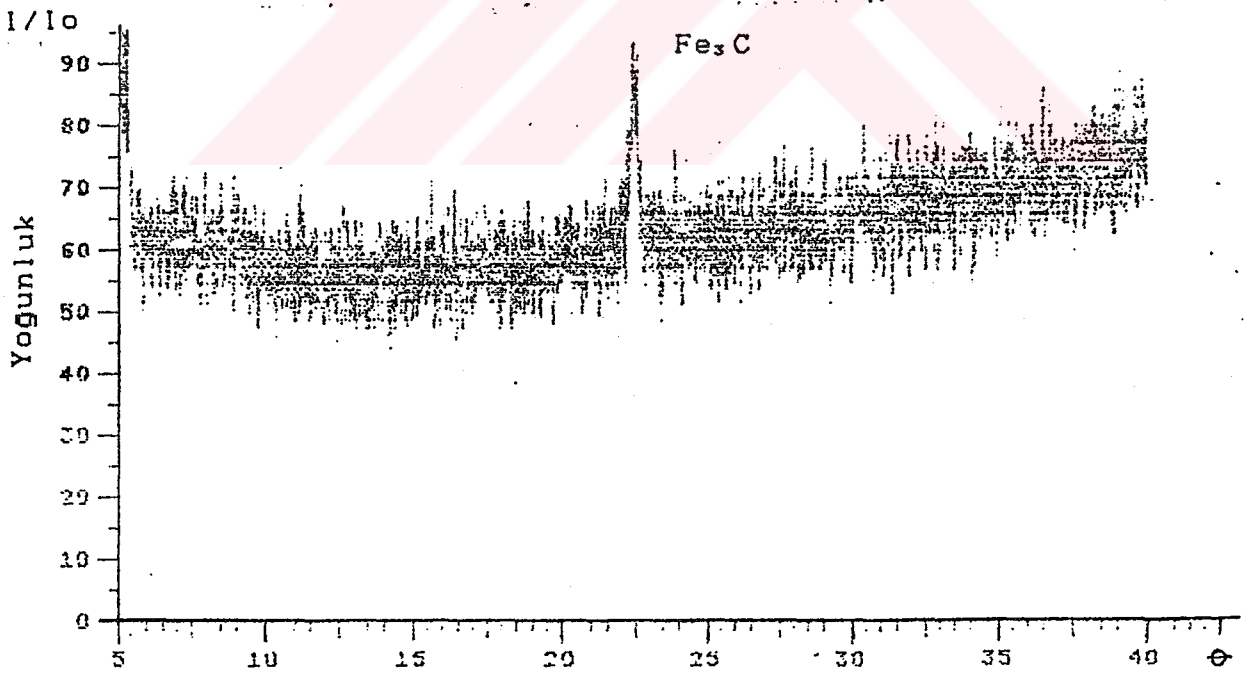
3. Aşınmamış, Karbonitrürlenmiş AISI 1020 çelik



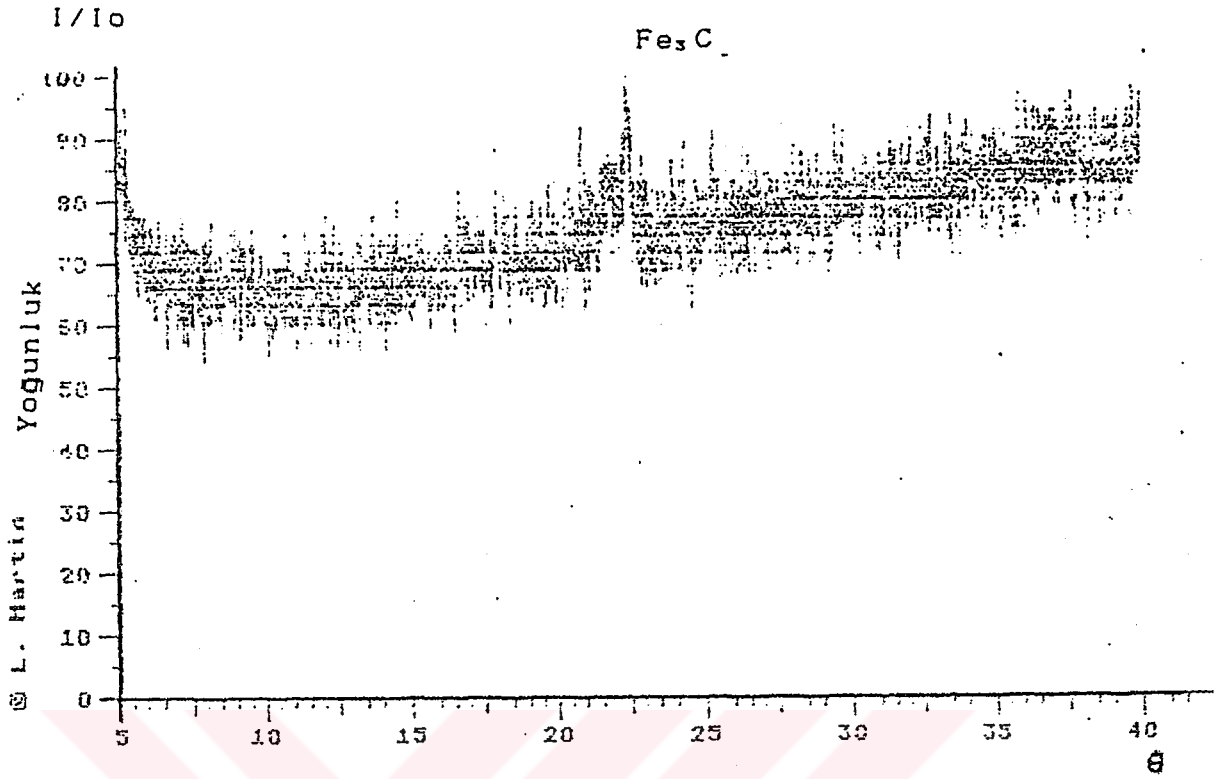
4. Aşınmış, Karbonitrürlenmiş AISI 1020 çelik



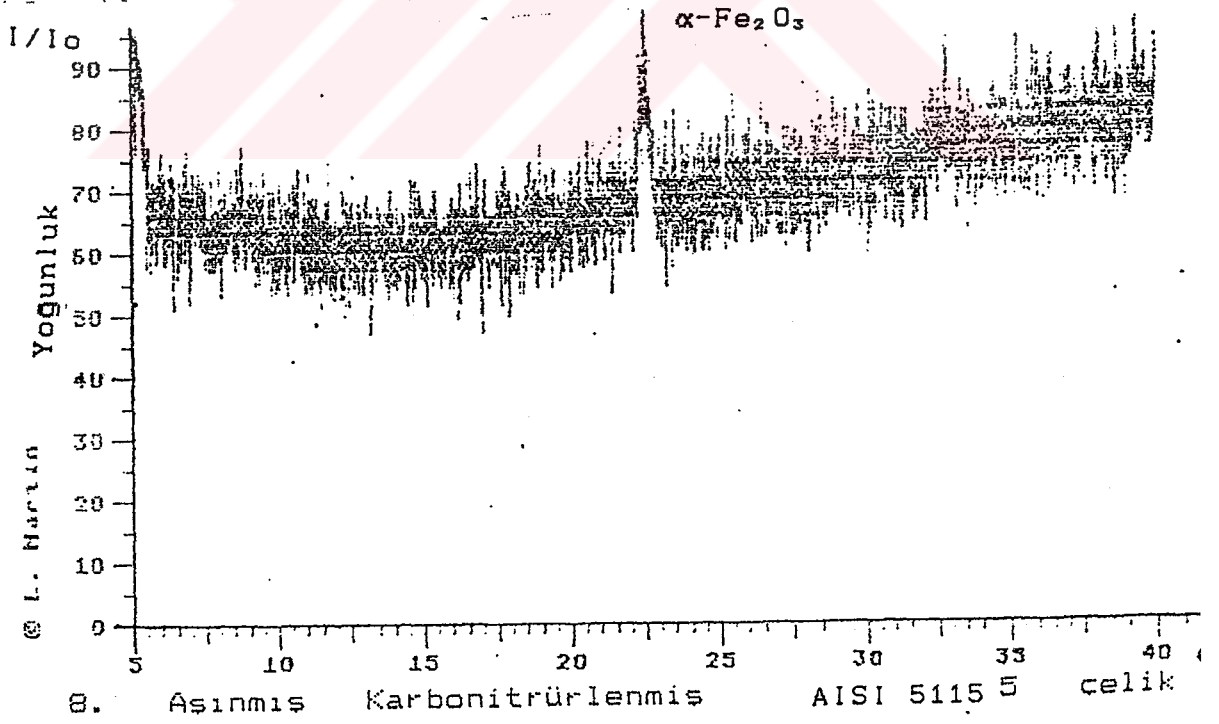
5. Aşınmamış, Sement Edilmiş AISI 5115 5 çelik



6. Aşınmış, Semente Edilmiş AISI 5115 çeli



7. Aşınmamış Karbonitrürlenmiş AISI 5115 çelik



8. Aşınmış Karbonitrürlenmiş AISI 5115 çelik

EK-2. Aşınma Miktarları

Normal yük (N)	Kayma Hızı (m/s)	Kayma süresi (sn)	Aşınma miktarı (gr*10 ⁻³)		
			1020 Normalize	1020 Semente	1020 K.Nitrür
50	5	60	16.67	12.17	15.17
		180	20.22	19.66	16.99
		300	24.33	19.59	18.01
		480	36.02	22.67	20.22
		600	91.56	33.02	26.94
	10	60	45.53	27.8	15.65
		180	55.69	51.36	17.91
		300	74.73	56.49	31.25
		480	79.87	54.04	57.49
		600	151.31	68.14	70.34
100	5	60	49.53	33.57	32.69
		180	66.83	50.42	37.27
		300	90.06	65.09	54.30
		480	151.12	68.84	60.58
		600	-	75.91	73.31
	10	60	69.76	37.99	35.54
		180	80.27	60.12	45.33
		300	141.72	74.73	49.91
		480	262.12	90.22	78.23
		600	-	216.06	88.73
150	5	60	77.66	39.11	45.81
		180	103.81	47.08	47.29
		300	166.61	65.49	61.83
		480	-	87.61	85.13
		600	-	163.6	138.25
	10	60	98.23	56.64	43.02
		180	145.44	71.34	69.87
		300	273.02	83.42	88.13
		480	-	166.85	113.04
		600	-	248.94	215.16

Normal yük (N)	Kayma Hızı (m/s)	Kayma süresi (sn)	Aşınma miktarı (gr*10 ⁻³)		
			5115 Normalize	5115 Semente	5115 K.Nitrür
50	5	60	15.92	11.84	14.64
		180	20.24	13.52	17.84
		300	24.88	15.04	14.12
		480	38.32	20.88	21.12
		600	51.68	26.32	25.52
	10	60	39.28	21.63	20.08
		180	48.72	23.41	21.94
		300	58.66	35.94	34.03
		480	64.88	45.93	61.04
		600	71.05	64.92	64.96
100	5	60	47.21	34.61	33.84
		180	49.31	45.71	42.08
		300	68.48	60.44	46.64
		480	99.92	62.54	48.32
		600	-	65.12	57.68
	10	60	58.43	54.22	44.88
		180	65.52	55.38	47.84
		300	93.32	63.19	48.32
		480	150.48	66.92	54.64
		600	-	86.02	79.13
150	5	60	51.84	43.14	45.68
		180	65.44	47.82	47.04
		300	104.48	54.72	57.76
		480	-	65.69	65.44
		600	-	115.24	96.16
	10	60	66.32	53.74	50.24
		180	114.24	70.2	71.52
		300	2.1.21	71.80	73.36
		480	-	78.12	83.6
		600	-	196.62	167.12

Normal yük (N)	Kayma Hızı (m/s)	Kayma süresi (sn)	Aşınma miktarı (cm*10 ⁻³)		
			1020 Normalize	1020 Semente	1020 K.Nitrür
50	5	60	2.11	1.54	1.48
		180	2.56	1.76	1.69
		300	3.08	2.48	1.88
		480	4.56	2.87	2.61
		600	11.59	4.18	3.29
	10	60	5.74	3.44	1.98
		180	7.05	6.54	2.24
		300	9.46	7.25	3.90
		480	10.11	7.22	7.17
		600	11.59	4.18	3.29
100	5	60	6.27	4.25	4.09
		180	8.46	6.83	4.65
		300	11.41	8.24	7.43
		480	33.18	11.42	9.88
		600	-	9.65	9.28
	10	60	8.83	4.81	4.44
		180	10.13	7.61	5.66
		300	17.94	9.46	6.24
		480	33.18	11.12	9.88
		600	-	27.36	11.09
150	5	60	9.83	4.94	4.46
		180	13.14	5.96	5.98
		300	21.09	8.29	7.72
		480	-	11.09	10.63
		600	-	20.71	14.53
	10	60	12.43	7.17	5.38
		180	18.41	9.03	8.85
		300	34.58	10.56	11.03
		480	-	21.12	14.14
		600	-	31.48	27.24

Normal yük (N)	Kayma Hızı (m/s)	Kayma süresi (sn)	Aşınma miktarı (cm*10 ⁻³)		
			5115 Normalize	5115 Semente	5115 K.Nitrür
50	5	60	1.99	1.92	1.83
		180	2.53	2.15	2.23
		300	2.88	2.28	2.39
		480	4.79	2.50	2.64
		600	6.46	3.42	3.14
	10	60	4.91	2.74	2.31
		180	6.09	2.96	2.74
		300	7.32	4.55	4.25
		480	8.11	5.81	7.53
		600	8.88	6.05	8.12
100	5	60	5.91	4.39	4.25
		180	6.24	5.73	5.26
		300	8.56	7.67	5.85
		480	12.49	7.91	6.04
		600	-	8.24	7.21
	10	60	7.32	6.86	5.61
		180	8.19	7.08	5.98
		300	11.67	8.04	6.04
		480	18.61	8.45	6.83
		600	-	10.89	9.89
150	5	60	6.48	5.46	5.71
		180	8.18	6.05	5.88
		300	13.06	6.92	7.22
		480	-	8.32	8.18
		600	-	17.48	14.08
	10	60	8.29	6.84	6.28
		180	14.28	8.87	8.94
		300	25.15	9.09	9.17
		480	-	9.88	10.45
		600	-	25.12	20.94

Normal yük (N)	Kayma Hızı (m/s)	Kayma süresi (sn)	Aşınma Katsayısı ($m^3/Nm \cdot 10^{-13}$)		
			1020 Normalize	1020 Semente	1020 K.Nitrür
50	5	60	1.40	1.02	1.28
		180	0.56	0.38	0.48
		300	0.41	0.33	0.30
		480	0.38	0.24	0.21
		600	0.77	0.27	0.23
	10	60	1.91	1.15	0.65
		180	0.78	0.72	0.24
		300	0.63	0.47	0.26
		480	0.42	0.33	0.29
		600	0.64	0.28	0.29
100	5	60	2.14	1.41	1.38
		180	0.93	0.72	0.51
		300	0.75	0.47	0.53
		480	0.79	0.32	0.32
		600	-	0.32	0.31
	10	60	1.47	0.81	0.74
		180	0.55	0.42	0.32
		300	0.62	0.31	0.21
		480	0.69	0.24	0.21
		600	-	0.44	0.19
150	5	60	2.18	1.12	0.99
		180	0.97	0.44	0.44
		300	0.92	0.36	0.34
		480	-	0.31	0.28
		600	-	0.46	0.38
	10	60	1.38	0.79	0.59
		180	0.68	0.33	0.32
		300	0.77	0.23	0.25
		480	-	0.29	0.19
		600	-	0.35	0.33

Normal yük (N)	Kayma Hızı (m/s)	Kayma süresi (sn)	Asınma Katsayısı ($m^3/Nm \cdot 10^{-13}$)		
			5115	5115 Semente	5115 K.Nitrür
50	5	60	1.32	1.28	1.22
		180	0.56	0.48	0.49
		300	0.41	0.32	0.32
		480	0.41	0.21	0.22
		600	0.43	0.23	0.21
	10	60	1.63	0.91	0.84
		180	0.68	0.33	0.32
		300	0.49	0.32	0.31
		480	0.34	0.24	0.31
		600	0.29	0.27	0.27
100	5	60	1.98	1.47	1.41
		180	0.69	0.63	0.57
		300	0.57	0.56	0.39
		480	0.52	0.33	0.25
		600	-	0.27	0.24
	10	60	1.25	1.14	0.93
		180	0.45	0.39	0.33
		300	0.39	0.27	0.21
		480	0.39	0.17	0.14
		600	-	0.189	0.17
150	5	60	1.44	1.22	0.98
		180	0.64	0.44	0.44
		300	0.58	0.31	0.32
		480	-	0.24	0.22
		600	-	0.32	0.26
	10	60	0.92	0.76	0.69
		180	0.53	0.32	0.33
		300	0.56	0.21	0.22
		480	-	0.13	0.15
		600	-	0.28	0.23

Yağda, Aşınma Miktarı $gr \cdot 10^{-3}$

Normal yük (N)	Kayma Hızı (m/s)	Kayma süresi (sn)	Aşınma Miktarı ($gr \cdot 10^{-3}$)		
			1020 Normalize	1020 Semente	1020 K.Nitrür
150	10	60	11.38	10.59	10.98
		180	13.75	11.69	11.93
		300	22.24	14.14	12.96
		480	34.44	32.47	26.22
		600	67.62	36.81	31.91

Normal yük (N)	Kayma Hızı (m/s)	Kayma süresi (sn)	Aşınma Miktarı ($gr \cdot 10^{-3}$)		
			5115 Normalize	5115 Semente	5115 K.Nitrür
150	10	60	10.72	9.36	9.91
		180	12.64	9.92	10.48
		300	17.12	12.64	12.32
		480	31.92	23.52	25.28
		600	50.16	32.71	45.55

Yağda, aşınma Miktarı $\text{cm}^3 \cdot 10^{-3}$

Normal yük (N)	Kayma Hızı (m/s)	Kayma süresi (sn)	Aşınma Miktarı ($\text{cm}^3 \cdot 10^{-3}$)		
			5115 Normalize	5115 Semente	5115 K.Nitrür
150	10	60	1.34	1.17	1.21
		180	1.58	1.24	1.31
		300	2.14	1.58	1.54
		480	3.90	2.94	3.16
		600	6.27	4.92	5.32

Normal yük (N)	Kayma Hızı (m/s)	Kayma süresi (sn)	Aşınma Miktarı ($\text{cm}^3 \cdot 10^{-3}$)		
			1020 Normalize	1020 Semente	1020 K.Nitrür
150	10	60	1.44	1.33	1.39
		180	1.74	1.48	1.51
		300	2.83	1.79	1.64
		480	4.36	4.11	3.32
		600	8.56	4.66	4.04

Normal yük (N)	Kayma Hızı (m/s)	Kayma süresi (sn)	Aşınma Katsayısı ($m^3/Nm \cdot 10^{-13}$)		
			1020 Normalize	1020 Semente	1020 K.Nitrür
150	10	60	0.161	0.149	0.154
		180	0.064	0.055	0.055
		300	0.063	0.039	0.036
		480	0.062	0.057	0.046
		600	0.095	0.052	0.045

Normal yük (N)	Kayma Hızı (m/s)	Kayma süresi (sn)	Aşınma Katsayısı ($m^3/Nm \cdot 10^{-13}$)		
			5115 Normalize	5115 Semente	5115 K.Nitrür
150	10	60	0.149	0.132	0.133
		180	0.058	0.046	0.049
		300	0.048	0.035	0.034
		480	0.055	0.042	0.043
		600	0.073	0.045	0.058

Normal yük (N)	Kayma Hızı (m/s)	Kayma süresi (sn)	Sürtünme Katsayısı		
			1020 Normalize	1020 Semente	1020 K.Nitrür
50	10	60	0.6	0.5	0.5
		180	0.5	0.5	0.4
		300	0.6	0.4	0.4
		480	0.6	0.5	0.4
		600	0.8	0.4	0.4
	5	60	0.5	0.5	0.5
		180	0.5	0.4	0.4
		300	0.4	0.4	0.4
		480	0.6	0.4	0.3
		600	0.8	0.5	0.4
100	10	60	0.5	0.4	0.5
		180	0.6	0.5	0.6
		300	0.6	0.6	0.6
		480	0.9	0.5	0.5
		600	-	0.9	0.6
	5	60	0.6	0.5	0.6
		180	0.6	0.5	0.4
		300	0.6	0.6	0.5
		480	0.9	0.6	0.4
		600	-	0.6	0.5
150	10	60	0.6	0.5	0.7
		180	0.6	0.6	0.8
		300	1.2	0.6	0.6
		480	-	0.6	0.6
		600	-	0.7	0.8
	10	60	0.6	0.6	0.5
		180	0.7	0.6	0.5
		300	0.9	0.7	0.6
		480	-	0.6	0.7
		600	-	0.9	0.7

Normal yük (N)	Kayma Hızı (m/s)	Kayma süresi (sn)	Sürtünme Katsayısı		
			5115 Normalize	5115 Semente	5115 K.Nitrür
50	5	60	0.5	0.5	0.5
		180	0.5	0.4	0.3
		300	0.5	0.5	0.3
		480	0.6	0.4	0.5
		600	0.7	0.4	0.4
	10	60	0.5	0.5	0.6
		180	0.4	0.4	0.4
		300	0.5	0.4	0.4
		480	0.6	0.4	0.3
		600	0.6	0.4	0.4
100	5	60	0.6	0.6	0.6
		180	0.6	0.5	0.5
		300	0.6	0.5	0.6
		480	0.9	0.6	0.6
		600	-	0.6	0.6
	10	60	0.6	0.5	0.6
		180	0.6	0.6	0.5
		300	0.5	0.5	0.5
		480	0.9	0.4	0.5
		600	-	0.5	0.5
150	5	60	0.5	0.6	0.7
		180	0.6	0.6	0.6
		300	1.0	0.6	0.6
		480	-	0.6	0.6
		600	-	0.7	0.7
	10	60	0.7	0.5	0.5
		180	0.5	0.6	0.5
		300	0.6	0.6	0.5
		480	-	0.6	0.6
		600	-	0.6	0.6

Kaynaklar

1. Bowden F.P. and Tabor " part I Frictional Lubrication of Solid " Oxford Un. Press (1950).
2. Akkurt M. " Makina Elemanları " II. cilt I.T.Ü. İst. 1982.
3. İpek R. " Tren Fren Papuclarının Aşınmasının Deneysel İncelenmesi " E.Ü.Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek İlisans Tezi Kayseri (1987).
4. J. Wels N. C. " The Dry Wear of Steels " Part I and II Phil. Trans. Ror. Soc. A257, p 31-70 (1965)
5. Halling J. " Prenciples of Tribology " The Mawmillan London, p 72-92, Press LTD. (1983).
6. Odabaş D. " Kuru Sürtünme Şartlarında Termomekanik Faktörlerin AISI 3315 Çeliğinin Aşınma Davranışına Olan Etkilerin Teorik ve Deneysel Araştırılması " E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi Kayseri Eylül (1991).
7. Karamış M.B. " Toprak İşleme Aletlerinde İş Organının Aşınması Etüdü " E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi Kayseri (1985).
8. A.R.Landsdown and A.L. Price " Meterial To Resist Wear " Swansea U.K. (1988).
9. Eyre T.S. V.D. " Wear Chrecteristics of Flake and Nodular Grafite Cast Iron " Wear 13, p229-245, (1969).

10. T. M. Beagley " Severe wear of Rolling/Sliding Contacts " Wear 36, (1976).

11. Bayer G. and Scico J.L. " The Influence of Surface Roughness on Wear " Wear 41, 251-260, (1977).

12. Tekin E. " Fren Papuclarının İç Yapıları ve Aşınma Direncine Etkisi " T.M.M.O. dergisi, s 15-22, Mart (1985).

13. John E. Neely " Practical Metalurgy and Materials of Industry " New York Jony Willey & Sons Inc. (1979).

14. Yıldırım M. " Malzeme bilgisi I, II " F.Ü. Tek. Eğ. Fak. Metalurji Eğ. Böl. Ders Notları, Elazığ (1985).

15. Güleç Ş. " Malzeme Bilgisi Ders Notları "İ.T.Ü. İst. (1985).

16. Gürleyik Y.M. " Malzeme Kimyası ve Bilgisi " Ders Notları, K.T.Ü. Trabzon (1980).

17. Atala H. " Çeliklerin Isıl İşlemleri " Mühendis ve Makina, cilt 25, sayı 292, s 12-20, Mart (19849).

18. T.S. 1381 " Jominy Deneyleri " Haziran (19749).

19. Anık S. " Kaynak Tekniği " İ.T.Ü. (1985).

20. Karamış M. Baki, Odabaş D. " C1020 Çeliğinin Katı Sementasyonu ve Mekanik Özelliklerinin Değişiminin İncelenmesi " II: Ulusal Üniversite Sanayi İşbirliği Sempozyumu " E.Ü. s 1-8, (1988).

21. Güventürk F. " Çeliklerin Tavlanması ve Isıl İşlemleri " M.E.B. Basımevi, Ankara (1980).

22. Thelning K.E. Bofors Hand Book " Steel and Its Heat Treatment " Bofors Hand Book, Butterworths (1975).

23. Karamış M. Baki, Danışman K. " İndüksiyonla Sertleştirmede Enerji Sistemleri ve Sertleştirme Faktörleri " Türkiye 4. Enerji Kongresi Endüstriyel Konulu Tebliğler Kitabı, s 1-11, (1986).

24. Bor Ş. " Çelikler ve Yüzey Sertleştirme İşlemleri " Mühendis ve Makina, cilt 25, sayı 292, s 25-31, Nisan (1984).

25. John Shepy " Liquid Carburizing " Metal Hand Book Vol.2 A.S.M. (1984).

26. Asil Çelik " Sementasyon Çelikleri " Teknik Yayınlar serisi, (1982).

27. S.N. Tsepov and M.A. Krishtal " Characteristics of Structure Formation In The Surface " Metal Science and Heat Treatment, Vol. 25, No 5, p 358-361, May. (1983).

28. Burakovsky T. Senatorsky J. and Tatsikovskiy J. " The Wear Resistance of Carburized cases " Metal Science and Heat Treatment, Vol. 28, No. 11-12, p 886-890, Dec. (1986).

29. S.M.Shamakhsudov " Mechanizm of Failure of Heat-Treated Steel To Subjected To Abrasive Wear " Metal Science and Heat Treatment, Vol. 25, No 5-6, p 365-367, May-June (1983).

30. Bakhmatov A.L. " Effect of Partial Cooling and Repeated Heating on The Structure and Properties of Nitrided Parts Made of Steel 25khGM " Meterial Science and Heat Treatment, Vol. 28, No. 8, p(551-553), Agust (1986).

31. " Source Book On Nitriding" American ASM. for Metals U.S.A. (977).

32. U. Ebersbach, F. Henny, U. Winckler, G. Reisse and C. Weissmantel " Ion Beam Nitriding of High Purity Iron Surface " Thin Solid Films, Vol. 112, No. 1, p 148-158, Feb. (1984).

33. E.S. Tsyrlin, V.E. Kurdyumova, V.n. Blinow, G.A. Solodkin and E.L. Erman " Ion nitriding of Machine tools and Cutting Instruments " Metal Science and Heat Treatment, Vol. 5, No. 5-6, p 346-350, May-June. (1984).

34. H. Kuwahara, H. Matsuoka, J. Takada, S. Kikuchi, Y. Tomii and T. Takayama "Ammoonia Gas Nitriding of Fe-18Cr-9Ni Alloy At Lower Than 823 K " Journal of Meterial Science Vol.25, p 4120-4124, (1990).

35. N. Martovitskaya " Quantitative X-Ray Analysis of The Nitrided Layer In Nitriding Steel " Industrial Laboratory Feb. 1984.

36. V.G. Gorbach and P.V. Dukhota " Nitriding of High Strength Steel In Martenzitic-Austenitic Condition " Steel in U.S.R.R. Vol.16. No. 5, p(248-250), May. (1986).

37. T. Burakova, J. Senatorsky, J. Tatsikovskiy " The Wear Resistance of Carburized and Nitrided Cases " Metal Science and Heat Treatment, Vol. 28, No. 11, p(886-890), Nov-Dec. (1984).

38. V.V. Simochkin " Effect of The Heat Treatment On The Properties of Nitrided Structural and Tool Steel " Vol. 28, No. 3-4, p(211-213), April (1986).

39. Tekin E. "Mühendisler İçin Çelik Seçimi " TMMOB. Yayını, Yayın No 119, Ankara (1986).

40. A.S.M. American Association For Metals " Metals Hand Book " Volume 2 Eight Edition p 118-122, (1984).

41. P.F. Colijn, E.J. Mittmeijer and H.C.F. Rozendaal " Light-Microscopical analysis of Nitrided or Nitrocarburized Iron and Steel " Laboratory of Metallurgy, Delf University of Technology, Rotterdamseweg 137. The Netherlands.

42. E.L. Gyulikhanddanow, L.M. Semenov and V.I. Shapockin " Influence of High-Temperature Carbonitriding On The Structure, Phase Composition and Properties of Low-Alloy Steel " Metal Science and Heat Treatment, Vol. 26, No. 3-4, p 262-267, March (1984).

43. C. Dawes " Nitrocarburizing and its Influence On Design in The Automotive Sector " Heat Treatment of Metals, 1, p 19-30, (1990).

44. L.V. Kostyleva, V.A. Ilinskii and V.A. Loktyushin

" Influence of A Nonsteady Temperature Carbonitriding Cycle On The Impregnation of Steel With Nitrogen and Carbon " Metal Science and Heat Treatment, Vol. 26, No. 3-4, p (255-259), March-April (1984).

45. L.S. Olkhovoi, I.K. Yudin, A.G. Shulepnikova, Yu. I. Andreev and G.V. Danielevskii " Carbonitriding of Oxidized Surface " Metal Science and Heat Treatment, Vol. 26, No. 3-4, p (187-189), March-April (1984).

46. L.S. Olkhovoi, B.M. Bodyako, A.A. Shipko and P.S. Gurchenko "Investigation and Development of A Production For Rapid Carbonitriding of Automobile Parts " Metal Science and Heat Treatment, Vol. 28, No. 8, p 547-550, August (1986).

47. V.D. Kalner, V.a. Teldekov and S.A. Yurasov " Microstructural Hardenability Diagrams of The Impregnated Case and Possibilities of their Practical Use In Carburizing and Carbonitriding " Metal Science and Heat Treatment, Vol. 26, No. 3-4, p 293-297, March (1984).

48. V.I. Shapochkin, L.M. Semsnova and V.A. Chudin " Nomograms of Hardness of Carbonitrided Layers " Industrial Laboratory, Vol. 50, No. 10, p 1023-1024, Oct. (1984).

49. " Ipsen " Ipsen Industries International, teknik yayınları, (1984).

50. A. Wells " Metallographic Analysis of Compound

Layer On Ferritic Nitrocarburized Plain low carbon Steel"
Journal of Material Science, Vol. 20, p 2439-2445, (1985).

51. Yu.A. Bashnin, L.M. Semenova, O.S. Burenkova,
I.A. Borodova and A.I. Bankovskii " Thermocycling
Carbonitriding of Gears " Metal Science and Heat Treatment,
Vol. 26, No. 3-4, p 267-269, March (1984).

52. " Guide to Select material " Material Testing,
Special, April (1988).

53. Nachschage Work-Stahlschlüssel Autor C.W. Wegst (Key
to Steel). Marbach (1983).

54. Işıkoğlu M.A. " Motor Yenileştirme " M.E.B.
Basımevi, Ankara (1984).

55. Estaş "Eksantrik Mil Ticaret Anonim Şirketi "
Dökümanları, (1988).

56. Qunn T.F.J. " Review of Oxidational Wear Part I :
The Origins of Oxidational Wear " Tribology International
Oct. p 257-271, (1983).

57. Bugian W. Tao M. and Fu Z. " Friction and Wear
behaviour of iron-Sulpho Karbonitrided layer on low alloy
steel " Wear 129, p 159-170, Sep. (1986).

58. Arques J. L. and Prado J. M. " The Dry Wear
Resistance of carbonitrided Steel " Wear, 103, p(321-331),
(1985).