



T.C.

BARTIN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AISI 4140 NAMLU ÇELİĞİNİN YÜKSEK SICAKLIKLARDAKİ AŞINMA
DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

HAZIRLAYAN

FETHULLAH YILDIZ

DANIŞMAN

DOÇ. DR. M. SABRİ GÖK

BARTIN-2017



T.C.

BARTIN ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**AISI 4140 NAMLU ÇELİĞİNİN YÜKSEK SICAKLIKLARDAKİ AŞINMA
DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN

Fethullah YILDIZ

JÜRİ ÜYELERİ

Danışman : Doç. Dr. Mustafa Sabri GÖK - Bartın Üniversitesi
Üye : Doç. Dr. Yılmaz KÜÇÜK - Bartın Üniversitesi
Üye : Yrd. Doç. Dr. Okan ÜNAL - Karabük Üniversitesi

BARTIN-2017

KABUL VE ONAY

Fethullah YILDIZ tarafından hazırlanan “AISI 4140 NAMLU ÇELİĞİNİN YÜKSEK SICAKLIKLARDAKİ AŞINMA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ” başlıklı bu çalışma, 29.12.2017 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak jürimiz tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Doç. Dr. M. Sabri GÖK (Danışman)

Üye : Doç. Dr. Yılmaz KÜÇÜK

Üye : Yrd. Doç. Dr. ;Okan ÜNAL

Bu tezin kabulü Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../2017 tarih ve 20...../.....-..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Doç. Dr. Selma ÇELİKAY
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

BEYANNAME

Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre Doç. Dr. M. Sabri GÖK danışmanlığında hazırlamış olduğum “AISI 4140 NAMLU ÇELİĞİNİN YÜKSEK SICAKLIKLARDAKİ AŞINMA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ” başlıklı yüksek lisans tezimin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

29.12.2017

Fethullah YILDIZ



ÖNSÖZ

“AISI 4140 NAMLU ÇELİĞİNİN YÜKSEK SICAKLIKLARDAKİ AŞINMA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ” adlı bu çalışma, Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Yüksek Lisans tezinin bilimsel danışmanlığını üstlenen, konunun belirlenmesi ve çalışmanın hazırlanması esnasında yakın ilgi ve desteğini gördüğüm, maddi ve manevi desteğini esirgemeyen hocam sayın Doç. Dr. Mustafa Sabri GÖK’ e teşekkür ederim.

Laboratuvar ve tez çalışmalarım esnasında gerek maddi ve manevi yanımda bulunan ve katkı sağlayan Doç. Dr. Osman GENCEL, Yrd. Doç. Dr. Abdullah Cahit KARAOĞLANLI, Arş. Gör. Yasin ÖZGÜRLÜK, Arş. Gör. Mecit ÖGE, Arş. Gör. Vahhap NECCAROĞLU, Ahmet GÜNEŞ, Osman Hulusi ÖREN, Nihat BENLİ ve Bartın ilinde ismini yazmadığım tüm dostlarıma teşekkür ederim.

Her zaman yanımda olan, maddi ve manevi her türlü desteği veren başta annem ve babam olmak üzere Fatih YILDIZ ve Emirhan YILDIZ’ a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmanın, ileride bu konuda yapılacak olan çalışmalara ışık tutması ve ilgilenenlere yol gösterici olmasını dilerim.

Fethullah YILDIZ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

AISI 4140 NAMLU ÇELİĞİNİN YÜKSEK SICAKLIKLARDAKİ AŞINMA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Fethullah YILDIZ

Bartın Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. M. Sabri GÖK

Bartın- 2017, sayfa: XVI +106

Bu çalışmada AISI 4140 çeliğinin yüksek sıcaklıklardaki kuru kayma aşınma davranışı incelenmiştir. Deneyler oda sıcaklığı, 100, 200, 300 ve 450 °C sıcaklıklarda 3, 5, 7 ve 10 N yükler altında 30x10 mm boyutunda hazırlanan numuneler üzerinde Pin On Disk aşınma cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Teste tabi tutulan numunelerin hacim kayıplarının belirlenmesinde 3D optik mikroskobundan faydalanılmıştır. Numunelerin aşınma yüzeylerinin morfolojisini belirleyebilmek için SEM (Scanning Elektron Microscopy) faydalanılmıştır. Ayrıca yüksek sıcaklık ve sürtünmeye bağlı olarak aşınma yüzeyinde meydana gelen oksit tiplerinin belirlenmesinde Raman spektrometresinden faydalanılmıştır. Sonuç olarak Artan yüke bağlı olarak numunelerdeki hacim kayıpları artmıştır. 300 °C gerçekleştirilen deneylerde hacim kaybı oranları diğer tüm numuneler ile kıyaslandığında daha düşük çıkmıştır. En yüksek hacim kayıpları 450 gerçekleştirilen deneylerde elde edilmiştir. Kuru-kayma işlemine tabi tutulan numunelerin yüzeylerinde tribolojik katman oluşmuştur. 100 °C ve 200 °C de gerçekleştirilen deneylerde tüm yüklerde delemantasyon tipi baskın aşınma mekanizması olmuştur. Bunun haricinde oksidasyon aşınma mekanizması da görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: AISI 4140; Yüksek sıcaklık aşınması; Kuru kayma; Oksidasyon

Bilim Kodu: 625.02.05

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

INVESTIGATION OF ABRASION BEHAVIOR OF AISI 4140 BARREL STEEL AT HIGH TEMPERATURES

Fethullah YILDIZ

Bartın University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Thesis Advisor: Assoc. Prof. M. Sabri GÖK

Bartın-2017, pp: XVI + 106

In this study, AISI 4140 steel was investigated for its high temperature sliding abrasion behavior. The experiments were performed with Pin On Disk wear device on specimens prepared with a size of 30x10 mm under loads of 3, 5, 7 and 10 N at the temperatures of 25 (room temperature), 100, 200, 300 and 450 °C. 3D optical microscopy was used to determine the volume losses of the samples. SEM (Scanning Electron Microscopy) was used to determine the morphology of the wear surfaces of the samples. In addition, Raman spectrometer was applied to determine the oxide types that occur at the wear surface due to high temperature and friction. As a result, the volume losses in the samples increased due to increment in the load. In the experiments performed at 300 °C, the volume loss rates were lower compared to the other samples. The highest volume losses were obtained in the experiments conducted at the temperature of 450 °C. A tribological layer was formed on the surface of the samples subjected to the dry-sliding process. In experiments carried out at 100 °C and 200 °C, the delamination type predominant wear mechanism was observed at all loads. Apart from this, oxidation wear mechanism was also observed.

Keywords: AISI 4140; High temperature wear; Dry sliding; Oxidation

Science Code: 625.02.05

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL VE ONAY	ii
BEYANNAME.....	iii
ÖNSÖZ.....	iv
ÖZET	v
ABSTRACT	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
TABLolar DİZİNİ.....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
BÖLÜM 1 GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti.....	1
BÖLÜM 2 KURAMSAL TEMELLER	7
2.1 Aşınma	7
2.1.1 Aşınma Sisteminde Temel Bileşenler	9
2.1.2 Aşınmanın Kullanımı	10
2.1.3 Aşınma Tipleri	11
2.1.3.1 Adeziv Aşınma	12
2.1.3.2 Abrasiv Aşınma	12
2.1.3.3 Korozyif Aşınma	12
2.1.3.4 Yüzey Yorulma Aşınması	13
2.1.3.5 Aşınma Şekillerinin Göreceli Önemi	13
2.1.4 Aşınma Mekanizmaları	14
2.1.4.1 Adhesiv Aşınma	14
2.1.4.2 Abrasiv Aşınma.....	18
2.1.4.3 Yorulma Aşınması.....	21
2.1.4.4 Oksidasyon Aşınması	22
2.1.4.5 Erozyon ve Kaviteasyon Aşınması	22
2.1.4.6 Kazımalı (Fretting) Aşınma.....	24

2.2 Çelik.....	25
2.2.1 Çelik Yapıları.....	26
2.2.1.1 Ferrit.....	27
2.2.1.2 Östenit.....	27
2.2.1.3 Sementit.....	28
2.2.1.4 δ -Ferrit.....	29
2.2.1.5 Perlit.....	29
2.2.1.6 Beynit.....	30
2.2.1.7 Martenzit.....	31
2.2.2 Çeliklerin Sınıflandırılması.....	32
2.2.2.1 Alaşımız Çelikler (Sade Karbonlu Çelikler).....	32
2.2.2.2 Alaşımılı Çelikler.....	33
2.3 Isıl İşlem.....	40
2.3.1 Isıl İşlem Hakkında Genel Bilgi.....	40
2.3.2 Sertleştirme Isıl İşlemleri.....	41
2.3.2.1 Normalizasyon.....	43
2.3.2.2 Gerilim Giderme Tavlaması.....	43
2.3.2.3 Tavlama.....	44
2.3.2.3 Sertleştirme.....	44
2.3.2.3.1 Su verme.....	44
2.3.2.3.2 Ostenitleme.....	45
2.3.2.3.3 Temperleme.....	45
2.3.2.4 Sıfır Altı (Kriyojenik) İşlem.....	47
2.3.2.5 Yüzey Sertleştirme İşlemleri.....	47
BÖLÜM 3 MATERYAL YÖNTEM.....	61
3.1 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM- Scanning Elektron Microscopy).....	61
3.2 Noktasal Analiz Çalışmaları (EDS- Energy Dispersive Spectroscopy).....	61
3.3 3D Optik Profilometre İncelemeleri.....	61
3.4 Sertlik Deneyleri.....	62
3.5 Kuru-Kayma Aşınma Deneyleri.....	62
BÖLÜM 4 BULGULAR VE TARTIŞMA.....	64

4.1 Sürtünme Katsayısı Değerlerinin Yüke ve Sıcaklığa Bağlı Olarak Değişimi	70
4.2 Aşınma Yüzey Fotoğrafları	77
BÖLÜM 5 SONUÇ VE ÖNERİLER	97
5.1 Genel Sonuçlar.....	97
5.2 Öneriler	98
KAYNAKLAR.....	99
ÖZGEÇMİŞ.....	105



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No	Sayfa No
1. Bir tribolojik sistemin DIN 50320 normuna göre şematik gösterimi.	9
2. Abraziv aşınma sırasında gözlemlenen temsili abraziv parçacıklarının transferini şematik gösterimi; (a) ince pul gibi ayrılan aşınma parçacığının abraziv transfer ve (b) kama benzeri şekilde bir aşınma parçacığının abraziv transferi (Bhushan, 2000).	17
3. Abrasiv aşınma tipinden iki elemanlı abrasiv aşınma.....	19
4. Abrasiv aşınma tiplerinden üç elemanlı abrasiv aşınma tipi.....	19
5. Abrasiv aşınma mekanizması.....	20
6. Eroziv aşınmadaki tipik olaylar	23
7. Sıvı partiküllerin çarpmasıyla bağlı olarak meydana gelen kavitasyon erozyonunun temsili gösterimi.....	24
8. Fe-C denge diyagramı (Karaaslan, 2010).	26
9. Ferrit yapısı.	27
10. Östenit yapısı (URL-1, 2017).....	27
11. Perlit matrisin tane sınırlarında çökelen semetit fazı (URL-2, 2017).	28
12. Perlit yapısı.	29
13. a-Beynit yapısının optik mikroskop görüntüsü b- Beynit yapısının TEM görüntüsü c- TEM'de alınmış beynit demetleri görüntüsü d- Beynit çekirdeklenmesinin ve büyümesinin şematik görüntüsü (Bhadeshia ve Honeycombe, 2006).	30
14. Martenzit mikro yapıları a- Çıta martenzit b- Tabkalı martenzit (Marder vd., 1970; Materkowski ve Krauss, 1979).	31
15. Takım çeliklerinin şekillendirme prosesi ve nihai sertleştirme işlemi öncesi ısıtma işlemleri: A ostenit, C karbürler, F ferrit, M martenzit.....	41
16. Takım çeliklerinde nihai ısıtma işlem basamakları.....	42
17. Karbon ve takım çelikleri ısıtma işlem sıcaklık aralıkları.	42
18. İndüksiyonla sertleştirme sonucu kafes yapısının değişimi.	49
19. 3D profil metre ile kesit yüzeyi görüntüsü.....	63
20. Farklı yük ve oda sıcaklığındaki numunelere ait hacim kaybı değerleri.	65
21. Farklı yük ve 100 °C sıcaklıktaki numunelere ait hacim kaybı değerleri.	66
22. Farklı yük ve 200 °C sıcaklıktaki numunelere ait hacim kaybı değerleri.	67
23. Farklı yük ve 300 °C sıcaklıktaki numunelere ait hacim kaybı değerleri.	68

24.	Farklı yük ve 450 °C sıcaklıktaki numunelere ait hacim kaybı değerleri.....	68
25.	Farklı yük ve farklı sıcaklıklardaki numunelere ait hacim kaybı değerlerinin bir arada gösterimi.....	69
26.	Farklı sıcaklıklarda (a- oda sıcaklığı, b- 100 °C, c- 200 °C, d- 300 °C, e- 450 °C) sabit yük (3N) ve zaman (sn) altında sürtünme katsayısı grafikleri.....	71
27.	Farklı sıcaklıklarda (a- oda sıcaklığı, b- 100 °C, c- 200 °C, d- 300 °C, e- 450 °C). sabit yük (5N) ve zaman (sn) altında sürtünme katsayısı grafikleri.....	73
28.	Oda sıcaklığında ve 3N yük altında aşınma testine tabi tutulan numunenin SEM yüzey görüntüsü.....	74
29.	Oda sıcaklığında ve 3N yük altında aşınma testine tabi tutulan numunenin EDS verileri.....	75
30.	300 °C sıcaklıkta ve 5N yük altında aşınma testine tabi tutulan numunenin EDS verileri.....	76
31.	Oda sıcaklığında ve 3N yük altında aşınma testine tabi tutulan numunenin SEM yüzey görüntüsü.....	77
32.	Oda sıcaklığında ve 3N yük altında aşınma testine tabi tutulan numunenin SEM yüzey görüntüsü.....	78
33.	Oda sıcaklığında ve 5N yük altında aşınma testine tabi tutulan numunenin SEM yüzey görüntüsü.....	79
34.	Oda sıcaklığında ve 7N yük altında aşınma testine tabi tutulan numunenin SEM yüzey görüntüsü.....	79
35.	Oda sıcaklığında ve 10N yük altında aşınma testine tabi tutulan numunenin SEM yüzey görüntüsü.....	80
36.	Farklı sıcaklıklarda (a- oda sıcaklığı, b- 100 °C, c- 200 °C, d- 300 °C, e- 450 °C) sabit yük (10 N) ve zaman (sn) altında teste tabi tutulan numunelerin raman analizi verileri.....	82
37.	100 °C sıcaklıkta ve 3N yük altında aşınma testine tabi tutulan numunenin SEM yüzey görüntüsü.....	84
38.	100 °C sıcaklıkta ve 3N yük altında aşınma testine tabi tutulan numunenin SEM yüzey görüntüsü.....	85
39.	100 °C sıcaklıkta ve 3N yük altında aşınma testine tabi tutulan numunenin SEM yüzey görüntüsü.....	86
40.	200 °C sıcaklıkta ve 3N yük altında aşınma testine tabi tutulan numunenin SEM yüzey görüntüsü.....	87

41.	200 °C sıcaklıkta ve 3N yük altında aşınma testine tabi tutulan numunenin SEM yüzey görüntüsü.	87
42.	200 °C sıcaklıkta ve 10N yük altında aşınma testine tabi tutulan numunenin SEM yüzey görüntüsü.	88
43.	300 °C sıcaklıkta ve 3N yük altında aşınma testine tabi tutulan numunenin SEM yüzey görüntüsü.	89
44.	300 °C sıcaklıkta ve 10N yük altında aşınma testine tabi tutulan numunenin SEM yüzey görüntüsü.	90
45.	300 °C sıcaklıkta ve 10N yük altında aşınma testine tabi tutulan numunenin SEM yüzey görüntüsü.	90
46.	300 °C sıcaklıkta ve 10N yük altında aşınma testine tabi tutulan numunenin EDS verileri.	92
47.	450 °C sıcaklıkta ve 10N yük altında aşınma testine tabi tutulan numunenin SEM yüzey görüntüsü.	93
48.	450 °C sıcaklıkta ve 10N yük altında aşınma testine tabi tutulan numunenin SEM yüzey görüntüsü.	94
49.	450 °C sıcaklıkta ve 10N yük altında aşınma testine tabi tutulan numunenin SEM yüzey görüntüsü.	94
50.	450 °C sıcaklıkta ve 10N yük altında teste tabi tutulan numunenin EDS analizi verileri.	95

TABLolar DİZİNİ

Tablo		Sayfa
No		No
1.	Sıvı çarpma açısının malzeme üzerindeki etkileri (Bhushan ve Gupta, 1991).	23
2.	Alaşımli çeliklerin bileşim aralıkları.....	35
3.	AISI 4140 çeliğinin kimyasal kompozisyonu (Kesti, 2009).	37
4.	AISI 4140 çeliğinin ısıt işleml özellikleri (Kesti, 2009).	38
5.	AISI 4140 çeliğinin mekanik özellikleri (Kesti, 2009).	38
6.	AISI 4140 çeliğinin elektriksel özelliği (Kesti, 2009).	38
7.	AISI 4140 çeliğinin ısıt işleml özellikleri (Kesti, 2009).	38
8.	Parçaya uygulanan frekans ve buna bağılı olarak sertleşme et kalınlıkları.....	50
9.	AISI 4140 çeliğinin kimyasal bileşimi.....	61

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

d	:	Yarıçap
L	:	Uzunluk birimi
V	:	Aşınma hacmi
H	:	Aşınan malzemenin sertlik değeri
W	:	Sabit yük
K_{ad}	:	Adheziv aşınmanın aşınma katsayısı
f	:	Frekans
kHz	:	Kilo hertz
A_{c1}	:	Ötektoid reaksiyon sıcaklığı
A_{c3}	:	Üst kritik sıcaklık
A_{cm1}	:	Alt kritik sıcaklık
M_s	:	Martenzit başlangıç sıcaklığı
α	:	Alfa
γ	:	Gama
δ	:	Delta
Fe_3C	:	Sementit
W/mK	:	Watt metre kelvin
J/kgK	:	Joule kilogram kelvin
μ	:	Mikro
g	:	Gram
m	:	Metre
mm	:	Milimetre
Km	:	Kilo metre

°C	:	Santigraderece
°	:	Derece
N	:	Newton
3D	:	3 dimension
π	:	Pi sayısı
P	:	Yük

KISALTMALAR

ASTM	:	American society for testing and materials
KHM	:	Kübik hacim merkezli
KYM	:	Kübik yüzey merkezli
SEM	:	Taramalı Elektron Mikroskobu
TEM	:	Transmisyon elektron mikroskobu
EDS	:	Enerji Dağılımlı X-ışını Spektroskopisi
dk	:	Dakika
CVD	:	Kimyasal buhar biriktirme
TT	:	Transfer Tabakası
MKG	:	Mekanik karışım gösteren tabaka
KT	:	Kompozit tabakası
kW	:	Kilo watt
MPa	:	Mega paskal
GPa	:	Giga paskal
HV	:	Vickers sertlik
HRC	:	Rockwell sertliği
HB	:	Brinell sertliği
XRD	:	X ray ışın kırınım cihazı

AFM : Atomik kuvvet mikroskopu
AISI : American iron and steel institute



BÖLÜM 1

GİRİŞ

Günümüz imalat sektörlerinde yaygın olarak kullanılan tribolojik sistemlerde korozyon ve yorulma sorunlarıyla birlikte ortaya çıkan üçüncü büyük sorunu aşınma olayıdır. Aşınma olayı teknik bir sorun olduğu kadar ülke ekonomisini de yakından ilgilendirir durumdadır. A.B.D.'de gerçekleştirilen bir araştırma sonucunda, çeşitli aşınma mekanizmalarıyla oluşan malzeme kaybının mali değerinin yıllık yüz milyar dolar olduğu tespit edilmiştir. Bu kayıp da yıllık brüt milli hasılanın % 6-7'sini oluşturmaktadır. Teknik mana da aşınma; birbiri ile temas halinde olan cisimlerin yüzeylerinde, mekanik bir neden veya mekanik bir enerji gibi mekanik etkenlerle mikro parçaların kopup ayrılması sonucu malzemede istenilmeyen bir değişikliğin meydana gelmesi olayıdır. Bu çalışmada AISI 4140 namlu çeliğinin yüksek sıcaklıklarda meydana gelen malzeme kayıplarını ele almıştır. Meydana gelen malzeme kayıplarının, oluşum mekanizmalarını ve sıcaklığın artışı ile aşınma mekanizmalarının hangi türde gerçekleştiğini, AISI 4140 namlu çeliğinin yüksek sıcaklıktaki aşınma davranışı olarak ortaya koymuştur.

1.1 Literatür Özeti

Çetin ve Gül (2007) yaptıkları çalışmada, malzeme matris yapısının küresel grafitli dökme demirin aşınma davranışına, aşınma esnasında meydana gelen sürtünme katsayısına ve pim sıcaklığına olan etkisini incelemişlerdir. Aşınma testlerini normal atmosfer şartlarında ve oda sıcaklığında, 1 ms^{-1} kayma hızında, 20, 40, 60 N yükler altında ve 3,6 km aşınma yolu kat ederek, disk üzerinde pim türü cihaz kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan testler neticesinde aşındırılan numune yüzeyleri tarama elektron mikroskopu (SEM) ile incelenmiştir. Aşınma testleri sırasında uygulanan yüklerin artmasına bağlı olarak döküm içyapısı ferritik olan KGDD'in aşınma hızı artarken, perlitik yapıdaki KGDD numunenin aşınma hızı azalmaktadır. Yapılan testle neticesinde perlitik KGDD'nin sürtünme katsayısı ve sürtünme sıcaklığının, ferritik yapıda olandan yüksek olduğu kanısına ulaşılmıştır. Deneysel sonuçlar, perlitik ve ferritik KGDD'lerin sürtünme katsayısının azalmasıyla, sürtünme sıcaklığının arttığını ortaya koymaktadır.

Karakan (2004) yaptığı çalışmada, AISI 1020 ve 4140 çeliklerine 1- 12 saat aralığındaki farklı işlem süreleriyle ve N₂, H₂, CO₂ gaz karışımlarında, ferritik ve ostenitik özellikteki plazma yöntemi kullanılarak nitrokarbürleme işlemi uygulanmıştır. Buna ek olarak plazma nitrüleme işlemi uygulanan numuneler de incelenmiştir. Yapılan çalışmada kullanılan AISI 1020 ve AISI 4140 çeliklerinin sertlikleri yapılan tavlama işlemi ile sırası ile 180 HV_{0.05}, 320HV_{0.05} değerlerine çıkartmışlardır. Nitrüleme işlemi yapabilmek için laboratuvar tipi plazma nitrüleme ünitesi kullanılmıştır. Numunelere temel metalografik işlemler uygulandıktan sonra 1, 2, 4, 8, 12 saat sürelerle plazma nitrüleme işlemine tabi tutmuşlardır. Ön işlemleri tamamlanan numuneler, pin-on-disk cihazında tribolojik özelliklerinin incelenmek üzere teste tabi tutulmuştur. Uygulanan testlerin neticesinde aşınma izlerini incelemek için, XRD, SEM, AFM ve Optik mikroskopları kullanılmıştır. Aynı zamanda numunelere mikro sertlik ölçümleri de yapılmıştır. Yapılan incelemeler sonucunda, ferritik ve ostenitik plazma nitrokarbürleme işleminin malzemelerin farklı şartlarda yüzey sertliği, yorulma ve aşınma dirençlerini artırdığı ve yüzey pürüzlülüğü ve sürtünme katsayısında artışa neden olduğu sonucuna varılmıştır.

Subaşı (2006) yaptığı çalışmada, farklı sertlik değerleri elde etmek için sertleştirme işlemine tabi tutulmuş AISI 4140 çelik numunelerin yorulma dayanımının kalıcı gerilmeye etkisini elektro ki yasal yöntem kullanarak araştırmışlardır. Deneyler sırasında 40, 45, 50 HRC sertliklerine sahip numuneler kullanılmıştır. Yorulma testlerini gerçekleştirmek için 2800 dev/dak shaft hızına sahip “masa üstü dönen eğmeli yorulma makinası” kullanılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda, sertleştirilen 4140 çeliğinin yorulma dayanımı ve kalıcı gerilmelerin değiştiği fakat bir artışın meydana gelmediği, optimum değerlerde (45 HRC sertlik değerinde) maksimum dayanıma ulaştığını sonucuna varmıştır.

Kesti (2009) yaptığı çalışmada, AISI 4140 çeliğinin farklı temperleme sıcaklıkları ve su verme ortamındaki malzeme üzerinde meydana getirdiği değişimleri araştırmıştır. Kullandığı numuneleri ısıtma işlemi görmemiş, sadece normalizasyon ısıtma işlemi uygulanmış, sadece sertleştirme yapılmış ve temperleme işlemi uygulanmış olmak üzere 4 grupta incelemiştir. Çalışmada darbe deneyi çekme deneyleri gerçekleştirilmiş ve bu deneyler sonucunda numunelerin mikro yapıları incelenmiştir. Aynı zamanda farklı su verme metotlarını kullanarak AISI 4140 çeliği mikro yapısındaki değişimde incelenmiştir. İncelemeler sonucunda, AISI 4140 çeliğine su ortamında soğutma işlemi uygulandığında çatlaklar, gerilmeler meydana geldiği fakat yağ ortamında soğutulduğunda, çatlak ve

gerilmelere rastlanmadığı tespit edilmiştir. Su verme ortamı ile birlikte çekme ve akma dayanımları temperleme sıcaklığının artmasıyla düşme meydana geldiğini tespit etmişlerdir. Mikroyapı görüntülerine bakıldığında sertleştirilen numunelerdeki meydana gelen yığılmaların oluşturduğu homojen olmayan yapı, normalizasyon uygulanan numunelerde homojen bir yapının olduğu tespit edilmiştir.

Dikmen (2010) yaptığı araştırmada AISI 4140, AISI 8620, AISI 1050 çelik türlerini farklı soğutma ortamlarında (su ve yağ) soğutma işlemi yaparak meydana getirdiği numunelere aşınma testleri uygulayarak aşınma davranışlarını incelemiştir. Aşındırma testlerini pin-on-disk cihazında gerçekleştirmiştir. Aşınma testleri sırasında aşındırıcı malzeme olarak nitrür işlemi görmüş GG30 malzemesini kullanmışlardır. Deney için 12,7 mm çap ve 12,7 mm yüksekliğine sahip numuneler kullanmışlardır. Aşınma testlerini 20 dakikalık sabit zaman aralığında, 300 d/d devirde ve 62, 72, 82 N farklı yükler altında gerçekleştirmiştir. Aşınma testleri tamamlanan numunelerin optik mikroskopta görüntüleri alınmıştır. Aşınma testleri sırasındaki sürtünme katsayısı temas kuvveti ve kayma süresi sürtünme katsayısı grafikleri çıkartılmıştır. Çalışmalar neticesinde, AISI 4140 çeliği suda sertleştirme yöntemi ile sertlik değeri yüksek ve homojen sertliğe ulaştığından dolayı aşınma miktarı en düşük seviyede, sürtünme katsayısı ise en yüksek değerlere sahip olduğunu tespit etmiştir. Belirli bir derinliğe kadar sertleştirdiği AISI 1050 çeliğinin aşınma kaybında artış gözlemiş fakat belirli derinliğe kadar homojen sertleştiğinden çok aşırı kayıplar tespit edilememiştir. Son olarak AISI 8620 çeliği incelendiğinde çok zor ve az sertlik sahibi olduğundan dolayı aşınma kaybı çok miktarda gerçekleştiği tespiti yapılmıştır.

Wei vd. (2009) H13, H21 ve dökme kalıp çeliği üzerine oda sıcaklığında ve 400 °C sıcaklıklarında pin-on-disk aparatının kullanarak 50, 100, 150, 200 ve 250 N yükleri altında aşınma testleri yapmışlardır. Yapılan aşınma testleri sonucunda atmosferik (oda) şartlarında oksidasyon tipi aşınma mekanizmasının meydana gelen aşınmada baskın mekanizma olduğunu belirlemişlerdir. Aşınmada kullandıkları yüklerin artmasıyla birlikte hem H13 hem de H21 çeliğinde yumuşak aşınma türünden sert aşınma türüne geçiş olduğunu gözlemlemişlerdir. Ancak dökme çelikte herhangi bir değişim gözlememişlerdir. Dökme çelik H13 ve H21 ile kıyaslandığında daha düşük aşınma değeri sergilemiştir. Bunun sebebini dökme çelik içerisinde oluşan trostit fazına bağlamışlardır. Ayrıca yapıda oluşan VC oluşacak deformasyonu oksitlerin altında bulunan matris içerisindeki çatlak yayılımını önlemiştir. Bu durum ise deleminasyon oluşumunu geciktirmiştir.

Kato vd. (2016) tren yolu tekerleklerinde kullanılan 4140 ıslah çeliklerini özellikle ağır yüklere maruz kalan tren tekerlerinde termo mekanik soyulma adıyla bilinen hasar mekanizmasının oluşumunu incelemişlerdir. Bu hasar mekanizmasında fren etkisi ile oluşan yüksek sıcaklığın diğer hasar mekanizmalarına göre (yuvarlanmadan dolayı etkileşim sonucunda meydana gelen yorulma) daha önemli olduğunu ve tekerleklerin servis ömürlerini kısıtladığının vurgulamışlardır. Bu amaçla yuvarlanmalı etkileşimli yorulma aşınmasını hem normal hem de 500 °C ye varan sıcaklıklarda incelemişlerdir. Deney sonucunda yüksek sıcaklıklarda ve daha düşük sıcaklık ancak uzun çalışma şartlarında daha yüksek aşınma oranları elde etmişlerdir. 500 °C sıcaklıklarda mikro yapıda değişim gözlemlendiğini buna bağlı olarak da malzemede yumuşama meydana geldiğini belirtmişlerdir.

Wei vd. (2011) yaptıkları çalışmada H21 sıcak iş takım çeliğini oda ve 400 °C sıcaklıklarda pin-on-disk aparatı ile aşındırmışlardır. Aşınmış yüzeylerin morfoji ve faz değişimleri X-Ray ve SEM cihazları ile incelemiş ve aşınmanın malzeme yüzeyinde meydana getirdiği değişimi incelemiştir. XRD sonuçları oksidasyon aşınma mekanizmasının başlangıç aşınma mekanizması gösterdi. Fe_3O_4 ve Fe_2O_3 tespit edilerek oksit tabakaları oluşmuştur. Artan yükte birlikte plastik deformasyonun varlığı açıkça görülmeye başlandı. Yükün artması ile birlikte mikro yapısının etkilemeye başladığı ve buna bağlı olarak da numunenin aşınma direncini değiştiği gözlenmiştir. 50-100 N luk yükler altında çeliğin aşınma kayıpları düşük olarak gerçekleşmiştir. Ancak çelik mikro yapısında değişimlerin başladığı belirtilmiştir. Yükün 150-200 N çıkarılması ile aşınma kayıplarının de yükselmeye başladığı görülmüştür.

Karamış ve Gerçekçioğlu (2000) yaptıkları çalışmada AISI H13 ve 722M çeliklerinde çıkarılan beyaz tabakanın ve nitrürlenmiş plazmanın aşınma davranışlarını incelemişlerdir. 100 saat boyunca 530 – 590 °C sıcaklıklarda nitrasyon yapılan test numunelerinden hazırlanan numuneler yağlanmış aşındırıcı koşullar altında 50-200 °C sıcaklıklarda test edilmiştir. Numunelerin aşınma davranışları oda ve kuru koşullarda gözlemlenenen tamamen farklıdır. Sürtünme katsayıları test koşulları altında artmasına rağmen nitrasyonlu tabakanın yumuşaması nedeniyle aşınma hızı ve yüzey pürüzlülüğünün test sıcaklıklarında azaldığı gözlemlenmiştir. Plazma nitrürlemesi sırasında oluşan beyaz tabakanın çıkarılması

aşınma direncinin artmasına yardımcı olur. Öte yandan yağlayıcıdaki aşındırıcı partiküller yumuşak yüzeye nüfuz eder ve aşınmaya karşı yüzeyi korur.

Hardell ve Prakash (2010) yaptıkları çalışmalarında nitrürlenmiş plazma ve yüzey kaplamalı (CrN ve TiAlN) takım çeliğinin AISI52100 taşıyıcı çeliğe karşı sürtünme esnasında sürtünme ve aşınma özellikleri, oda sıcaklığında ve 400 °C sıcaklıkta disk makinesi üzerinde bir bilye kullanılarak incelenmiştir. Test numunelerinin yüzey hasarı sonuçları ve yüzey topoğrafyasını incelemek için SEM/EDS teknikleri kullanılmıştır. Test sonuçları rulo çelik bilyeye karşı kayma esnasında plazma nitrürü iş çeliğinin sürtünmesinin oda sıcaklığında çok yüksek olduğunu ve 400 °C de önemli derecede düştüğünü göstermiştir. CrN kaplı takım çeliğinin sürtünmesi yüksektir fakat oda sıcaklığında aşınma göz ardı edilebilir. 400 °C sürtünmenin azaldığı ve rulmanlı çeliğin kaplanmış (CrN) diske transferi gözlenmiştir. TiAlN kaplaması oda sıcaklığında daha düşük sürtünme ve ihmal edilebilir. 400 °C de sürtünme çok yüksek ve dengesizdir. TiAlN kaplamanın çiftleşme topuna aktarımı gerçekleşir. CrN ye kıyasla aşınma göstermiştir.

Pauschitz vd. (2008) yaptıkları çalışmalarında seçilen metalik malzemelerin yüksek sıcaklıktaki aşınmadan dolayı meydana gelen durumunu ortaya koymuştur. Çeşitli metallerin ve alaşımların yüksek sıcaklık aşınmasının mevcut seviyesinin gözden geçirilmesi ile başlayarak, yüksek sıcaklık kayma aşınması üzerine son yıllardaki önemli gelişmelerden bahsetmişlerdir. Viyana Teknoloji Üniversitesi triboloji yeterlilik merkezinde yapılan çalışmalar, son zamanlarda yapılan detaylı araştırma ve gözlemler doğrulamaktadır. Son literatürden spesifik özellikler olarak yüksek sıcaklık aşınması sırasında çeşitli katman tiplerinin oluşum mekanizmalarından bahsetmişlerdir.

Parthasarathi vd. (2013) yaptıkları çalışmalarında, AISI L(N) pazlanmaz çeliğinin kayma aşınmasına etkisini incelemişlerdir. Kayma aşınma deneyleri ASTM standartları G99-05 uyarınca bir pin-on-disk cihazında yapılmıştır. 20 N sabit yükte ve 0,8 m/s kayma hızında, maksimum 550 °C ye kadar çeşitli sıcaklıklarda gerçekleştirilmişlerdir. Test sonuçları aşınmanın sıcaklık ile önemli derecede arttığını göstermiştir. Aşınmış yüzey tipografisinin karakterizasyonu için Talysurf CL 100 yüzey profilometresi kullanarak kapsamlı profilometre çalışması yapılmış ve Ra (aritmetik ortalama sapması), Sa (yüzeyin aritmetik ortalama sapması) gibi parametreler hesaplanmış ve değerlendirilmiştir. Sürtünme

aşınması sırasında sıcaklık arttıkça malzeme kaybı artmış ve daha yüksek yüzey pürüzlülüğü verileri elde edilmiştir.

Karakan vd. 2004 yaptıkları çalışmalarında 1, 2, 4, 8 ve 12 saat ve 570 °C de % 49 N₂ + % 49 H₂ ve % CO₂ oranlarında bir gaz karışımı ile nitrokarbürüze ettikleri AISI 4140 çeliğinin tribolojik davranışlarını incelemiştir. Nitrokarbonize çeliğin yapısal, mekanik ve tribolojik özellikleri bir X ışını kırınımı, mikro sertlik test cihazı, taramalı elektron mikroskobu (SEM), optik mikroskop ve pin-on-disk tribolojik testler kullanılarak analiz edildi. Sonuçlar bileşik tabanın ϵ ve γ' demir karbonitrürlemede oluştuğunu göstermiştir. Ek olarak bileşik tabaka bir sütun yapısına sahip yüzeye açık gözenekleri içermektedir. Azot karbürleme işlemi yüzey sertliği ile birlikte yüzeyin pürüzlülüğünü ve sürtünme katsayısını da artırmaktadır. Aşınma oranı plazma nitrokarbürleme işleminden sonra gelişir ve yüzey sertliği arttıkça azalır.

BÖLÜM 2

KURAMSAL TEMELLER

2.1 Aşınma

Triboloji etkileşim halindeki yüzeyleri, etkileşim bölgeleri arasındaki durumlarını inceler. Triboloji disiplinler arası bir alandır. Fizik kimya makine mühendisliği ve malzeme mühendisliği, bu disiplinlerin esas olanlarıdır. Tribolojinin teknoloji de sıra dışı bir önemi vardır. Triboloji de yüzeyler arası bir etkileşim olsa da tribolojinin daha iyi anlaşılabilmesi için malzemenin atom yapısı, tane yapısı, mekanik özellikleri kimyasal bileşimi ve yüzey topoğrafyası etkili parametreler içerisindedir (Gediktaş, 1970; Demirci, 1982; Gök, 2008).

Aşınma; kullanılan malzemelerin yüzeylerine gaz, sıvı ve katıların teması neticesinde çeşitli mekanik etkenlerle malzemenin temas halinde olan yüzeyinden mikro tanelerin kopması neticesinde meydana gelen yüzey deformasyonu olarak tanımlanmıştır (Gediktaş, 1970; Demirci, 1982; Gök, 2008).

DIN 50320 ve ASTM G4093 standartlarına göre aşınma, “kullanılan malzemelerin başka malzemelerle (katı, sıvı veya gaz) teması sonucu mekanik etkenlerle yüzeyden küçük parçacıkların ayrılmasıyla meydana gelen ve istenmeyen yüzey bozulması” şeklinde tanımlanmaktadır (Korkut, 1997).

Aşınma hakkında yapılan kabul görmüş tarifler şunlardır:

- “Bağıl hareket halinde olan karşılıklı yüzeylerden birinde veya ikisinde meydana gelen malzeme kaybıdır.” (Akbulut, 2006; Evcin, 2006).
- “Katı parçaların yüzeylerinden tribolojik etkenlerle sürekli olan malzeme kaybıdır.” (Akbulut, 2006; Evcin, 2006).
- “Tribolojik sistemde Kullanılan malzemelerin yüzeylerine gaz, sıvı ve katıların teması sonucunda çeşitli etkenlerle malzemenin temas yüzeyinden mikro

parçacıkların kopması sonucu meydana gelen yüzey deformasyonudur.”
(Akbulut, 2006; Evcin, 2006).

- “Cisim yüzeylerinin, daha ziyade mekanik zorlamalardan dolayı, bazı hallerde kimyasal etkenlerle küçük parçacıkların ayrılması neticesinde değişime uğramasıdır.” (Akbulut, 2006; Evcin, 2006).
- “Aşınma, sürtünen yüzeylerde malzemenin mekanik etkenlerle ve istenilmediği halde kopup ayrılmasıdır.” (Akbulut, 2006; Evcin, 2006).
- “Mekanik bir etkinin neticesinde, bir yüzeyden parçacıkların yavaş olarak kalkmasıdır.” (Akbulut, 2006; Evcin, 2006).
- “Tribolojik sistemi oluşturan eleman ve faktörlerin birbiri ile etkileşimlerinin ortak bir mahsulüdür.” (Akbulut, 2006; Evcin, 2006).

Bu tariflerin bütününe kapsayan genel bir tarif şu şekilde verilebilir:

“Aşınma; kullanılan malzemelerin yüzeylerinin daha ziyade mekanik (enerjiler ve mekanik etkiler) olarak etkilenmesi ile küçük parçacıkların ayrılması sonucu istenilmeyen şekilde meydana gelmesidir”. Bu umumi tanıma göre meydana gelen deformasyonuna aşınma adını verebilmemiz için aşağıdaki şartları sağlaması gerekir:

- Mekanik bir etkinin olması,
- İzafe hareket (sürtünme hareketinin olması),
- Yavaş, fakat sürekli olması,
- Cisim yüzeyinde farklılık meydana getirmesi,
- İstenmediği halde meydana gelmesi (Evcin, 2006).

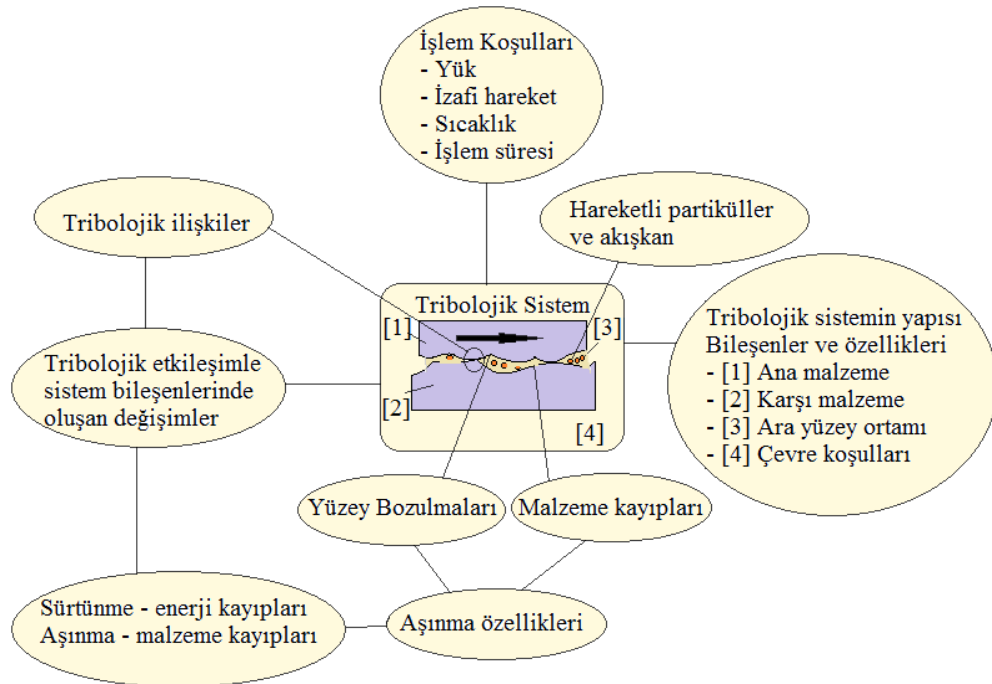
Yukarıda belirtilen etkilerin dışında herhangi bir sebepten dolayı deformasyon meydana geliyor ise aşınmanın diğer deformasyonlarla beraber olduğu söylenebilir. Fakat bu şartlar herhangi birini gerçekleştiriyorsa bu deformasyon türünün aşınma olarak tanımlanması mümkün değildir.

Aşınma genellikle önceden bilinen bir hasar çeşididir. Birbiri ile temas halinde bulunan malzeme yüzeyleri, oksit filmleri veya yağlayıcılar ile korunmasına rağmen, mekanik yüklemeler altında oksit tabakasının veya yağlamanın özelliğini kaybetmesi, iki malzeme yüzeyinin birbirine doğrudan (ara tabaka bulunmadan) temasına sebep olabilir. Bu temas sonucu oluşan sürtünme, cisimlerin çalışma koşullarındaki performansını ve ömrünü belirleyen aşınmaya yol açar. Bu deformasyon çalışma şartlarına uygun mekanizma tasarımı, malzeme seçimi, filtreleme ve yağlama gibi unsurlarla en az seviyeye düşürülebilir, fakat kesinlikle tamamen ortadan kaldırılamaz (Özocakcıoğlu A., 2016).

2.1.1 Aşınma Sisteminde Temel Bileşenler

Aşınma olayını çok özel bir malzeme özelliği olarak düşünmeyip, olayı bir sistem bütünlüğü içinde değerlendirmek gerekir. Bu sisteme teknikte “tribolojik sistem” olarak adlandırılmaktadır.

Tribolojik sistem olarak değerlendirilen bir aşınma sisteminde bulunması gereken temel elemanlar; ana malzeme (aşınan), karşı malzeme (aşındıran), ara malzeme, yük (temas kuvveti), izafi hareket ve çevredir. Bir tribolojik sistemin temel bileşenleri standartlara uygun şekilde şematik olarak Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1: Bir tribolojik sistemin DIN 50320 normuna göre şematik gösterimi.

- Ana Malzeme (Aşınan): şekil durumunu, yüzey yapısını, fiziksel ve kimyasal özelliklerini, tamamen belirli olan ve aşınma özelliği incelenen katı parça şeklinde tanımlanabilir.
- Karşı Malzeme (Aşındıran): Aşınmanın oluşumunda yüksek öneme sahip olan karşı sürtünme elemanı olarak gaz, sıvı ve katı bir cisim olabilir. Bu karşı sürtünme elemanı temel sürtünme elemanı ile birlikte bir aşınma çiftini meydana getirmektedirler.
- Ara Malzeme: Esas sürtünme elemanı ile karşı sürtünme elemanı arasında katı, sıvı, gaz, buhar veya bu elemanların karışımı şeklinde bulunan parçacıklardır. Misal olarak bu ara maddeyi, temas yüzeyleri arasına herhangi bir sebeple girmiş kum partikülleri oluşturabileceği gibi, aşınma meydana geldiği sırada kopan parçacıklar da ara madde görevini üstlenebilir.
- Yük: Etki eden kuvvetin büyüklüğü, türü (statik, dinamik, darbeli veya titreşimli olup olmadığı), doğrultusu ve zamana göre değişimi yüklemenin şiddetini belirleyen etmenleri oluşturur.
- İzafi Hareket: Temel sürtünme elemanının karşı sürtünme elemanına göre izafi hareketinin cinsi (kayma yuvarlanma veya çarpma etkilerinden hangisinin ağırlıkta olduğu), büyüklüğü ve doğrultusu ile belirlenir.
- Çevre: Sistemi içine alan ve genellikle sıvı veya gaz halinde bulunan ortamdır. Su, hava ve gazlar teknikte en sık rastlanılan çevre ortamlarıdır.

2.1.2 Aşınmanın Kullanımı

Aşınma olayını çevremizde genellikle zarar, hasar olarak tanımlansa da malzemeler arasında olan aşınmanın bazı faydalı yönlerinin de bulunmaktadır. Aşınmanın faydalı yönleri aşağıda özetlenmiştir;

Yüzeylerin meydana getirilmesi: İmal edilmiş bir eşyada bir yüzey oluşturmanın birçok yöntemi, aşınma olgusunu kullanmaktadır. Bu kullanıma örnek olarak eğe, zımpara

(abrasiv kâğıtlar) gibi araçların gerçekleştirdiği abrasiv prosesler örnek olarak verilebilir. İmal edilmiş olan bir parça yüzeyinin şeklini değiştirmenin yararlı yöntemi de kum püskürtmedir.

Keskin kenarların korunması: Günlük kesme işlerimizde kullandığımız bir bıçağın keskin bir kenara sahip olması gerekir. Bıçağı kullandığımızda keskin kenar körlenecek olursa kesme işlemi tüm performansını kaybetmiş olur ve kesme işlemine rahatlıkla devam edilemez hale gelir. Körlenen keskin kenarı tekrar aynı performansa çıkarması için yine bir aşınma mekanizması ile işlem yapmamız gerekir. Ayrıca bazı durumlarda aşınma devamlı olarak keskin kenarı bileyecek şekilde davranmaktadır.

Yine günlük hayatta kullanılan tıraş makinesi ve kıyma çekme makinesinde alt etkileşim yüzeyi boyunca Adeziv aşınma, kesme kenarını keskin vaziyette tutacak biçimde iş görmektedir.

Bir başka yöntem, çok zarif biçimde kemirici hayvanlarda görülmektedir. Buna örnek olarak, tavşanlar verilmektedir. Bu hayvanın kesici olarak kullandıkları ön dişleri, dış kavisli yüzey boyunca sert bir mineyle kaplıyken, dişin iç tarafında ise yumuşak bir dentin mevcuttur. Bu sebepten daha yumuşak tarafta daha hızlı oluşan abrasiv ve Adeziv aşınma, dişlerin keskinliğini sürdürecektir biçimde işlev görür. Kâinatın mükemmel düzenden örnek alan insanoğlu ürettiği kesici aletlerde bu prensibi kullanmıştır. Örnek olarak da tungsten karbür ile kaplı bıçaklar, bir bölgesi sertleştirilmiş saban demirleri verilmektedir (Oğuz, 1993).

2.1.3 Aşınma Tipleri

Günümüze kadar olan modern bilim adamları birçok kez aşınma şekilleri olarak sınıflandırılan bazı süreçlerin yanı sıra dört temel aşınma şeklini tespit ederek meydana çıkarmışlardır. Her bir aşınma süreci kendine özgü kanuna uymakla beraber, diğer aşınma süreçlerini de etkiler. Bu sebepten araştırmacı bu karmaşık durumu aydınlatmak ve aşınmanın asıl nedenini tespit etmek zorundadır.

Diğer başka bir yaklaşım olarak, kayan malzemelerin yüzeylerini incelemek olup, bu aşınma sistemi gerçekleşmeden varılmasının gerektiği öz aşınmanın tespit edilmesini mümkün kılar. Sonuç olarak, temiz ve düzgün alüminyum malzemesinden yüzeyin aynı

biçimde temiz ve düzgün çelik malzemesi üzerine kayarak hareket etmesi sonucunda, ana malzeme ve karşı malzeme yüzeyleri arasında parçacık geçmesi ve yüzeylerde çiziklerin oluşumu söz konusudur. Meydana gelen aşınma türünün etkileşimde bulunan yüzeylerin incelenmesi sonucunda bu aşınma türünün abrasiv tipte bir aşınma olduğu değerlendirilmesi yapılır. Bu aşınma tipinin en önemli ipucu çiziklerin oluşması olarak bilinmektedir

2.1.3.1 Adeziv Aşınma

Adeziv aşınma şekli, iki adet temiz, düzgün malzeme yüzeylerinin birbiri üzerinde kayarak hareket etmesi ve bu kayma hareketinin sonucunda bir yüzeyden kopan partiküllerin diğer bir yüzeye yapışması halinde meydana gelir. Daha sonraki süreçte bu partiküller üzerine yapıştıkları malzeme yüzeyinden kopup, ilk ayrıldığı yüzeye geri gelebilirler veya serbest aşınma taneciklerini (ara malzeme) meydana getirebilirler.

Adeziv aşınma, malzeme atomlarının çok yakın etkileşim de bulunduğu her bölgede meydana gelmektedir. Kayma hareketi esnasında, etkileşim halinde olan yüzeylerden birinde küçük bir lokal bölüm, diğer etkileşimde bulunan yüzeydeki benzer bir lokal bölüm ile temasta bulunur ve küçük ama sınırlı bir olasılıkla temas kırıldığında, kırılma iki yüzey arasında değil malzemelerin birinde meydana gelir (Özsaraç, 1999).

2.1.3.2 Abrasiv Aşınma

Abrasiv aşınma, sert ve pürüzlü bir malzeme yüzeyinin veya sert parçacıklar içeren yumuşak bir malzeme yüzeyinin, daha yumuşak bir malzeme yüzeyi üzerinde kayma hareketinde bulunup malzeme üzerinde oluk açması ile meydana gelen aşınmadır. Malzeme üzerindeki oluklarda çıkan malzeme, aşınma parçacıkları şeklinde adlandırılıp, genellikle serbest halde bulunurlar (Özsaraç, 1999).

2.1.3.3 Koroziyel Aşınma

Bu aşınma tipi, malzemeler arasında gerçekleşen kayma hareketinin koroziyel bir çevrede meydana gelmesi durumunda oluşan aşınma tipidir. Malzeme yüzeyleri arasında kayma hareketi bulunmadığı zaman, korozyon mahsulleri malzeme yüzeyleri üzerinde bir film

tabakası oluştururlar; oluşan bu film tabakası korozyonu yavaşlatır ve hatta durdurur, ama kayma hareketi korozyon atağı sürekli devam ettiğinden bu film görevini yapamamaktadır (Özsaraç, 1999).

2.1.3.4 Yüzey Yorulma Aşınması

Yüzey yorulma aşınması tipi, herhangi bir iz üzerine tekrarlama ya da yuvarlanma hareketi sırasında meydana geldiği bilinmektedir. Tekrarlanan yükleme ve boşalma yüklerine maruz kalan malzemelerin yüzeyinde ya da yüzeyinin altında çatlaklar oluşabilir. Bu çatlakların oluşması sonucunda iri parçalar meydana gelir. İri parçaların kırılmasıyla malzeme yüzeyinde büyük çukurlar oluşmasına neden olurlar (Özsaraç, 1999).

2.1.3.5 Aşınma Şekillerinin Göreceli Önemi

Karşımıza çıkan dört aşınma şeklinin varlığı karşısında, kayma hareketi ile temas durumunda bulunan malzemelerin her şeye rağmen yüksek performanslı ömre sahip olmaları önemli bir noktadır. Bununla birlikte aşınma şekillerinin bir tanesi dışında tüm aşınma şekillerinin yok edilebileceği ve o bir tanesinin de alınan önlemler ile büyük ölçüde azaltılabileceği bilinmelidir.

Sert, pürüzlü malzeme yüzeyinin olması veya sert abrasiv tanelerin kayma hareketi yapan daha yumuşak iki malzeme yüzeylerinde bulunması halinde sadece abrasiv aşınma meydana gelmektedir. Bu aşınma sisteminde sert malzeme yüzeylerinin pürüzsüz ve çok düzgün bir şekil alması sağlandığında ve iki yüzey arasında bulunan abrasiv tanelerin bulunmasının önüne geçildiğinde abrasiv aşınma yok edilebilir. Aynı mantık ile korozif aşınmada birbiri üzerinde kayma hareketi yapan malzemelerin çalıştıkları çevre yağlayıcılarla kimyasal reaksiyona girmeleri engellendiğinde bu aşınma tipi de yok edilebilir.

Yüzey yorulma aşınması, sadece kayma hareketi yapan yüzeyde malzeme hacminin defalarca gerilip, gerilmenin ortadan kalması durumunda yüzey yorulma aşınması meydana gelir. Bu sebepten diğer aşınma şekillerinin meydana geldiği sistemlerde görülmesi mümkün değildir. Bu durumda diğer aşınma şekillerinde malzeme yorulmaya fırsat bulamadan malzeme yüzeyinden parça kaldırırlar. Bu yorulma aşınması çimento fabrikalarında bulunan döner fırın çemberlerinin üzerinde döndükleri merdane çiftlerinde

görülmüştür. Ağır baskı neticesinde merdanelerin temasta bulunan yüzeylerinden küçük tabakalar (pul pul) halinde parça kopmaları olduğu gözlenmiştir (Özsaraç, 1999).

İncelemeler neticesinde Adeziv yapışmanın en az engellenebilir bir aşınma şekli olduğu tespit edilmiştir. Bilindiği kadarıyla bir biri ile etkileşim (temas) halinde olan iki katı cismin kayma hareketi yaptığı tüm mekanik sistemlerde bu aşınma şekli evrensel olmaktadır, dolayısıyla yok edilemez sadece etkisi azaltılabilir.

Adeziv aşınma, aşınma sistemlerinin en evrenseli olması bu aşınma şeklinin en tehlikeli aşınma şekli olacağını engellemez. Adeziv aşınmanın şiddeti genellikle minimum seviyededir. Diğer aşınma şekillerinin misal olarak abrasiv aşınma şeklinin beklenmedik bir anda aniden meydana gelmesi genellikle umulmadık yüksek aşınma bölgeleri ve mekanizmalarının erken ortaya çıkmasındandır (Özsaraç, 1999).

2.1.4 Aşınma Mekanizmaları

Aşınma mekanizmalarından Adhesiv, abrasiv, yorulma, oksidasyon, erozyon, kazımalı aşınma mekanizmaları bu bölümde açıklanmıştır.

2.1.4.1 Adhesiv Aşınma

Bir yük altında etkileşimli iki yüzey arasındaki plastik deformasyon, gerçek ara yüzeyde kayma ve kesme kuvvetlerine maruz kalır. Eğer malzeme kayma davranışına (kuvvetine) karşı koyabilecek mukavemete sahip ise dislokasyon hareketinden kaynaklanan sıkıştırma ve kesme kuvveti sergiler. Etkileşim bölgelerindeki bu büyük deformasyonların sonucu olarak malzeme içerisinde oluşacak olan çatlaklar çekirdeklenmeye başlar. Malzeme üzerinde oluşan normal ve tanjantal kuvvetlerin de etkisiyle bu çekirdeklenmeler büyüyerek çatlaklar halinde malzeme içerisinde yayılmaya başlar. Oluşan bu çatlaklar etkileşim ara yüzeyine ulaştığında ortamda aşınma parçacıkları meydana gelir. Adhesiv aşınma temas yüzeyleri arasındaki transferini tamamlamış olur. Etkileşim ara yüzü yeterli seviyede adhesiv aşınma mukavemetine ulaştığında oluşan aşınma türü adhesiv aşınma olarak tanımlanır (Garnham, 1995).

Yapışma aşınması olarak ta isimlendirilen adhesiv aşınma, hayatımızda görülen en yaygın rastlanan aşınma mekanizması olmasına rağmen içerisinde bulunduğu sistemin aşınma hasarlarını hızlandırıcı etkisi bulunmamaktadır (Aslan, 2002).

Adheziv Aşınma Hacminin Tahmini

Gerçek etkileşim noktalarının tamamının “k” olduğunu düşünelim. Yeni meydana gelen temas yeri, mevcut temas yerinin ortadan kaybolduktan sonra meydana gelmesi durumunda kayma sırasındaki toplamda gerçekleşen temas sayısı “k” ile sabit durumda kalır. Dairesel bir etkileşim alanı olduğunu düşünürsek yarıçapı d, 2d mesafe kaymasından dolayı meydana gelen aşınma partiküllerinin muhtemel hacmi $2 \pi d^3 / 3$ ile yarım küre hacmi olarak kabul edilir (Bhushan, 2000). Bu varsayımları esas alarak, “M” kadar yol aldıktan sonra k etkileşim yeri için muhtemel aşınma hacmi V (Eşitlik 1):

$$V = k * \frac{2}{3} \pi d^3 * \frac{M}{2d} \quad (1)$$

Meydana gelen plastik deformasyon, ortamdaki sabit basınç altında hasara uğrayan malzemenin sertlik değeri yaklaşık olarak H eşit olduğundan, k etkileşim yerleri $k\pi d^2$ için toplam gerçek etkileşim alanı aşağıdaki şekilde ifade edilir (Eşitlik 2):

$$k\pi d^2 = \frac{W}{H} \quad (2)$$

Eşitlik 1'in içine Eşitlik 2'ye ilave ederek, L kayma sonrası mesafe, W sabit yük, olası hesaplanan aşınma hacmi V Eşitlik 3'te verilmiştir.

$$V = \frac{1}{3} * \frac{WL}{H} \quad (3)$$

Adhesiv aşınma hacmi yukarıda ki Eşitlik 3'te de görüleceği üzere cisimlere uygulanan sabit yük ve malzemelerin kayma hareketi yaptığı kayma mesafesi ile doğru orantılı, etkileşimde bulunan malzemelerin sertlikleri ile ters orantılı olduğu görülmektedir.

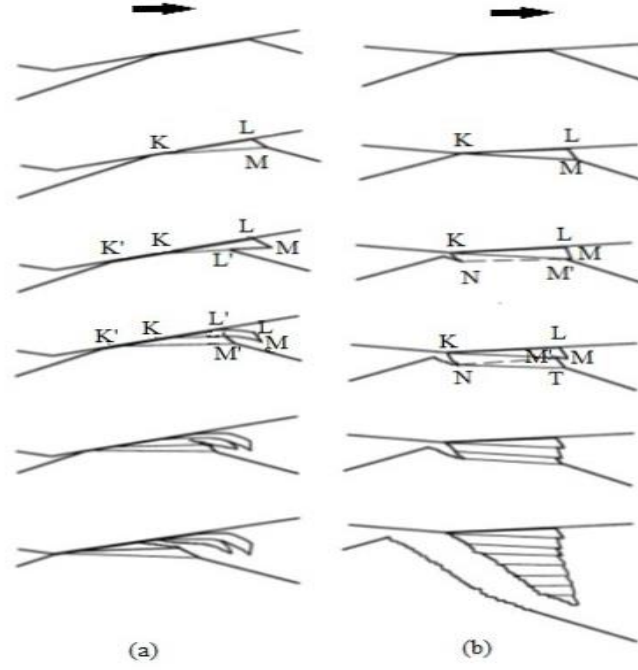
Adhesiv aşınmanın, malzemelerin kayma hareketi yaptığı sırada gerçek toplam etkileşim alanı ile orantılı olduğu Eşitlik 2'yi göz önüne aldığımızda görmekteyiz. Fakat sistemdeki aşınma mekanizması sonucunda oluşan aşınma parçacıklarının boyutu sadece etkileşim alanının boyutu ile bağlı değildir (Bhushan, 2000)

Uygulamada ise, adhesiv aşınma farklı şekillerde de meydana gelmesi mümkündür. Ayrıca malzemeler arasında meydana gelen aşınmada oluşan aşınma parçacıkları her zaman sadece sertliği düşük olan (yumuşak) malzemeden meydana gelmeyebilir. Sertlikleri birbirinden farklı (sertliği yüksek ve/veya sertliği düşük) her iki malzemeden de oluşabilir. Her etkileşim bölgesinde ortama aşınma parçacığı üretme olasılığı da eşit oranda değildir. Ortamdaki üretilen aşınma parçacıklarının üretilme olasılığı mikroskobik düzeydeki etkileşim şekline, mikroskobik düzeydeki yüzey kirliliğine ve diğer unsurlara bağlıdır. Yukarıda anlatılan tüm bu değişkenler karşılamak maksadıyla Eşitlik 3' teki aşınma hacminin hesaplanmasındaki formüle bir K_{ad} değişken parametresi ilave edilmelidir. Bu ilave ile aşınma hacminin hesabı aşağıdaki biçimde ifade edilmektedir (Eşitlik 4):

$$V = K_{ad} * \frac{WL}{H} \quad (4)$$

Bu formülde K_{ad} adhesiv aşınmanın aşınma katsayısı olarak adlandırılır. Birbiri ile sürtünen malzeme çiftinin meydana gelebilecek aşınma oranının hesaplanmasında temel bir katsayıdır. Kuvvetin büyüklüğüne etki eden malzeme özellikleri, sıkıştırma ve kesme alanının geometrisi ve fiziksel etmenleri plastik etkileşim bölgesindeki aşınma oranı K_{ad} 'yi etkileyen unsurlar arasındadır.

Malzemelerden örnek olarak metallerin adhesiv aşınması, çevre çalışma koşulları ve kullanılan malzeme özelliklerine ilişkili olarak K_{ad} katsayıları 10^{-7} ile 10^{-2} değerleri arasında değişiklik gösterir. Aşınma mekanizmasındaki bir aşınma katsayısı K_{ad} değeri çalışma sırasında sabit değildir ancak adhesiv aşınma oranı değerleri arasında bir değer gösterdiği kabul edilmelidir (Bhushan, 2000).



Şekil 2: Abraziv aşınma sırasında gözlemlenen temsili abraziv parçacıklarının transferinin şematik gösterimi; (a) ince pul gibi ayrılan aşınma parçacığının abraziv transferi ve (b) kama benzeri şekilde bir aşınma parçacığının abraziv transferi (Bhushan, 2000).

Adhesiv Aşınmanın Şekli

Kuvvetli adhesiv aşınmanın meydana geldiği etkileşim ara yüzünde kayma düzlemleri boyunca kayma hareketi, basınç etkisi altında teğet kesen etkileşim bölgesinde meydana gelir. Kayma hareketinin bir sonucu olarak, pul gibi küçük tabakalar halinde kesilmiş yükseklikler oluşturulur. Şekil 2’de gösterildiği gibi etkileşimden sonra alanda gerilme ve kayma hareketlerinin birleşmesi sonucunda çatlak oluşumu ve daha sonrasında oluşan çatlakların yayılması takip eder.

Etkileşim bölgesinde büyük oranda plastik deformasyon gerçekleşmektedir. Şekil 2 (b)’de görüldüğü gibi, etkileşimden sonra alanda gerilme ve kayma hareketi kombini ile çatlak oluşumu ve daha sonrasında oluşan çatlakların malzeme içerisinde yayılması izler, kama şekline benzer bir geometri meydana getirir. Şekil 2 (a) ve Şekil 2 (b)’de oluşan aşınma parçacıklarının kırılmanın gerçekleştiği kırılma yüzeyini kırınımsal olarak analiz ettiğimizde büyük bir bölümü basınç ve kaymanın etkisiyle pul gibi parçacıkların kırılması şeklinde olduğu gözlenmektedir. Gerilme ve kayma kırığı şeklinde olan kama görünümü aşınmış parçalar kırılma yüzeyinin tüm parçalarını oluşturmaktadır (Şekil 2b) . Meydana

gelen pul ve kama görünümlü her iki aşınma şekli adhesiv aşınma mekanizmasının temel oluşma biçimleridir (Garnham, 1995).

Adhesiv aşınma meydana geldiği süreçte, bir etkileşim yüzeyinden diğer etkileşim yüzeyine parçacık aktarımı (transfer) ve geri aktarımı (transfer) biçiminde döngüler meydana gelir. Bu olayın bir neticesi olarak iki etkileşim yüzeyi arasında büyük miktarlarda aşınma parçacıkları üretilir. Bu ise adhesiv aşınma mekanizmasının diğer başka bir temel unsurudur (Garnham, 1995). Etkileşim yüzeyleri arasında yinelenen kayma hareketinde ara ortamda bulunan bu aşınma parçacıkları serbest aşınma parçacıkları olarak ya etkileşim ara yüzeyinde ya da karşıt etkileşim yüzeyinde kalır ve sivri çıkıntılar halinde olanlar karşıt etkileşim yüzeyini kazıyarak aşınma meydana getirirler. Bu durum Şekil 2’de görüldüğü üzere adhesiv aşınmanın çalışan malzemelerde yaygın olarak rastlanan açıklayıcı diğer bir deformasyon biçimidir.

2.1.4.2 Abrasiv Aşınma

Abrasiv aşınma çizilme ya da yırtılma aşınması olarak da isimlendirilebilen, aşınma sisteminde çok çabuk deformasyona sebep olan aşınma mekanizmaları içerisinde önemli bir aşınma mekanizmasıdır. Abrasiv aşınma, en geniş manada, birbiri ile temas halinde bulunan malzeme yüzeylerinin, etkileşimde bulunacak olan malzemeden daha yüksek sertlikteki parçacıklarla basınç etkisi altındaki temasın sonucunda malzeme yüzeylerinden parçalar kopmasıyla meydana gelebilir biçiminde tanımlanabilir. Bu aşınma mekanizmasında misal olarak, aşınma sistemine dışarıdan dahil olan toz partiküllerinin ya da bir içten yanmalı motorda meydana gelen yanma mahsullerinin neden olduğu aşınma şekli verilebilir (Kayalı, 1993; Metals Handbook, 1975).

Etkileşimde bulunan malzeme yüzeylerinden mikron ölçümlü parça kaldırma işlemini sert ve sivri parçacıklar bu tip aşınma mekanizmasında meydana getirebilirler. Bu tip aşınma mekanizması iki elemanlı (Şekil 3) ve üç elemanlı (Şekil 4) olmak üzere iki kısımda incelenir.

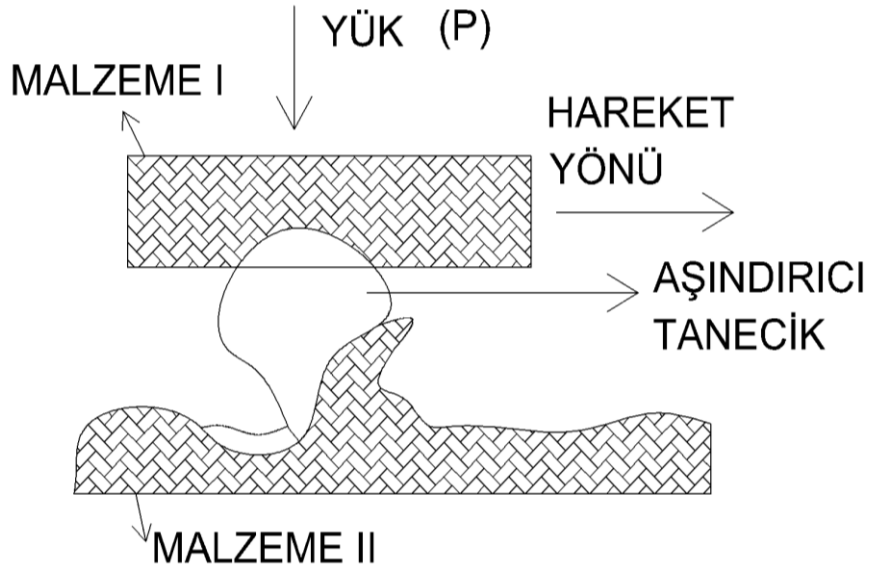
Abrasiv aşınma mekanizması, sertliği daha yüksek bir malzeme tarafından bir temas yüzeyine yapılan deformasyon olarak da tanımlanmaktadır. Bazen de abrasiv aşınma şiddet

seviyesine göre kazınma, çizilme veya oyuklanma gibi de isimlendirilmektedir. Bu şekilde olan aşınmanın iki durumu mevcuttur:

Birinci durumda; sertlik derecesi yüksek bir yüzey, birbiri ile temasta bulunarak sürtünen iki yüzeyin sertlik derecesi en yüksektir (iki elemanlı abrazyon). Misal olarak sanayide kullanılan taşlama, kesme veya işleme işlemleri gibi mekanik olarak adlandırılan operasyonlar. İkinci durumda; sertlik derecesi yüksek olan üçüncü bir nesnedir. Etkileşimde bulunacak olan iki yüzey arasında sıkışmış ve yüzeylerden birini ya da her ikisini birden deformasyona uğratabilecek kadar sertlik derecesi yüksek, genellikle minik bir parçacık aşındırıcı ya da taş parçasıdır (üç elemanlı abrazyon) (Bhushan ve Gupta, 1991).



Şekil 3: Abrasiv aşınma tipinden iki elemanlı abrasiv aşınma.

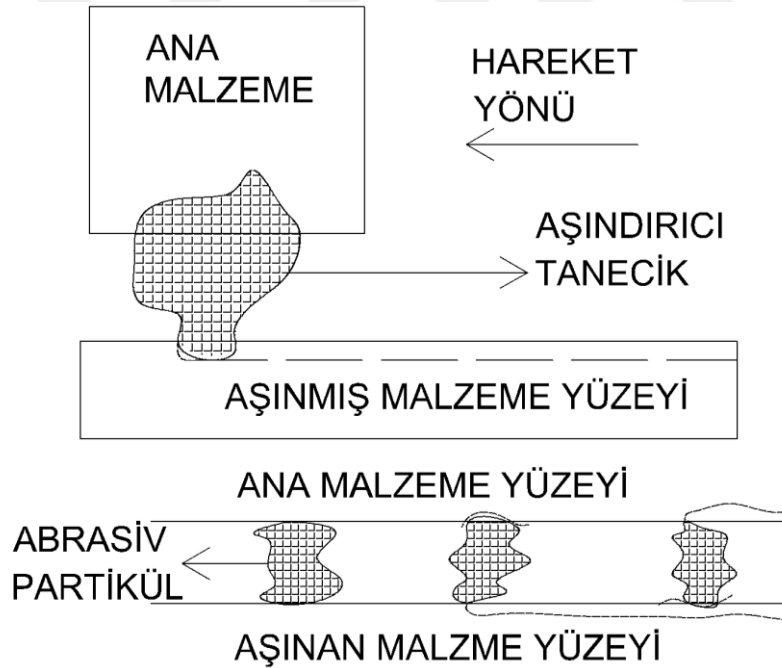


Şekil 4: Abrasiv aşınma tiplerinden üç elemanlı abrasiv aşınma tipi.

İki elemanlı abrasiv aşınma, birbiri ile sürtünen sistem elemanlarının direkt olarak birbiri ile etkileşim göstermesi sonucu ortaya çıkar. Üç elemanlı abrasiv aşınma ise, birbiri ile

etkileşimde bulunan sertlikleri birbirinden farklı ana ve karşı etkileşim yüzeyleri arasında serbest halde dolaşabilen ara malzeme bulunması söz konusu olabileceği gibi, aşınma meydana geldikten sonra etkileşim yüzeylerinden ayrılan partiküllerin her biri bir malzeme gibi davranmaları sonucunda da üçüncü eleman olarak görev üstlenir (Kayalı,1993).

Metal- metal malzeme sürtünmelerinde, aşınma mekanizması, iki elemanlı abrazyon ya da adhesif şekilde başlayıp, daha sonraki süreçte üç elemanlı abrasiv olarak aşınma mekanizması devam eder. Bu durumda sistemdeki etkileşim yüzeyleri arasına dışarıdan gelen toz, kayaç taneleri, çizme neticesinde serbest vaziyete geçen mikro boyutlu taneler ve parçalanmış oksit partikülleri de üçüncü elemanı yani ara malzemeyi meydana getirebilir. Etkileşimde bulunacak olan ana malzemedan sertlik derecesi daha yüksek olan mikro boyuttaki serbest partiküller aşınmayı hızlandırma görevi yaparlar. Bu partiküllerin aşınma mekanizmasının hızlandırmasının sebebi, etkileşim yüzeyleri arasında bulunan ara malzemenin, ana malzemedan daha yüksek sertliğe sahip olmasıdır (Bhushan ve Gupta, 1991). Şekil 5'te abrasiv aşınma mekanizması şematik vaziyette ifade edilmiştir.



Şekil 5: Abrasiv aşınma mekanizması.

Sistemdeki aşındırıcı parçacıklar ile metal malzeme yüzeyi arasındaki sertlik derecesinin farklılığı ve etkileşimin meydana gelmesini sağlayan basınç abrasiv aşınmayı etkileyen iki temel faktördür. Aşındırılan malzeme yüzeyine etkide bulunan normal yük azaltılarak

abrasiv aşınma hızı düşürülebilir. Bu sayede partiküllerin malzeme yüzeyine daha az batması dolayısıyla çapak kaldırması bakımından daha az aşınma izi bırakması sağlanmış olur (Kayalı,1993).

Abrasiv aşınma sırasında daha sert olan malzeme yüzeyinin çıkıntıları, bu yüzeyden daha yumuşak olan malzeme yüzeyine basınç uygular. Bu basıncı sert malzeme yüzeyinin üzerindeki çıkıntıların çevresinde meydana gelen yumuşak malzeme yüzeyinin plastik akışı etkilemektedir. Bu çıkıntılar üzerine teğetsel bir hareket meydana geldiği zaman sertliği daha yüksek olan malzeme yumuşak olan malzemeyi mikro boyutta süpürme, mikro boyutta kesme ve mikro boyutta kırılmanın tüm etkileriyle ortadan kaldırır.

Khruschow, yaptığı çalışmalarda abrasiv aşınma mekanizmasında malzeme özelliklerinin etkisini araştırmıştır. Relatif aşınma direnci ve sertlik arasında doğrudan bir orantının olabilmesi için sistemde, saf halde bulunan metaller ve metalik olmayan sertliği yüksek malzemelerin olması gerekir (Bhushan ve Gupta, 1991).

2.1.4.3 Yorulma Aşınması

Malzemelerin değişken ve tekrarlı yüklemelere maruz kalması neticesinde yorulma aşınması meydana gelir. Tribolojik sistemdeki zorlamalar genel manada malzeme yüzeyinde görülen, çok küçük boyutlarda çukurlar ve oyuklar biçiminde görülmektedir. Uygulamada bu tip bir aşınma genellikle yuvarlanma hareketinde bulunan dişli çarklarda, rulmanlar da meydana gelmektedir. Esas manada bu aşınma yuvarlanma hareketinde bulunan malzemelerin yorulmasından dolayı meydana gelen sonuçlarıdır. Yoksa ki bahsettiğimiz örneklerde malzemelerin temas yüzeyleri küçük boyutta olduğundan malzeme yüzeyinde meydana gelen “hertz basınçları” malzemelerin temas yüzeylerinin hemen alt bölümünde kayma gerilmeleri adı verilen gerilmeler oluşmaktadır. Böylelikle değişken yüklemelere maruz kalmasıyla etkileşimde olan malzemelerde yorulma olayı başlar. Temasta bulunan malzemeler maksimum kayma gerilmesine ulaştığı yerde dislokasyon olayları ve akabinde deformasyona bağlı olarak çok küçük boyutta boşluklar meydana gelmektedir. Malzemeler çalıştıkça meydana gelen bu boşluklar yüzeye doğru hareket etmeye başlar, büyür ve malzeme yüzeyinde küçük boyutta çukurcuklar meydana gelmektedir. Ortaya çıkan yorulma aşınmasının zararlarının önüne geçebilmek için

alınabilecek en önemli ihtiyat, birbiri ile etkileşimde bulunan temas yüzeylerini çeşitli yöntemler ile sertleştirmektir (Özsaraç, 1999).

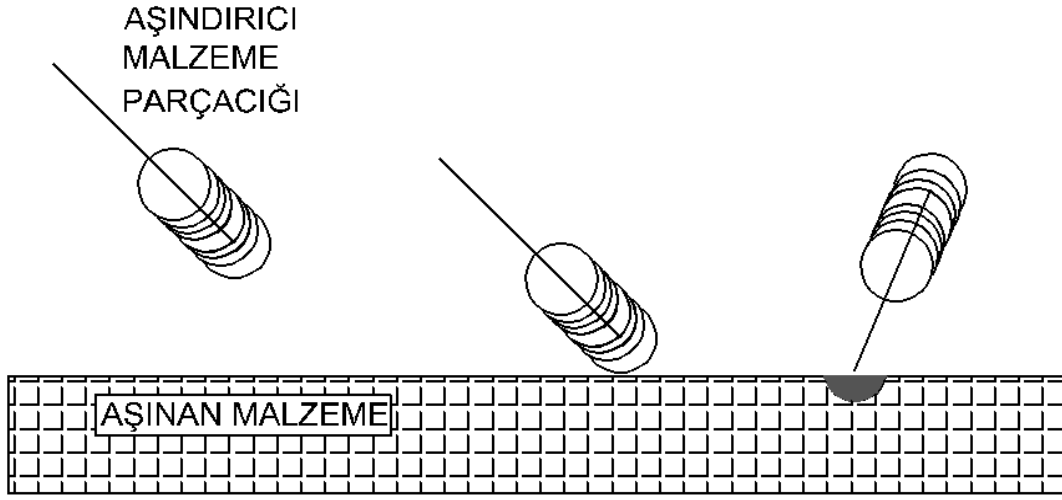
2.1.4.4 Oksidasyon Aşınması

Birbiri ile etkileşimde bulunan etkileşim yüzeylerinden en az bir tanesinin etkileşim sırasında korozyonun başlaması ve izafi hareketin sonucunda ortaya çıkan korozyon tabakası ve bu tabakanın tekrarlı olarak meydana gelmesi neticesinde bu aşınma tipini oluşturmaktadır. Etkileşimde bulunacak olan malzemelerin yaptığı izafi hareketi sırasında aşınma sisteminde etkili olan statik dinamik ve sürtünme kuvvetlerinin değişiklik göstermesiyle özellikle düşük kayma hızlarında etkileşim noktaları arasında titreşim hareketi meydana gelir. Bu meydana çıkan titreşimler malzeme yüzeyleri arasında oksit tabakasının (film) meydana gelmesine yol açar. Bu mekanizma tribolojik sistemdeki statik dinamik zorlamalar sırasında oluşur (Shi vd., 1995; Özsaraç 1999).

Ana malzemenin aşınma direncini birbiri ile sürtünen tribolojik elemanlar arasında ortaya çıkan oksit tabakası büyük oranda etkiler. Oluşan oksit tabakası adhesiv aşınma direncini artırmaktadır. Fakat yüzeyler arasında izafi hareketin hareketine devam etmesiyle birlikte, yüzeyler arasında parça parça olan oksit tabakası ortamda üçüncü bir eleman olarak aşındırıcı görevi üstlenmektedir. Tüm bu olayların birleşmesiyle abrasiv aşınma hızı büyük oranda hızlandırmaktadır.

2.1.4.5 Erozyon ve Kavitasyon Aşınması

Çevre ile malzeme etkileşim yüzeyleri arasındaki hızın seviyesinin yüksek olması sebebiyle ortaya çıkan deformasyon olayına erozyon adı verilir. Abrasiv parçacıklar gaz ve sıvı ortamlarda taşınabilen parçacıklardır. Bu parçacıklar tribolojik sistem içerisinde yüzeylere belirli bir açı ile çarpmasıyla ortaya çıkan enerji, malzemenin basınç mukavemet değerini aştığı vakit, malzeme yüzeyinde hasar oluşarak belirli büyüklüklerde kırılmalar meydana gelir. Bu olaylar sonucunda yüzey aşınmaya uğrar (Şekil 6). Bu deformasyon tipine (aşınma tipine) erozyon aşınması ismi verilir. Erozyon aşınmasını, aşındırıcı olarak görev yapan parçacıkların hızı, parçacıkların şekli, boyutu, sertliği ve malzemeye çarpma açısının değeri etkileyen önemli unsurlardır. Bu unsurlar aşağıdaki Tablo 1’de verilmiştir (Şahin, 2001).

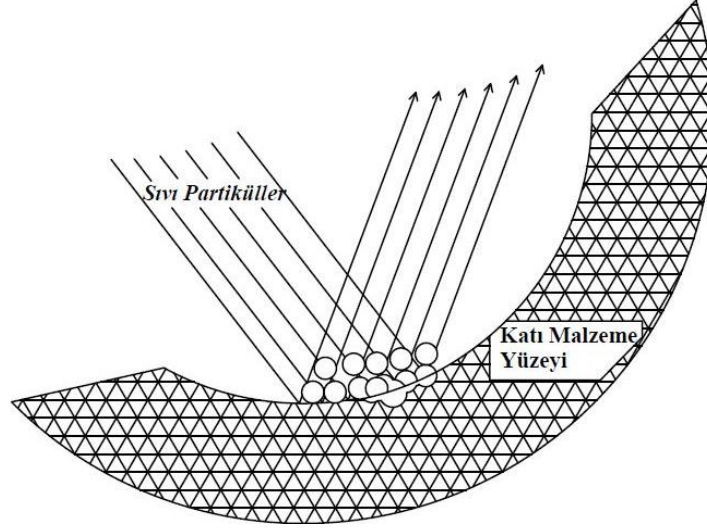


Şekil 6: Eroziv aşınmadaki tipik olaylar

Tablo 1: Sıvı çarpma açısının malzeme üzerindeki etkileri (Bhushan ve Gupta, 1991).

Malzemeye Çarpma Açısı (°)	Malzeme Türü		
	Elastik Malzeme	Sünek Malzeme	Gevrek Malzeme
20	Etkisi yok.	En yüksek seviyede kesme aşınmasına sahip	Çok düşük seviyede erozyon meydana gelir.
45	Tespit edilebilir bir etki söz konusu değil	Karışık bir tribolojik sisteme sahip	İleri safhadaki erozyon
90	Malzeme yüzeyi hasara uğrar	En yüksek seviyede deformasyon aşınmasına sahip	En yüksek seviyede erozyon meydana gelir

Bir sıvı ve katı malzemenin arasında, malzemelerin izafi hareket yapması sonucunda meydana gelen hasar mekanizmasına kavitasyon aşınması adı verilir. Sıvı malzeme içerisinde bulunan küçük zerreciklerin basıncı, zerreciklerin buharlaşma basıncından daha düşük seviyelerdeki bir ortama geçerken, zerreciklerin basınç değişimi etkisiyle büyümesi ve ardından patlaması ile meydana gelen basınç dalgaları halinde malzeme yüzeyine çarpması neticesinde kavitasyon adı verilen olay meydana gelmektedir (Şekil 7).



Şekil 7: Sıvı partiküllerin çarpmasıyla bağlı olarak meydana gelen kavitasyon erozyonunun temsili gösterimi.

2.1.4.6 Kazımalı (Fretting) Aşınma

Aşınma sisteminde meydana gelen yüksek frekansa sahip çok küçük titreşim hareketi ile karşılaştığı vakit, kazımalı diğer bir ismi ile fretting adı verilen malzemelerin birbirlerini etkiledikleri aşınma türü ortaya çıkmaktadır. Bu aşınma türü adhezyon aşınması ile başlar, korozyon aşınması ile büyür ve abrazyon aşınması ile en önemli etkilerini gösterir. Bu tür bir aşınmaya maruz kalan malzemelere misal olarak çekme kuvveti etkileyen malzemeler, cıvata ile sabitlenmiş parçaları verebiliriz. Kazımalı aşınma büyük çoğunlukla, basma kuvveti etki eden hareketi stabil olan parçalar arasında görülmektedir. Kazınma hasarı meydana gelen temas yüzeylerinin karakteristik görünümü yüksek konsantrasyonda parlaklaşmış bölgelerden meydana gelir.

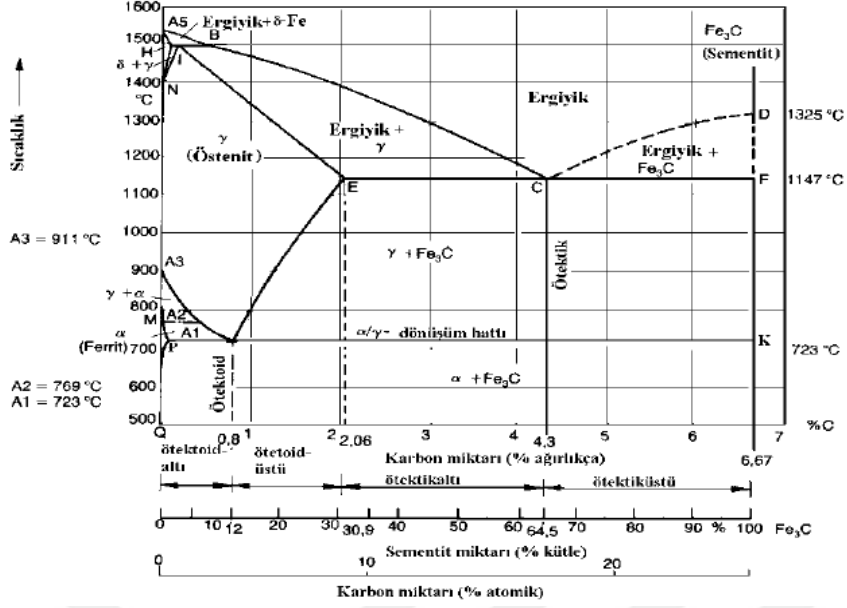
Bu tip aşınmada, aşınmanın meydana geldiği çevre (ortam) çok büyük öneme sahiptir. Misal olarak nem oranı yüksek bir ortamda, kazımalı aşınma oranı da yüksektir. Bu ortama karşılık olarak, nem oranı düşük olan yani kuru ortamlarda kazımalı aşınma oranı da büyük oranda düşüş saptanmaktadır (Bhushan ve Gupta, 1991).

2.2 Çelik

Kimyasal yapısında % 1,7 oranında karbon (C), % 0,8 oranından fazla mangan (Mn), % 0,5 oranına kadar silisyum (Si), % 0,05'den daha az oranlarda kükürt (S) ve fosfor bulunan, sahip olduğu özelliklerden daha farklı özelliklere sahip olması amacıyla farklı oranlar da alaşım elementleri (Cr, W, Ni, V, Mo, Co) kullanılabilen demir karbon alaşımıdır. Çelik esaslı malzemelerin incelemek ve sahip oldukları özellikleri yakından bilmek amacı güdülen bazı ortak özelliklere bakılarak farklı sınıflandırmalar yapılabilir (Yıldırım vd., 2001). Çelikler genel manada aşağıdaki gibi sınıflandırılması yapılabilir. Bunlar;

- Üretildiği yonteme göre çelik malzemeler,
- Kullanıldıkları alanlara göre çelik malzemeler,
- Alaşım durumlarına göre çelik malzemeler,
- Kullanıldığı ana katkı malzemesine göre çelik malzemeler,
- Kimyasal içyapı ve metalografik yapılarına göre çelik malzemeler,
- Kalitesine göre çelik malzemeler,
- Kimyasal ve fiziksel özelliklerine göre çelik malzemeler,
- Sertleştirme ortamına göre çelik malzemeler, biçimde sınıflandırılabilmesi mümkündür.

Saf halde bulunan demir, atmosferik koşullardaki oda sıcaklığında kübik hacim merkezli (KHM) yapıya sahip olan α -Fe fazından meydana gelmektedir. Saf demire uygulanan sıcaklık 911°C ye ulaştığında α -Fe fazı kübik yüzey merkezli yapıya sahip γ -Fe fazına dönüşmektedir. Demire uygulanan sıcaklık 1392°C ye ulaştığında ise γ -Fe fazı artan sıcaklıkla δ -Fe fazına dönüşmektedir. Katı halde bulunan demire uygulanan ısının sıcaklığı 1536°C ye ulaştığında sıvı hale geçmektedir. Bu hal değişimi sırasındaki demirin üç farklı faz yapılarına sahip olmasının nedeni saf halde bulunan demirin allotropik özellikleridir. Demirin bu özelliği demir alaşımından meydana gelen çelik malzemelerde de görülmektedir.



Şekil 8: Fe-C denge diyagramı (Karaaslan, 2010).

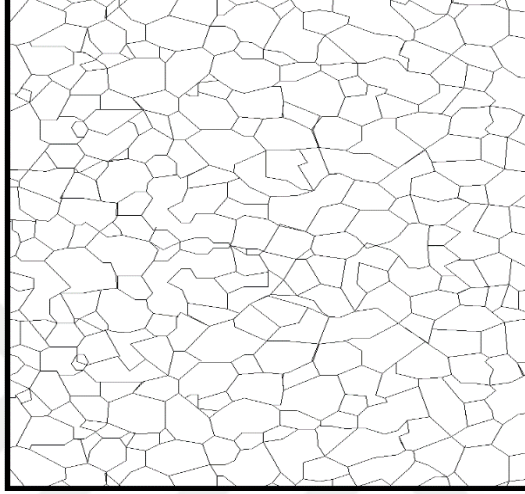
Şekil 8’de Fe-Fe₃C denge diyagramını ifade etmektedir. Bu diyagram üzerinde % 2,06 ya kadar mevcut olan alan çelik bölgesi adını almaktadır. İçeriğinde % 0,8 karbon (C) bulunan yapı ötektoid bileşim perlit adı verilir. Bu yapı ferrit (α) ve semetit (Fe₃C) fazlarından meydana gelmektedir. İçeriğinde % 0,8 den daha az miktarda karbon çelik yapısına ötektoid altı çelik ismi verilmektedir. Oda sıcaklığındaki çeliğin yapısında ferrit ve/veya perlit fazlarını içerir. İçeriğindeki karbon oranı % 0,8’den daha yüksek oranlarda ise yapı perlit fazı ve perlit fazının tane sınırlarında ayrıışmış olan Fe₃C yapısından oluşmaktadır. Malzemenin içerdiği karbon oranı arttıkça tane sınırlarında bulunan Fe₃C oranı da artış göstermektedir (Karaaslan, 2010).

2.2.1 Çelik Yapıları

Çelik malzemelerin içerdikleri karbon oranına göre, buldukları sıcaklıklara ve üzerine uygulanan çeşitli prosesler esas alınarak ferrit, semetit, östenit, perlit, δ-ferrit, beynit veya martenzit gibi fazlar meydana gelmektedir. Bu fazlar yalnız başına tüm yapıyı oluşturabildikleri gibi bir veya birkaç tanesi birleşerek malzemenin yapısını oluşturabilirler (Toptop, 2011).

2.2.1.1 Ferrit

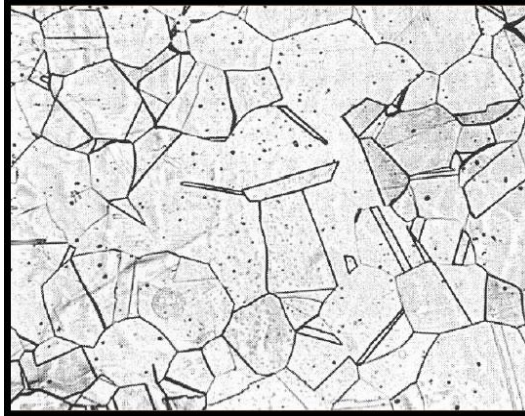
Yapı içerisinde bulunan ferrit fazının kafes yapısı kübik hacim merkezli (KHM) yapıya sahiptir. ferrit fazının oda sıcaklığında % 0,006 karbon çözebilmektedir. Ancak sıcaklık yükseldiğinde yani 723 °C sıcaklığında % 0,02 karbon çözünürlüğüne sahiptir (Toptop, 2011).



Şekil 9: Ferrit yapısı.

2.2.1.2 Östenit

Kübik yüzey merkezli (KYM) kafes yapısına sahip östenit fazı, 723 °C sıcaklıkta % 0,8 karbon çözünürlüğüne sahiptir. Bu fazın maksimum oranda karbon çözünürlüğü ise % 2.06 dır.



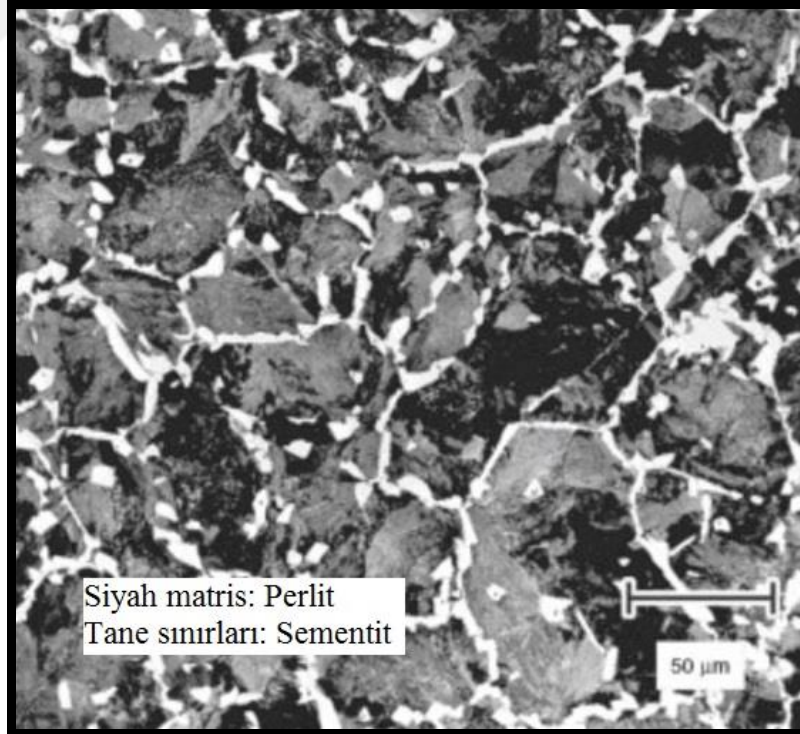
Şekil 10: Östenit yapısı (URL-1, 2017).

Çeliklere uygulanan sertleştirme proseslerinde, östenitleştirme adı verilen aşamada meydana gelen östenitin fazının tane büyüklüğü, uygulanan ısı işlem sonrası kazanılacak olan malzeme özelliklerini belirlemede etkili rol oynar. Bu fazın tane büyüklüğünü aşağıdaki unsurlar etkileyebilir.

- Kullanılan malzemenin kimyasal kompozisyonu,
- Östenitleştirmenin gerçekleştiği sıcaklık,
- Yapı içerisindeki safsızlık oranı,
- Isıl işlem süreleri (ısıtma- bekleme- soğutma) (Smith, 2000).

2.2.1.3 Sementit

Sementit, metallar arası (intermetalik) bir fazdır ve ortorombik kafes yapısına sahiptir. intermetalik faz yapısına sahip 3 tane Fe atomu ile 1 tane C atomu birleşerek sementit fazını meydana getirirler. Sert (Fe_3C) ve kırılabilir yapıya sahiptir. karbon çözünürlüğü ise % 6,67 oranındadır (Smith, 2000).



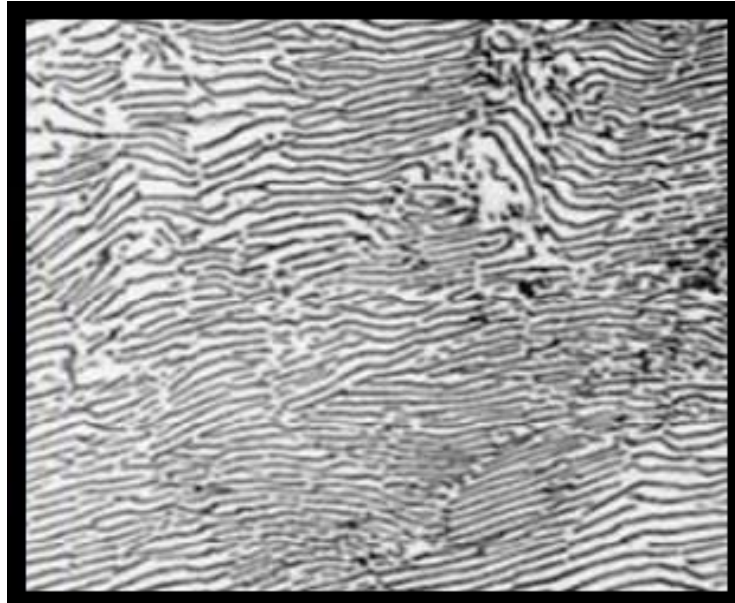
Şekil 11: Perlit matrisin tane sınırlarında çökelen sementit fazı (URL-2, 2017).

2.2.1.4 δ -Ferrit

δ -ferrit fazı, α -ferrit yapısında olduğu gibi kübik hacim merkezli küp kafes yapısına sahiptir. Ancak kafes parametresi, α -ferrit fazının kafes parametresi ile karşılaştırıldığında daha büyük ölçektir. Sıcaklığın 1495°C olduğunda bu fazın karbon çözünürlüğü % 0,09 oranındadır (Smith, 2000).

2.2.1.5 Perlit

Perlit fazı, ötektoid dönüşüm ürünüdür. Östenit fazının ötektoid dönüşüm mekanizması ile ferrit fazı ve sementit fazına parçalanması sonucu ortaya çıkmaktadır. Parçalanma olayı 723°C de, % 0,8 C bulduran bileşimde meydana gelmektedir. Perlit oluşumu esnasında sıcaklık sabittir. Sıcaklığın sabit olmasının sebebi de ötektoid dönüşüm meydana gelmesidir. Perlit oluşumu başladığı sırada östenit kafesinde bulunan karbon atomları tane sınırlarına doğru hareket ederek, tane sınırlarındaki demir atomları ile birleşirler. Meydana gelen bu birleşme sonucunda tane sınırlarında sementit fazı oluşmaktadır. Bu olay gerçekleştiğinde karbon oranı oldukça düşen KYM yapıdaki östenit, azalan karbon oranından dolayı KHM yapısında ferrit fazına dönüşmektedir. Bu değişimler sonucunda lameller biçiminde dizilmiş olan ferrit ve sementit fazları yeni bir faz olan perlit fazını meydana getirmiş olur (Smith, 2000).

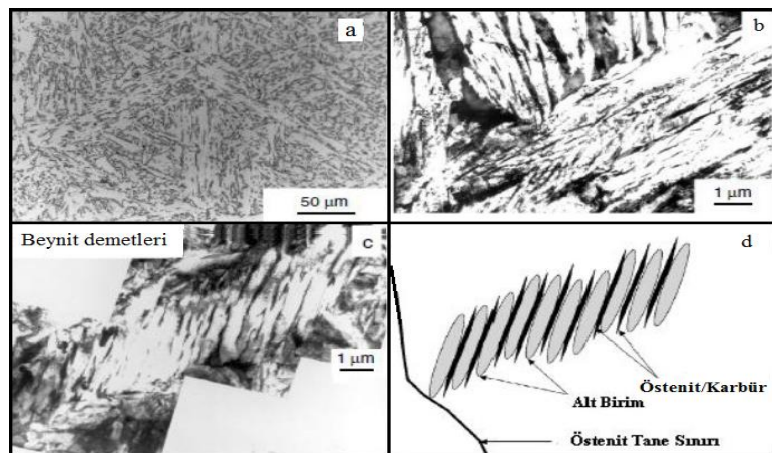


Şekil 12: Perlit yapısı.

2.2.1.6 Beynit

Östenit fazının izotermal dönüşümü neticesinde meydana gelen yapıya beynit fazı adı verilmektedir. İki farklı oluşum teorisi ile beynit oluşumu açıklanabilmektedir. Bu oluşum teorilerinden ilki yapıdaki östenit fazından çekirdeklenerek oluşan ferrit ve sementit fazları beynit fazının yapısını oluşturmaktadır. Lamelli bir yapıya sahip olmayan fazda, ferrit fazının taneleri arasında konumlanan sementit fazı bulunur. Karbon difüzyonu bu yapının oluşumunu ve büyümesini sağlar. Oluşum teorilerinden diğeri ikizlenme ve kayma mekanizmaları neticesinde aşırı doymuş ferrit kristalleri barındıran beynit yapısı meydana gelmektedir (Toptop, 2011).

Beynit fazının meydana gelmesinde anlatılan teoriler birlikte çalışarak netice ortaya koymaktadırlar. Beynit fazının oluşum sıcaklığı perlit oluşum sıcaklığının hemen altında gerçekleşmektedir. Oluşum teorileri arasında ilk bahsedilen daha baskın olarak gerçekleşmektedir. Baskın olan teori östenit tanelerinden çekirdeklenmiş ferrit fazı ve küresel şekildeki sementit yapıları, beynit fazının iç yapısını oluşturmaktadır. Oluşan bu yapı üst beynit adı almaktadır. Martenzit fazının başlama sıcaklığının (M_s) hemen üstündeki sıcaklıkta meydana gelen beynit yapısında ise ikinci oluşum teorisi baskın olduğu bilinmektedir. Bu baskın teorinin neticesinde alt beynit olarak isimlendirilen yapı ikizlenme ve kayma teorilerini esas alarak meydana gelmiş aşırı doymuş ferrit kristalleri ve bu kristallerin aralarında bulunan sementit fazından meydana gelmektedir (Totten, 2007).



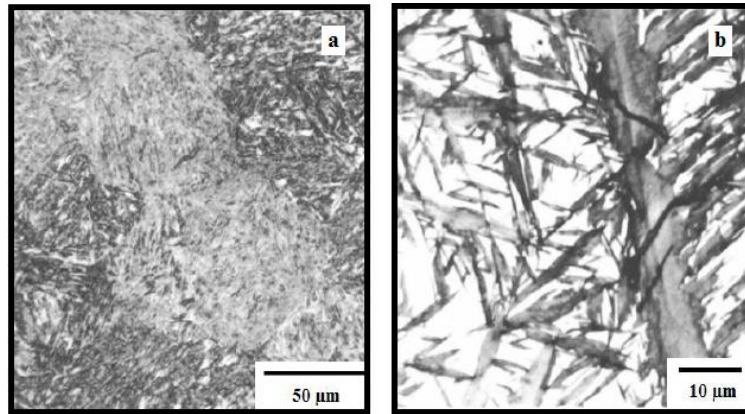
Şekil 13: a-Beynit yapısının optik mikroskop görüntüsü b- Beynit yapısının TEM görüntüsü c- TEM'de alınmış beynit demetleri görüntüsü d- Beynit çekirdeklenmesinin ve büyümesinin şematik görüntüsü (Bhadeshia ve Honeycombe, 2006).

2.2.1.7 Martenzit

Martenzit fazı, östenit fazından ikizlenme ve kayma teorileri ile meydana gelen aşırı doymuş olan bir fazdır. Martenzit fazının oluşumunu soğuma hızı yakından etkilemektedir. Hızlı soğuma yöntemiyle elde edilen dengesiz soğuma yöntemiyle martenzit fazı oluşturulmaktadır. Martenzit fazı belirli sıcaklıkta başlayıp belirli sıcaklıkta oluşumu sona ermektedir. Bu başlama ve bitiş sıcaklıklarına sırasıyla martenzit başlama sıcaklığı (M_s) ve martenzit bitiş sıcaklığı (M_f) ismi verilmektedir.

Martenzit fazının oluşumu iki adet teori ile gerçekleşmektedir. Teorilerden ilki, ısı olmadan gerçekleşen işlem teorisidir. Bu teoriye göre martenzit fazının oluşumu zamana bağlı olmayıp sadece oluşum için gerekli aşırı soğuma esasının sağlanması kafi gelmektedir. İkinci bir teori olan izotermal yani sıcaklığa bağlı dönüşüm teorisidir. Martenzit oluşum sıcaklığı oda sıcaklığının altındaki sıcaklıklara düştüğünde izotermal dönüşüm teorisi esas alınarak dönüşüm sağlanmaktadır.

Faz dönüşümü yapılacak olan malzemenin içerdiği karbon oranına göre martenzit fazının başlama ve bitiş sıcaklıkları farklılık göstermektedir. Malzeme içerisindeki artan karbon oranı ile beraber M_s ve M_f sıcaklıklarında düşüş olmaktadır. Yaklaşık olarak % 0,6'dan fazla karbon içeren çelik malzemelerin M_f sıcaklıkları 0 °C'nin altındaki sıcaklıklara düşmektedir. Bu sebepten dolayı % 0,6'dan daha fazla karbon içeren çelik malzemeler hızlı soğutulduklarında martenzit fazı ile beraber östenit fazının izlerine de rastlanmaktadır.



Şekil 14: Martenzit mikro yapıları a- Çıta martenzit b- Tabkalı martenzit (Marder vd., 1970; Materkowski ve Krauss, 1979).

Malzemeye uygulanan hızlı soğutma neticesinde meydana gelen martenzit fazının yapısı malzemenin içinde bulundurduğu karbon oranına yakından bağlıdır. Düşük karbon oranına sahip çeliklerde, yüksek karbon oranına sahip gerilme alanlarının meydana gelmesi için yeterli değildir. Bu sebepten çıta martenzit diye adlandırılan bir yapı meydana çıkmaktadır. Çıta martenzit fazı, karbon oranının % 0,6 ya ulaşınca kadar yapıdaki varlığını korumaktadır. Karbon oranı % 0,6 ila % 1 seviyelerinde bulunduğu sırada yapıda çıta martenzit ve tabakalı martenzit bir arada bulunmaktadır. Karbon oranı % 1'in üzerine çıktığında çıta martenzit fazı yapıdan tamamen çekilmiş yerine tabakalı martenzit yapısına bırakmış durumda olmaktadır (Toptop, 2011).

2.2.2 Çeliklerin Sınıflandırılması

Bu bölümde çelikler en çok kullanılan şekilde karbon ve alaşım oranına göre sınıflandırılmıştır.

2.2.2.1 Alaşimsız Çelikler (Sade Karbonlu Çelikler)

Sade karbonlu çelikler olarak da adlandırılan çelik türü, çelik üretim proseslerinden arda kalan mangan, oksijen, azot, silisyum ve kükürt gibi elementlerini içeren demir karbon alaşımlarıdır. Bu içerdiği elementlerin oranı düşük seviyelerdedir.

Günümüzde demir çelik sanayisinde üretilen çeliklerinin büyük bir kısmını alaşimsız çelikler oluşturmaktadır. Bunun genel sebeplerini şu şekilde açıklayabiliriz; bu çelik türü maliyet olarak düşük ve kolay bir biçimde şekillendirilebilirler. Mekanik özellikleri yapı içerisinde bulunan karbon oranına göre değişiklik göstermektedir. Korozyon direnci oldukça azdır. Sertleşme yetenekleri az olduğundan dolayı sertleştirme işlemi uygulandığında malzeme yüzeyinde çatlama ve çarpılmalar meydana gelmesi aşikârdır. Malzeme kesit kalınlığı arttıkça malzemenin sertleştirilme kabiliyeti oldukça azalmaktadır ve istenilen seviyede sertleştirilme işlemi yapılamamaktadır. Bu çelik türüne alevle ve indüksiyon akımı kullanılarak yüzey sertleştirme işlemi uygulanabilmektedir. Yapı içerisinde bulundurduğu karbon oranı alaşimsız çelikleri sınıflandırmamızda başlıca kıstaslardandır. İçerisinde barındırdığı karbon oranına göre alaşimsız çelikleri 3 grupta inceleyebilmek mümkündür.

- Düşük karbonlu çelikler : % 0,05 – 0,3 karbon içermektedir.
- Orta karbonlu çelikler : % 0,3 – 0,8 karbon içermektedir.
- Yüksek karbonlu çelikler: % 0,8 – 1,7 karbon içermektedir.

Düşük karbon oranına sahip çelikler tümüyle sertleştirilemezler fakat uygun yöntemler kullanılarak yüzey kısımlarının sertleştirilmesi mümkündür. Orta seviyede karbon oranına sahip çelikler ısıtma işlemlere epeyce uygundur, dayanımları düşük karbonlu çeliklere kıyasla daha iyi seviyededir. Yüksek karbon oranına sahip çeliklerin sünekliği oldukça düşük seviyededir. Kesilmesi ve işlenmesi oldukça zordur. Malzeme üzerinden talaş kaldırma işlemi gerçekleştirmek için yumuşatma tavlama uygulayarak talaş kaldırmaya uygun hale getirmek gerekmektedir.

2.2.2.2 Alaşımli Çelikler

Sade karbonlu çeliklerin mekanik özelliklerinde artış meydana getirmek amacıyla alaşım elementlerinin ilave edilerek elde edilen çelik türüne alaşımli çelikler adı verilmektedir. Alaşımli çeliklerin üretilmesiyle sade karbonlu çeliklerde ortaya çıkan olumsuz özellikler giderilerek çeliklere yaygın bir kullanım alanı sağlamaktadır. Çeliklere alaşım elementlerinin ilave edilmesi neticesinde aşağıda sıralanan faydaları sağlamaktadır (Kesti, 2009).

- Kalın kesitlere sahip parçaları merkezine kadar sertleştirme işlemine olanak tanır.
- Sade karbonlu çeliklerde tüm yapıda martenzitik bir yapı elde etmek uygulanan işlemlerde çarpılmalar, çatlama meydana gelmekteyken, alaşımli çeliklerde tüm yapıda martenzitik yapı elde etmek için uygulanan işlemlerde kusurlar meydana gelmeden tüm yapıda martenzitik faza ulaşabilmek mümkündür.
- Çeliğe uygulanan alaşımlama işlemi ile çeliğin darbe dayanımı oldukça yüksek seviyelere ulaşmaktadır.
- Alaşımlama işlemi ile sade karbonlu çeliklerin oldukça zayıf oldukları korozyon direncini yüksek seviyelere çıkarılabilmektedir. Yüksek sıcaklıklarda

kolaylıkla oksitlenebilen çeliklerin korozyon direnci de alaşımlama işlemi ile artırılabilir.

- Alaşımlı çelikler temperleme işleminde daha yüksek temperleme sıcaklıklarının uygulanmasına olanak sağlamaktadır.
- Alaşımlı çelikler değişken sıcaklık ortamlarında (hem düşük sıcaklık hem de yüksek sıcaklık) çalışma durumunda malzeme mekanik özelliklerini koruyabilmektedir.
- Alaşımlı çeliklerin bazı alaşım elementlerinin büyük katkısıyla aşınma direnci ve yorulma davranışında büyük oranda artış meydana gelmektedir (Ulutun, 2007).

Alaşımsız çeliklerden elde edilemeyen yüksek mukavemet ve yüksek sertliğin bir arada bulunması istenilen durumlarda alaşımlı çelikler kullanılmaktadır. Bu sebepten alaşımsız çeliklere vanadyum, nikel, volfram, krom, silisyum, molibden, mangan, kurşun, kobalt ve bakır gibi alaşım elementleri kullanılarak alaşımlı çelikler üretilmektedir (Topbaş, 1998; Savaşkan, 1999; Erdoğan, 2000; Yıldırım vd. 2001).

Çeliğin sertleşebilirliğini büyük oranda artırabilmek için çeliğe molibden, mangan, nikel veya krom elementleri alaşım elementi olarak kullanılmaktadır. Böylelikle kesit kalınlığı fazla olan çeliklerde bile martenzit yapısı kolay bir biçimde oluştuğundan parça sertliğinde de büyük oranda artış meydana gelmektedir. Bunu sağlayabilmek için % 0,2- 0,6 C oranına sahip çeliğe % 2-7 oranında alaşım elementi ilave edilmesi yeterli olacaktır. Alaşımlı çelikte martenzit yapısı oluşturulduktan sonra sertleştirilmiş çeliğe temperleme işlemi uygulanarak talep edilen mukavemet ve toklukta malzeme meydana getirmek mümkündür.

Düşük alaşım oranına sahip çeliklerde, alaşım elementleri ferrit ve östenit fazları içerisinde yüksek oranda çözündüklerinden ek olarak ısı işlemi ihtiyacı duymadan çok iyi seviyede çözümlenmiş çelikler sağlanabilir. Bu tür çeliklerde, beynit fazının oluşumu kolaylaştığından kaynak edilebilirlik kabiliyetinden artış meydana gelmektedir (Cheremisinoff, 1996).

Düşük Alaşımli Krom Molibdenli (Cr-Mo) Çelikler

Bileşimlerinde % 0,38-0,43 C, % 0,15-0,25 Mo ve % 0,5-1,1 Cr oranında alaşım elementi bulunduran çeliklere krom-molibdenli çelikler adı verilmektedir. İçerisinde bulundurduğu alaşım elementlerinin farklı olması sebebiyle her bir alaşım elementini çeliğin kimyasal ve fiziksel özelliklerine farklı etki etmektedir. AISI standartlarında bu tür çelikleri 41XX işaretlemesi ile gösterilirler. Tablo 2’de krom-molibdenli çeliklerin kimyasal bileşimi gösterilmektedir (Shackelford ve Alexander, 2001).

Tablo 2: Alaşımli çeliklerin bileşim aralıkları

Çelik türü		Bileşim ağırlığı (%)							
		C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Mo
AISI 1340	Maks	0,30	1,60	0,035	0,040	0,15	-	-	-
	Min	0,40	1,90			0,30			
AISI 3140	Maks	0,38	0,70	0,040	0,040	0,20	0,55	1,10	-
	Min	0,43	0,90			0,35	0,75	1,40	
AISI 4037	Maks	0,35	0,70	0,035	0,040	0,15	0,20	-	-
	Min	0,40	0,90			0,30	0,30		
AISI 4042	Maks	0,40	0,70	0,035	0,040	0,15	0,20	-	-
	Min	0,45	0,90			0,30	0,30		
AISI 4130	Maks	0,28	0,40	0,035	0,040	0,15	0,80	-	0,15
	Min	0,33	0,60			0,30	1,10		0,25
AISI 4140	Maks	0,28	0,75	0,035	0,040	0,15	0,80	-	0,15
	Min	0,43	1,00			0,30	1,10		0,25
AISI 4150	Maks	0,48	0,75	0,035	0,040	0,15	0,80	-	0,15
	Min	0,53	1,00			0,30	1,10		0,25
AISI 4320	Maks	0,17	0,45	0,035	0,040	0,15	0,40	1,65	0,20
	Min	0,22	0,65			0,30	0,60	2,00	0,30
AISI 4340	Maks	0,38	0,60	0,035	0,040	0,15	0,70	1,65	0,20
	Min	0,43	0,80			0,30	0,90	2,00	0,30
AISI 4620	Maks	0,17	0,45	0,035	0,040	0,15	1,65	-	0,20
	Min	0,22	0,65			0,30	2,00		0,30
AISI 4820	Maks	0,18	0,50	0,035	0,040	0,15	3,25	-	0,20
	Min	0,23	0,70			0,30	3,75		0,30

Düşük alaşımli çelikler, ısıtma işlem esaslarına, ilave edilen alaşım elementine ve üretim yöntemine göre, düşük alaşımli Cr-Mo’li çelik, ıslah çeliği olarak adlandırılmaktadır. Bu tür çeliklere yapılan isimlendirme farklı standartlarda farklı adlandırılmalar yapılabilmektedir. Yapısında yeterli karbon oranı ve ilave edilen alaşım elementleri nedeniyle sertleştirme işlemine yatkın olan ve ıslah edilmiş (sertleştirme ve temperleme

işlemi uygulanmış) durumda bilinen bir çekme dayanımında yüksek seviyede tokluğa sahip makine yapım çeliği olarak da isimlendirilmektedir (Krauss, 1997; Tayanç ve Toktaş, 2002).

Çeliğe ilave edilen temel alaşım elementlerinden birisi de krom elementidir. Önemli özelliklerinden bir tanesi kritik soğuma hızını düşürmesidir. Hidrojen gazına karşı direnç sağlayan ve malzemeye yüksek sertlik ve aşınma dayanımı özelliklerini kazandıran karbürleri meydana getirir. Malzeme yapısındaki taneleri küçültücü ve malzemeyi sertleştirici etkileri mevcuttur. Çeliğe ilave edilen krom elementinin oranı büyük önem taşımaktadır. Belirli oranlardaki krom çeliğe farklı farklı özellikler kazandırmaktadır. Düşük karbon oranına sahip çeliklerde paslanmaya ve asitlere karşı korozyon direncini çeliğe ilave edilen % 12 oranının üzerinde olan krom ilavesi ile sağlanabilir. Çeliğin ısı ve yüksek çalışma sıcaklıklarında dayanımı yüksek olması için çelik içerisindeki krom oranı % 17'yi aşan çeliklerdir. Krom elementi ile birlikte kullanılan diğer alaşım elementleri de vardır. Krom ile birlikte ilave edilen molibden, mangan, vanadyum ve nikel elementleri, çeliği ısı ve aşınma dayanımını daha yüksek seviyelere çıkarmak mümkündür. İçeriğinde % 1-1,5 Cr içeren çelikler yüksek sertlik ve tokluk sağlarlar. Bilyalı ve masuralı rulmanlarda ihtiyaç duyduğumuz yüksek sertlik ve tokluk çeliğin içerisine ilave edilen % 1-1,5 oranındaki Cr ile sağlanmaktadır. Çelik içerisindeki krom oranı arttığında çelik kaynak edilebilme özelliğini yitirmeye başlamaktadır. Yapı içerisindeki her % 1 Cr artışında malzemenin çekme dayanımında 80-100 N/mm² artış meydana gelmektedir. Bunun yanında eşdeğer oranda olmamakla birlikte akma sınırında bir artış ve çentik darbe tokluğunda azalma meydana gelmektedir (Yıldırım vd., 2001).

Molibden γ ve α -demir fazında belirli oranda çözünebilen ve sağlam karbür oluşturu bir elementtir. Malzeme özelliklerine önemli etkileri vardır. Aşınma dayanımına, temper gevrekliğini önlemede, sertleşme derinliğine ve kesme kabiliyetinin geliştirilmesinde esaslı etkileri mevcuttur. Çeliklere krom ilavesinde olduğu gibi molibden ilavesi de çeliğin yüksek sıcaklık sertliğinde artış meydana getirmektedir. Krom ilaveli veya krom-mangan ilaveli çeliklere % 0,3-0,5 oranında molibden ilavesi diğer alaşımlı çeliklere kıyasla meydana gelecek olan temper gevrekliğini büyük ölçüde azaltır. Molibden genellikle Ni veya Cr ile birlikte ya da hem Ni hem de Cr elementi ile beraber kullanılır. Islah çelikleri 40XX ve 44XX şeklinde kodlanırlar. Bu çelikler karbürleme işlemine tabi tutularak şaft

imalatı ve transmisyon, dişli çark üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır (Topbaş, 1998; Yıldırım vd. 2001).

Cr-Mo'li çelikleri, diğer isimlendirmesiyle 41XX çelikleri sünek yapıya sahip, derinliği yönünde sertleştirilebilen, kaynak yeteneği iyi çelik malzemelerdir. Basınca dayalı kaplarda, otomobil millerinde, uçak parçalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Kullanım alanlarının da ihtiyaç duyduğu aşınma ve yüksek yorulma direncine sahip, tokluk özellikleri iyi seviyede olan çeliklerdir (Topbaş, 1998; Erdoğan, 2000)

AISI 4140 Çelikleri

AISI 4140 çeliği, düşük alaşıma sahip, Cr-Mo'li ıslah çeliklerinden en geniş kullanım alanına sahip, krom-molibden çeliği olarak tanınmaktadır. Bunun yanında AISI 4140 çeliği, alaşımlı çelik, dövme kalite çelikler, orta karbonlu çelik ve düşük alaşımlı yapı çelikleri olarakta adlandırılmaktadırlar.

AISI 4140 çeliğinin kullanım alanları arasında, uçak ve otomobil üretimi, aks mili ve kovanı, krank mili, yivli mil vs. gibi sünekliği yüksek parçalar, ayrıca dişli çark gibi parçaları da sıralayabiliriz. Bu misallere ek olarak, soğuk çekme mil ve çubukları, türbin motorları, makine çelikleri, yaylar, turbo jeneratörlerin fren sistemlerindeki halka ve kolları, gemi zincir ve demirleri üretiminde, demir yolu tekerlekleri ve millerinde, iş makinesi akslarında, starter dişlilerinde ve bunlar gibi birçok yerde AISI 4140 çeliği kullanılmaktadır. Tablo 3, 4, 5, 6, 7 de AISI 4140 çeliğini ifade eden, kimyasal kompozisyonlar, ısı, elektrik, mekanik ve ısıl işlem özellikleri ile kritik sıcaklıklar gösterilmiştir.

Tablo 3: AISI 4140 çeliğinin kimyasal kompozisyonu (Kesti, 2009).

ELEMENT	% AĞIRLIK
C	0,38-0,45
Mn	0,75-1,00
P	0,035 (maks)
S	0,04 (maks)
Si	0,15-0,30
Cr	0,80-1,10
Mo	0,15-0,25

Tablo 4: AISI 4140 çeliğinin ısıtım işlem özellikleri (Kesti, 2009).

Özellikler		Koşullar	
		T (°C)	İşlem
Isıl Genleşme (10-6/°C)	12,3	20-100	Yağda sertleştirilmiş, 600 °C'de temperlenmiş
Isıl iletkenlik (W/mK)	42,7	100	-
Özgül Isı (J/kgK)	473	150-200	-

Tablo 5: AISI 4140 çeliğinin mekanik özellikleri (Kesti, 2009).

Özellikler		Koşullar	
		T(°C)	İşlem
Yoğunluk (x1000 kg/m ³)	7,7-8,03	25	815 °C'de tavllanmış
Poisson Oranı	0,27-0,30	25	815 °C'de tavllanmış
Elastisite Modülü (GPa)	190-210	25	815 °C'de tavllanmış
Çekme Dayanımı (Mpa)	655,0	25	815 °C'de tavllanmış
Akma Dayanımı (Mpa)	417,1	25	815 °C'de tavllanmış
% Uzama	25,7	25	815 °C'de tavllanmış
% Kesit Daralması	56,9	25	815 °C'de tavllanmış
Sertlik (HB)	197	25	815 °C'de tavllanmış
Darbe Dayanımı (J)	54,4	25	815 °C'de tavllanmış

Tablo 6: AISI 4140 çeliğinin elektriksel özelliği (Kesti, 2009).

Özellikler		Koşullar	
		Değer	T (°C)
Elektirik Direnci (10 ⁻⁹ Ω-m)	12,3	222	20

Tablo 7: AISI 4140 çeliğinin ısıtım işlem özellikleri (Kesti, 2009).

Özellikler	Koşullar	
	Sıcaklık (°C)	Soğutma
Sıcak Şekil Verme	850-1050	-
Normalizasyon	840-880	-
Yumuşak Tavlama	680-720	-
Sertleştirme	820-860	Su
	820-860	Yağ

AISI 4140 çeliği aynı kategorideki çelikler ile mukayese edildiğinde orta seviyede sertleşebilme yeteneğine sahip fakat diğerlerine göre dayanım ve tokluk açısından daha iyi durumdadır. Ancak bu performansı çalışma ortamında değerlendirdiğimizde normal değerlerde olduğu karşımıza çıkmaktadır. İçeriğindeki yüksek karbon oranı sebebiyle daha iyi sertleşir ve bundan dolayı da mukavemetinde artış meydana gelir. Bu çelik türünün

çekme dayanımı 1650 Mpa'a kadar ulaşabilmektedir. Sertleştirme işlemlerine ve temperleme ısıl işlemine uygundur. Çalışma ortam sıcaklığı 480 °C ulaştığında çeliğin dayanımı hızlı bir şekilde azalmaktadır. Çeşitli sıcaklıklarda dönüşüme uğraması için ısıl işlem ve gerilme konsantrasyonu ile sağlanabilir.

AISI 4140 çeliğinin yüksek dayanım özelliğine ihtiyaç duyulduğunda, bu ihtiyaç ısıl işlem prosesleri neticesinde karşılanabilir fakat ısıl işlem prosesleri neticesinde parçada hidrojen gevrekliği oluşması muhtemeldir. Ancak prosesler sırasında bu gevrekliğin oluşmasını önlemek ve parçaya süneklik kazandırmak için 2-4 saat aralığında 190°C sıcaklıkta ısıl işlem prosesleri uygulanır. AISI 4140 çeliğinden imal edilmiş parçalar, 540 °C ye kadar sürtünme dirençlerini muhafaza ederler. 1100-1200 °C sıcaklıklarda şekillendirilme kabiliyeti oldukça iyidir ve kolaylıkla şekillendirilebilirler. Sıcak şekillendirme işlemine tabi tutulduktan sonra parça yavaşça soğutulmalıdır. Bu ısıl işlemler uygulanan çelikler bu işlemlerin neticesinde kaynak kabiliyeti oldukça iyileşir. Parçalar soğuk şekillendirme yöntemi ile % 62 oranında şekillendirilebilirler. AISI 4140 çelikleri, plaka, mil, merdane, levha ve çubuk veya döküm yöntemiyle üretimi yapıp şekillendirme işlemlerine tabi tutulabilirler. Genellikle yüksek dayanıma ihtiyaç duyan makine parçaları ve makine elemanlarında kullanılırlar (Kesti, 2009).

2.3 Isıl İşlem

Ana bileşeni metal ve metal alaşımlarından meydana gelen malzemelerin içyapı ve mekanik özelliklerini istenilen biçime getirmek için sıcaklığın büyük rol oynadığı uygulama sürecine ısıtma işlemi adı verilmektedir (Said, 2012). Metal ve alaşımlarına uygulanan ısıtma işlemlerinin Türk standartlarındaki tanımı ise, katı halde bulunan metal ya da alaşımlara belirli özellikler bünyesine katmak amacıyla tek veya daha fazla sayıda, uygulamaya göre birbiri ardına planlanarak işlem yapılan ısıtma ve soğutma işlemlerinden ibarettir (TS 1112 EN 10052, 2002).

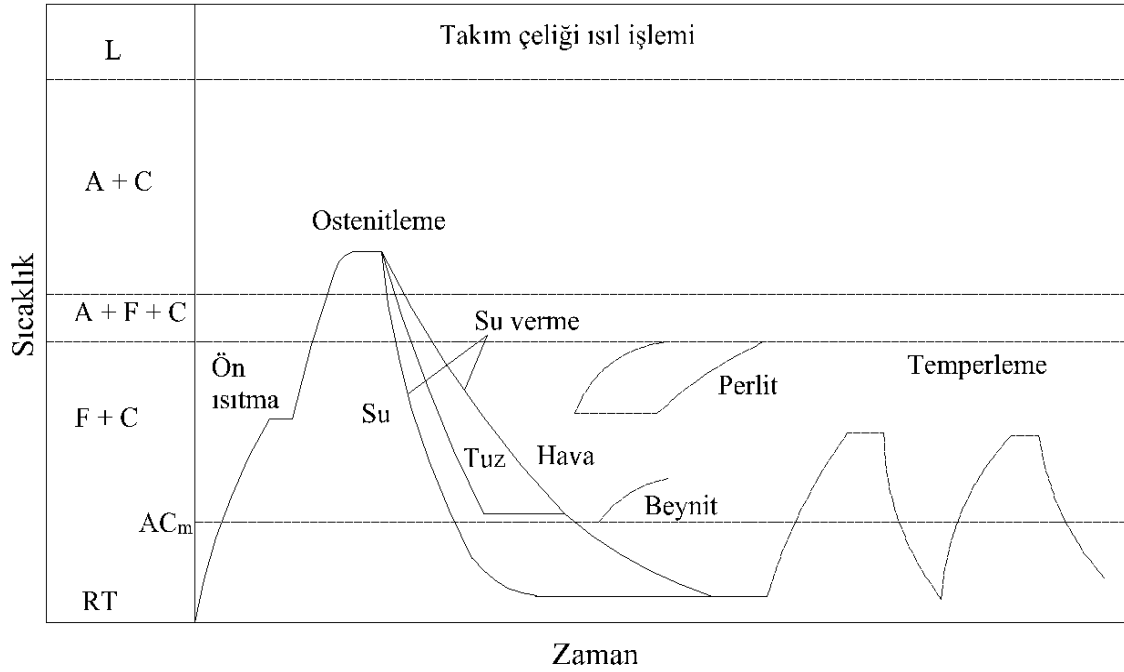
2.3.1 Isıl İşlem Hakkında Genel Bilgi

Teknik manada ısıtma işlemi, metal ve metal alaşımlarından meydana gelen malzemelerin özelliklerinde değişiklik meydana getirmek için yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Sanayimizde, özellikle metalurji ve makine imalatı yapan tesislerde üretilen makine parçaları ve makine ürünlerinin üretim sürecinde en önemli süreçlerden biridir. Bunun yanında ısıtma işlemi, ara operasyon olarak tanımlanabilen deformasyon, talaş kaldırma gibi işlemler ile teknolojik özellikleri iyileştirmek amacıyla ve metal ya da metal alaşımlarına kimyasal, fiziksel ve mekaniksel özellikler sağlamak amacıyla son işlem olarak uygulanabilir. Isıtma işlemi sırasında meydana gelen ısıtma ve soğutma zamanlarında metal esaslı malzemenin içyapısında değişiklikler olur. Meydana gelen bu değişiklikler, fiziksel, kimyasal ve mekaniksel özellikler de farklılık gözlenmesine yol açar. Bunun neticesinde metal esaslı malzemeden üretilmiş olan parçaların çalışma sırasındaki davranışlarının derinden etkiler (Aktaş, 2012).

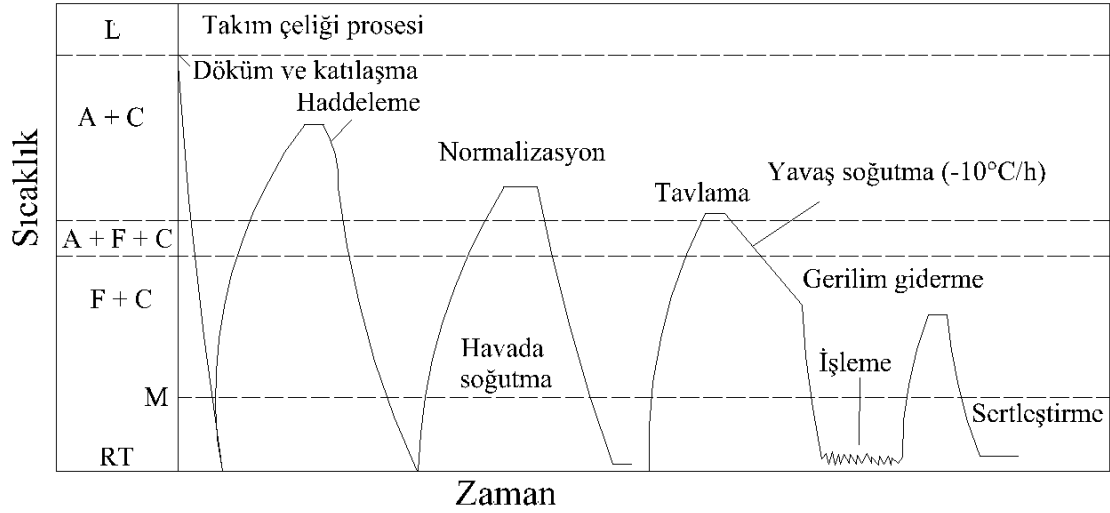
Isıtma işleminin temel yapı unsurlarını metal ya da alaşımlı metallerin sıcaklık tesiri ile içyapı ve özelliklerin değişmesi meydana getirir. Isıtma işlemi neticesinde metal malzemenin içyapısı değiştiğinden ve bu meydana gelen değişikliğin çok fazla opsiyonu olabileceğinden, bu malzemelere uygulanacak mekanik işlemler veya rast gele bir işlem, hiçbir şekilde ısıtma işlemi uygulaması ile kıyaslanması mümkün değildir (Said, 2012).

2.3.2 Sertleştirme Isıl İşlemleri

En sade manada ısıl işlem, ihtiyacımız olan malzemenin fiziksel ya da kimyasal özelliklerini artırmak ve değişiklik meydana getirmek için uygulanan ısıl prosesler olarak tanımlanmaktadır. Isıl işlem uygulaması 3 aşamada gerçekleşen kademeli bir uygulamadır. İlk aşama olarak malzemenin yani çeliğin ostenit sıcaklığı seviyesine kadar ısınma kadar ısı verilip ısıtılmasıdır. Daha sonrasında ikinci aşama olarak, çelik malzemenin ostenitleme sıcaklığı seviyesinden martenzit yapının olduğu dönüşüm sıcaklığına kadar soğutulmasıdır. Son olarak da üçüncü aşama olan kalıntı ostenit yapısının oluşmaması ve martenzit yapısı içerisinde karbürlerin oluşumunu sağlamak için uygulanan temperleme kademelerini içermektedir. Şekil 15 ve Şekil 16'da takım çeliklerine uygulanan ısıl işlem kademeleri gösterilmiştir.



Şekil 15: Takım çeliklerinin şekillendirme prosesi ve nihai sertleştirme işlemi öncesi ısıl işlemleri: A ostenit, C karbürler, F ferrit, M martenzit.

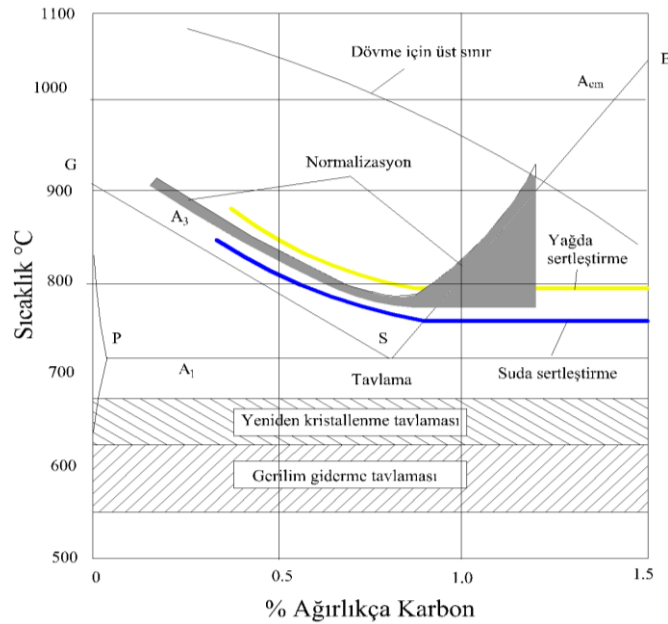


Şekil 16: Takım çeliklerinde nihai ısıl işlem basamakları.

Takım çelikler üzerine uygulanan ısıl işlem proseslerinin en esaslı amaçları şunlardır:

- Soğuk şekillendirme ve işleme işlemlerine uygun mikro yapı ve mekanik özellikler elde edilmesi
- Kalıntı gerilmelerin ortadan kaldırılması (termal ve mekanik uygulamalardan dolayı)

Bu çeliklerin ısıl işlem proseslerinin sıcaklık aralıkları aşağıdaki Şekil 17’de gösterilmiştir.



Şekil 17: Karbon ve takım çelikleri ısıl işlem sıcaklık aralıkları.

2.3.2.1 Normalizasyon

Hadde plastik şekil verme işleminden ya da sıcak çekilerek işlem görmüş takım çeliklerinde, uygulanacak ısıl işlemler malzemenin ince taneli iç mikro yapı, homojen bir yapı elde edilmesi için tasarruf edilen ısıl işlemdir. Malzeme yapısı içerisindeki Cr ve W gibi kararlı yapıdaki karbürler, sıcak işlemin uygulandığı doğrultuda yönelmekte veya içyapıdaki tane sınırlarında çökeldiği gözlenmektedir (Singh, 2012).

Normalizasyon ısıl işlemi ile çelik malzemenin sertliği ve mukavemeti yükseltilebilir veya alçaltılabilir, yapı içerisindeki fazların homojenizasyonu ve prosesler sırasında meydana gelen kalıntı gerilmeler azalması sağlanır. Genel manada, tavlama sertleştirme ve gerilim giderme gibi ısıl işlem çeşitlerinin kombine edilmiş biçimi gibidir (Singh, 2012).

Normalizasyon ısıl işlem uygulaması, ostenit çeliğinin bilinçli ortamda ısı verilerek ısıtılmasını içerir. Normalizasyon işlemi sistemdeki kritik sıcaklık olan A3'ün (ötektoid altı çeliklerde tamamen ostenit alanına geçiş sıcaklığı) 55°C üzerindeki sıcaklıkta uygulanır ve hava ortamında soğutulma yapılmaktadır (Singh, 2012).

Düşük sıcaklıkta kararlı vaziyette olan ferrit-karbür yapısı ostenite dönüşmesi normalizasyon ısıl işleminin gerçekleştiği kademelerden ısıtma ve bu sıcaklıkta bekleme aşaması sırasında meydana gelmektedir. Bunun yanı sıra bu sıcaklıktan soğutma aşamasında ostenit yapısı ferrit ve sementit yapılarına dönüşümü gözlenmektedir. Hava da soğutma yüksek alaşımlı çeliklerin içyapısında çatlaklara sebep olduğundan bu çeliklere normalizasyon ısıl işlemi uygulanmamaktadır (Totten, 2007).

2.3.2.2 Gerilim Giderme Tavlaması

Malzemeye uygulanan ısıl işlem veya plastik şekil verme yöntemlerinin neticesinde kalıntı gerilmeler, çatlaklar, distorsiyon gibi malzemede istenilmeyen hatalar gözlenebilmektedir. Isıl işlemler sırasında uygulanan gerilim giderme tavlaması ise meydana gelen faz dönüşümleri sebebiyle oluşabilecek yapıların oluşmasını ortadan kaldırmak ya da en az seviyede etkilenmesini sağlamak amacı ile uygulanmaktadır. Ac1 (ötektoid reaksiyon sıcaklığı) sıcaklığı seviyesi altında meydana gelen bu ısıl işlem türünde içyapıda faz dönüşümü meydana gelmemektedir. Atmosfer ortamına açık ısıl işlem fırınlarında veya tuz

banyosunda uygulaması yapılan gerilim giderme tavlama süreci çelik malzemenin kalınlığı ile bağlantılıdır. Genellikle 1 ya da 2 saat civarında gerçekleşmektedir.

2.3.2.3 Tavlama

Tavlama ısıl işlemi, malzemenin önceden belirlenmiş uygun sıcaklığa ısı verilerek ısıtma ve uygun sıcaklığa getirildikten sonra fırın içerisinde dönüşüm aralıkları boyunca yavaş yavaş soğutulma uygulamasıdır. Çelik malzemeler daha ince taneli bir yapıya, daha yumuşak yapıya, özellikleri artırılmış elektrik ve manyetik özelliklere ve daha iyi işlenebilirliğe sahip olabilmesi için tavlama ısıl işlemine tabi tutulması gerekir. Bu özellikler tavlama ısıl işlemi neticesinde elde edilebilmektedir. Tavlama ısıl işlemi süreci diğer proseslere göre daha yavaş meydana gelir bu yüzden, proses uzun sürede gerçekleşmektedir (Singh, 2012).

Tavlama işleminin proses sıcaklığı uygulanacak çeliğin kimyasal yapısına göre değişiklik gösterir. Genellikle 730-900 °C sıcaklıkları arasında gerçekleşmektedir. Bu sıcaklıklar tavlama işleminin Ac3 (üst kritik sıcaklık) ile Ac1 (alt kritik sıcaklık) arasında uygulandığını göstermektedir. Tavlama işleminin çeşitlendirilmesi, tam tavlama, küreselleştirme tavlama, izotermal tavlama isimleri altında yapılmaktadır (Totten, 2007).

2.3.2.3 Sertleştirme

Isıl işlemde sertleştirme süreci üç kademedен oluşmaktadır. Bunlar:

- Su verme
- Ostenitleme
- Temperleme

2.3.2.3.1 Su verme

Isıl işlem sürecinin ostenitleme aşamasından sürece dahil edilen su verme işleminin temel prensibi malzemedeki ostenit yapının, martenzit yapıya dönüşümü oluşturur. Bu yapı değişikliğinin sonucunda yapıda bir miktar kalıntı ostenit gözlenebilmektedir. Ferrit-karbür dönüşümünün yüksek hızda meydana gelmesi veya malzeme içindeki alaşım

elementlerinin bu dönüşümü geciktirici etkide bulunması durumunda da ostenit yapısının oluşumu gözlenmektedir (Totten, 2007).

Çeliklere uygulanacak olan su verme ortamının tespitinde çeliğin kimyasal kompozisyonu ve et kalınlığı esas olarak alınmaktadır. Çeliklere su verme ortamları su, tuzlu su, ısıtılmış yağları, tuz banyosu, inert gaz veya hava ortamında su verme gibi çeşitlenmektedir (Totten, 2007).

2.3.2.3.2 Ostenitleme

Isıl işlem prosesinde ostenitleme aşaması belirli bir sıcaklığa malzeme sıcaklığını çıkartıp bekleme işleminden ibarettir. Ostenitleme prosesi için işlemin yapıldığı sıcaklık ve ne kadar sürede bekletildiği oldukça önem taşır. Bilhassa yüksek hız çeliklerinde olduğu gibi alaşımlama oranı yüksek olan çeliklerde ostenitleme işlem sıcaklığı slidüs sıcaklığına çok yakın olduğundan sıcaklığın kontrolü çok büyük önem taşımaktadır (Totten, 2007).

Ostenitleme prosesi aşamalarından olan ısıtma aşamasında, ferritik yapıya sahip olan malzemenin yapısı ostenitik yapıya dönüşmektedir. Karbür bulundurmeyen homojen ostenitik içyapı düşük alaşımlı çeliklerde, ostenit ve çözünmeyen karbürü içyapı ise yüksek alaşımlı çeliklerde oluşumu gözlenmektedir. 750-900 °C sıcaklıkları arasında gerçekleşen östenitleme işlemi kimyasal kompozisyona bağlı olarak uygulanmaktadır (Totten, 2007).

2.3.2.3.3 Temperleme

Isıl işlem proseslerinden temperleme su verme işlemine tabi tutulmuş çeliğin Ac1 dönüşüm sıcaklığının altında bir sıcaklığa kadar ısıtılması ile meydana gelen bir ısıl işlem aşamasıdır. Temperleme işlemi aşama aşama gerçekleşir. Bu aşamalar çeliğin kimyasal kompozisyonu ile yakından alakalıdır. Temperleme işlemi sırasında meydana gelen aşamalar:

1. Aşama: proses sıcaklığı 50-200 °C arasında bulunduğu ve hacimsel azalmanın meydana geldiği aşamadır.

2. Aşama: proses sıcaklığı 200-350 °C arasında bulunduğu ve epsilon karbürlerinin yapı içinde çökelerek sementit ile birlikte sertlikte azalmanın meydana geldiği aşamadır.
3. Aşama: Çeliğin kimyasal kompozisyonu ve yapı içindeki kalıntı ostenitin kararlılığına bağlı olarak bu aşamanın sıcaklığı belirlenir. Ostenitin kararsızlığının yükselmesi, karbür çökmesine olanak tanımakta ve bu sebeple ostenitin içindeki alaşım oranında düşüş yaşanmaktadır. Bu olay, martenzit başlangıç sıcaklığının (Ms) yükselmesine yol açar. Yapı içindeki kalıntı ostenitin martenzit yapısı ya da beynit yapısına dönüşümünü ile malzemede hacim artışı gözlenmektedir.
4. Aşama: Genellikle yüksek alaşımlı çeliklerde görülen aşamadır. Temeli karbon transferine dayanır. Sementit fazı ile karbürler arasında karbon transferi gerçekleşir ve hacimsel artış meydana gelmektedir.
5. Aşama: Genellikle yüksek alaşımlı çeliklerde görülen aşamadır. Temeli karbürlerin birleşmesine dayanır. 600 °C de başlayıp Ac1 sıcaklık seviyesine kadar deva ettiği görülmektedir. Aşama neticesinde mikro yapı olarak tavlama mikro yapısına rastlanmaktadır. Bu aşamada da hacimsel azalma meydana gelmektedir (Totten, 2007).

Yüksek temperleme sıcaklıklarında rastlanan ikincil sertleşme genellikle yüksek hız çeliklerinde meydana gelir. Bu ikincil sertleşme özelliği sayesinde temperleme sonrası ölçülen sertlik değeri, temperlenmemiş malzemenin sertliğinden daha yüksek sertliklere sahip olabilmektedir. Ayrıca ikincil sertleşmeyi sağlayan, kuvvetli karbür meydana getiren molibden, vanadyum, tungsten, krom metalleri alaşımlandırma da da kullanılmaktadır. İkincil sertleşmenin meydana gelebilmesi için su verme işlemi sonrası meydana gelen martenzit fazın ostenit fazı içerisinde tamamen çözünmesini sağlamak gerektir. Tane büyümesi yüksek sıcaklıklarda sertliğin düşmesine sebep olur. Temperleme prosesi ile sertliğin düşmesine yol açan tane büyümesi engellenebilmektedir (Totten, 2007).

2.3.2.4 Sıfır Altı (Kriyojenik) İşlem

Sıfır altı işlem, yapıda bulunan kalıntı gerilmeleri azaltılması ve metallerin kullanım ömrünün artırılması amaçlanarak uygulanan ısıl işlemdir. Yaklaşık olarak -80 °C de (kuru buz sıcaklığı) yapıldığında soğuk işlem olarak, yaklaşık -196 °C de (sıvı azot sıcaklığı) gerçekleştiğinde sıfır altı kriyojenik işlem olarak isim verilmektedir (Huang vd., 2003). Sıfır altı kriyojenik işlem çok yavaş ısıtma ve soğutma hızlarına sahiptir. Soğutma ve ısıtma hızları 0,5 °C/dk civarında olmalıdır ki ısıl mikro çatlakların oluşunun önüne geçilebilsin. Uygulanan işlem sonrası çelik malzemeye tek temperleme aşaması uygulanır. Bu ısıl işlemin amacı yapıdaki kalıntı ostenitin meydana gelmesinin engellenmesi ve ince taneli yapıya sahip karbür parçacıklarının meydana gelmesi için çekirdeklenmenin başlamasıdır (Mohan vd., 2001).

2.3.2.5 Yüzey Sertleştirme İşlemleri

Malzemenin çeşitli kalınlıklarında farklı özellikleri sağlaması istenebilir. Bu farklı özellikler, yüzeyin aşınmaya karşı dirençli ve sert olduğu, çekirdek kısmının (iç kısmın) sünek bir durumda olduğu durumdur. Bu durum yüzey sertleştirme işlemleri ile sağlanabilir. Malzemelere uygulanan yüzey sertleştirme işlemlerinde belirli bir sertliğe sahip olması istenilen yüzey veya yüzeylerinde, 1 ya da 2 mm et kalınlığına sahiptir. Boyut olarak büyük olan parçalarda yüzeydeki sertleştirilmiş bölgenin et kalınlığı 5 mm ye kadar çıkabilmektedir. Bu sertleştirilmiş bölge “sert tabaka” olarak isimlendirilmektedir.

Parça yüzeyinde sert tabaka oluşturmanın amacı, deformasyona maruz kalan yüzeylerin aşınma direncinin artırılmasıdır. Buna ek olarak, malzemenin maruz kaldığı yükler altındaki yorulma ömrünü, oksitleyici ortamlardaki korozyon direncini iyileştirmeyi amaçlamaktadır. Parça üzerinde sert tabaka oluşmasının istemediğimiz alanlar, özel olarak yapılmış macun, pasta veya kil ile kapatılarak yüzeyde sert tabaka oluşumu engellenir. Uygulamalarda kullanılan çoğu makine elemanlarında (muylu, perno yatağı, cıvata, dişli çark yüzeyi), sert tabakanın 0,1-2 mm et kalınlığına sahip, yalnızca yüzey tabakasında sert tabaka oluşturulmasıyla, arzu edilen aşınma ve ezilme direncine sahip olurken, parçaların iç kısımları tok bir yapıya sahiptirler (Öncel, 2011). Yüzey sertleştirme işlemi aşağıdaki gibi sınıflandırılır:

1- Belirli Miktarda Isıtma Yapılan Yöntemler:

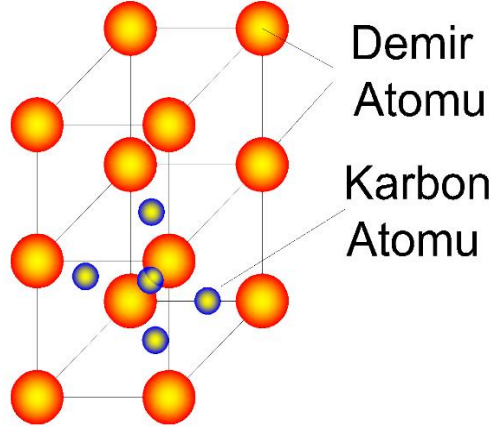
- Alevle Yüzey Sertleştirme,
- İndüksiyonla Yüzey Sertleştirme,
- Daldırma metodu ile yüzey Sertleştirme,
- Lazer ve Elektron bombardımanı ile sertleştirme

2- Kimyasal Bileşimin Değiştirildiği Metotlar:

- Semantaston (karbonlama)
- Nitrasyon
- Sülfonitrasyon
- Karbonitrasyon
- Plazma Nitrasyon (İyon Nitrasyon)
- Borlama
- Kimyasal Buhar Biriktirme (CVD) (Öncel, 2011).

İndüksiyon Akımı İle Sertleştirme

Çelik esaslı malzemelerin aşınma ve ezilme dirençlerini, kesici takımların kesme özelliğini daha fazla yükseltmek amacıyla sadece malzemenin yüzey bölgesinde sert tabaka oluşturularak yapılan yüzey sertleştirme işlemidir. Bu tipteki yüzey sertleştirmede iş parçasının tamamı ısıya maruz bırakılmaz. Sert tabakayı hangi yüzeyde oluşmasını istiyorsak yani sertleştirme yapacağımız yüzey ısı etkisi altında kalarak ısıtılır ve bu işlemin ardından iş parçası ani bir şekilde soğutma işlemine tabi tutulur. Malzemenin kristal yapısındaki atomların yer değişikliği yapmaması ve sabit kalması soğutma işlemi ile sağlanmaktadır (Öncel, 2011).



Şekil 18: İndüksiyonla sertleştirme sonucu kafes yapısının değişimi.

Çok sayıda bakır bobin bulunduran bir transformatörü anımsatan bir cihaz bu tip sertleştirme işleminde kullanılmaktadır. Sertleştirme işlemine tabi tutacağımız parça, yüksek frekanslarda çalışan endüksiyon cihazının ikinci parçasını oluşturmaktadır. Yüksek frekanslı ünitelerde beş çeşit bobin tipi bulunmaktadır. Bunlar:

- Yerel veya noktasal ısıtmayı sağlayan iç içe geçmiş bobin,
- Dönen yüzeylerin taranabilmesi için tek bobin,
- Dar aralıklardaki sertleştirme işlemi gerçekleşmesi için yüksek akım şiddeti sağlayabilen tabak şeklindeki bobin,
- Delikli tasarlanan parçaların iç kısımlarının ısıtılmasında kullanılan bobin,
- Parçaların dış kısımlarının ısıtılmasında kullanılan basit selenoid ya da sarmal bobin (Savaşkan, 1999).

Parça yüzeyinin belirli derinliğe kadar ısıtılmasında akım frekansı arasında bağlantı mevcuttur. Bu bağlantıya göre parça yüzeyi belirli derinliğe kadar sertleştirilir. Akım frekansının (f) karekökü ile ters bir orantıya sahiptir. Bu orantı ile belirli derinliğe ($d \propto \frac{1}{\sqrt{f}}$) kadar aniden ısıtılma işlemine tabi tutulur. Genellikle uygulamada seçilen

frekanslar 10-500 kHz değerleri arasında değişmektedir. Akım frekansı ile sertleşme et kalınlığı arasındaki değişen değerler Tablo 8’de verilmiştir.

Tablo 8: Parçaya uygulanan frekans ve buna bağlı olarak sertleşme et kalınlıkları.

Frekans (kHz)	1	3	10	120	500	1000
Elektirik enerjisinin etkileme et kalınlığı (mm)	1,50	0,90	0,50	0,15	0,08	0,05
Sertleşme et kalınlığı (mm)	4,60-8,90	3,80-5,10	2,50-3,80	1,50-2,50	1,0-2,0	0,25-0,75

Isıyı Yüzeye Uygulama Esasları Ve Süresi

İndüksiyon akımı ile parça üzerinde sert tabaka oluşturma işleminde uygulanan alternatif akım yük sargısı, ısıtılacak olan parça yüzeyini boşluksuz sarar. Sertleştirilecek olan yüzeyi sıkıca saran bobinlerin içinden yüksek frekansa sahip alternatif akım geçirilerek, yüksek frekansa sahip manyetik alan meydana gelir. Meydana gelen yüksek frekansa sahip akımlar metal parçanın yüzeyinde hareket eder. Metal parçanın uygulanan yüksek frekanslı akımlara karşı göstermiş olduğu direnç nedeniyle uygulamanın yapıldığı parça yüzeyi ısınır.

Bu yöntemde elektrik akımı doğrudan parça üzerine değil, parçayı saran bobine verilmektedir. Bu sebeple indüksiyon yoluyla parça üzerinde elektrik akımı meydana gelmekte ve parça yüzeyi kısa bir sürede (birkaç saniye) ısınır. Parça sıcaklığı su verme (sertleştirme) sıcaklığına ulaşmış olur. Isıtma süresi çok iyi ayarlanmalıdır aksi takdirde uzun süre (birkaç saniyeyi geçen) indüksiyon akımına maruz kaldığında parçanın tamamı ısınmaya başlayacaktır. Buda parça yüzeyinin değil, tüm parçanın sertleştiği manasına gelmektedir. Sertleşme derinliği ise uygulanan frekans ile ayarlanabilir (Öncel, 2011).

Akımın Yüzeyden Kaldırılması Ve Soğutma İşleminin Uygulaması

İndüksiyon akımı ile oluşturulan sert tabaka, bu işlem için özel olarak üretilmiş makineler ile yapılır. Şu zamanda kullanılan yeni teknolojiye sahip makinelerin büyük bir kısmı parça üzerine ani ısıtma ve soğutma işlemlerini ardı ardına yapabilmektedir. Bu teknoloji sanayimizde maliyet ve iş zamanı kaybını azaltmaktadır. İndüksiyon akımı ile yapılan ısıtma işleminin akabinde ani soğuma işlemi genellikle su ile yapılmaktadır. Parça üzerindeki gerilmeleri ve oluşabilecek çatlakları önlemek amacıyla kullanılan suyun sıcaklığı 50-60 °C civarında uygulanır. Bu sıcaklıktaki su yerine soğutma işleminde tuz

veya yağ banyosu gibi ortamda da soğutma işlemi yapılabilir. Yapılan bu prosesler neticesinde parça üzerinde sert tabaka oluşumu gözlenmektedir (Öncel, 2011).

İndüksiyon Akımı Kullanılarak Yapılan Sertleştirmenin Avantaj ve Dezavantajları

Avantajları:

- Isıtma kısa süreli olduğundan çevreye zararlı gaz yayılmaz,
- Kullanımı küçük tesislerde bile yapılabilir,
- Seri (sürekli) imalat için uygundur.
- Otomatik kontrolü sayesinde ısıtma daha iyi ayarlanabilmekte,
- Parça üzerine uygulanan sıcaklık ve sert tabakanın et kalınlığı otomatik olarak ayarlanması oldukça kolaydır (Öncel, 2011).

Dezavantajları:

- En esaslı dezavantajı işlem için gerekli olan elektrik gereksinimi ve kullanılan ekipmanların maliyetli olması,
- Parçaları sarmada kullanılan bobinlerin imal edilmesi maliyetlidir,
- Özel sargıların imal edilmesini gerektiren parçaların sayısı az ise, sert tabaka oluşturma maliyeti artar,
- Kalifiyeli personele ihtiyaç vardır,
- Ulaşılan sertlik seviyesi diğer yöntemlerin çıktığı seviyelere ulaşamaz (düşük karbonlu malzemelerde olduğu gibi),
- Parça üzerindeki keskin köşe ve kenarlar, fazla ısınacağından dolayı sertleştirme sonrasında bu bölgelerde çatlaklar gerilmelerin miktarı fazla olur (Öncel, 2011).

Nitrürleme

Nitrürleme uygulaması, 592 °C sıcaklığın altındaki ferritik şartlarda parça yüzeyinde azot girişine müsaade eden bir yüzey sertleştirme işlemidir. Bu sebepten dolayı nitrürleme uygulaması ile parça yüzeyinin kompozisyonunda değişiklik meydana getirmesiyle karbürleme uygulamasına benzemesine rağmen azot, parça yüzeyine iç yapının ostenitik

olduğu sıcaklıklar yerine iç yapının ferritik olduğu sıcaklık ve Şartlarda ilave olur. Bunun sebebi, nitrüleme uygulaması ostenit fazının bulunduğu sıcaklığa kadar ısıtılma ve içyapıda martenzit fazını oluşturmak için su verme işlemine ihtiyaç duymaz. Bu uygulamada minimum seviyede distorsiyon ve çok iyi boyutsal kontrolün yapılabilmesi, uygulamanın dŐuk sıcaklıkta geekleŐmesi iledir. Azot atomları (N), demir atomları (Fe) içerisinde yayılarak nitrür yapısını oluştururlar. Oluşan nitrürler çok kuk boyutlu (mikroskop ile tanımlanamayacak boyutta) parçacıklar halinde yapıda bulunmaktadırlar. Nitrürleme işlemin uygulandığı yüzeyin sertleŐmesini sağlan yapı içerisindeki bu kuk nitrür parçacıklarıdır. Nitrürasyon işlemi, termo kimyasal bir işlem olup, genellikle atom haldeki azotun ferrit fazına dönüŐmesini kapsamakta ve netice olarak oda sıcaklığı ortamında yapılan soğutma işlemi esnasında herhangi bir faz değişimi veya dönüşümü olması mümkün olmamaktadır (Karakan, 2004).

Nitrürasyon mekanizması genel manada bilinir fakat farklı elik malzemeler ve farklı nitrürleme ortamlarında çeşitli özel reaksiyonlar meydana gelmektedir. Seçilen işlem ve parametrelere göre mikro yapı ve oluşan tabakaların bileşimi farklılık gösterebilir. Nitrürasyon işlemi sırasındaki azot atmosferi beyaz tabakanın bileşimi olduğca etkilenmektedir. Beyaz tabakanın kalınlığı ise daha yüksek sıcaklıklarda gerçekleştirilen nitrürleme işlemi veya uzun süreli nitrürleme işleminde artmaktadır. IŐlem süresi, sıcaklık, azot aktivasyonu ve kullanılan çeliğin kimyasal bileşimi parça üzerinde oluşan nitrür tabakasının et kalınlığını etki eden esas etkenlerdir (Karakan, 2004).

Metalografik hazırlama sırasında dağlayıcı maddesi ile reaksiyon meydana gelmemesi sebebiyle beyaz renkte görülen tabakalar beyaz tabaka olarak adlandırılmaktadır. Beyaz tabaka çok sert ama kullanımı sırasında da parçalanacak kadar da kırılgan olduğundan dolayı nitrürasyon mekanizmalarında genel olarak istenilmeyen bir tabakadır. Bu tabakanın kırılganlığının veya kalınlığının azaltılması için özel nitrürasyon işlemleri uygulanır. Yüksek sıcaklıklarda gerçekleşen nitrürleme mikro yapı içerisinde geniş, iri dađılmıŐ nitrür parçacıkları oluşmasını sağlar. DŐuk sıcaklıklarda gerçekleşen nitrürleme işlemi ise dar, ince dađılmıŐ nitrür parçacıklarının oluŐumuna olanak sağlamaktadır. Nitrürleme işleminde soğuma ortamı, soğutma hızda önemli esaslardandır. Nitrürleme işleminin gerçekleştiği sıcaklıklardan oda sıcaklığına soğuma hızı, parçaya uygulanan tavlama işlemi ya da ısıl işlem yapı içerisindeki parçacıkların büyümesinden dolayı nitrür yapısını da değişiklik meydana gelmektedir (Karakan, 2004).

Nitrürasyon işlemini uygulayabilmemiz için, uyguladığımız parça nitrürlenebilir nitrürasyon çeliklerden olması gerekmektedir. Aslında nitrürlenebilirlik, uygulandığı parçanın azot absorbe edebilme kabiliyeti ve yapı içerisindeki azotla oluşturulan nitrür bileşiklerinin sertlikte meydana getirdiği artıştır. Bu mekanizmada en önemli esaslardan bir tanesi yapı içerisinde bulunan alaşım elementlerinin miktarı ve cinsidir. Alüminyum, nikel, titanyum, vanadyum, molibden ve krom bu alaşım elementlerinin başlıca olanlarıdır. Bu elementlerin azota karşı olan afinitelerinin sebep olduğu çok sert ve ince bir yapı olan alaşım nitrürlerini oluşturmaktadırlar (Karakan, 2004).

Nitrürasyon yöntemleri temel olarak, nitrürleme tozları kullanılarak katı nitrürleme, siyanür gibi azot ihtiva edebilen çözeltiler kullanılarak sıvı nitrürleme, azot içeren gaz atmosfer kullanılarak gaz nitrürleme ve plazma ortamı içerisinde azot iyonlarının yayınımindan faydalanılarak yapılan plazma iyon nitrürleme olmak üzere dört gruba ayrılır (Öncel, 2011).

Katı (Toz) Nitrürleme

Nitrürleme yöntemlerinden katı nitrürleme, yüzeyinde sertleştirme yapılacak olan parçalar nitrürleme tozlarıyla beraber fırın içerisine yerleştirilir. Fırın azotun yayılabileceği sıcaklığa kadar ısıtılır ve azotun parça yüzeyine yayılması ve absorbe edilmesi için uygun sıcaklığa çıkartılan fırın belirli bir süre bekletilmesi esasına dayanmaktadır. Bu yöntemde nitrürleme işlemine uzun sürelerle gerçekleştirildiğinde parça yüzeyinde kabarmalar ve kopmalar biçiminde deformasyonlar meydana gelmektedir. Bu sebepten dolayı bu yöntemde nitrürleme süresi 12 saatin altındaki sürelerde gerçekleştirilir (Yılmaz, 2008).

Tuz Banyosunda (Sıvı) Nitrürleme

Tuz banyosunda (sıvı) nitrürleme yöntemi, yüksek oranlarda erimiş potasyum (K) ve sodyum (Na) siyanatlar (siyanür tuzları) bulunduran siyanürlü tuz banyosu ortamında gerçekleştirilir. Bu tuz banyosu ortamında, sıcaklık önemli bir esastır. Ortam sıcaklığı yüksek sıcaklıklara ulaştığında siyanürden (CN) karbon ayrışması görüldüğü gibi parça yüksek sıcaklıklara ulaşmadan düşük sıcaklıklarda ortamdan azot ayrılarak parçaya verilir. Bu mekanizma belirli sıcaklıklar arasında gerçekleşir. 500-600 °C sıcaklık aralığında siyanür banyosu içerisindeki siyanür tuzlarındaki elementler (C karbon N azot) çeliğe

difüzyonu gerçekleşir. Sıvı nitrürleme yöntemini gaz nitrürleme yöntemi ile karşılaştıracak olursak düşük sıcaklıklarda daha yüksek sertlik oranlarına ulaşması ve nüfuz derinliği az olan derinliklerde aynı derinliğe kısa sürede ulaşabilmesi sıvı nitrürleme yöntemini gaz nitrürleme yönteminden üstün kılmaktadır.

Yüzeyleri sertleştirilecek olan parçaların tuz banyolarına sokulup çıkartılması da gaz fırınlarının işleme nazaran daha kolay gerçekleştirilmektedir. Buna ek olarak koruyucu kaplama yapılmadan bölgesel olarak yapılan daldırma işlemi ile bölgesel olarak nitrürleme işlemi gerçekleştirilebilmektedir. Bu avantajlarına rağmen sıvı nitrürleme yönteminin dezavantajları da bulunmaktadır. Nitrürleme işlemi sırasında hızlı ısınmadan dolayı daha fazla deformasyon meydana gelerek hasara uğrama ihtimali vardır. Uygulanılabilir malzeme yelpazesi içerisinde Hız çelikleri dışındaki malzemeler de kullanımı daha azdır. Daha çok yüksek aşınma mukavemetinin arandığı parçalarda aşınma mukavemetini artırmak için kullanılan yüzey sertleştirme yöntemidir (Yılmazer, 2008).

Gaz Nitrürleme

Gaz nitrürleme yöntemi, sertleştirilecek parça yüzeyinde yeterince sert bir tabaka meydana gelmesine olanak sağladığından dolayı mühendislik uygulamalarında kullanılabilir bir yüzey sertleştirme yöntemidir. Krom, molibden, alüminyum ve vanadyumdan parça yüzeyinde çok sert nitrür tabakası bu yöntem ile oluşturulabilir. Gaz nitrürleme yönteminde genel olarak azot içeren gazlar kullanılmaktadır. Bu gazlardan en yaygın olarak kullanılanı amonyak (NH₃) gazıdır. 500-550 °C sıcaklık aralığına kadar ısıtılmış fırına verilen sertleştirilecek parça, fırın ortamında bulunan amonyağın



Biçiminde gerçekleşen ayrışma reaksiyonu ile meydana gelen azot parça yüzeyine yayılır. Bu reaksiyon sonucu ayrılan amonyağın kimyasal oranı % 15 ila % 30 arasındadır. Parça yüzeyine yayılan azot haricinde kalan gaz karışımı işlemin gerçekleştiği ortamdan uzaklaştırılması sırasında diğer taraftan da ortama devamlı olarak amonyak ilavesi yapılır. Amonyağın hava ile karışımı sonucunda patlayıcı özellik kazandığı ihmal edilmemesi gereken bir olaydır. Bu olaydan dolayı fırın 150 °C sıcaklığın üzerinde açılması gerektiğinde azot süpürme yapılması gerekmektedir.

Parçalar, kontrollü atmosfer ortamında gaz sızdırmaz özellikte olan fırın içerisinde çok yavaş ısıtma gerçekleştirilerek nitrürleme işlemi gerçekleştirilir. Nitrürlemenin gerçekleşmesi için gerekli olan işlem süresinin bitiminde parça tekrar çok yavaş şekilde soğutma işlemine tabi tutulur. Nitrürleme işleminin sağlığı açısından işlem başlamadan önce parça yüzeyi oksitlenmiş, karbon oranı azaltılmış ve yağlı bir yüzey durumu söz konusu olmamalıdır.

Gaz nitrürleme yönteminin en önemli avantajlarından bir tanesi geometriye göre sınırlanmaması ve özel bir ekipman gerektirmemesidir. Nitrürleme işlem sıcaklığı çok yüksek sıcaklıklarda gerçekleşmesi ve nitrürleme işleminin süresinin uzunluğu bu yüzey sertleştirme yönteminin dezavantajları arasındadır. Bu dezavantajlar maliyeti de artırdığından dolayı dezavantajları daha da artırmaktadır (Yılmaz, 2008).

Plazma (İyon) Nitrürleme

En temel manada azot içeren gaz ortamına elektrik enerjisi verilerek, azotun iyonlaştırılması yoluyla ortamı plazma atmosferine çevirerek ve daha sonraki süreçte, ortamdaki azot iyonlarının parça üzerine manyetik alan şeklinde çarptırılarak gerçekleştirilen iyon (plazma) nitrürleme işlemi, bildiğimiz ve yaygın olarak kullanılan gaz nitrürleme işleminden geliştirilmiş olan termokimyasal bir yüzey sertleştirme işlemidir (Yılmaz, 2008).

Plazma (iyon) nitrürleme yöntemi sahip olduğu avantajlarından dolayı Amerika ve Avrupa sanayilerinde yaygın olarak kullanılan bir yüzey sertleştirme yöntemidir. Bu avantajlarından başlıca olanları şunlardır: Harcanan enerji ve işçilik masraflarının düşük seviyelerde olması ve talep edilen özellikteki sert nitrürlü tabakanın elde edilebilir olmasıdır. Bu avantajlarına ek olarak çevresel kirliliğin sebeplerinden olmayışı da oldukça önemli bir avantajdır.

Plazma nitrürleme işlemi demir esaslı malzemelere uygulanabildiği gibi kobalt, nikel ve titanyum metallere olduğu gibi demir dışı metallerde de uygulanabilmektedir. Ancak demir dışı metallerde plazma nitrürleme işlemi zor gerçekleştiğinden çelik malzemelere göre daha az araştırılmıştır. Plazma nitrürleme işlemini gerçekleştirebilmek için işlem yapılacak parça periyodik tablonun IVa, VA ve VIa ailelerine ait olması gereklidir. Çünkü

bu ailedeki elementler yani metaller, kolaylıkla nitür oluşturabilirler ve bundan dolayı nitürleme yöntemi ile kolaylıkla sertleştirilebilirler. Sonuç olarak nitürleme işlemi nitür oluşturan bazı elementler ve alaşımlandırılmış metal alaşımları için mümkün hale gelebilmektedir. Metal alaşımlarının nitürasyon işleminde ortamda bulunan azot atomları yüzey tabakasından malzeme içine doğru difüzyonu gerçekleşir ve yapı içindeki alaşım elementleri ile reaksiyon meydana getirerek malzeme yüzey ve yüzeye yakın bölgede sert nitür tabakasının meydana getirirler (Kahraman vd., 2009).

Nitürleme yüzey sertleştirme yöntemiyle çelik malzemeye kazandırılan özelliklerden bahsedecek olursak;

- Yüksek oranlarda yüzey sertliği ve aşınma direnci,
- Temperleme işlemine karşı yüksek mukavemet ve yüksek sıcaklık sertliği,
- Yüksek oranda yorulma mukavemeti ve düşük oranda yorulma çentik hassasiyeti,
- Paslanmaz özellikte olmayan çelikler için iyi düzeye getirilmiş korozyon direnci,
- Diğer yüzey sertleştirme işlemlerine göre yüksek boyutsal kararlılık (Özdemir ve Erten, 2003).

İyon Nitürasyon ve İşlemi

Malzemelerin tribolojik özelliklerinin artırılmasında kullanılan en etkili yöntem yüzeyler arasında yağlayıcı bir tabakanın oluşturulmasıdır. Ancak atmosfer veya çalışma şartları göz önüne alındığında yağlamanın her ortamda kullanılamayacağı aşikârdır.

Yüzeyi herhangi bir yüzey sertleştirme işlemi görmemiş metal parçaların yüzey bölgelerini sertliği yüksek ve aşınmaya karşı oldukça mukavemetli biçime getirerek sürtünme yorulma ve korozyon davranışlarını maksimum seviyeye çıkarmak için malzemenin yüzey tabakasından içerisine doğru yabancı atomların difüzyonun gerçekleştirilmesi gerekir. Malzeme yüzeyi üzerinde bu özelliklerde bir tabaka oluşturmak için çeşitli yöntemler mevcut olup bu yöntemlerden bir tanesi de plazma destekli ferritik termo kimyasal yüzey işlemlerinden olan plazma (iyon) nitürleme işlemidir. Plazma nitürleme işlemi, çelik malzemelere ferritik şartlarda iken uygulanan bir yüzey sertleştirme ısıl işlem uygulaması

olduğundan, ostenit fazlı yapıya ulaşabilmek için gerekli bir ısıtma işlemine ve bunu arkasından martenzitik fazı oluşturmak için soğutma işlemine ihtiyaç duymaz. Bu sebepten dolayı, minimum seviyedeki malzeme çarpılması ve çok iyi boyut kararlılığı sağlanır (Krauss, 1980).

Plazma nitrürasyon işlemi şu şekilde açıklanabilir; anot ve katot kutupları arasında yüksek gerilim sebebiyle hızını almış birbiri ile çarpışarak katottun (metal parça) çevresinde bulunan gaz atomlarını iyonize etmektedir. Meydana gelen bu iyonlar, pozitif yük taşıyıcılar olarak metal parçanın yüzey bölgesine çarparlar. Metal parça (katot) üzerinde meydana gelen çizgi şeklindeki parlaklık, iş parçasının sınırlarını belirlediği için tüm malzeme üzerine iyon bombardımanı yapılmasına olanak sağlamaktadır. Netice olarak uniforn bir sertleşme derinliği meydana gelmiş olur.

Plazma nitrürleme işlemi neticesinde malzeme yüzeyinde meydana gelen mikro yapı ve tribolojik özellikler, nitrürleme işlemi sırasında nitrürleme parametreleri olarak adlandırılabilen değişkenlere bağlı olarak değişmektedir. Bu parametrelerden en esaslı olanlarını söyleyecek olursak; nitrürleme sırasındaki sıcaklık, nitrürleme işleminin gerçekleştiği süre, ortamdaki gaz karışımının oranı ve nitrürleme işlemini uygulanacağı malzemenin türüdür. Bu parametrelerin her birinin değişikliği malzeme özelliklerini ayrı ayrı değiştirmektedir. Nitrürleme sıcaklığı plazma nitrür işlemi neticesinde malzemenin tümüne etkisi vardır. Nitrürleme işleminin süresi sadece oluşturulan sert tabakanın kalınlığını etkilemekteyken, gaz karışımının oranı da sert tabakanın kalınlığına da etki eder.

Plazma nitrür ile yüzey sertleştirme işleminde yüzeyi sertleştirmen için gerekli azot bombardımanı, metal malzemenin yüzey bölgesinde ve yüzeye çok yakın alanlarda termokimyasal reaksiyonların meydana gelmesi neticesinde gerçekleşir. Termokimyasal reaksiyonların meydana gelmesi için gerekli azot, azot gazının veya içeriğinde azot bulunan gaz ya da gaz karışımının yüksek gerilime sahip doğru akım kullanılarak iyonlara ayrıştırılması sonucu elde edilmiştir (Öncel, 2011).

Plazma Nitrürleşmiş Yüzey Tabakasının Yapı Ve Özellikleri

Plazma nitrüleme işlemine tabi tutulmuş malzemenin yapısı katman katman tabakalar halindedir. Bu tabakalardan ilki yani en üst kısımda bulunan “beyaz tabaka”, bu tabakanın bir alt katmanında “yayınım tabakası”, en alt kısımda ve sonuncu tabaka olan “çekirdek bölgesi” biçiminde isimlendirilip incelenmektedir. Nitrüleme yüzey sertleştirme işleminde azot elementinin çeliğe ilk difüze olduğu en üst kademedeki bulunan yüzey tabakası, malzemedeki azotun en yüksek oranda mevcut olduğu bölge olmaktadır. Bu yüzey bölgesi nitrik asit ile dağlama işlemine tabi tutulduğunda, reaksiyon oluşturmayarak, ışık mikroskobu altında beyaz bir tabaka biçiminde görüntülenir. Bundan dolayı meydana gelen bu tabakaya “beyaz tabaka” ismi verilmiştir. Yüksek oranda sert ve kırılğan özellikte bir yapıya sahiptir. Malzeme üzerinde yüzey katmanından iç katmanlar doğru gidildikçe, azot atomu demir kafesinde ara yer atomu olarak görev yaptığı veya çelik içerisinde bulunan nitrürü yapıcı özellikte olan elementlerle oluşturduğu ince biçimde dağılım göstermiş alaşım nitrürlerinin olduğu yayınım tabakasına ulaşılmaktadır. Malzemenin daha iç katmanlarına gidildikçe yapı içerisindeki azot miktarı azalmakta ve bunun sonucunda sertlik değeri oldukça düşüş göstermektedir. Yapı içerisinde daha da derinleştikçe, yapı içerisindeki azotun tamamen ulaşmadığı yani azotun bulunmadığı katman olan çekirdek bölgesine ulaşılır. İyon nitrürlenmiş çeliklerin tribolojik özelliklerini belirleyen en önemli etkenlerini beyaz tabaka ve yayınım tabakasının yapısal özellikleri oluşturmaktadır. Üzerine iyon nitrür uygulanan çeliğin tribolojik ve korozif özelliklerindeki artışa beyaz tabaka, yorulma dayanımındaki artışı ise yayınım tabakası sebep olmaktadır. İyon nitrüleme yöntemi uygulandığı malzemeye kazandırdığı bu pozitif özelliklerden dolayı günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır. Diğer nitrüleme yöntemlerinin aksine sıcaklık, süre, gaz basıncı, gaz bileşimi, akım ve gerilim gibi değişkenleri uygun değerlerde kullanarak uygulamadaki beyaz tabaka ve yayınım tabakasının yapısal özelliklerini kontrol altına alma olanağı bize sunmaktadır (Şirin, 2004).

Plazma İyon Nitrülemenin Avantaj ve Dezavantajları

İyon nitrüleme yönteminin diğer nitrüleme yöntemlerinden farklı olmasına olanak sağlayan unsur, uygulama sırasında ortam içerisinde bulunan azotun oranını ve miktarını kontrol edilebilmesi ve azotun malzeme yüzeyi üzerine bombardıman biçiminde olmasıdır. Meydana gelen bu farklılıklar sonucunda aşağıdaki ifadelerle varılabilir;

- Nitrürleme işlemi neticesinde malzeme yüzeyinde oluşacak nitrür tabakası ve tabakanın bileşenleri kontrol altında tutulabilmesi,
- İyon nitrürleme uygulamasında işlem sıcaklığının işlem sırasında uygulanan gerilim ile ayarlanabilmesi ve kontrol altında tutulabilmesi,
- İyon nitrürlemenin bombardıman etkisi altında azot difüze etmesi sebebiyle malzeme üzerindeki sıcaklık artışı sadece yüzeyde meydana gelmektedir. Yani heterojen bir sıcaklık dağılımı söz konusudur. Malzemenin tamamını düşündüğümüzde sıcaklık etkisinden dolayı deformasyonların meydana gelmemesi,
- Diğer yöntemlere kıyasla daha kısa bir sürede aynı nitrür tabakası kalınlığına ulaşabilmektedir. Misal olarak malzeme yüzeyinde 0.1 mm kalınlığında bir nitrür tabakası meydana getirmek için iyon nitrür yönteminde 10 saat süre harcanmaktadır. Diğer yöntemlerde ise sırasıyla (iki kademeli gaz nitrürleme, sıvı nitrürleme, tek kademeli gaz nitrürleme yöntemi) 25, 30, 50 saatlik sürelerde bu kalınlık oluşturulmaktadır.
- İşlem sonrasında malzemedeki çarpılmalar ihmal edilecek düzeyde az olması,
- Karmaşık geometriye sahip parçalar ve bölgesel sertleştirilmesi gereken parça yüzeyleri kolaylıkla işleme tabi tutulması,
- İşlem sonrasında yorulma mukavemetindeki artış % 25-40'lara ulaşması,
- İşlem neticesinde parçada ki boyut değişimi 8-10 µm seviyelerinde seyretmesi,
- Plazma işlemi için gerekli olan enerji sadece plazma oluşturmak için kullanıldığından dolayı ekstradan enerji üretmesi gereken bir sisteme ihtiyaç duymaması ve daha az enerji ile faaliyetine devam edebilmektedir (Yılmaz, 2008).

Dezavantajları:

- İyon nitrürleme işlemi için gerekli sistemin kurulmasının maliyeti yüksek olduğundan dolayı ilk yatırım masraflarının artmasına sebep olmakta,
- Aynı pasoda; eşit boyutlara ve kesitlere sahip parçalara nitrürasyon işleminin uygulanması (Sevil, 2008).



BÖLÜM 3

MATERYAL YÖNTEM

Bu çalışmada kimyasal bileşimi (Tablo 9) olan AISI 4140 çeliğinin oda, 100 °C, 200 °C, 300 °C ve 450 °C ler deki kuru kayma aşınma davranışları incelenmiştir.

Tablo 9: AISI 4140 çeliğinin kimyasal bileşimi

ELEMENT	% AĞIRLIK
C	0,38-0,45
Mn	0,75-1,00
P	0,035 (maks)
S	0,04 (maks)
Si	0,15-0,30
Cr	0,80-1,10
Mo	0,15-0,25

3.1 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM- Scanning Elektron Microscopy)

Kuru-kayma aşınma deney testine tabi tutulan numunelerin aşınma yüzeylerinden fotoğraflar alınarak, numune yüzeyinde meydana gelen aşınma tipinin tespit edilmesinde faydalanılmıştır.

3.2 Noktasal Analiz Çalışmaları (EDS- Energy Dispersive Spectroscopy)

SEM mikroskobunun bir ünitesini oluşturan EDS modülü ile numunelerin ihtiyaç duyulan noktalarından noktasal, bölgesel ve çizgisel analizleri yapılmıştır.

3.3 3D Optik Profilometre İncelemeleri

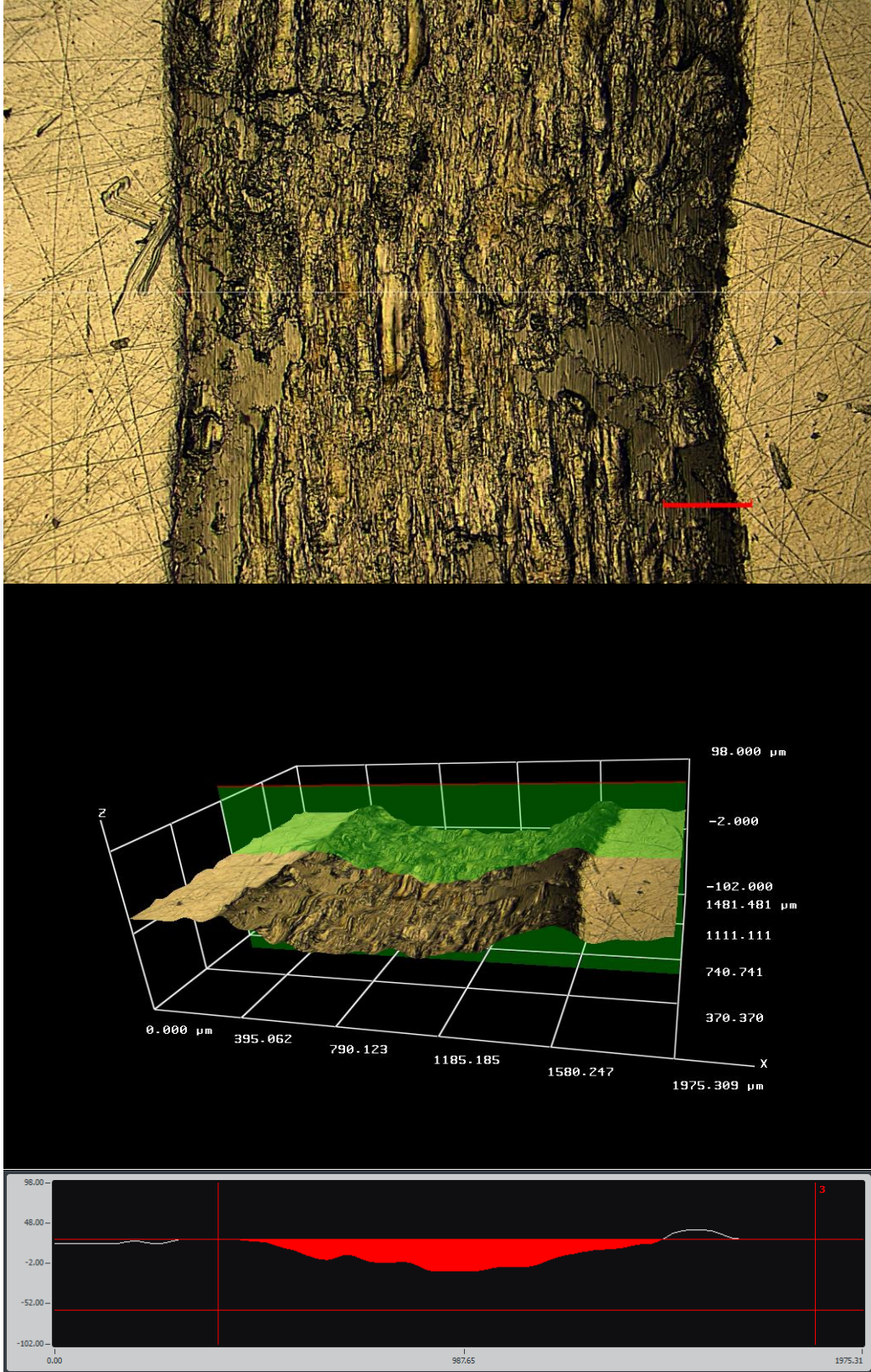
Numunelerin aşınma hacim kayıplarının belirlenmesinde ve yüzey profillerinin tespit edilmesinde kullanılmıştır.

3.4 Sertlik Deneyleri

Deney numunelerinin sertlikleri Qness marka mikro sertlik cihazında 50 g yük ve 1 g/sn yükleme hızı kullanılarak alınmıştır.

3.5 Kuru-Kayma Aşınma Deneyleri

Kuru-kayma aşınma testleri oda, 100 °C, 200 °C, 300 °C ve 450 °C sıcaklıklarında 6 mm çapında wolframkarbür bilye kullanılarak Ball-on-disk tribometre cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Testlerde kullanılan sert karbür bilye sertlikleri 19 GPa'dır. AISI 4140 çeliğinden hazırlanmış olan 30 mm çapında, 10mm kalınlığındaki daire kesitli numuneler deney cihazının döner tablasına yerleştirilerek sabitlenmiştir. Aşınma testleri 200 d/dk hızda, 3 N, 5 N, 7N ve 10 N'luk yükler altında gerçekleştirilmiştir. Deneylerden doğru ve geçerli sonuçlar alabilmek için geçerliliğini arttırabilmek için her bir deney 3 defa gerçekleştirilerek ortalama değer alınmıştır. Yapılan aşındırma testlerinden sonra Aşındırma işleminden sonra numunelerin hacim kayıplarını belirlemek için aşınma izinin oluşunun kesit görünüşünde 3D profil metre ile kesit yüzeyinin görüntüleri (Şekil 19) alınmıştır. Aşındırıcı bilyenin numune üzerinde meydana getirdiği dairesel kesitli iz üzerinden 90 derecelik açılarla toplamda 4 bölgenin kesit yüzeyi alınarak bunların ortalama değeri hacim kaybı hesabında kullanılmıştır.



Şekil 19: 3D profil metre ile kesit yüzeyi görüntüsü.

BÖLÜM 4

BULGULAR VE TARTIŞMA

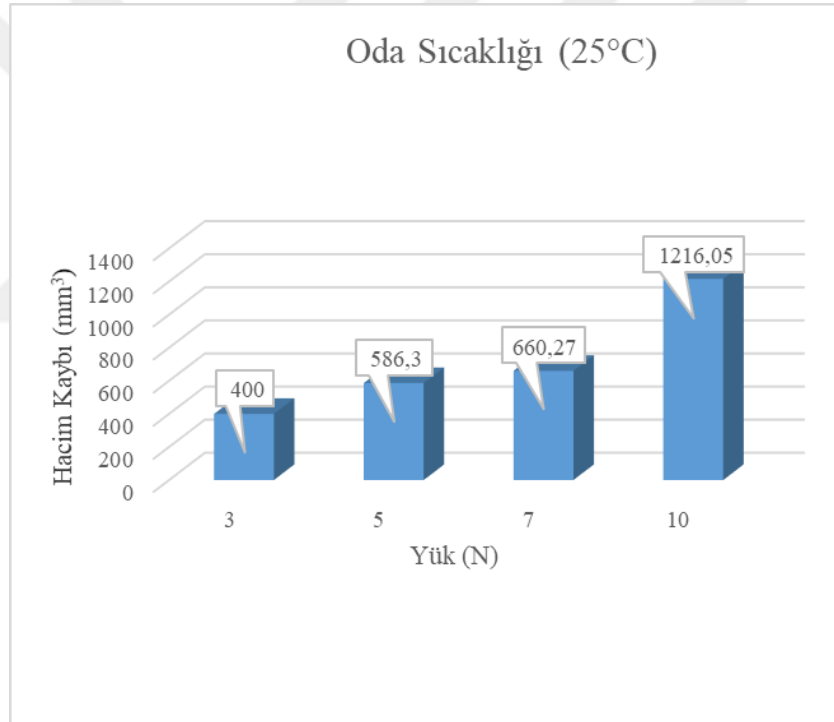
AISI 4140 ıslah çelikleri, ıslah işlemi sonunda kazandıkları üstün mekanik özelliklerden dolayı, çeşitli makina ve motor parçaları, dövme parçalar; çeşitli civata somun ve saplamalar, krank milleri, akslar, kumanda ve tahrik parçaları, piston kolları, çeşitli miller, dişliler gibi parçaların imalatında olmak üzere geniş bir alanda kullanılır. Bu sebepten, ıslah çelikleri inşaat ve alaşımsız çeliklerden sonra, en yüksek oranda üretilen ve kullanılan çelik türüdür.

Bu çalışmada yukarı da belirtildiği gibi sanayi sektörünün birçok sektöründe kullanılan AISI 4140 çeliğinin farklı sıcaklıklardaki adhezyon (kuru kayma) aşınma davranışları incelenmiştir. Deneyler 3, 5, 7 ve 10 N yükler altında, oda sıcaklığı, 100 °C, 200 °C, 300 °C ve 450 °C sıcaklıklarda ball on disk aşınma cihazında gerçekleştirilmiştir.

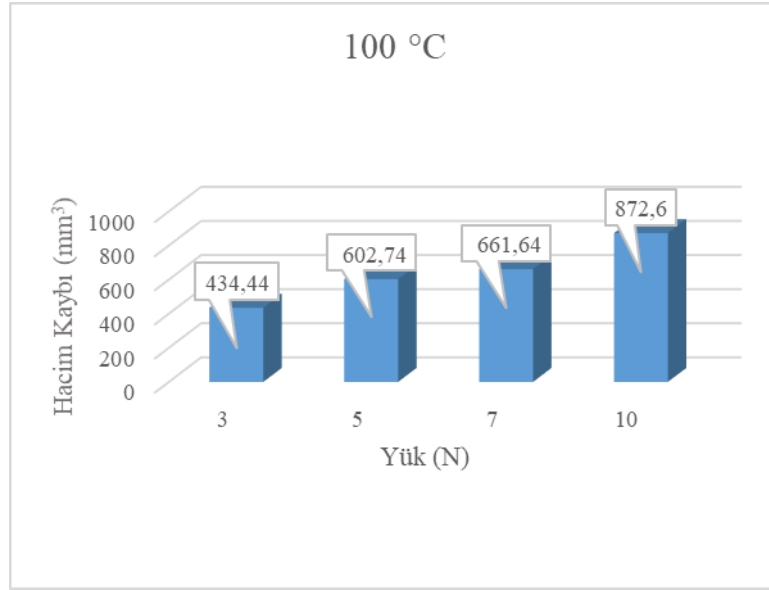
Kuru kayma (adhezyon) aşınması genel anlamda etkileşimli iki yüzey arasında lokal bölgelerde meydana gelen soğuk kaynama ve daha sonrasında bu kaynak bağlarının kopmasıdır. Bu esnada meydana gelen aşınma parçacıkları geçici veya kalıcı olarak yüzeylerden birisine yapışırlar. Adheziv aşınmada farklı parametreler etkin rol oynamaktadır. Örneğin pürüzlerin sertliği malzemenin hacim sertliğinden çok daha önemlidir. Çünkü gerçek alandaki etkileşim pürüzler vasıtasıyla meydana gelmektedir. Archard'ın adheziv aşınma teorisinde ise aşınma hacmi; kayma hızı, normal yük ve malzeme sertliğinin bir fonksiyonu olarak meydana gelmektedir. (Archard, 1953; Archard ve Hirst, 1956).

Şekil 20, 21, 22, 23, 24'de farklı sıcaklık ve farklı yüklerde gerçekleştirilen kuru kayma deney sonuçlarında 3D optik profilometre ile deneysel çalışmalar bölümünde açıklandığı gibi numunelere ait hacim kaybı değerleri sırasıyla verilmiştir. Ayrıca Şekil 25'te tüm değerlerin bir grafikte toplanmış hali değerlendirmenin daha kolay yapılabilmesi için tekrar verilmiştir.

Oda sıcaklığında yapılan deneyler sonucunda elde edilen hacim kaybı değerleri incelendiğinde (Şekil 20) artan yük ile birlikte işlem görmemiş numunelerdeki hacim kayıplarının arttığı görülmüştür. Yüke bağlı olarak bu durum değerlendirilecek olursa aşındırıcı bilye üzerindeki normal kuvvetin artması aşındırıcının numuneye daha fazla batmasına sebebiyet verecektir. Buna bağlı olarak aşındırıcı daha fazla malzemeyi plastik deformasyona uğratacağı için hacim kaybı daha fazla olacaktır. Ayrıca düşük sıcaklıklarda aşındırılan malzeme yüzeyinde oksit tabakası oluşumunun daha zor ve geç olmasından dolayı koruyucu ve yük taşıyıcı olarak görev yapan bu tabakanın oluşması daha uzun zaman alacaktır. Buna bağlı olarak ta numunedeki hacim kaybı yüksek olmuştur. Benzer durum konu ile çalışma yapan diğer bilim adamları tarafından da belirtilmiştir (Tu vd., 1998; Solmaz ve Keleştemur, 2004).



Şekil 20: Farklı yük ve oda sıcaklığındaki numunelere ait hacim kaybı değerleri.



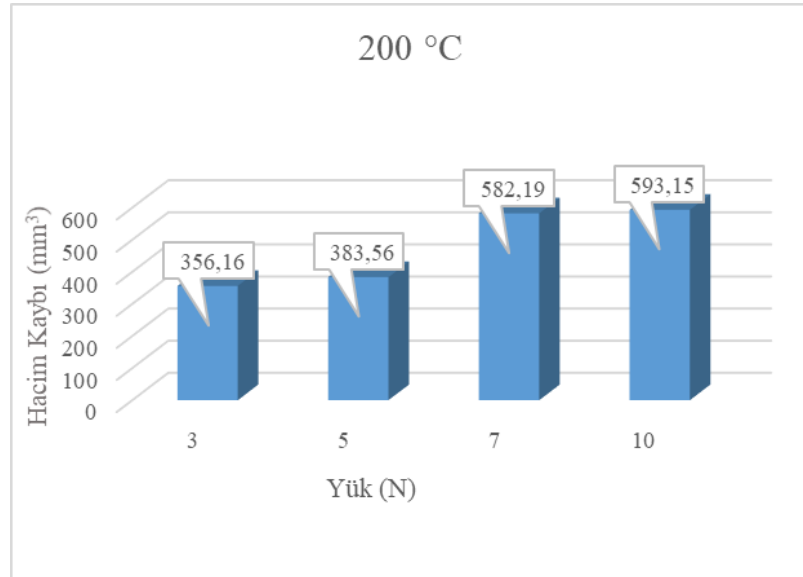
Şekil 21: Farklı yük ve 100 °C sıcaklıktaki numunelere ait hacim kaybı değerleri.

100 °C sıcaklıkta aşındırma işlemine tabi tutulan numunenin hacim kaybı değerleri (Şekil 21) incelendiğinde oda sıcaklığındaki numuneye göre hacim kayıplarında bir miktar daha artış olduğu görülmektedir. Sıcaklığın artmasıyla malzemenin plastik deforme olma kabiliyetinin artması ancak yüzeyde yine koruyucu oksit tabakasının yeterince oluşmaması bu duruma sebebiyet vermiştir. 200 °C ve 300 °C de gerçekleştirilen aşınma deney sonuçları incelenecek olursa (Şekil 22 - 23) AISI 4140 malzemesi için bu sıcaklığın bir geçiş sıcaklığı olduğu söylenebilir. Çünkü bir önceki numunelere göre hacim kayıplarında düşüş meydana gelmiştir. Yani 200 °C de aşındırma işleme tabi tutulan numuneler 100 °C de aşındırma işlemine tutulan numunelerden daha az hacim kaybı sergilerken benzer şekilde 300 °C de işleme tabi tutulan numunelerde 200 °C ye göre daha düşük hacim kaybı sergilemiştir. En düşük hacim kaybı 300 °C de aşındırma işlemine tabi tutulan numunede görülmüştür. Sıcaklığın artması ile birlikte hacim kaybının da artması beklenirken, tam tersi bir durumun meydana gelmesi Pauschitz vd. (2003), yapmış oldukları çalışmalarda şu şekilde açıklanmıştır. Yüksek sıcaklıklarda malzemelerin yüzeyinde yük, sıcaklık ve kayma hızına bağlı olarak Glazed layer tabakasının oluştuğunu belirtmişlerdir. Bu tabakanın doğasının farklı karakteristiklere bağlı olarak değişebileceğini de öne sürmüşlerdir. Örneğin aşınma şartları, aşınan ve aşındırıcı malzeme çiftleri, bu tabakanın şekillenmesinde önemli rol oynadığını belirtmişlerdir. Bu tabakalar sürtünme katsayısının ve aşınma oranlarının belirlenmesinde de belirleyici rol oynadığını belirtmişlerdir. Glazed tabakası fiziksel görünümü mekanik özellikleri kimyasal kompozisyonu ve hasar

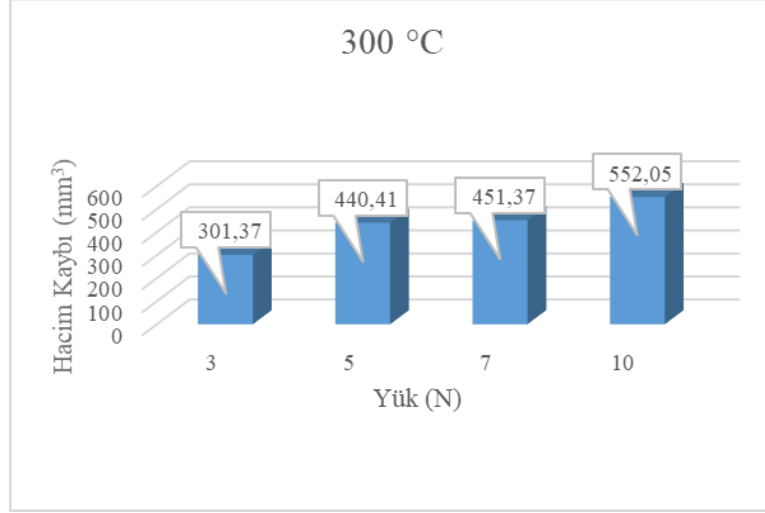
mekanizmalarına bağılı olarak farklılık gösterir. Bu tabaka yüzeyde dört farklı durumda bulunabilir, bunlar;

- Birincisi glazed tabakasının şekillenmediğı tabakadır.
- İkincisi transfer tabakasıdır (TT). Bu iki tabaka oda sıcaklığı şartlarında oluşur.
- Üçüncüsü mekanik karışım gösteren tabakadır (MKG).
- Dördüncüsü kompozit tabakasıdır (KT).

Bu düşüşün sebebini söyle açıklamak mümkündür. Özellikle yüksek sıcaklıklarda etkileşim içerisinde çalışan malzemelerin yüzeylerinde glazed layer (sır tabakası) denilen bir tabaka oluşmaktadır. Bu tabaka sıcaklığa bağılı olarak transfer tabakası (TT) mekanik karışım gösteren tabaka (MKG) ve kompozit tabakası (KT) olmak üzere üç şekilde malzeme yüzeyinde meydana gelmektedir. Bunlar içerisinde KT tabakası yüzeyden çabuk çözünen, yüzeyde tutunamayan bir tabakadır. Sıcaklığın yükselmesi ile birlikte yüzeyde ince ve daha kuvvetli tutunan bir tabakaya dönüşür. Buna bağılı olarak da yük taşıyıcı ve aşınmayı önleyici bir görev üstlenir. Ayrıca oluşan bu tabaka artan yük ile birlikte alt yüzeye olan adhezyonunu artırır ve daha kompakt bir hale gelir. Ancak bu değer 450 °C üzerine çıktığında KT kırılmaya başlayarak aşınma hızını artırır (Pauschitz vd., 2003).

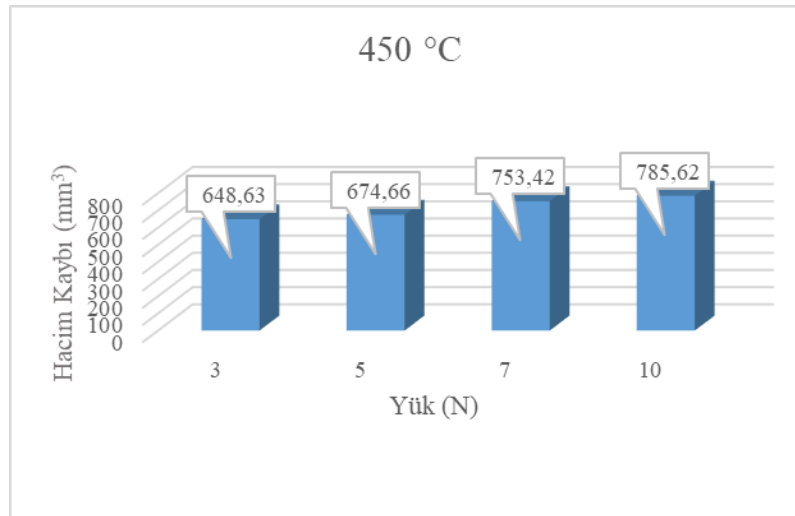


Şekil 22: Farklı yük ve 200 °C sıcaklıktaki numunelere ait hacim kaybı değerleri.

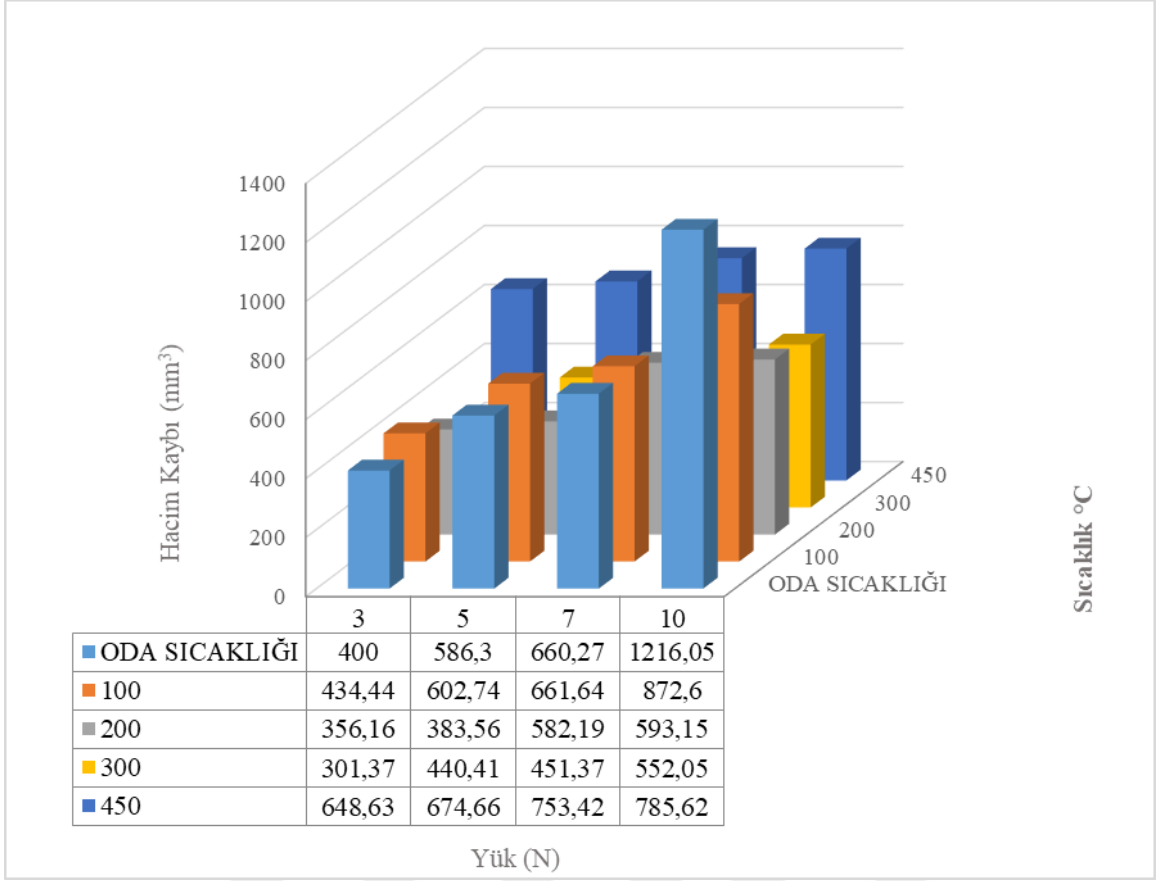


Şekil 23: Farklı yük ve 300 °C sıcaklıktaki numunelere ait hacim kaybı değerleri.

450 °C sıcaklıkta gerçekleştirilen aşınma deneylerinde ise hacim kayıplarının tekrar ani bir artış gösterdiği görülmüştür. Bu durumun oluşan oksit tabakasının ya çabuk dökülmesinden ya da bu tabakanın yeterince alt yüzeye tutunamamasından dolayı kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca bu sıcaklıkta malzemelerin akma dayanımı düşeceğinden ve bazı karbürlerin çözünerek malzemenin mikro yapısında değişim meydana getireceğinden dolayı malzemenin aşınma direnci düşmüştür. Buna ilaveten Archard ve Hirst (1956), yapmış oldukları çalışmalarda yumuşak ve sert olmak üzere iki aşınma tipinden bahsetmişlerdir. Benzer durum 450 °C de aşındırma işlemine tabi tutulan numuneler de görülmüştür.



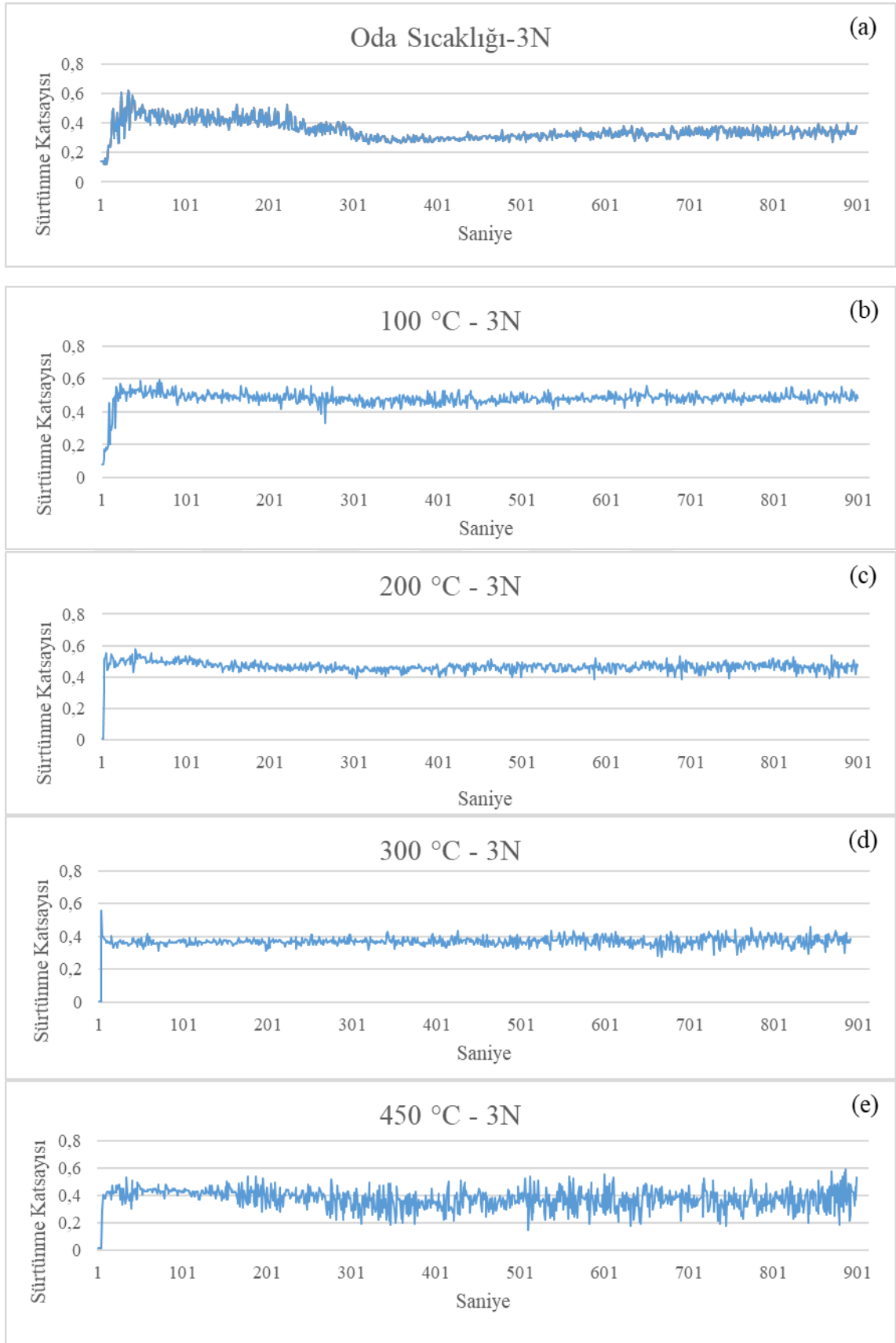
Şekil 24: Farklı yük ve 450 °C sıcaklıktaki numunelere ait hacim kaybı değerleri.



Şekil 25: Farklı yük ve farklı sıcaklıklardaki numunelere ait hacim kaybı değerlerinin bir arada gösterimi.

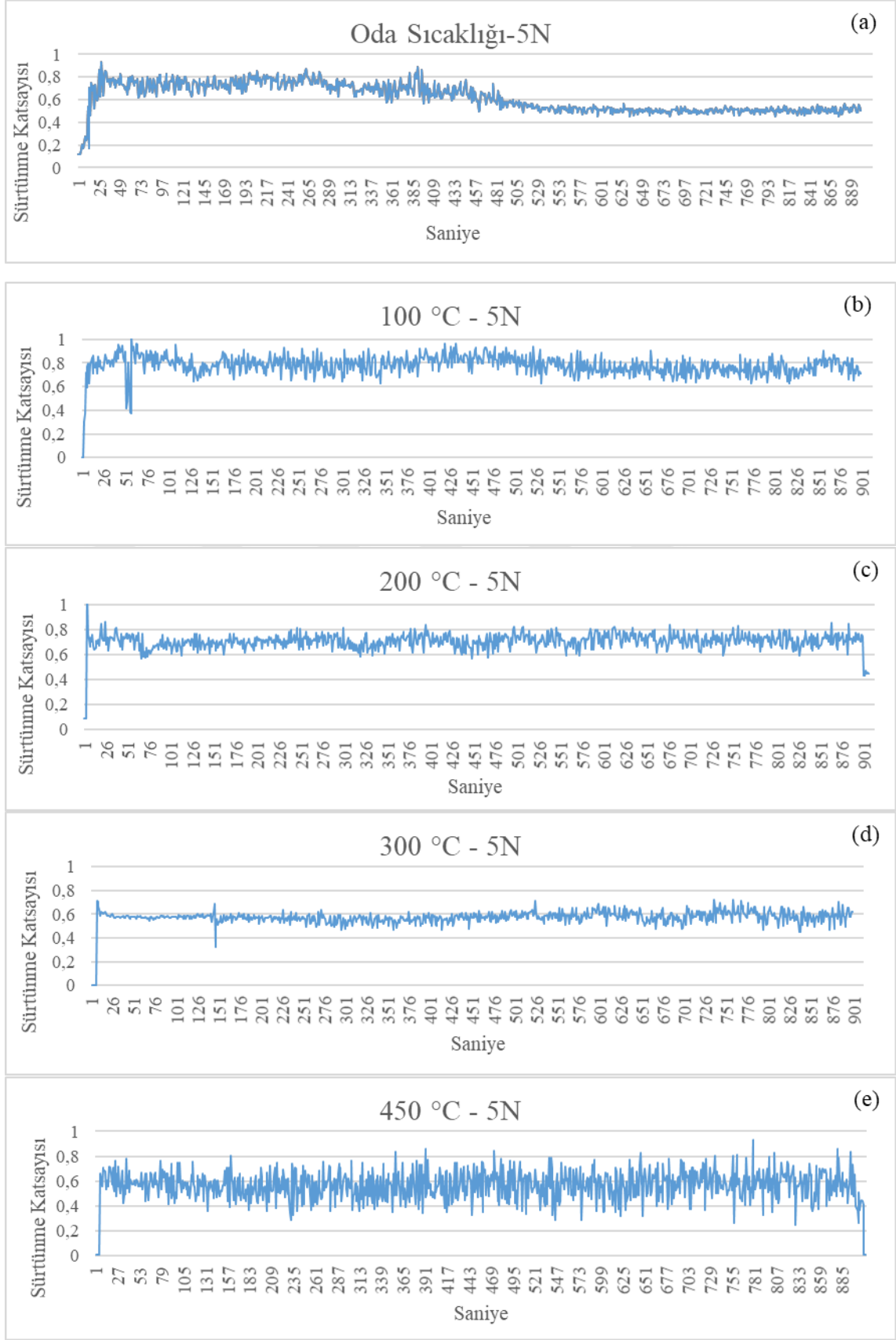
4.1 Sürtünme Katsayısı Değerlerinin Yüke ve Sıcaklığa Bağlı Olarak Değişimi

Şekil 26 a, b, c, d, e'de 3N lük yük altında ve farklı sıcaklıklarda aşınma işlemine tabi tutulan numunelerin sürtünme katsayı grafikleri verilmiştir. Oda sıcaklığında gerçekleştirilen deneylerde ilk 30 saniyelik zaman diliminde sürtünme katsayısının ani bir şekilde yükseldiği görülmektedir. Bu durum yüzeydeki pürüzlü tabakanın temizlenmesinden dolayı meydana gelmektedir. 30 - 255 saniyeler arasında sürtünme katsayısının stabil kaldığı ve 365. saniye civarında 0.1 puanlık bir düşüşle 0.3 sürtünme katsayısında stabil olarak devam etmiştir. Aynı numunenin 100 °C deki sürtünme katsayısı grafiğinde ise yine ilk 30 saniyede ani bir artış olmuş bu saniyeden sonra sürtünme katsayısı değer stabil olarak devam etmiştir. 200 ve 300 °C içinde aynı şeyi söylemek mümkündür. Ancak 300 °C de sürtünme katsayısı değerinin daha düşük olduğu gözlenmiştir. En yüksek sıcaklık değerinde gerçekleştirilen testler süresince alınan sürtünme katsayısı grafiğinde piklerin dalgalandığı görülmüştür. Bunun sebebi Şekil 49'da görüleceği gibi malzeme yüzeyinde meydana gelen dökülmelerdir.

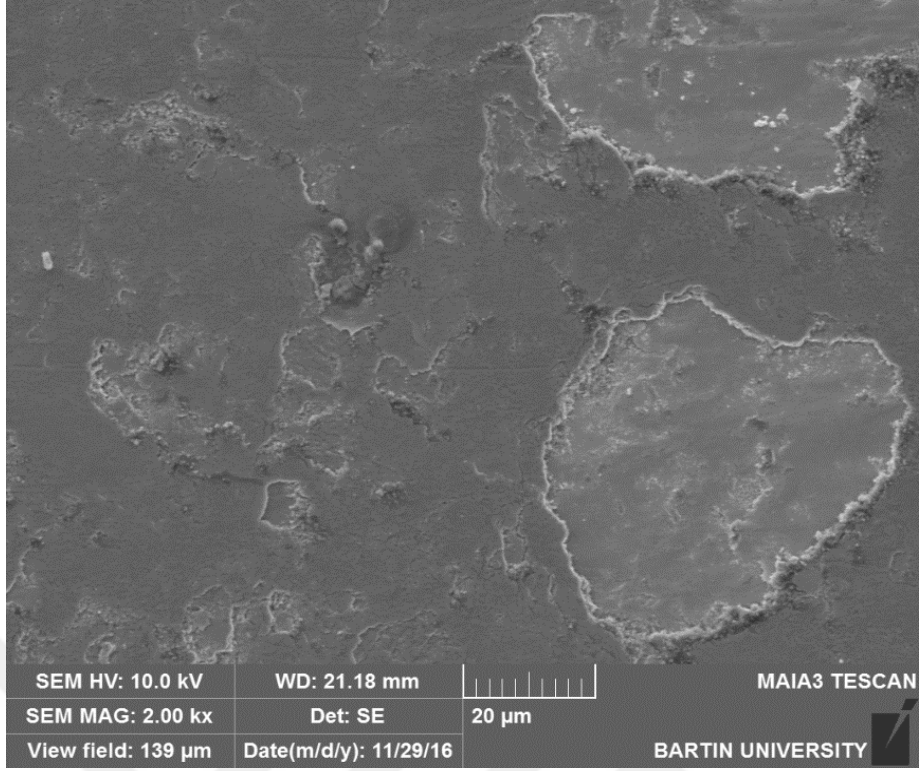


Şekil 26: Farklı sıcaklıklarda (a- oda sıcaklığı, b- 100 °C, c- 200 °C, d- 300 °C, e- 450 °C) sabit yük (3N) ve zaman (sn) altında sürtünme katsayısı grafikleri.

Şekil 27 a, b, c, d, e’de ise 5N lük yük altında ve farklı sıcaklıklarda aşınma işlemine tabi tutulan numunelerin sürtünme katsayı grafikleri verilmiştir. Öncelikle bütün grafikler de dikkat çekici olay sürtünme katsayı değerlerinin 3 N a göre yükselmiş olmasıdır. Sürtünme katsayısındaki bu yükselme sıcaklığın ve yükün artması ile birlikte malzemenin plastik deforme olma kabiliyetinin değişmesine yine sıcaklık yükselmesine bağlı olarak yüzeyde meydana gelen fazların veya oksit tabakalarının buna sebebiyet verdiği düşünülmektedir. Oda sıcaklığındaki numunenin sürtünme katsayısı grafiği diğerlerinden ayrılık göstermektedir. Diğerleri belirli bir zaman sonrasında tek bir sürtünme katsayısı değerinde stabilize olurken oda sıcaklığı 30 saniyeye kadar yükseliş, 30 - 300 saniye arası stabil, 300 547 saniye arası düşüş ve bundan sonra 0.5 lik bir sürtünme katsayısı değeri ile tekrar bir stabilize hali görülmüştür. Yükün artmasıyla oda sıcaklığındaki numunelerde sürtünme katsayısının artması Şekil 33’de görüldüğü gibi yüzeydeki plastik deformasyon izlerinin artmış olmasıdır.

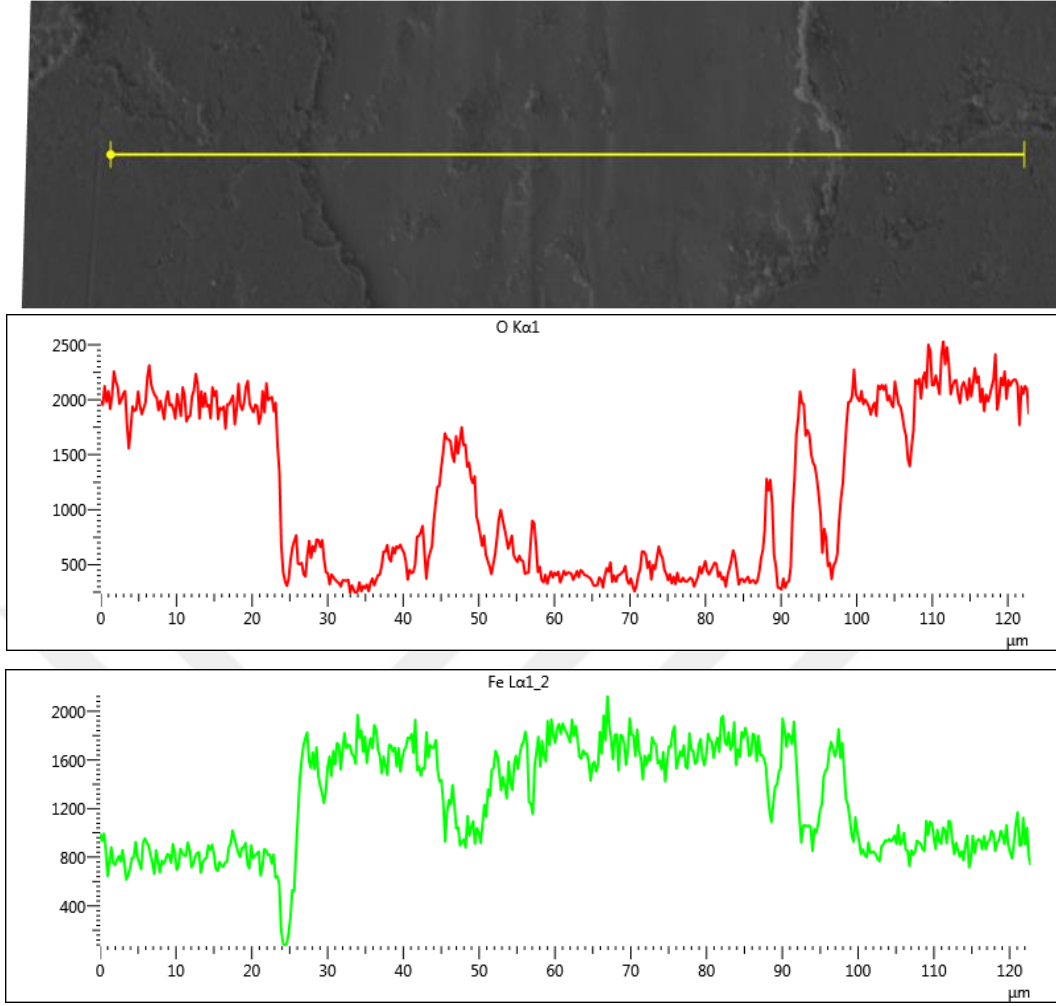


Şekil 27: Farklı sıcaklıklarda (a- oda sıcaklığı, b- 100 °C, c- 200 °C, d- 300 °C, e- 450 °C) sabit yük (5N) ve zaman (sn) altında sürtünme katsayısı grafikleri.



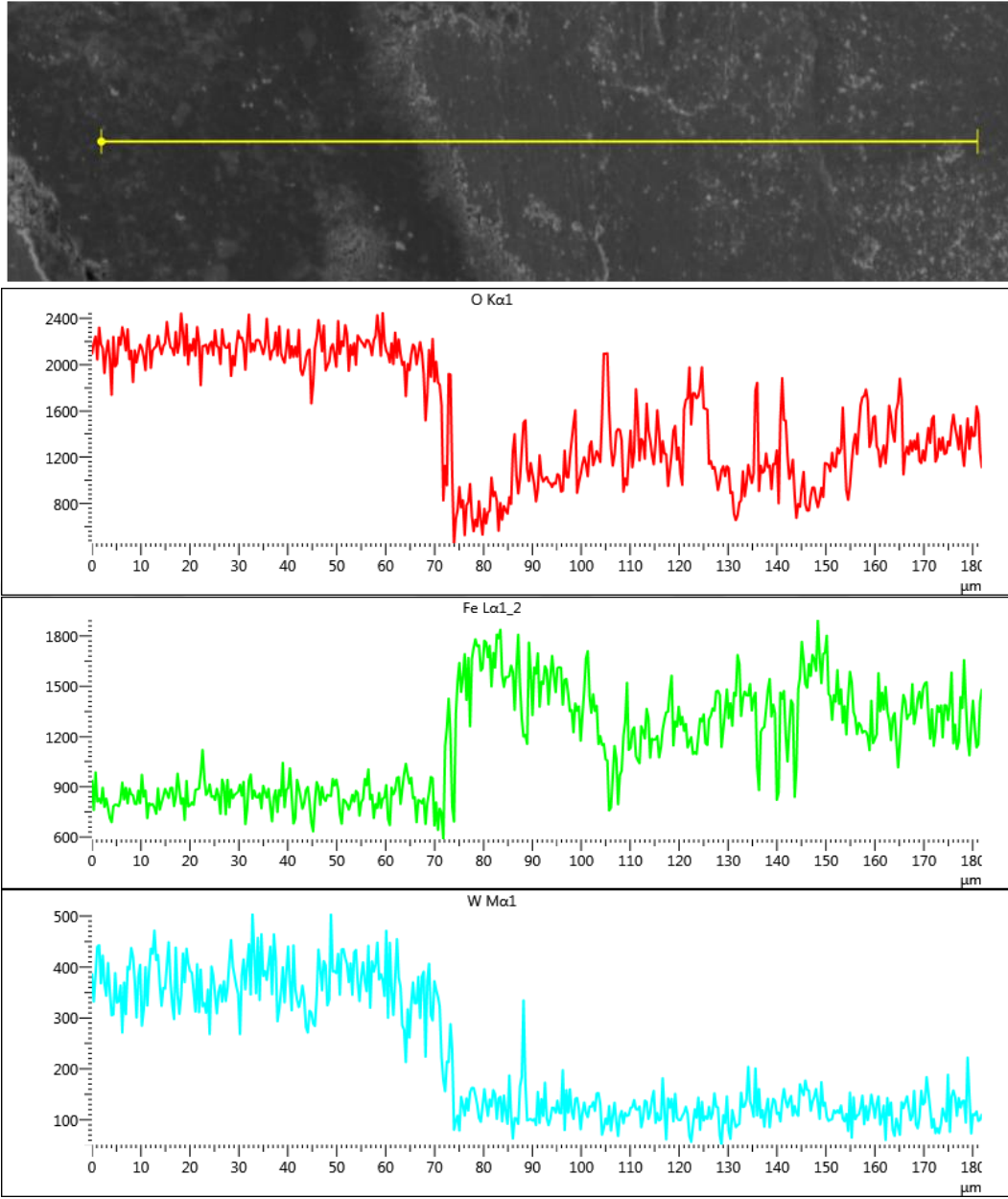
Şekil 28: Oda sıcaklığında ve 3N yük altında aşınma testine tabi tutulan numunenin SEM yüzey görüntüsü.

Şekil 28’de görülen koyu ve açık renkli iki bölge arasındaki element dağılımını gösteren EDS analiz sonuçları Şekil 29’da gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi koyu bölgede oksijen konsantrasyonunun daha fazla olduğu, partikül kopmuş açık renkli bölgede ise demir elementinin yoğun olduğu anlaşılmaktadır. Bu durumda göstermektedir ki yüzeyde olan oksit tabakaları dökülerek alttaki tabakanın ortaya çıkmasına sebep olmaktadır.



Şekil 29: Oda sıcaklığında ve 3N yük altında aşınma testine tabi tutulan numunenin EDS verileri.

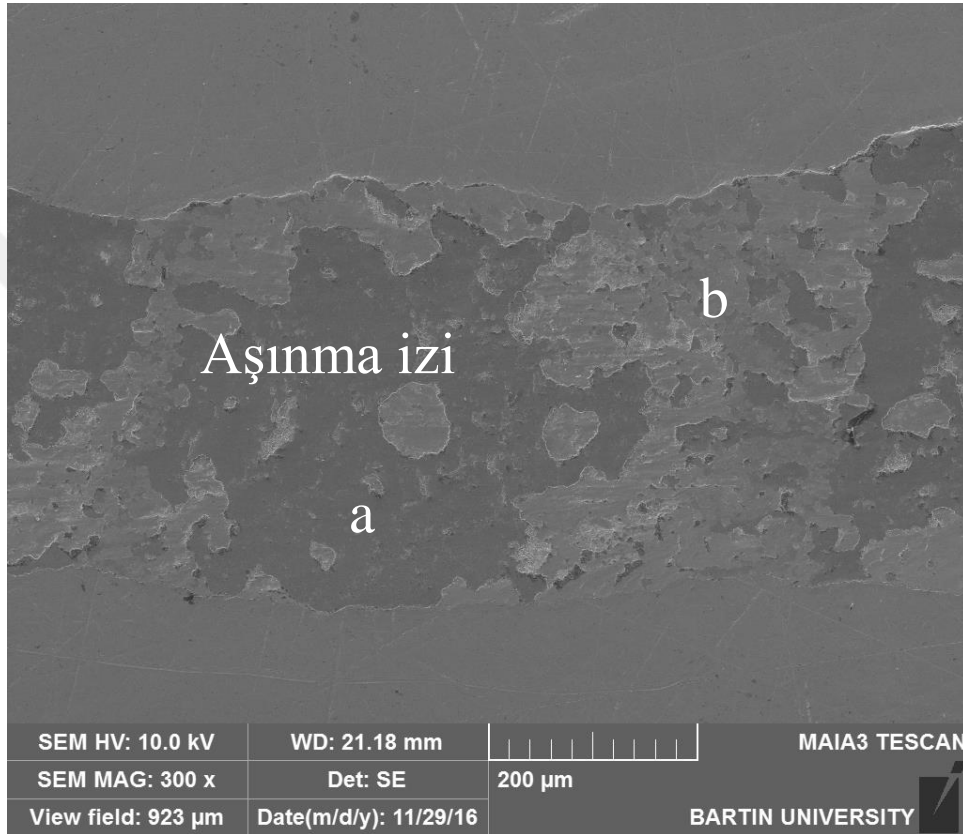
Daha yüksek sıcaklıkta yine açık ve koyu bölgeden (oksit tabakasını döküldüğü bölge) alınan (300 °C) EDS sonuçları incelendiğinde (Şekil 30) oda sıcaklığındaki değerlerden farklı değer görülmüştür. Bunlardan biri yüksek sıcaklıklarda yapılan deneylerde oksijen konstrasyonunun arttığı, ikincisi ise wolfram elementinin yüzeyde tespit edilmiş olmasıdır. Wolfram elementi yüzeyde tespit edilmesi aşındırıcı ucun (WC sert maden) yüksek sıcaklıkla birlikte karşı tarafa transfer olduğunu göstermektedir. Wolfram karbür, AISI 4140 göre 5-6 kat daha serttir (3000-4000 HV). Bundan dolayı herhangi bir aşınmaya maruz kalmaması gerekmektedir. Ancak aşınma yüzeyinde oluşan oksit tabakasının sertliği de oluşan oksidin yapısına bağlı olarak malzemenin yüzey sertliğini 3 4 kat artırdığından dolayı bu sert tabaka wolfram karbür bilyeden mikron derecesinde de olsa partikül koparmıştır.



Şekil 30: 300 °C sıcaklıkta ve 5N yük altında aşınma testine tabi tutulan numunenin EDS verileri.

4.2 Aşınma Yüzey Fotoğrafları

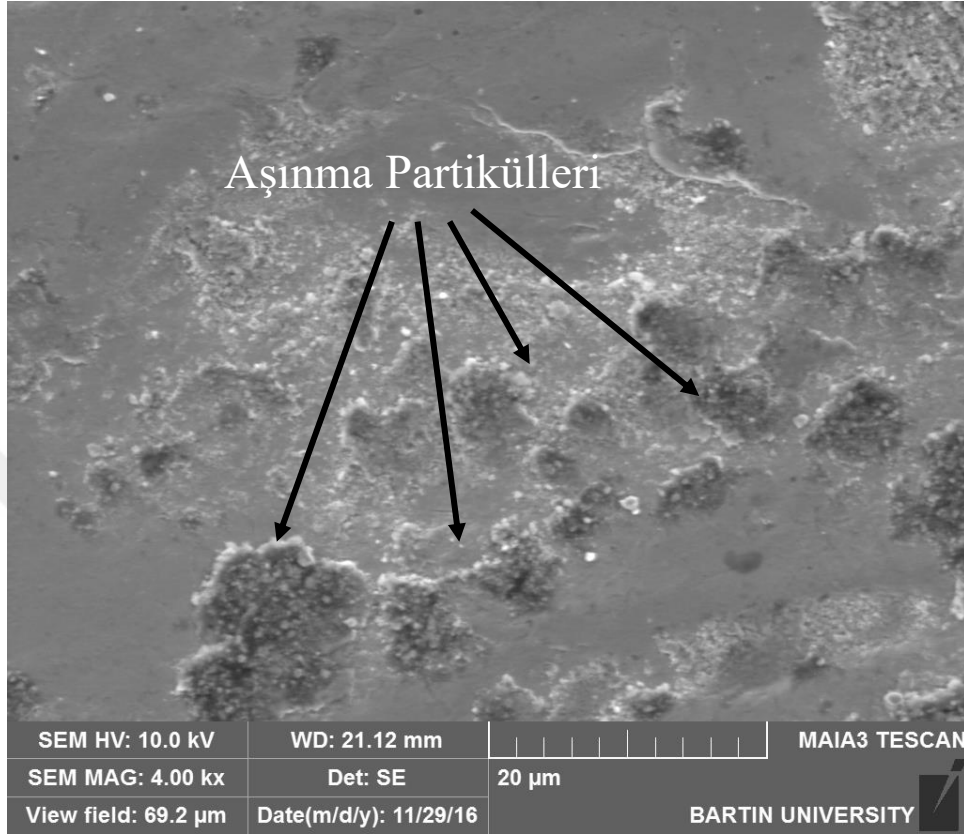
Şekil 31’de 3N yük altında ve oda sıcaklığında aşınma işlemine tabi tutulan numunenin SEM aşınma iz fotoğrafı verilmiştir. Küçük büyütmedeki fotoğraf üzerinde koyu (a) ve açık (b) iki bölge göze çarpmaktadır. Oluşan bu siyah bölgenin (Şekilde “a” ile gösterilen) oluşma mekanizması aşağıda açıklanmaya çalışılmıştır.



Şekil 31: Oda sıcaklığında ve 3N yük altında aşınma testine tabi tutulan numunenin SEM yüzey görüntüsü.

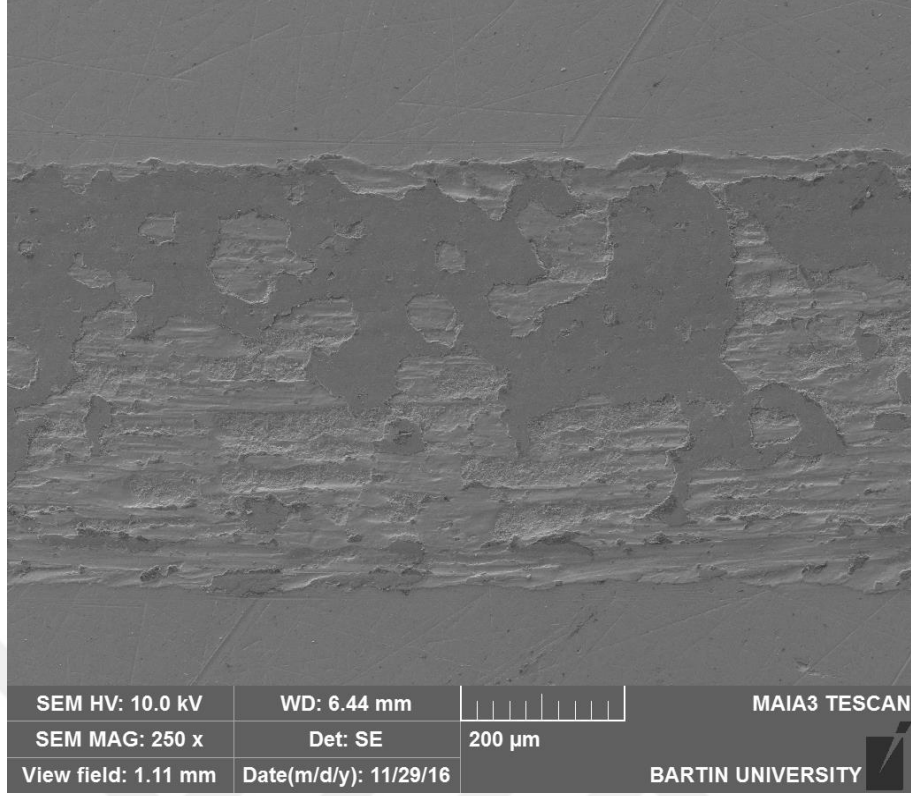
Özellikle yüksek sıcaklıklarda gerçekleştirilen kuru kayma aşınması deneylerinde aşınma işleminin süresi boyunca, abrasiv tipi aşınmanın söz konusu olduğu temas yüzeylerinde zamanla aşınma partiküllerinin bir kısmı uzaklaştırılırken bir kısmı ise kırılma ve plastik deformasyon etkisiyle yüzeydeki aşınma izi kanallarında sıkışmaktadır. Üst üste sıkıştırılan debrisler (Şekil 32) aynı zamanda oksitlenmektedir. Oksitlenmiş debrislerle birleşerek yüksek sıcaklık etkisiyle sinterlenmekte ve bunun sonucunda da temas yüzeyinde sertliği ve yoğunluğu artmış düşük yüzey pürüzlülüğüne sahip daha önce de belirtildiği gibi “glaze layer” olarak adlandırılan ince bir tabaka oluşmaktadır (Vashishtha ve Sapate, 2017). Benzer durum hem oda sıcaklığında yapılan kuru kayma aşınma deneyleri sonrasında da

yüzeyde görülmüştür. Şekil 31 incelenecek olursa bu bölgedeki (a bölgesi) oksijen konsantrasyonunun arttığı yapılan EDS analizi de (Şekil 29) daha önce verilmiştir.

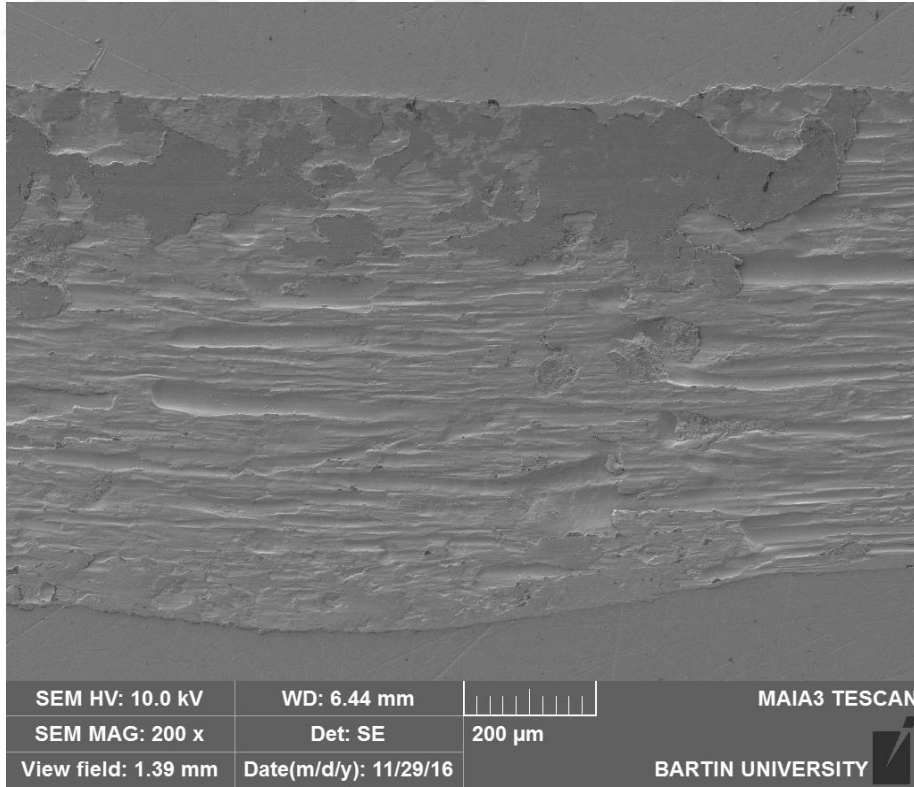


Şekil 32: Oda sıcaklığında ve 3N yük altında aşınma testine tabi tutulan numunenin SEM yüzey görüntüsü.

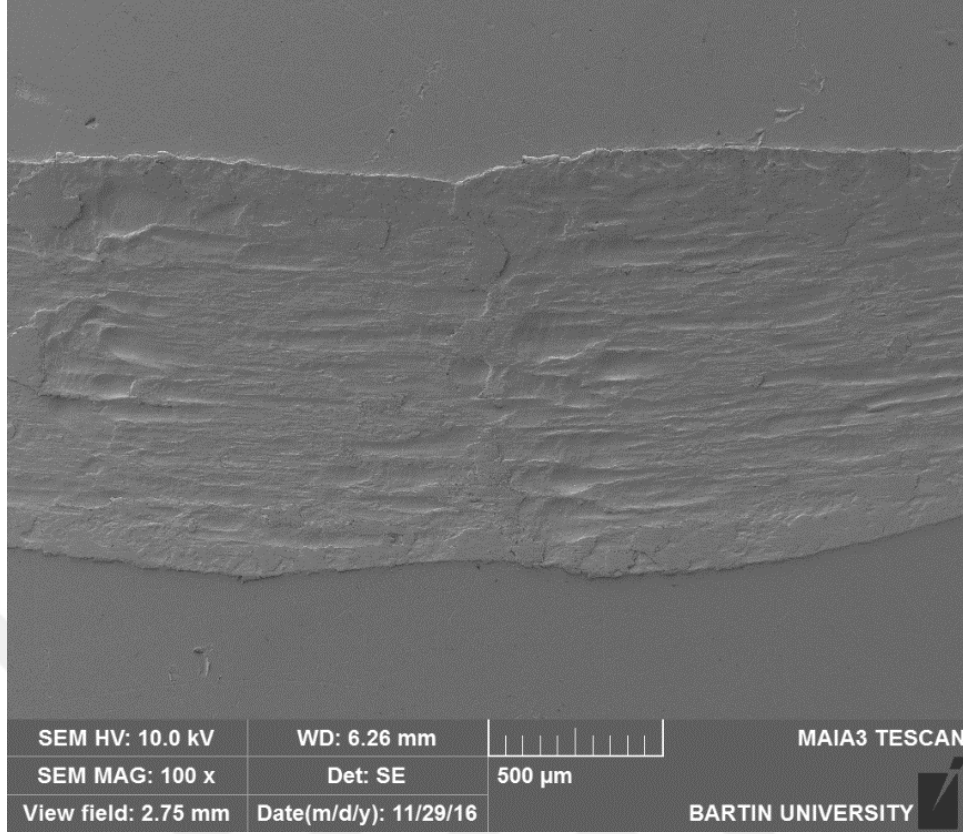
Oda sıcaklığında ancak 5, 7 ve 10 N yükler altında kuru kayma deneylerine tabi tutulan numunelerin SEM aşınma iz fotoğrafları Şekil 33-34-35’de sırasıyla verilmiştir. Artan yük oranına bağlı olarak yüzeyde oksit tabakası oluşumunun azaldığı hatta 10 N’luk yük altında gerçekleştirilen deneylerden sonra numune yüzeyinde hiç oksit tabakasına rastlanmadığı görülmüştür (Şekil 35).



Şekil 33: Oda sıcaklığında ve 5N yük altında aşınma testine tabi tutulan numunenin SEM yüzey görüntüsü.



Şekil 34: Oda sıcaklığında ve 7N yük altında aşınma testine tabi tutulan numunenin SEM yüzey görüntüsü.



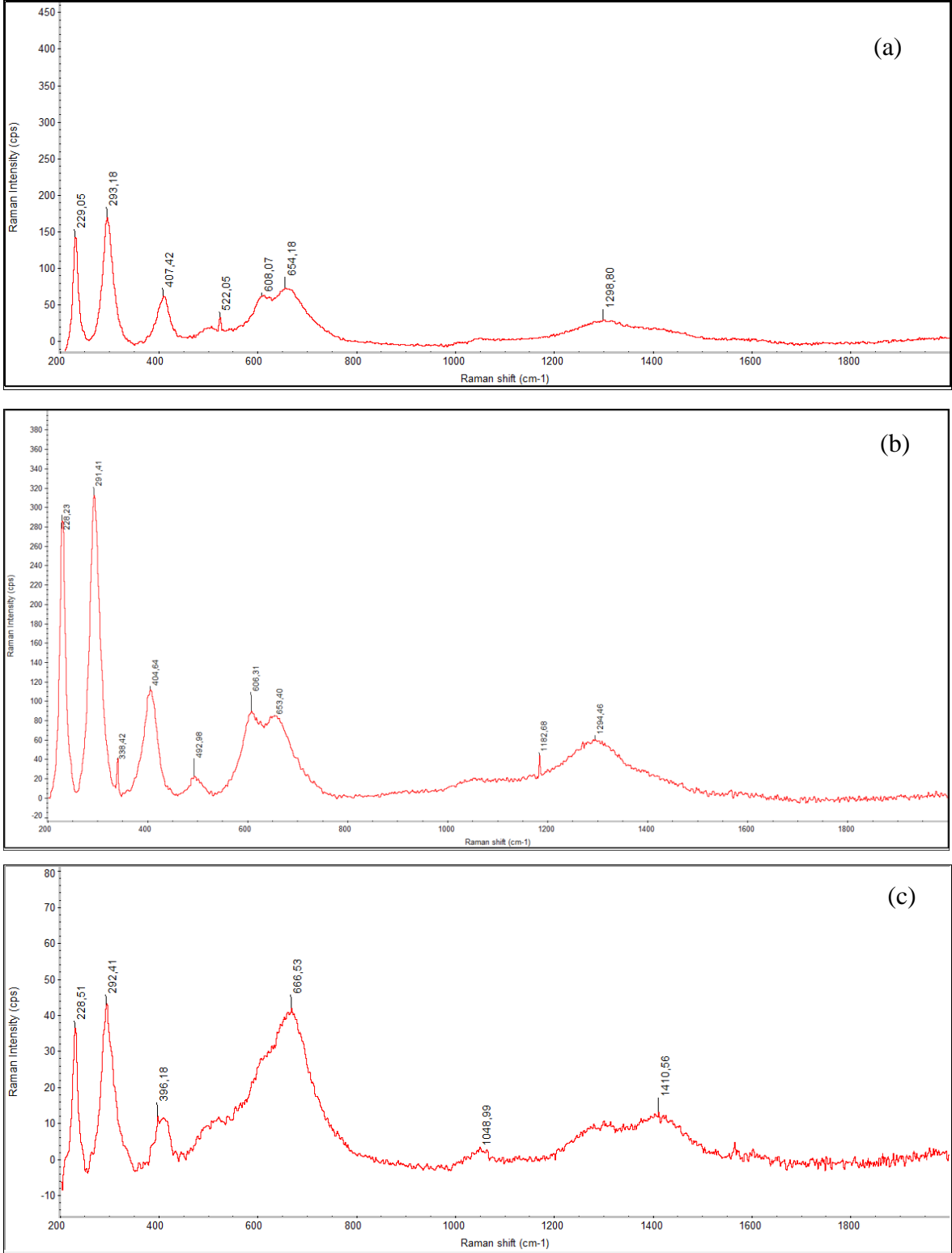
Şekil 35: Oda sıcaklığında ve 10N yük altında aşınma testine tabi tutulan numunenin SEM yüzey görüntüsü.

Numunelere uygulanan aşındırma işlemi sonrasında aşınma yüzeylerinde meydana gelen aşınma mekanizmaları incelenecek olursa, oda sıcaklığında düşük yüklerde (3N, 5N) oksidasyon ve delemantasyon mekanizmasının baskın olduğu SEM aşınma izi fotoğraflarından (Şekil 31 ve Şekil 33) anlaşılmaktadır.

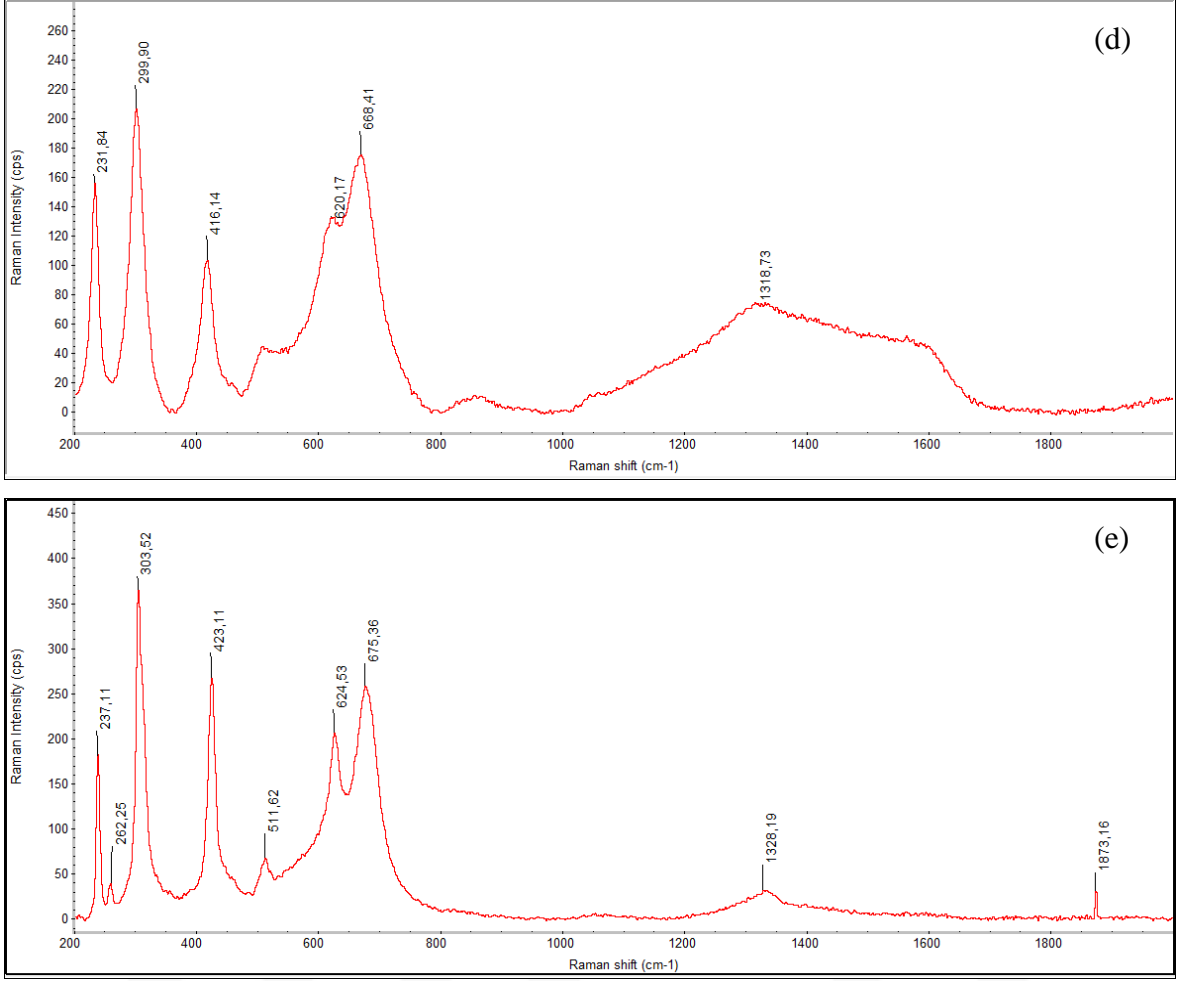
Şekil 33 incelendiğinde pürüzsüz bir şekilde yüzeyde görünen oksit tabakası ve açık olarak görülen ve mikro kesiklere uğramış diğer bir mekanizma göze çarpmaktadır. Oksitlerin oluşmadığı veya oluşarak kopup aşındırıcı vazifesi gördüğü bu bölgelerde mikro kesilmeler sonucunda derin çukurların oluştuğu görülmektedir. Yüksek yüklerde (10 N-Şekil 35) ise daha öncede belirtildiği gibi oksitlerin çok hızlı oluşup kopması, yüzeyi koruyacak oksit tabakasının oluşamaması ayrıca kısa bir zaman süresinde de oluşan oksitlerin malzemenin hacim sertliğinde çok daha yüksek sertliğe sahip olmaları ve aşındırıcı WC bilye ile yüzey arasında sıkışarak abrasiv etki yapması sonucunda yüzeyde mikro kesilmeye bağlı çukurcuklar görülmektedir.

100 °C de gerçekleştirilen aşınma deneylerinde tüm yüklerde oksidasyon mekanizmasının varlığına rastlanmıştır. Oksit tabakasının oluşumunda önemli etkenlerden birisi sıcaklıktır. Demir oksitler demirin yüksek sıcaklıklarda oksidasyona uğramasıyla meydana gelen ürünlerdir. Atmosferin tipi alaşım elemanları ve yüzeyde yapılan kimyasal işlemlere bağlı olarak farklı faz kompozisyonlarında ve mikro yapıda yüzeyde oluşurlar. Çelik üzerindeki oksit katmanlarını kolayca analiz etmek mümkün değildir. Çünkü oluşan fazların kompleks yapıya sahip olması, düzensiz bileşikler olması veya küçük tane yapılarına sahip olmasından dolayıdır.

Çelik yüzeyinde oluşan bu oksit tabakasının tayin edilebilmesi için farklı yöntemler mevcuttur. Bunlar XRD, Raman ve mössbauer spectrometresi'dir. Simmons vd. (1973), elektro plate yöntemi ile kapladıkları numunelerin 225, 350 ve 450 °C deki oksidasyon davranışlarına bakmışlardır. 350°C yapılan deneylerde kısa bir zaman içerisinde oransız bileşik manyetit ($Fe_{3-x}O_4$) ve oranlı magnetit ile hematitin bulunduğu karışık bir yapı oluşmuştur. Oysa 450 °C sıcaklıkta yapılan deneylerde oranlı bileşik magnetit elde edilmiştir. Benzer şekilde numunelerin aşınma yüzeylerinden alınan raman bantlarının analizi sonucunda (Şekil 36) yüzeyde meydana gelen bileşiğin hematit (αFe_2O_3) olduğu tespit edilmiştir. Oda sıcaklığında 229,05, 293,18 ve 1298,80 cm^{-1} raman bantlarının yoğunluğunun 100 °C elde edilen grafikte arttığı görülmektedir. Benzer şekilde 450 °C gerçekleştirilen raman analizinde 423.11 cm^{-1} raman bantlarının yoğunluğunun arttığı görülmektedir. Raman bantlarındaki bu değişimin hematitin yüksek sıcaklıklarda oksitlenmesiyle tercihli kristal gelişimine bağlıdır.



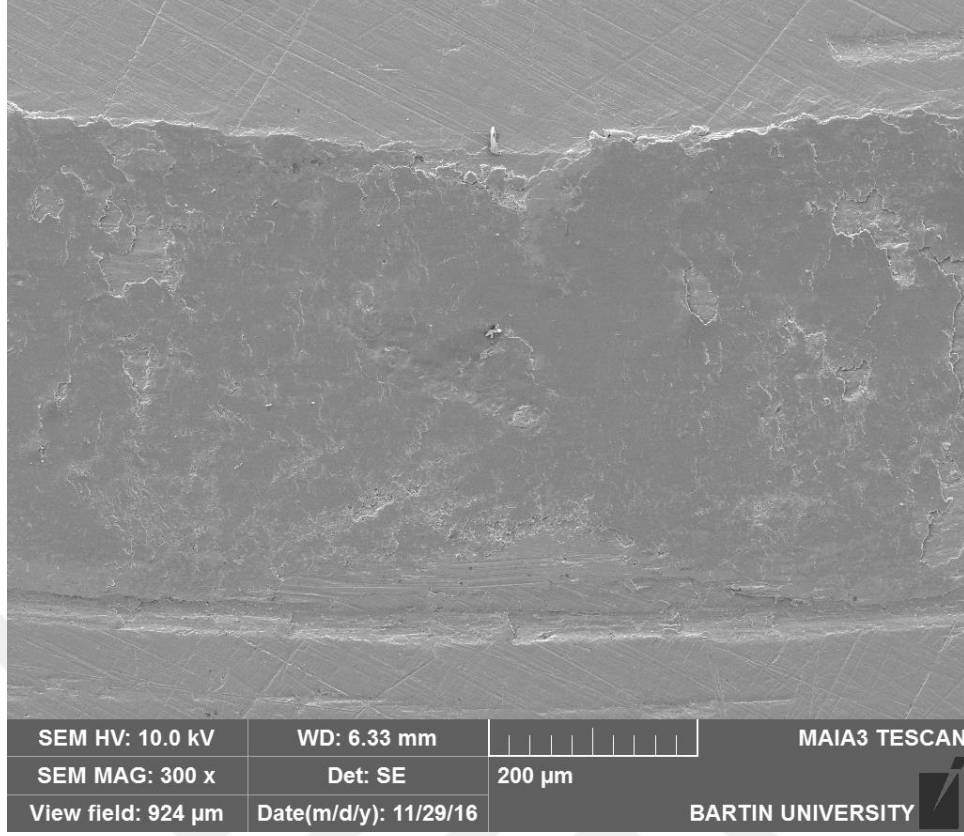
Şekil 36: Farklı sıcaklıklarda (a- oda sıcaklığı, b- 100 °C, c- 200 °C, d- 300 °C, e- 450 °C) sabit yük (10 N) ve zaman (sn) altında teste tabi tutulan numunelerin raman analizi verileri.



Şekil 36: (devam ediyor).

Çeliğin düşük basınçlarda oda sıcaklığında oksijene maruz kalması sonucunda Fe_3O_4 ve gama Fe_2O_3 un oluştuğunu araştırmacılar belirtmektedir (Brundle, vd.,1977; Lin vd, 1997). Granham vd. (1995), 25 ile 300 °C’de yaptıkları deneylerde oksijen oluşumunu zamanın artmasıyla logaritmik bir fonksiyon izlediğini belirtmişlerdir.

Fe matrisinin üzerinde önce Fe_3O_4 ün çekirdeklenerek geliştiğini bildirmişlerdir. Bu fazın üstünde ise gama Fe_2O_3 ve yine Fe_3O_4 karışımından oluşan fazın oluştuğunu beyan etmişlerdir.

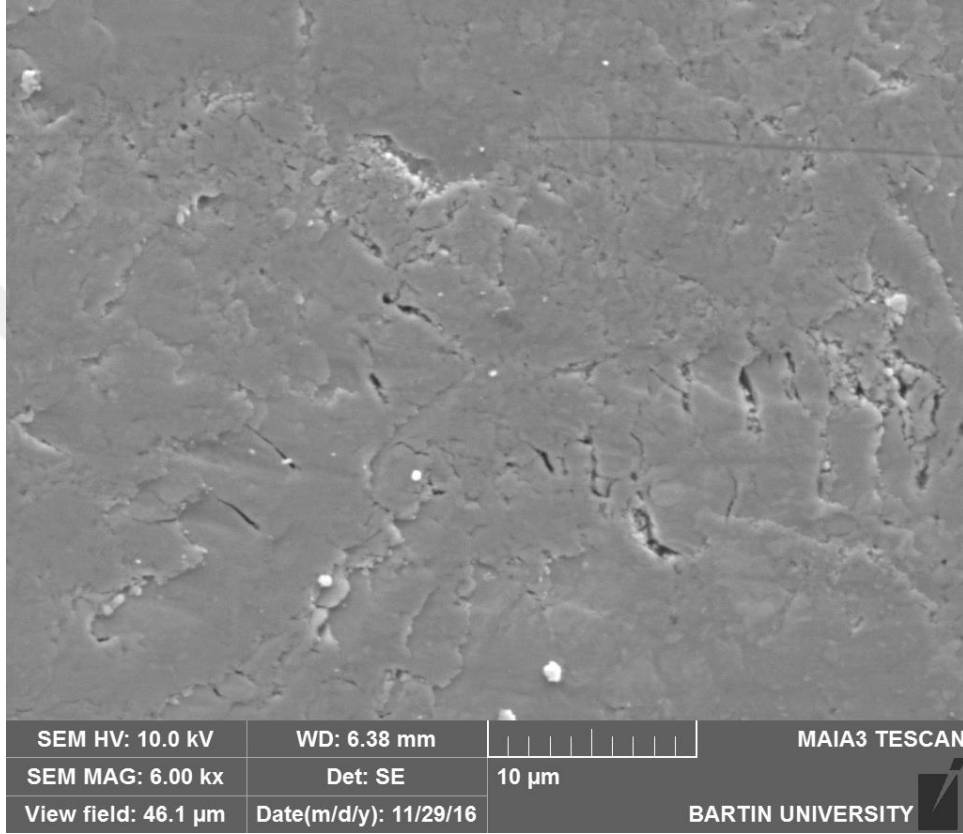


Şekil 37: 100 °C sıcaklıkta ve 3N yük altında aşınma testine tabi tutulan numunenin SEM yüzey görüntüsü.

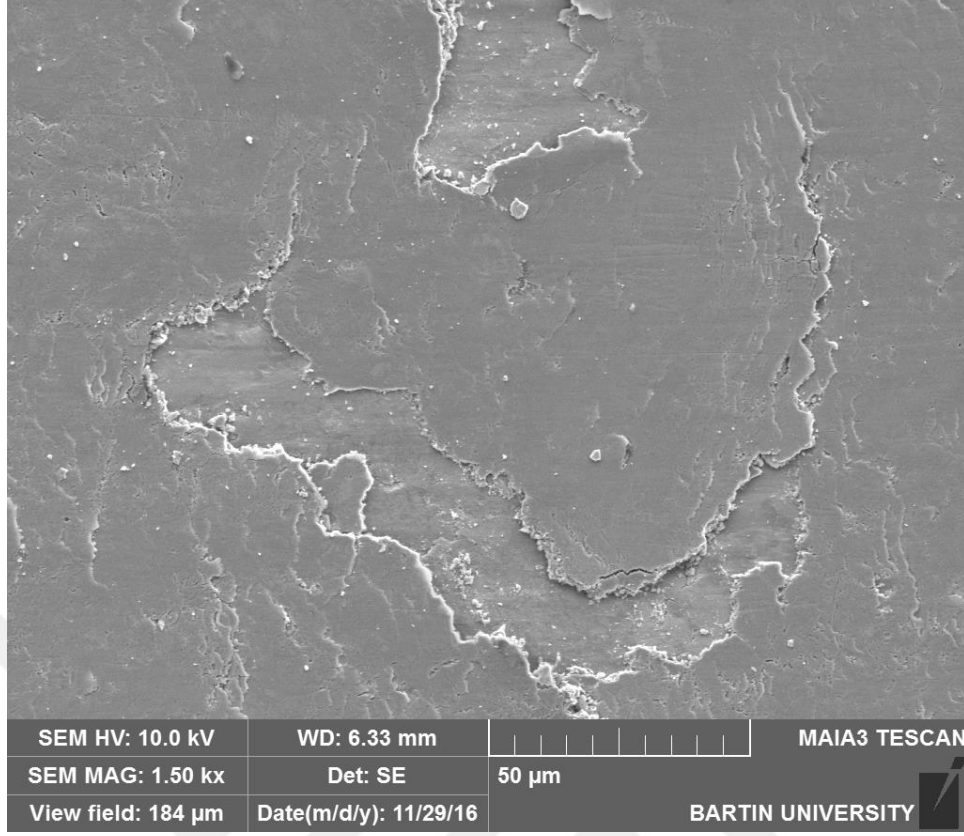
Şekil 37 de 100 °C sıcaklıkta 3 N'luk yük altında 300 büyütmede aşınma yüzeyinde alınan SEM görüntüsü verilmiştir. Oda sıcaklığındaki aynı şartlar altında aşındırma işlemine tabi tutulan numune ile kıyaslandığında görsel olarak yüzeyde daha kuvvetli bir oksit tabakasının oluştuğu söylenebilir. Bunun sebebi yukarıda anlatıldığı üzere sıcaklığın artmasıdır. Aynı görüntünün 6000 ve 1500 büyütmedeki görüntüleri Şekil 38, 39'da sırasıyla verilmiştir. Şekil 38'de de görülebileceği gibi yüksek gerilmeler altında yüzeyde oluşan mikro çatlaklar ayrıca yüzey altında yine gerilmelere bağlı olarak meydana gelen mikro çatlakların (deleminasyon) birleşmesi sonucunda numunede deleminasyon mekanizmasına bağlı olarak dökülmeler, malzeme kayıpları meydana gelmiştir (Şekil 39).

İlk kez Suh ve arkadaşları tarafından düşük kayma hızlarında aşınma atıklarının şekillenmesinde deleminasyon tipi aşınma teorisi ortaya konulmuş ve sonrasında bu teori kabul görmüştür. Delaminasyona bağlı olarak atıkların oluşması dört adımda gerçekleşmektedir.

Normal ve açısai yükler altında yüzey katmanlarında plastik deformasyonun meydana gelmesi, inklüzyonların veya ikinci faz partiküllerinin çevresinde deformasyon etkisi ile boşluk veya çatlakların çekirdeklenmesi, yüzeye paralel olarak çatlakların gelişmesi, sonuç olarak ince ve uzun olarak aşınma partiküllerinin şekillenmesi ve bunların yüzeyden atılması olarak tarif edilmektedir.

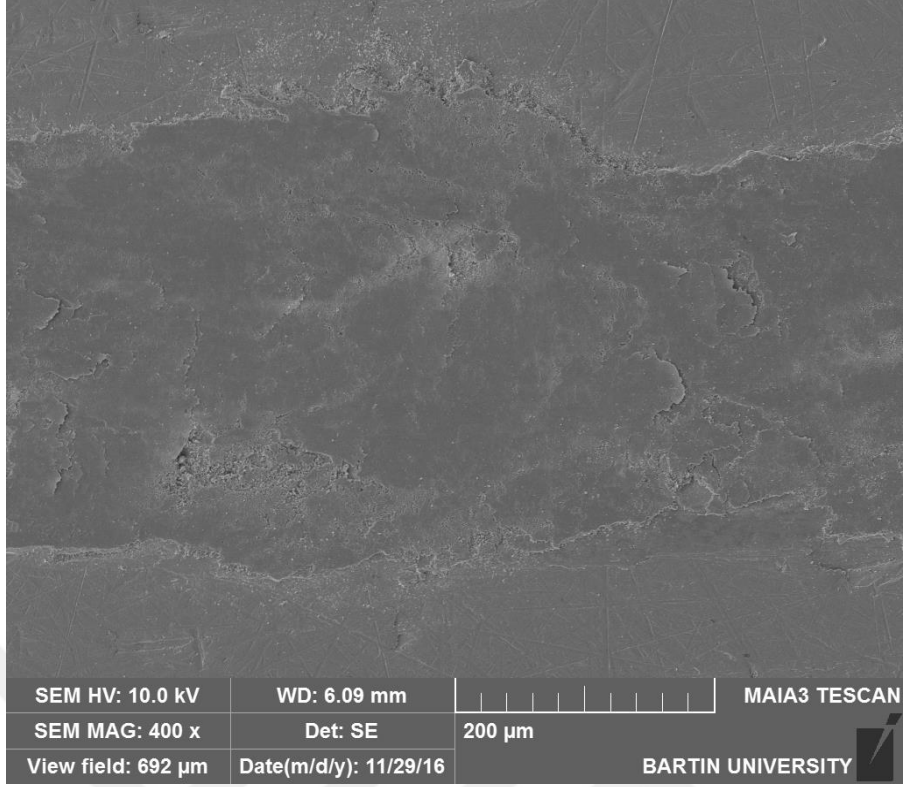


Şekil 38: 100 °C sıcaklıkta ve 3N yük altında aşınma testine tabi tutulan numunenin SEM yüzey görüntüsü.

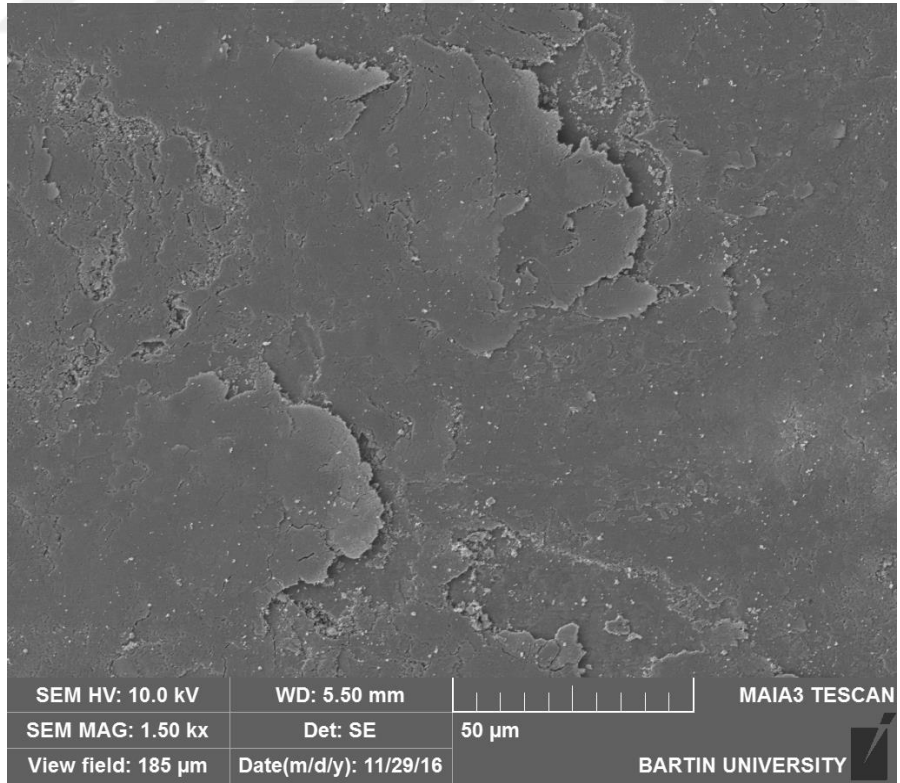


Şekil 39: 100 °C sıcaklıkta ve 3N yük altında aşınma testine tabi tutulan numunenin SEM yüzey görüntüsü.

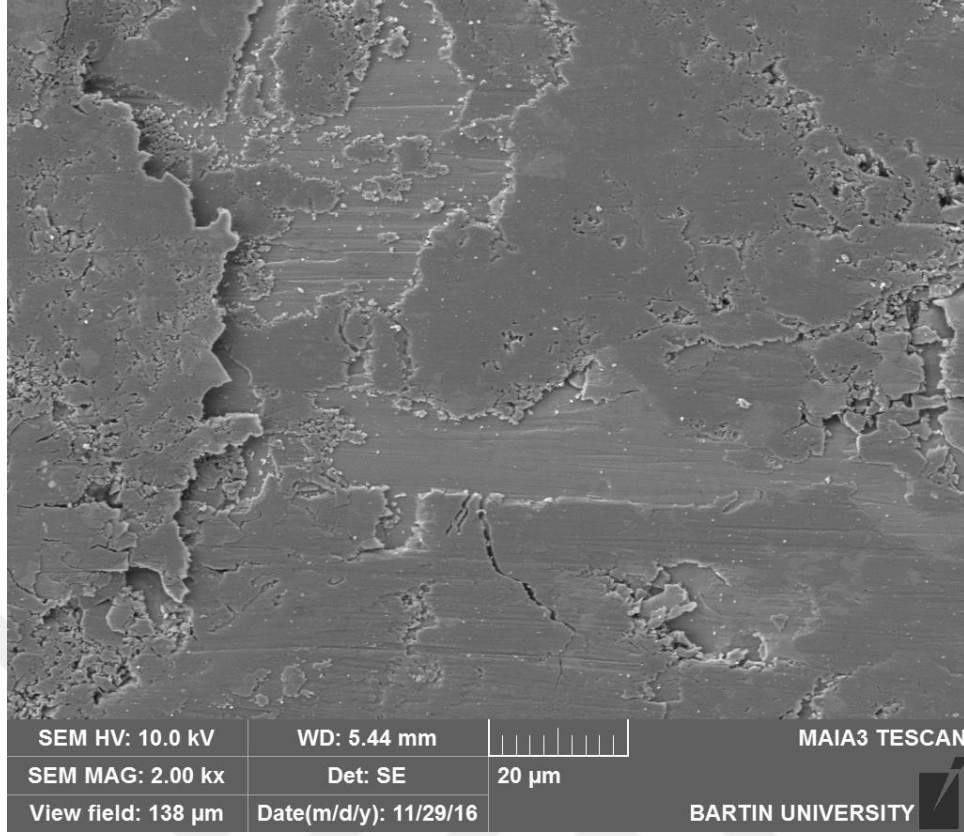
Şekil 40'da 200 °C sıcaklıkta 3 N'luk yük altında 400 büyütmede aşınma yüzeyinde alınan SEM görüntüsü verilmiştir. 200 °C ve 300 °C de gerçekleştirilen aşındırma işlemlerinde numunelerdeki hacim kayıplarının azaldığı daha önce belirtilmişti. Sıcaklığın artması ile birlikte yüzeyde oluşan oksit tabakasının artması ve aşınma esnasında yüzeyden kopan partiküllerin kompakt bir hale getirilerek yüzeye gömülmeleri sonucunda bu durumun meydana geldiği düşünülmektedir. Aşınma mekanizması olarak ise yine oksidasyon ve tekrarlı yükler altında meydana gelen yorulmaya bağlı olarak delemantasyon tipi aşınma olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 40: 200 °C sıcaklıkta ve 3N yük altında aşınma testine tabi tutulan numunenin SEM yüzey görüntüsü.



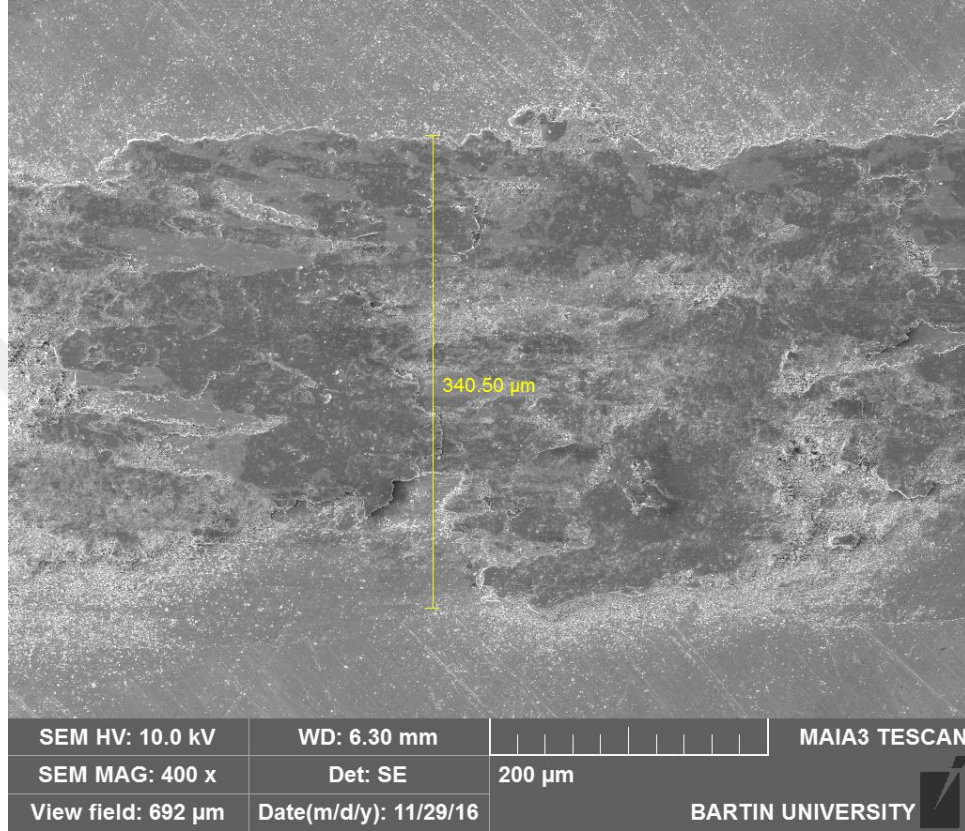
Şekil 41: 200 °C sıcaklıkta ve 3N yük altında aşınma testine tabi tutulan numunenin SEM yüzey görüntüsü.



Şekil 42: 200 °C sıcaklıkta ve 10N yük altında aşınma testine tabi tutulan numunenin SEM yüzey görüntüsü.

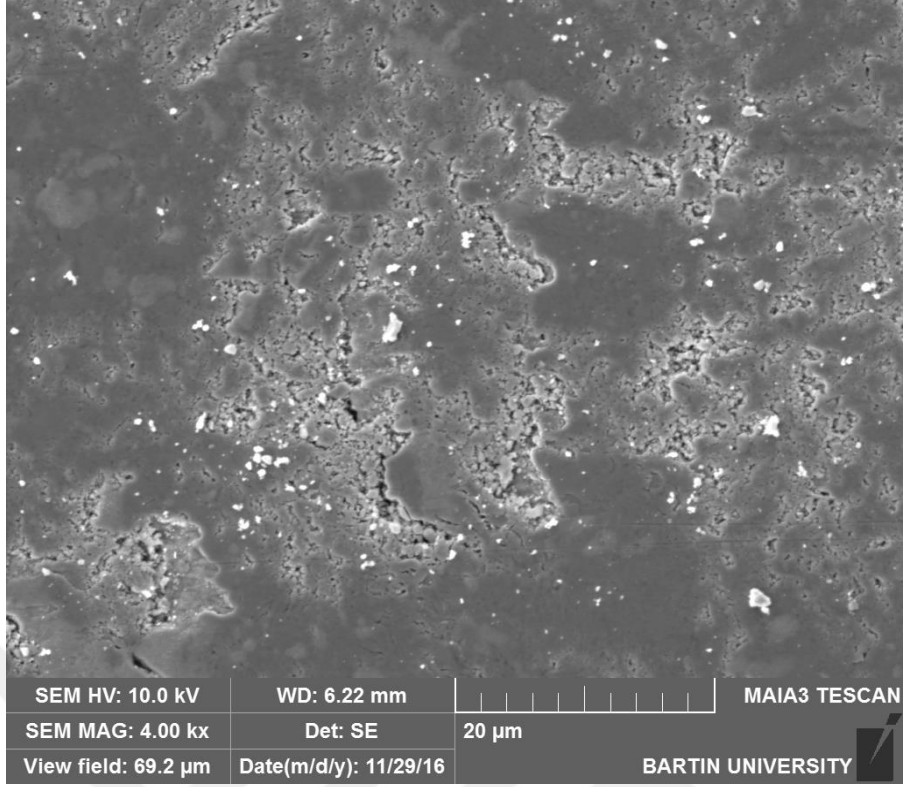
Demirin oksitlenmesi iki veya daha fazla oksit tabakasının aynı anda teşekkülüne bir örnektir. Yüksek sıcaklıklarda tufal geniş ölçüde FeO'dan oluşur ve bu, bir iç tabaka olarak oluşur; Fe₃O₄ bir orta tabaka oluşturur ve Fe₂O₃ oksijen yüzeyindedir. İlk iki oksit yukarıda betimlenen mekanizmayla gelişir, ancak demirin Fe₂O₃ 'e oksitlenmesi, farklı şekilde vaki olur. Bu durumda oksijen daha hareketli olup oksijen yüzeyinden içeriye doğru yayılır (difüze olur). Yaklaşık 566 °C in altında sıcaklıklarda demirin üzerinde teşekkül eden tufal, FeO fazı mevcut olmadığından, farklı bir karakteri haiz olur. Bu tufal daha Adeziv olup çelik yüzeylerin temizlenmesinde mutad olarak kullanılan asit dekapaj işlemiyle çok daha zor kalkar. Demir oksitleri genel olarak oksitlerin bir önemli karakteristiğini sergilerler; oksidin teşekkül edebilmesi için kristal kafesinin kusurları (boşluklar veya araya sıkışmış iyonlar) içermesi gerekir. FeO ve Fe₃O₄ ün karakteristiği en çok rastlanan kusur yapısı katı iyon (metal iyonu) boşlukları içerir.

Şekil 43'te 300 °C sıcaklıkta 3 N'luk yük altında 400 büyütmede aşınma yüzeyinde alınan SEM görüntüsü verilmiştir. Bir önceki (Şekil 40) numune ile karşılaştırıldığında yüzeyde oluşan oksit renginin daha açık olduğu görülmektedir. Bu değişimin sıcaklık farkından veya meydana gelen aşınma mekanizmasından kaynaklandığı söylenebilir.

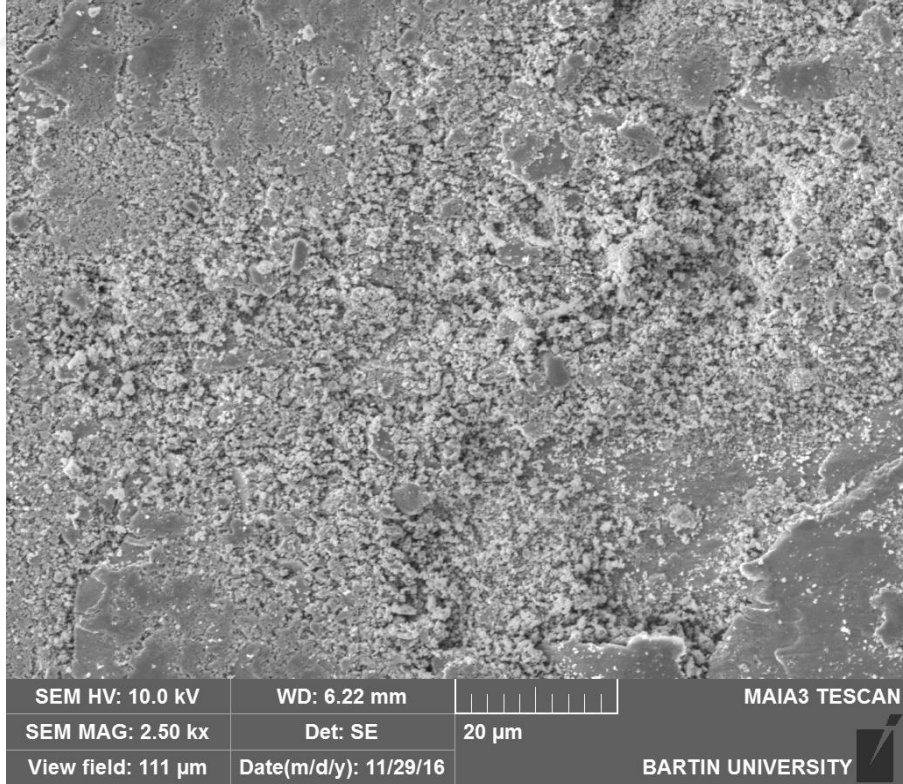


Şekil 43: 300 °C sıcaklıkta ve 3N yük altında aşınma testine tabi tutulan numunenin SEM yüzey görüntüsü.

Şekil 44 ve Şekil 45 sırası ile incelenecek olursa, mikron altı büyüklüğünde aşınma partikülü atıkların oluşma mekanizması görülmektedir. Öncelikle gerilmelere bağlı olarak meydana gelen yırtılmalar ve bu yırtılmaların atıklara dönmesidir. Ancak bu numunenin aşınma direncindeki artış oluşan bu aşınma partikülü atıkların bir kısmının sistemde kalıp kendisinden daha yumuşak olan üzerlerine gelen yüke bağlı olarak yüzeye batarak koruyucu bir tabaka oluşturduğu anlaşılmaktadır. Çünkü diğer numunelerde görülmeyen ve numunenin aşınma yüzeyinden alınan EDS analizi sonucunda Wolfram elementinin varlığına rastlanmıştır. Bu durum W Aşındırıcı bilyadan AISI 4140 yüzeyine malzeme transferi olduğunu göstermektedir. AISI 4140 ile kıyaslandığında 5-6 kat daha fazla sertliğe sahip olan WC aşındırıcı bilyadan element transferi, iki şekilde açıklanabilir.



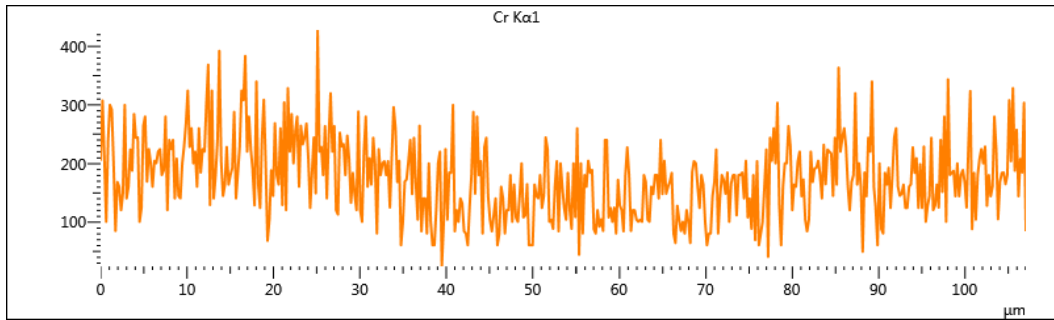
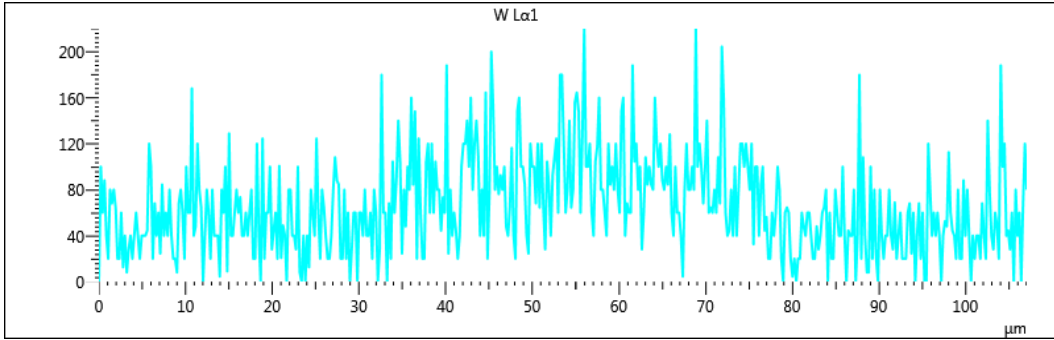
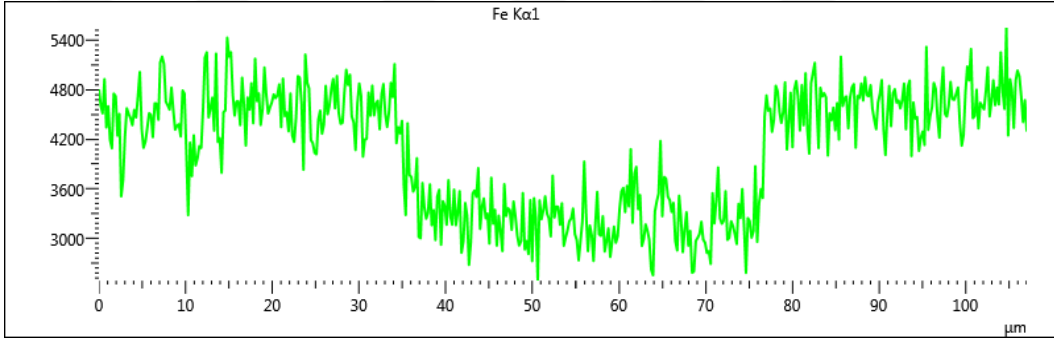
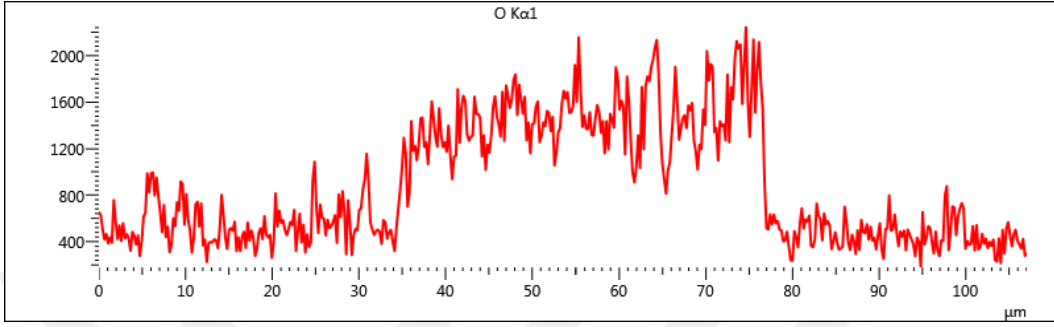
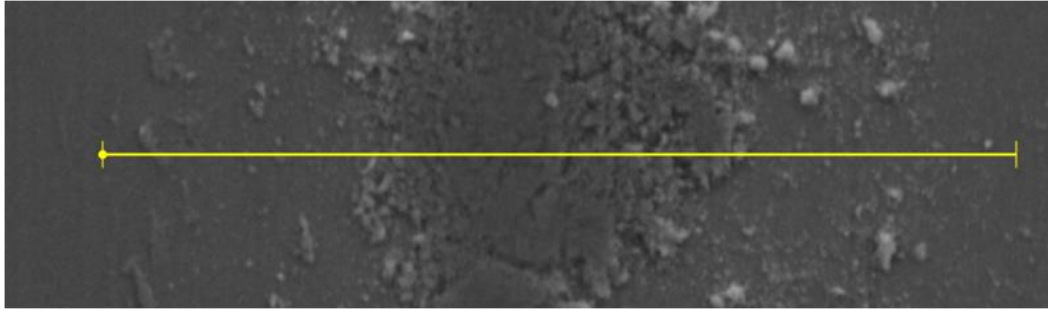
Şekil 44: 300 °C sıcaklıkta ve 10N yük altında aşınma testine tabi tutulan numunenin SEM yüzey görüntüsü..



Şekil 45: 300 °C sıcaklıkta ve 10N yük altında aşınma testine tabi tutulan numunenin SEM yüzey görüntüsü.

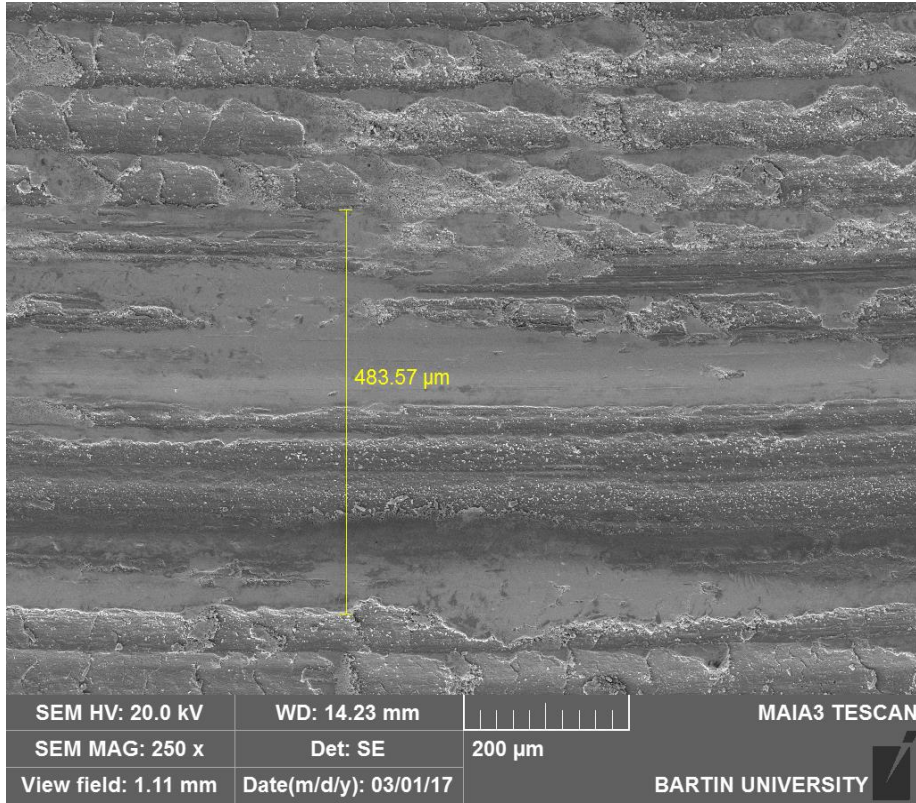
Birincisi sıcaklığın artması, ancak 300 °C WC bilyanın plastik davranışlarını değiştirecek kadar etkiye sahip bir sıcaklık değeri değildir. İkinci durum ise yüzeyde oluşan ve sertliği artmış olan oksit tabakasıdır ki, bu tabakanın sertlik değeri neredeyse matrise göre üç veya dört kat daha fazla bir sertlik değerine sahiptir. Buna bağlı olarak da karşı yüzeyden malzeme transfer etmiştir. Şekil 46 incelendiğinde oksit oranının yükseldiği demir oranının düştüğü bölgede dikkat edilirse wolfram elementinin varlığı görülmektedir. Bu durumda demir oksit oluşan yüzeylerde mekanik özellik olan sertliğin arttığı söylenebilir.



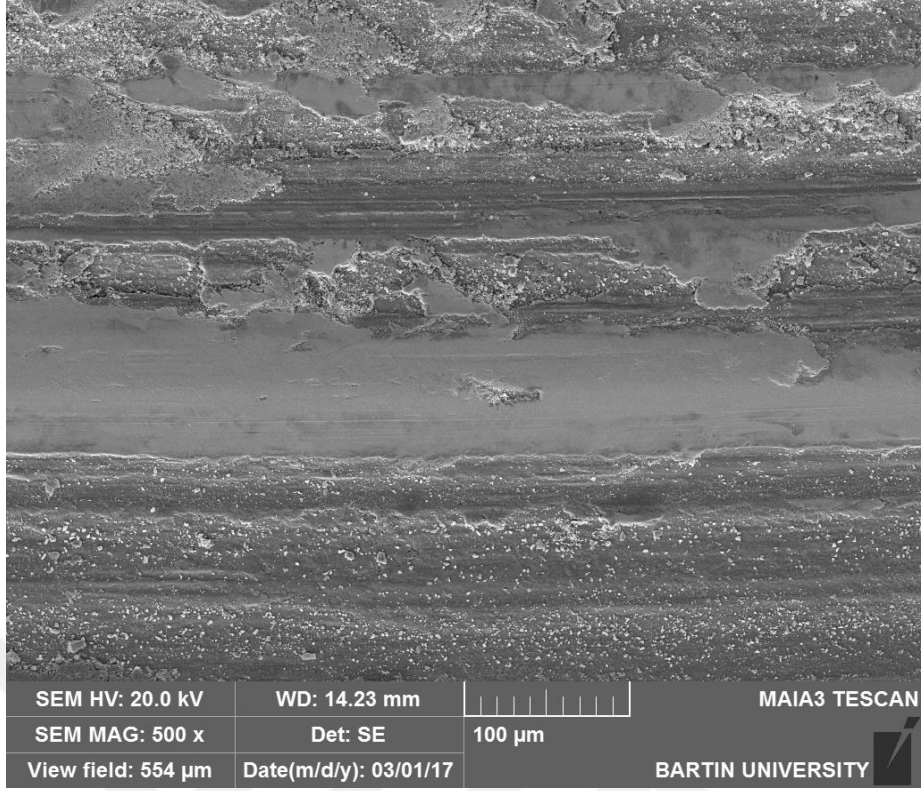


Şekil 46: 300 °C sıcaklıkta ve 10N yük altında aşınma testine tabi tutulan numunenin EDS verileri.

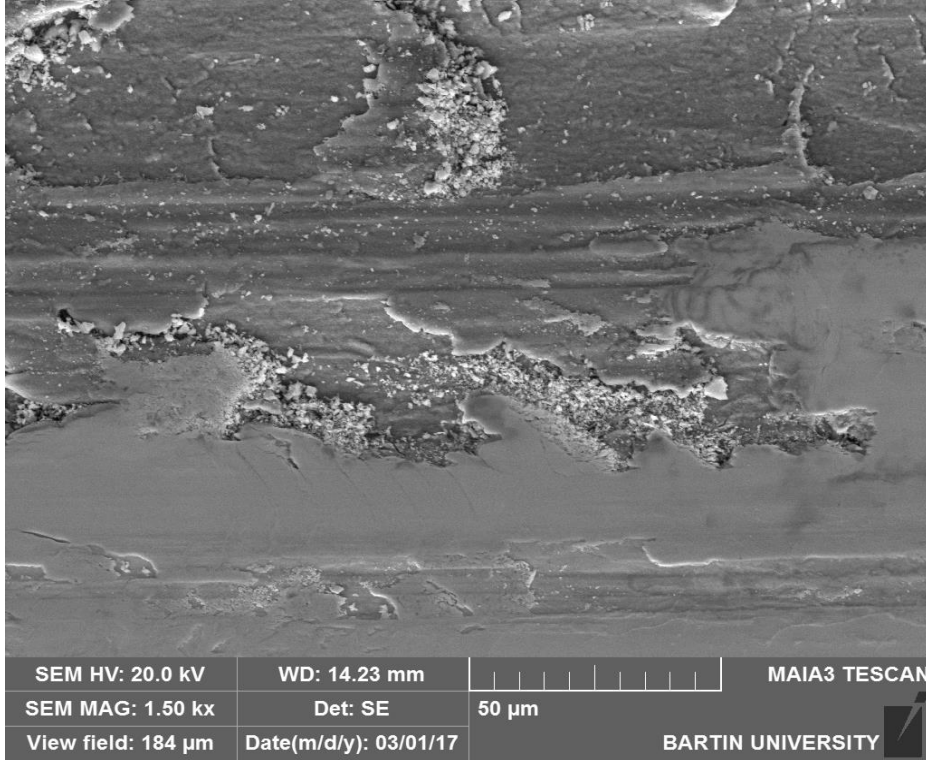
Şekil 47, 48, 49 sırasıyla 450 °C sıcaklıkta 10 N'luk yük altında 250, 500 ve 1500 büyütmede aşınma yüzeyinde alınan SEM görüntüsü verilmiştir. Bu sıcaklıkta yapılan deneylerden en fazla hacim kayıpları elde edilmişti ve bu sıcaklığın bir geçiş sıcaklığı olduğunu söylemek mümkündür. Numunenin hacim kaybında meydana gelen bu artışı farklı açılardan değerlendirmek mümkündür. Bunlardan biri 450 °C sertleştirilmiş çeliklerde 3. Seviye menevişleme ısıl işleminde kullanılan bir sıcaklık değeridir. Genellikle 350-650 °C sıcaklıklar arasında gerçekleşir ve sıcaklığın artmasıyla sertlik çekme akma düşer tokluk artar. Fe₃C karbürleri mikroskopla görülebilecek büyüklükte çöker. Bu yapı değişimi malzemede sünekliği artırıp aşınma oranını olumsuz etkilemiş olabilir. İkincisi oluşan yüksek sıcaklığa bağlı olarak malzemenin plastik deforme olabilme özelliği yükselerek aşındırıcı bilya matrise daha fazla nüfuziyet etmiştir. Üçüncüsü ise yüzeyde oluşan oksit tabakalarının yüzeyi yeterince koruyamadan yüzeyden ayrılmış olmaları söylenebilir.



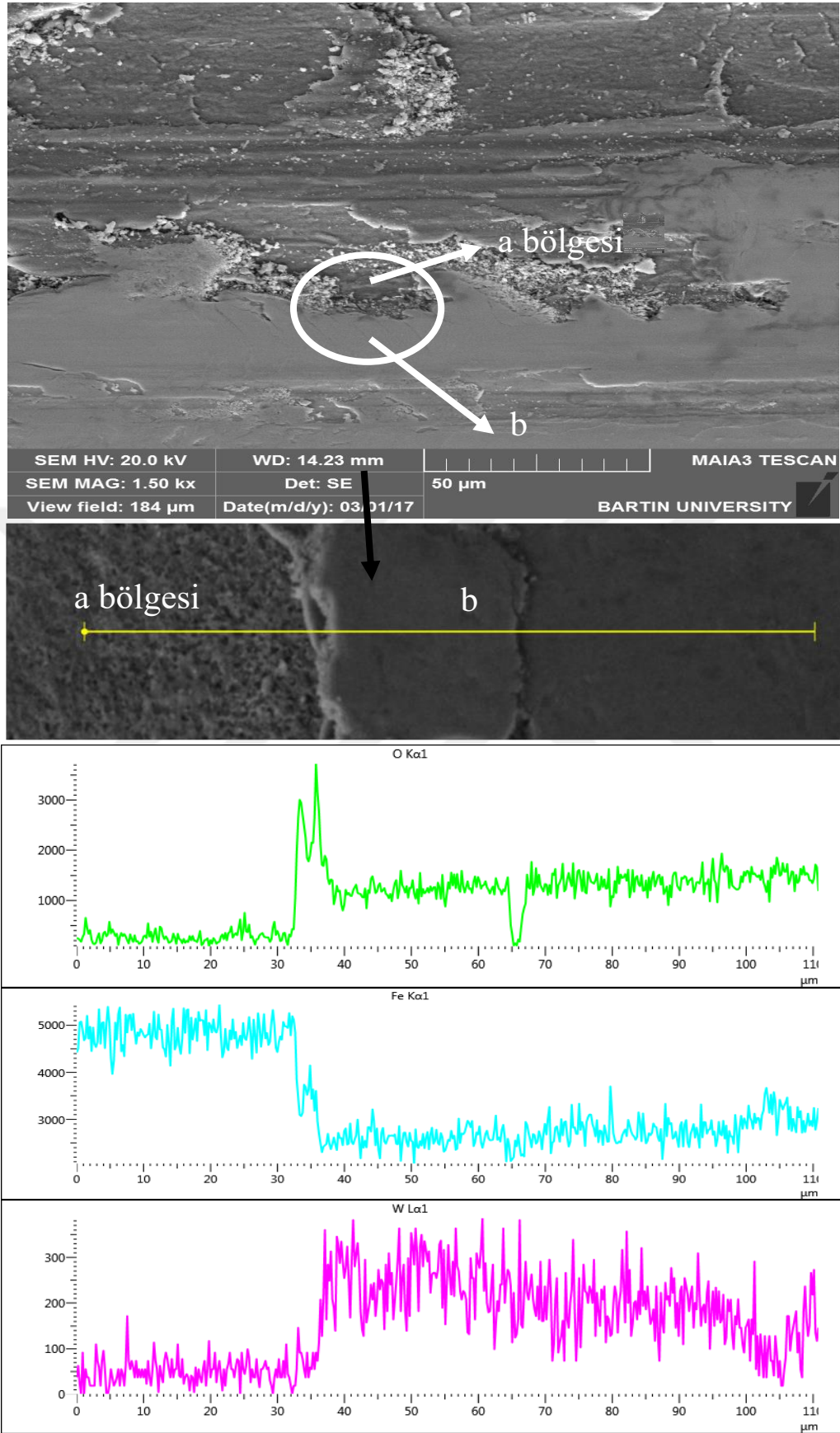
Şekil 47: 450 °C sıcaklıkta ve 10N yük altında aşınma testine tabi tutulan numunenin SEM yüzey görüntüsü.



Şekil 48: 450 °C sıcaklıkta ve 10N yük altında aşınma testine tabi tutulan numunenin SEM yüzey görüntüsü.



Şekil 49: 450 °C sıcaklıkta ve 10N yük altında aşınma testine tabi tutulan numunenin SEM yüzey görüntüsü.



Şekil 50: 450 °C sıcaklıkta ve 10N yük altında teste tabi tutulan numunenin EDS analizi verileri.

Aşınma mekanizması olarak deney numuneleri incelenecek olursa diğer numunelerden farklı olarak iki farklı bölge SEM aşınma yüzey fotoğraflarında görülmektedir. Bunlardan biri Şekil 50 üzerinde “b” ile belirtilen ve pürüzsüz camsı tabakaya benzeyen bölgedir. Diğeri ise Şekil 50’de “a” ile belirtilen daha koyu ve pürüzlü aşınma artıklarının ve dökülmelerin bulunduğu ikinci kısımdır. Bu iki bölge arasındaki farkı daha iyi anlayabilmek için yapılan çizgisel EDS analizleri sonucunda camsı parlak bölgenin oksijence zengin olduğu ayrıca bu bölgede wolfram elementinin daha fazla bulunduğu anlaşılmıştır. Oksijen ile zengin bu sır tabakasının özelliği ve oluşumu hakkında daha önce bilgi verilmişti. Aşınma direncine olumlu yönde etki eden bu tabakanın varlığına rağmen bu sıcaklıkta işleme tabi tutulan numunelerin daha fazla hacim kaybına uğraması daha öncede belirtildiği gibi oluşan oksit tabakasının yüzeyde fazla tutunamamış olmasındandır.



BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1 Genel Sonuçlar

Bu çalışmada AISI 4140 çeliği yüksek sıcaklık aşınma davranışları incelenmiştir. Deneyleerde kullanılan numuneler oda sıcaklığı, 100, 200, 300, 450 °C 'de ve 3, 5, 7 ve 10 N yükler altında kuru ortamda gerçekleştirilerek, yüksek sıcaklığın aşınma üzerindeki etkileri araştırılarak aşağıdaki sonuçlar bulunmuştur.

1. Artan yüke bağılı olarak numunelerdeki hacim kayıpları artmıştır.
2. Artan sıcaklığın aşınma üzerinde etkili olduğu ancak bunun doğru bir orantı şeklinde olmadığı sonucuna varılmıştır. Oda sıcaklığı ve 100 °C gerçekleştirilen deneyleerde numuneler birbirine yakın hacim kaybı değerleri verirken 200 °C ve 300 °C de gerçekleştirilen deneyleerde yine numuneler birbirine yakın hacim kaybı değerleri vermiştir.
3. 200 °C gerçekleştirilen deneyleerde hacim kaybı oranları diğer tüm numuneler ile kıyaslandığında daha düşük çıkmıştır.
4. En yüksek hacim kayıpları 450 °C gerçekleştirilen deneyleerde elde edilmiştir.
5. Kuru-kayma işlemine tabi tutulan numunelerin yüzeylerinde tribolojik katman oluşmuştur.
6. Sıcaklığın değişmesi aşınma mekanizmasının değişmesine sebep olmuştur.
7. Oda sıcaklığında düşük yüklerde (3N) gerçekleştirilen deneyleerde yorulmaya bağılı pul pul dökülmeler baskın aşınma mekanizması olurken, yüksek yüklerde (10N) aşırı plastik deformasyona bağılı mikro kazımlar meydana gelmiştir.

8. 100 °C ve 200 °C de gerçekleştirilen deneylerde tüm yüklerde delemantasyon tipi baskın aşınma mekanizması olmuştur.
9. 300 °C gerçekleştirilen deneylerde delemantasyona ilave olarak oksidasyon aşınması meydana gelmiştir ve bu sıcaklıktan itibaren numunelerin yüzeyinde wolfram elementinin varlığına rastlanmıştır.
10. 450 °C de gerçekleştirilen deneylerde aşınma mekanizması kısmen değişerek oksidasyon türüne dönüşmüştür.
11. Raman spektrometresi ile aşınma yüzey bölgesinde gerçekleştirilen oksit analizlerinde hematit ($\alpha\text{Fe}_2\text{O}_3$) tipi oksitlerin varlığı tespit edilmiştir.

5.2 Öneriler

Bu tez kapsamında elde edilen verilere göre gelecek çalışmalar için öneriler aşağıda maddeler halinde verilmiştir;

1. Yüksek sıcaklık aşınma davranışları incelenen AISI 4140 çeliği farklı ısıtma işlemlere tabi tutularak, ısıtma işleminin malzemenin aşınma davranışına olan etkisi araştırılabilir.
2. Numuneler yüksek sıcaklıklarda aşınma işlemine tabi tutulduğu gibi kroyojenik şartlar altındaki aşınma davranışları incelenebilir.
3. Daha yüksek sıcaklıklardaki aşınma davranışları incelenebilir.
4. Aşındırma işleminden sonra numune yüzeyleri farklı karakterizasyon yöntemleri ile incelenerek yüzeyde meydana gelen oksit tipleri belirlenebilir.

KAYNAKLAR

- Akbulut, H. (2006). Malzeme ve Metalurji Ders Notları (basılmamış), Sakarya Üniversitesi.
- Aktaş D. (2012). Metalik Malzemelerde Tane Boyutunun Pekleşme Katsayısına Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Bartın, 133s.
- Archard, J. F. ve Hirst, W., (1956). *The Wear of Metals under Unlubricated Conditions, Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical & Engineering Sciences*, pp 236
- Aslan, A. (2002). Östemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Aşınma Davranışlarının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji Ana Bilim Dalı, Ankara, 89s.
- Asm Metals Handbook, (1997). Volume 1, *Properties and Selection, Iron, Steel and High Performance Alloys*, Tenth Edition, Fifth Printing, Materials Park, Ohio, USA, 1063 s.
- Bhadeshia, H. K. D. H. ve Honeycombe, R. W. K., (2006). *Steels*, Butterworth-Heinemann, Oxford.
- Bhushan, B., Gupta, B. K., (1991). *Handbook of Tribology-materials, Coatings and Surface Treatments*, McGraw-Hill, Inc, pp. 6.1-6.29.
- Bhushan, B. (2000). Wear Mechanisms, Chapter 7. In *Modern Tribology Handbook*, CRC Press, United States of America, pp. 273-299.
- Brundle, C.R, Chuang, T.J. ve Wandelt K., (1977). Core and valence level photoemission studies of iron oxide surfaces and the oxidation of iron, *Surface Science*, Volume 68, pp 459-468.
- Cheremisinoff, N. P., (1996). *Materials selection deskbook* (pdf form-CRC press), Noyes Publications Westwood, New Jersey, U.S.A, 191 s.
- Çetin, M., Gül, F., (2007). Kuru Kayma Şartlarında Matris Yapısının Küresel Grafitli Dökme Demirin Sürtünme Katsayısına ve Pim Sıcaklığına Etkisi. Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Cilt 22, No 3, 273-280 s.
- Erdoğan, M., (2000). *Mühendislik alaşımlarının yapı ve özellikleri*, Nobel Yayın Dağıtım Ltd Şti, Ankara, 120-153, 338 s.
- Evcin, A. (2006). Afyonkarahisar Kocatepe Üniversitesi Kaplama Teknikleri, Ders Notları.
- Demirci, A.H., (1982). Ötektoidaltı Alaşımsız Çeliklerin Yeni İmal Edilen Sürtünme Aşınma Standardında, Isıl İşlemlere Bağlı Olarak Aşınma Davranışlarının

İncelenmesi ve Optimizasyonu. Doçentlik Tezi, Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İzmir.

- Dikmen, S., (2010). AISI 4140 AISI 1050 ve AISI 8620 Çelikleri İçin Soğutma Ortamının Aşınma Davranışı Üzerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Sivas, 61 s.
- Garnham, J.E. (1995). The Wear of Bainitic and Pearlitic Steels. Doctor Thesis, Department of Engineering, University of Leicester Chapter 4., 4.1-4.54 pp.
- Gediktaş. M., (1970). "Sürtünme ve Aşınma", *İstanbul Teknik Üniversitesi Dergisi*, s28, 27-30, İstanbul, Türkiye.
- Gök M.S., (2008). "Düşük Ve Orta Karbonlu Çeliklerin Yüzeyine Tig Kaynak Metoduyla Kaplanan Ostenitik Paslanmaz Çelik Tozunun Aşınma Direncine Karbür İçeriğinin Etkisinin Araştırılması. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji Eğitimi Anabilim Dalı, Elazığ, 125 s.
- Hardell, J. ve Prakash B. (2010). Tribological performance of surface engineered tool steel at elevated temperatures. *International Journal of Refractory Metals & Hard Materials* 28 (2010) 106–114.
- Huang, J.Y., Zhu, Y.T., Liao, X.Z., Beyerlein, I.J., Bourke, M.A., Mitchell, T.E., (2003). Microstructure of cryogenic treated M2 tool steel, *Mater. Sci. Eng.*, A339(1-2), pp. 241-244.
- Kahraman, F., Karadeniz, Özlem., Durmuş, Hülya., (2009). Plazma Nitrülenmiş Wiroloy Nikel-Krom Alaşımının Sertlik Değişiminin Yapay Sinir Ağları İle İncelenmesi. *5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu*, Karabük.
- Karaaslan, A., (2010). *Mühendislik Alaşımları İçin Faz Diyagramları*, Literatür Yayıncılık, İstanbul.
- Karakan, M., (2004). Plazma Nitrokarbürülen AISI 4140 ve 1020 Çeliklerinin Yapısal, Mekanik ve Tribolojik Özelliklerinin Araştırılması. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Erzurum, 158s.
- Karakan, M., Alsaran, A. ve Çelik A. (2004). Effect of process time on structural and tribological properties of ferritic plasma nitrocarburized AISI 4140 steel. *Materials and Design*, 25 (2004) 349–353.
- Karamis, M.B. ve Gerçekcioglu E. (2000). Wear behaviour of plasma nitrided steels at ambient and elevated temperatures. *Wear*, 243 (2000) 76–84.
- Kato T., Kato, H. Ve Makino, T. (2016). Effect of elevated temperature on shelling property of railway wheel steel. *Wear*, 366-367(2016) 359–367.
- Kayalı, E.S. (1993). Sürtünme ve Aşınma, Workshop on Antiwear Coatings, Vol.11, Tübitak-MAM, Kocaeli.

- Kesti, E., (2009). Ç - 4140 Çeliğinin, Mikro Yapı Ve Mekanik Özelliklerine Su Verme Ortamının Etkilerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya, 99s.
- Korkut, M.H. (1997). Ferritik paslanmaz çeliklerin mikroyapısı ve aşınması üzerine karbür yapıcı elementlerin etkilerinin araştırılması. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 127 s.
- Krauss, G., (1980). *Principles of Heat Treatment of Steel*, American Society for Metals, 291p. Ohio.
- Krauss, G., (1997). *Steel; Heat Treatment and Processing Principles*, Materials Park, Ohio, 548 s.
- Lin, T., Seshadri, G., Kelber, J.A., (1997). A consistent method for quantitative XPS peak analysis of thin oxide films on clean polycrystalline iron surfaces, *Applied Surface Science* 119, pp 83-92.
- Marder, A.R., Benscoter, A.O. ve Krauss, G., (1970). "Microcracking Sensitivity in Fe-C Plate Martensite", *Metall. Trans.*,1: 1545–1549.
- Materkowski, J.P. ve Krauss, G., (1979). "Tempered Martensite Embrittlement in SAE 4340 Steel", *Metall. Trans. A*, 10A: 1643–1651.
- Metals Handbook, (1975). *Failure Analysis and Prevention*, 9th Edition, ASM, Metals Park, Vol 10, USA.
- Mohan Lah, D., Renganarayanan, S., Kalanidhi, A., (2001). Cryogenic treatment to augment wear resistance of tool and die steels. *Cryogenics* 41 (3), pp. 149-155.
- Oğuz, B. (1993). *Aşınma sorunları ve Dolgu Kaynakları*, Oerlikon Yayını, İstanbul.
- Öncel E. (2011). Yüzey Sertleştirme İşlemlerinin AISI 4140 Çeliğinin Yorulma Dayanımına Etkisinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta, 97s.
- Özdemir, U., Erten, M., (2003). Plazma (İyon) Nitrürleme Yöntemi ve Malzeme Özellikleri Üzerindeki Etkisi, *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, Cilt 1 Sayı 2, s 41-48.
- Özocakcıoğlu, A. (2016). Sertleştirilmiş AISI 4140 Çelik Malzemenin İşlenmesinde Seramik Kesici Takımda Oluşan Aşınmanın İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Abant İzzet Baysal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Bolu, 68 s.
- Özsaraç U. (1999). Endüstriyel Yatak Alaşımlarının Aşınma Davranışlarının Karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Sakarya, 122s.

- Parthasarathi, N.L., Borah, U. ve Albert, S. K. (2016). Effect of temperature on sliding wear of AISI 316 L(N) stainless steel – Analysis of measured wear and surface roughness of wear tracks. *Materials and Design*, 51 (2013) 676–682.
- Pauschitz A, Roy M ve Franek F., (2003). Identification of the mechanisms of wear during sliding of metallic materials at elevated temperature using an optical interferometer, *Tribol Schmierungstech*, 50:40.
- Pauschitz, A., Roy, M., Franek, F. (2008). Mechanisms of sliding wear of metals and alloys at elevated temperatures. *Tribology International*, 41 (2008) 584–602.
- Said G. (2012). *Metallerin Isıl İşlem Teorisi*. 1. Baskı, Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara, s 421.
- Savaşkan, T., (1999). *Malzeme Bilgisi ve Muayenesi*, 213-271, Derya kitapevi, 285 s.
- Sevil, C., (2008). *Ostenitik Paslanmaz Çeliklerin İyon Nitrürasyonu*. Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne, 67s.
- Shackelford, J. F. ve Alexander, W., (Editor), (2001). *CRC materials science and engineering handbook-3rd ed.*, CRC Press LLC,(pdf form), 1714 s.
- Shi, Z., Bloyce, A., Sun, Y. ve Bell, T., (1995). *Electron Beam Surface Melting to Increase Hardness and Wear Resistance of Aluminium Bronze*,The Institute of Materials, UK, pp 431-442.
- Simmons, G.W., Kellerman, E., ve Leidheiser, H., (1973). The Oxidation of Iron as Studied by Conversion Electron Mössbauer Spectroscopy, *Corrosion*,29-6, pp 227–233.
- Singh, R., (2012). *Applied welding Engineering*, Elsevier, pp. 95-108.
- Smith, W., (2000). *Mühendislik Alaşımalarının Yapı ve Özellikleri* (Çev. M. Erdoğan), Nobel Yayın Dağıtım, Ankara.
- Solmaz, Y. ve Keleştemur, M.H. (2004). Wear behavior of boron-doped Ni3Al material at elevated temperature. *Wear*, 257:1015.
- Subaşı, M., (2006). *AISI 4140 Çeliğinde Sertlik, Yorulma Dayanımı Ve Kalıcı Gerilme İlişkisi*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi, Ankara, 122 s.
- Şahin, Y., (2001). *Kumlama Makinesi Türbin Paletlerindeki Aşınma ve Mikro Yapının İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji Mühendisliği, Ankara, 83s.
- Şirin, Ş. Y., (2004). *İyon Nitrüleme Yüzey Sertleştirme Isıl İşleminin AISI 4340 Çeliğinin Yorulma Dayanımına Etkisinin İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 180s.

- Tayanc, M., Toktaş, A., (2002). SAE 4140 Çeliğinin Islahında Menevişleme Sıcaklığının İç Yapı ve Süneklik Üzerine Etkisinin İncelenmesi, *Kalıp Dünyası*, Yıl, 3, Sayı, 15
- Topbaş, M. A., (1998). *Celik ve Isıl İşlem El Kitabı*, Prestij Yayıncılık Basım Hizmetleri İstanbul, 75-96 ,593 s.
- Toptop, G.O., (2011). Yüksek Hız Takım Çeliklerinde Uygulanan Isıl İşlemler Ve Elde Edilen Özellikler Arasındaki İlişkilerin Fiziksel Metalurjik Yönden İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malzeme Anabilim Dalı, İstanbul, 134s.
- Totten, G. E., (2007). *Steel Heat Treatment Handbook*, CRC Press, 6000 Broken Sound Parkway NW Suite 300, BocaRaton, Florida.
- TS 1112 EN 10052 (2002). *Demir ve Çelikler İçin Isıl İşlem Terimleri Sözlüğü*. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, s 45.
- Tu, J.P., Jie, X.H., Mao, Z.Y. ve Matsumara, M. (1998). The effect of temperature on the unlubricated sliding wear of 5 CrNiMo steel against 40 MnB steel in the range 400–600°C. *Tribology International*, 31:347.
- Ulutan M., (2007). Ç-4140 Çeliğinin Yüzey Sertleştirme İşlemleri ve Kaplama Yöntemleri Sonrası Mekanik Davranışlarının Araştırılması. Doktora Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir, 289s.
- Vashishtha, N ve Sapate S.G., (2017). Abrasive wear maps for High Velocity Oxy Fuel (HVOF) sprayed WC-12Co and Cr3C2–25NiCr coatings, *Tribology International*, Volume 114, Pages 290–305
- Yıldırım, M.M., Doğantan, Z.S., Çakan, A., Pakdil, M., (2001). “Mühendislik Malzemesi”, Mustafa Kemal Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İskenderun, 114-124 s.
- Yılmaz, H., (2008). Titanyum ve Titanyum Alaşımlarının Yüzey Özelliklerinin Plazma (İyon) Nitrüleme ile Geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 68s.
- Wei, M.X., Wang, F., Wang S.Q. ve Cui X.H. (2009). Comparative research on the elevated-temperature wear resistance of a cast hot-working die steel. *Materials and Design*, 30 (2009) 3608–3614
- Wei, M., Wang, S., Wang, L. ve Chen, K. (2011). Effect of Microstructures on Elevated-Temperature Wear Resistance of a Hot Working Die Steel. *Journal Of Iron And Steel Research*, t 18(10): 47-53.
- URL-1 (2017). <http://www.atacelik.com/mikroyapi.html>, Ata Çelik Döküm, İstanbul, 20 Mayıs 2017

URL-2 (2017). <http://www.kuark.org/2013/08/celik-ve-ozellikleri/>, Kuark Bilim Topluluğu, 22 Mayıs 2017.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Fethulah YILDIZ
Doğum Yeri ve Tarihi : Ayancık / 01.01.1993

Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi : Bartın Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği
Lisans Öğrenimi : Bartın Üniversitesi Makine Mühendisliği (Çift Ana Dal)

Yüksek Lisans Öğrenimi : Bartın Üniversitesi Makine Mühendisliği

Bildiği Yabancı Diller : İngilizce

Bilimsel Faaliyet / Yayınlar : Neccaroğlu, V., Yıldız, F., Terkeşli, M. H., Özliman, H. ve Türkyücel, H. (2017). APS Yöntemi ile Yüzey WC ve Mo Tozları ile Kaplanmış AISI 1040 Çeliğinin Mikro-Abrasyon Aşınma Davranışlarının incelenmesi. Bartın Üniversitesi Mühendislik ve Teknoloji Bilimleri Dergisi. Vol. 5 Issue 1 (2017), 29-34.

İş Deneyimi

Çalıştığı Firma ve unvan : Araf İş Sağlığı ve Güvenliği Hizmetleri A.Ş firmasında C Sınıfı İş Güvenliği Uzmanı (Halen)
Bati Teknik Mühendislik Doğalgaz İnşaat Taahhüt Ltd. Şti firmasında yetkili Makine Mühendisi (Halen)

Staj : 06/2013– 08/2013

Kardemir A.Ş. Merkez, KARABÜK

Staj : 07/2014 – 09/2014

Kaya-Pen Pls. San. Ve Tic.Ltd.Şti. Merkez, SİNOP

Staj : 06/2015 – 08/2015

Can Makine Zımpara Mak İtl. İhr. Tic. ve San. Ltd. Şti. Merkez, SİNOP

Sertifikalar, Belgeler : C Sınıfı İş Güvenliği Uzmanı-2017, Ehliyet B/A2

Bartın Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölüm Üçüncülüğü-2015

İletişim

E-Posta Adresi : fethullahyildiz57@gmail.com

Tarih 29/12/2017 (Tez sınav tarihi)

