



**ORTA KARBONLU ÇELİK DÖKÜM KRANK
MİLLERİNDE GAZ NİTRASYON İŞLEMİNİN
AŞINMA DAVRANIŞINA ETKİSİ**

**2023
YÜKSEK LİSANS TEZİ
METALÜRJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ**

Emre KÜÇÜK

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI**

**ORTA KARBONLU ÇELİK DÖKÜM KRANK MİLLERİNDE GAZ
NİTRASYON İŞLEMİNİN AŞINMA DAVRANIŞINA ETKİSİ**

Emre KÜÇÜK

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI

T.C.

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında

Yüksek Lisans Tezi

Olarak Hazırlanmıştır

KARABÜK

Mart 2023

Emre KÜÇÜK tarafından hazırlanan “ORTA KARBONLU ÇELİK DÖKÜM KRANK MİLLERİNDE GAZ NİTRASYON İŞLEMİNİN AŞINMA DAVRANIŞINA ETKİSİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI

Tez Danışmanı, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 10/03/2023

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Mustafa ACARER (SÜ)

Üye : Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI (KBÜ)

Üye : Dr. Öğr. Üyesi İsmail Hakkı KARA (KBÜ)

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Müslüm KUZU

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Emre KÜÇÜK

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ORTA KARBONLU ÇELİK DÖKÜM KRANK MİLLERİNDE GAZ NİTRASYON İŞLEMİNİN AŞINMA DAVRANIŞINA ETKİSİ

Emre KÜÇÜK

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI

Mart 2023, 46 sayfa

Bu çalışmada; krank miline uygulanan gaz nitrasyon işleminin aşınma davranışına etkisi incelenmiştir. Bu amaçla krank mili 520⁰C sıcaklıkta 15 saat gaz nitrasyon işlemine maruz bırakılmıştır. Uygulanan gaz nitrasyonu sonucu nitrasyonlu ve nitrasyonlu numunelerden ayrı ayrı sertlik ve mikro yapı karakterizasyonu çalışmaları yapılmıştır. İncelenen numunelerin aşınma testleri, ileri-geri aşınma test cihazında, 20N, 40N ve 60N yük altında gerçekleştirilmiştir. Test sonuçları gidilen mesafe ve uygulanan yüke bağlı olarak farklılık göstermektedir. Aşındırıcı olarak 100Cr6 bilye kullanılırken, karşı malzeme olarak nitrasyonlu ve nitrasyonlu krank mili kullanılmıştır. Yapılan testler sonucunda, krank millerine uygulanan nitrasyon işlemi incelenen numunelerinin aşınma dirençlerinde yaklaşık %20 oranında bir artışa neden olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Sözcükler : Orta Karbonlu Çelik, Gaz Nitrasyon, Abrasif Aşınma,
Mikroyapı, Sertlik.

Bilim Kodu : 91517

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

THE EFFECT OF GAS NITRATION PROCESS ON THE WEAR BEHAVIOR OF STEEL CASTING CRANKSHAFT

Emre KÜÇÜK

Karabük University

Institute of Graduate Programs

Department of Metallurgy and Materials Engineering

Thesis Advisor:

Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI

March 2023, 46 pages

In this study, the effect of the gas nitration process on the wear behavior of the crankshaft was investigated. For this purpose, 15 hours of gas nitration was applied to the crankshaft at a temperature of 520°C. As a result of the gas nitration, the hardness and microstructure images were taken separately from the nitrided and nitrided samples. In order to compare the abrasion behavior of nitrided and nitrided samples, back and forth abrasion test was applied. 20N, 40N and 60N were determined as the load and subjected to abrasive wear test. Test results vary depending on distance traveled and load applied. 100Cr6 balls are used as abrasive and nitrided and nitrided crankshaft is used as counter material. Compared to the wear resistance of nitrided crankshaft samples, an increase in wear resistance of about 20% was observed in nitrated samples.

Key Word : Medium Carbon Steel, Gas Nitriding, Abrasion Wear, Microstructure,
Hardness.

Science Code : 91517

TEŐEKKÖR

Bu tez çalıŐmasının planlanmasında, yűrűtűlmesinde ve oluŐumunda ilgi ve desteęini esirgemeyen, engin bilgi ve deneyimlerinden faydalandıęım, yűnlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıŐmamı bilimsel temeller ıŐıęında Őekillendiren sayın hocam Prof. Dr. Yavuz SUN'a, tűm deneylerin yapılmasında ve deęerlendirilmesinde desteęini esirgemeyen sayın hocalarım Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI, Sait ŐZELİK ve Emre DEMİRCİ'ye sonsuz Őűkranlarımı iletirim. Ayrıca bu çalıŐmayı KBÖBAP-23-YL-012 proje numaraları ile destekleyen Karabűk Őniversitesi BAP Koordinatűrlűęűne teŐekkűrlerimi sunarım.

Bana manevi desteęini esirgemeyen her zaman yanımda olan aileme de Őűkranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	3
KRANK MİLLERİ	3
2.1. KRANK MİLİ ÇALIŞMA PRENSİBİ	4
2.2. KRANK MİLİNİN GÖREVİ.....	5
2.2.1. Krank Milinin Kısımları	5
2.3. KRANK MİL MALZEMESİ	6
2.3.1. Krank Milinden Beklenen Özellikler.....	7
2.4. KRANK MİLLERİNDE YAPILAN KALİTE KONTROLLER.....	8
2.4.1. Gözle Kontrol	8
2.4.2. Eğikliğın Kontrolü.....	8
2.5. KRANK MİLİNİN MARUZ KALDIĞI ZORLAMALAR	10
2.5.1. Krank Milinin Başlıca Arızaları ve Nedenleri.....	11
2.6. KRANK MİLLERİNDE YORULMA ZORLAMASI.....	11
2.6.1. Yorulma Hasar Örnekleri	12
BÖLÜM 3	14
GAZ NİTRASYON İŞLEMİ	14
3.1.2. Gaz Nitrasyon İşleminin Avantajları	16

	<u>Sayfa</u>
3.2. GAZ NİTRASYON İŞLEMİNİN YAPILIŞI.....	17
3.2.1. Neden Gaz Nitration İşlemi?	17
3.3. GAZ NİTRASYON İŞLEMİNİN GENEL UYGULAMA ALANLARI	17
3.4. GAZ NİTRASYONUNUN TERMODİNAMİĞİ VE KİNETİĞİ	20
3.4.1. Nitrokarbürizasyon	22
3.4.2. Kontrollü Gaz Nitrokarbürizasyonun Faydaları	22
BÖLÜM 4	23
AŞINMA.....	23
4.1. AŞINMA ÇEŞİTLERİ VE PARAMETRELERİ.....	23
4.1.1. Sürtünme ve Aşınma.....	24
4.2. AŞINMA DENEYİ VE ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ.....	25
4.2.1. Ağırlık Kaybı Yöntemi	25
4.2.2. Kalınlık Ölçüm Yöntemi	26
4.2.3. İz Ölçüm Metodu	26
BÖLÜM 5	27
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	27
5.1. İNCELENEN MALZEME VE GAZ NİTRASYONU	27
5.2. MİKROYAPI ÇALIŞMALARI	28
5.3. SERTLİK ÖLÇÜMÜ	29
5.4. AŞINMA DENEYLERİ.....	29
BÖLÜM 6	31
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	31
6.1. MİKROYAPI ÇALIŞMALARI	31
6.2. SERTLİK ÖLÇÜMÜ	34
6.3. AŞINMA DENEYİ SONUÇLARI	35
6.4. AŞINMA YÜZEYLERİNİN SEM ANALİZİ	39
BÖLÜM 7	43
GENEL SONUÇLAR	43

	<u>Sayfa</u>
KAYNAKLAR	44
ÖZGEÇMİŞ	46

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Pistona bağlanmış krank mili.....	4
Şekil 2.2. Kam miline bağlanmış krank mili	5
Şekil 2.3. Krank mili bağlantısı.....	6
Şekil 2.4. Krank mili doğrultma presi.....	8
Şekil 2.5. Krank mili eğiklik kontrolü	9
Şekil 2.6. Krank mili muylularının ölçülmesi	10
Şekil 2.8. Bir pinyon milindeki tipik yorulma hasarı(a) ve Bir krank milindeki tipik yorulma hasarı(b).....	13
Şekil 3.1. Gaz nitrasyon fırını	14
Şekil 3.2. Gaz nitrasyonunda çelik yüzeyinde gerçekleşen reaksiyonların şeması....	16
Şekil 3.4. Gaz nitrasyonu basamakları.....	18
Şekil 3.5. Gaz nitrasyonunda beyaz tabaka.....	19
Şekil 3.6. Gaz nitrasyonu işleminden sonra oluşan beyaz tabaka ve difüzyon bölgesi.....	20
Şekil 3.7. Gaz nitrasyonu prosesindeki difüzyon mekanizması.....	21
Şekil 4.1. Aşınma yivleri; (a) mil, (b) yatak, (c) piston, (d) dişli çark.....	24
Şekil 4.2. (a) Statik ve (b) Dinamik sürtünme sırasında cisme etkiyen kuvvetler.....	24
Şekil 5.1. Gaz nitrasyon fırını ve çalışma prensibi.	28
Şekil 5.2. Zımpara cihazı (a) ve optik mikroskop (b).	28
Şekil 5.3. Vickers Sertlik Test Cihazı.	29
Şekil 5.4. İleri geri aşınma test cihazı.	30
Şekil 6.1. Nitrasionsuz (a;500x) ve (b;1000x) numunelerin mikroyapı görüntüleri. 31	
Şekil 6.2. Nitrasionsuz (5000x) numunenin SEM görüntüleri.....	32
Şekil 6.3. Nitrasyonlu (a;500x) ve (b;1000x) numunelerin mikroyapı görüntüleri. ..	32
Şekil 6.4. Nitrasyonlu (5000x) numunenin SEM görüntüleri.	33
Şekil 6.5. Nitrasyon tabakasının optik görüntüsü.	33
Şekil 6.6. Nitrasyon tabakasının SEM görüntüsü.	34
Şekil 6.7. Gaz Nitrasionsuz Numunelerin Ağırlık Kaybı Grafiği.....	35
Şekil 6.8. Gaz nitrasyonlu Numunelerin Ağırlık Kaybı Grafiği	36
Şekil 6.9. Ağırlık Kaybına Göre Uygulanan Yük İle Aşınma Hızı Değişimi.....	36

Sayfa

Şekil 6.10. 20N yük altında nitrasyonlu numunenin sürtünme katsayısının zamanla değişimi.	37
Şekil 6.11. Aşınma İZ Yüzey Alanına Göre Aşınma Hızının Uygulanan Yük İle Değişimi.	39
Şekil 6.12. Nitrasyonsuz Numunelerin (a) 20N ve (b) 60N Yük altında Aşınmış Yüzey SEM Görüntüsü.	40
Şekil 6.13. Nitrasyonlu Numunelerin (a) 20N ve (b) 60N Yük Altında Aşınmış Yüzey SEM Görüntüsü.	40

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 5.1. İncelenen numunenin kimyasal kompozisyonu.	27
Çizelge 6.1. Nitrasyon tabakası üzerinden alınan sertlik sonuçları	34
Çizelge 6.2. Sürtünme Katsayısı Tablosu	38
Çizelge 6.3. 20N Yükte Aşındırılan Nitrasyonuz numune için seçilen noktaların % ağ. EDX sonuçları.....	40
Çizelge 6.4. 60N Yükte Aşındırılan Nitrasyonuz numune için seçilen noktaların % ağırlıkça EDX sonuçları.	41
Çizelge 6.5. 20N Nitrasyonlu numune için seçilen noktaların % ağırlıkça EDX sonuçları.....	41
Çizelge 6.6. 60N Nitrasyonlu numune için seçilen noktaların % ağırlıkça EDX sonuçları.....	41

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

Cr	: Krom
Ni	: Nikel
Fe	: Demir
Al	: Alüminyum
Mo	: Molibden
Au	: Altın
Ti	: Titanyum
V	: Vanadyum
Na	: Sodyum
Cl	: Klor
Mn	: Mangan
MPa	: Mega paskal
γ	: Östenit
ϵ	: Epsilon
d	: Yoğunluk
F_n	: Uygulanan normal kuvvet
S	: Aşınma mesafesi

KISALTMALAR

DIN	: Deutch Industrie Normen (Alman Endüstri Normları)
SEM	: Search Engine Marketing (Taramalı Elektron Mikroskobu)
EDX	: Energy Dispersive X-Ray (Enerji Dağıtıcı X-Ray)
HV	: Vickers Sertlik Testi

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Krank mili motor pistonlarının üzerinde bulunduğu metal çubuğa verilen isimdir. Motorda pistonlardan sağlanan doğrusal hareketi dairesel harekete çevirip bu gücü tekerlerin dönme hareketinde kullanan sisteme krank mili denir.

Nitrasyon işlemi azot elementinin çelik yüzeyine uygulanır. Bu sistemde temel nokta yüzeyde aşınma direncinin yüksek olduğu bir tabaka oluşturmaktır, bu tabakaya beyaz tabaka denir. Nitrasyon işleminin uygulanması için malzemelerde belli bir nitrasyon kabiliyeti olması gerekir. Nitrasyon işlemi bir yüzey sertleştirme işlemi olmasının yanında uygulanan malzemelerde sadece aşınma direncini değil korozyon ve yorulma direncini de iyileştirebilir. Gaz nitrasyonu yüzey serleştirmede ülkemizde yaygın olarak tercih edilen bir yöntemdir. Bu işlemin yaygın olarak kullanılmasının en birincil sebebi yüzey sertliğini artırarak aşınmaya maruz kalan yüzdelerde de aşınma direncini arttırmasıdır.

Aşınma birbirine sürtünerek çalışan makine elemanlarında sık sık görülen bir hasar tipidir. Aşınmanın yol açtığı zorluklardan biri de malzemelerin kullanım ömrünü azaltırken çalışma verimini de düşürmesidir. Günümüze kadar bu hasarı minimize etmek için çeşitli çalışmalar gerçekleştirilmiştir [1].

Aşınma test cihazına bağlanan gaz nitrasyon işlemi uygulanmış ve uygulanmamış numunelere farklı yükler uygulanarak test gerçekleştirilmiştir. Gidilen mesefeye oranla numune yüzeylerinde ağırlık kayıpları elde edilmiştir. Gaz nitrasyonu uygulanmış ve uygulanmamış numunelerde ağırlık kayıplarındaki farklılıklar dikkate alınmıştır.

Bu çalışmada; gaz nitrasyon işlemi uygulanan krank mili numunelerine aşınma test cihazında aşınma davranışı incelenmiştir, sonuç olarak amacımız krank millerinde ki aşınma dayanımını arttırırken ömrünü uzatmak olmuştur.

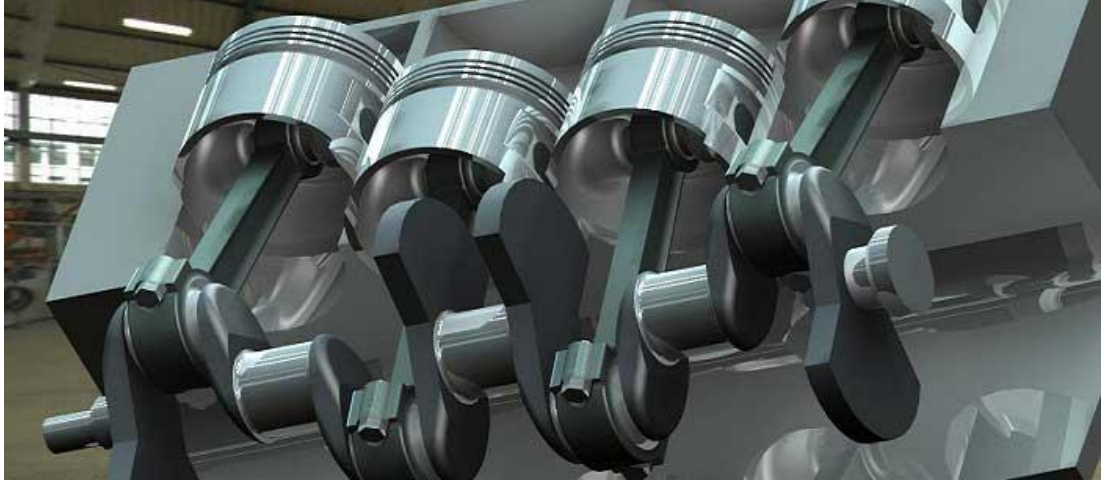
BÖLÜM 2

KRANK MİLLERİ

Otomobil motorlarında en önemli parça krank milleridir. Çünkü krank millerinin eksikliği ile pistonlar, pistonların eksikliği ile de motor olmaz [1]. Motorda bulunan pistonların üzerinde bulunan metal çubuğa denir. Bu metal çubuğun en dikkat çeken özelliğinden biri pistonların bağlanmasının birbirlerine tamamen zıt olan “U” şeklinde yuvalarda olmasıdır [2]. Krank milinin şekli farklı olabilir. Bunda ki en belirgin etkenlerden biri motorda bulunan silindir sayısı ve bu silindirlere bağlı olarak yanmanın gerçekleştiği sırada bu yanmaya uygun olan dönme kuvvetidir [3].

Krank millerinde bilinen en yaygın arıza eski ve performanslı araçların dağıldığıdır. Dağılan motorlarda pistonların ve motor bloğunun bile dağıldığı gözlenmiştir. Bu arızada en çok göze çarpan sebep pistonların kranka 90 derecelik açı ile bağlı olmasıdır. Bu açıda ki herhangi bir sapma ile motorların gücü ile pistonlar boşa çıkabilmektedir [1].

Krank mili uzun metal bir çubuktur fakat 5-10 cm’de bir U şeklindeki çıkıntılara sahiptir. Tekrarlanan tüm çıkıntılar birbirlerinin tersi yöndedir. Anlatılan bu metal çubuk üzerindeki “U” şeklindeki çıkıntılar ile beraber olmak üzere tek bir parçadan oluşur [1]. Şekil 2.1’de Pistona bağlanmış krank mili gösterilmektedir.



Şekil 2.1. Pistona bağlanmış krank mili [1].

Krank millerinin bağlı olduğu pistonlara uygulanan gaz ve kütle kuvvetlerinin toplamı ile motorun çalışması esnasında kuvvetlerin sürekli değiştiği bir diyagram ortaya çıkar. Bu olay sonucunda krank millerinde karışık bir dönme hızına neden olur, bunun da bir enerji biriktirmesi ile kabul edilebilir bir seviyeye düşürülmesi gerekir. Krank mili malzemesinin etkisi ile krank mili üzerinde bulunan biyel kolunu kıvrırabilir [4].

2.1. KRANK MİLİ ÇALIŞMA PRENSİBİ

Motorda bulunan pistonlar ile elde edilen doğrusal hareketi dairesel harekete çevirmek sureti ile tekerlere iletilen kuvvetin kendisi üstünden alınmasını krank milleri temin eder. Trigel kayışı ile eksantrik mili krank miline bağlıdır. Bu bağlantı sonucunda hareket elde edilir. Momentum disk biçimindeki volan hareketi ile gerçekleşir ve pistonlardan güç taşınmadığı sıralarda, yani yanma olmaması halinde motor momentumunu muhafaza eder. Çalışan krank mil yüzeyinin sürtünen kısmı milin içindeki yağ hattından yararlanarak yağlanmış olur. Yağ filminin gerektiğinden daha kalın ya da daha ince olması istenmez. Belirli bir oranda orantılı yoğunluk lazım olmaktadır. Buradaki gaye sürtünmeyi durdurarak aşınmanın azalmasına yardımcı olmaktadır [5].

2.2. KRANK MİLİNİN GÖREVİ

Krank Mili, pistonlar ile sağladığı doğrusal hareketi, kolay yolla dairesel harekete döndürerek tekerleklere ulaştırarak tüm dönme kuvvetinin temel merkezi şeklindedir. Zincir veya trigel kayışı vasıtasıyla Kam Miline devinim sağlanırken; volan düzeneği sayesinde, boştaki motor hareketliliğini bir süre daha sürdürür. Volan denilen parça bir disk şeklindedir. Volanın amacı, pistonlar ara verdiği sıralarda, pistonlardan devinim olmayışına karşın motorun çalışır konumda kalmasına katkı sağlamaktır. Piston, bir motora hareket gücünü yanma ile verir. Pistonun durması ile yanma vazifesinin yapılmaması anlamına gelir. Yanma hadisesinin gerçekleşmesi ile motora yalnızca çalışma gücü değil; aynı zamanda arabayı ileri doğru hareket ettiren gücü de sağlamasıdır. Halbuki volandan sağlanan çalışma itici gücü, arabayı hareket ettirecek gücü motora sağlamaz. Fakat motorun durmamasına sebep olur (Şekil 2.2) [1].



Şekil 2.2. Kam miline bağlanmış krank mili [2].

2.2.1. Krank Milinin Kısımları

Motorda bulunan en kıymetli parçalardan biri de krank milidir. Bu yüzden bu tür önemli parçaların onarılması mümkün olmadığı gibi imalatında oluşan eksikliklerinde daha sonardan düzeltilmesi zordur [6]. Onarılırken karşılaşıcağınız en küçük bir yanılğı, geri dönüşü pek de muhtemel olmayan kusurlara sebep olabilir [1]. Şekil 2.3.'de krank mili bağlantılı şekilde verilmiştir.



Şekil 2.3. Krank mili bağlantısı [7].

Krank mili kısımları; temel yatak-biyel muyluları, kaldıraç kolları, denge ağırlıkları ve flanşlardır [2].

2.3. KRANK MİL MALZEMESİ

Krank mili karbon veya alaşımli çeliklerin dökülmesi ve dövmesi ile üretildiği gibi dökme demirden de (perlitik, temper döküm veya sfero döküm) üretilbilirler [7].

Bunun yanı sıra;

- Nitrasyonla yüzey sertleştirilmiş çelik (Brinel sertliği 500)
- Alev endüksiyonla yüzey sertleştirilen karbon içerikli çelik veya alaşımli çelik
- Isıl işlem uygulanmış yüksek karbonlu çelik veya alaşımli çeliği
- Dökme demirler.

Krank mil malzemesi olarak kullanılır. En çok tercih edilen krank mili türleri:

- Ufak çaplı fazla zorlanmayan krank millerine göre CK45
- Büyük çaplı fazla zorlanan krank millerine göre 37Cr4, 41Cr4 Östenitik paslanmaz çelikler [3].
- Yüksek dönme sayılı çok kuvvetli motorlarda 55CrNiMo veya 42CrMo4

Küresel grafitli ya da krom, vanadyum ve molibden ile alaşımlı, ısıl işlem görmüş çelikler ve dökme demirlerden üretilebilirler. Dökme demirler krank mili imalatında da kullanılabilirler. İmalatı sırasında dökme demirler sertleştirilmesi için nitrojen banyosunda bekletilebilirler [2].

2.3.1. Krank Milinden Beklenen Özellikler

Krank mili çeşitli zorlamalara maruz kaldığı için seçilen malzemenin mukavemetli ve tok olması gerekir. Bu iki kavramın ortak özelliği krank milinin uğradığı zorlamalara karşı dirençli olmasını sağlamaktır. Krank milleri imalatında mukavemetli dövme çelik ve basınçlı döküm yöntemi ile de üretilebilir [9].

Krankın direncini yükseltmek için muylu ve kolun kaynaştığı kısım sertleştirmenin uygulandığı bölge içine dahil edilir. Bu kısımda gerilim yoğunlaşmasını azaltmak için muyluyla kolun birleştiği kısma yeniden dövme ile yuvarlanma kavisi verilir. Bu çok hassas bir prosestir ve beyaz dökme demiri dökümü ile üretilen krank millerinde bu geçiş kısım kuvvet akışına orantılı tasarlanabilir [9]. Muhtemel özellikler:

- Korozyon dayanımına dirençli
- Aşınma dayanımına dirençli
- Burkulma dayanımına dirençli
- Yorulma dayanımına dirençli

Krank millerinde malzemelerin çekme mukavemeti DIN 17200 standardına nazaran 800-950 MPa aralığında olmalı. Yatak sertliğine nazaran buna orantılı karbon miktarı ihtiva etmelidir. Çekme mukavemetinin belirlenmesinde krank milinin boyutu da bir faktördür. Çapı büyük olan krank millerinde yüksek sertlik derecesi yalnız alaşımlı çeliklerle elde edilir [2].

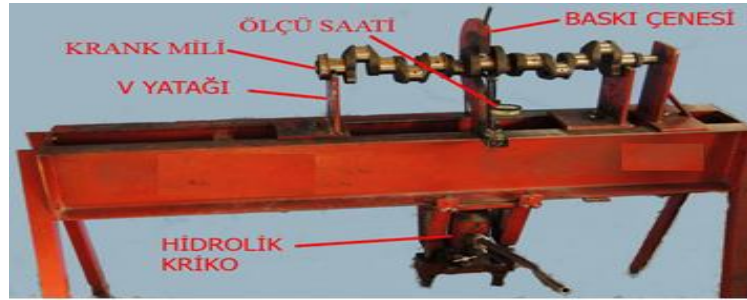
2.4. KRANK MİLLERİNDE YAPILAN KALİTE KONTROLLER

2.4.1. Gözle Kontrol

Krank milleri, eğilik, aşınma, çatlaklık v.b. kusur yönlerinden gözle ya da gerekli gereç denetleme edilip yeniden kullanılabilir olup olmadıkları tayin edilebilir [10].

2.4.2. Eğikliğin Kontrolü

Krank milleri, üzerine uygulanan farklı kuvvetler altında, aşınma, yatak yuvasındaki kusurlar gibi farklı sebeplerle eğilebilir. Eğilme, çift kafa temel yatak muylu eksenini ve orta muylu arasındaki sapmadır. Bu eğikliğin, taşlama toleransı içinde olup olmadığını anlamak, fazla ise düzeltmek için krank mili uygun aparatlarla kontrol edilir. Kontrolde 0,076 mm'den (0,003 inç) yüksek bir eğiklik tayin edildiğinde krank mili doğrultulur. Kontrol ve doğrultma için yapılmış hususi pres ya da sehpadan yararlanılır. Şekil 2.4'de bir sehpa üzerinde krank mili doğrultma presi görülmektedir. Sehpa, gövde üzerine yerleştirilmiş iki V yatağı, hidrolik kriko, baskı çenesi ve hususi komparatörden oluşmaktadır.



Şekil 2.4. Krank mili doğrultma presi [11].

Krank milini temizledikten sonra birinci ve sonuncu ana yatak muylularından V yatakları üzerine yerleştirilir. Hidrolik kriko ile baskı çenesini orta ana yatak muylusu üzerine getirilir [10].

Özel bir komparatörün saati, milin orta noktasında ana yatak muylusunun hizasında bulunacak şekilde tabla üzerine yerleştirilir. Ölçü saatinin ibresi, bir devir yol aldıktan

sonra komparatör sıfırlanır. Krank milini V yatakları elle ağır ağır döndürerek saatin ibresi izlenir. İbrede sapma yoksa ya da sapma miktarı taşlama sınırı içinde ise krank milinin doğrultulmasına gerek yoktur [10].

Eğiklik (salgı) 0,075 mm'den fazla ise sapmanın artı ya da eksi oluşuna göre krank mili eğik tarafı yukarıya gelecek bir konuma getirilir. Hidrolik kriko ve baskı çenesi aracılığı ile muylu üzerine kuvvet uygulanır. Kuvvet ani değil yavaş yavaş ve belirli aralıklarla uygulanmalıdır. Eğiklik düzelineceye ya da taşlama sınırı içine girinceye kadar işleme devam edilir.

Doğrultma sırasında fazla kuvvet uygulanmamalıdır. Eğiklik öbür tarafa geçebilir ya da krank mili, özellikle dökme demir olanlar çatlayıp kırılabilir. Eğiklik öbür tarafa geçtiğinde kuvvet ters taraftan uygulanır. Dökme demirden krank milleri, çatlama ve kırılmaya karşı ısıtılarak; çelik döküm miller ise soğuk iken doğrultmalıdır.

Eğiklik, V yatakları üzerine yerleştirilen krank milini iki baş muyludan eilmesi sırasında (Şekil 2.5) yer değiştirme komparatörüyle belirlenebilir. Eğiklik tespit edildikten sonra mil, hidrolik presle düzeltilir [10].



Şekil 2.5. Krank mili eğiklik kontrolü [9].

Eğilmiş biyel kolu muyluları, benzer yöntemlerle kontrol edildikten sonra pres benzeri cihazlarla doğrultulur. Muylulardaki eğiklik, muylu tek olarak çalıştığından ana yatak muylularında gözlenen eğiklik kadar tehlikeli değildir. Aşırı eğilmiş ya da doğrultulamayacak kadar hasara uğramış krank milleri değiştirilir [5].

2.4.3. Muyluları Ölçme

Hazırlanan krank miller, eğiklik, aşınma, öteki yüzey kusurları ile çatlaklık gibi kusurlar açısından gözle ya da lüzumlu aparatlarla denetlenip yeniden kullanılabilir durumda olup olmadıklarına karar verilir. Temel yatak ile biyel muylularında aşınma ve ovallik ile koniklik miktarını belirlemek için muylular birbirine karşı dik iki eksen üzerinden düşey ve yatay ön-arka kısım olmak üzere dört farklı kısımdan ölçülür (Şekil 2.6. Krank mili muylularının ölçülmesi) [9].



Şekil 2.6. Krank mili muylularının ölçülmesi [9].

Krank mili muylularında birbirine dik eksenler arasındaki en büyük ölçü farkına ovallik, krank mili muylularında aynı eksenler arasındaki en büyük ölçü farkına koniklik, krank muylusu standart çapı ile ölçülen en küçük ölçü arasındaki fark aşınma miktarıdır [10].

2.5. KRANK MİLİNİN MARUZ KALDIĞI ZORLAMALAR

Motorun çalışması esnasına krank millerine uygulanan yanma basıncının etkisiyle krank milleri sürekli olarak eğilme gerilimine ve burulma gerilimine maruz kalır. Bu da hareket eden kısımlarda salınımların motor bloğunun titreşmesine sebep olmaktadır. Silindirlerdeki yanma esnasında hazırlanması, kepler, dengeleme ağırlıkları vb yardımıyla bu titreşimler minimuma çekebilmektedir. Krank milinde eğilme zorlaması en çok gaz kuvvetinin basıncına bağlı olarak oluşurken, eğilme ve

burulma gerilmesinin maksimumu değişkendir. Hesaplarda emniyete göre her ikisinin de maksimum değeri krank miline benzer etki ediyormuş gibi varsayılır [7].

Nominal burulma gerilmesi takribi 40 MPa kabul edilebilmektedir. Krank millerindeki toplam gerilme değeri 50-150 mm aralığında olanlarda 300 MPa varsayılabilir. Modern elik krank millerinde nominal gerilmeler; Malzemenin akma sınırını eğilmede %20'sini ve burulmada %15'ini geçmemelidir. Çoğunlukla eğilme yorulması kırılması, kolun muylu ile birleştiği yerde görülür [7].

2.5.1. Krank Milinin Başlıca Arızaları ve Nedenleri

Krank millerinde karşılaşılan arızalar genellikle aşınmadan kaynaklı çizikler, yanmalar, sarmalar, eğilmeler ya da kırılmalardır. Genellikle muylular çalışma ömrü tükenmesi ile küçülüp düzgünlüğünü yitirirler [12].

Muylularda bağlantı yüzeylerine etkiyen kuvvet ile zamanla oval aşınma, sıkıştırma ya da yanmalar gözlenir. Ana yatak muylularında ise yatak yuvalarında Őekilsel hasarların gözlenmesi ile konik aşınma oluşur. Motor alışması ile yağ basıncı düşer ve yataklarda eki sesine benzer sesler duyulabilmektedir [10].

2.6. KRANK MİLLERİNDE YORULMA ZORLAMASI

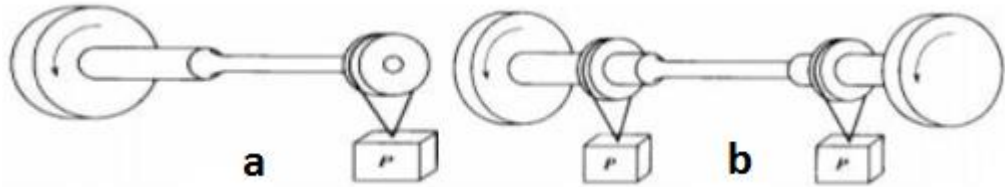
Farklı zorlanmalar altında makine parçalarında oluşması bu Şekil bozukluğuna "yorulma" denir. Yorulmada kaçınılmaz Şekil bozukluğu, malzeme içinde gerçekleşen küçük mikro çatlakların, farklı zorlanmalar sonucunda zamanla çoğalması ile gerçekleşir. Bu olay daha çok metalik malzemelerde gözlenir. Makine elemanlarında bulunan farklı süreksizlikler yorulma zorlamasını arttıırırlar [8].

Yorulma özelliğine etki eden koşullar:

- Gerilme koşulu; gerilme genliği, ortalama gerilme, iki boyutlu gerilme durumu, kayma gerilmesi v.b.,

- Geometri; Yorulma çatlağına sebep olacak ve gerilme birikmesine yol açan kesit değişimleri,
- Malzeme cinsi: Yorulma hasarı malzeme cinsine göre büyük değişik gösterir,
- Kalan gerilme; Kaynak, döküm v.b. imalat bitiminde oluşan kalan gerilmeler yorulma hasarını azaltır,
- İç kusur boyutu ve dağılımı; döküm sonrası meydana gelen boşluklar yorulma hasarının başlangıcını kısaltır,
- Tane boyutu; Birçok metal için ince tane boyutu uzun yorulma ömrüne sebep olur [3].

En temel düzen olarak varsayılan bu çeşit testte numunenin uzunluğuna göre basma ile çekme gerilmesi uygulanır. Maruz bırakılan gerilme numunenin eni boyunca eş akselidir. Bu tarz etkinin tesir ettiği uygulamalara örnek olarak içten yanmalı motorların bağlantı rotları verilebilir (biyeler). Fakat bu aksel gerilmenin dışında oluşan eğme kuvveti de önemlidir. [6]. Şekil 2.7 'de tek uçtan yüklemeli dönel eğmeli ve (b) iki uça etki eden dönel eğme yüklemeli yorulma deney makinesinin prensip şeması verilmiştir.

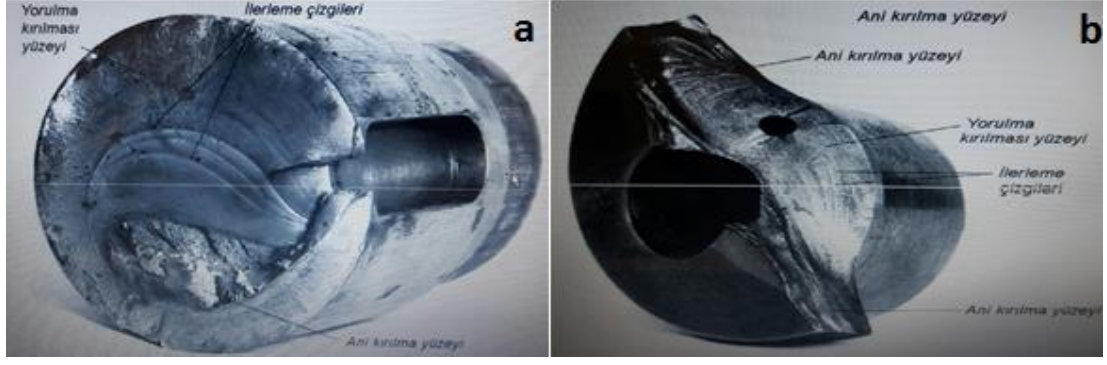


Şekil 2.7. Yorulma makinesinin çalışma şemaları; (a) tek uça ve (b) iki uça etki eden dönel eğmeli yorulma [6].

Burma gerilmeli yorulma deneyi numunesi durağan eksene göre yinelenen burma gerilmesine maruz kalır.

2.6.1. Yorulma Hasar Örnekleri

Yorulma hasarına örnek olarak Şekil 2.8'te bir pinyon milindeki tipik yorulma hasarı ve bir krank milindeki tipik yorulma hasarı verilmiştir.



Şekil 2.8. Bir pinyon milindeki tipik yorulma hasarı(a) ve Bir krank milindeki tipik yorulma hasarı(b) [3].

BÖLÜM 3

GAZ NİTRASYON İŞLEMİ

Nitrasyon işlemi bir yüzey sertleştirme işlemi olup azot elementinin çelik malzeme üzerine emdirilmesi neticesinde numunenin üzerinde aşınmaya dirençli ve sağlam bir tabaka oluşur. Nitrüleme işlemi bazı çelik malzemelerde korozyona karşı direncini ve yorulma ömrünü artırırken, çoğu çelik malzemelerde korozyon direncini düşürür. Şekil 3.1’da gaz nitrasyon fırınının görüntüsü verilmiştir [13].



Şekil 3.1. Gaz nitrasyon fırını [13].

Sıcaklığın az olması koşullarında yüzey sertleştirme işlem çeşitlerinden biri olan nitrasyon; çeliğin yüzeyinde ara yer atomu olarak yerleşen azot atomları ile yüzeyde sağlam tabakanın oluşumunu sağlar.

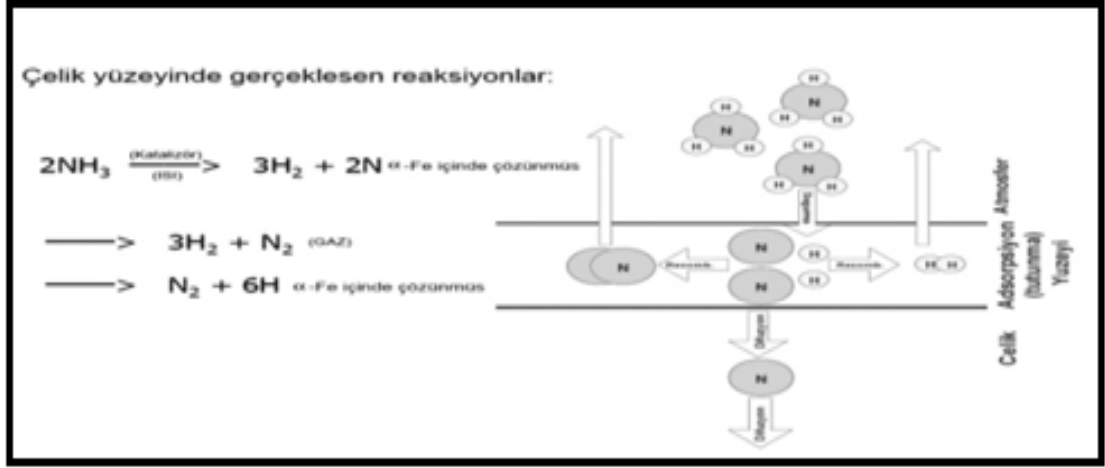
Nitrasyon düşük sıcaklıklarda (480-540°C) yapılmaktadır. Bu sıcaklık aralıklarında karbonlu çelikler ferritik haldedir. Nitrasyon uygulaması Al, Cr, Mo, Ti gibi nitrür yapıcı elementleri barındıran malzemelere uygulanmaktadır. Nitrüleme işleminde, çelik üzerindeki atomik azot yüzeyden merkeze doğru emilir ve çoğunlukla 5-15 µm boyutunda ince nitrür çökeltileri oluşturabilmek için tepkimeye girer.

Çelik parçalar nitrasyon işlemine tabi tutulmadan önce bazı ön hazırlıklar gereklidir. Bunlar:

- Nitrürlenmiş parçalar, öncesinde çok iyi temizlenmeli ve yağdan uzaklaştırılmalıdır. Parçaların üzerlerinde, herhangi bir toz veya tufal bulunmamalıdır.
- İyi bir temizleme işleminden sonra parçaya ıslah işlemi yapılmalıdır. Ancak, bu işlem sırasında “temperleme sıcaklığının”, “nitürleme sıcaklığının” üzerinde (30-50 C daha yüksek) belirlenmesine dikkat edilmelidir. Çünkü “temperleme sıcaklığı”, nitürleme işleminin yapıldığı sıcaklıkta var olan yapısal kararlılığı garanti etmek için yüksek olmalıdır.
- Taşlama dahil bütün talaşlı işlemler yapılmalı, parça gereken yüzey düzgünlüğüne ve boyutlarına işlenmelidir.
- Belirlenmiş olan nitürleme metoduna uygun, gereken kalınlıkta sert kaplama meydana getirecek sürede nitürasyon işlemi uygulanmalıdır.

3.1. GAZ NİTRASYONDA YAPISAL DÖNÜŞÜMLER VE AVANTAJLARI

Demirin içinde tamamı çözünmeyen azot, %6 oranında ferrit içinde katı çözültü oluşturur ve % 6 azot içeren Fe_4N yapısı östenit fazı (γ) oluşturur. %8'in üzerinde azot içerdiğinde ise denge tepkime ürünü olan Fe_3N yapılı ϵ fazını oluşturmaktadır. Nitration işlemine uğramış yüzeylerde kademeli bir yapıya sahip olup dış yüzeyde beyaz tabaka olarak belirlenen östenit fazından (γ) meydana gelmektedir. Yüzeydeki tabaka çok sağlam ve kırılma olup kullanımda kat kat aşındığından tercih edilmemektedir. Özel nitration uygulamalarıyla bu katman azaltılabilir veya gevrekliği düşürülebilmektedir. Şekil 3.2'de gaz nitrationunda çelik yüzeyinde gerçekleşen reaksiyonlar şematik olarak verilmiştir [13].



Şekil 3.2. Gaz nitrasyonda çelik yüzeyinde gerçekleşen reaksiyonların şeması [7].

Nitrasyon işleminin yapılmasında yüzey kısmında oluşan beyaz katman genel olarak ϵ ve γ sembolleriyile gösterilen iki faz olarak oluşmaktadır. Bu fazların oluşumu ortam konsantrasyonu (K_n) ve sıcaklık ile orantılıdır. γ (östenit) fazı ϵ fazının altında oluşmaktadır. γ fazı, kübik kristal yapıda olmakla beraber, ϵ fazı ise hegzagonal fazdadır. Uygulamaların çeşitliliklerine göre bu fazların kalınlık ve oranları önemlidir [13]. Sert nitürler oluşturma veya çökelme sertleşmesi ile çeliğin sertliğini artırma açısından alaşım elementleri incelendiğinde; Ti, Cr, Mo, V ve Al gibi elementlerin nitür oluşturarak sertlikte artışına neden olduğu yayınlanmıştır [14].

K_n kontrolü ile gaz nitrasyonunun faydaları:

- Beyaz katman kalınlığı ve faz tayini,
- Derinlik ölçümü,
- Yüzeyin sertlik tayini
- Çarpılma yok,
- Geliştirilebilir çalışmalar oluşturabilmesi.

3.1.1. Gaz Nitrasyon İşleminin Avantajları

Karbonitrasyon ve sementasyon v.b. diğer yüzey sertleştirme işlemlerine kıyasla gaz nitrasyon işlemi daha düşük sıcaklıkta gerçekleşir [7]. Aşağıdaki çelik malzemelerinde nitrasyonla yüksek sertlikler kazanılır:

- Düşük alaşımlı çelik türleri (4340, nitralloy, 4140, v.b.)
- Sıcak iş takım (0.4C-5Cr-Si-Mo içeren) çelik türleri (1.2344, 1.2343, 1.2606, v.b.)
- Korozyona dirençli alaşımlı ve takım çelik türleri.

3.2. GAZ NİTRASYON İŞLEMİNİN YAPILIŞI

Gaz nitrüleme işleminde malzeme azot kontrolü altında meydana gelir. Çelik malzemenin olduğu fırının içerisinde belirli bir sıcaklıkta azot bulunan gaz (NH_3) emdirildiğinde azot bulunan gaz dağılır ve açığa çıkan atomal azot metalik malzemeye nüfuz eder. Özellikle yüzey kısmının homojen olarak sertleştirilmesi istenen karışık şekilli parçalarda, gaz nitrüleme ile yüzeyini geliştirmek için etkili yöntemdir. Gaz nitrasyon işlem prosesinde, NH_3 dağılması ile beraber yüzeye N difüzyonunun meydana gelmesi ile oluşan çökeltinin, işlem boyunca irileşmesi ile birlikte, malzemede kalıntı gerilme meydana gelir [15].

Gaz nitrasyon işleminde, NH_3 gazı 500-600 °C sıcaklıklarında H -N çözünür, açığa çıkan azotun çelik yüzeyine difüzyonu sonucu nitrüleme oluşur. Nitrasyon 50-100 saat arasında değişiklik gözlenebilir, nitrüleme süresinin artması ile yüzeyin sertliği azalır [15].

3.2.1. Neden Gaz Nitrasyon İşlemi?

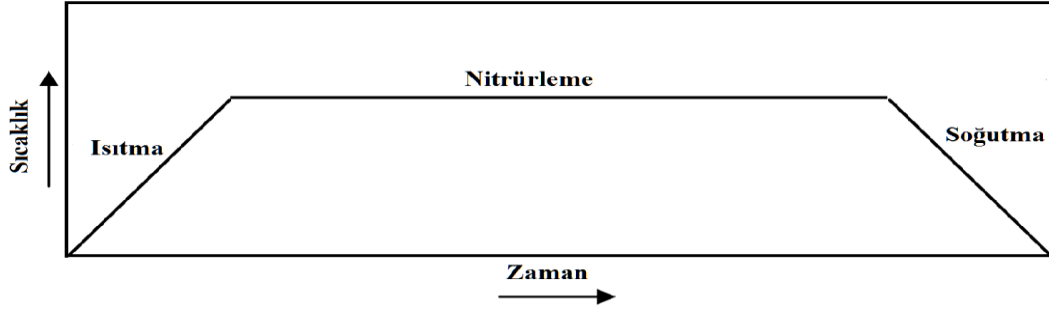
Düşük çarpılma, kısaltılmış proses olanağı, güvenilir ve tekrarlanabilir prosesler ve isteğe bağlı beyaz tabakasız proses olanağı avantajlarındandır. Tek dezavantajı ise difüzyon hızı düşük olduğundan nitrüleme işlemi için geçen süre çok fazladır.

3.3. GAZ NİTRASYON İŞLEMİNİN GENEL UYGULAMA ALANLARI

Dişliler, krank milleri, kam takipçileri, ekstrüzyon vidası, kalıp döküm takımı, alüminyum ekstrüzyon kalıbı, plastik enjeksiyon kalıbı ve enjektörler için gaz nitrasyonu işlemi uygulanabilir.

Nitrasyon Cr, Mo, V ve Al v.b. nitrür yapıcı elementleri içeren çelik türlerine uygulandığında daha etkili olur. Nitrasyon işleminin düşük sıcaklıklarda uygulandığı yay çelikleri de bu işlemle sağlamlaştırılabilir [13]. İyi sonuçlar elde etmek için malzeme, gaz nitrasyonu işleminden önce sertleştirilmiş ve menevişleme yapılmalıdır [15].

Gaz nitrüleme işlemi ısıtma, nitrüleme ve ardından soğutma gibi üç kademedir oluşur ki bu kademeler Şekil 3.4 'da verilmektedir. Nitrüleme aşaması düşük sıcaklıklarda gerçekleştiği için bariz faz dönüşümü gerçekleşmemekte ve malzeme stabil durumdadır.

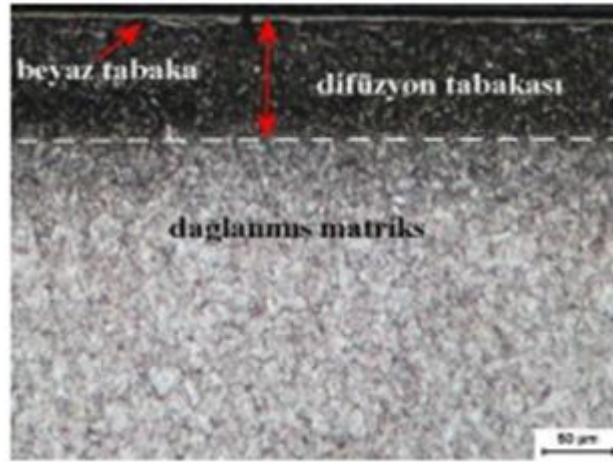


Şekil 3.4. Gaz nitrasyonu basamakları.

Gaz nitrüleme, yüzey işlemleri bitirilmiş veya bitirilmek üzere olan demir esaslı parçaların yüzey özelliklerini iyileştirmek için genelde 520°C kadar düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilen düşük çarpılabılır bir termokimyasal ısıl işlemidir. Katman iki kısımdan meydana gelir; hegzagonal veya kübik nitrürden oluşan bileşik tabakası (beyazımsı tabaka) ve altında çözülmüş atomal azot ve sert nitrür çökeltilerinin yer aldığı difüzyon tabakasıdır. Yüzeydeki bileşim tabakası, sürtünme, aşınma, pullanma ve sarma hasarlarının oluşumuna karşı korumada önemli bir görevi üstlenir. Diğer taraftan difüzyon tabakası yorulma dayanımını iyileştirir ve sert bileşik tabakaya destek olur [15].

Yüzeydeki nitrür içeren tabaka yani beyazımsı tabakaya, nital (%3- 5 HNO₃ + alchol) ile dağlanınca beyaz renkte görünmesi sonucu adlandırılır. Nitrüleme işlemleri ve süresi boyunca ancak 20 µm kalınlığa kadar kalınlaşmasına izin verilen bu kısım kırılabilir, sert ve aşınmaya karşı da dayanıklıdır [15].

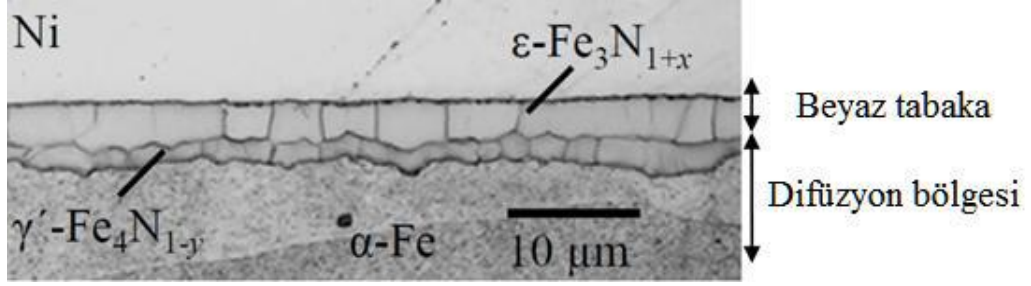
Beyazımsı tabakada, γ' (Fe_4N) ve ε (Fe_2N ve Fe_3N) fazları veya bunların karışımı gözlenmektedir. γ' (Fe_4N) fazı yüzey merkezli kübik (YMK) yapıya sahipken, ε ($\text{Fe}_2\text{-3N}$) hegzagonal yapıdadır. Beyazımsı tabakada γ' (Fe_4N) fazının meydana gelmesi, sünek ve yumuşak olması sebebiyle, aşınma dayanımının düşük fakat darbelere dayanıklı alanlarda tercih edilirken, ε ($\text{Fe}_2\text{-3N}$) fazının meydana gelmesi, aşınma dayanımının artması istenen parçalarda seçilir (Şekil 3.5). Beyazımsı tabakanın meydana gelmesinde fazların cinsi, kalınlığı ve sayısı, özelliklerin tayininde önemlidir [15].



Şekil 3.5. Gaz nitrasyonunda beyaz tabaka [15].

Bu tabakanın kalınlığı ve sağlamlığı seçilen çeliğin türüne bağlıdır. Nitrasyonun süresi sabit tutulduğu durumda çeliğin bileşimindeki alaşım element miktarı arttıkça, difüzyon kısmının tabaka derinliği azalır. Nitrasyondan sonra suda hızlı bir soğutma ile difüzyon bölgesindeki azot çözeltide kalır ve böylece difüzyon bölgesinin iç yapısı ana malzeme iç yapısı ile herhangi bir değişiklik (Şekil 3.6) sergilemez.

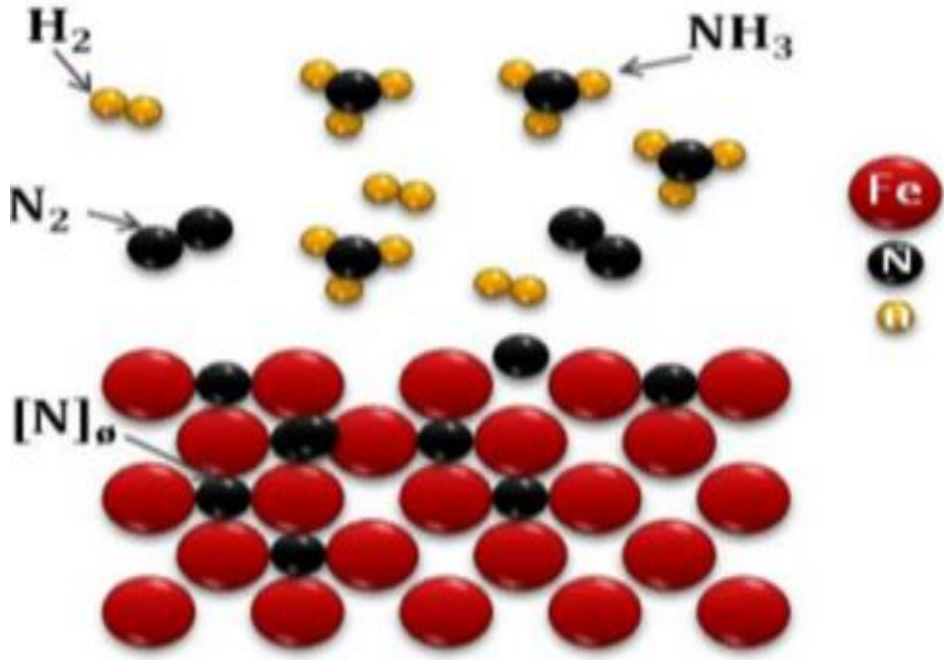
Bununla birlikte alaşımlı çeliklerin difüzyon bölgesinin iç yapısı kolay dağlanabilir özelliğinden dolayı ana malzemenin görüntüsünden kolaylıkla ayırt edilebilir. Nitrasyon sonrası uygulanan soğutmanın hızı, bu tür çeliklerin difüzyon tabakasının iç yapısına etki etmez [15].



Şekil 3.6. Gaz nitrasyonu işleminden sonra oluşan beyaz tabaka ve difüzyon bölgesi [15].

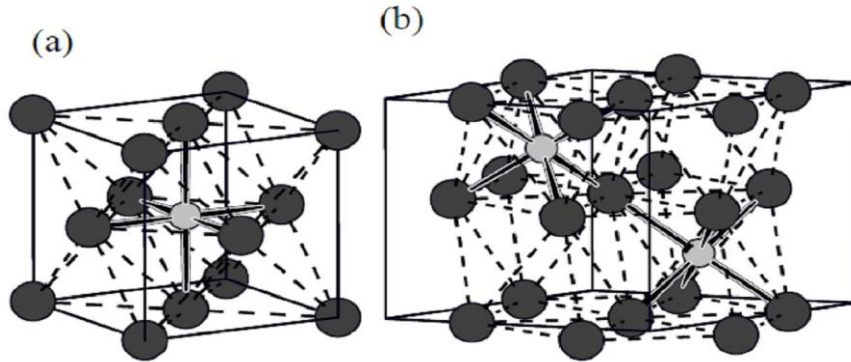
3.4. GAZ NİTRASYONUNUN TERMODİNAMIĞI VE KİNETİĞİ

Gaz nitrasyonu uygulamasında çelik malzeme, taşıyıcı gaz atmosferine tabi tutulur. Burada taşıyıcı gaz olan amonyak dağılır ve azotun çelik yüzeyine emilimi gerçekleşir. Genellikle 490 ile 580 °C sıcaklık aralıklarında uygulanan işlemdir. Bu proses dört kademedен oluşur. Burada ilk işlemi gaz fazındaki reaksiyonlar meydana getirir. Bu aşama genellikle H₂, N₂ ve NH₃ gazlarının tepkimelerini barındırmaktadır. İkinci aşamada çözülmüş H₂ ve N₂ ile saf NH₃ gaz atmosferi boyunca yayılımı gerçekleşir. Gaz nitrasyonunun üçüncü aşamasını çelik yüzeyindeki tepkimeler meydana getirir. Burada azot demirle Fe₄N ve Fe₃N bileşiklerini oluşturarak sert ve kırılgan bir faz oluşturur. Son olarak dördüncü aşamada ise çeliğin içerisine yayılım gerçekleşir. Gaz nitrasyon prosesindeki temel ayrışma çözünme aşağıda belirtilmiştir. Şekil 3.7, şematik olarak difüzyon mekanizmasını göstermektedir [15].



Şekil 3.7. Gaz nitrasyonu prosesindeki difüzyon mekanizması [15].

Nitrasyon boyunca kaplama tabakasında oluşan en önemli fazlar ise YMK yapıdaki γ' - Fe_4N ve HSP yapıdaki ϵ - Fe_3N bileşikleridir. Her iki fazda yer alan oktahedral boşluklar atomal azot tarafından kısmen işgal edilir. ϵ ve γ' fazlarının kristal yapısı şematik olarak Şekil 3.8'de verilmiştir. Koyu küreler demir atomlarını, açık küreler azot atomlarını göstermektedir. Burada Fe-Fe bağları kesikli çizgi, Fe-N bağları ise sürekli çizgilerle verilmiştir.



Şekil 3.8. (a) ϵ - Fe_3N ve (b) γ' - Fe_4N fazlarının kristal yapısı [15].

3.4.1. Nitrokarbürizasyon

Yüzey sertleştirme işlemi olarak nitrokarbürizasyon işlemi 550 ile 600 °C sıcaklık aralığında gerçekleştirilmektedir. Aslen nitrokarbürizasyon işlemi düşük alaşımlı çelikler türlerine uygulanır. Gerçekte düşük alaşımlı çeliklerin yapısında nitrür yapıcı alaşım elementinin bulunmaması sertleşmeyi zayıf hale sokmaktadır. Alaşımsız çelikte azot atomları çok derinlere serbestçe yayınabilmektedir ve bu da sertliği artırmamaktadır. Bu işlemde azotun merkeze yayılmadan yüzeyde birikmesi için azotla birlikte karbon atomundan da yararlanılmaktadır.

Sıcaklık yükseltildiğinde difüzyon hızının artmasından ötürü yüzeyde beyazımsı katman oluşumu azalmaktadır. Tuz nitrasyon diğer bir deyişle tenifer işlemi aslında bir nitrasyon işlemi değil nitrokarbürizasyon işlemidir [15].

3.4.2. Kontrollü Gaz Nitrokarbürizasyonun Faydaları

- Çarpılma yok
- Kırılganlık yok
- Proses yenilenebilirliği
- Belirli alaşımlarda aşınma ve korozyon dayanımı

Nitrokarbürizasyon prosesinde yüksek yüzey konsantrasyonu ve yüksek sıcaklık sebebiyle tane sınırında nitrürler oluşmakta ve bunlar hasarlara neden olabilmektedir. Nitrasyon prosesinde ise alçak sıcaklıkta yayılma hızı yavaş olduğundan ötürü beklenen derinliğe inebilmek için uygulanan süre artmaktadır. Nitrokarbür işleminde ise bu işlem kısa bir zaman da yapılmaktadır [15].

BÖLÜM 4

AŞINMA

Tasarım ve malzeme opsiyonları net bir şekilde gerçekleşmesine karşın günlük hayatımızın çeşitli kısımlarında kullandığımız ve farklı malzemelerden üretilen aletlerde ya da teknolojik alanlarda kullanılan makina parçalarında çalışma sırasında gerçekleşen farklı bozulma çeşitlerinden türü muhtemel performansın olabildiğince az çalışma verimi ile karşılaşılabilmektedir.

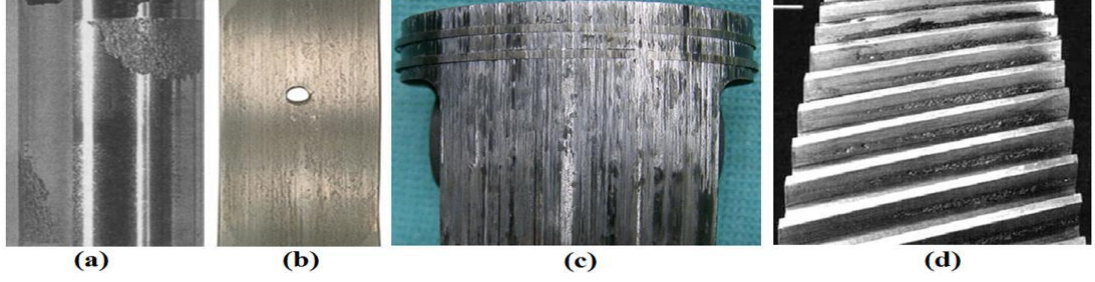
Bozulma nedenleri araştırıldığında oluşan hasarların seçilmesi gereken malzeme dışında seçilen malzemelerden dolayı üretim hataları, beklenmeyen çalışma ortamları ve kalite kontrol hatalarından dolayı olduğu öğrenilmektedir. Makina elemanlarının çalışma verimini azaltan, üretim maliyetlerini yükselten hata çeşitleri arasında aşınma da vardır. Günümüzde gelişen teknolojiyle birlikte makina elemanlarındaki çalışma toleranslarının azalması, havacılık, savunma sektöründe düşük hata ile çalışma şartları nihayetinde aşınmadan kaynaklı hasar tespitleri çok önemli bir hale bürünmüştür [16].

4.1. AŞINMA ÇEŞİTLERİ VE PARAMETRELERİ

Bir aşınma sisteminde 5 temel unsuru vardır. Bu işlemlerin meydana getirdiği sistem teknikte “tribolojik sistem” olarak bilinir. Bunlar:

- Aşınan malzeme
- Aşındırılan karşı malzeme
- Ara malzeme
- Ağırlık
- İleri-Geri

Tribolojik sürtünme işlemleri, yağlama ve aşınma olaylarını içermektedir. Tribolojik sistem ise karşılıklı etkileşen elemanlarda termal şartlar, hız ve yükün bileşimiyle gerçekleşen aşınma olayını incelemektedir [17]. Şekil 4.1'te farklı yüzeylerdeki aşınma izleri gösterilmektedir.



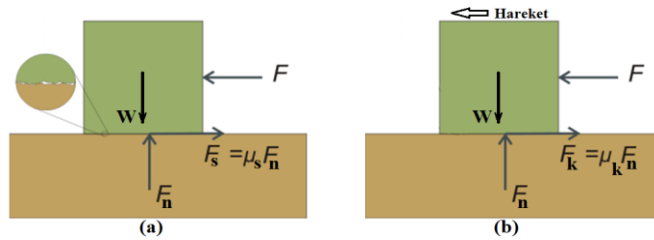
Şekil 4.1. Aşınma yivleri; (a) mil, (b) yatak, (c) piston, (d) dişli çark [17].

Aşınma türlerinin genel bir sınıflandırılması abrazif aşınma, adhezif aşınma, yorulma aşınması, erozyon aşınması ve korozyon aşınması olabilir, bunların yalnız başına görülmesi nadirdir.

Abrazif aşınma sürtünen iki yüzeyden birinin oldukça sert ve pürüzlü olduğu koşulda oluşan bir olaydır [17].

4.1.1. Sürtünme ve Aşınma

Sürtünen iki malzeme birbirleri ile temasta olacak şekilde yerleştirilip malzemelerden biri diğer malzeme üzerinde kaydırılması suretiyle malzemeye etki eden kuvvete zıt yönde bir sürtünme kuvveti oluşmakta olup Şekil 4.2 'te görülmektedir [17].



Şekil 4.2. (a) Statik ve (b) Dinamik sürtünme sırasında cisme etkiyen kuvvetler [17].

Otomobildeki fren sistemleri gibi sürtünmenin çok olduğu zamanlarda aşınma kaçınılmaz bir hasar çeşitidir. Bununla birlikte talaşlı üretim uygulamalarında optimum sürtünme ile en yüksek aşınma yani talaş kaldırma elde edilerek parça işlenmesi beklenmektedir [17].

4.2. AŞINMA DENEYİ VE ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ

ASLE (American Society of Lubrication Engineers) aşınmanın belirlenmesinde yüz kadar deney sistemi belirtmiştirtir. Bu metotlarda izlenecek yollar şöyle verilmektedir:

- Aşınma deneyine başlamadan önce deney numunesinin ilk ağırlığı hassas elektronik terazi ile llr
- Aşınma deneyi öncesi numuneden yüzey pürüzlülük ölümü yapılır.
- Deney numunesi Friction coefficient test rig düzeneğine yerleştirtirilir.
- Deney sırasında devir sayısı, uygulanacak yk, sıcaklık ve zaman değerleri belirlenir.
- Deney düzeneği alıştırtılarak test işlemleri gerekleştirtirilir.
- Aşınma deneyi sonunda numunede oluşan ağırlık kaybı llrk özgül aşınma miktarı belirlenebilir.
- Deney numunesinin yüzey pürüzlülük değeri tekrar llrk pürüzlülük değerindeki değişim tespit edilir.

4.2.1. Ağırlık Kaybı Yöntemi

Burada aşınma kaybı ölüm metotları arasında ekonomik yöntem olan ağırlık farkı ölüm yöntemi, hassas sonuçların elde edilmesinde oldukça yaygın kullanılan yöntemdir. Genellikle ağırlık kaybı 10^{-3} veya 10^{-4} hassasiyete sahip elektronik teraziler kullanılarak llmektedir. Bu metotta aşınma sonrası meydana gelen ağırlık kaybı; gram veya miligram olarak ifade edilecek olup sürtünme mesafesine karşılık olarak aşınma hızı gr/km veya mg/km cinsinden ifade edilmektedir.

Aşınma miktarı hacimsel olarak hesaplanmak istendiğinde malzemenin yoğunluğu ve numune üzerine uygulanan yük dikkate alınarak, birim yol ve birim yükleme ağırlığına karşılık gelen hacim kaybı kullanılarak ağırlık kaybı belirlenebilir. [18].

4.2.2. Kalınlık Ölçüm Yöntemi

Bu metotta aşınma miktarı, oluşan kalınlık değişiminin ölçülmesi suretiyle tespit edilmektedir. Meydana gelen kalınlık değişim değerlerinden yararlanarak hacimsel kayıp ve dolaylı olarak birim hacimdeki aşınma miktarı ölçülebilir [18].

4.2.3. İz Ölçüm Metodu

Bu metotta, aşındırılan yüzeyde plastik şekil verme ile belirli bir geometride iz oluşturulur ki bunun için Vickers veya Brinell sertlik ölçme uçları kullanılır [18].

BÖLÜM 5

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1. İNCELENEN MALZEME VE GAZ NİTRASYONU

Çizelge 5.1’de çalışmalarda kullanılan krank milinin kimyasal kompozisyonu belirtilmiştir.

Çizelge 5.1. İncelenen numunenin kimyasal kompozisyonu.

C	Si	Mo	Cr	Mn	P	S
0,41	0,33	0,19	0,99	0,62	0,021	0,019

Çeliklerin nitrasyon işlemleri Manksan Amortisör Sanayi ve Ticaret A.Ş. tesislerinde gerçekleştirilmiştir. Uygulanan işlemde beyaz tabaka oluşumu engellenerek nitrasyon yapılmıştır. Şekil 5.1 ’da görülen fırında amonyak ortamında 520 °C’ de 15 saat süresince nitrasyon işlemine tabi tutulmuştur.

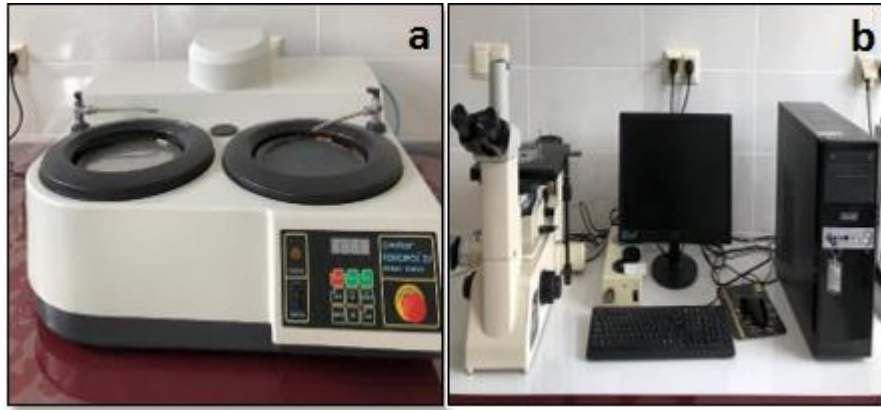
Uygulanan gaz nitrasyon işleminde fırının içine NH₃ gazı verilerek gazın oranı ise fırın hacmi ve gönderilen gaz akışına bağlı olarak hesaplanır. Fırın ortalama 4 saat boyunca ısıtılarak 520°C’ye ulaştırılır. Ayrıca fırında bulunan amonyak parçalayıcı ile amonyak parçalanır. Sıcaklık 520°C’ye ulaştığında nitrasyon işlemi başlar. Bu sırada fırına verilen amonyak ayrışmaya devam eder. Nitrasyon işlemi sonrasında sistemde bulunan soğutma fanı otomatik olarak çalışmaya başlar ve sıcaklık yaklaşık olarak 4 saatte 100°C’ye kadar düşer. Tüm nitrasyon işlemi ortalama 23 saat alır; ancak gerçekte nitrasyon süresi, sistemin ısıtma ve soğutma süresinin dışında kalan 15 saattir.



Şekil 5.1. Gaz nitrasyon fırını ve çalışma prensibi.

5.2. MİKROYAPI ÇALIŞMALARI

Metalografik işlemler için, krank milinden 25x15x10 mm boyutlarında numune kesilmiştir. Hazırlanan numuneler 400-2500 mesh aralığında zımparalanarak parlatmaya hazırlanmıştır ve 3 mikron Al_2O_3 ile parlatılmıştır. %3 nital ile dağlanarak mikro yapı görüntüleri çekilmiştir. Mikro yapı resimleri Nikon Eclipse 200 model optik ışık mikroskobu ile uzunlamasına ve kesitten alınmıştır (Şekil 5.2).



Şekil 5.2. Zımpara cihazı (a) ve optik mikroskop (b).

5.3. SERTLİK ÖLÇÜMÜ

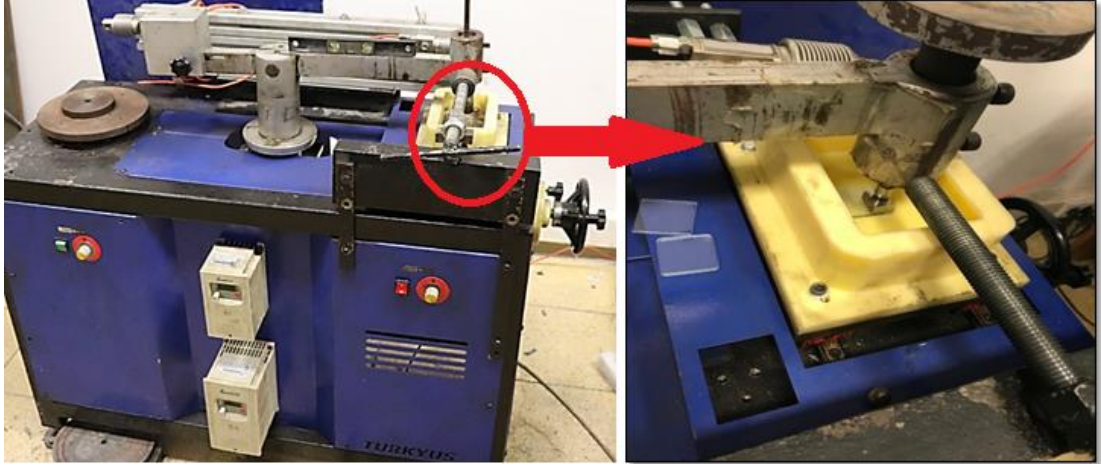
Nitrasyonlu krank mili numunelerinin yüzeyinden 0,20-5 kg aralığında 5 farklı yükte Vickers sertlik cihazında sertlik ölçümü yapılmıştır. Test sırasında kullanılan cihaz resmi Şekil 5.3 'de verilmiştir. Test sırasında tepe açısı 136° olan elmas kare piramit uç kullanılarak HV 0.5 olarak sertlik ölçülmüştür.



Şekil 5.3. Vickers Sertlik Test Cihazı.

5.4. AŞINMA DENEYLERİ

İncelenen numunelerin aşınma deneyleri sırasında karşı malzeme olarak 100Cr6 bilye ve 25x15x10 mm boyutlarında deney numunesi kullanılmıştır. Numunelerin aşınma testleri; 20N, 40N, 60N yük altında ortalama 3 m yol alacak Şekil 5.4'de yapılmıştır. Numunenin kuru ortam aşınma deneyleri Şekil 5.4 'daki ileri geri aşınma cihazında yapılmıştır. Deney öncesi ve sonrası numunelerin 0,1 mg hassasiyetine sahip elektronik terazide tartılmış ve deney sonuçları ağırlık kaybına göre değerlendirilmiştir. Aşınma deneyleri sonrasında aşınma mekanizmalarının belirlenmesi için numune yüzeyleri taramalı elektron mikroskopuyla (SEM) incelenmiş ve profilometre ile de yüzey pürüzlülüğü ölçülmüştür.



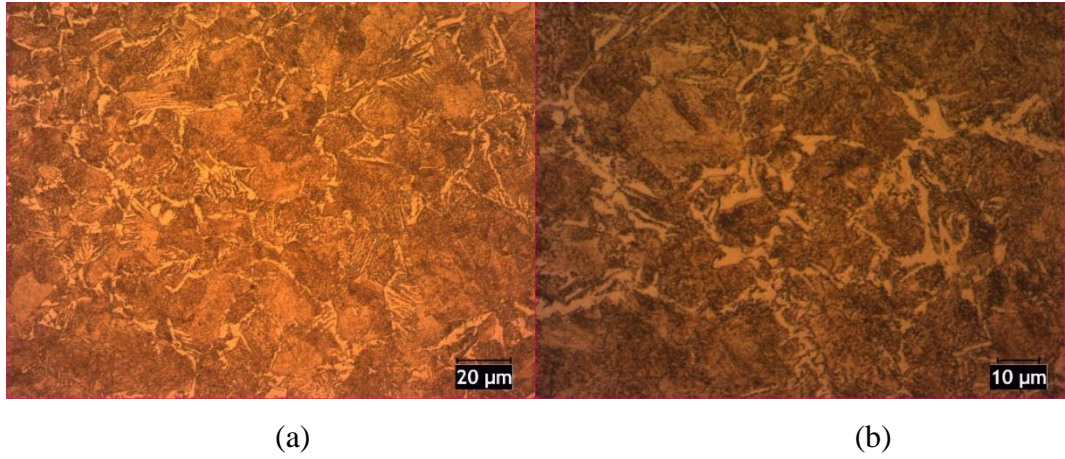
Şekil 5.4. İleri geri aşınma test cihazı.

BÖLÜM 6

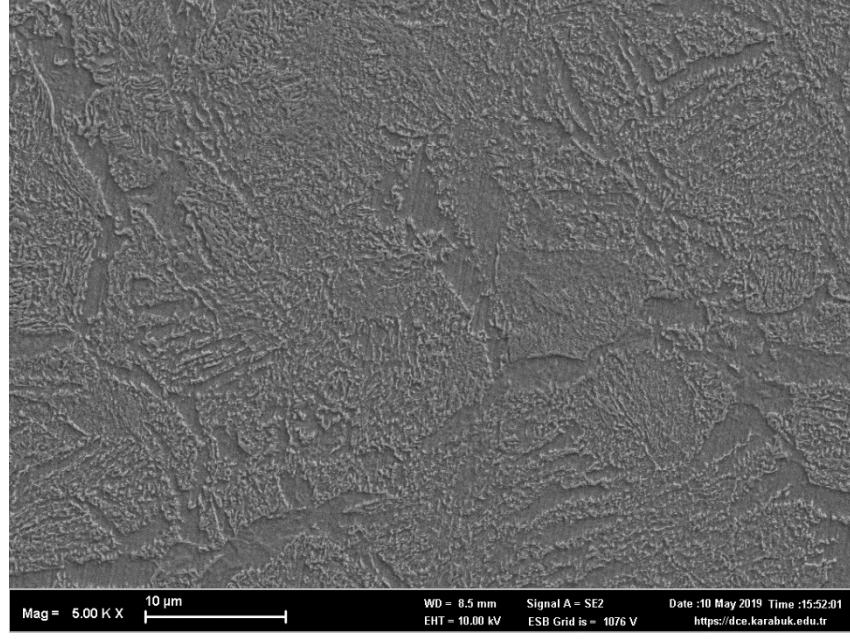
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

6.1. MİKROYAPI ÇALIŞMALARI

İncelenen krank millerinin nitrasyon öncesi alınan optik mikroyapı görüntüleri Şekil 6.1’de ve SEM görüntüsü ise Şekil 6.2’de ise verilmiştir. 0,4 C içeren krank milinin yapısı yaklaşık %5 oranında ferrit ve geri kalanında perlit fazındadır. Şekil 6.1’de eş eksenli ince perlit tanelerini ve tane sınırlarında ötektoid öncesi ferrit fazının oluşumu gösterilmektedir.

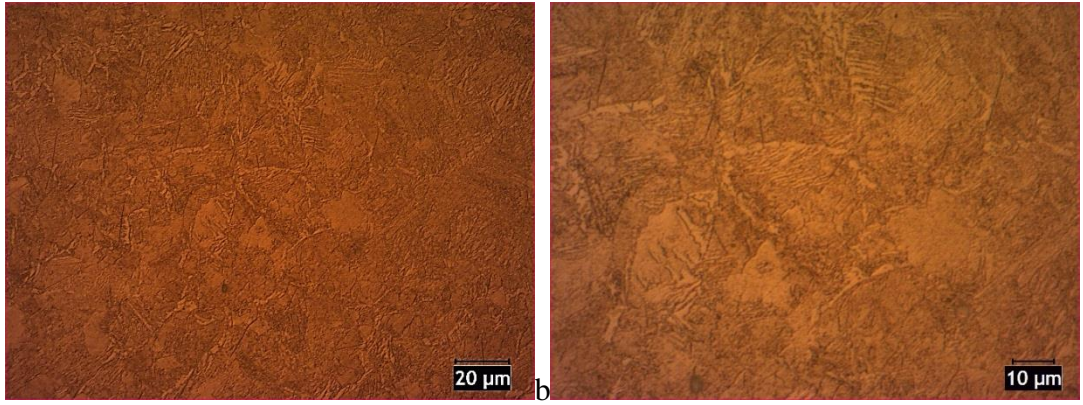


Şekil 6.1. Nitrasyonsuz (a;500x) ve (b;1000x) numunelerin mikroyapı görüntüleri.



Şekil 6.2. Nitrasjonsuz (5000x) numunenin SEM görüntüleri.

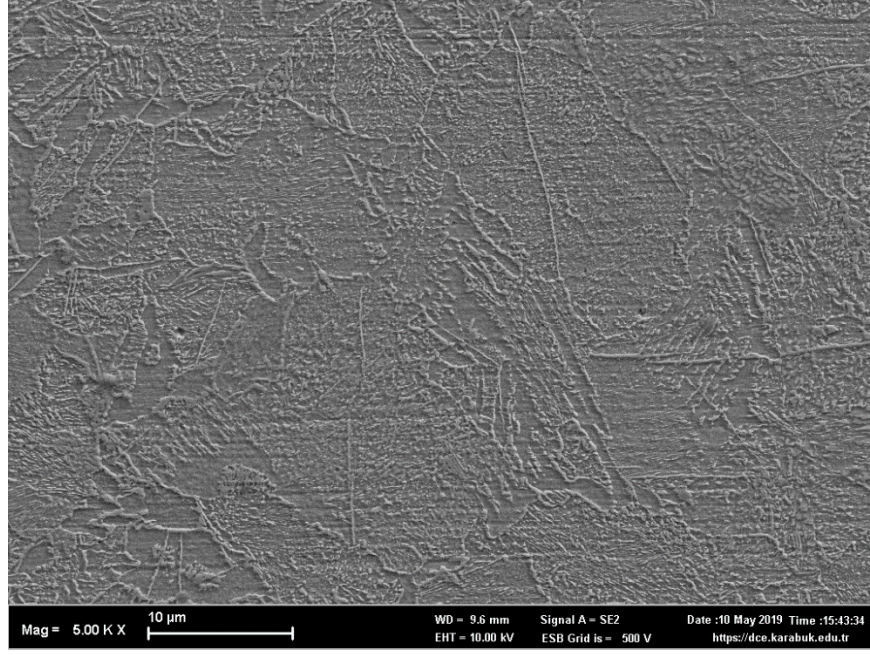
% 0.4 C içeren krank milinin nitrasyon işlemi sonrası alınan optik mikroyapı görüntüleri (Şekil 6.3) incelendiğinde eş eksenli tane yapısını koruduğu, Şekil 6.4’de verilen SEM görüntüsü ile de desteklenmiştir. Bunun sebebi olarak yapılan nitrasyon işlemi faz dönüşümüne izin vermeyecek şekilde 520°C’de yapılıp, 4 saatte 100°C’ye yavaş bir şekilde soğutulmasından kaynaklanmaktadır.



(a)

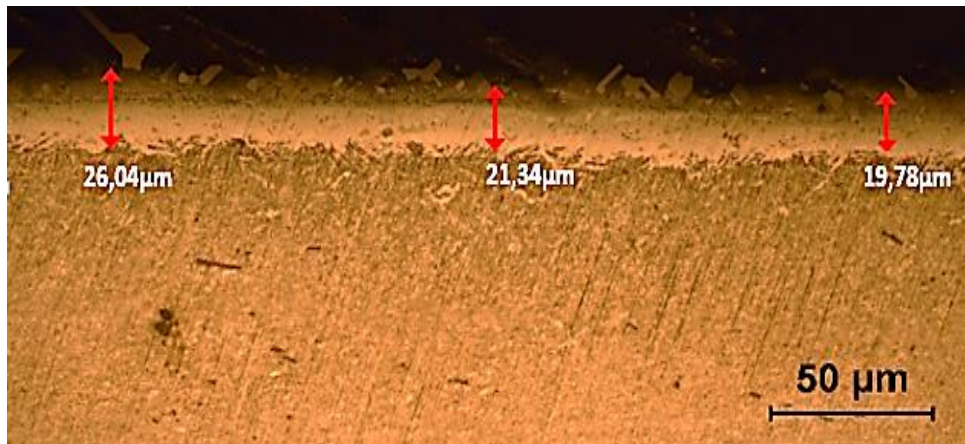
(b)

Şekil 6.3. Nitrasyonlu (a;500x) ve (b;1000x) numunelerin mikroyapı görüntüleri.

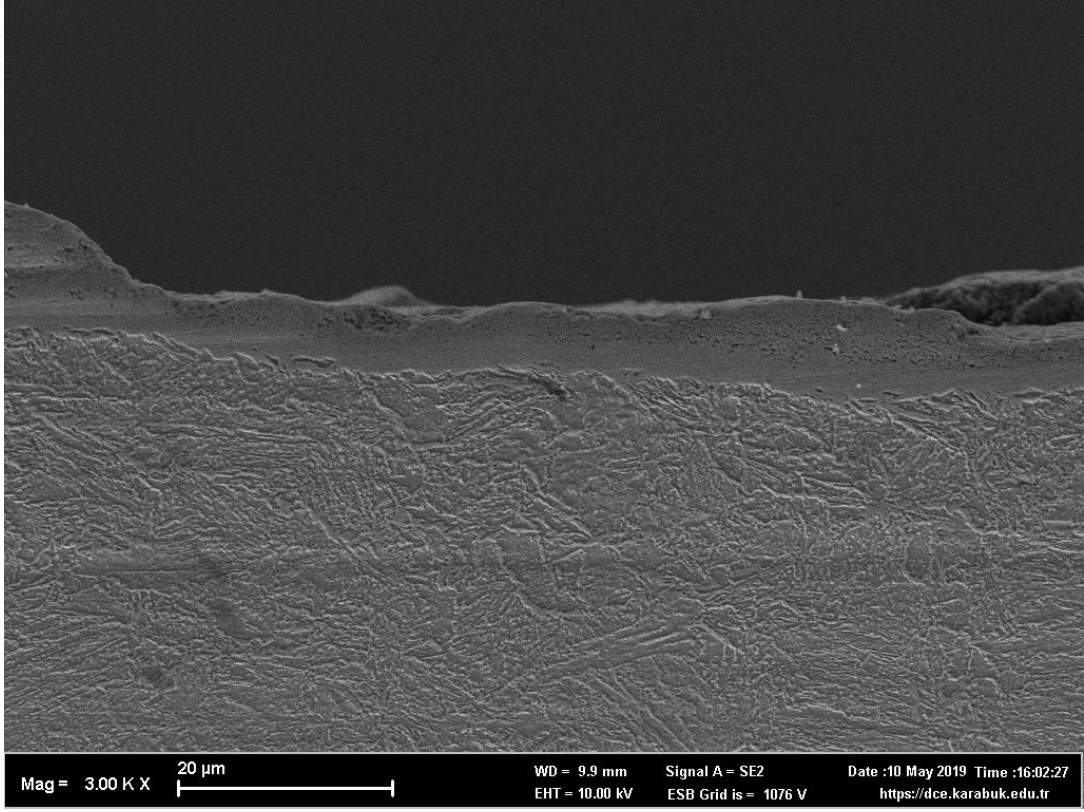


Şekil 6.4. Nitrasyonlu (5000x) numunenin SEM görüntüleri.

Şekil 6.5, kesitten nitrasyon tabakasının optik mikroyapısını vermektedir. Nitrasyon beyaz tabakası beyaz olup difüzyon tabakasını içermemektedir. Literatürde bahsedildiği üzere [8] difüzyon tabakası açısından krank mili numunesinin kompozisyonunda Cr, Mo gibi güçlü nitrür yapıcılardan az miktarda, V elementinin çeliğin kimyasal analizinde hiç bulunmaması difüzyon tabakasının oluşmamasında büyük rol oynamaktadır. Şekil 6.5 'de görülen beyaz tabakanın kalınlığı ortalama 23 µm ölçülmüştür. Şekil 6.6'da gösterilen SEM görüntüleri de bu kanıyı desteklemektedir.



Şekil 6.5. Nitrasyon tabakasının optik görüntüsü.



Şekil 6.6. Nitasyon tabakasının SEM görüntüsü.

6.2. SERTLİK ÖLÇÜMÜ

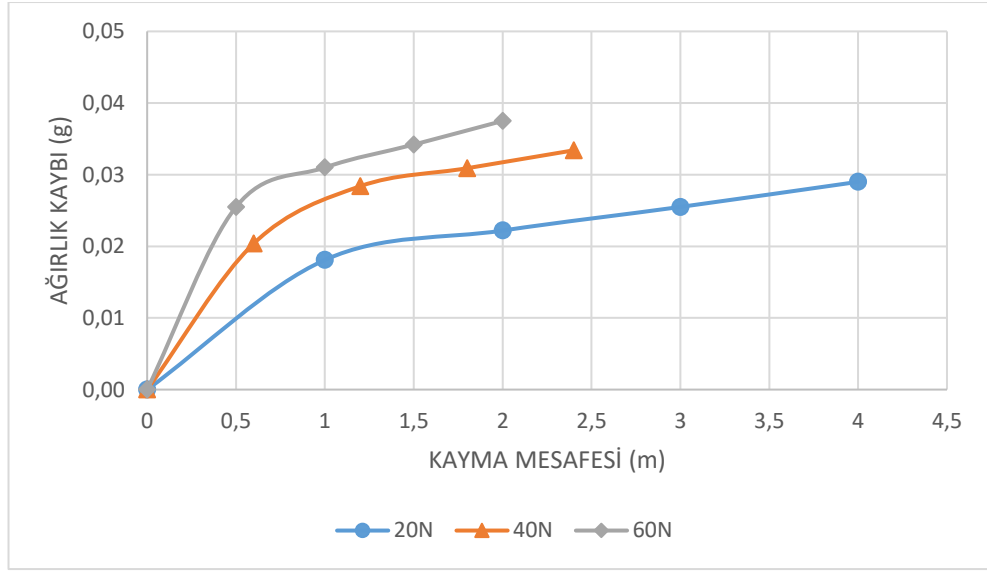
Nitasyonsuz numunenin ortalama sertlik değeri 384 HV_{0,5}'dir. Çizelge.6.1 'de nitasyonlu numunelerin yüzeyinden farklı yüklerdeki sertlik değerleri ve batma iz derinliği verilmiştir. Batma iz derinliği $t_{g68}=(d/2)/x$ formülünden bulunmuştur. Nitasyonlu numunenin yüzeyinden 5kg yük altında alınan vickers sertlik izi nitasyon tabakasını aşip ana malzemeye ulaşıldığını göstermektedir.

Çizelge 6.1. Nitasyon tabakası üzerinden alınan sertlik sonuçları.

Uygulanan Yük (kg)	Sertlik (HV _x)	Batma İz Derinliği (µm)
0,20	741	4,52
0,50	549	8,30
1,00	471	12,69
5,00	416	30,09

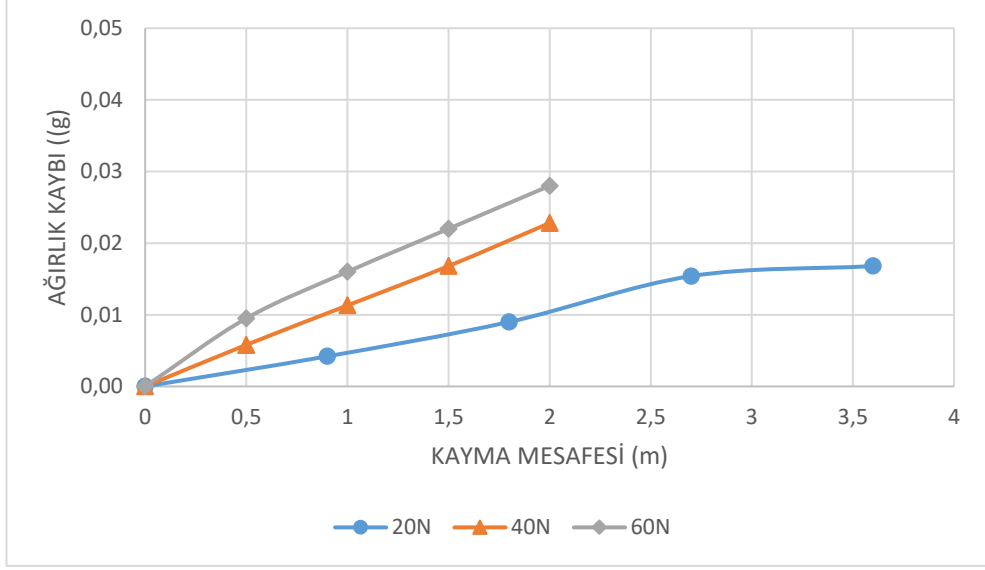
6.3. AŞINMA DENEYİ SONUÇLARI

Tez çalışması kapsamında aşınma cihazına bağlanan nitrasyon uygulanmış ve nitrasyon uygulanmamış krank mili numuneleri üzerine 20N, 40N ve 60N yük bindirilerek gerçekleştirilen ileri-geri aşınma testi sonucunda deney öncesi ve sonrası 0,0001 gr (0,1 mg) hassasiyetine sahip elektronik terazide numune ağırlıkları tartılmış ve kayma mesafesine ile değişimi belirlenmiştir. Şekil 6.7'de Nitrasyonsuz malzemenin ağırlık kaybı grafiği verilirken, Şekil 6.8'de nitrasyonlu numunenin ağırlık kaybı grafiği verilmiştir.



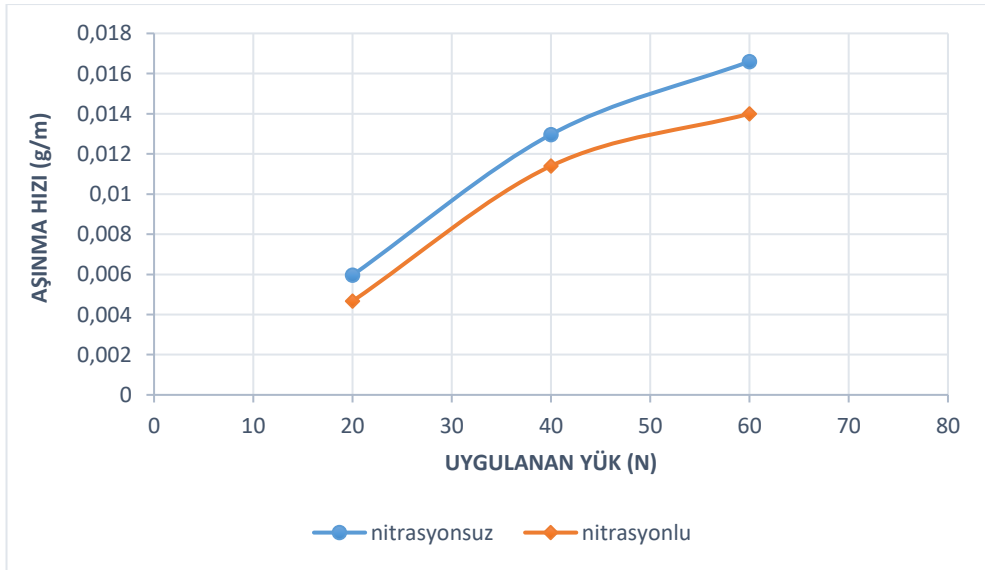
Şekil 6.7. Gaz Nitrasyonsuz Numunelerin Ağırlık Kaybı Grafiği.

Şekil 6.7'de görüldüğü üzere 1 metreye kadar önce artan, daha sonra uygulanan yüke ve gidilen mesafeye göre lineer bir ağırlık kaybı meydana gelmiştir. Şekil 6.8'de uygulanan yüke ve gidilen mesafeye göre lineer bir doğrultuda kararlı ağırlık kaybı meydana gelirken nitrasyonlu numune nitrasyonsuz numuneye kıyasla daha az ağırlık kaybı sergilediği gözlemlenmiştir.



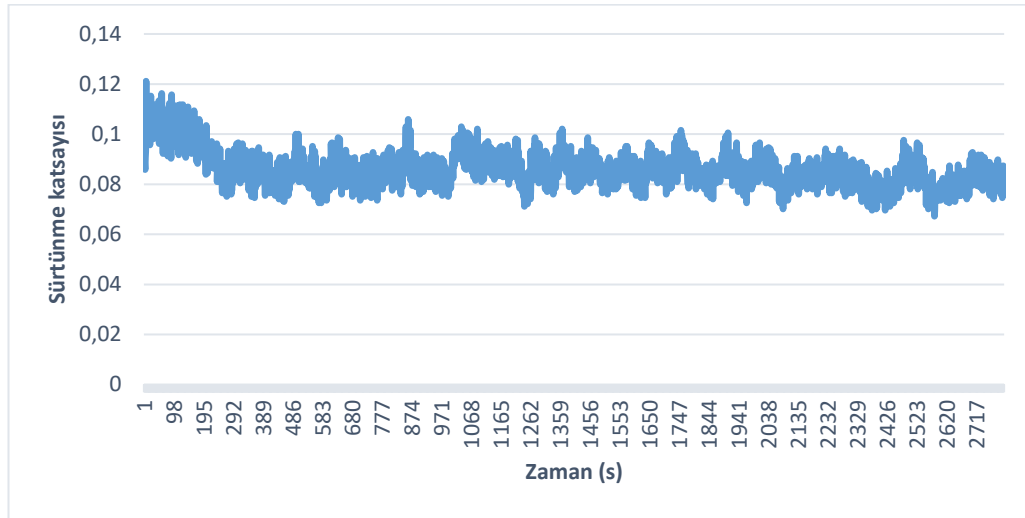
Şekil 6.8. Gaz nitrasyonlu Numunelerin Ağırlık Kaybı Grafiği

Nitrasyon ısıl işleminden sonra numunenin aşınma direnci yaklaşık olarak %15 oranında artmıştır. Uygulanan yük açısından en düşük 20N ve en yüksek 60N yüklerin analizleri yapılmıştır. İncelenen krank milinin aşınma davranışı; uygulanan nitrasyon ısıl işlemine, uygulanan yüke, krank milinin sertliğine bağlıdır. Sonuç olarak gaz nitrasyonlu krank milinin sertliği artmakta ve dolayısıyla aşınma miktarı da düşmektedir.



Şekil 6.9. Ağırlık Kaybına Göre Uygulanan Yük İle Aşınma Hızı Değişimi.

Krank mili numunelerinin aşınma deneyi sırasında gidilen yol arttıkça, ağırlık kaybı artmaktadır. Elde edilen bu ağırlık kayıplarını kayma mesafesi ile oranlayarak g/m biriminde aşınma hızları bulunmuştur. Şekil 6.9’da uygulanan yük ile aşınma hızı değişim grafiği verilmiştir. Şekil 6.9’dan gözlemlendiği gibi nitrasyon işlemi ile krank mili malzemesinin aşınma direncinin arttığı bulunmuştur. Nitrasyon işlemi ile aşınma direncinde iyileşme uygulanan yükün artması ile daha belirgin olmaktadır. Nitrasyon işlemi ile aşınma hızında düşme 60 N yük altında yaklaşık % 15 oranındadır.



Şekil 6.10. 20N yük altında nitrasyonlu numunenin sürtünme katsayısının zamanla değişimi.

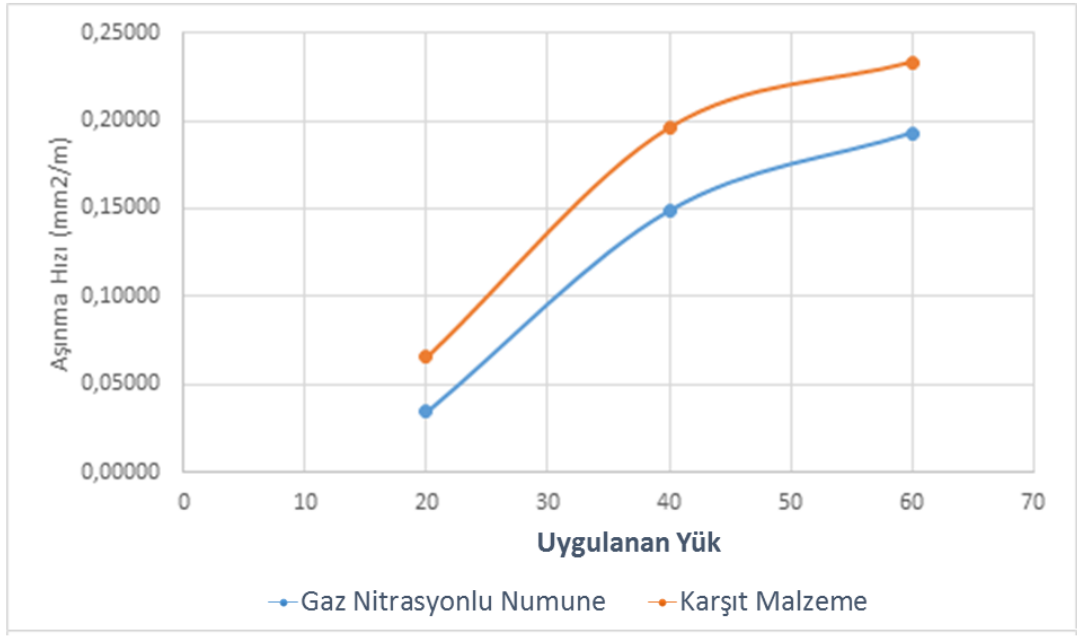
Şekil 6.10’da 20N yük altında nitrasyonlu numunenin kayma zamanı ile sürtünme katsayısı değişim grafiği verilmiş olup kararlı durumdaki sabit sürtünme katsayısı değerleri grafik üzerinden okunmuştur. Zaman-sürtünme katsayısı grafiklerinden elde edilen kararlı durum sürtünme katsayıları Çizelge 6.2.’de nitrasyonsuz ve nitrasyonlu numuneler için uygulanan yüke ve kayma mesafesi aralıklarına bağlı olarak verilmiştir. Çizelge 6.2. ’den gözlemlendiği gibi nitrasyonsuz numunelerin aşınmaları sırasında belirlenen sürtünme katsayıları nitrasyonlu numunelerin sürtünme katsayılarından daha düşüktür. İncelenen tüm numunelerde sürtünme katsayısı değerleri kayma mesafesi aralıkları ve uygulanan yük ile artmıştır.

Çizelge 6.2. Sürtünme Katsayısı Tablosu

Nitrasyonsuz Numune	Metre	Sürtünme Katsayısı	Nitrasyonlu Numune	Metre	Sürtünme Katsayısı
20N	1 m	0,065091	20N	0,9 m	0,086071
	2 m	0,070281		1,8 m	0,065508
	3 m	0,08883		2,7 m	0,049672
	4 m	0,078847		3,6 m	0,054267
40N	0,6m	0,142581	40N	0,5 m	0,265689
	1,2 m	0,125723		1 m	0,255994
	1,8 m	0,134668		1,5 m	0,283664
	2,4 m	0,141567		2 m	0,265113
60N	0,5 m	0,373228	60N	0,5 m	0,395483
	1 m	0,372056		1 m	0,402409
	1,5 m	0,378495		1,5 m	0,405466
	2 m	0,314721		2 m	0,455802

Nitrasyonsuz numunelerin nitrasyonlu numunelere göre daha az sürtünme katsayısına sahip olmaları, nitrasyon işlemi ile elde edilen sert yüzey tabakasına ve ve yüzey pürüzlülüğüne dayandırılabilir.

Bu tez kapsamında karşı malzeme olarak 10 mm çapında 100Cr6 kalite çelikten imal edilmiş bilye kullanıldığından aşınma izleri yarım silindir görünümündedir. Bu aşınma izleri profilometre ile ölçülerek aşınma sırasında bırakılan izlerin alanı mm² olarak ölçülmüştür. Aşınma iz yüzey alanlarının kayma mesafesine oranları mm²/m biriminde aşınma hızlarını vermektedir. Şekil 6.11., aşınma iz alanını dikate alarak belirlenen aşınma hızının uygulanan yüke bağlı olarak değişimini göstermektedir. Ağırlık kaybı göz önünde bulundurularak belirlenen aşınma hızı (Şekil 6.9) verileri ile aşınma iz yüzey alanına göre belirlenen aşınma hızı değişim verileri birbirlerine uyumlu olarak gelişmiştir.

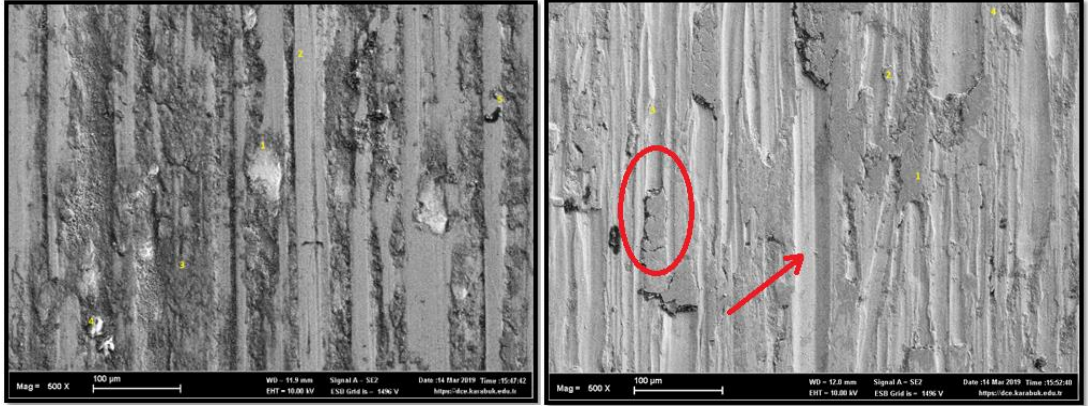


Şekil 6.11. Aşınma İz Yüzey Alanına Göre Aşınma Hızının Uygulanan Yük İle Değişimi.

6.4. AŞINMA YÜZEYLERİNİN SEM ANALİZİ

Aşınma deneyi sonrasında 20 N ve 60 N yük altında aşınmaya maruz kalan nitrasionsuz ve nitrasyonlu numunelerin aşınmış yüzey SEM görüntüleri sırasıyla Şekil 6.12 ve Şekil 6.13’de verilmiştir. 20 N yük altında aşınmaya maruz kalan numuneler nispeten dar ve derinlikleri ise azdır. 60 N yük altında aşınmaya maruz kalmış numuneler ise daha geniş ve derin izler oluştuğu görülmüştür.

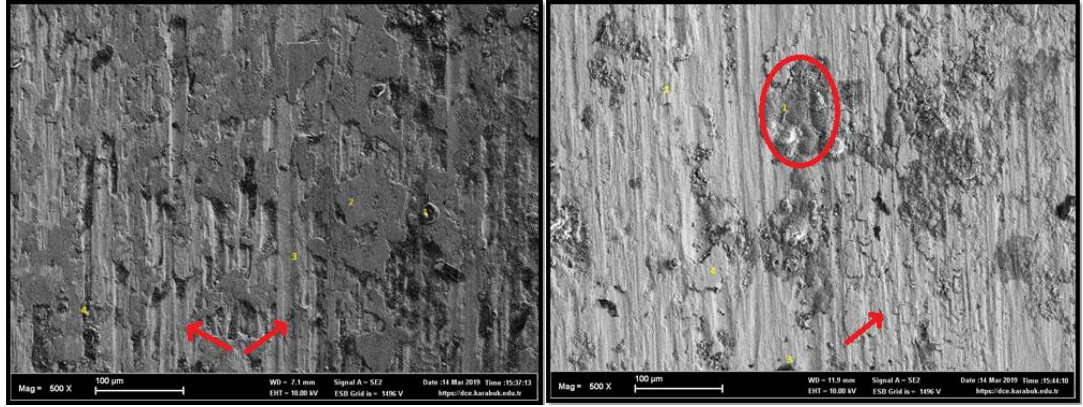
SEM görüntüleri üzerinde seçilen noktalardan % ağırlıkça EDX sonuçları düşük yükteki nitrasionsuz malzeme için Çizelge 6.3’de ve gaz nitrasyonlu numune için Çizelge 6.5’de verilmiştir. Yüksek yüklerdeki nitrasionsuz malzeme için seçilen noktalardan % ağırlıkça EDX sonuçları Çizelge 6.4’de ve gaz nitrasyonlu numune için seçilen noktalardan % ağırlıkça EDX sonuçları Çizelge 6.6’da verilmiştir.



(a)

(b)

Şekil 6.12. Nitrasyonuz Numunelerin (a) 20N ve (b) 60N Yük altında Aşınmış Yüzey SEM Görüntüsü.



(a)

(b)

Şekil 6.13. Nitrasyonlu Numunelerin (a) 20N ve (b) 60N Yük Altında Aşınmış Yüzey SEM Görüntüsü.

Çizelge 6.3. 20N Yükte Aşındırılan Nitrasyonuz numune için seçilen noktaların % ağı. EDX sonuçları.

Seçilen Noktalar	C	N	O	Na	S	Cl	Cr	Mn	Fe
1	13.68	2.27	42.36	0.73	0.08	0.12	0.12	0.56	40.08
2	3.70	0.65	0.27	0.10	0.02	0.17	0.26	1.03	93.80
3	14.43	1.36	37.86	0.75	0.20	0.47	0.17	0.00	44.75
4	59.65	12.28	22.10	1.91	0.88	0.90	0.00	0.56	1.72

Çizelge 6.4. 60N Yükte Aşındırılan Nitrasionsuz numune için seçilen noktaların % ağırlıkça EDX sonuçları.

Seçilen Noktalar	C	N	O	Na	S	Cl	Cr	Mn	Fe
1	2.69	1.16	31.68	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00	64.40
2	48.40	5.03	29.68	6.35	0.64	5.71	0.06	0.10	4.02
3	3.70	1.38	2.80	0.45	0.01	0.09	0.00	0.11	91.47
4	71.48	5.02	19.07	0.74	0.96	1.17	0.00	0.31	1.25

Çizelge 6.5. 20N Nitrasyonlu numune için seçilen noktaların % ağırlıkça EDX sonuçları.

Seçilen Noktalar	C	N	O	Na	S	Cl	Cr	Mn	Fe
1	48.81	10.01	14.66	2.74	0.71	18.63	0.00	0.41	4.03
2	4.02	1.08	30.94	0.02	0.00	0.02	0.34	0.27	63.32
3	5.20	0.96	7.42	0.00	0.05	0.00	0.11	0.66	85.60
4	18.88	0.00	18.36	0.26	0.00	0.78	0.36	0.25	61.10

Çizelge 6.6. 60N Nitrasyonlu numune için seçilen noktaların % ağırlıkça EDX sonuçları.

Seçilen Noktalar	C	N	O	Na	S	Cl	Cr	Mn	Fe
1	8.80	2.70	44.47	0.27	0.00	0.53	0.23	0.00	43.01
2	17.73	2.55	3.22	0.23	0.04	0.38	0.03	1.65	74.17
3	58.55	13.50	21.33	0.61	0.77	1.84	0.44	0.00	2.97
4	2.95	0.76	11.19	0.00	0.00	0.08	0.17	0.63	84.21

Nitrasyonlu numunelerde düşük ve yüksek yüklerde hafif aşınma mekanizması olan adhesiv aşınma izi ve Şekil 6.13'de ok ile gösterilen yerde ince yiv oluşuma sahipken, nitrasionsuz numunelerde yüksek yüklerde Şekil 6.12b'de yuvarlak içine alınan bölgede yüzeyden parça kopması ve ok ile gösterilen yerde iri yiv oluşumu şiddetli aşınma davranışını açıklamaktadır. 60N yük altında nitrasionsuz numunede Şekil

6.12b’de aşınma sonrası derin ve geniş yivler oluşurken Şekil 6.13’de ok ile işaretlenen nitrasyonlu numunede daha ince yiv oluşumu gözlemlenmiştir. Bunun yanı sıra Şekil 6.12b’de yuvarlak içine alınmış bölgede aşınma yüzeyinde aşınma ürünlerinin yapışması meydana gelmiş olup Şekil 6.13b’de yuvarlak içine alınan bölgede aşınma deneyi sonrası yüzeyde oksit filminin oluştuğu (Çizelge 6.5 ve Çizelge 6.6.) tespit edilmiştir. Oksit filminin oluşumu aşınma direncini arttırmıştır. Yüksek yüklerde ise şiddetli aşınma mekanizması olan yüzey çatlaklarının oluşumu ve ilerlemesi sonucu gerçekleşen parça kopmalarının belirtisi, boşluklar ve iri oyukların meydana gelmesi şeklindedir.

BÖLÜM 7

GENEL SONUÇLAR

Bu çalışmada, krank millerinde gaz nitrasyonu işleminin aşınma davranışına etkisinin araştırılmış olup elde edilen sonuçlar şunlardır;

- Gaz nitrasyon işlemi sonrasında krank mili numunelerinin merkezlerinde temperlenmiş martenzit ve eş taneli yapılar oluştuğu gözlemlenmiştir. Tüm bu oluşumlar için alaşım kimyası, ısıtma ve soğutma koşulları önemlidir.
- Alaşım kompozisyonu beyaz katman derinliğinin oluşumu yönünden önemli olmakla birlikte numunemizde ortalama 23 µm beyaz tabaka oluşumu görülmüştür.
- Yüzeiden yapılan mikrosertlik ölçümleri sonucunda yük arttıkça mikrosertlik değerlerinde belirgin düşüşler, buna ters orantı olarak da batma iz derinliğinde artma gözlenmiştir.
- Nitrasionsuz numunede aşınma sonrası derin ve geniş yivler oluşurken nitrasyonlu numunede daha ince yiv oluşumu gözlemlenmiştir. Bunun yanı sıra nitrasionsuz numune aşınma yüzeyinde aşınma ürünlerinin yapışması meydana gelmiştir. Nitrasyonlu numunede aşınma deneyi sonrası yüzeyde oksit filminin oluştuğu tespit edilmiştir. Oksit filminin oluşumu aşınma direncini arttırdığı düşünülmektedir. Nitrasionsuz krank mili numunelerinin aşınma direncine kıyasla nitrasyon uygulanmış numunelerde yaklaşık olarak %20 oranında aşınma direncinde artış görülmüştür

KAYNAKLAR

1. İnternet: Bilgihanem, “Krank Mili Çalışma Prensi”
<https://bilgihanem.com/krank-mili-nedir-nasil-calisir/>.
2. <https://www.tech-worm.com/krank-mili-nedir-nasil-calisir-ne-ise-yarar/>
3. <https://parcafon.com/krank-nedir/>
4. <https://www.makinaegitimi.com/krank-milini-etkileyen-kuvvetler-krank-mili-malzemesi/>
5. <https://www.mailce.com/krank-mili-nedir-nasil-calisir.html>
6. <https://www.bilgiustam.com/krank-mili-nedir-nasil-calisir/>
7. <http://www.abdullahdemir.net/ders-notlari/sikistirma-ile-ateslemeli-motorlar/sam-motor-parcalari-piston-biyel-krank-ve-kam-mili/>
8. Trakya Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Doç. Dr. Hilmi KUŞÇU Krank Milleri Ve Yenileştirilmesi Ders Notu
9. www.megep.meb.gov.tr/...pdf/Krank%20Ve%20Kam%20Mili%20Yenilestirme.pdf
10. <http://ikincielaranti.com/araba-bakimi/krank-mili-nedir-nasil-calisir/>
11. MEGEP, program modül, Krank ve Kam mili yenileştirme
http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Krank%20Ve%20Kam%20Mili%20Yenile%20C5%9Firme.pdf
12. <https://teknolojirojeleri.com/mekanik/krank-mili-nedir-ne-ise-yarar>
13. web.itu.edu.tr/temizv/Sunular/Yorulma.pdf.
14. <https://www.alper.com.tr/hizmetler/isil-islem/nitrasyon.html>
15. Ş. Polat1 , Ş. H. Atapek , H. Topaç, Gaz Nitrasyon ile Yüzeyleri Sertleştirilmiş AISI 4140 ve DIN 1.2344 Çeliklerinde Mikroyapısal Karakterizasyon, 6 th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), 16-18 May 2011, Elazığ, Turkey
16. Manksan amortisör eğitim dökümanı

17. N. Axén, S. Hogmark and S. Jacobson, “Friction and Wear Measurement Techniques” Modern Tribology Handbook, 2001.
18. P. Blau, “ASM Handbook on Friction, Lubrication and Wear Technology Technology” ASM International, 1992.
19. H. Czichos, “Tribology-A System Approach to the Science and Technology of Friction, Lubrication and Wear”, Elsevier, Amsterdam, 1987.
20. M. Karabaşoğlu (2008) “Aşınma Deney Cihazı Tasarımı ve İmalatı” Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2008

ÖZGEÇMİŞ

Emre Küçük, ilk ve orta öğrenimini Ayşe Müzeyyen Tozluoğlu İlköğretim Okulu'nda, lise eğitimini Bursa Yıldırım Beyazıt Anadolu Lisesi'nde tamamladım. 2011 yılında Karabük Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'ne başladım ve lisans eğitimini 2015 yılında tamamladım. 2015 yılı güz döneminde lisansüstü eğitimine Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı'nda başladım. 2015 yılından bu yana Manksan Amortisör A.Ş bünyesinde fabrika müdürü olarak görev yapmaktayım.