



**KARBÜRLEME YAPILAN GENEL YAPI
ÇELİĞİNİN MİKROYAPI VE MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Ömer ÇÖLOVA

**2021
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Khangardash ASGAROV**

**KARBÜRLEME YAPILAN GENEL YAPI ÇELİĞİNİN MİKROYAPI VE
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Ömer ÇÖLOVA

**T.C.
Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Khangardash ASGAROV**

**KARABÜK
Temmuz 2021**

Ömer ÇÖLOVA tarafından hazırlanan “KARBÜRLEME YAPILAN GENEL YAPI ÇELİĞİNİN MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Khangardash ASGAROV

Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 02/07/2021

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Khangardash ASGAROV (KBÜ)

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Harun ÇUĞ (KBÜ)

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Mehmet AKKAŞ (KÜ)

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

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ

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.”

Ömer ÇÖLOVA

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KARBÜRLEME YAPILAN GENEL YAPI ÇELİĞİNİN MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Ömer ÇÖLOVA

**Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Khangardash ASGAROV

Temmuz 2021, 68 sayfa

Bu çalışmada, yapı çeliği olarak bilinen alaşımsız St37 çeliğinden üretilmiş numunelere kutu karbürleme (sementasyon) işlemi uygulanarak yüzey sertleştirmenin mikroyapı ve mekanik özelliklerine etkisi incelenmiştir.

Deneyde 800 °C ve 930 °C 'deki 2 farklı sıcaklıklarda gerçekleşen numuneler kutu içerisinde kömür tozu ile birlikte ağzı sıkıca hava almayacak şekilde kapatılarak 3,5 ve 10 saat sementasyon olacak şekilde fırında bekletilmiştir.

Sementasyon yapılan numunelerin mikroyapısı incelenerek kaplama kalınlıkları, sertlik deneyleri yapılarak sertlik değişimleri ve aşınma deneyleri yapılarakta aşınma miktarları incelenmiştir.

Yapılan vickers yöntemi sertlik testleri sonucunda, en yüksek sertlik değerleri 930 °C ve 10 saat sementasyon yapılan numunede olduğu ortaya çıkmıştır. Aşınma testleri sonucunda numuneye 10N ve 20N luk yükler verilerek malzemenin üzerindeki aşınma cihazının 10 mm strok mesafede 100 m yol alarak aşınma miktarları bulunmuştur.

Aşınma testleri sonucunda uygulanan sementasyon süresi ile aşınma kaybının ters orantılı olduğu, aynı şekilde sementasyon sıcaklık değeri ile aşınma kaybıda ters orantılı iken uygulanan yük ile aşınma kaybının doğru orantılı olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Sözcükler : Genel yapı çeliği, karbürleme, yüzey sertleştirme, st37

Bilim Kodu : 91421

ABSTRACT

Master Thesis

INVESTIGATION OF MICROSTRUCTURAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF CARBURIZED GENERAL CONSTRUCTION STEEL

Ömer ÇÖLOVA

**Karabük University
Institute of Graduate Programs
Department of Mechanical Engineering**

Thesis Advisor:

Prof. Dr. Khangardash ASGAROV

July 2021, 68 pages

In this study, the effect of surface hardening on microstructure and mechanical properties was investigated by applying box carburizing (cementation) process to samples produced from unalloyed St37 steel, known as structural steel.

In the experiment, the samples, which took place at 2 different temperatures at 800 °C and 930 °C, were kept in the oven with coal dust in the box for 3, 5 and 10 hours for cementation, with the mouth tightly closed.

By examining the microstructure of the cemented samples, the coating thicknesses, hardness changes by making hardness tests, and the amount of wear were examined by performing abrasion tests.

As a result of the vickers method hardness tests, it was revealed that the highest hardness values were found in the sample that was cemented for 10 hours at 930 °C. As a result of the wear tests, 10N and 20N loads were applied to the sample, and the wear amount of the wear device on the material was found by traveling 100 m at a stroke distance of 10 mm.

As a result of the wear tests, the applied cementation time and the wear loss are inversely proportional, while the cementation temperature value is inversely proportional to the wear loss. It has been determined that the applied load and the wear loss are directly proportional.

Key Word : General structural steel, carburizing, surface hardening, st37.

Science Code : 91421

TEŞEKKÜR

Bu tez çalıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıőmamı bilimsel temeller ışığında őekillendiren sayın hocam Prof. Dr. Khangardash ASGAROV'a sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Deneylerinin yapılmasında yardımlarını esirgemeyen, Karabük Üniversitesi Dr. Öğr. Üyesi Harun UĞ hocama ve Karabük Üniversitesi MARGEM'e teşekkür ederim. KBÜ-BAP-YL-025 adlı bilimsel araőtırma projesi tarafından desteklendiği için Karabük Üniversitesi Bilimsel Araőtırma Proje Koordinatörlüğüne teőekkürlerimi sunarım.

Sevgili aileme manevi hiçbir yardımını esirgemedен yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xvi
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	2
AŞINMA.....	2
2.1. AŞINMA TÜRLERİ	4
2.1.1. Adhesiv Aşınma.....	4
2.1.2. Abrasiv Aşınma	5
2.1.3. Yorulma Aşınması	6
2.1.4. Koroziyel Aşınma	7
2.1.5. Erozyon Aşınması.....	7
2.2. AŞINMA KAYBI ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ	8
2.2.1. Ağırlık Farkı Metodu.....	9
2.2.2. Kalınlık Farkı Metodu	9
2.2.3. İz Değişim Metodu	9
2.3. KAYMA AŞINMASI.....	10
2.3.1. Kayma Aşınmasının Deneysel Yöntemi.....	11
BÖLÜM 3	12

	<u>Sayfa</u>
ISIL İŞLEM	12
3.1. ÇELİKLERDE TAVLAMA İŞLEMİ	13
3.1.1. Homojenleştirme Tavı	14
3.1.2. Tane İrileştirme Tavlamaı	15
3.1.3. Gerilim Giderme Tavlamaı	15
3.1.4. Yeniden Kristalleştirme (Rekristalizasyon) Tavlamaı	16
3.1.5. Normalizasyon Tavı.....	17
3.1.6. Yumuşatma Tavlamaı	18
BÖLÜM 4	20
YÜZEY SERTLEŞTİRME YÖNTEMLERİ.....	20
4.1. MALZEMENİN KİMYASAL YAPISINI DEĞİŞTİRME DEN YAPILAN YÜZEY SERTLEŞTİRME YÖNTEMLERİ	20
4.1.1. Alevle Yüzey Sertleştirme Yöntemi	21
4.1.2. Daldırma ile Yüzey Sertleştirme Yöntemi	22
4.1.3. İndüksiyonla Yüzey Sertleştirme Yöntemi.....	22
4.1.4. Lazer Işınlarıyla Yüzey Sertleştirme	24
4.2. MALZEMENİN KİMYASAL YAPISINI DEĞİŞTİREREK YAPILAN YÜZEY SERTLEŞTİRME YÖNTEMLERİ	25
4.2.1. Karbürleme (Sementasyon)	26
4.2.1.1. Katı Ortamda Karbürleme.....	27
4.2.1.2. Sıvı Ortamda Karbürleme	28
4.2.1.3. Gaz Ortamda Karbürleme	29
4.2.2. Nitrürleme (Nitrürasyon)	30
4.2.3. Borlama.....	32
BÖLÜM 5	33
ÇELİKLER	33
5.1. ÇELİĞİN TANIMI.....	33

	<u>Sayfa</u>
5.2. ÇELİK ÜRETİM YÖNTEMLERİ.....	34
5.2.1. Bessemer – Thomas Çelik Üretim Yöntemi.....	34
5.2.2. Siemens - Martin Çelik Üretim Yöntemi.....	35
5.2.3. Oksijen Üfleme Çelik Üretim Yöntemi.....	36
5.2.4. Elektro - Çelik Üretim Yöntemi.....	36
5.3. ÇELİK YAPILARI.....	37
5.3.1. Ferrit.....	38
5.3.2. Östenit.....	38
5.3.3. Sementit.....	39
5.3.4. Perlit.....	40
5.3.5. Martenzit.....	40
5.4. ÇELİKLERİN SINIFLANDIRILMASI.....	41
5.4.1. Alaşimsız Çelikler (Sade Karbonlu Çelikler).....	42
5.4.2. Alaşımli Çelikler.....	42
5.4.3. Genel Yapı Çelikleri.....	44
5.4.3.1. St37 Çelikleri.....	46
BÖLÜM 6.....	48
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	48
BÖLÜM 7.....	51
MATERYAL VE YÖNTEM.....	51
7.1. DENEYLER.....	52
7.1.1. Sıcak Kaplama.....	52
7.1.2. Zımparalama ve Parlatma.....	52
7.1.3. Mikroyapı İnceleme.....	53
7.1.4. Sertlik Deneyleri.....	53
7.1.5. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM).....	53
7.1.6. Aşınma Deneyleri.....	54

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 8	55
BULGULAR VE SONUÇLAR	55
8.1. MİKROYAPI İNCELEME	55
8.1.1.Kaplama Kalınlıkları	55
8.2. SERTLİK DENEYLERİ	59
8.3. AŞINMA DENEYLERİ.....	60
8.4. SONUÇLAR	63
8.5. ÖNERİLER	64
KAYNAKLAR	65
ÖZGEÇMİŞ	68

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Aşınma türleri ve temas tipleri.....	2
Şekil 2.2. Tribolojik sistem yapısı.....	3
Şekil 2.3. Genel aşınma türleri	4
Şekil 2.4. Adhesiv aşınma	5
Şekil 2.5. Abrasiv aşınma.....	5
Şekil 2.6. Yorulma aşınması.....	6
Şekil 2.7. Korozif aşınma	7
Şekil 2.8. Erozyon aşınması türleri	7
Şekil 2.9. Yağlamalı veya yağlamasız adhesiv aşınma deney yöntemleri	8
Şekil 2.10. İki pürüzlü yüzeyin birbirinin üzerinde hareket ederken tek bir temas parçasının değişimini gösteren diyagram	10
Şekil 2.11. Kayma aşınma testinde yaygın olarak kullanılan geometriler	11
Şekil 3.1. Isıl işlemden sıcaklık-zaman diyagramı.....	13
Şekil 3.2. Tavlama fırını.....	14
Şekil 3.3. Homojenleştirme tavlama ısıl işlem diyagramı.....	14
Şekil 3.4. Tane irileştirme tavlama ısıl işlem diyagramı	15
Şekil 3.5. Gerilim giderme tavlama ısıl işlem diyagramı.....	16
Şekil 3.6. Yeniden kristalleşme safhaları.....	17
Şekil 3.7. Normalizasyon tavlama ısıl işlem diyagramı	18
Şekil 3.8. Normalizasyon tavlama.....	18
Şekil 3.9. Yumuşatma tavlama adımları	19
Şekil 3.10. Karbon içeriği %0,6–1,35 arasında olan alaşımsız çeliklerin olası sıcaklık değerleri	19
Şekil 4.1. Alevle yüzey sertleştirme işleminin şematik gösterimi	21
Şekil 4.2. İndüksiyonla yüzey sertleştirme işleminin şematik gösterimi	22
Şekil 4.3. Lazer Yüzey Sertleştirme Yönteminin Şematik Gösterimi	24
Şekil 4.4. Termokimyasal yüzey sertleştirme yöntemleri şeması.....	25
Şekil 4.5. Kutu karbürleme şematik gösterimi.....	28
Şekil 4.6. Yüksek basınçlı gaz ile sertleştirme fırını.....	30
Şekil 4.7. Nitrüleme işleminin şematik gösterimi	31

Sayfa

Şekil 4.8. Borlama şematik gösterimi	32
Şekil 5.1. Konvertör kab.....	34
Şekil 5.2. Siemens – Martin çelik üretim şeması	35
Şekil 5.3. Elektrik ark fırınlarında çelik üretim şeması.....	36
Şekil 5.4. Demir – Karbon Denge Diyagramı	37
Şekil 5.5. Ferrit fazının yapısı	38
Şekil 5.6. Östenit fazının yapısı.....	39
Şekil 5.7. Sementit fazının yapısı.....	39
Şekil 5.8. Perlit fazının yapısı	40
Şekil 5.9. Çıta ve tabakalı martenzit yapılar	40
Şekil 5.10. Karbon oranının, çeliğin mekanik özelliklerine etkisi	41
Şekil 5.11. Alaşım element oranlarının çeliğin sertliğine etkisi.....	44
Şekil 5.12. Genel yapı çelikleri ve bileşimleri	45
Şekil 5.13. Genel yapı çelikleri mekanik özellikleri	45
Şekil 7.1. Bakalite kaplanmış numune	52
Şekil 7.2. Zımparalama ve parlatma işlemleri uygulanmış numune.....	53
Şekil 7.3. Aşınma testinin şematik gösterimi.....	54
Şekil 8.1. St37 çeliğinin iç yapısı a)200x b)500x	55
Şekil 8.2. 800°C’de 3 saat işlem görmüş numunenin kaplama kalınlığı	56
Şekil 8.3. 800°C’de 5 saat işlem görmüş numunenin kaplama kalınlığı	56
Şekil 8.4. 800°C’de 10 saat işlem görmüş numunenin kaplama kalınlığı	57
Şekil 8.5. 930°C’de 3 saat işlem görmüş numunenin kaplama kalınlığı	57
Şekil 8.6. 930°C’de 5 saat işlem görmüş numunenin kaplama kalınlığı	58
Şekil 8.7. 930°C’de 10 saat işlem görmüş numunenin kaplama kalınlığı	58
Şekil 8.8. Parametrelere bağlı aşınma alanları değişimi	60
Şekil 8.9. İşlem görmüş numunenin SEM aşınma görüntüsü	61
Şekil 8.10. İşlem görmüş numunenin SEM aşınma görüntüsü	62
Şekil 8.11. İşlem görmüş numunenin SEM aşınma görüntüsü	62

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.1. Frekans değerlerinin sertleştirme derinliğine etkisi	23
Çizelge 5.1. Ham demir ve çelik alaşım oranları	33
Çizelge 5.2. Alaşımli çeliklerin element değerlerinin alt sınır oranları	43
Çizelge 5.3. St37 çeliğinin kimyasal kompozisyonu	46
Çizelge 5.4. St37 çeliğinin çekme dayanımı	46
Çizelge 5.5. St37 çeliğinin asgari akma dayanımı	46
Çizelge 5.6. St37 çeliğinin minimum uzama özellikleri	47
Çizelge 5.7. St37 çeliğinin minimum uzama özellikleri	47
Çizelge 7.1. St37 yapı çeliğinin kimyasal kompozisyonları	51
Çizelge 8.1. Numunelerin deney sonucu sertlik değerleri	59
Çizelge 8.2. Numune üzerindeki aşınma izlerinin alanları	60

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

A_{c1} : Ötektoid reaksiyon sıcaklığı

A_{c3} : Ötektoid altı çeliklerde tam ostenit alanına geçiş sıcaklığı

A_{cm} : Ötektoid üstü çeliklerde tam ostenit alanına geçiş sıcaklığı

Al : alüminyum

Cu : bakır

CO₂ : karbondioksit

CO : karbonmonoksit

°C : celsius

Ni : nikel

H₂O : su

Cr : krom

Mo : molibden

V : vanadyum

Ti : titanyum

Fe₂B : demir borür

KISALTMALAR

AISI : American Iron and Steel Institute (Amerika Demir ve Çelik Enstitüsü)

SAE : Society of Automobile Engineers (Amerikan Otomotiv Mühendisleri Birliği)

DIN : Deutch Industrie Normen (Alman Endüstri Normları)

ITAB : Isı Tesiri Altında Kalan Bölge

SEM : Scanning Electron Microscope (Taramalı Elektron Mikroskobu)

MPa : Megapascal (Basınç Birimi)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Mühendislik alanında kullanılan makine elemanları, fonksiyonlarını yerine getirirken aşınma, titreşim ve yorulma sonucu kullanılan malzemelerde bir kayıp ortaya çıkar. Malzemede meydana gelen bu kayıp maliyet, kalite ve malzemenin ömrü açısından üreticinin ve tüketicinin istemediği olumsuz bir durumdur.

Yapı çelikleri günümüzde otomotiv, beyaz eşya, oyuncak, fırın, ev tekstili gibi bir çok üretim endüstrisinde önemli bir yere sahiptir. Dünya’da ve Türkiye’de sanayi endüstrisinde özellikle en sık kullanılan malzemelerden biriside st37 çeliğidir. Kullanılan çelik mekanik özellikleri bakımından kolay kaynak kabiliyeti, sorunsuz kesim yapılabilmesi ve dayanıklılığı bakımından üreticileri ve tüketicileri için talepkar olmuştur.

İçerisinde karbon, mangan, fosfor, kükürt, nikel ve bakır alaşım elemanlarının bulunduğu alaşımsız (sade karbonlu) st37 yapı çeliğinin, mekanik özelliklerine yüzey sertleştirme işleminin etkisi farklı parametreler kullanılarak incelenmiştir. Malzemelere kutu karbürleme yapılarak yüzey sertleştirme işlemi uygulanmış olup çatlak oluşumunu önlemek, malzemenin oksitlenme direncini artırmak ve mukavemet değerleri yükseltilmiş bir yüzey tabaka oluşturmak gibi malzemenin ömrünü uzatacak gereksinimler kazandırılmak amaçlanır.

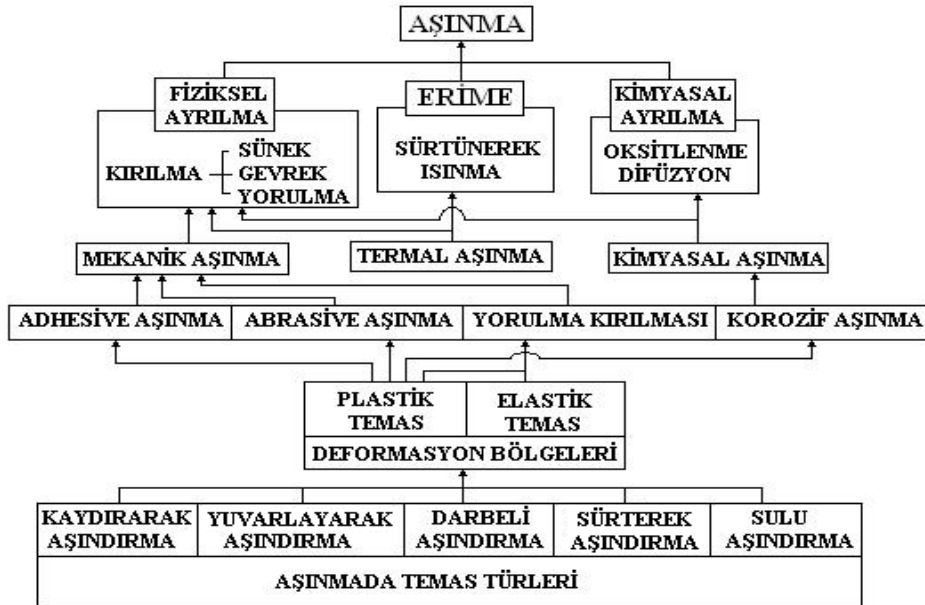
BÖLÜM 2

AŞINMA

Bir malzemede aşınma, malzemelerin sürtünmesi ile meydana gelen yüzeydeki bozulma değişimleridir. Malzemelerin yüzeylerindeki yıpranmaların aşınma sayılabilmesi için bazı önemli şartlar vardır.

- Malzemenin yüzeyde değişime uğraması
- Yavaş ve sürekli olması
- İsteğimiz dışında gerçekleşmesi
- Sürtünmenin gerçekleşmesi
- Mekanik bir etken olmalıdır [1].

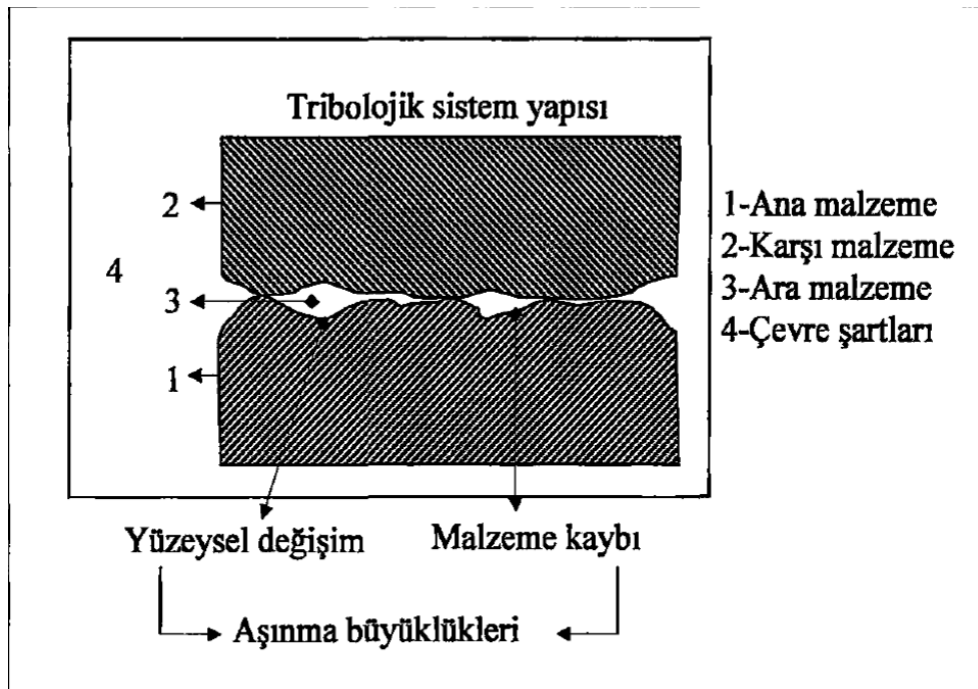
Makine elemanlarının kullanım ömrünü etkileyen bu aşınmalar malzemedeki değişimin cinsine göre fiziksel ve kimyasal şekilde gerçekleşebilmektedir.



Şekil 2.1. Aşınma türleri ve temas tipleri [2].

Makine elemanlarının çalışma ömrünü uzatmak, maliyet ve çalışma performansı açısından önemlidir. Malzemelerin yüzeylerinde oluşacak hasarlar istenmeyen durumlardandır. Aşınma ise diğer hasar çeşitlerine oranla önlemi daha rahat alınabilecek bir hasar tipidir. Bu sebepten malzemede aşınma sonucunda meydana gelebilecek hasarı en aza indirmek ve önlem almak adına koruyucu birtakım işlemler uygulanabilir. Temaslı yüzeyler arasına yağlayıcı film, yüzey sertleştirme işlemleri, oksit tabakası gibi önlemler ile aşınmayı önleyemesek bile en aza indirmek mümkündür [3]. Her ne kadar önlemler alınmış olsa da bunun dışında bazı faktörlerde malzemelerdeki aşınmanın hasarını ve bozulmasını etkileyebilir. Kullanılan malzemenin yapısal özellikleri, ortam şartları ve uygulanan kuvvetin şekli gibi özellikler aşınmalardaki hasarlarda farklılık gösterebilir [4].

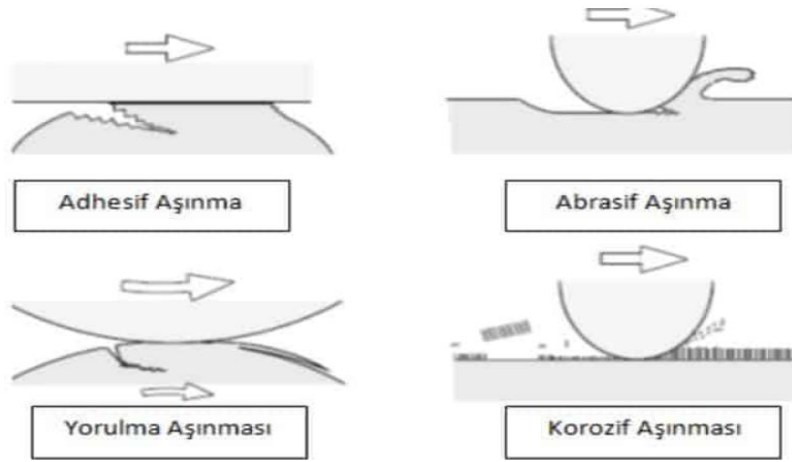
Aşınmalarda; aşınan malzeme, aşındıran malzeme, hareket, ara yüzey ve çevresel şartlar aşınmanın temel unsurlarıdır. Bu yapıya da teknik terimde tribolojik sistem adı verilir.



Şekil 2.2. Tribolojik sistem yapısı [1].

2.1. AŞINMA TÜRLERİ

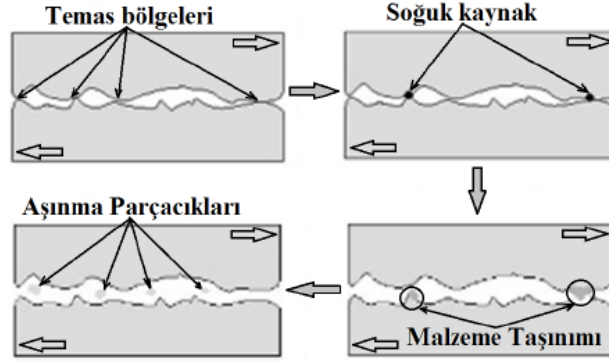
Malzemelerde aşınmaya etki eden farklı değişkenler bazı aşınma mekanizmalarını ortaya çıkarır. Bu aşınma mekanizmalarından sıkça karşılaştığımız abrasiv aşınma, adhesiv aşınma, erozif aşınma, korozyon aşınması, kimyasal aşınma olmak üzere farklı makine elemanlarının çalışmalarında ortaya çıkmaktadır. Meydana gelen aşınmaların yarısını abrasiv aşınma oluşturmaktadır [6].



Şekil 2.3. Genel aşınma türleri [6].

2.1.1. Adhesiv Aşınma

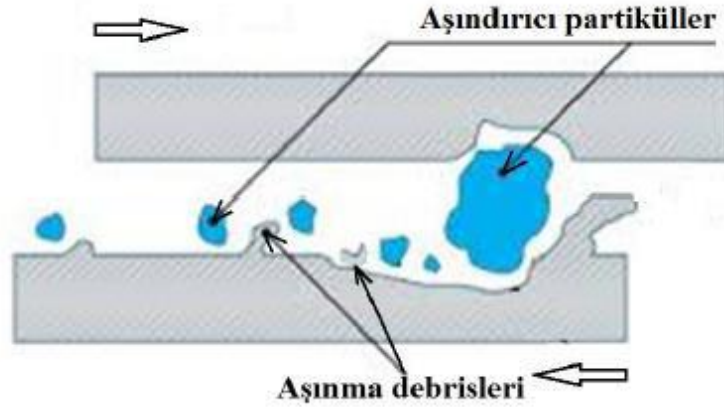
Yapışma aşınması da denilen bu aşınmada iki yüzeyin birbirine teması sonucunda açığa çıkan aşınma türüdür. Bu temaslar metal, seramik ve plastik malzeme çiftlerini içermektedir. Bu aşınma türünde izafi hareket esnasında zayıf olan malzemeden diğerine bir geçiş olmaktadır. Bu geçiş esnasında kalan partiküllerin malzemeyi aşındırması suretiyle abrasiv aşınmada görülebilir. Metal malzemelerin sürtünmeleri sırasında sert metal çiftleri yumuşak-sert metal çiftlerine oranla daha az aşınırlar. Seramik-metal çiftlerinde kullanılan seramiğin pürüzsüz olması ve sert metal kullanılması gerekir. Plastik-metal çiftlerinde sert plastiklerden kaçınılmalı ve sertleştirilmiş metal kullanılmalıdır. Seramik-seramik sürtünmelerinde ise farklı malzemeler kullanılmalıdır [7].



Şekil 2.4. Adhesiv aşınma [4].

2.1.2. Abrasiv Aşınma

Çizilme aşınması da denilen bu aşınma çeşidi temas eden iki malzemedен birinin yüzeyinin çok sert ve pürüzlü olması veya iki yüzeyin arasına sert parçacıkların girmesiyle malzeme yüzeyinde parçalar kaldırmasıyla oluşan bir aşınma çeşididir. Bu aşınmaya maruz kalan malzemelerin sertlik, elastik modül, akma gerilmesi, kristal yapı, ergime noktası gibi özelliklerinin bazı işlemler ile değiştirilmesi aşınma derecesini de artırmaya fayda sağlayacaktır [5]. Özellikle sistemden sert parçacıkların uzaklaştırılması bu aşınmanın önlenmesinde önemli bir etkidir.

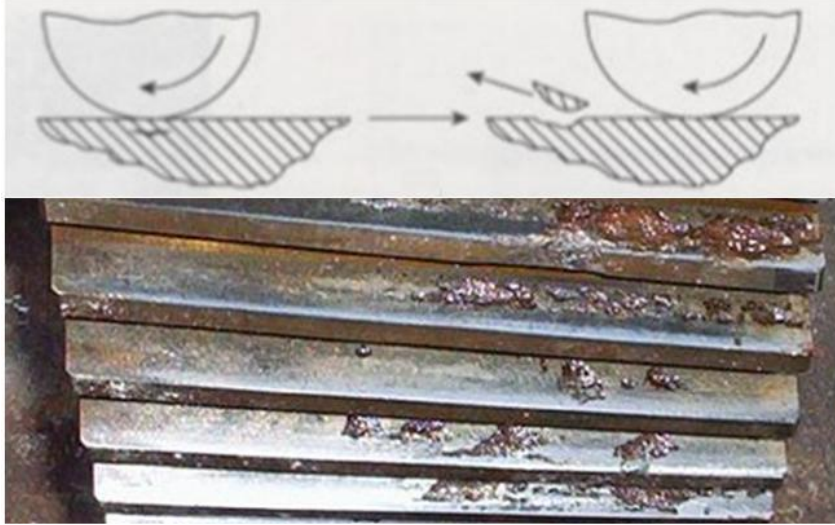


Şekil 2.5. Abrasiv aşınma [4].

2.1.3. Yorulma Aşınması

Malzemeye uygulanan yükün devamlı hareketi sonucunda mukavemet sınırını aşması ile birlikte malzemenin yüzeyinde hasarlar meydana gelerek aşınma oluşur. Bu aşınmaya yorulma aşınması denmektedir. Malzeme de sürekli yükün sonucunda yüzeyde önce çatlak oluşumu ardından küçük çukurlar oluşmaya başlar. Sonuçta parçaların ayrılmasıyla malzemede bozulmalar meydana gelir [6].

Dişli çarklar, rulmanlı yataklar ve kam mekanizmaları gibi yuvarlanma hareketi yapan makine elemanlarında sık görülen aşınma türüdür. Bunun sebebi ise bu makine elemanlarının birbirleriyle sürekli temas halinde olmasından kaynaklanır. Kayma gerilmelerinin yüksek olduğu bölgelerde plastik deformasyon ve iç dislokasyonlar sebebiyle çok küçük boşluklar oluşur. Boşluklar büyüyerek zamanla yüzeye doğru ilerler ve küçük boşluklar oluşmasına sebep olur [8].

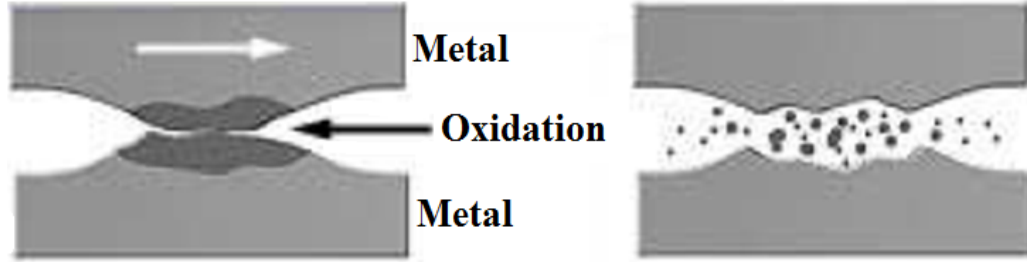


Şekil 2.6. Yorulma aşınması [3].

Yorulma aşınması iki tiptir. Birincisi; aşınma sonucu oluşan çukurlar çok büyümeyebilir ve malzemenin yüzeyine yayılmazlar. Bu tip yorulmada parçanın çalışması etkilenmez. Diğer aşınmada ise çukurlar büyüktür ve yüzeyine yayılır. Parça tahrip olur ve çalışamaz hale gelir. Bu durumun önlenmesi için yüzey sertleştirme işlemi uygulanması önerilir [8].

2.1.4. Korozif Aşınma

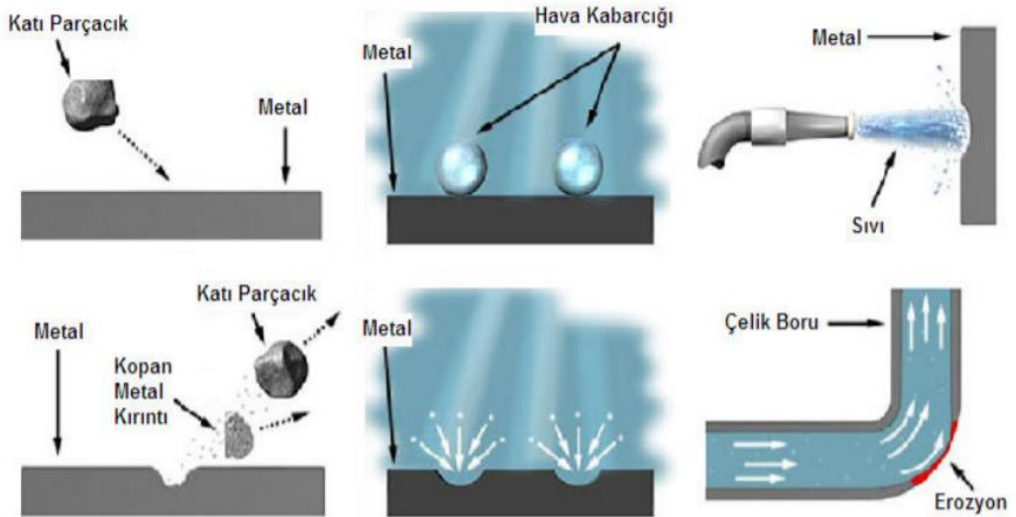
Metal ve alaşımlarının olduğu malzemelerin, yüzeyler arası veya çalışma ortamından kaynaklanan kimyasal veya elektrokimyasal etkileşimler neticesinde tahribin oluşumuna korozyon adı verilir. Oluşan çatlakların ardından kopan parçaların yüzeyden uzaklaşmasına korozif aşınma denir [6].



Şekil 2.7. Korozif aşınma [3].

Bu aşınmanın oluşmasında en önemli etken malzemenin paslanmasıdır. Malzemenin paslanması sonucunda oksitlenme oluşur. Bunu en aza indirmek için yüzeylerin ortamla reaksiyona girmesi önlenmelidir.

2.1.5. Erozyon Aşınması



Şekil 2.8. Erozyon aşınması türleri [9].

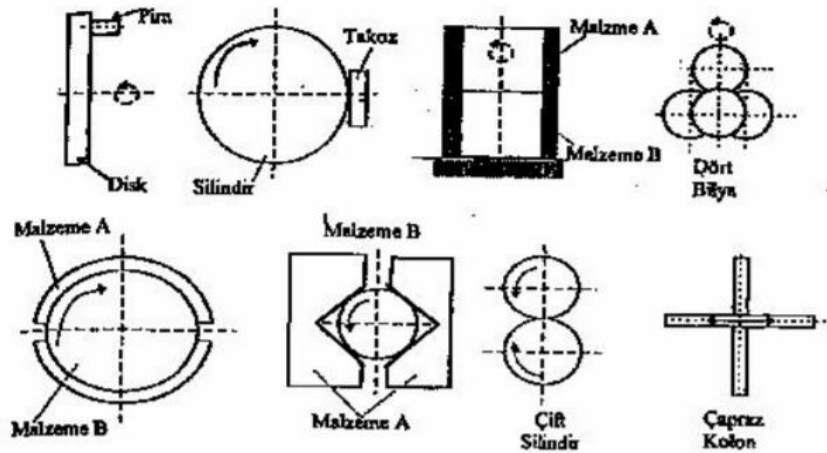
Katı, sıvı ve gaz haldeki aşındırıcı parçacıkların yüksek hıza çıkararak temas ettiği yüzeyden malzeme kaldırması sonucu oluşan aşınma türüdür. Akış esnasındaki sıvı ve gazların, yüksek hıza çıkararak temas ettikleri yüzeyde oluşturduğu hasar sonucu parça kopması meydana gelir. Bu kopma sonucu malzemede erozyon aşınması oluşur. Boru dirseklerinde, pompalarda, fanlarda, pervanelerde, valf deliklerinde, hareketli kanatlarda sık sık bu aşınmaya rastlamak mümkündür [9].

2.2. AŞINMA KAYBI ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ

Endüstride kullanılan malzemelerde aşınma kaybını en aza indirmek maksadıyla birtakım çalışmalar yapılmaktadır. Özellikle hasara maruz kalabilecek alanlarda aşınmaya karşı direnci yüksek malzemelerin kullanılması önerilmektedir. Bu malzemelerin belirlenmesinde birçok ölçüm deneyleri yapılır. Deneyler sonucunda ana malzemenin ölçüm değerleri de bize malzeme hakkında sonuçlar verir. Aşınma kaybı ölçüm yöntemlerini iki grupta gösterebiliriz.

- Aşınan ve aşındıran (ana ve karşı) malzemelerin değerlerinin ölçümü
- Katı, sıvı ve gaz olarak bulunan maddelerin etkisi altında sadece karşı malzemenin değerinin ölçümü

Aşınma kaybı deneylerinden günümüzde sıkça rastladığımız ağırlık farkı metodu, kalınlık farkı metodu ve iz değişim metodudur [10].



Şekil 2.9. Yağlamalı veya yağlamasız adhesiv aşınma deney yöntemleri [10].

2.2.1. Ağırlık Farkı Metodu

Ölçülen değerin hassas sonuçlar elde etmesiyle ve yöntemler arasında ekonomik olması sebebiyle en çok kullanılan metoddur. Ağırlık kaybı ölçümü yapılan bu metod da kullanılan terazi 10^{-3} veya 10^{-4} hassasiyetinde ölçüm yapar [3]. Bu yöntemin dezavantajı ise malzemenin deney yapılabilmesi için her seferinde parçaların çıkarılıp ölçüm yapılması gerekir. Yöntem, parça malzemede takılıyken üzerinden ölçüm yapma imkanı vermemektedir [10]. Bu yöntemde özgül aşınma miktarı aşağıdaki bağıntı yardımıyla bulunabilir.

$$W_s = \Delta m / dFnS = \Delta v / FnS \quad (2.1)$$

Burada;

- W_s : Özgül aşınma miktarı (mm^3/Nm)
- Δm : Ağırlık kaybı (mgr)
- d : yoğunluk (mgr/mm^3)
- F_n : Uygulanan normal kuvvet (N)
- S : Aşınma mesafesi (m) [3].

2.2.2. Kalınlık Farkı Metodu

Bu yöntem aşınma kayıplarını, malzemenin başlangıç boyutu ile aşınma sonrasındaki oluşacak boyut farkını ölçme suretiyle bulunur. Bulunan kalınlık farkı değeri ile malzemenin hacimsel kayıp değeri bulunur. Bu yöntemde malzemenin aşınma ölçüm miktarının hassasiyetini arttırmak dolayısıyla hata oranını azaltmak amacıyla $+1 \mu\text{m}$ duyarlılıkta ölçüm yapılmalıdır [10].

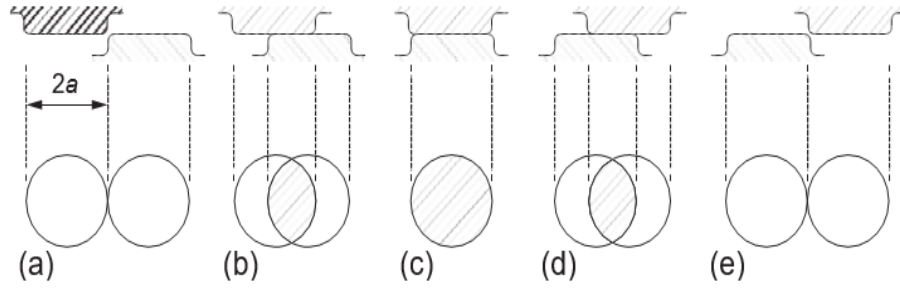
2.2.3. İz Değişim Metodu

Bu metod da aşınan malzemenin yüzeyinde plastik deformasyon oluşur. Oluşan bu değişim (deformasyon) kullanılarak geometrisi belirli bir iz oluşturur. Bu izlerin boyut değişimi deney boyunca takip edilir. Takip edilen değişimler mikroskop yardımı ile ölçülür. İzlerin oluşumu için ise Vickers veya Brinell sertlik ölçme uçları kullanılmaktadır [3].

2.3. KAYMA AŞINMASI

İki katı yüzeyin birbiri üzerinden temasıyla oluşan aşınma türüdür. Uygulamalarda kayan yüzeylerin yağlanmasıyla ortaya çıkan aşınmaya yağlanmış kayma aşınması adı verilir. Bu uygulamanın aksine temas eden yüzeyler arasında herhangi bir yağlama metodu kullanılmadan gerçekleşen aşınmaya ise kuru kayma aşınma denir. Bu aşınma türünde yağlamak için herhangi bir malzeme kullanılmasa da ortamdaki belirli ölçüde nemli hava ile aşınma meydana gelir [11].

Yanlış bilinen konulardan biriside yapışkan aşınmanın (adhesiv aşınma), kayma aşınmasının tanımını yapmak için kullanılmasıdır. Kayma aşınmasının önemli faktörlerinden olan yapışma, kayma aşınmasında gerçekleşen sadece birkaç fiziksel ve kimyasal işleminden biridir.



Şekil 2.10. İki pürüzlü yüzeyin birbirinin üzerinde hareket ederken tek bir temas parçasının değişimini gösteren diyagram [11].

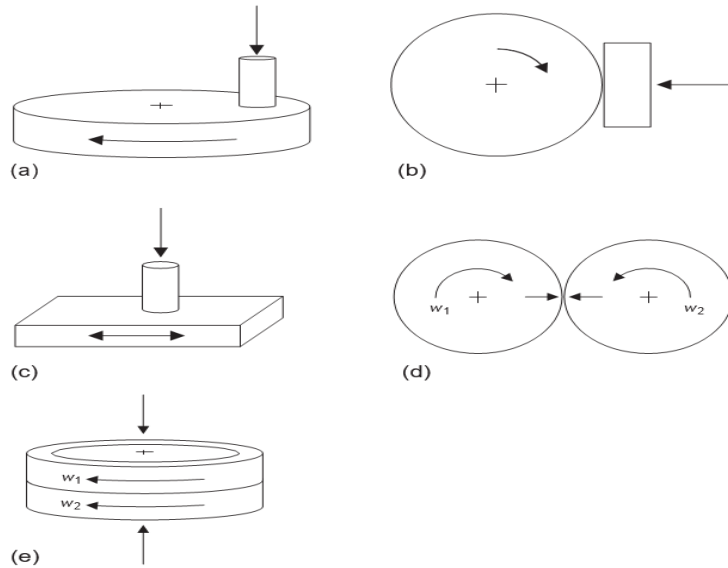
Kayma esnasında parçanın çeşitli değişim aşamaları, malzemenin görünümünün dairesel olduğunu ve a yarıçapına sahip olduğunu kabul ettiğimizi göstermektedir. Şekil 2.10' da c 'de, temas maksimum boyuta ulaşmıştır [11]. Bu aşınma da uygulanan yük, devir ve süre malzemenin mekanik hasar oluşumuyla doğru orantılıdır [4].

2.3.1. Kayma Aşınmasının Deneysel Yöntemi

Kayma aşınmasının incelenmesi için farklı deneysel yöntemler kullanılmaktadır. Aşınmayı etkileyebilecek parametrelerin seçimi, kontrolü ve ölçümü önemlidir. Bir kayma aşınması testinde önemli ve dikkate alınması gereken hususlar aşağıda belirtilmiştir.

- Temas halinde olan iki gövdenin üretildiği malzeme cinsi ve bazı durumlarda yüzey hazırlama yöntemi
- Numunelerin şeklini ve boyutlarını içeren test geometrisi
- Uygulanan yük ve temas basıncı
- Kayma hızı ve ortam koşulları

Bir aşınma deneyi hazırlarken bunların her birinin ayrı ayrı önemi vardır. Bir aşınma davranışının yalnızca malzeme ile değil tüm sistem ile ilgili olduğunu ve sistemin gereksinimlerini tam bilmeden malzemenin tribolojik davranışını tam anlamıyla tanımlayamayacağımızı bilmemiz gerekir [11].



Şekil 2.11. Kayma aşınma testinde yaygın olarak kullanılan geometriler a) disk üzeri pin; b) halka üzerinde blok; c) pistonlu plaka üzerindeki pin; d) ikiz disk; e) halka üzerinde halka [11].

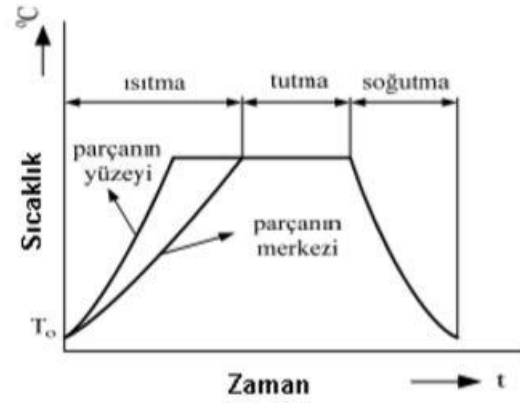
BÖLÜM 3

ISIL İŞLEM

Metal ve alaşım malzemelerinin katı halde iken ısıtma ve soğutma işlemi yapılarak iç yapı özelliklerini değiştirmeye ısıtma işlemi adı verilir [12]. Teknolojik gelişmeler doğrultusunda malzemelerin yapılarının iyileştirilmesi amacı ile uygulanan işlemler çeşitlilik kazanmıştır. Bu işlemlerden birisi de ısıtma işlemidir. Lakin bu işlem kimi zaman farkında olmadan malzemeye uygulanan başka bir metodun neticesinde ortaya çıkabilir. Kaynak işlemi buna bir örnektir. Malzemeye uygulanan kaynağın sonrasında oluşan sıcaklık sebebiyle yüzeyde yapısal değişiklikler görülebilir. Bir malzemeye ısıtma işlemi uygulandığında iç yapısındaki atomik bağlar arasında açığa çıkan bir enerji söz konusudur. Bu enerji atomları harekete geçirir ve titreşime sebep olur. Sıcaklık ne kadar artarsa titreşimde o kadar artar [13]. Ve bunun neticesinde malzemenin iç yapısında değişiklikler oluşur. Bu değişimlerin sonucunda özellikle çelik malzemelerde bazı hedefler amaçlanır.

- Malzemedeki yapının mukavemetinin artırılması
- Malzemenin yumuşatılması
- Korozyona karşı dayanım
- Malzemenin tane yapısını inceltmek ve küçültmek
- Dış etkenlere karşı dayanımını arttırmak
- İç gerilmelerin azaltılması
- Aşınma dayanımını arttırmak [14].

Isıtma işleminin faydalı olabilmesi için tav sıcaklığı ve soğutma süresi önemli bir parametredir.



Şekil 3.1. Isıl işlemde sıcaklık-zaman diyagramı [14].

Isıl işlem en az 3 evreden oluşur. Belirli bir sıcaklığa ısıtma, ısıtılan sıcaklıkta tutulma ve soğutma işlemidir [14]. Çeliklere uygulanan ısıl işlem aşamalarını tavlama, sertleştirme ve soğutma olarak adlandırabiliriz.

3.1. ÇELİKLERDE TAVLAMA İŞLEMLERİ

Tavlama işlemi çeliği daha verimli halde kullanabilmek adına yapılan genel olarak bir ısıtma işlemidir. İşlemin parametrelerine göre malzemeye imalat kabiliyetini arttırmak, iç gerilmeleri en aza indirmek gibi farklı özellikler kazandırılabilir [15]. Tavlama türleri uygulanan işlemin özelliklerine göre aşağıdaki gibi adlandırılmıştır [4].

- Homojenleştirme Tavı
- Tane İrileştirme Tavlama
- Gerilim Giderme Tavlama
- Yeniden Kristalleştirme Tavlama
- Normalizasyon Tavı
- Yumuşatma Tavı
- Küreselleştirme Tavı

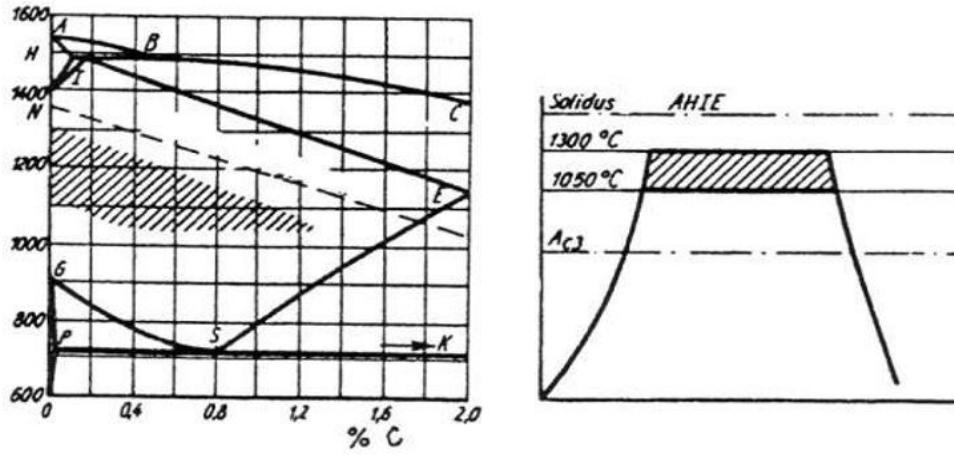
Bu işlemler genelde yüksek sıcaklığa dayanıklı fırınlarda yapılmaktadır.



Şekil 3.2. Tavlama fırını [16].

3.1.1. Homojenleştirme Tavı

Bu tavlama işleminde malzemenin sıcaklığı ortalama 1300°C de belli bir sürede tutulur. Soğutma işlemide yavaş bir şekilde yapılarak malzemedeki katılaşma sırasında meydana gelen segregasyonların (bölgesel bileşim farklılıkları) yok edilmesi amaçlanır.

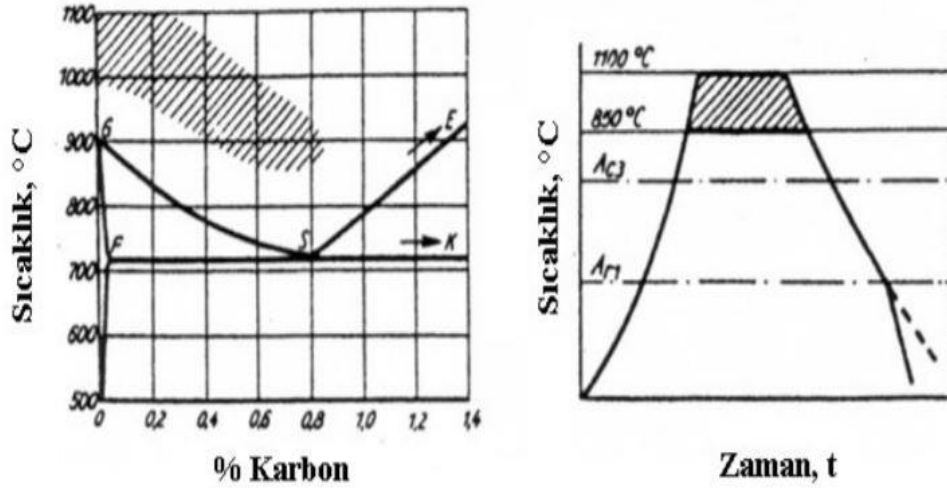


Şekil 3.3. Homojenleştirme tavı ısıl işlem diyagramı [14].

3.1.2. Tane İrileştirme Tavlaması

Adından da anlaşıldığı üzere bu tavlama türünde amaç çeliğin tane boyutunu büyütmektir. Tane boyutu büyüyen malzemede aynı zamanda yumuşama meydana gelir. Bu şekilde imalat kabiliyeti artar.

Bu tavlama malzeme ortalama 850 °C ile 1100°C arasındaki sıcaklıkta belirli bir saat fırında tutulur. Ardından diyagramda belirtilen A_{c1} sıcaklığına kadar yavaş bir soğuma yapılır. Bu işlemlerin ardından iri taneli olacak olan çelik, normalizasyon ile ince taneli hale dönüştürülebilir [14].

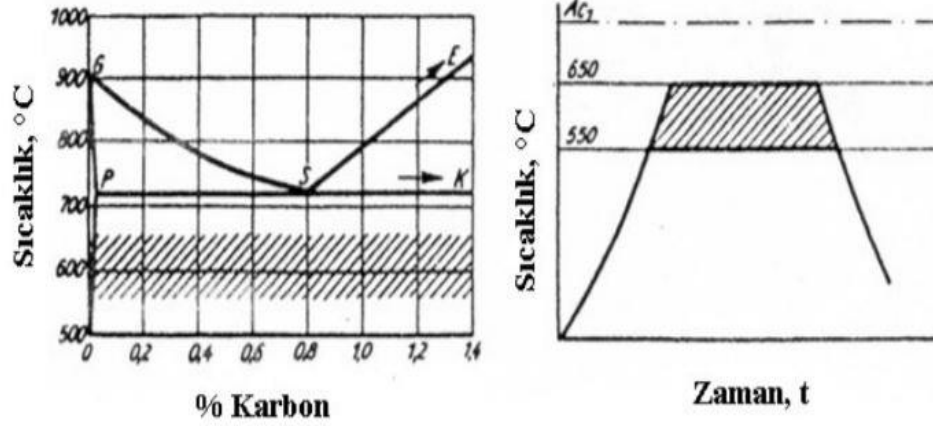


Şekil 3.4. Tane irileştirme tavlaması ısıl işlem diyagramı [14].

3.1.3. Gerilim Giderme Tavlaması

Çeliklerdeki ısıl işlemler ve şekil vermeler esnasında soğuk işlenen yüzeylerde gerilmeler veya deformeler oluşabilir. Bu gerilmeler malzemenin sürekli işlenebilirliğini giderek azaltabilir. Aynı zamanda gerilme oluşan malzemelerde ileriki ısıl işlemlerde eğrilmeler oluşabilir. Bu tavlamanın amacı bu gerilmeleri yok etmek veya en aza indirmektir [17].

Bu tavlama yöntemi çeliklerde 550-650°C arasında gerçekleştirilir. Malzemede tekrardan iç gerilmelerin önüne geçmek adına ısıtma ve soğutma yavaş bir şekilde yapılmalıdır.

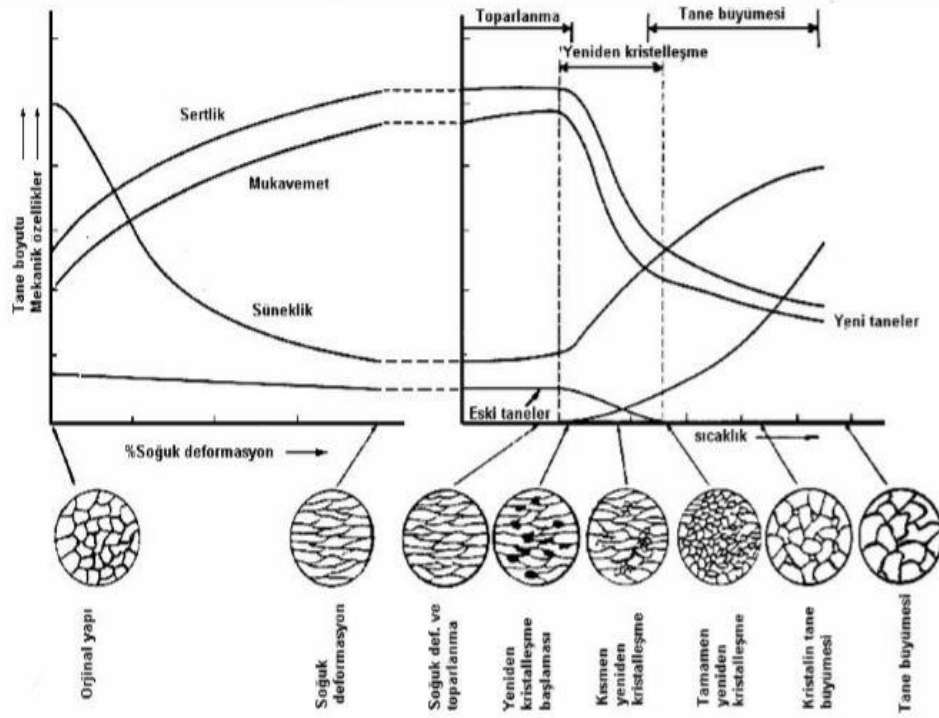


Şekil 3.5. Gerilim giderme tavlaması ısıl işlem diyagramı [14].

3.1.4. Yeniden Kristalleştirme (Rekristalizasyon) Tavlaması

Çeliklerdeki soğuk şekil değiştirmelerin ardından malzemelerin iç yapısındaki kristal ve tanelerde bozulma meydana gelebilir. Gerilmelerden dolayı malzemenin sertliğinde ve mukavemetinde artış görünürken, şekil alma kabiliyetinde azalma oluşur.

Yeniden kristalleştirme tavlama sayesinde sünekliği azalmış ve iç yapısında değişikliğe uğramış malzemeye ilk baştaki özellikleri yeniden kazandırılır [15]. Bu tavlama yoluyla iç yapıdaki taneler çekirdeklenerek büyüyen yeni taneler oluşur [18].

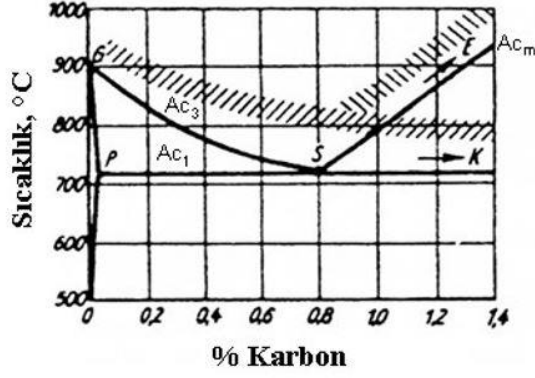


Şekil 3.6. Yeniden kristalleşme safhaları [15].

Bu tavlama yöntemi çeliklerde 600-700°C arasında gerçekleştirilir. Tavlamanın ardından ince taneler meydana gelir. Tavlama esnasında sıcaklık ve uygulanan zamanı belirlemek önemlidir. Uygun sıcaklık devam ettiği takdirde malzemede tane büyümesi oluşur [15]. Toparlanma safhasından sonra taneler yeniden oluştuğunda malzemenin mukavemet değeri azalırken süneklik değeri artar.

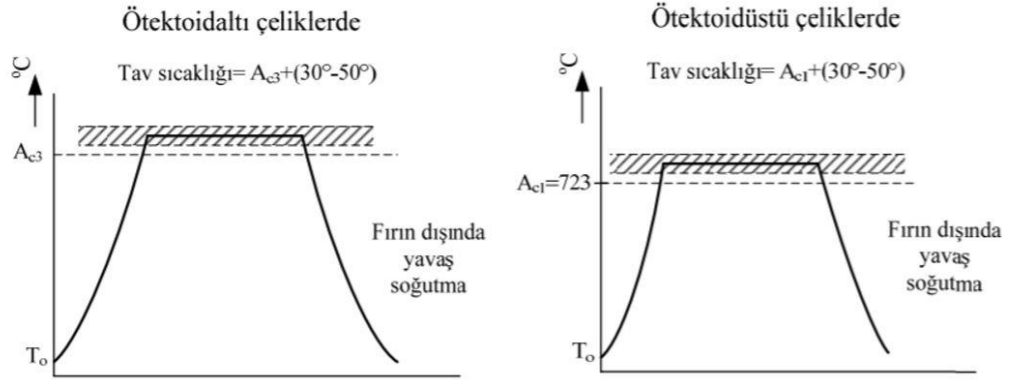
3.1.5. Normalizasyon Tavı

Genelde karbon ve düşük alaşımlı çeliklere uygulanan bu tavlamanın esas amacı tane yapısını homojen olan küçük taneli yapıları oluşturmaktır [17]. Malzemenin iç yapısını homojen hale getiren bu tavlamanın ardından mekanik özellikleri iyileşmiş, işlenebilirliği artmış ve ince taneli bir malzeme oluşur. Tane büyümesine sebep olduğu için tavlama esnasında belirli sıcaklıkta fazla tutulmamalıdır [14].



Şekil 3.7. Normalizasyon tavlama sıcaklık-çelik karbon oranı diyagramı [14].

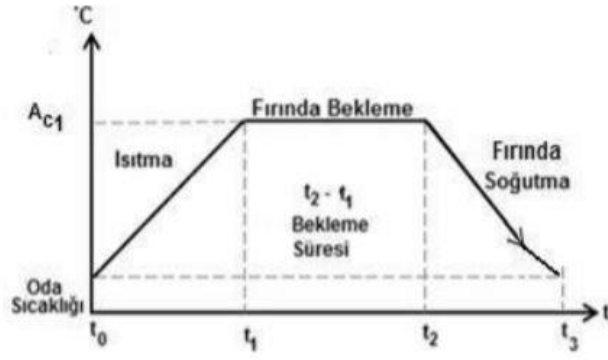
Bu tavlama malzeme tabloda verilen sıcaklık değerlerinin (A_{c3} ve A_{cm}) ortalama 50°C üstündeki rakamlara ulaşmasıyla fırında ısıtılır ve tavlama yapılır. Fırından çıkarılan malzemenin dışarıda soğuması beklenir [14].



Şekil 3.8. Normalizasyon tavlama sıcaklık-çelik karbon oranı diyagramı [18].

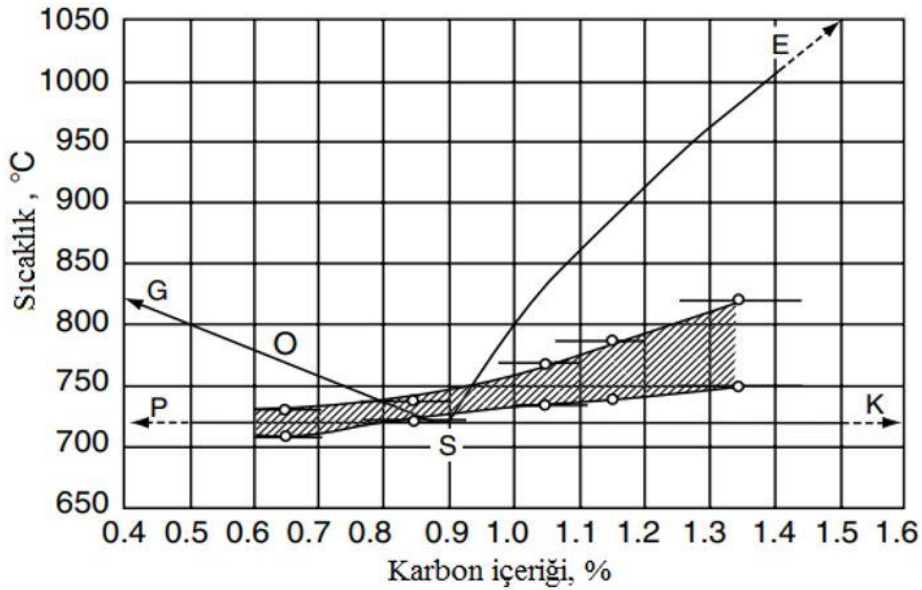
3.1.6. Yumuşatma Tavlama

Uygulanan malzemeyi yumuşatarak sertliğini azaltmak, tane boyutunu küçültmek, iç gerilmeleri yok etmek ve işlenebilirliği arttırmak amacıyla yapılır. Genelde sıcaklık A_{c1} değerinin altında veya üstündeki yakın derecelerde olur. Tavlamanın ardından soğutma yavaş bir şekilde fırında yapılmalıdır [19].



Şekil 3.9. Yumuşatma tavlama adımları [20].

Yumuşatma tavlama amaç ve uygulama yönüyle normalizasyon tavlama benzerlik gösterebilir. Fakat bu tavlama ısı işlem gören malzeme fırında çok yavaş bir şekilde soğutulurken normalizasyon tavlama malzeme havada soğutulur.



Şekil 3.10. Karbon içeriği %0,6–1,35 arasında olan alaşımsız çeliklerin olası sıcaklık değerleri [19].

Yukarıdaki şekilden de görüldüğü üzere yumuşatma tavlama yapılacak olan malzemedeki karbon içeriği % 0.6 dan yüksek olması beklenir. Şekilde karbon içeriği 0.6 ile 1.35 arasında bulunan çeliklerin tavlama gereken olası sıcaklık değerleri belirtilmiştir.

BÖLÜM 4

YÜZEY SERTLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

Yüzey sertleştirme işlemleri genel olarak sürtünme ve aşınmaya maruz kalan malzemelerin fiziksel ve kimyasal özelliklerini daha avantajlı ve yararlı hale getirmek için ısıtma işlemi uygulanarak yapılan iyileştirmelerdir [22]. Aynı zamanda bazı teknik faydaları aşağıda belirtilmiştir.

- Malzemenin mukavemet değerlerini artırır.
- Aşınma dirençlerini artırır.
- Tekrarlı yük altında maruz kalan malzemelerin yorulma dayanımlarını artırır.
- İç veya merkez bölgesi yumuşak olan malzemelerin dış yüzeylerinin sertliği artırır.
- Bir işte kullanılacak malzemenin tasarruf sağlar.

Yüzey sertleştirme işlemleri iki grup altında incelenebilir. Malzemenin kimyasal yapısını değiştirmeden yapılan yüzey sertleştirme işlemleri ve malzemenin kimyasal yapısını değiştirerek yapılan yüzey sertleştirme işlemleridir. Yüzey sertleştirme yöntemleri malzemenin türüne, yöntemin maliyetine, parçanın boyutlarına ve işin durumuna göre değişiklik gösterebilir [23].

4.1. MALZEMENİN KİMYASAL YAPISINI DEĞİŞTİRMEYEN YAPILAN YÜZEY SERTLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

Bu yöntemde parçanın kimyasal yapısı değiştirilmeden belirli bir yüzeyde sertleştirme yapılır. Sınırlanmış alan östenit fazına ulaşıncaya kadar ısıtılır. Ardından hızlı bir şekilde malzemenin yüzeyi soğutulur sadece ısıtılan bölgede fiziksel bir değişim sağlanır. Isıtılan bölgenin yüzeyinde martensit tabaka oluşur ve yüzey sertleşir. % 0.3 den fazla C oranı bulunan tüm demir esaslı malzemelere bu yöntem uygulanabilir.

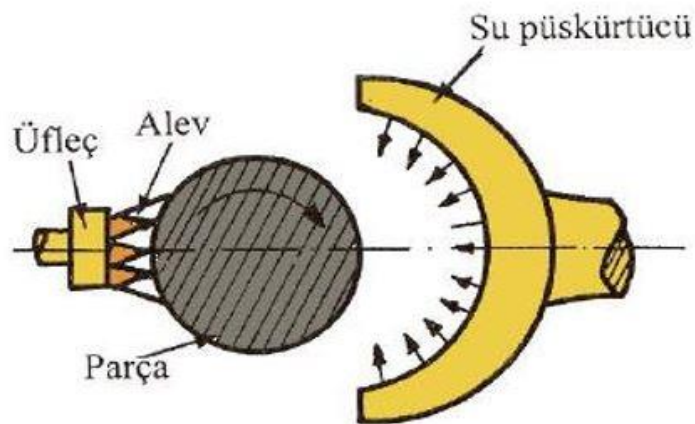
Yüzeyde yapılan işlemler ısıtma şekillerine göre şu şekilde adlandırılabilir.

- Alevle Sertleştirme
- Daldırma ile Sertleştirme
- İndüksiyonla Sertleştirme
- Lazer veya elektron ışınlarıyla sertleştirme [22].

4.1.1. Alevle Yüzey Sertleştirme Yöntemi

Bu yöntem maliyeti ve kolaylığı bakımından kimyasal yapısını değiştirmeden yüzey sertleştirme yöntemleri içerisinde tercih edilen bir yöntemdir. Aynı zamanda parçanın kesiti ne kadar çok büyük olursa bu yöntemin kullanışı da o kadar çok olan bir işlemdir [22]. Bu yöntemde yanıcı ve yakıcı gaz kullanılarak sertleştirme yapılır.

Alevle sertleştirme prensibinde belirlenen yüzey üfleçten çıkan alev ile östenit dönüşüm derecesine kadar ısıtılır. İç bölgelerin ısınmasına fırsat vermeden ısıtılan yüzey soğuk bir metalle kapatılarak veya su püskürtülerek hızlıca soğutulur [24]. Bu soğuma sonucunda yüzeyde martensitik bir yapı oluşurken iç kısmın ısınması önlediği için merkezi yumuşak yapıda kalır. Bu yöntem için genelde çeliklerdeki karbon oranı % 0.3 – 0.6 arasında olması beklenir. Alevle yüzey sertleştirmenin temel gösterimi şekil 4.1’ de belirtilmiştir.



Şekil 4.1. Alevle yüzey sertleştirme işleminin şematik gösterimi [23].

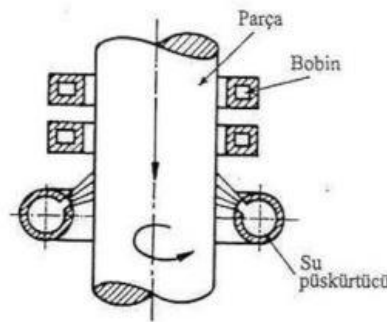
Alevle sertleştirmede sertleşmenin derinliği ısıtmanın süresine ve sıcaklığa göre değişiklik gösterebilir. Aynı zamanda parçanın boyutuna göre de alevin şiddetinde değişiklik yapılabilir. Küçük boyutlu malzemelere uygulanan alev şiddeti daha az olurken, malzemenin boyutu büyük olduğu takdirde alevin şiddeti artırılır [4].

4.1.2. Daldırma İle Yüzey Sertleştirme Yöntemi

Sertleşme derinliği ayarı açısından hassas bir yöntem değildir. Ostenitleşme sıcaklığının üzerinde sıcaklıklardaki ısıtma banyosunun içine daldırılarak, o sıcaklıkta bir süre bekletildikten sonra çıkarılıp ardından hızlı bir soğutma yapılması için soğutma banyosuna daldırılır. Yöntemde kullanılan ısıtma banyosu için metal banyosu, sıvı banyosu veya tuz kullanılabilir. Bu yöntem karmaşık yapılı ve bozuk yüzeyli parçalar için oldukça avantajlıdır. Aynı zamanda maliyet bakımından düşük olması ve üretim hızının yüksek olması daldırma ile sertleştirme yönteminin üstün yönlerindedir. Soğutma yapıldığı esnada banyoya daldırılan parçanın yüzeyinde karbon azalmasının meydana gelmesi, ısıtma banyosundaki metal parçaların yüzeye yapışması ve yüzeyde sertleşen tabakanın ölçüsünün ayarlanamaması ise daldırma ile sertleştirme yönteminin dezavantajlarından [22].

4.1.3. İndüksiyonla Yüzey Sertleştirme Yöntemi

İndüksiyonla yüzey sertleştirme işleminin temel prensibinde, değişkenlik gösteren bir manyetik alanın içindeki elektrik akımlarının parçanın yüzeyini ısıtarak yüzeyini sertleştirmesidir.



Şekil 4.2. İndüksiyonla yüzey sertleştirme işleminin şematik gösterimi [23].

Bu yöntemde malzeme içerisinde yüksek frekansta elektrik akımının geçtiği bir bobinin içerisine yerleştirilir. Bobinin içerisindeki manyetik alan indüksiyon akımı üretir. İndüksiyon akımı malzemenin yüzeyinden geçer. Yüzeyler bu akıma karşı direnç gösterir ve akımın geçtiği yüzeyler ısınmaya başlar [22,23]. Bu yöntem yatırım masrafı oldukça maliyetli olduğu için pek yaygın kullanılmamaktadır. Fakat parça sayısı çok fazla olduğu zaman uygun olabilir. Tıpkı alevle sertleştirmede olduğu gibi kolay bir yöntemdir ve otomasyon sistemleri kullanıldığı için kişisel beceriye pek fazla ihtiyaç yoktur. Bu sertleştirme yönteminde ısıtma süresi kısa olduğu için parçada tane irileşmesi veya çatlama olması önlenmektedir. Bu işlemin uygulandığı parçalardaki karbon miktarı alevle sertleştirmede olduğu gibi % 0.3 – 0.6 arasında olması beklenir. İndüksiyon ile yüzey sertleştirmenin tercih sebebi ise yüzeylerdeki sertleştirme derinliğinin en az değerlerde tutulabilmesidir. Bobin içerisindeki frekans değeri arttıkça elektrik enerjisinin yüzeyden merkeze girme değeri azalır. Elektrik enerjisinin girememesi sebebiyle frekans değerleri arttıkça sertleşme derinliği de azalır. Bu yüzden yüzeydeki sertleşen katmanın derinliğini en aza indirmek için frekansı arttırmak yeterli olacaktır. Bu yöntemde ısıtma süresi ise sertleştirme derinliği ile doğru orantılıdır.

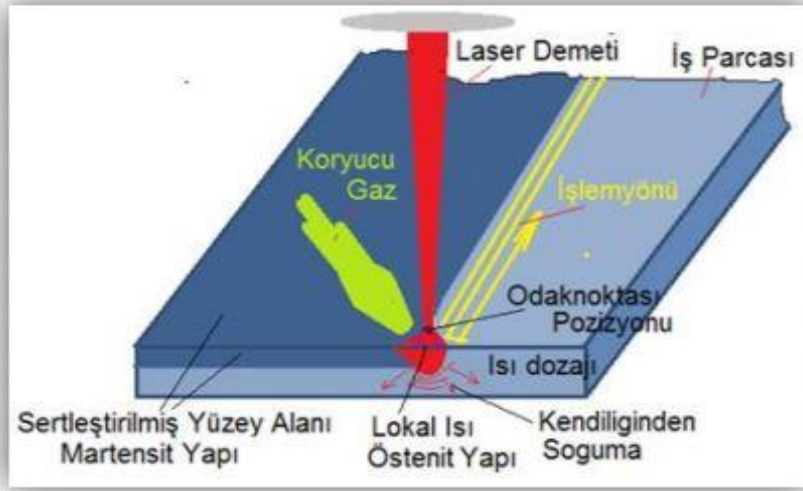
Çizelge 4.1. Frekans değerlerinin sertleştirme derinliğine etkisi [23].

Frekans (Hz)	Elektrik Enerjisinin Girme Derinliği(mm)	Sertleşme Derinliği (mm)
1.000	1,50	4,60 - 8,90
3.000	0,90	3,80 - 5,10
10.000	0,50	2,50 - 3,80
120.000	0,15	1,50 – 2,50
500.000	0,08	1,0 – 2,0
1.000.000	0,05	0,25 – 0,75

Yukarıda 4.1’ de verilen çizelgede frekans değerlerinin sertleştirme derinliğine etkisi gösterilmiştir.

4.1.4. Lazer Işınlarıyla Yüzey Sertleştirme

Teknolojik gelişmeler doğrultusunda malzemelerin yapılarının iyileştirilmesi amacı ile uygulanan işlemler çeşitlilik kazanmıştır. Malzemelerin yüzeylerini sertleştirmek için kullanılan gelişmelerden biriside lazer ışınlarıyla yüzey sertleştirmedir. Bu sertleştirme yönteminde de tıpkı indüksiyon ile sertleştirme yönteminde olduğu gibi otomasyon sistemi kullanılarak bölgesel yüzey sertleştirilmesi yapılabilmektedir. Özellikle sertleştirmeye dahil edilmek istenmeyen bölgelerin ayrı tutulmasında büyük bir rol oynayan bu yöntem gereksiz yere işlemleri engeller ve önüne geçer.



Şekil 4.3. Lazer yüzey sertleştirme yönteminin şematik gösterimi [26].

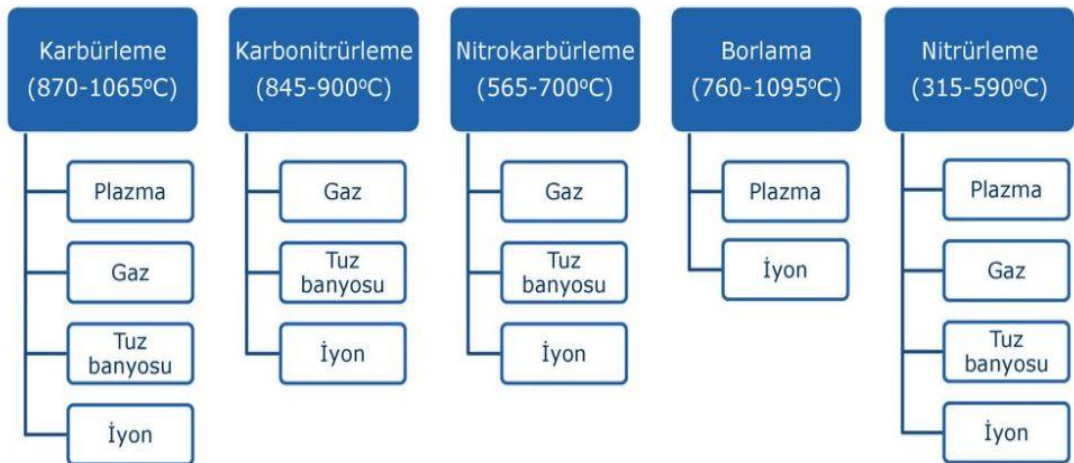
Parçanın yüzeyine gelen ısının kaynağı olarak kullanılan lazer ışınları bu yöntemin ana faktörüdür. Parçada oluşturulan sertleştirilmiş yüzey katmanı diğer yöntemlere göre daha ince yapılabilir. Aynı zamanda parçanın ulaşamayan noktalarındaki küçük kısımları da sertleştirebilme özelliğine sahiptir. Sertleştirme yapılan yüzey homojen yoğun bir hal alarak malzemenin gevrek olmasının da önüne geçer [24,25].

Bu yöntemde yüzeyin soğutulması diğer yöntemlere nazaran farklı şekilde gerçekleşir. Lazer demeti ile ısınan bölgenin östenitlenmesi sağlanır. Ardından ısınan yüzey dışarıdan herhangi bir malzemeye ihtiyaç duymadan malzemenin diğer bölgelerinden ısı iletimi sayesinde kendi kendini soğutma özelliğine sahiptir [4]. Gelişen teknolojiyle birlikte kullanılan lazerle yüzey sertleştirme diğer yöntemlere göre üstün yönlerinin bazıları da aşağıda belirtilmiştir.

- Daha pürüzsüz ve kaliteli yüzeyler elde etmesi.
- Sertleştirme işleminin daha hızlı yapılması.
- Büyük boyuttaki parçaların bölgesel sertleştirmelerinde diğer kısımlarını deforme etmemesi.
- Kişisel işçilik becerisi pek fazla istememesi [25].

Lazerle yüzey sertleştirme esnasında sertleşme parametreleri olarak lazerin gücü, etki süresi, uygulanan lazer ışınının şekli ve soğuma süresi değişiklik gösterebilir ve uygulanan çeliğin karbon oranının %0,3 den fazla olması gerekir [4].

4.2. MALZEMENİN KİMYASAL YAPISINI DEĞİŞTİREREK YAPILAN YÜZEY SERTLEŞTİRME YÖNTEMLERİ



Şekil 4.4. Termokimyasal yüzey sertleştirme yöntemleri şeması [25].

Bu yöntemde malzemenin kimyasal yapısını belli oranda değiştirerek sertleştirme yapılır. Bu sertleştirme yöntemlerinde malzemelere dışarıdan genelde C ve N elementleri eklenerek farklı malzemeler ile yapısı zenginleştirilir. Ardından yüzeyi sert ve içyapısı daha yumuşak bir parça elde edilir.

4.2.1. Karbürleme (Sementasyon)

Karbürleme %0,10 - 0,25 C'lu çeliklere yayınma derinliğine kadar olan bölgeyi karbon emdirilerek uygulanan bir termokimyasal yüzey sertleştirme işlemidir [28]. Termokimyasal yüzey sertleştirme işlemlerinden en yaygın kullanılan sementasyon işlemi ile düşük karbonlu malzemenin yüzeyinin karbonca zenginleştirilerek sertleştirilmesi sağlanır. Karbonun, istenen bölgeye kimyasal difüzyonunun ardından su verme işlemi ile malzemedeki karbon miktarı artarak gerekli istenen özellikler kazandırılır. Bu miktar genelde % 0.8 – 1 C seviyelerine yükselir. Parçadaki karbon oranının fazla olması yapıda oluşan sementit ağının yüzeyi çatlatmasına sebep olabilir. Bu sebeple sınırı aşmaması önemlidir [24].

Karbürleme yapılacak olan malzeme öncelikle karbon emdirme işlemi yapılabilmesi için östenit faz sıcaklık değerlerinde karbon verici ortamda malzemenin yüzeyine yaydırılarak karbonun malzemenin yüzeyine difüzyon işlemi beklenir. Karbon verilen ortam katı, sıvı ve gaz olabilir. Bu işlemlerin ardından parçaya su verilerek yüzeyin sertleştirilmesi sağlanır [24]. Karbürleme yöntemiyle malzemeye yüksek sertlik, aşınma direnci ve yorulma direnci kazandırılır. Yüzeyi sertleşen parçanın çekirdek yapısı yumuşak, tok ve ilk zamandaki karbon oranı (% 0.2) ile aynı kalır.

Karbürleme katı, sıvı veya gaz ortamlarda gerçekleşebilir. Ancak karbon verici ortam ne olursa olsun karbonun taşınımı gaz fazında gerçekleşir. Ortama göre sertliğin derinliği de değişiklik gösterebilir [22].

Karbürleme sırasında istenen sertlik derinliğinin ayarlanabilmesi için uygulanan sıcaklık ve süre önemlidir. Bu verilerin elde edilebilmesi için 4.1 deki denklem kullanılır.

$$SD = K \sqrt{t} \quad (4.1)$$

- SD : Sementasyon derinliği
- K : Sıcaklık ve difüzyon sabiti
- t : Sementasyon süresi [29].

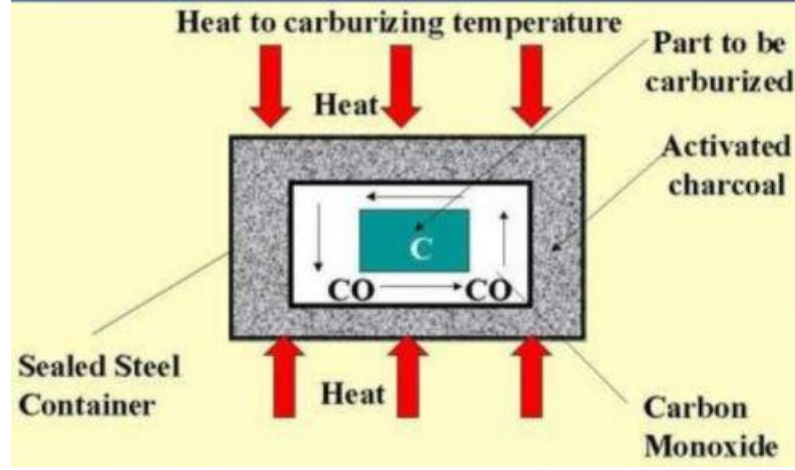
4.2.1.1. Katı Ortamda Karbürleme

Karbürleme yapılacak olan parçanın kutunun içerisinde bulunan bir karbon kaynağı ortamında ostenit faz sıcaklığına kadar ısıtılarak karbonun yüzeylere emdirilmesiyle yapılan bir yöntemdir. Kutu karbürleme için genellikle karbon kaynağı olarak odun kömürü kullanılır. Parçanın ortamda ısıtıldığı ortalama sıcaklık değerleri 850- 930 °C arasındadır. Kutu sementasyonlarında parçanın sertleşme derinliğine bağlı olarak ısıtılma süresi değişse de genelde bu süre 9- 10 saat civarındadır [22].

Kutu karbürleme de fırına verilen kutunun da sıcaklıktan etkilenmeyecek çelik veya demir olması gerekir. Fırının içerisine yerleştirilen kutuda gerekli önlemler alınmalı ve ağzı sıkıca kapatılmalıdır. Aşağıda verilen reaksiyon denklemine göre kutu içerisindeki kömür hava ile tepkime oluşturarak CO₂ meydana gelir. Meydana gelen karbondioksit gazı tekrar odun kömürü ile reaksiyona girer ve CO oluşur.



Ostenit faza ulaşan sıcaklık değerlerinin ardından ortamda bulunan CO içerisinden karbon atomu oluşur. Oluşan bu karbon yeterli sıcaklık seviyesine ulaşan parçanın yüzeyine yapışır ve parça tarafından emilir. Tüm bu reaksiyonların sonucunda parça karbonca zenginleştirilmiş olur [17]. Sementasyon esnasında ortamda bulunan oksijen gazının azalması ile gerekli gazlar üretilemeyeceğinden kömürün aktifleştirilmesi sağlanır. Ortama çoğunluğu BaCO₃ (Baryum karbonat) olmak üzere, Na₂CO₃ (Sodyum karbonat) ve CaCO₃ (Kalsiyum karbonat) gibi maddeler eklendiğinde tepkimede azalan karbondioksit gazı tekrar artacak ve tepkime devam edecektir [30].



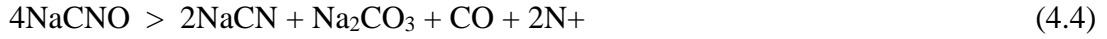
Şekil 4.5. Kutu karbürleme şematik gösterimi [31].

Bu yöntemin her çeşit fırında kullanılması, eğer yüzeyi sertleştirilecek parça sayıca az ve büyük ise ekonomik olması ve malzeme tedariki sıkıntısı olmaması gibi avantajları olduğu gibi; sertleştirmenin hassas olmayışı, yüzeye emdirilen karbon miktarının kontrolsüz olması ve soğuma ve ısınma sürelerindeki zamanın uzun sürmesi gibi dezavantajları bulunmaktadır [29].

4.2.1.2. Sıvı Ortamda Karbürleme

Sıvı ortamda yapılan karbürlemede, sementasyon yapılacak olan parçaya tuz banyoları içerisinde karbon emdirilir. Tıpkı kutu sementasyon gibi bu yöntemde de semente ısısı aynı sıcaklıklarda gerçekleşir. Buradaki fark ise sıvı tuz banyolarına NaCN (sodyum siyanür) veya KCN' nin (potasyum siyanür) eklenmesi sonucu karbon verici maddenin tepkime sonucu elde edilmesidir. Bu tuz maddelerine göre veya sıcaklığa göre sertleştirme derinlikleri değişkenlik göstermektedir [22]. Tuz banyosundaki tuzun cinsine göre yüzeydeki sertlik derinlikleri değişkenlik gösterir. Derinliği arttıran tuzlu sıvı ortamında eklenen siyanür miktarının %10 seviyelerinde olması ve sıcaklığın 899 – 954 °C arasında tutulması durumunda parçadaki sementasyon derinliği yaklaşık 3 mm seviyelerine ulaşır. Derinliği azaltan tuzlu sıvı ortamında ise eklenen siyanürün % 20 seviyesine çıkartılması ve sıcaklık seviyesinin de azaltılarak 843 – 899 °C ye düşürülmesi ile sementasyon derinlik miktarı 0.9 mm de olur.





Ortamda bulunan oksijen ile siyanür tuzunun tepkimeye girmesi sonucu NaCNO (sodyum siyanat) açığa çıkar. Bu madde ayrıışarak atom halde azot ve karbon oluşur. Parça östenit faza ulaşan sıcaklık değerlerinin ardından bünyesi karbonca zenginleşirken bir miktarda azot emilimi yapar. Sıvı ortama girmeden önce parçanın ön tavlama yapılması bu yöntemin önemli tavsiyelerinden biridir. Ortalama 100- 400 °C arasında ısıtıldıktan sonra parça tuz banyosuna koyulur [17].

Parçanın katı karbürlemeye oranla daha kısa süreli tutulması bu yöntemin avantajlarından. Ve aynı zamanda bu yöntemin temizliği daha kolaydır. Yöntemde kullanılan siyanür tuzunun ise zehirli madde olması ve yatırımın masrafının nispeten maliyetli olması önemli dezavantajlarıdır.

4.2.1.3. Gaz Ortamda Karbürleme

Teknolojik gelişmeler doğrultusunda son yıllarda gaz ile karbürleme oldukça önemli bir hale gelmiştir. Bu yöntemde etan (C₂H₆), metan (CH₄), propan (C₃H₈), havagazı gibi hidrokarbon gaz karışımları karbon verici olarak kullanılır. Bu gazların yanma ürünleri (CO₂, CO) ile reaksiyona girmesi sonucunda ortaya çıkan atom haldeki karbon östenit fazdaki sıcaklık değerine ulaşmış parçaya nüfuz ederek termokimyasal sertleştirme gerçekleşmiş olur [17]. Ardından parçaya su verme işlemi yapılarak yüzeydeki istenen sertlik ve içyapıdaki tokluk sağlanmış olur.



[17].



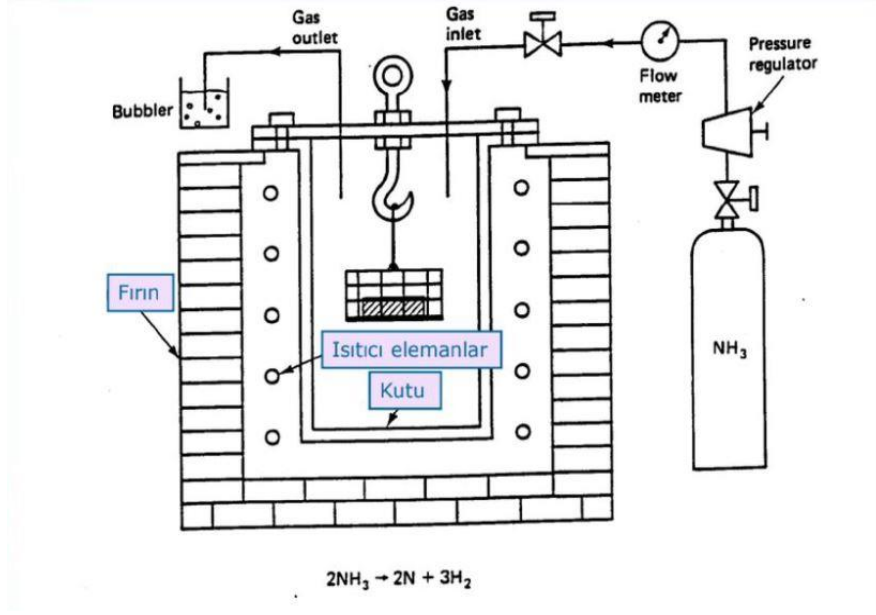
Şekil 4.6. Yüksek basınçlı gaz ile sertleştirme fırını [33].

Yatırım masraflarının yüksek olması ve karbon verici gazların maliyetli olması bu yöntemin dezavantajı iken; işlem süresinin kısalığı, herhangi bir uygulama bölge sınırı olmaması, yüzey kalitesinin verimliliğinin iyi olması ve tekrar kullanımının mümkün olması bu yöntemin avantajlarını bize sunar [32].

4.2.2. Nitrürleme (Nitrürasyon)

Nitrürleme işlemi genel olarak düşük karbonlu çeliklere ve Al, Cr, Mo, V, Ti gibi nitrür oluşturma özelliğine sahip elementlerin olduğu çeliklerin yüzeyini azot ile zenginleştirerek uygulanan bir termokimyasal yüzey sertleştirme işlemidir. Bu yöntem 450-500 °C sıcaklıktaki parçanın azot verici bir ortamda yaklaşık 40-100 saat arası bir süreyle ısıtılması sonucunda meydana gelir [23]. Nitrürasyon işlemi tuz banyosunda veya amonyak gazı uygulanan fırın ortamında gerçekleşir. Amonyak (NH₃) ayrışarak azot ve hidrojen atomu açığa çıkar. Ardından atom halde bulunan azot parçanın yüzeyine difüzyon ile yayılım sağlar [4].





Şekil 4.7. Nitrürleme işleminin şematik gösterimi [25].

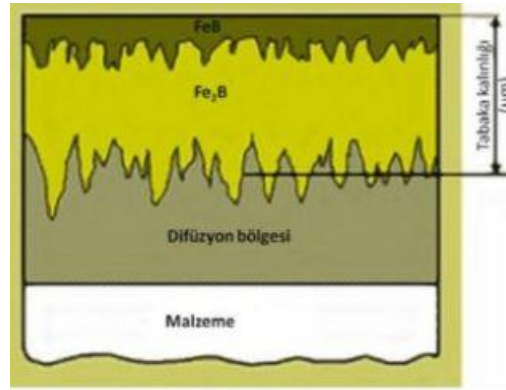
Nitrürleme işleminde karbürleme yönteminden farklı olarak parçanın su verme ile soğuması beklenmez. Buda malzemenin yüzeyinde çarpılma meydana gelmesini en aza indirir. Aynı zamanda bu yöntemde çeliklerin nitrürleme işlemi öncesinde merkezdeki çekirdek dayanımını yükseltmek için parçaların ısıtılmasına sokulması gerekir [4]. Nitrürasyon işlemi geçiren malzemelerin diğer bazı avantajları aşağıda belirtilmiştir.

- Yorulma dayanımında artış
- Korozyon direncinin daha iyi olması
- Aşınma direncinde artış
- Yüzey sertliğinde artış
- Daha düşük sıcaklıklarda gerçekleşmesi [25].

Yukarıdaki avantajları olduğu gibi azotun çelik içerisindeki difüzyonu yavaş olduğundan dolayı arzu edilen sertliğin oluşabilmesi için uzun süre tavlanması ve siyanür banyolarının zehirli maddesinden dolayı riskleri de dezavantajlarındandır [23].

4.2.3. Borlama

Temel ana maddesi bor olan bu yüzey sertleştirme işleminde belirli sıcaklığa ulaşmış (850-900 °C) parçaya katı, sıvı ve gaz ortamlarında bor verilerek sertleştirme sağlanır. Bor verici olarak boraks, borkarbür (B_4C) gibi maddeler kullanılabilir [25]. Farklı karbon oranı içeren çelik malzemelere uygulanabildiği gibi tüm demir alaşımlarına uygulanabilmesi bu termokimyasal sertleştirme işlemini önemli kılar. Bu yöntemde karbürleme ve nitrürlemenin çok üstünde bir yüzey sertliği (1500-2000 HV) oluşur. Hem yüksek sertlikte olması hem de sürtünme katsayısının az olması sebebiyle uygulanan malzemenin yorulma ve aşınma özelliklerini iyileştirir. Borlama yöntemi hassas bir işçilik gerektirdiği için maliyeti karbürleme ve nitrürlemeye oranla daha fazla olabilir [22].



Şekil 4.8. Borlama şematik gösterimi [25].

Borlama sırasında borun parçanın yüzeyine yayılması sonucunda üst bölgede borlu bölge oluşur. Bu bölgede Fe_2B veya FeB fazları oluşabilir. İki demirborür fazlarında oluşması pek istenmez. Fe_2B fazı FeB fazına oranla daha çok aşınma direncine sahipken hem de FeB fazı daha gevrek yapıdadır. Aynı zamanda Fe_2B fazı bası gerilmesi oluşturduğu için olması arzu edilirken FeB fazı çeki gerilmesi sebebiyle istenmez [25].

BÖLÜM 5

ÇELİKLER

5.1. ÇELİĞİN TANIMI

Günümüzde özellikle üretim sektörünün neredeyse tamamında kullanılan çelik, bir demir karbon alaşımıdır. Ham demirin içerisinde belli oranlarda karbon, silisyum, mangan, kükürt, fosfor, elementleri bulunmaktadır. Bu katkı maddesi olan elementler belli oranlarda demirin içerisinde yakılarak çıkarılır. Çizelge 5.1’de belirtilen değerlerde ham demirdeki elementlerin azaltılmasıyla ortaya çelik ürünü çıkmaktadır [14].

Çizelge 5.1. Ham demir ve çelik alaşım oranları [14].

Elementler	%C	%Si	%Mn	%P	%S
Ham Demir	3,60	0,40	0,60	1,90	0,05
Çelik	0,17	0,20	0,20	0,03	0,03

Ham demirde bulunan % 3.60 oranındaki karbon ve diğer bazı elementlerin bulunması malzemenin kırılgan ve dayanıksız olmasına neden olur. Bu zararlı elementler demirden ayrıştırılarak ve karbon oranı azaltılarak demire üstün özellikler kazandırılmış çelik ortaya çıkar. Ham demirde bulunan mangan ve silisyumun % 0.8 den yüksek olmamak şartıyla bulunması faydalıdır. Ancak kükürt ve fosforun her miktarı zararlıdır ve en az indirmek gerekir [12].

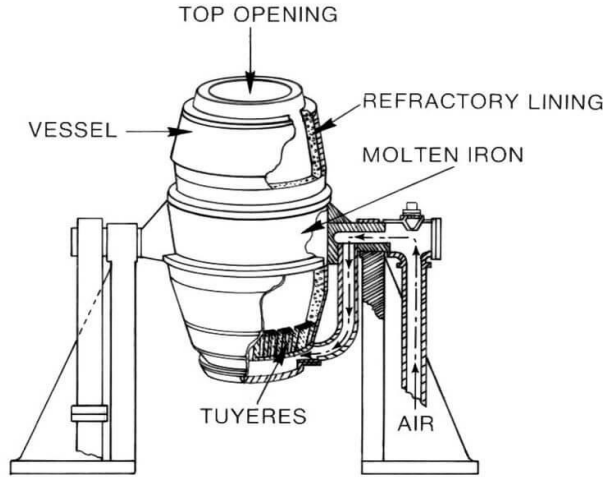
5.2. ÇELİK ÜRETİM YÖNTEMLERİ

Ham demirin içerisinde belli oranlarda zarar verebilecek elementler hava ve oksijen ile birlikte yakılarak çıkarılır. Bu oksidasyon ya da yükseltgenme tepkimesi işlemine üfleme adı verilir. Oksijenin verilme yöntemine göre üretim yöntemleri belirlenir. Çeliğin üretim yöntemleri aşağıda verilmiştir [12].

- Bessemer – Thomas Yöntemi
- Siemens – Martin Yöntemi
- Oksijen Üfleme Yöntemi
- Elektro – Çelik Yöntemi

5.2.1. Bessemer – Thomas Çelik Üretim Yöntemi

İlk olarak yapılan maliyeti düşük ve kolay çelik üretim yöntemidir. Prensipinde ergimiş demir içerisine üflenen havanın zararlı kimyasalları azaltması veya gidermesi olarak bilinir.



Şekil 5.1. Konvertör kab [34].

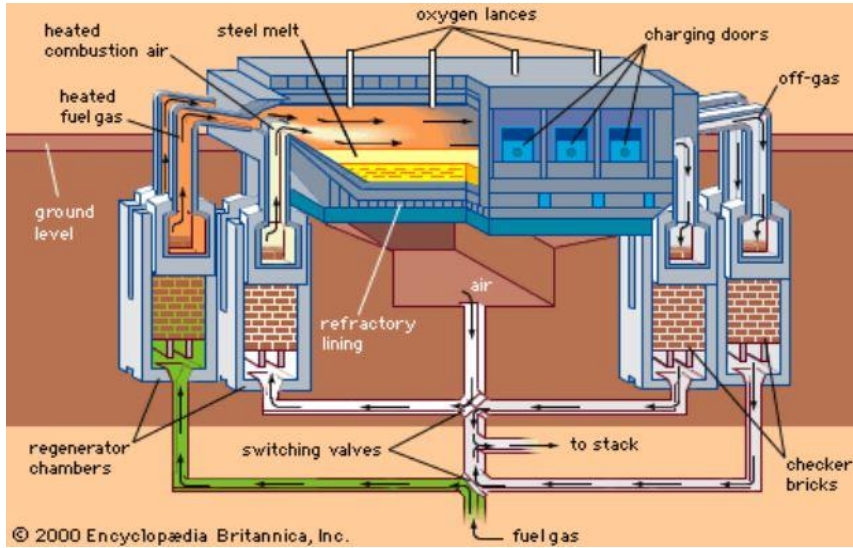
Bu yöntemde reaksiyonlar pota şeklindeki konvertör denilen ve içi özel malzemelerle yapılmış bir kaptaki meydana gelir.

Tek eksen etrafında dönebilen bu kap 25-100 ton arası ham demir alabilir. Havadan üflenen oksijen ile konvertörde yanma gerçekleşir ve içerisindeki karbon yanar. Ham demirde bulunan kükürt ve fosfor sebebiyle tam yanma gerçekleşemez ardından kırılabilirlik ve şekillendirme özelliğinin olumsuz yönleri görülür.

Bessemer'in bu olumsuz yönlerin giderilmesi amacıyla Thomas ise konvertörün yanma gerçekleşen iç kısmındaki tuğla malzemelerinde değişikliğe gitmiş ve yüksek sıcaklıklara dayanan malzemeler ile kaplamıştır [12].

5.2.2. Siemens – Martin Çelik Üretim Yöntemi

Bu yöntemde ham demir kapasitesi 300 tona kadar çıkabilmektedir. Aynı zamanda demirlerin yakıldığı fırınlar sabit ve devrilebilir şekilde tasarlanmıştır. Üretilen çelikteki fosfor oranı Bessemer – Thomas yöntemine nazaran daha azdır. Aynı zamanda işlemin yavaş bir şekilde gerçekleşmesi çeliğin bileşiminin izlenebilirliğini bize sağlarken diğer yandan da üretim hızında düşüklüğe sebep olmaktadır. Bununla birlikte kurulumu ve üretim aşaması maliyet gerektiren bir sistemdir [35].



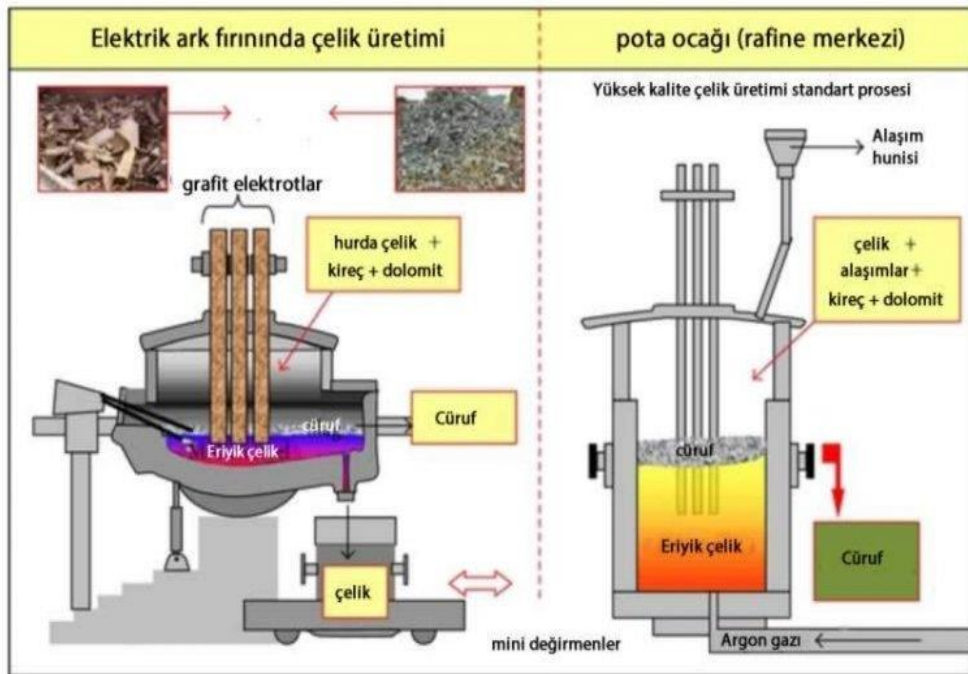
Şekil 5.2. Siemens – Martin çelik üretim şeması [35].

5.2.3. Oksijen Üfleme Çelik Üretim Yöntemi

Bessemer – Thomas çelik üretim yöntemlerindeki yüksek miktarlarda fosfor ve azot gibi zararlı maddelerin azaltılması için çalışmalar geliştirilmiştir. Bu yöntemde diğerlerinin aksine üst taraftan boru ile oksijen üflenir. Çelik üretimi oksijen üflenerek oluştuğu için bu adı almıştır. Çelik üretim üstünlüğü diğer yöntemlere göre daha verimlidir [12].

5.2.4. Elektro – Çelik Üretim Yöntemi

Bu yöntemde ham demirler ve hurdalar elektrik ark fırınlarında çeliğe dönüştürülür. Sadece ham demirler dönüştürülmek ile kalmayıp çeliklerde bu fırınlarda yüksek kaliteli çelik olarak dönüşüm geçirir. Oldukça modern bir üretim olan ve günümüzde en çok kullanılan yöntemlerinden biri olan bu fırınlarda kısa sürede katı madde eritilir. Ortalama olarak 50-150 ton arasında üretim kapasitesine sahip olan bu ark fırınlarında sıcaklık 1600 °C'nin üzerine ulaşmaktadır.

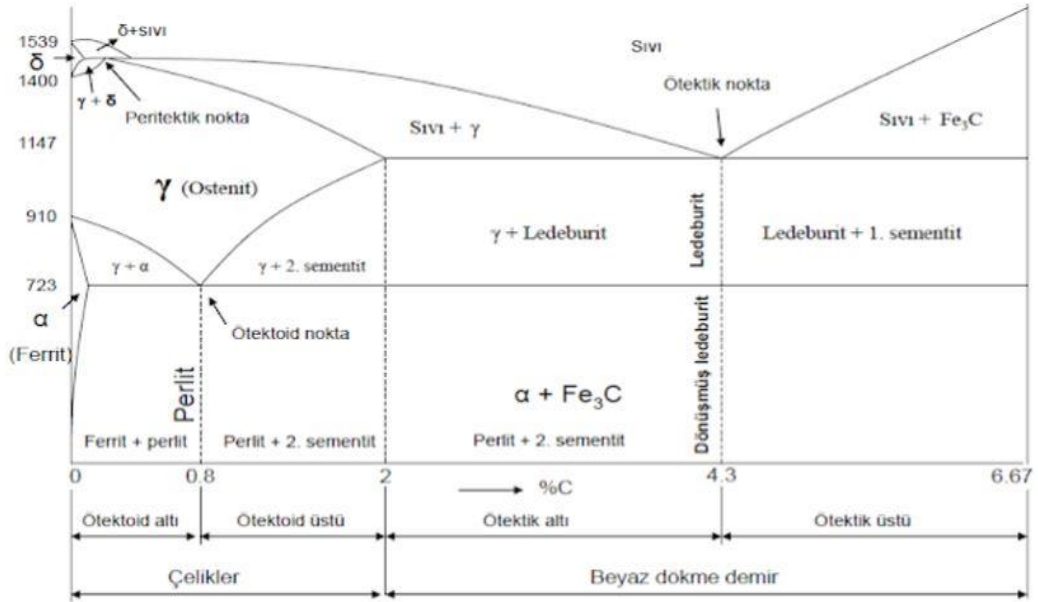


Şekil 5.3. Elektrik ark fırınlarında çelik üretim şeması [36].

Dönüşüm geçirecek olan malzemeler öncelikle elektrik ark fırınına yüklenir. Üzerinde grafit elektrotların bulunduğu kapak kapatılır. Elektrotlara verilen akım ile ortaya çıkan ısı sayesinde fırının içindeki malzemelere ergitme işlemi yapılır.

5.3. ÇELİK YAPILARI

Çelikler yapılarında bulunan karbon oranına ve faz dönüşüm sıcaklıklarına göre ferrit, östenit, perlit, sementit, martenzit, ledeburit gibi yapılardan oluşmaktadır.

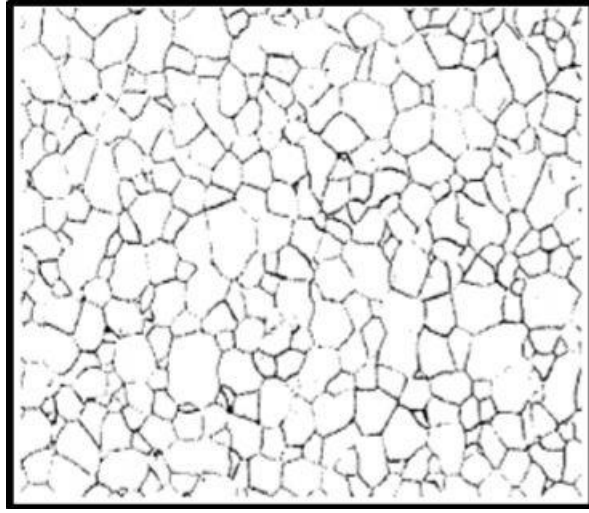


Şekil 5.4. Demir – Karbon denge diyagramı [4].

Şekil 5.4’ de gösterilen demir – karbon denge diyagramında üç reaksiyon noktası bulunmaktadır. Bunlar ötektoid, ötektik ve peritektik noktalarıdır. Bu noktaların sıcaklıkları sırasıyla 723 °C, 1147°C ve 1495 °C dir. Yapısında bulunan karbon oranı %2 den düşük olan malzemeler çelik, daha fazla orandakiler ise dökme demir olarak adlandırılmaktadır. Çelik malzemelerde ise % 0.8 den daha az karbon oranı bulunanlara ötektoid altı çelikler, %0.8 oranda karbon bulunanlara ötektoid çelikler, %0.8 – 2 arasındakiler ise ötektoid üstü çelikler olarak bilinir. Günümüzde genelde üretim piyasasında kullanılan çelikler ötektoid altı çeliklerdir. Karbon oranları % 1.2 leri geçen çelikler daha kırılgan yapıya sahip olduklarından üretim azdır [23, 24].

5.3.1. Ferrit

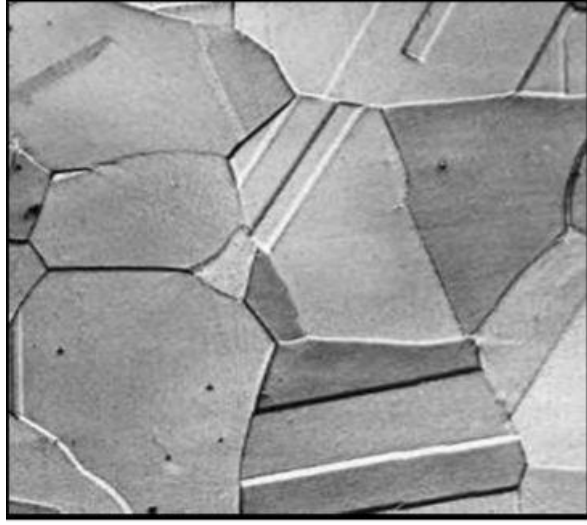
Şekil 5.4'deki diyagramda α ile gösterilen hacim merkezli kübik (HMK) yapıda olan bu katı eriyik yapı arayer atomu olarak bulunmaktadır. 0 °C de ferritte maksimum eriyebilecek karbon miktarı % 0.008 iken 723 °C de karbonun çözünme oranı en fazla % 0,02 dir ve çeliğin sertlik olarak en yumuşak fazı durumundadır [17]. Bu fazda karbon miktarı az olduğu için aynı zamanda süneklilik ve tokluk durumu iyidir.



Şekil 5.5. Ferrit fazının yapısı [4].

5.3.2. Östenit

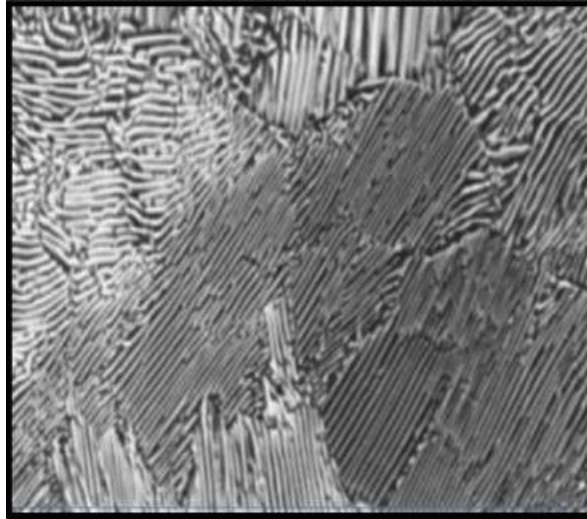
Demir- Karbon diyagramında γ ile gösterilen yüzey merkezli kübik (YMK) yapıda olan fazdır. Karbonun çözünme oranı ferrite oranla daha yüksek olan bu yapıda 723 °C de karbonun çözünme miktarı % 0.8 iken ötektik reaksiyonun gerçekleştiği sıcaklık olan 1147 °C de maksimum % 2.1 dir. Sertliği ve tokluğu oldukça yüksektir [18].



Şekil 5.6. Östenit fazının yapısı [4].

5.3.3. Sementit

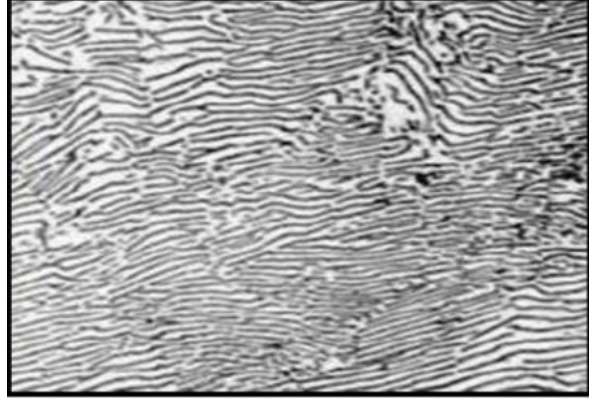
Yapısında % 6.67 oranından karbon bulunduran demir karbür (Fe_3C) bileşimidir. İçerdiği yüksek karbon miktarı sebebi ile sertliği en yüksek faz olup aynı zamanda kırılgan bir yapıdadır. Çekme dayanımı düşük iken basma dayanımı buna nazaran yüksektir. Kristal yapısı ortorombiktir.



Şekil 5.7. Sementit fazının yapısı [4].

5.3.4. Perlit

Ferrit ve sementitden oluşan perlit içeriğinde % 0.8 karbon olan çeliğin östenit fazdan yavaş soğutulması ile 723 °C de meydana gelen bir yapıdır. Sertlik durumu ferrit ile östenit arasında değerlendirilebilir.

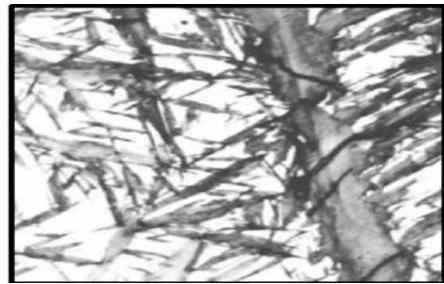
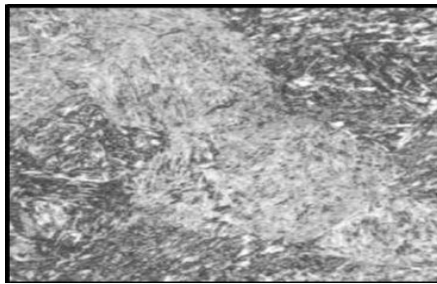


Şekil 5.8. Perlit fazının yapısı [4].

5.3.5. Martenzit

Östenit fazının hızlı soğuması ile elde edilen martenzit yapı oldukça sert ve kırılımandır. Karbon miktarı olarak doygunluk seviyesindedir. İçerdiği karbon oranına göre çıta ve tabakalı olarak iki martenzit yapıya ayrılır.

- % 0.6 oranında karbonda çıta martenzit
- % 0.6 – 1 arasındaki karbon oranında çıta ve tabakalı martenzit
- % 1 den fazla orandaki karbonda tabakalı martenzit olarak sınıflandırılır [4].

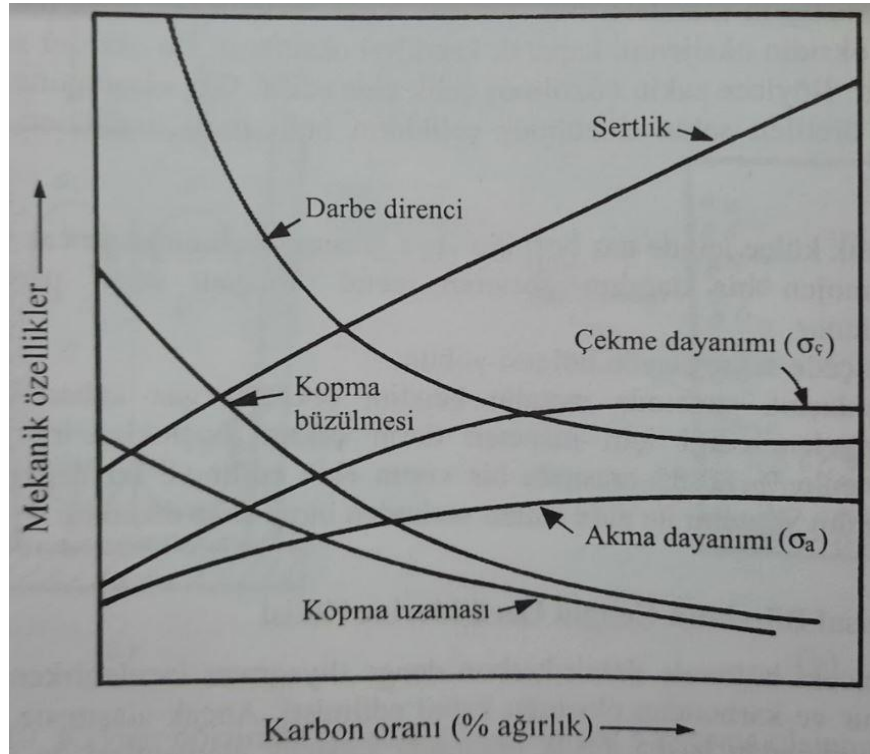


Şekil 5.9. Çıta ve tabakalı martenzit yapılar [4].

5.4. ÇELİKLERİN SINIFLANDIRILMASI

Çelikler çeşitleri özelliklerine göre sınıflandırılır. Bu sınıflandırma yöntemleri; üretim şekline, kullanım alanlarına, kimyasal içeriğine, ana katkı maddesine, mikroyapılarına, kalite durumuna ve sertleştirme ortamına göre gibi çeşitli sınıflandırmalardır [37].

Çeliklerin bir çok yapısal ve mekanik özelliklerine en fazla katkısı olan alaşım elementi karbondur. Bu etkiler şekil 5.10' da gösterilmiştir. Malzemedeki kopma uzaması, sertlik, darbe direnci, akma dayanımı, çekme dayanımı, kopma büzülmesi gibi yapısal ve mekanik özellikler karbon oranına göre değişim gösterir. İçerdiği karbon ve diğer alaşım elementlerinin miktarına göre kimyasal bileşimlerine göre alaşımlı ve alaşımsız çelikler olarak gruplandırırız.



Şekil 5.10. Karbon oranının, çeliğin mekanik özelliklerine etkisi [23].

5.4.1. Alaşımsız Çelikler (Sade Karbonlu Çelikler)

Alaşımsız çelikler yapısında karbon elementinin yanı sıra silisyum (% 0,5), mangan (% 0,8), alüminyum (% 0,1), bakır (% 0,25), fosfor (% 0,09) ve kükürt (% 0,06) gibi belirtilen oranlardaki üst sınırlarda alaşım elementleride bulunduran çeliklerdir. Bu çelikler kolay şekillendirilebilir ve maliyetleri ucuzdur. Bu nedenle günümüz üretim endüstrisindeki çoğu çelik malzemeler bu tiptedir. Korozyon dirençleri ve sertleşme yetenekleri düşük olan alaşımsız çelikler karbon miktarına göre kendi içlerinde düşük karbonlu (% 0,05 - 0,3), orta karbonlu (% 0,3 – 0,8) ve yüksek karbonlu çelikler (% 0,8 - 1,7) olarak ayrılırlar.

Çelik üretiminden kalan bir alaşım elementi olarak bulunan kükürt darbe dayanımını azaltmak ve kaynak işçiliğini zorlaştırmak gibi olumsuz yanları bulunsada kükürt oranının belli oranda artırılması takımın aşınmasını engeller. Fakat yinede kükürtün ortamdaki uzaklaştırılması istenir. Mangan bütün sade karbonlu çeliklerde bulunur. Çeliğin döküm kalitesini daha iyi hale getirir ve çeliğe eklenen kükürt elementinin FeS bileşiği oluşturmaya engel olarak sıcak kırılma eğiliminin oluşmasını ve kükürtün olumsuz etkisini azaltır. Fosforun yüksek oranlarda bulunması çelik malzemedeki sünekliliği azaltarak çatlamaya yol açabilir. Ancak fosforun belli oranların (% 0,04) altında tutulması çeliğin sertliğini artırır. Silisyum sıvı çelikte oksijen azaltıcı olarak görev alır ve bu sebebiyle çeliğin kalitesini iyileştirmiş olur. Bakır alaşım elementi akma ve çekme dayanımını artırırken çeliğin şekil alma kabiliyetini azaltır. Bazen korozyon direncini arttırdığıda tespit edilmiştir [14].

5.4.2. Alaşımli Çelikler

Alaşımsız çeliklerdeki bazı eksiklikleri gidermek için ilave olarak alaşım elementi eklenmesi ile oluşan çeliklere alaşımli çelikler denir. Az alaşımli çelikler ve yüksek alaşımli çelikler olmak üzere 2 gruba ayrılır. İçerdiği alaşım elementi miktarı % 5 den daha az olan çelikler az alaşımli olarak adlandırılırken, alaşım elementi miktarı % 5 den fazla olanlar yüksek alaşımli çelikler olarak adlandırılır.

Bir çeliğin alaşımlı çelik olduğuna karar verilebilmesi için karbon elementi dışında diğer içerdiği alaşım elementi miktarları da önemlidir. Çizelge 5.1’de gösterildiği üzere alaşımlı çeliklerin element değerlerinin minimum alt sınırları verilmiştir.

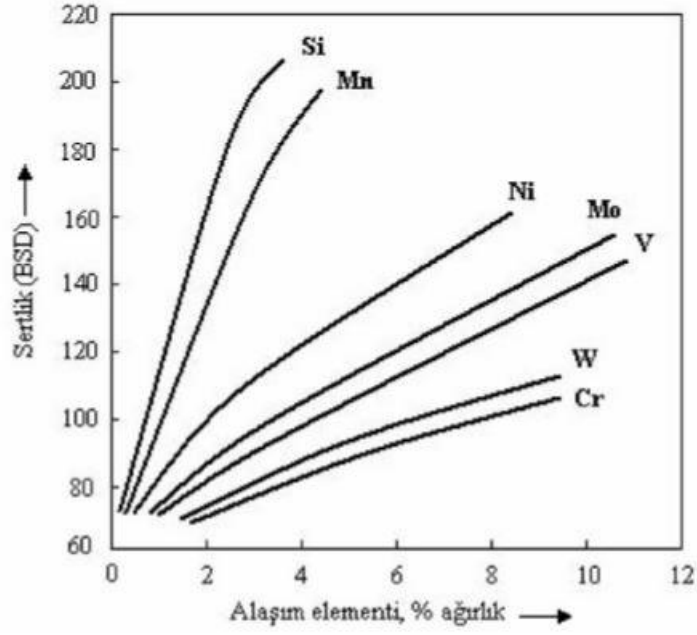
Çizelge 5.2. Alaşımlı çeliklerin element değerlerinin alt sınır oranları [38].

Element	Alt Sınır (% Ağırlık)	Element	Alt Sınır (% Ağırlık)	Element	Alt Sınır (% Ağırlık)
Alüminyum	0.10	Mangan	1.60	Vanadyum	0.10
Bakır	0.40	Molibden	0.08	Volfram	0.10
Bor	0.0008	Nikel	0.30	Zirkonyum	0.05
Bizmut	0.10	Niyobyum	0.05	Diğerleri (Karbon, fosfor, kükürt, azot ve oksijen dışında)	0.05
Kobalt	0.10	Selenyum	0.10		
Krom	0.30	Silisyum	0.10		
Kurşun	0.40	Tellür	0.10		
Lantanitler	0.05	Titanyum	0.05		

Çeliğe eklenen bu alaşım elementlerinin genel olarak mekanik ve yapısal faydaları aşağıda belirtilmiştir.

- Alaşımsız çeliklere oranla alaşımlı çeliklerde daha hızlı soğuma yapılarak martensitik yapı daha kolay elde edilir.
- Darbe dayanımlarında önemli ölçüde artma görülür.
- Alaşım elementi eklenerek çeliğin korozyon direncinde yükselme sağlanabilir.
- Alaşımlı çelikler yüksek veya düşük sıcaklıklarda mekanik özelliklerini büyük oranda muhafaza ederler.
- Aşınma direnci ve yorulma dayanımında belli alaşım elementlerinin ilavesi ile artış sağlanır.
- Sade karbonlu çeliklerde tam sağlanamayan hem yüksek mukavemet hem de sertlik istenilen durumlarda alaşım elementlerinin ilavesi fayda sağlar [14].

Şekil 5.11’ de bazı alaşım elementlerinin çeliklerde sertliğe etkisi görülmektedir.



Şekil 5.11. Alaşım element oranlarının çeliğin sertliğine etkisi [14].

5.4.3. Genel Yapı Çelikleri

Genellikle alaşımsız çelik olarak bilinen yapı çelikleri çekme ve akma dayanımları dikkate alınarak imalat ve yapı gibi birçok alanda tercih edilir. Mekanik özellikleri büyük oranda karbon miktarına bağlı olan bu çeliklerin diğer tercih edilen özellikleri aşağıda belirtilmiştir.

- İyi kaynak yapılabilmesi
- İyi şekil verilebilirlik ve işlenebilirlik
- Gevrek kırılmaya karşı dayanım
- Darbe dayanımının uygunluğu [39].

Genel yapı çeliklerinin içerdiği alaşım elementlerinin oranları ve mekanik özellikleri şekil 5.12 ve şekil 5.13' te gösterilmiştir.

GENEL YAPI ÇELİKLERİ VE BİLEŞİMLERİ												
Malz. No.	DIN (Eski)	DIN (Yeni)	SAE / AISI	DEOKSİDASYON	ISIL	KİMYASAL BİLEŞİM (max % ağırlık)						
				ŞEKLİ	İŞLEM	C	MNmax	Pmax	Smax	Nmax	Almax	
1.0035	St 33	S185	-	-	U,N	-	-	-	-	-	-	-
1.0037	St 37-2	S235JR	-	-	U,N	0.17max	1.40max	0.045	0.045	0.009	-	-
1.0036	USt 37-2	S235JRG1	A570Gr.33,36	K	U,N	0.17max	1.40max	0.045	0.045	0.007	-	-
1.0038	RSt 37-2	S235JRG2	A570Gr.36	S	U,N	0.17max	1.40max	0.045	0.045	0.009	-	-
1.0116	St 37-3	S235J2G3	A284Gr.D	SS	U,N	0.17max	1.40max	0.035	0.035	-	0.020	-
1.0044	St 44-2	S275JR	A570Gr.40	S	U,N	0.21max	1.50max	0.045	0.045	0.009	-	-
1.0144	St 44-3	S275J0	A573Gr.70	SS	U,N	0.20max	1.50max	0.040	0.040	0.009	0.020	-
1.0570	St 52-3	S355J0	-	SS	U,N	0.20max	1.60max	0.040	0.040	0.009	0.020	-
1.0050	St 50-2	E295	A570Gr.50	S	U,N	0.30ort	-	0.045	0.045	0.009	-	-
1.0060	St 60-2	E335	-	S	U,N	0.40ort	-	0.045	0.045	0.009	-	-
1.0070	St 70-2	E360	-	S	U,N	0.50ort	-	0.045	0.045	0.009	-	-

K - Kaynar Döküm S - Sakın Döküm SS - Yarı Sakın Döküm

U - Sıcak Haddelenmiş, Başka İşlem Görmemiş N - Normal Tavllanmış

Şekil 5.12. Genel yapı çelikleri ve bileşimleri [40].

GENEL YAPI ÇELİKLERİ MEKANİK ÖZELLİKLERİ													
Malz. No.	DIN (ESKİ)	DIN (Yeni)	SAE / AISI	ÇEKME		AKMA					KOPMA UZAMASI		
				DAYANIMI		SINIRI					(şekillendirme yönü - dik doğrultu)		
				(Mpa)		(<> Mpa)					(<> %)		
				< 3 mm	≥ 3 mm	≤ 16 mm	≥ 16 mm	≥ 40 mm	≥ 63 mm	≥ 80 mm	≤ 3 mm	≤ 40 mm	≤ 63 mm
1.0035	St 33	S185	-	310 - 540	290 - 510	185	175	-	-	-	16	-	-
1.0037	St 37-2	S235JR	-	360 - 510	340 - 470	235	225	-	-	-	26	25	24
1.0036	USt 37-2	S235JRG1	A570Gr.33,36	360 - 510	340 - 470	235	225	215	215	195	26	25	24
1.0038	RSt 37-2	S235JRG2	A570Gr.36	360 - 510	340 - 470	235	225	215	215	215	26	25	24
1.0116	St 37-3	S235J2G3	A284Gr.D	360 - 510	340 - 470	235	225	215	215	215	26	25	24
1.0044	St 44-2	S275JR	A570Gr.40	430 - 580	410 - 560	275	265	255	245	235	22	21	20
1.0144	St 44-3	S275J0	A573Gr.70	430 - 580	410 - 560	275	265	255	245	235	22	21	20
1.0570	St 52-3	S355J0	-	510 - 680	490 - 630	355	345	335	325	315	22	21	20
1.0050	St 50-2	E295	A570Gr.50	490 - 660	470 - 610	295	285	275	265	255	20	19	18
1.0060	St 60-2	E335	-	590 - 770	570 - 710	335	325	315	305	295	16	15	14
1.0070	St 70-2	E360	-	690 - 900	670 - 850	360	355	345	335	325	11	10	9

Şekil 5.13. Genel yapı çelikleri mekanik özellikleri [40].

5.4.3.1. St37 Çelikleri

St37 çeliği alaşımsız bir yapı çeliğidir. Günümüzde yaygın olarak kullanılan bir yapı çeliği olan st 37 sıcak olarak haddelenmiş çelikler arasında en yumuşak olandır. Bu sebepten ötürü kolay şekil alabilmesi, sorunsuz kesim ve kaynak yapılabilir olması gibi avantajlar sağlar.

Çizelge 5.3. St37 çeliğinin kimyasal kompozisyonu [41].

Element	Ağırlık (Max)
C (Karbon)	0,2
Mn (Manganez)	1,4
P (Fosfor)	0,04
S (Kükürt)	0,04
N (Azot)	0,012
Cu (Bakır)	0,55

Çizelge 5.4. St37 çeliğinin çekme dayanımı [41].

Nominal Kalınlık (mm)	< 3	3 -100	100-150	150-200
Çekme Dayanımı (MPa)	360-510	360-510	350-500	340-490

Çizelge 5.5. St37 çeliğinin asgari akma dayanımı [41].

Nominal Kalınlık (mm)	< 16	16-40	40-63	63-80	80-100	100-150	150-200	200-250
Akma Dayanımı (MPa)	235	225	215	215	215	195	185	175

Çizelge 5.6. St37 çeliğinin minimum uzama özellikleri [41].

Nominal Kalınlık (mm)	1	1-1,5	1,5-2	2-2,5	2,5-3
Minimum % Uzama Lo = 80 mm	17	18	19	20	21

Çizelge 5.7. St37 çeliğinin minimum uzama özellikleri [41].

Nominal Kalınlık (mm)	3-40	40-63	63-100	100-150	150-250
Minimum % Uzama Lo = 5,65 \sqrt{So}	26	25	24	22	21

BÖLÜM 6

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Özcan H. 2012, 32CrMoV Çeliğinin Aşınma Direncini Arttırmak İçin Yeni Bir Isıl İşlem Metodunun Geliştirilmesi adlı çalışmasında üç farklı sıcaklıkta karbürleme deneyi yapıldığı görülmüştür. Bu deneyler 2 ila 5 saat arasında gerçekleştirilmiştir. 600°C ve 750°C sıcaklıklarda yapılan deneylerde malzemenin yüzey sertliğinde herhangi bir değişiklik gözükmemiş olup 900°C’de yapılan karbürleme deneyinde ise sertlik değerlerinde değişim gözükümüştür.

Özsaraç U., Yılmaz R., Ekerer F.A. ve Uzun H. ‘Sementasyon işlemi yapılan çeliklerde mikro sertlik ve mikroyapı değişimlerinin incelenmesi’ adlı çalışmalarında SAE 8620 çeliğine 850-950 °C arasında sementasyon ve sertleştirme işlemi yapıldığı görülmüştür. Deney öncesi malzemenin yüzeyinde Vickers sertlik değeri 439 iken deney sonrasında bu değer 742 olmuştur.

Coşar D., ‘8622RH ve 20MnCr5 Çeliklerinin Aşınma ve Mekanik Özelliklerine Gaz Karbürleme İşleminin Etkisinin İncelenmesi’ adlı çalışmasında karbürleme işlemlerinin ardından numune olarak kullanılan çeliklerin aşınma dayanımlarının ve sertliklerinin arttığı gözlemlenmiştir.

Pekgöz B., Sarıdemir S., Uygur İ. ve Aslan Y. ‘Sementasyon işleminin farklı çeliklerin mikroyapı ve sertlik değerlerine etkilerinin incelendiği’ çalışmalarında farklı malzemelerin sementasyon işlemlerinin sonrasında sertlik değerlerinin en az iki kat artış gösterdiği görülmüştür.

Erkan A., Yılmaz Ü., Helvacıoğlu Ő., Günay H., Aydoğan R. ve Ersoy Ç. ‘nin ‘Düşük basıncılı sementasyon yöntemi ile malzemelerin mekanik ve metalografik özelliklerinin geliştirilmesi’ adlı çalışmalarında numune olarak SAE 8620 eliği kullanıldığı görülmüştür. Deneyin sonucunda sıcaklığın 920°C den 980°C ye çıkartılması durumunda sert doku derinliğinin iki katına çıktığı görülmüştür. Ve aynı zamanda malzemenin fırındaki yatay konumunda en az deformasyon gözlenirken askı konumundaki malzemelerde tam tersine en fazla deformasyon gözlemlenmiştir.

ncel E. ‘Yüzey Sertleştirme İŞlemlerinin AISI 4140 eliğinin Yorulma Dayanımına Etkisinin Araştırılması’ adlı çalışmasında yüzey sertleştirme işlemi uygulanmamış bir 4140 çeliğinin sertliğini 221 HV olarak belirtmiŐtir. Deney sonucunda indüksiyon ile yüzeyi sertleştirilen malzemede 632 HV olarak ölçülmüştür. Numune üzerinde uygulanan yüzey sertleştirme işleminin süresi ile sertlik doğru orantılı olduğu görülmüştür. Ölçümlerdeki yapılan yorulma sonuçlarının en iyi olduğu süre 19.5 saat olduğu görülmüştür.

oban C., Taktak Ő., Başpınar S. ve Said G. ‘in ‘Kutu sementasyonla çelikleri karbürleme işleminde BaCO₃ aktivatörün sertleşme derinliğine etkisi’ adlı deneysel çalışmalarında aktivatörün sebebiyle ortamda karbon verici yetersizliği dekarbrizasyona sebep olduğu görülmüştür. Yani BaCO₃ maddesi sertliği düŐürmüŐtür.

Asi O. ve Can A.. 2001 ‘Sementasyon eliklerinde kr sertleştirilmiş ve sementasyon yapımıŐ durumlarda meydana gelen artık gerilmelerin karŐılaŐtırılması’ adlı çalışmalarında Sementasyon işlemi yapılan numunenin sertliği artarken aynı zamanda artık gerilmeler oluştuğu ifade edilmektedir. Özellikle sementasyon işlemi uygulanan numunelerde çoğunlukla bası artık gerilmesi oluşur. Bu yüzeydeki artık bası gerilmesinin artıŐı, numunenin yorulma dayanımını arttırır.

Can A. ., Tarakcılar A. R. ve zmen Y. ‘Karbrizasyonla yüzeyi sertleştirilen makine parçalarının ısıl işlem maliyetlerinin azaltılması’ adlı çalışmasında 950 °C den başlayıp 1050 °C ye yükselen karbürizasyon sıcaklığının maliyetleri düŐürdüđünü gözlemlenmiştir aynı zamanda çeliğin yorulma mukavemeti azalmıştır.

Erden M.A. and Aydın F. 'Toz metalurjisi ile karbürlenmiş AISI 8620 çeliğinin aşınma ve mekanik özelliklerinin araştırılması' adlı çalışmasında 925 °C'de 4 saat karbürlenen AISI 8620 çeliğinin karbürizasyon tabakasının kalınlığında artış olduğu için sertlik ve çekme mukavemetinde artış olduğu gözlemlenmiştir.

BÖLÜM 7

MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada kimyasal özellikleri çizelge 7.1’de belirtilmiş olan st37 yapı çeliğine 800 °C, 930 °C sıcaklıklarda 3,5 ve 10 saat sürelerdeki parametrelerde kutu karbürleme ile yüzey sertleştirme işlemi uygulanmıştır. Bu işlemlerin ardından malzemenin aşınma davranışları ve sertlik değerleri incelenmiştir.

Çizelge 7.1. St37 yapı çeliğinin kimyasal kompozisyonları [41].

Element	Ağırlık (Max)
C (Karbon)	0,2
Mn (Manganez)	1,4
P (Fosfor)	0,04
S (Kükürt)	0,04
N (Azot)	0,012
Cu (Bakır)	0,55

St37 çeliğinin çalışmada belirlenen deney parametreleri aşağıda verilmiştir.

- 800 °C ve 3 saat fırında sementasyon yapılmış numune
- 800 °C ve 5 saat fırında sementasyon yapılmış numune
- 800 °C ve 10 saat fırında sementasyon yapılmış numune
- 930 °C ve 3 saat fırında sementasyon yapılmış numune
- 930 °C ve 5 saat fırında sementasyon yapılmış numune
- 930 °C ve 10 saat fırında sementasyon yapılmış numune

7.1. DENEYLER

7.1.1. Sıcak Kaplama

Sementasyon işleminden geçmiş 6 farklı numuneye 180 °C de 5 dakika boyunca bakalite kaplama işlemi yapılmıştır. Bu işlemler CitoPress - 10 sıcak kalıplama cihazında yapılmıştır. Bu uygulamanın amacı numunenin mikroskop altında daha verimli şekilde incelenebilmesini sağlamaktır. Bir diğer amacı ise zımparalama ve parlatma uygulamasında parçayı daha iyi tutmaktır.



Şekil 7.1. Bakalite kaplanmış numune.

7.1.2. Zımparalama ve Parlatma

Numunenin kesme ve sementasyon işlemi sonrasında yüzeyinde bazı deformeler oluşmuş olabilir. Bu sıkıntıları gidermek ve orjinal iç yapıyı tekrardan ortaya çıkarmak amacıyla sıcak kaplama yapılmış numuneye tegramin – 30 adlı otomatik zımparalama ve parlatma cihazında işlem uygulanır. Şekil 7.2 'de işlem uygulanan numune görülmektedir.



Şekil 7.2. Zımparalama ve parlatma işlemleri uygulanmış numune.

7.1.3. Mikroyapı İnceleme

Malzemenin yapısının incelenip özelliklerinin belirlenmesidir. Numunenin yapısındaki sementit, perlit, ferrit, beynit, martenzit gibi fazların geçişlerinin nispeten görülebildiği alettir.

7.1.4. Sertlik Deneyleri

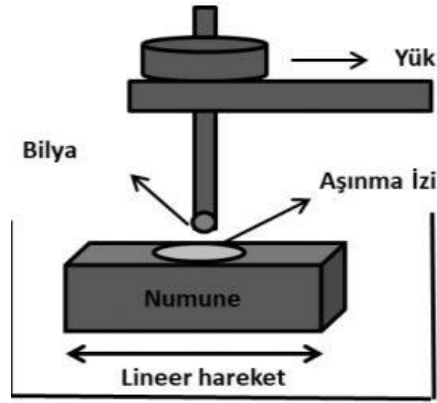
Mikro sertlik ölçüm cihazında Vickers sertlik ölçme yöntemiyle numunelere 100 gramlık yükler uygulanarak belirli sertlik değerleri elde edilmiştir.

7.1.5. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

Aşınma deneyi yapılan numunelerin aşınan yüzeylerinden SEM ile görseller alınarak, aşınma tipi ve özellikleri belirlenmiştir.

7.1.6. Aşınma Deneyleri

Aşınma testleri sementasyon uygulanmamış numune, 3 saat 800 °C’de sementasyon yapılmış, 5 saat 800 °C’de sementasyon yapılmış, 10 saat 800 °C’de sementasyon yapılmış, 3 saat 930 °C’de sementasyon yapılmış, 5 saat 930 °C’de sementasyon yapılmış, 10 saat 930 °C’de sementasyon yapılmış numunelere wolframkarbür bilye karbür kullanılarak lineer bir şekilde uygulanmıştır. St37 yapı çeliğinden 10 mm X 10mm ebatında ve 50mm uzunluğunda numuneler deney cihazının taplasına sabitlenmiştir. Numunelere 10N ve 20N’luk numune üzerindeki iz boyu yani strok mesafesi 10 mm olacak şekilde yükler uygulanmış ve toplam 100 m yol aldırılmıştır. Aşınma izinin alanı ölçülmüştür.



Şekil 7.3. Aşınma testinin şematik gösterimi [42].

Numunelerin aşınma hacmi ve aşınma hızı 7.1 ve 7.2’de verilen formüle göre hesaplanabilir. Aşınma izi alanı ile aşınma izinin boyunun çarpımının alınan yola bölünmesi ile hızı bulmuş oluruz [42].

- Aşınma hızı = Aşınma izi hacmi / Alınan yol (7.1)
- Aşınma izi hacmi = (Aşınma izi alanı x aşınma izi boyu) / alınan yol (7.2)

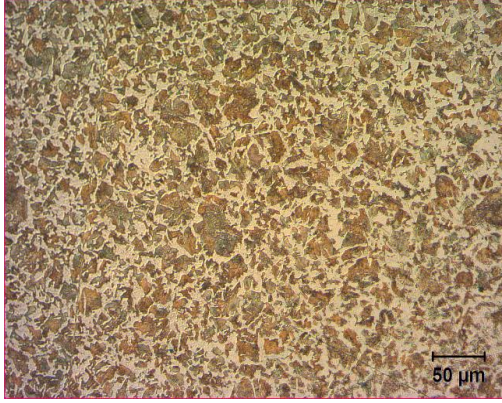
BÖLÜM 8

BULGULAR VE SONUÇLAR

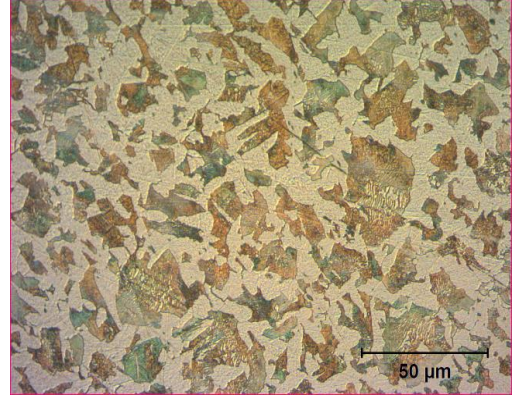
8.1. MİKROYAPI İNCELEME

Genel yapı çeliklerinden en yaygın kullanım alanlarına sahip olan st37 çelik numunelere 6 farklı parameter kullanılarak sementasyon işlemi yapılmıştır.

Karbürleme adıda verilen bu deney katı ortamda gerçekleştirilmiştir. Kutu içerisine yerleştirilen numunelerin üzeri odun kömürü ile kaplanmış ve kutu sıkıca kapanmıştır. 800 °C ve 930 °C li fırınlarda 3,5 ve 10 saat bekletildikten sonra malzemeler soğutulmuştur. Karbürleme yapılmayan numunenin mikroyapıları aşağıda gösterilmiştir.



(a)

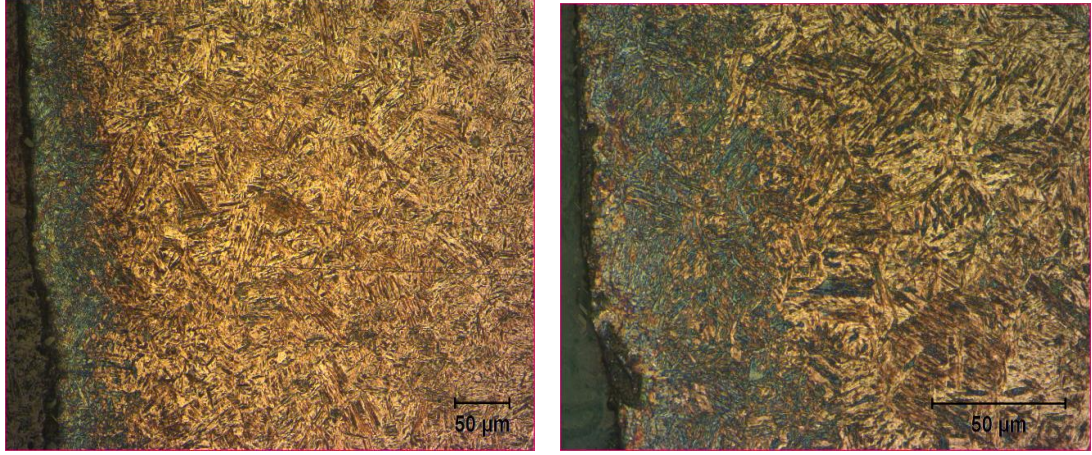


(b)

Şekil 8.1. St37 çeliğinin iç yapısı a) 200x b) 500x.

8.1.1. Kaplama Kalınlıkları

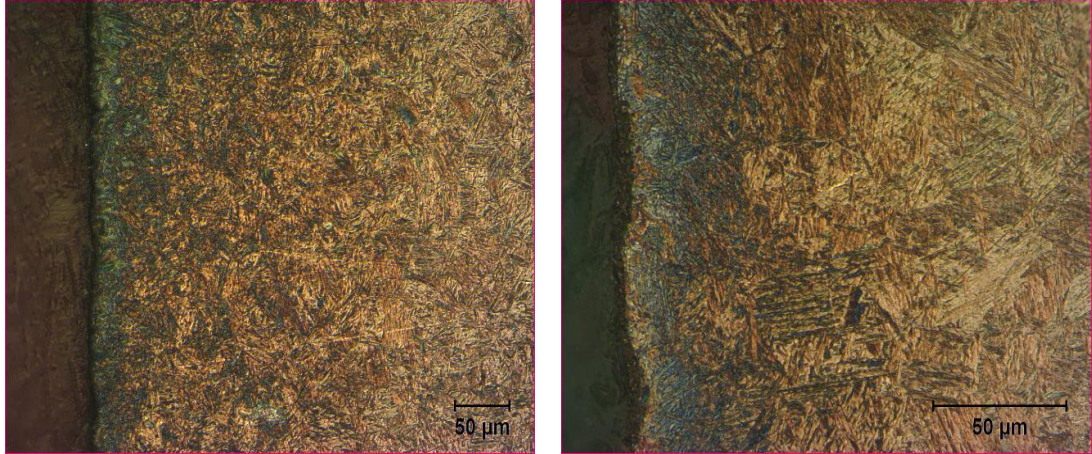
St37 çeliğinin sementasyon ile yüzeyi sertleştirildikten sonra farklı sıcaklıklarda ve farklı zamanlardaki derinlikleri ölçülmüştür. Bu derinlik ölçümleri de aşağıda gösterilmektedir.



(a)

(b)

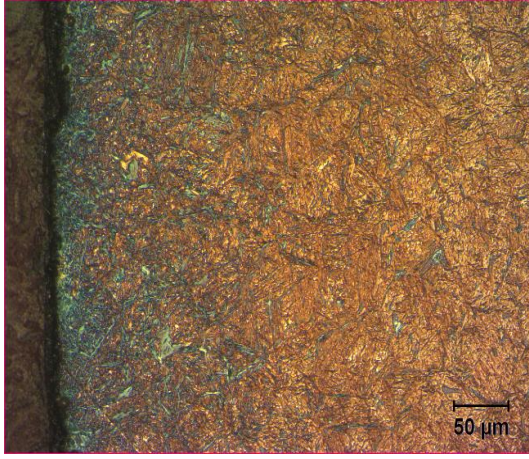
Şekil 8.2. 800 °C’de 3 saat işlem görmüş numune a) 200x b) 500x.



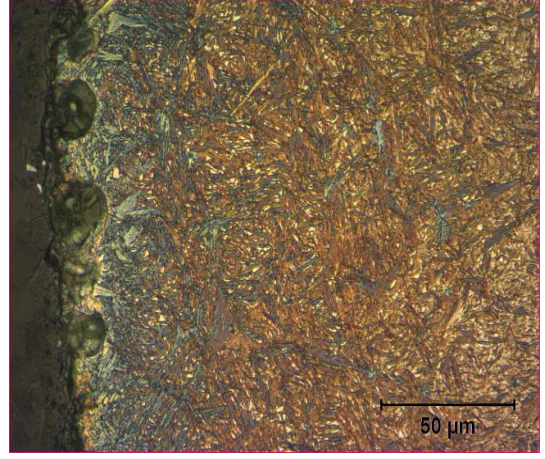
(a)

(b)

Şekil 8.3. 800 °C’de 5 saat işlem görmüş numune a) 200x b) 500x.

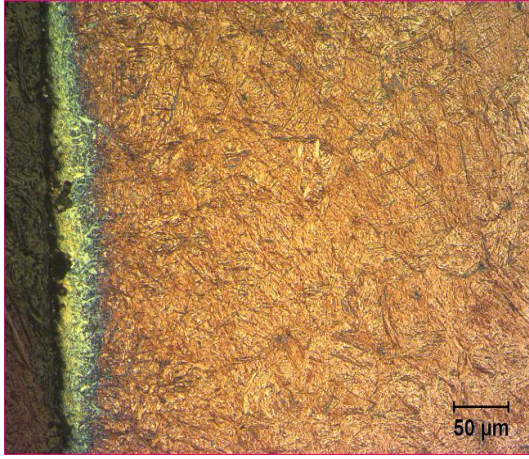


(a)

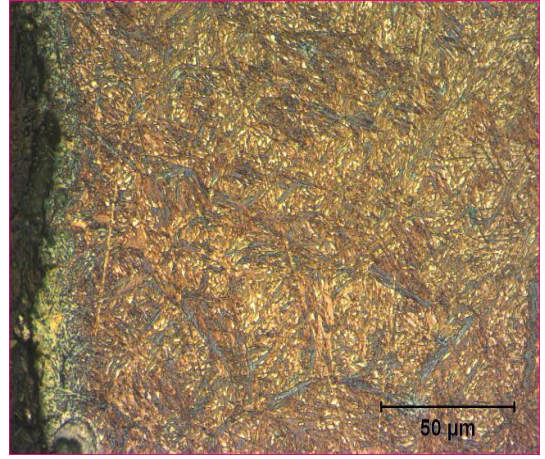


(b)

Şekil 8.4. 800 °C’de 10 saat işlem görmüş numune a) 200x b) 500x.

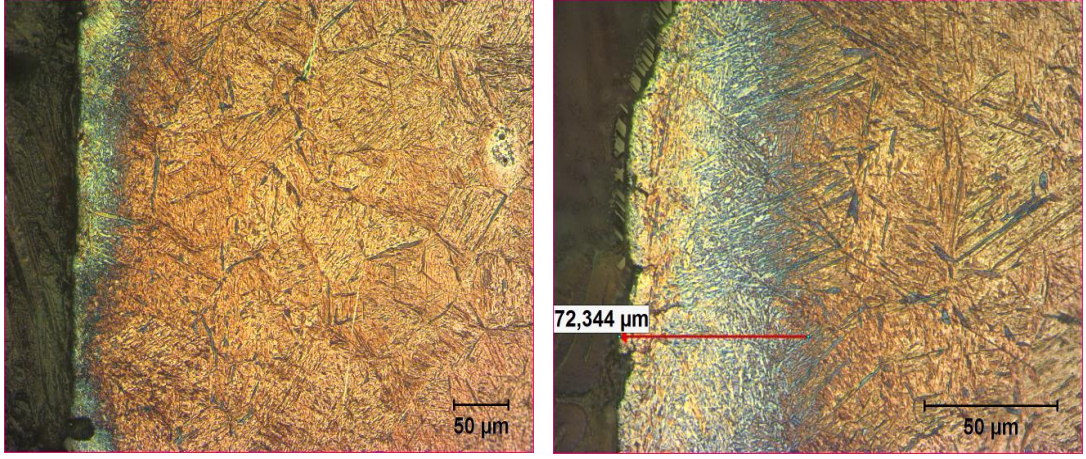


(a)



(b)

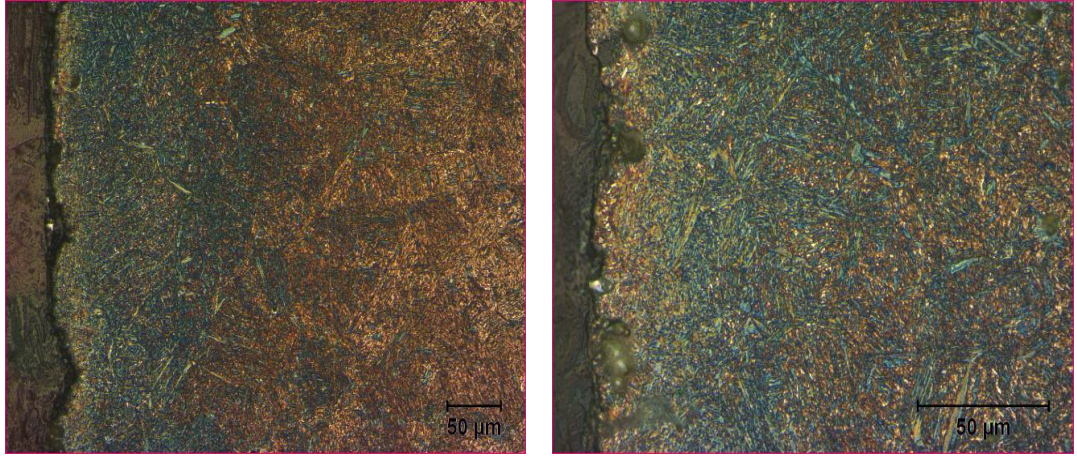
Şekil 8.5. 930 °C’de 3 saat işlem görmüş numune a) 200x b) 500x.



(a)

(b)

Şekil 8.6. 930 °C’de 5 saat işlem görmüş numune a) 200x b) 500x.



(a)

(b)

Şekil 8.7. 930 °C’de 10 saat işlem görmüş numune a) 200x b) 500x.

6 farklı numunelerin yüzey sertleştirme işlemleri sonrasında 200x ve 500x boyutlardaki mikroyapı incelemeleri sonucunda en çok karbonun difüzyon olduğu numune şekil 7.10 daki 930 °C’de 10 saat işlem görmüş st37 çeliğidir. Sıcaklık ve zaman artışına bağlı olarak numunenin yapısına yayılan karbon miktarı artmıştır.

8.2. SERTLİK DEĞERLERİ

Sementasyon işlemi yapılmamış st37 çeliğinin sertlik değerleri 260 HV dir.

Çizelge 8.1. Numunelerin deney sonucu sertlik değerleri.

	800 °C 3 saat	800 °C 5 saat	800 °C 10 saat	930 °C 3 saat	930 °C 5 saat	930 °C 10 saat
Deney 1	377 HV	391 HV	471 HV	503 HV	718 HV	841 HV
Deney 2	368 HV	434 HV	478 HV	528 HV	771 HV	912 HV
Deney 3	386 HV	438 HV	475 HV	512 HV	746 HV	908 HV
Ortalama	377 HV	421 HV	474 HV	514 HV	745 HV	887 HV

8x8x10 mm boyutlarındaki 6 farklı numuneye yapılan sertlik deneyleri sonucunda vickers sertlik değerleri çizelge 8.1’de görülmektedir. Numunelere 20 saniye boyunca 100 gr yük uygulanarak bu değerler belirlenmiştir. Numunelerin yüzeyleri zımparalandıktan sonra işlemler gerçekleştirilmiştir.

Numunelerin sertlik değerlerinin 3 farklı deneydeki ortalamaları incelendiğinde 930 °C ve 10 saat sementasyon yapılmış numunenin sertlik değerinin en yüksek değerlere ulaştığı görülmüştür.

Çizelge 8.1’den görüldüğü üzere sementasyon yapılan numunelerin yüzeylerindeki sertlik ile fırın sıcaklık değeri doğru orantılıdır.

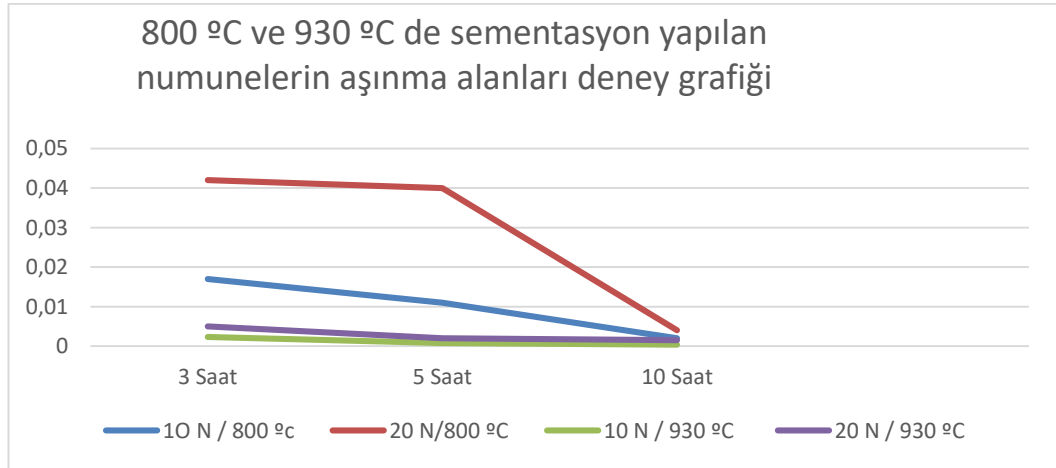
Bununla birlikte aynı sıcaklık değerlerine sahip numunelerin fırında bekletilme süreleri incelendiğinde zaman parametresinde sertlik değeri ile doğru orantılı olduğu görülmüştür.

8.3. AŞINMA DEĞERLERİ

8x8x25 mm boyutlarındaki 6 farklı numuneye lineer bir şekilde aşınma deneyi yapılmıştır. 10N ve 20N luk iki farklı yük uygulanan numunelerin üzerindeki iz boyları 10 mm olacak şekilde ayarlanmış ve toplam 100 m yol aldırılmıştır. ASTM G133 standardına uygun olarak ileri-geri aşınma testi yapılan cihazdan ölçülen aşınma izlerinin alanları çizelge 8.2 'de verilmiştir. 3 farklı ölçüm yapılarak ortalama değerler alınmıştır.

Çizelge 8.2. Numune üzerindeki aşınma izlerinin alanları.

	800 °C 3 saat	800 °C 5 saat	800 °C 10 saat	930 °C 3 saat	930 °C 5 saat	930 °C 10 saat
10 N	0,017 mm ²	0,011 mm ²	0,002 mm ²	0,0023 mm ²	0,00075 mm ²	0,00041 mm ²
20 N	0,042 mm ²	0,040 mm ²	0,004 mm ²	0,005 mm ²	0,002 mm ²	0,0015 mm ²

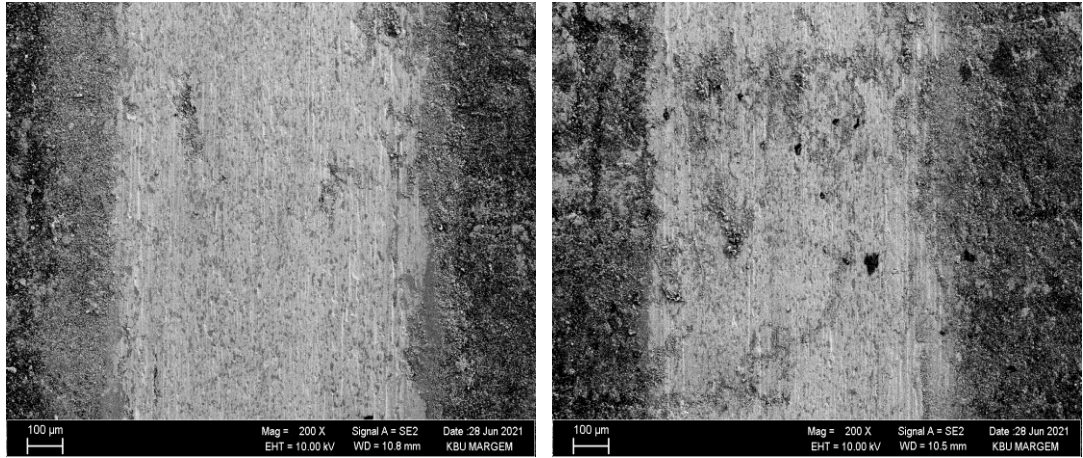


Şekil 8.8. Parametrelere bağlı aşınma alanları değişimi.

800 ve 930 °C’de sementasyon yapılmış 6 farklı numunenin aşınma deneyi sonucunda aşınan bölgelerin alanları şekil 8.1’de verilmiştir. Buna göre sıcaklık aynı iken numunelere uygulanan yük artarsa aşınma miktarıda doğru orantılı şekilde artar. Sementasyon süresinin arttığı numunelerin sertlik değerleri iyileştiği için yüzeydeki aşınma alanları azalmıştır. Şekilde görüldüğü üzere en fazla aşınmaya maruz kalan numune 20 N yük verilen 800 °C deki 3 saat sementasyon olmuş malzemedir. Uygulanan kuvvet yükü arttığı için ve sementasyon süresi az olduğu için bu numunede aşınma en yüksek seviyededir.

Uygulanan yükün 10 N olduğu ve 10 saat boyunca sementasyon uygulanmış 930 °C deki malzeme ise aşınma kaybı diğer numunelere oranla en az seviyededir.

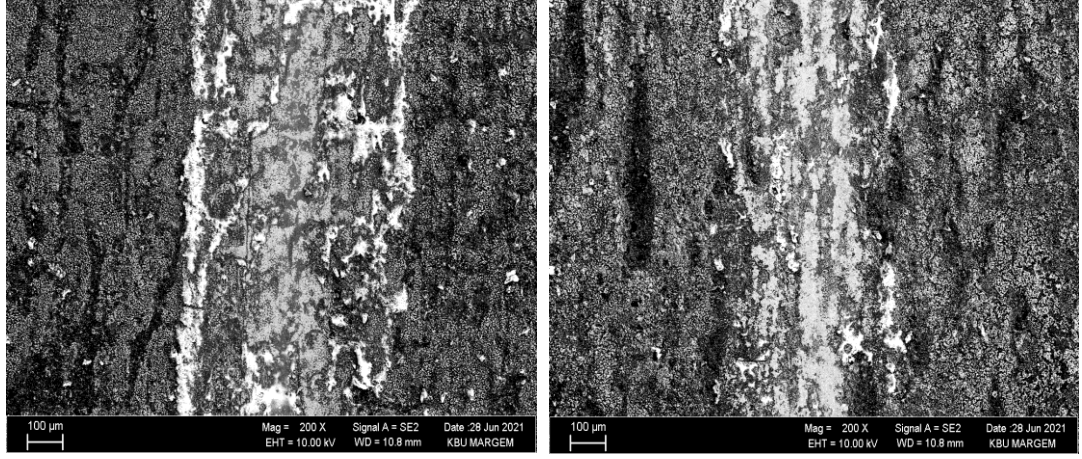
Sonuç olarak numuneye uygulanan sementasyon süresi ile aşınma kaybı ters orantılıdır. Aynı şekilde sementasyon sıcaklık değeri ile aşınma kaybıda ters orantılıdır. Fakat uygulan yük ile aşınma kaybı doğru orantılıdır. Aşağıdaki şekillerde aşınma deneyi yapılmış numunelerin SEM görüntüleri verilmiştir.



(a)

(b)

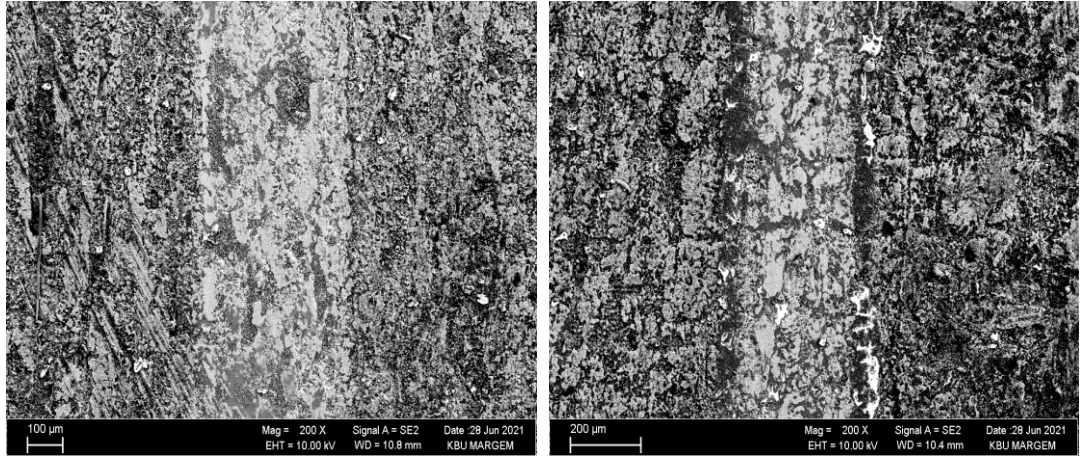
Şekil 8.9. SEM aşınma görüntüsü a) 800 °C 3 saat 10N yük b) 800 °C 5 saat 10N yük.



(a)

(b)

Şekil 8.10. SEM aşınma görüntüsü a) 800 °C 10 saat 10N yük b) 930 °C 3 saat 10N yük.



(a)

(b)

Şekil 8.11. SEM aşınma görüntüsü a) 930 °C 5 saat 10N yük b) 930 °C 10 saat 10N yük.

İncelenen SEM görüntülerinde en fazla aşınmanın Şekil 8.1'deki a numunesinde olduğu gözükmemektedir.

8.4. SONUÇLAR

Bu çalışmada genel yapı çeliği olan st37 çeliğinin sementasyon ile yüzey sertleştirme işlemi sonrası sertlik ve aşınma davranışları incelenmiştir.

Deneylede sementasyon işlemi uygulanmamış numune ve 800 ile 930 °C de 3 farklı zaman aralığında yüzey sertleştirme işlemi uygulanmış numuneler kullanılmıştır. Sertlik deneyleri vickers tipi sertlik deneyi ile yapılmıştır. Sertlik deneyleri sonucunda görüldüğü üzere karbürlenen yüzeyden numunenin iç kısmına gidildikçe sertlik değerlerinin azaldığı görülmüştür. Sementasyon uygulanmış numunenin yüzeyindeki maksimum sertlik değeri 912 HV dir.

Sıcaklık parametrelerine bakıldığında 800 °C de 3 saat sementasyon yapılmış numunenin sertlik değeri 377 HV iken 930 °C de aynı zamanda bekletilmiş numunenin sertlik değeri 887 HV dir. Bu sonuçtan yola çıkarak fırın sıcaklık değerinin artışının malzemenin sertlik değerini arttırdığı görülmüştür.

Zaman parametrelerine bakıldığında ise 800 °C de 3,5 ve 10 saat sementasyon işlemi geçiren numunenin sırasıyla sertlik değerleri 377 HV, 421 HV, 474 HV dir. Bu sonuçlarda bize sementasyon süresinin artışının malzemenin sertlik değerini arttırdığını göstermiştir.

Aşınma deneyleri 6 farklı numuneye lineer bir şekilde yapılmıştır. Buna göre sıcaklık aynı iken numunelere uygulanan yük artarsa aşınma miktarında doğru orantılı bir şekilde arttığı görülmüştür. Sementasyon süresinin arttığı numunelerin sertlik değerleri iyileştiği için yüzeydeki aşınma alanlarının azaldığı görülmüştür.

Mikroyapı incelemelerinde numunelerin kaplama kalınlıkları göz önüne alındığın en maksimum karbon difuzyon oranının 930 °C de 10 saat sementasyon yapılan numunede olduğu görülmüştür.

Genel olarak bulgulara bakıldığında şu sonuçlar ortaya çıkmıştır.

- Sıcaklık ve zaman parametrelerinin sertlik değerlerini doğru orantılı bir şekilde etkilediği ortaya çıkmıştır.
- Kaplama kalınlığı bakımından en fazla olan 930 °C ve 10 saat sementasyon yapılan numunedir. Bu sebeple zaman ve sıcaklık karbon yayılma oranını doğru orantılı bir şekilde etkiler.
- Numuneye uygulanan yük ile aşınma miktarı doğru orantılı bir şekilde artmıştır.
- Fırında kalma süresinin arttığı numunelerde sertlik değerleri iyileştiği için yüzeydeki aşınma alanlarının azaldığı görülmüştür.
- 930 °C de 5 ve 10 saat sementasyon yapılan numunedeki hacim kayıpları diğer tüm numuneler ile karşılaştırıldığında daha düşük çıkmıştır.
- En yüksek hacim kaybı 800 °C de 3 saat sementasyon yapılan numunede çıkmıştır.
- Numunelerdeki sertliklerin değişmesi aşınma değerlerinin farklılık göstermesine sebep olmuştur.

8.5. ÖNERİLER

- Farklı sementasyon sürelerindeki sertlik ve aşınma deneyleri yapılabilir.
- Sıcaklık parametrelerinde değişiklik yapılabilir.
- Bu çalışmada kullanılan numuneye farklı bir yüzey sertleştirme işlemi uygulanıp onun sonuçları karşılaştırılabilir.

KAYNAKLAR

1. Gençsoy, U., “GGG40 küresel grafitli dökme demirin mikroyapı ve mekanik özelliklerine östemperleme ve indüksiyonla yüzey sertleştirme işleminin etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, (2016).
2. Yıldız, T. ve Gür, A. K., “Aşınma sistemleri”, *Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümü*, Elazığ, (2006).
3. Varol, T., “Aşınma deneyi”, *Karadeniz Teknik Üniversitesi*, Trabzon, (2016).
4. Güner, E., “4140 çeliğinin mekanik aşınma özelliklerine lazerle yüzey sertleştirme işleminin etkisinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2019).
5. Sidar, B., “Examination of Abrasive Wear Behaviour of Steels”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi*, İstanbul (2001).
6. Owsalou, G. R., “Aşınmaya maruz parçaların aşınma dayanımlarının araştırılması”, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, (2012).
7. Sarı, Y. N., “Klasik ısıtma işlemleri ve modern yüzey işlemleri uygulanmış Ç 1050 (c 45 E) çeliğinin abrazif + erozif aşınma davranışının incelenmesi”, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi*, İstanbul (1999).
8. Bağcı, M., “CuZn10 pirinç malzemede kayma hızının aşınmaya etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, (2005).
9. Bağcı, M., “Cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerin erozyon aşınma davranışının incelenmesi”, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, (2010).
10. Soydaş, S., “Üniversal aşınma test cihazı tasarımı ve imalatı”, Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli, (2006).
11. Hutchings, M., “Tribology: Friction and Wear of Engineering Materials”, 110-112 (1992).
12. Karagöz, S., “Malzeme Bilgisi Ders Notları”, *Adnan Menderes Üniversitesi Aydın Meslek Yüksekokulu*, Aydın, (2008).
13. Özcan, H., “32CrMoV çeliğinin aşınma direncini arttırmak için yeni bir ısıtma işlem metodunun geliştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Hacettepe Üniversitesi*, Ankara (2012).

14. Kesti, E., “Ç- 4140 çeliğinin, mikroyapı ve mekanik özelliklerine su verme ortamının etkilerinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya (2009).
15. Öncel, L., “316L çelik esaslı implantların çeşitli kesilme yöntemleri ile kesilmesinin ve kesim sonrası tavlama işlemlerinin mikroyapısal karakterizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi*, İstanbul (2009).
16. Karaağaç, İ., Kabakçı, M. O. ve Demirel M. Y., “Tavlama işleminin Al 2024-T3 sac malzemesinin şekillendirilebilirliğine ve mikroyapıya etkilerinin deneysel araştırılması” (2020).
17. Şahin, A., “Çelikler ve Isıl İşlem Ders Notu”.
18. Öztürk, S., “Faz Diyagramları Ders Notu”, *Karadeniz Teknik Üniversitesi*, Trabzon.
19. Yavuz, M., “Metalografik deneyler sonucu oluşturulan algoritmaya göre çalışan tam otomasyonlu ısıtma işlem fırını hesaplamaları, prototip tasarımı ve imalatı”, Yüksek Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi*, Afyon (2020).
20. Özkader, M. Ç., “Isıl işlemlerle AISI 4140 çeliğinin abrasif aşınmasının araştırılması” *Hitit Üniversitesi*, Çorum (2015).
21. Can, A. Ç., Tarakçılar, A. R. ve Özmen Y., “Karbürizasyonla yüzeyi sertleştirilen makine parçalarının ısıtma işlem maliyetlerinin azaltılması”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Denizli, 429-433 (1997).
22. Demirci, H. A., “Mühendislik Malzemeleri- Önemli endüstriyel malzemeler ve ısıtma işlemleri”, 1. Baskı, Bursa (2004).
23. Savaşkan, T., “Malzeme Bilgisi ve Muayenesi”, Genişletilmiş 5. Baskı, Trabzon (2009).
24. Smith, W. F., “Smith Structure and properties of Engineering Alloys”, Çeviri Editörü, Mehmet Erdoğan, Florida (1999).
25. Karaarslan, A., “Çeliklere uygulanan yüzey sertleştirme işlemleri”, *Yıldız Teknik Üniversitesi*, İstanbul.
26. Özden, H., “Laser kör kaynak dikişli yüzey sertleştirme yöntemi, değerlendirme”.
27. Çelik, A., Alsaran, A. ve Karakan, M., “*Plazma ile termokimyasal yüzey işlemleri*”, *Atatürk Üniversitesi*, Erzurum.
28. Serin, G. İ., “Akımsız Ni- B – Mo kaplamaların tribolojik ve korozif özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi*, İstanbul (2013).

29. Öz Saraç, U., Yılmaz, R., Ekerer, A. ve Uzun, H., “Sementasyon işlemi yapılan çeliklerde mikro sertlik ve mikroyapı değişimlerinin incelenmesi”, *Sakarya Üniversitesi*, Sakarya.
30. Çoban, C., Taktak, Ş., Başpınar, S. ve Said G., “Kutu sementasyonla çelikleri karbürleme işleminde BaCO₃ aktivatörün sertleşme derinliğine etkisi”, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, Afyon.
31. George, S., “Surface modification of materials” (2016).
32. Şenocak, C., “İslah çeliklerinin akışkan yatak ortamında ısıl işlemi” (2002).
33. Özdeşlik, M., Sindel, L. ve Keskin, S. “Düşük basınç sementasyon ve yüksek basınçlı gaz ile sertleştirme” *Metalurji ve Malzeme Mühendisleri Odası* (2016).
34. Aksöz, S., “Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Döküm Teknolojileri Sunum Raporu”, *Pamukkale Üniversitesi*, Denizli.
35. <https://www.benimuhendisim.com/celik-uretim-yontemleri/>
36. <https://www.makinaegitimi.com/celik-uretim-yontemleri/>
37. Kekik, F. İ., “Termo- Reaktif Difüzyon(TRD) tekniği ile Cr-Ti-N esaslı kaplamaların gerçekleştirilmesi ve özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya (2015).
38. Dokuzlar, Ö., “36CrB4 ve 42CrMo4 çeliklerde ısıl işlemin mekanik özelliklere etkisinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi*, Isparta (2018).
39. <https://malzemebilimi.net/yapi-celikleri-ve-ozellikleri.html>
40. <https://www.hascometal.com/celiklerin-siniflandirilmesi/genel-yapi-celikler>
41. <https://www.uslularhadde.com/st-37-2-celik-ozellikleri>
42. Akgül, Y., “Ortopedik uygulamalar için polimer matrisli kompozit malzeme üretimi ve karakterizasyonu”, Doktora Tezi, *Karabük Üniversitesi*, Karabük (2020).

ÖZGEÇMİŞ

Ömer Çölova ilk, orta ve lise öğrenimini aynı şehirde tamamladı. 2014 yılında Karabük Üniversitesi, Raylı Sistemler Mühendisliği Bölümünde öğrenime başlayıp 2019 yılında mezun oldu. 2019 yılında başladığı, yüksek lisans eğitimini 2021 yılında Karabük Üniversitesi, Makine Mühendisliği anabilim dalında yürütmektedir.