

8622RH ve 20MnCr5 Çeliklerinin Aşınma ve Mekanik Özelliklerine Gaz Karbürleme İşleminin Etkisinin İncelenmesi

Dilek Coşar

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Metalurji Mühendisliği Anabilim Dalı

Aralık 2014

Investigation of the Effect of Gas Carburization Hardening Process on 8622RH and  
20MnCr5 Steel's Mechanical and Wear Properties

Dilek Coşar

**MASTER OF SCIENCE THESIS**

Department of Metallurgical Engineering

December 2014

8622RH ve 20MnCr5 eliklerinin Aşınma ve Mekanik Özelliklerine Gaz Karbürleme  
İşleminin Etkisinin İncelenmesi

Dilek Coşar

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Lisansüstü Yönetmeliğı Uyarınca  
Metalurji Mühendisliğı Anabilim Dalı  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Doç. Dr. Hakan Gaşan

Aralık 2014

## ONAY

Metallerji Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Dilek Coşar'ın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı “8622RH ve 20MnCr5 Çeliklerinin Aşınma ve Mekanik Özelliklerine Gaz Karbürleme İşleminin Etkisinin İncelenmesi” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

**Danışman** : Doç. Dr. Hakan GAŞAN

**İkinci Danışman** : -

**Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:**

**Üye** : Prof. Dr. Remzi GÜRLER

**Üye** : Doç. Dr. Hakan GAŞAN

**Üye** : Yrd. Doç. Dr. Nedret AYDINBEYLİ

**Üye** : Yrd. Doç. Dr. Osman Nuri ÇELİK

**Üye** : Yrd. Doç. Dr. İbrahim ÇELİKYÜREK

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ..... tarih ve ..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Hürriyet ERŞAHAN

Enstitü Müdürü

## **ETİK BEYAN**

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Doç. Dr. Hakan GAŞAN danışmanlığında hazırlamış olduğum “8622RH ve 20MnCr5 Çeliklerinin Aşınma ve Mekanik Özelliklerine Gaz Karbürleme İşleminin Etkisinin İncelenmesi” başlıklı YÜKSEK LİSANS tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim. 11/12/2014

Dilek COŞAR  
İmza

## ÖZET

Bu çalışmada, otomobil arka aks dişlilerde kullanılan malzemelerden 8622RH ve 20 MnCr5 çeliklerinin karbürizasyon işlemi sonrası mekanik özelliklerinin karşılaştırılması amaçlanmıştır. Bu doğrultuda; 8622RH ve 20MnCr5 çelikleri, 930 °C sıcaklıkta, % 1,2 C ortam konsantrasyonunda 395 dakika süre ile gaz karbürizasyon işlemine tabi tutulmuştur. Daha sonra sıcaklık 830 °C' ye düşürülmüş ve ortam konsantrasyonu da % 0,9'a set edilmiştir. Bu sıcaklıkta da numuneler 60 dakika tutulmuştur. Karbürizasyon işlemi ardından numuneler 100 °C'deki yağ banyosu içinde 30 dakika bekletilmiştir. Bu adımdan sonra, numuneler fırından temper prosesi için çıkarılmıştır. Temperleme prosesi 175 °C'de 110 dakika süre ile gerçekleştirilmiştir. 8622RH ve 20MnCr5 çeliklerinin ısıtım işlem öncesi ve sonrası mikroyapı analizleri, sertlik değeri ölçümleri, darbe deneyleri ve aşınma deneyleri yapılarak, sonuçlar ortaya konmuştur. Mikroyapı incelemelerinde geleneksel optik metalografi ve taramalı elektron mikroskopisi (SEM) teknikleri kullanılmıştır. Malzeme mikroyapılarının birbirine benzer olduğu, karbürizasyon işlemi sonucunda her iki malzemeninde mekanik özellikleri arasında bariz farklılıklar olmasa da; en bariz farklılık 8622RH malzemesinin yüzey sertliğinin, 20MnCr5'e göre daha yüksek olmasıdır. Bu durumun 8622RH çeliğinin içeriğindeki Ni ve Mo alaşım elementlerinin yüksek sertleşebilme yeteneğinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Her iki malzemenin aşınma oranları karşılaştırıldığında ise, 20MnCr5 çeliğinin aşınma miktarının, 8622RH çeliğine göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Malzemelerin aşınma direnci ile sertliklerinin doğrudan ilgisi olması sebebiyle, yüksek sertliğe sahip olan 8622RH malzemesinin aşınma dayanımının daha yüksek olması beklenen bir sonuçtur.

Anahtar Kelimeler: Çelik, gaz karbürizasyon, aşınma, sertlik, mikroyapı.

## SUMMARY

In this study; 8622RH and 20MnCr5's heat treated steels, which are using at rear axle mechanisms of automobiles, aimed to compare of mechanical behaviour. Accordingly, 8622RH and 20MnCr5 steel, are subjected to heat treatment process at 930 °C, %1,2 concentration during 395 minutes. After that, atmosphere is cooled to 830°C and carbon concentration is set to % 0,9. At this temperature, samples are subjected to carburization process at 60 minute. Then, samples are subjected to oil bath at 100 °C, during 30 minutes. After this step, samples are taken from the furnace for temper process. It is carried at 175 °C during 110 minutes. Microstructure analysis, traditional optical metalography and scanning electron microscope (SEM) technics are used. Material microstructures are similar to each other, although after heat treatment process there is no clear distinct differences between materials; the most obvious differences is; 8622RH steel's surface hardness is higher than 20MnCr5 steel. 8622RH's content of alloying element Ni and Mo's higher hardenability properties. When both of the materials wear properties are compared, it is seen, 20MnCr5's wear rate is higher than 8622RH's wear rate. The wear resistance due to the direct relationship of the hardness of the materials is a result of the abrasion resistance is expected to be higher than the 8622RH material, having a high hardness.

Keywords: Steel, gas carburization, wear, hardness, microstructure.

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca, benden desteğini, bilgisini ve sabrını esirgemeyen, bana danışmanlık ederek çalışmamın ortaya çıkmasında en büyük rolü üstlenen sayın danışmanım Doç. Dr. Hakan Gaşan' a, tez hazırlama sürecinde bilgisi ve destekleriyle yardımcı olan Yrd. Doç. Dr. Osman Nuri Çelik'e, teknisyen Akif Tutgun'a ve tabi ki aldığım her kararda arkamda olan, sevgileri, saygıları ve yüksek güvenleri için aileme ve eşime sonsuz teşekkürlerimi sunarım.



## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET .....	vi
SUMMARY.....	vii
TEŞEKKÜR.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvi
1.GİRİŞ .....	1
2.ÇELİKLERİN GENEL ÖZELLİKLERİ , SINIFLANDIRILMASI VE UYGULANAN ISIL İŞLEMLER .....	3
2.1. Çeliklerin Genel Özellikleri .....	3
2.2. Çeliklerin Sınıflandırılması .....	3
2.2.1.Düşük karbonlu çelikler .....	4
2.2.2.Orta karbonlu çelikler .....	4
2.2.3.Yüksek karbonlu çelikler .....	4
2.3.Çeliğin Isıl İşlemi .....	5
2.3.1.Yüzey sertleştirme .....	9
2.3.1.1.Malzemenin (yüzeyin) kimyasal yapısını değiştirmeden yapılan yüzey sertleştirme işlemi .....	9

## **İÇİNDEKİLER (devam ediyor)**

	<b><u>Sayfa</u></b>
2.3.1.1.1.Alevle yüzey sertleştirme .....	9
2.3.1.1.2. İndüksiyon akımı ile yüzey sertleştirme .....	10
2.3.1.2.Malzemenin (yüzeyin) kimyasal yapısını değiştirerek yapılan yüzey sertleştirme işlemi .....	12
2.3.1.2.1.Nitrürasyon .....	12
2.3.1.2.2.Sementasyon .....	13
2.3.1.2.2.1.Katı sementasyonu .....	14
2.3.1.2.2.2.Sıvı sementasyonu .....	14
2.3.1.2.2.3.Gaz sementasyonu .....	14
2.3.2. Tavlamlar .....	18
2.3.2.1. Difüzyon (yayınma) tavlaması (homojenizasyon, homojenleştirme tavlaması) .....	18
2.3.2.2. Tane irileştirme tavlaması (İri tane tavlaması, kaba tane tavlaması) .....	19
2.3.2.3. Gerilim giderme tavlaması .....	19
2.3.2.3.1. Menevişleme .....	20
2.3.2.3.2. Islah .....	20
2.3.2.4. Yeniden kristalleştirme tavlaması (Rekristalizasyon tavlaması)	21
2.3.2.5. Yumuşatma tavlaması (Yumuşak tavlama, Küreselleştirme tavlaması) .....	23
2.3.2.6. Normalizasyon tavlaması .....	24
<b>3. METALLERDE AŞINMA ve ÇEŞİTLERİ .....</b>	<b>28</b>
3.1. Aşınma .....	28

**İÇİNDEKİLER (devam ediyor)**

	<b><u>Sayfa</u></b>
3.1.1. Adhesif aşınma .....	29
3.1.2. Abrasif aşınma .....	30
3.2. Malzemelerin Aşınması .....	30
3.2.1. Sıcaklığın etkisi .....	31
<b>4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....</b>	<b>32</b>
4.1. DeneYlerde Kullanılan Malzemeler .....	32
4.2. Numunelerin Hazırlanması .....	34
4.3. Isıl İşlem Prosesi .....	35
4.4. Mikroyapı analizi .....	40
4.5. Mekanik testler .....	41
4.6. Aşınma DeneYleri .....	42
<b>5. DENEY SONUÇLARI ve İRDELENMESİ .....</b>	<b>45</b>
5.1. Mikroyapı İncelemeleri .....	45
5.2. Darbe ve Sertlik İncelemeleri .....	49
5.3. Aşınma .....	52
<b>6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>58</b>
<b>7. KAYNAKLAR DİZİNİ .....</b>	<b>60</b>

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<b><u>Şekil</u></b>	<b><u>Sayfa</u></b>
Şekil 2.1: Fe-C denge diyagramı .....	6
Şekil 2.2: Isıl işlem aşamaları .....	8
Şekil 2.3: Çeliğin maruz kaldığı dönüşümler .....	8
Şekil 2.4: Alevle yüzey sertleştirme prensibi .....	10
Şekil 2.5: Elektrik akımı frekansı ile parça yüzeyinin ısıtılması .....	11
Şekil 2.6: Nitrülenmiş çelik mikroyapısı .....	13
Şekil 2.7: Fe-C denge diyagramının çelik bölgesi ve uygulanan ısıl işlemlerin sıcaklık bölgeleri .....	16
Şekil 2.8 : Ostenit sıcaklığından sürekli soğutma dönüşüm eğrileri .....	17
Şekil 2.9: Tane irileştirme tavlama şematik gösterimi .....	19
Şekil 2.10: Gerilim giderme tavlama şematik gösterimi .....	20
Şekil 2.11: Yeniden kristalleşme tavlama şematik gösterimi .....	21
Şekil 2.12: Soğuk şekillendirilmiş malzemenin, şekillendirme ve tavlama sonrası tane boyutu .....	22
Şekil 2.13: Yumuşatma tavlama sonrası mikroyapı değişimi .....	24
Şekil 2.14: Normalizasyon tavlama sonucu mikroyapıdaki değişim .....	25
Şekil 2.15: Ötektoidaltı ve ötektoidüstü çeliklerde normalizasyon tavlama şematik gösterimi .....	26
Şekil 2.16: Malzemelere uygulanan ısıl işlemlerin Fe-C denge diyagramında gösterimi .....	27
Şekil 3.1: Aşınma çeşitleri .....	28

## ŞEKİLLER DİZİNİ (Devam ediyor)

<b><u>Şekil</u></b>	<b><u>Sayfa</u></b>
Şekil 3.2: Abrasif aşınma ile ara yüzeyde aşınma partiküllerinin oluşumunun şematik gösterimi.....	29
Şekil 3.3: Yüzey hasar sınıfları.....	31
Şekil 4.1: Arka aks dişlileri (Ayna-Pinyon Dişli).....	32
Şekil 4.2: PDA 700 Shimadzu optik spektrometre .....	33
Şekil 4.3: 20MnCr5 çeliğinin yüzeyden çekirdeğe doğru sertlik değişimi .....	33
Şekil 4.4: 8622 RH çeliğinin sertleşebilirliği .....	34
Şekil 4.5: Darbe test numuneleri .....	35
Şekil 4.6: Metkon servocut kesme cihazı .....	35
Şekil 4.7: Aichelin ısıtma fırını .....	36
Şekil 4.8: Isıl işlem proses çıktısı .....	38
Şekil 4.9: Isıl işlem prosesi süresince gerçekleşen fırın sıcaklık bilgileri .....	39
Şekil 4.10: Isıl işlem prosesine bağlı olarak numunede öngörülen %C değişimleri .....	39
Şekil 4.11: Metkon kalıplama ve zımparalama-parlatma cihazı .....	40
Şekil 4.12: Nikon & Clemex görüntü analiz sistemi .....	41
Şekil 4.13: MFL D-6800 darbe test cihazı .....	41
Şekil 4.14: Emcotest mikro sertlik ölçüm cihazı .....	42
Şekil 4.15: Aşınma test cihazı.....	43
Şekil 4.16: Hassas terazi .....	44
Şekil 5.1. 20MnCr5 ısıtma fırını görmüş numunenin 50X mikroyapı görüntüsü.....	45
Şekil 5.2. 20MnCr5 ısıtma fırını görmüş numunenin 200X mikroyapı görüntüsü.....	46

**ŞEKİLLER DİZİNİ (Devam ediyor)**

<b><u>Şekil</u></b>	<b><u>Sayfa</u></b>
Şekil 5.3. 8622 RH ısıtıl işlem görmüş numunenin 50X mikroyapı görüntüsü.....	46
Şekil 5.4. 8622 RH ısıtıl işlem görmüş numunenin 200X mikroyapı görüntüsü.....	47
Şekil 5.5. TTT Diyagramı.....	48
Şekil 5.6. Numunelerin ısıtıl işlem sonrası sertlik dağılımı .....	51
Şekil 5.7. 20MnCr5 çeliğinin ısıtıl işlem öncesi ve sonrası aşınma oranları .....	53
Şekil 5.8. 8622RH çeliğinin ısıtıl işlem öncesi ve sonrası aşınma oranları .....	53
Şekil 5.9. Isıtıl işlem sonrası malzemelerin aşınma oranlarının karşılaştırılması.....	54
Şekil 5.10. 20MnCr5 malzemesinin aşınma deneyi numunesi SEM görüntüleri.....	55
Şekil 5.11. 8622RH malzemesinin aşınma deneyi numunesi SEM görüntüleri.....	56

## ÇİZELGELER DİZİNİ

<b><u>Çizelge</u></b>	<b><u>Sayfa</u></b>
Çizelge 2.1. Soğuk şekillendirilmiş malzemenin şekillendirme ve tavlama sonrası durumu .....	23
Çizelge 4 1. 20MnCr5 & 8622RH çeliklerinin spektrometre ile elde edilen kimyasal bileşimleri .....	32
Çizelge 4 2. Isıl işlem parametreleri .....	37
Çizelge 4 3. Aşınma parametreleri .....	43
Çizelge 5.1. Isıl işlemlenmiş numunelerin darbe dayanımları .....	49
Çizelge 5.2. Orjinal ve ısıl işlemlenmiş malzemelerin sertlik ölçüm değerleri. ....	50

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### **Simgeler**      **Açıklama**

$\alpha$	Ferrit Fazı
J	Joule
$\mu$	Mikron
$\gamma$	Östenit Fazı
HRC	Rockwell Sertliği
CM	Sementit
HV	Vickers Sertliği

### **Kısaltmalar**      **Açıklama**

HMT	Hacim merkezli tetragonal
kp	Kilopond
m	Metre
mg	Miligram
RPM	Dakikadaki devir sayısı (Revolutions per minute)
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu (Scanning Electron Microscope)
YMK	Yüzey merkezli kübik



## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Günümüzde teknolojinin hızla gelişmesiyle birlikte, otomotiv sektöründe kullanılan malzemelerin, artan maliyetler sebebiyle uzun ömürlü olmaları beklenmektedir. Bu durum da, öncelikli olarak malzemelerin aşınma dayanımlarını arttırmakla sağlanabilir. Malzemelerin birbirleri üzerinde çalışıyor olması bu durumu daha da birincil öncelikli hale getirmektedir. Özellikle otomotiv ve havacılık sektöründe, malzemelerin aşınması kritik bir konu haline gelmektedir.

Malzemelerin performansları ve ömürleri konu olduğunda; aşınma en önemli özelliklerden biridir. Hatta bazen bu durum, hayati önem taşıyabilir. Aşınmanın yanı sıra, malzemelerin sertlik, mikroyapı gibi mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi, malzemelerdeki çatlak oluşumu ihtimallerinin düşürülmesi gibi konularda oldukça önem taşımaktadır.

Malzemelerde aşınma direncinin artırılması; farklı alaşım elementlerinin malzemenin kimyasal kompozisyonunda yer alması, malzemeye uygun olacak şartlar altında ısıl işlem uygulanması ve malzemelere çalışacağı yer ve karşısındaki malzeme göz önünde bulundurularak kaplama yapılması ile gerçekleştirilebilir.

%0,2 - %0,65 arasında karbon içeren çeliklere, kullanılacakları yerlere göre mekanik özellikler kazandırılabilir. Bu çelikler çoğunlukla, yüksek dinamik zorlamalar altında çalışan parçalar için kullanılırlar. Örneğin; miller, akslar, muylular, dişliler, merdaneler gibi.

Otomobil dişlilerinde kullanılan çoğu malzeme karbürizasyon işlemi sonrası kullanıma sunulmaktadır. Ancak gerek maliyeti düşürmek gerekse de servis şartlarında kullanılan geleneksel malzemelerden daha üstün dayanıma sahip özelliklerde yeni malzemeler belirleyebilmek önemli bir konudur. Bu açıdan 8622RH malzeme otomobil dişlilerinde sıklıkla kullanılmakta olup, 20MnCr5 malzeme de karbürizasyon işlem koşulları değiştirilmeksizin, bu malzemenin yerine kullanılacak alternatiflerden biridir. Bu amaçla, 8622RH malzemenin karbürizasyon koşullarında, 20MnCr5 malzemenin ısıl işleme tabi tutulması ve aşınma özelliklerinin belirlenerek 8622RH ile karşılaştırılması çalışmanın esas konusunu oluşturmaktadır.

Çalışmanın, 2. Bölümünde; çelikler hakkında genel bilgi verilerek, türleri, mekanik özellikleri ve özelliklerinin iyileştirilmesi için yapılan ısıl işlemler-tavlama/gerilim giderme işlemleri, başta karbürizasyon olmak üzere ayrıntılı olarak sunulmuştur. Çalışmanın 3. Bölümü; aşınma kavramının tanımı, türleri, mekanizmasını açıklamaya yöneliktir. 4. Bölümde; 8622RH ve 20MnCr5 malzemelerin orijinal ve ısıl işlemlerle hallerinin mikroyapısal ve mekanik özelliklerinin belirlenmesinin yanında, aşınma özelliklerini belirlemeye yönelik olarak yapılan deneysel çalışmalar sunulmuştur. Çalışmanın 5. ve son bölümünde; yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen veriler tartışılarak değerlendirilmiştir.

## BÖLÜM 2

### ÇELİKLERİN GENEL ÖZELLİKLERİ, SINIFLANDIRILMASI VE UYGULANAN ISIL İŞLEMLER

#### 2.1. Çeliklerin Genel Özellikleri

Çelik, maksimum %2,06'ya kadar C içerebilen ve ek işlem gerektirmeksizin şekillendirilebilen Fe-C alaşımıdır. Genellikle sünek malzemelerdir. Uygulanan ısı işlemlerle sertlik, dayanım ve tane boyutu gibi özellikleri değiştirilebilir. Çeliğin başta sertlik olmak üzere özelliklerinin değişimine en fazla etki eden element karbondur. Çelik, demir-karbon alaşımı olup, diğer alaşım elementlerini de belli oranda içermektedir. Mekanik özellikler, çeliğin bileşimine ve uygulanan ısı işleme bağlı olarak değişmektedir. Çelikler, bileşimine bağlı olarak içerdiği alaşım elementlerine ve uygulanan ısı işleme göre farklı özellikler gösterirler (Gupta. J., 2009).

#### 2.2. Çeliklerin Sınıflandırılması

Çeliklerin, birden fazla sınıflandırılması bulunmaktadır. Bu sınıflandırmalar; (Gupta. J., 2009).

- **Kimyasal bileşimine göre;**
  1. Alaşımız (karbon) çelikler,
  2. Alaşımli çelikler,
    - Düşük alaşımli çelikler (%5'den az),
    - Yüksek alaşımli çelikler (%5'den fazla).
- **Mikro yapısına göre;**
  1. Ötektoid altı çelikler (%0.8'den az C),
  2. Ötektoid çelikler (%0.8 C),
  3. Ötektoid üstü çelikler (%0.8'den fazla C)

Bunların yanısıra, en genel sınıflandırma olan, içerdiği karbon miktarına göre çelikler aşağıda ayrıntılı olarak anlatılmıştır.

### **2.2.1. Düşük karbonlu çelikler**

Tüm çelikler arasında, en büyük miktarda üretilen çelikler bu gruba girer. % 0.25'den daha az karbon içerirler. Bu tip çeliklerde ısıtma işlemi ile martenzit yapısı elde edilemediği için mukavemetlerinin artırılması ancak soğuk işlemle mümkündür.

Bu çelikler; otomotiv gövdeleri, levha, köprüler, kuleler ve basınçlı kaplarda kullanılırlar.

### **2.2.2. Orta karbonlu çelikler**

Orta karbon çelikleri % 0.25 - % 0.60 arasında karbon içeren çeliklerdir. Bu alaşımlarda, ısıtma işlemi prosesi uygulanarak, mekanik özelliklerde iyileştirme yapılabilir. Alaşımsız orta karbonlu çelikler, düşük sertleştirilebilirliğe sahiptirler; bu nedenle sadece çok ince kesitleri uygun bir şekilde sertleştirilebilir.

Bu çelikler; tel, mil, dingil, ray tekerleği, piston, dişliler, silindir ve pres yapımında kullanılırlar.

### **2.2.3. Yüksek karbonlu çelikler**

Yüksek karbon çelikleri % 0.60 - % 1.4 arasında karbon içeren en sert, en dayanıklı ve en düşük sünekliğe sahip karbon çelikleridir. Bu çelikler yüksek aşınma dayanımına sahip olup neredeyse tamamı sertleştirilmiş, menevişlenmiş halde kullanılırlar.

Pres kalıp blokları, torna kalemi ve matkap uçları yüksek karbonlu çeliklerden imal edilir (Gupta. J., 2009).

### 2.3. Çeliğin Isıl İşlemi

Katı haldeki metal veya alaşımlara; istenen mekanik özelliklerin ve içyapının elde edilmesi amacıyla, faz diyagramlarına göre, bir veya daha çok sayıda, duruma göre birbiri ardına zamanlanarak uygulanan ısıtma ya da soğutma işlemleri “*Isıl İşlem*” olarak tanımlanmaktadır (Karabulut, 2005).

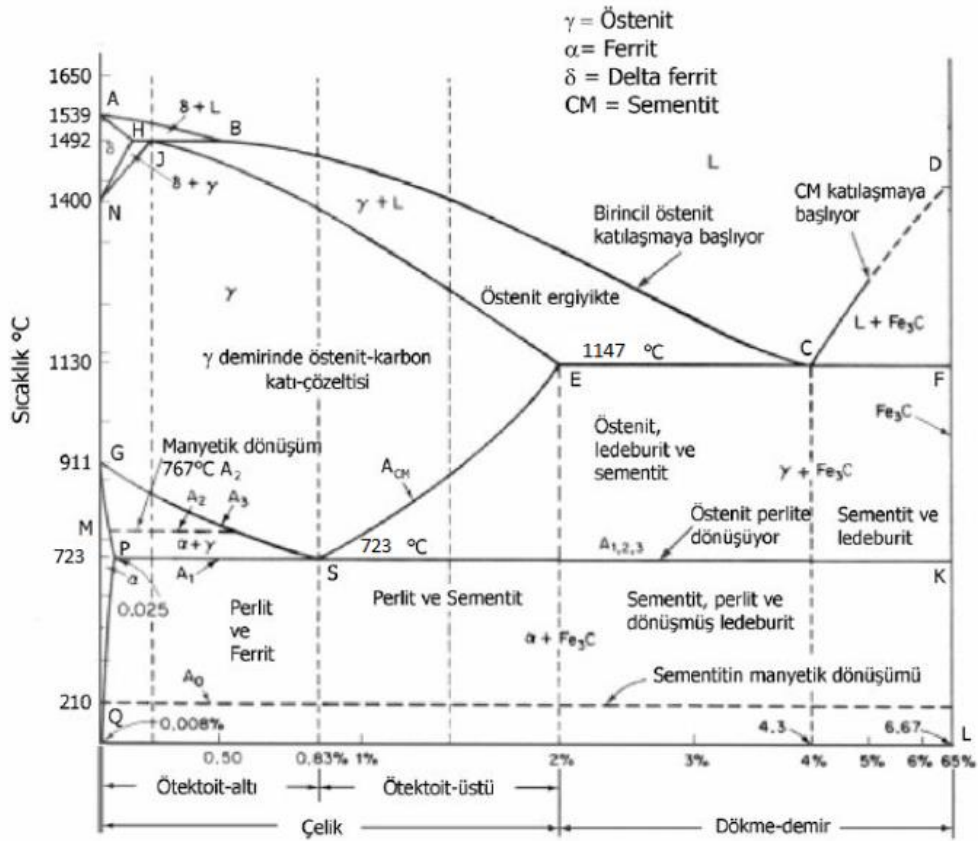
Isıl işlem üç ana evreden oluşur. Bunlar; ısıtma, ısıtılan evrede bekletme ve soğutma’dır. Fakat uygulanan ısıl işlem türüne göre; ısıl işlem sıcaklığı, bekletme süresi, ısıtma ve istenen sıcaklıkta tutma süreleri değişkenlik gösterir.

Isıl işlemin herhangi bir anında, ısıtılan parçanın merkezindeki ve yüzeyindeki sıcaklık değerleri farklıdır. Parça yüzeyi belirli bir sıcaklığa ulaştığında parçanın merkezi, parçanın boyutuna ve ısıl işlem kabiliyetine bağlı olarak daha geç ısınacağından, sıcaklığı daha düşük olur. Parçanın yüzeyi ile merkezindeki bu sıcaklık farklılıkları, ısıl gerilmeler olmasına neden olacaktır, bu da parçada çatlama yaşanmasına neden olabilir. Bu sıcaklık farkının, dolayısıyla gerilmelerin önlenmesi için, parçaya ısıtma sıcaklığının altındaki bir ya da iki sıcaklıkta ara ısıtma uygulanabilir. Ön ısıtma adı verilen bu işlemle, parçalarda daha düzenli ve homojen ısıtma sağlanır (Karabulut, 2005).

Şekil 2.1’de Fe-C denge diyagramı verilmiştir.

Isıl işlem; sertleştirme ve tavlama olmak üzere iki grupta incelenebilir.

- **Sertleştirme:** Yarı kararlı bir içyapı elde edilir. Ostenit, çeliğin bileşimine bağlı olarak bir minimum hızın altına inilmeyecek şekilde soğutulur, yarı kararlı içyapı oluşur.
- **Tavlama:** Tavlama ile içyapı kararlı denge durumuna ulaşır (Eker, 2008).



Şekil 2. 1. Fe-C denge diyagramı (Eker, 2008).

### Isıl İşlem Uygulama Amaçları

- Talaşlı işlenebilme özelliğinin iyileştirilmesi (Örnek: yumuşatma tavlaması, kaba tane tavlaması).
- Dayanımın artırılması veya azaltılması (Örnek: Sertleştirme, yumuşatma tavlaması).
- Soğuk şekil vermenin etkisini yok etme (Örnek: Yeniden kristalleştirme tavlaması, normalleştirme tavlaması).
- Yorulma direncinin artırılması.
- Aşınma direncinin artırılması.
- Mikrosegregasyonun giderilmesi (Örnek: Homojenleştirme tavlaması).
- Tane büyüklüğünün değiştirilmesi (Örnek: Yeniden kristalleştirme tavlaması).
- İç gerilmelerin azaltılması (Örnek: Gerilim giderme tavlaması).

- Belirli bir içyapının elde edilmesi (Örnek: Sertleştirme) (Mracna and Covert, 2007).

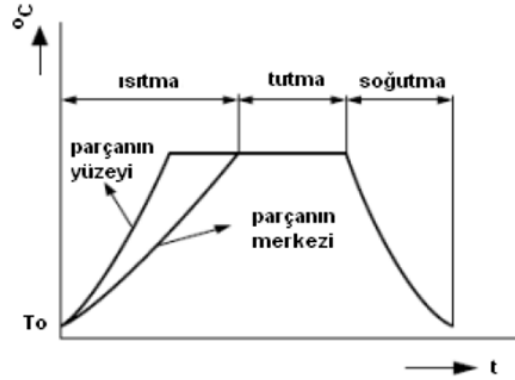
Demir, titanyum, kobalt, krom ve zirkonyum gibi metallerde, farklı sıcaklıklarda farklı kristal yapıları görülür. Sıcaklığa bağlı olarak, metalin yapısının değişimine allotropi denilmektedir. Isıl işlemler yoluyla malzemenin özelliğinin değiştirilmesinde allotropik özelliğın önemi büyüktür.

Katı fazda çeliklere uygulanan ısıl işlemler ile geniş sınırlar içinde özellikler değiştirilmekte ve böylece çeliklerin kullanım alanları daha geniş bir sahaya yayılmaktadır. Bu durum, herşeyden önce demirin  $\gamma/\alpha$  allotropik dönüşümü ile mümkündür. Bu nedenle,  $\gamma/\alpha$  allotropik dönüşümünü göstermeyen östenitik veya ferritik çeliklerde, normalleştirme (normalizasyon) veya sertleştirme gibi ısıl işlemler yapılamamaktadır (Demirci, 2004).

Çeliklere uygulanan ısıl işlemler prensip olarak üç aşamada gerçekleştirilmektedir;

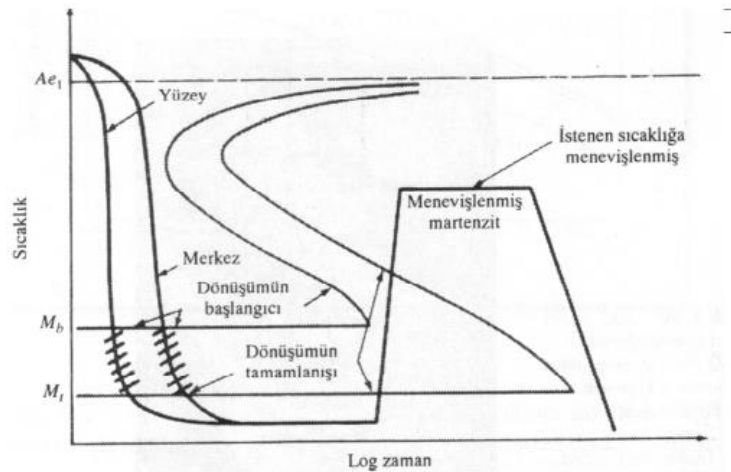
- *Oda sıcaklığından ostenit sıcaklığına ısıtma*: Isıtma hızı ve sıcaklığı malzemeden istenen özelliklere göre belirlenerek uygulanmaktadır. Ön ısıtma işlemi de gerçekleştirilir.
- *Bekletme*: Gerçekleştirilecek ısıl işlemin amacına uygun bir süreç içinde malzeme bekletilir.
- *Soğutma*: Malzemeden istenen özellikleri sağlamak amacıyla; fırında, havada, yağda veya suda soğutma gerçekleştirilir. Ayrıca, amaca uygun olarak sürekli veya kademeli olarak soğutma işlemleri de yapılmaktadır (Demirci, 2004).

Şekil 2.2.' de ısıl işlem aşamaları gösterilmiştir.



Şekil 2. 2. Isıl işlem aşamaları (Demirci, 2004).

Sertleştirme ile yarı kararlı yapı elde edilir. Ostenit bölgesindeki sıcaklıklarda bekletilen çelik, bileşimine bağlı olarak, minimum bir hızın altına inilmeyecek şekilde soğutulur ve yarı kararlı tetragonal hacim merkezli martenzit yapısı oluşur (Şekil 2.3) (Eker, 2008).



Şekil 2. 3. Çeliğin maruz kaldığı dönüşümler (Çelik, 2010).



### **2.3.1. Yüzey sertleştirme**

Çelik parçaların, aşınma mukavemetlerini; takımların ise kesme mukavemetlerini artırmak amacıyla sadece parçaların yüzeylerinde yapılan sertleştirme işlemidir.

Yüzey sertleştirmede parçaların tamamı ısıtılmaz. Sadece sertleşmesi gereken yüzeyler (parçaların üst yüzeyleri) ısıtılır ve hemen parçaya ani soğutma uygulanır, böylelikle parçaların iç yapıları korunmuş olur.

Yüzey sertleştirme endüstride çelik malzemelerin iç yapılarına dokunmadan, genellikle yüzeysel olarak aşınmaya veya zorlanmaya maruz kalan malzemelere ve diğer sertleştirme yöntemleri uygulandığında şekil bozulmaları oluşabilecek parçalara uygulanır.

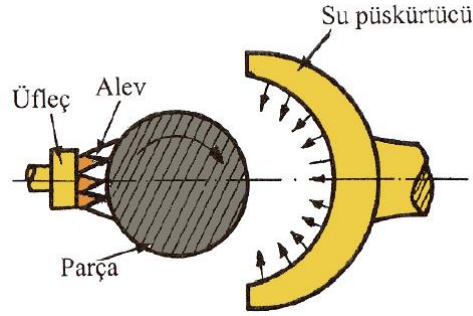
#### **2.3.1.1. Malzemenin (yüzeyin) kimyasal yapısını değiştirmeden yapılan yüzey sertleştirme işlemleri**

Kimyasal bileşim değişikliğine uğratmadan yapılan yüzey sertleştirme işlemleri aşağıdaki bölümde anlatılmıştır.

##### **2.3.1.1.1. Alevle yüzey sertleştirme**

Alevle yüzey sertleştirme, gaz üfleçleri yardımı ile sertleştirilmesi istenilen yüzeyin ısıtılması ve uygun soğutma ortamlarında ani soğutulması işlemidir.

Yanıcı gaz olarak çoğu kez asetilen ve likit petrol gazı (LPG), bunların yanında hava gazı, doğalgaz, metan ve propan gibi gazlar, yakıcı olarak da oksijen kullanılır. Böylelikle parçaya ısıtma işlemi uygulanır. Soğutma işlemi ise genellikle su, suyun yanı sıra tuz çözeltisi ve hava kullanılarak yapılır (Serfiçeli, 1998) (Şekil 2.4).



Şekil 2. 4. Alevle yüzey sertleştirme prensibi (Serfiçeli, 1998).

#### Avantajları

- Büyük ölçekli parçalara rahatlıkla uygulanabilir,
- Belirli şartlar altında oldukça ekonomiktir,
- İşlem sonrası malzeme yüzeyinde pürüzlülük oluşmaz,
- Malzemede çarpılma ve yamulmalar çok az olur.

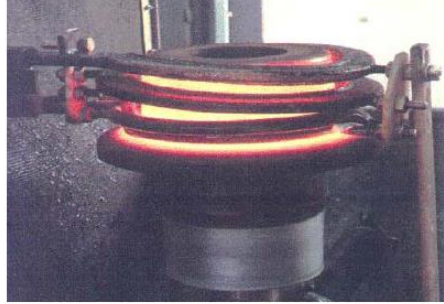
#### Dezavantajları

- Çok sayıda parçalara uygulanırsa pahalı bir yöntemdir,
- Yüksek karbonlu ve kaba kesitli çelik malzemelere yüzeyde çatlama riski olduğundan uygulanmaz,

Malzemenin alevle sertleştirilmesinden sonra parça 150° C - 200° C arasında ısıtılıp, havada soğutulmak sureti ile gerilmeler giderilerek işlem tamamlanır (Serfiçeli, 1998).

#### **2.3.1.1.2. İndüksiyon akımı ile yüzey sertleştirme**

Elektrik akımından yararlanarak parçaların ısıtılıp, ani olarak soğutulması indüksiyon akımı ile yüzey sertleştirme işlemi olarak adlandırılır. Bu yöntemin, alevle yapılan yüzey sertleştirmeye göre farkı, ısının elektrik enerjisinin dönüşümü ile parça yüzeyine uygulanmasıdır. Şekil 2.5' te indüksiyon akımı ile sertleştirme görüntüsü verilmiştir.



Şekil 2. 5. Elektrik akımı frekansı ile parça yüzeyinin ısıtılması (Serfiçeli, 1998).

İndüksiyonla ısıtmadan sonra, ani soğutma genellikle su ile yapılır. Gerilmeleri ve çatlama engellemek için 50 °C – 60 °C sıcaklığında su, tuz ya da yağ banyosu kullanılabilir.

#### **Avantajları**

- İndüksiyonla yüzey sertleştirmede, malzemenin ısınma süresi çok kısa olduğundan çevrenin ısınması çok azdır.
- Bu yöntem ile parça kısa sürede ısındığından etrafa gaz yayılmaz ve daha temiz çevre sağlanır,
- Seri üretim için kullanılmaya çok uygundur,
- Elektrik ortamında otomatik kontrol sayesinde ısıtma daha iyi ayarlanır,
- Parçaların seri imalatında zaman ayarı, elektriksel olarak yüzeye tatbik edilen sıcaklığın ve nüfuz derinliğinin otomatik olarak ayarlanması oldukça kolaydır.

#### **Dezavantajları**

- En önemli dezavantajı elektrik üretimi ve ayarlama aletleri gerekli olan tesis oldukça masraflıdır.
- Komplike sargıların gerektiği durumlarda ve bunun yanında parça sayısı da çok az ise sertleştirme maliyeti çok artar,
- Bu yöntem malzeme seçimine sınırlama getirmesi de iyi olmayan

yönlerindedir,

- Düşük karbon miktarlı parçalarda diğer yöntemle ulaşabilen sertlik değerlerine ulaşamaz, yüksek karbonlu çeliklerde ise çatlama tehlikesi meydana çıkar,
- Keskin kenar ve köşeli parçaların bu bölgelerinde aşırı ısınmalar meydana geleceği için güçlükler oluşur (Serfiçeli, 1998).

### **2.3.1.2. Malzemenin (yüzeyin) kimyasal yapısını değiştirerek yapılan yüzey sertleştirme işlemi**

Kimyasal bileşim değiştirerek yapılan yüzey sertleştirme işlemleri aşağıdaki bölümde anlatılmıştır.

#### **2.3.1.1.2. Nitrürasyon**

Bu yöntemde çelik, sıcaklığı 500°C - 550°C olan fırında amonyak gazı ortamında bekletilmesi sonucunda veya aynı sıcaklıklarda azot veren tuz banyosu içine konularak yüzeyde ince ve çok sert bir tabaka oluşur.

Bu işlemi uygulayabilmek için, çeliğin nitrürasyon çeliği olması gerekmektedir. Bu çelikler; Cr, Al ve Mo elementlerinden en az birisini içerirler. Bu elementler N ile nitrür tabakası oluşturur.

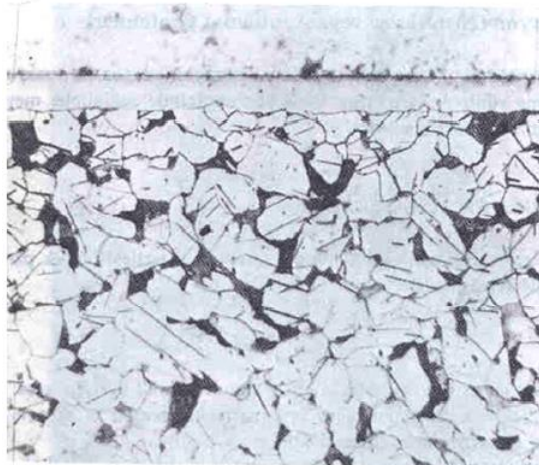
Amonyak gazı yüksek sıcaklıklarda azot ve hidrojene ayrılır. Ayrışan bu gazlardan azot çeliğe difüzyon yolu ile girer ve genellikle 5-15 µm boyutunda çok ince nitrür çökeltileri oluşturmak için reaksiyona girer. Yüzeyde çok sert bir yapıda nitrür tabakası oluşturur.

Demirde kısmen çözünen azot, %6' ya kadar olan bileşimlerde ferrit ile katı çözeltili oluşturmakta ve %6 azot bileşiminde Fe<sub>4</sub>N kristal yapılı γ fazı oluşturmaktadır. %8' den daha fazla azot içeriğinde ise denge reaksiyon ürünü olan Fe<sub>3</sub>N kristal yapılı ε fazı oluşmaktadır Nitrülenmiş yüzeyler katmanlı bir yapıda olup en dış yüzey beyaz tabaka diye isimlendirilen γ fazından oluşmaktadır. Çelik parçanın dış yüzeyi ince ve çok sert bir yapı alırken, malzemenin iç yapısı yumuşak kalır.

Çok zaman alıcı bir metottur. 0,35 mm nitrür tabakası elde etmek için parçayı fırında ve amonyak gazı içinde yaklaşık 20 saat kadar bekletmek gerekir. Şekil 2.6'da nitrürlenmiş çelik mikroyapısı verilmiştir.

### **Avantajları**

- Yüksek yüzey sertliği ve aşınma mukavemeti
- Yüksek yorulma mukavemeti ve düşük yorulma çentik hassasiyeti
- Çeliklerde korozyon direnci
- Yüksek boyutsal kararlılık (Çelik, 2010).



Şekil 2. 6. Nitrürlenmiş çelik mikroyapısı (Çelik 2010).

### **2.3.1.1.3. Sementasyon**

Bu işlem genellikle düşük karbonlu ve düşük alaşımlı çeliklere uygulanır. Bu tür parçalar, 880 °C – 980 °C sıcaklıklardaki karbonca zengin olan ortamlarda, ısıtılma tabi tutulur.

Sementasyon yöntemi uygulanacak çeliklerin karbon oranları genellikle % 0,20'nin altındadır. Bu karbon miktarı ile çelik sertleştirilemez. Bu sebeple öncelikle çeliğin karbon oranının artırılması ve böylece sertleşebilir hale gelmesi sağlanır. Bunun için yüzeye difüzyon yoluyla karbon emdirilir ve daha sonra uygun ortamda

sertleştirme işlemi yapılır. Sementasyon işlemi uygulamada genelde katı, sıvı ve gaz sementasyon yöntemi olmak üzere üç çeşittir (Serfiçeli, 1998).

#### **2.3.1.1.3.1. Katı sementasyonu**

Sementasyon işleminde parçalar, karbürleyici toz ile karıştırıldıktan sonra hava geçirmeyen kapalı sementasyon kutularında yaklaşık 900 °C' de tavllanır.

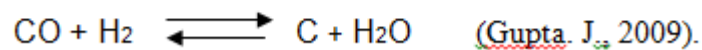
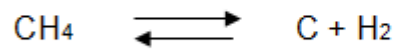
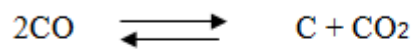
#### **2.3.1.1.3.2. Sıvı sementasyonu**

Sıvı sementasyon yönteminde malzeme daha önceden hazırlanmış tuz banyoları içerisine konular ve yaklaşık 930°C' de tavllanır. Karbonca zenginleşen parça uygun soğutma ortamında soğutularak sertleştirme işlemi yapılır.

#### **2.3.1.1.3.3. Gaz sementasyonu**

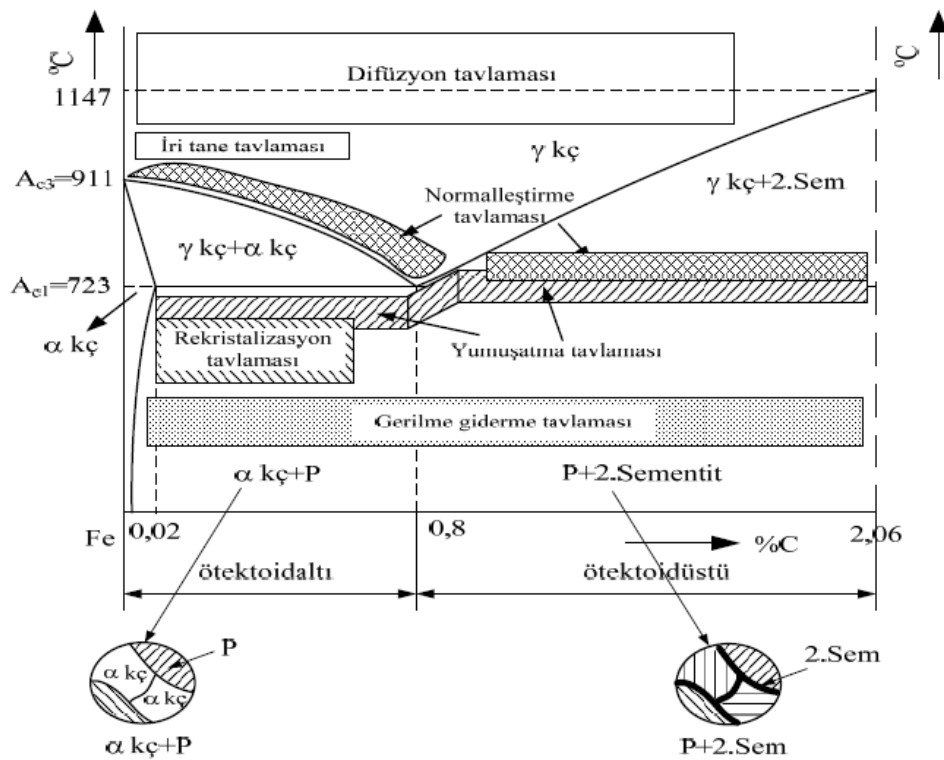
Gaz sementasyon yöntemi ile karbon oranı düşük olan malzemelerin, gaz ve ısı aracılığı ile karbon oranı artırılarak sertleştirme işlemi için yeterli karbon düzeyine getirilir. Bu işlemden sonra malzeme hızla soğutulur. Soğutma işleminden sonra yüzeyi sertleştirmek için malzeme tekrar tavllanır ve uygun soğutma ortamında sertleştirme işlemi yapılır (Serfiçeli, 1998).

Aşağıdaki reaksiyonların soldan sağa doğru ilerlemesi sonucu, ortaya çıkan atomik karbon, ostenit fazdaki çelik bünyesine girerek yüzeyde karbonca zengin kabuk bölgesini meydana getirir.



Çeliklerde, ostenit  $A_{c3}$  ve  $A_{cm}$  sıcaklıklarının üzerinde kararlı haldedir. Bu sıcaklıklardan soğutmakla, ostenit çeliğin kimyasal bileşimine ve soğutma hızına bağlı olarak kararsız ve yeni mikroyapılara dönüşür. Dönüşüm difüzyona müsade edecek hızda olursa, ferrit, perlit ve beynit gibi yapılar meydana gelir. Bunlar yüksek sıcaklık dönüşüm ürünleridir. Düşük karbonlu çeliklerde bu dönüşümler  $A_{c3}$  ve  $400\text{ }^{\circ}\text{C}$  arasındaki sıcaklıklarda meydana gelmektedir (Şekil 2.7). Çeliklerin sertleştirilmesinde ise, yapısı tamamen ostenit fazına dönüştürülmüş alaşımsız karbon çeliğinin kritik soğuma hızının üzerindeki bir hızda oda sıcaklığına soğutulmasıyla (difüzyon için gerekli zaman verilmeden) ostenit fazının bünyesindeki karbon kafesi terketmeye vakit bulamadan kristal kafes yapısı HMK'ya dönüşmeye başlar. Martenzit dönüşümü difüzyonsuz (kaymalı) bir dönüşümdür, su verme hızı karbon difüzyonuna izin vermeyecek kadar hızlı olduğundan ferrit ve sementit fazları oluşamaz. Martenzitik dönüşümde birçok atom birlikte hareket ederek, kısmi yer değişikliği meydana gelir. HMK kafesin bünyesinde çok miktarda karbon çözmesi mümkün değildir ancak bu karbonu dışarı atmasına elverişli bir sıcaklıkta yoktur. Bu durumda yapı HMT hale dönüşür, bu şekilde oluşmuş yapının adı martenzittir. Martenzit dönüşüm bitiş sıcaklığı ( $M_f$ ), su verme ortam sıcaklığının altına düşerse, ostenitin martenzite dönüşümü tamamlanamaz. Martenzitte bütün karbon atomları arayerde kalır ve oda sıcaklığında sonsuza kadar kalabilir. Difüzyonsuz martenzitik dönüşüm anlık olarak gerçekleşir. Martenzit, ostenit tanelerinde çekirdeklenir ve büyür. Martenzit taneleri, plaka ve iğnemi şekilde oluşur. Bu dönüşüm atermal dönüşüm olarak adlandırılmaktadır (Parrish, G. and Krauss, G: Aydın, H., 2006 ).

Düşük karbonlu çeliklerden ( $\leq \%0,25\text{C}$ ) üretilen makine parçaları, karbonlama ile yüksek karbonlu bir kabuk ( $\sim\%0,8-0,9\text{C}$ ) ve düşük karbonlu bir çekirdeğe sahip olur. Böyle bir parça sertleştirilir ise yüzeyi sert, çekirdeği tok olur (Aydın, H., 2006).



Şekil 2. 7. Fe-C denge diyagramının çelik bölgesi ve uygulanan ısıl işlemlerin sıcaklık bölgeleri (Eker, 2008).

Bir malzemede yapının tamamen martenzite dönüştürülebilmesi için hem CCT diyagramında uygun bir eğriyi izleyerek soğutma yapılmalı, hem de malzemede kafesi dejenere edebilecek kadar çok karbon elementi bulunmalıdır. Bununla beraber, bir malzemede yapının tamamen martenzit olabilmesi için soğutulduğu alt sıcaklıkta  $M_f$  sıcaklığının altında olmalıdır. Aksi durumda yapıda bir miktar ostenit fazı kalacaktır.

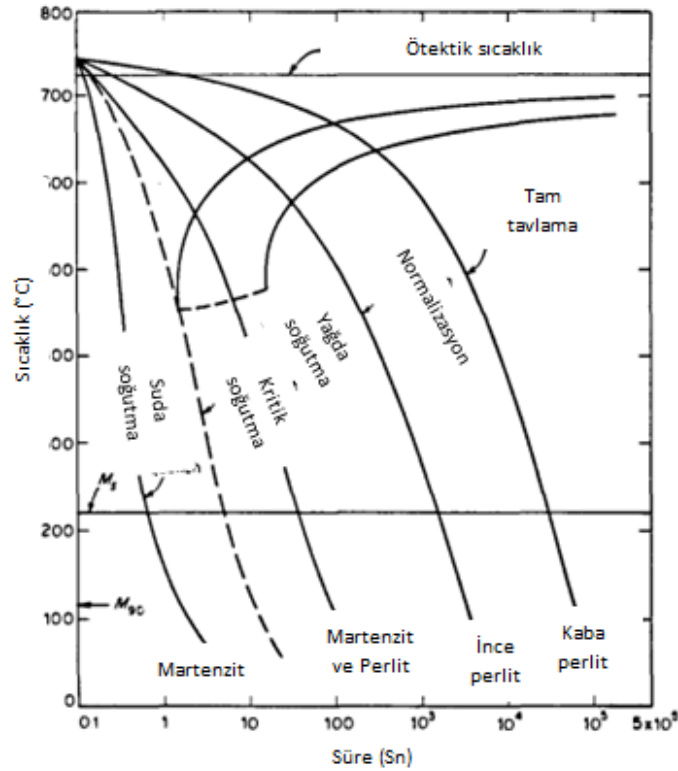
$M_s$  ve  $M_f$  sıcaklığının konumu ve perlit burnunun sıcaklık eksenine mesafesi malzemenin içerdiği karbon oranına bağlıdır. Karbon oranı arttıkça  $M_s$ - $M_f$  aralığı aşağıya doğru iner ve perlit burnu sıcaklık ekseninden uzaklaşır (Çelik, 2010).

Herhangi bir çeliğin su verilerek sertleştirilmesi için gerekli soğuma hızı, o çeliğe ait TTT diyagramında burun noktasını kesmeyecek şekilde seçilecek bir soğuma



hızdır. Bu soğuma hızı, o çeliğin sertleştirilebilmesi için gerekli minimum soğuma hızıdır ve kritik soğuma hızı olarak bilinir.

Şekil 2.8’de Sıcaklık ve zamana bağlı soğutma dönüşüm eğrileri verilmiştir.



Şekil 2. 8. Ostenit sıcaklığından sürekli soğutma dönüşüm eğrileri

(Malcolm, B., Thomas L. S)

Martenzitin sertlik ve dayanımları doğrudan karbon miktarına bağlıdır ve karbon miktarı arttıkça artmaktadır. Fakat süneklik ve tokluk artan karbon miktarıyla azaldığından, martenzitli karbon çeliklerinin çoğu dönüşüm sıcaklığı 723 °C altına ısıtılarak menevişlenmektedir.

Karbon miktarı % 0.2' nin üzerine çıktığında arayer katı çözeltilisiyle dayanım artışı daha belirgin olur ve HMK kafesi bozularak tetragonalleşir. Yüksek karbonlu Fe-

C martenzitlerinde iğnesel martenzitin çok sayıda ikizlenme arayüzeyleri de sertliğin artmasına yardımcı olmaktadır (Çelik, 2010).

Sertleştirme sırasında oluşan martenzit genel olarak çok gevrekler. Bu yüzden martenzit halinde bir çeliğe temperleme işlemi uygulanmadan kullanmak doğru değildir. Temperleme, toklukta ve süneklikte artışa, fakat sertlikte bir miktar düşüşe neden olur.

1. 80 - 160 °C →ε karbür adı verilen karbonca zengin bir fazın çökmesi. ε karbürün çökmesi sonucunda martenzit içerisindeki karbon oranı % 0.3 değerine iner.
2. 230 - 280 °C →Kalıntı ostenitin beynite benzer bir yapıya dönüşmesi
- 3a. 160 - 400 °C →Sementit (Fe<sub>3</sub>C) oluşumu ve bunun ε karbürün yerine büyümesi.
- 3b. 400 - 700 °C →Sementitin küreleşmesi ve sürekli olarak büyümesi (Çelik 2010).

**2.3.2. Tavlama :** Tavlama yöntemleri aşağıda detaylarıyla anlatılmıştır;

**2.3.2.1. Difüzyon (yayınma) tavlama (homojenizasyon, homojenleştirme tavlama)**

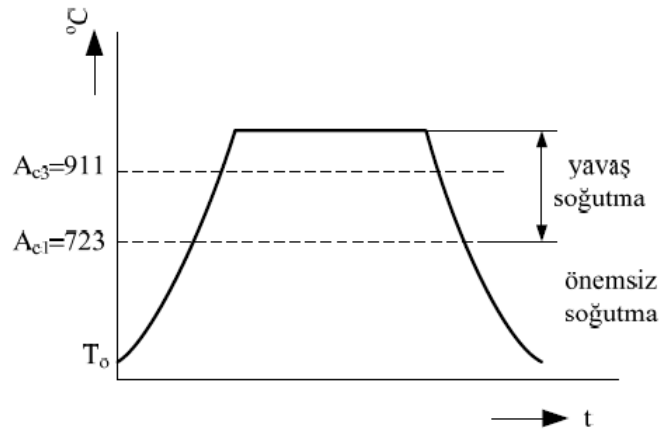
Birincil kristalleşme sonucunda oluşan kimyasal bileşim farklılıklarını (mikrosegregasyonu) gidermek için yaklaşık 1100 °C - 1300 °C arasında, 6 - 12 saat veya 50 saat süre ile uygulanır. Böylelikle, ikincil kristalleşmede (örneğin sıcak şekillendirmede) ortaya çıkacak bantlı iç yapının oluşması önlenir.

Sıcaklığın yüksek ve işlem süresinin uzun olması nedeniyle, pahalı bir işlemdir. İşlem sonunda tane büyümesi gözlenir (Eker, 2008).

### 2.3.2.2. Tane irileştirme tavlaması (İri tane tavlaması, kaba tane tavlaması)

Düşük karbonlu çeliklerde (% C < % 0.2), talaşlı işleme kabiliyetini iyileştirmek amacıyla uygulanır. Tavlama sıcaklığı 950 °C – 1100 °C arasında seçilir, tavlama süresi ise yaklaşık 3 - 5 saat'tir.

Tavlama sonucunda gevrek ve kaba taneli bir iç yapı elde edilerek, talaşın sürekliliği engellenir. Yüksek sıcaklıklarda yapılan bu tavlama sonucunda, malzemenin tokluk değeri düştüğünden çok sık uygulanmaz (Eker, 2008) (Şekil 2.9).



Şekil 2. 9. Tane irileştirme tavlaması şematik gösterimi (Eker, 2008).

### 2.3.2.3. Gerilim giderme tavlaması

Uniform olmayan ısıtma - soğutma işlemleri (döküm, kaynak, sertleştirme), uniform olmayan şekil değişimi (eğme, soğuk şekillendirme), talaşlı işleme (frezeleme, tornalama) ve dönüşüm olayları sırasında parça içinde oluşan gerilmelerin giderilmesi amacıyla uygulanır.

İşlem sıcaklığı, malzemenin kimyasal bileşimine göre, alaşımsız ve az alaşımlı çeliklerde 500 °C – 680 °C arasındadır. İşlem süresi ise, 30 - 60 dakika arasındadır.

İşlemin başarılı sonuç verebilmesi için soğuma işleminin yavaş yapılması gerekir. Aksi takdirde soğuma farkı nedeniyle, malzeme içinde tekrar iç gerilmeler oluşabilir (Eker, 2008).

Çeliklerde gerilim giderme tavlama iki yöntemle yapılmaktadır;

### **2.3.2.3.1. Menevişleme**

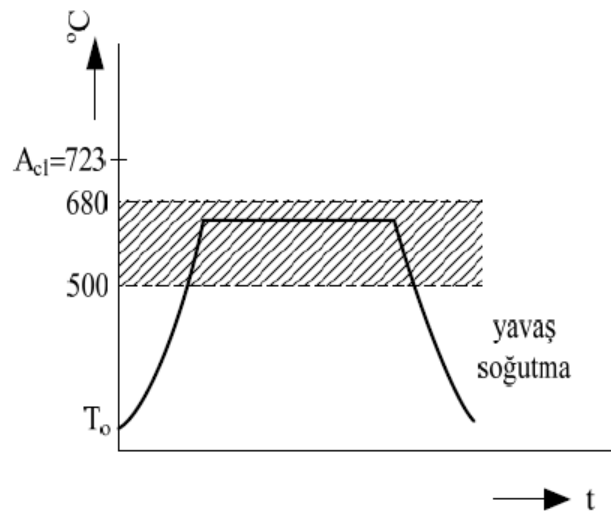
Temperleme olarakta adlandırılan bu işlem, sertleştirilmiş malzemelerin gerginliğini ve kırılgenliğini almak için uygulanır. Menevişlemenin anlamı, malzemeyi sertleştirdikten sonra tekrar ısıtmaktır. Meneviş işlemi sonucunda, sertleştirilmiş yapıdaki martenzit doku azalır.

Menevişleme işlemi, bir difüzyon işlemi olduğu için sıcaklık süresi menevişlemeyi etkiler.

Çeliklerin alaşım oranına göre, meneviş sıcaklıkları farklılık gösterir. Sıcaklık ve bekleme süresi menevişlemeye etki ettiğinden, yüksek sıcaklıklarda daha kısa süre tutulurken, düşük sıcaklıklarda daha uzun süre tutularak menevişleme uygulanır ve çeliğin iç yapısı sünekleşir (Karabulut, 2005).

### **2.3.2.3.2. Islah**

Çoğunlukla yapı çeliklerine uygulanan bu işlem sertleştirme sonrası yüksek sıcaklıkta (450-675°C) bekletme ve havada soğutma işlemidir. Yüksek süneklilik oluşturmak için yapılır. Islah işlemi ile martenzitik yapı ortadan kaldırılmış olur (Karabulut, 2005) (Şekil 2. 10).



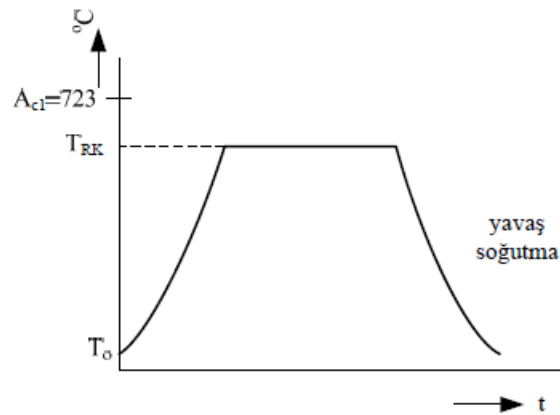
Şekil 2. 10. Gerilim giderme tavlama sürecinin şematik gösterimi (Eker, 2008).

### 2.3.2.4. Yeniden kristalleştirme tavlaması (Rekristalizasyon tavlaması)

Soğuk deformasyonla şekillendirilmiş malzemelerde mikroyapı deformasyon yönünde dizilerek tekstür denen bir hal alır. Bu yapı belli yönlerde mukavemetini yitirmiş bir yapıdır. Bu malzemenin özelliklerini (örneğin yüksek dayanım, düşük süneklik ve tokluk gibi) başlangıç durumuna getirmek için yapılan işleme Yeniden kristalleştirme tavlaması denir. Tavlama sıcaklığı  $600\text{ }^{\circ}\text{C} - 700\text{ }^{\circ}\text{C}$ , tavlama süresi ise yaklaşık 1 saattir.

Bu tavlama yönteminin uygulanabilmesi için malzemenin en az % 10 oranında soğuk şekillendirilmiş olması gerekir.

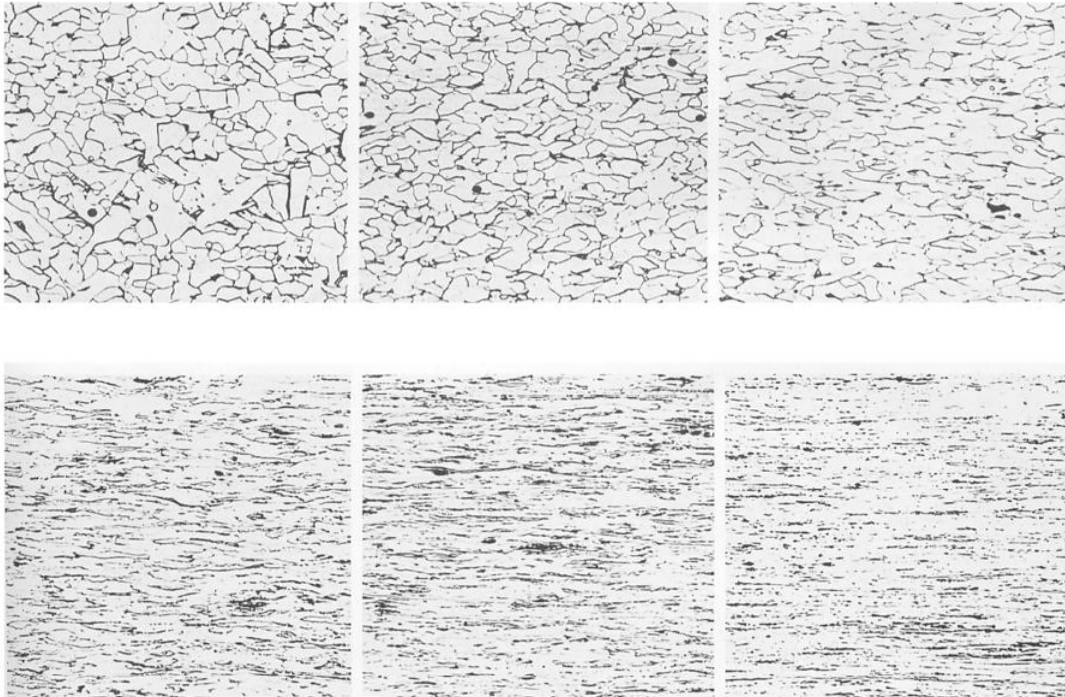
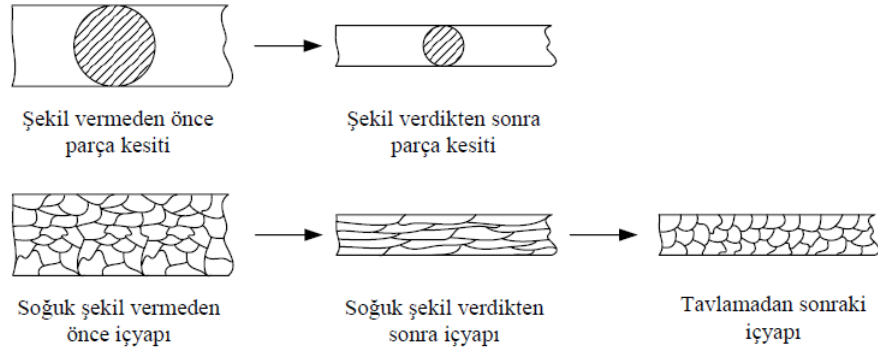
Yeniden kristalleştirme sırasında öncelikle bir toparlanma gerçekleşir, ardından malzemenin yeniden çekirdeklenmesi ve tanelerin oluşumu gelir. Bu olayı da tanelerin büyümesi izler. Böylece metalik malzemenin, katı halde bozulmadan yeniden kristalleştirme sağlanır ve soğuk şekillendirme sonucunda oluşan pekleşme, sertleşme giderilerek malzemeye daha sonraki soğuk şekillendirme işlemleri için gerekli olan süneklik kazandırılır. Eğer bir malzeme yeniden kristalleştirme sıcaklığında çok uzun süre tutulursa taneler aşırı büyür ve bu durumda mukavemet düşer (Eker ,2008 ;Çelik, 2010). Şekil 2.11’de yeniden kristalleştirme tavlamasının şematik gösterimi verilmiştir. Şekil 2.12’ de ise; soğuk şekillendirme ve tavlama sonrasında çelikteki iç yapı değişimi ve tane boyutları görülmektedir.



Şekil 2. 11. Yeniden kristalleştirme tavlamasının şematik gösterimi (Eker, 2008).

Teknik saflıktaki metallerde, rekristalizasyon sıcaklığı

$$T_{RK} = T_{YK} \cong 0,4T_e \quad (K)$$



Şekil 2. 12. Soğuk şekillendirilmiş malzemenin, şekillendirme ve tavlama sonrası tane boyutu (Eker, 2008, Çelik 2010).

Çizelge 2.1. Soğuk şekillendirilmiş malzemenin şekillendirme ve tavlama sonrası durumu (Eker 2008).

<i>Soğuk Şekil verdikten sonraki iç yapı</i>	<i>Tavlamadan sonraki iç yapı</i>
<b>İç gerilme yüksek</b>	İç gerilme azalmış
<b>Taneler uzamış</b>	Taneler küçük ve eş eksenli
<b>Yapıda homojenlik yok</b>	Yapıda homojenlik var
<b>Diskolasyon yoğunluğu yüksek</b>	Diskolasyon yoğunluğu azalmış

- Tavlama sonrasında oluşan tane boyutu, malzemeye uygulanan soğuk şekillendirme oranına bağlıdır.
- Soğuk şekil değiştirme oranı fazla ise ince taneli, az ise iri taneli iç yapı oluşur.
- Tavlama sonucunda, malzemenin diskolasyon yoğunluğu azaldığından, malzeme başlangıç sünekliğine kavuşur.
- Yüksek alaşımlı çelikler gibi dönüşüm göstermeyen çeliklerde tane boyutu küçültme işlemi rekristalizasyon tavlaması ile yapılır (Eker 2008) (Çizelge 2.1).

### 2.3.2.5. Yumuşatma tavlaması (Yumuşak tavlama, Küreselleştirme tavlaması)

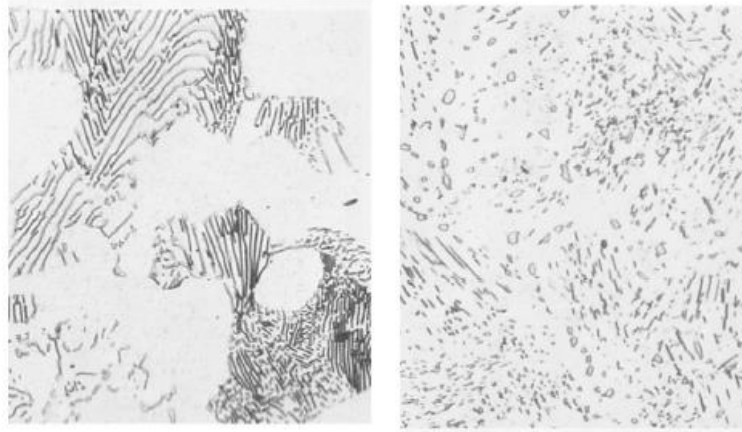
İstenilen mekaniksel ve fiziksel özellikleri elde etmek, soğuk şekillendirmeyi ve talaş kaldırmayı kolaylaştırmak için çelik malzemelerin ısıtılıp, istenilen değişikliklerin oluşması gerçekleşinceye kadar bu sıcaklıkta tutulması ve sonrada yavaş soğutulması işlemidir.  $\% C \geq \% 0.4$  olan çeliklerde talaşlı işlemeyi;  $\% C < \% 0.4$  olan çeliklerde soğuk şekillendirmeyi kolaylaştırmak amacıyla uygulanır. Şekil 2.13'te yumuşatma tavlaması sonrası oluşan mikroyapı değişimi görülmektedir.

Tavlama sıcaklığı çeliğin ötektoidaltı ya da ötektoid üstü olmasına göre değişir. Tavlama süresi ise 5 saatten az olmamalıdır (Karabulut, 2005 ve Eker, 2008).

#### Başlıca uygulanma sebepleri:

- Malzemelerin sertliğini azaltmak,
- Dövülmüş ya da dökülmüş parçaların iç gerilmelerini azaltmak,

- Talaş kaldırmayı kolaylaştırmak,
- Çeliklerin elektrik ve manyetiksel özelliklerini iyileştirmek,
- Tane boyutunu küçültmek (Karabulut, 2005).



Şekil 2. 13. Yumuşatma tavlaması sonrası mikroyapı değişimi (Çelik, 2010).

#### 2.3.2.6. Normalizasyon tavlaması

Çeliğin ostenitleme bölgesine kadar ısıtılıp burada tüm yapısı ostenit oluncaya kadar bekletilmesi ve ardından havada soğutulması ile yapılan ısıl işlemdir. Bu ısıl işlem sonunda ötektoid altı alaşımsız karbon çeliklerinin ince kesitleri, ötektoid öncesi ferrit ve ince pertitten oluşur.

Normalizasyon tavlaması şu amaçla yapılır;

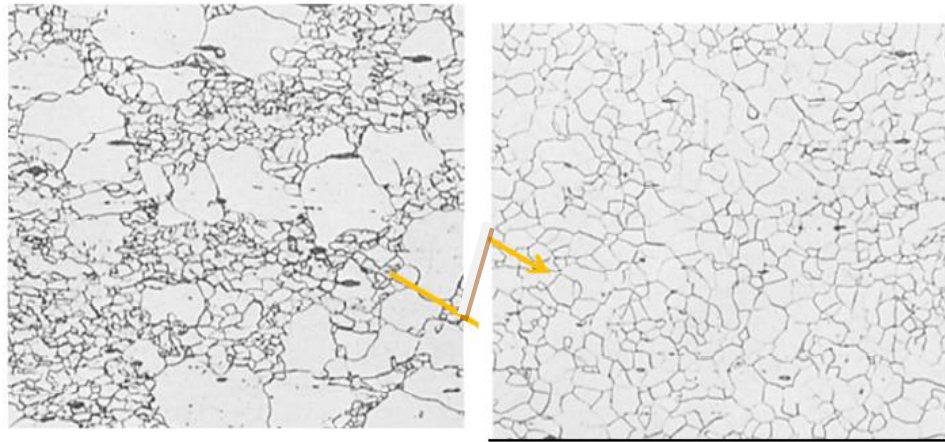
- Soğuk şekil verme sonrasında uzamış taneleri başlangıç yapısına döndürme,
- Döküm iç yapısı olan Widmanstatten yapısını iyileştirmek,
- Sıcak haddeleme sonucunda oluşan bantlı iç yapının giderilmesi,
- Kaynaklı parçalarda, (tane büyüklüğü farklı olan hadde yapısı ve döküm iç yapısının bir arada olduğu durumlarda),
- Difüzyon tavlaması sonucunda irileşmiş tanelerin inceltilmesi,



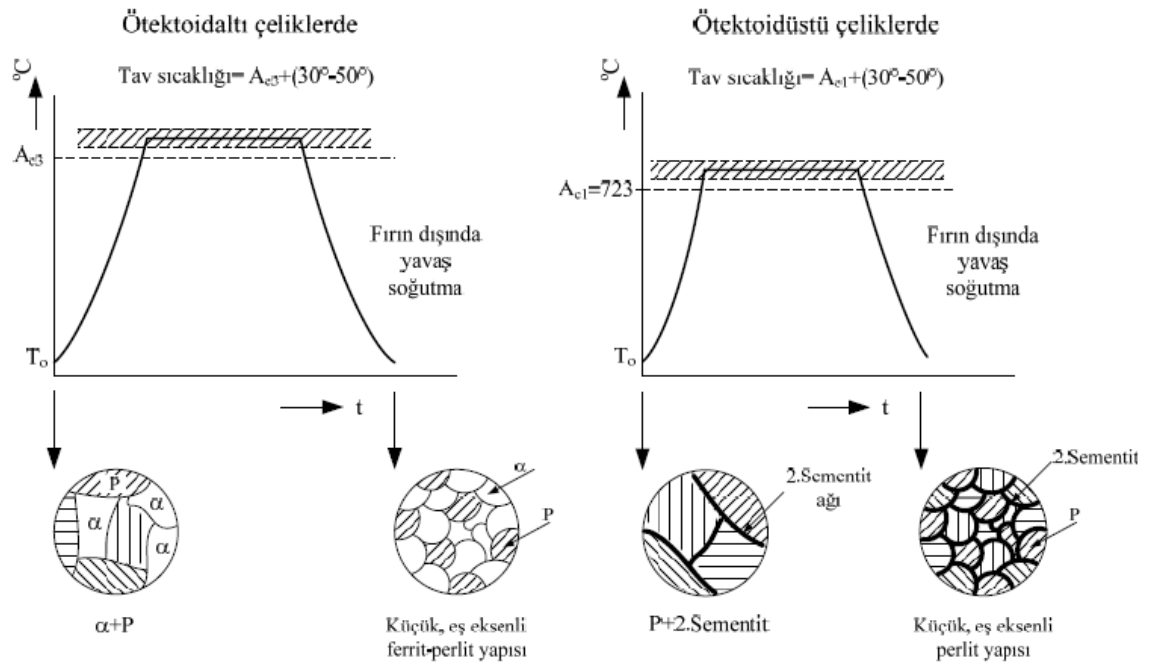
Tavlama işlemi sonucunda, malzemenin mekanik özelliklerinde, özellikle de tokluğunda artış sağlanır. Tav süresi, et kalınlığına göre 30 - 60 dakika arasında değişir (Eker, 2008 ve Çelik, 2010).

Şekil 2.16' da bütün ısıtım türlerinin Fe-C denge diyagramında gösterimi verilmiştir.

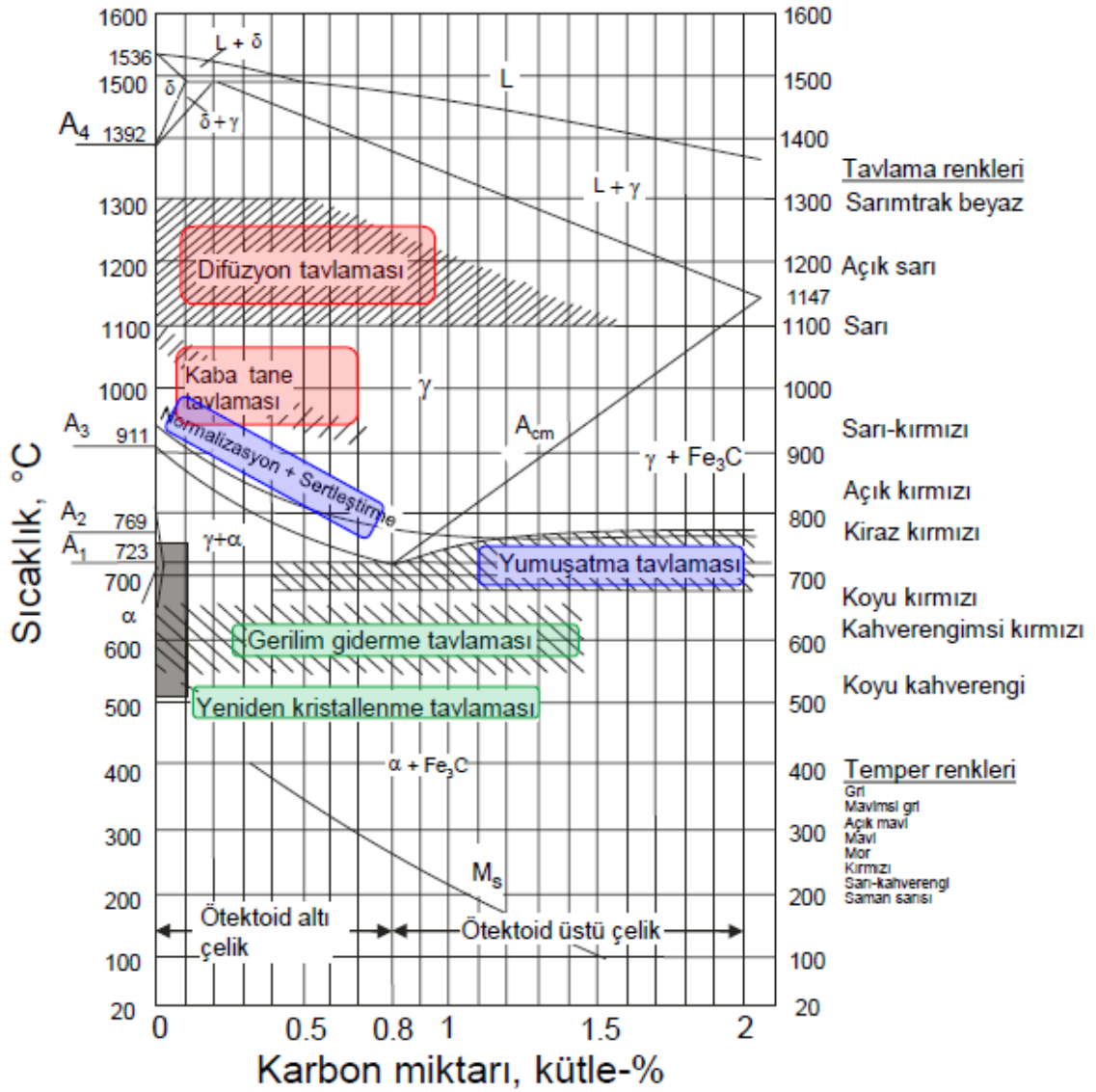
Şekil 2.14 ve 2.15'te tavlama sonrası oluşan mikroyapı değişimleri görülmektedir.



Şekil 2. 14. Normalizasyon tavlama sonucu mikroyapıdaki değişim (Çelik, 2010).



Şekil 2. 15. Ötektoidaltı ve ötektoidüstü çeliklerde normalizasyon tavlamaının şematik gösterimi (Eker, 2008).



Şekil 2. 16. Malzemelere uygulanan ısıl işlemlerin Fe-C denge diyagramını gösterimi (Eker, 2008).

## BÖLÜM 3

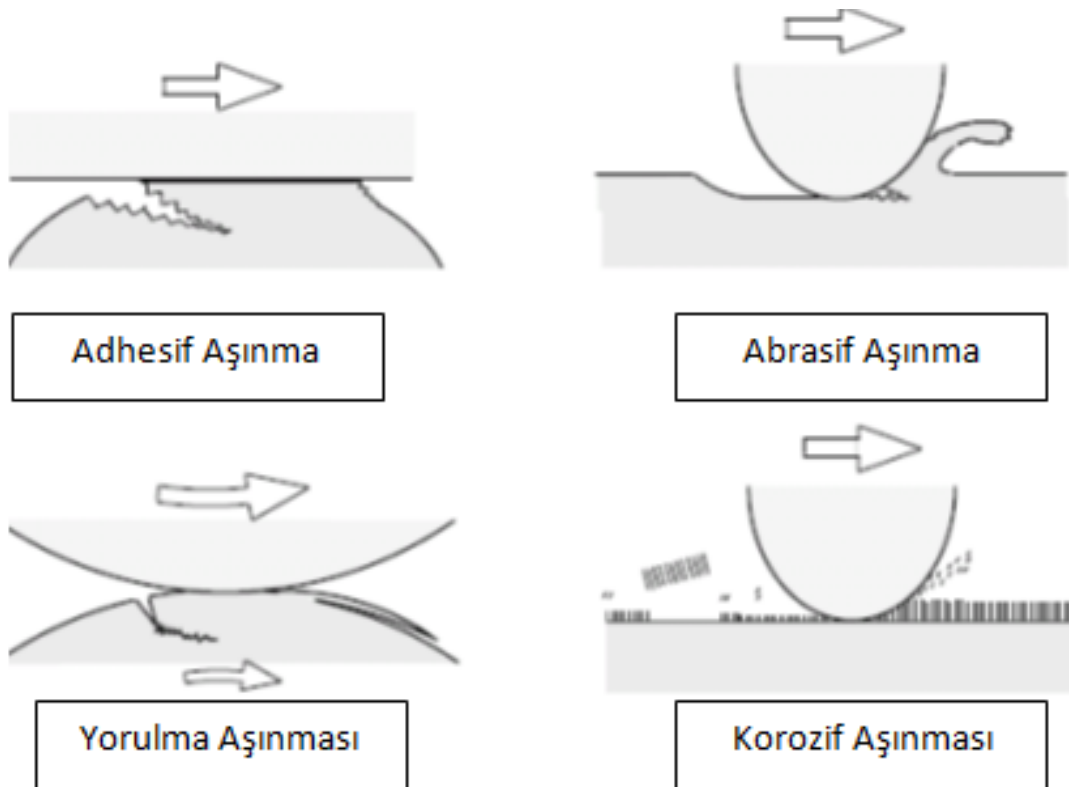
### METALLERDE AŞINMA ve ÇEŞİTLERİ

#### 3.1 Aşınma

Aşınma, birbiri ile kayma, yuvarlanma veya çarpma hareketi yapan iki yüzeyden birinde veya her ikisinde de yüzey hasarı oluşması veya yüzeyden malzeme uzaklaşmasıdır.

Net bir ağırlık veya hacim kaybı olmadan meydana gelen ve malzeme hareketlerinden kaynaklanan hasarlar aşınmayı oluşturur.

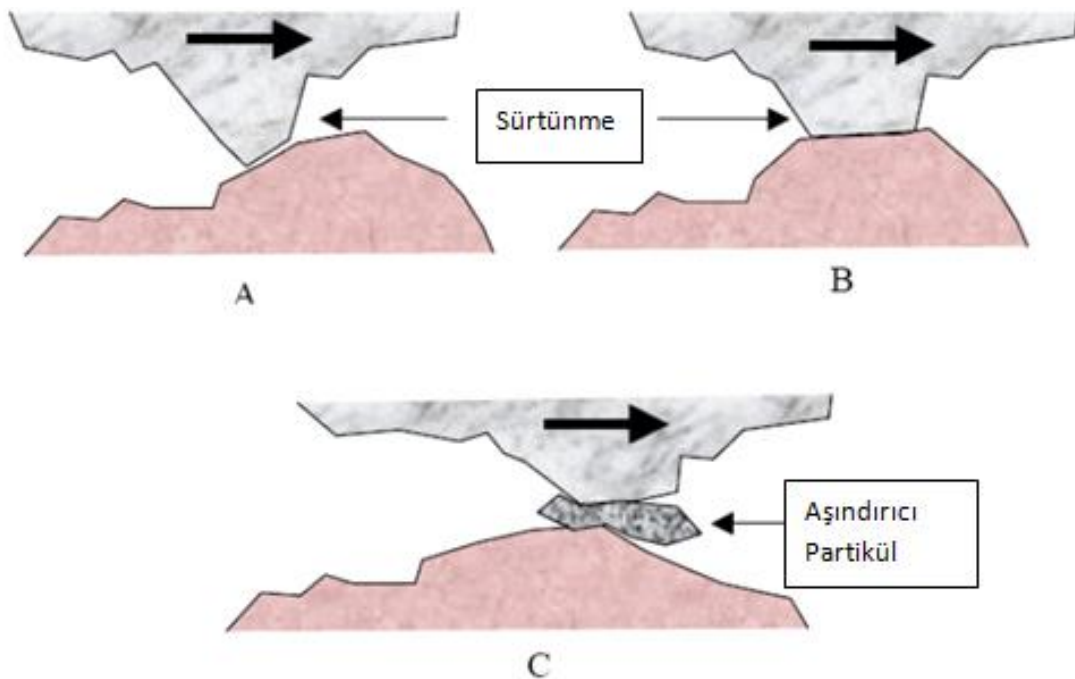
Aşınma çeşitleri; adhesif, abrasif, yorulma, erozyon veya çarpmalı darbe, kimyasal (korozif) ve elektrik ark aşınmasıdır (Çelikyürek, 2006). Şekil 3.1’de aşınma çeşitleri verilmiştir.



Şekil 3. 1. Aşınma çeşitleri (Kato and Adachi, 2001).

### 3.1.1. Adhesif aşınma

İki normal düzgün katı cismin kayma temasındayken, yağlama olsun veya olmasın, adhesif aşınma meydana gelebilir. Ara yüzeyde pürüzlerin temasında bağlanma meydana gelir ve bunlar kayma ile kesilir. Kaymanın devamında diğer yüzeye transfer olan parçalar tekrar orijinal yüzeye transfer olabilir veya serbest aşınma partikülleri oluşabilir. Şekil 3.2’de adhesiv aşınma başlangıcı ve bağlanma sonucunda yüzeylerden birinden kopan parçanın, aşındırıcı partikül olarak görev yapmasının şematik gösterimi verilmiştir. Bir kesme çatlağının yayılması ile kayma düzlemi bölgesi, birbirini izleyen tabakaların plastik kesilmesi ile oluşur (Çelikyürek, 2006; Gupta. J., 2009) (Şekil 3.2).



Şekil 3. 2. Adhesiv aşınma ile ara yüzeyde aşınma partiküllerinin oluşumunun şematik gösterimi (Akbulut, 2005).

### 3.1.2. Abrasif aşınma

Sert, keskin bir parçanın daha yumuşak bir parçadan talaş kaldırmasına abrasif aşınma denir. Aşınma oranı, malzemedeki deformasyon görmeyen bölgenin sertliğine değil, aşınmış yüzeyin sertliğine bağlıdır.

Abrasif aşınma için iki durum vardır. Birinci durumda, sert yüzey iki sürtünen yüzeyin daha sert olanıdır. Bu durumda örnekler; öğütme, kesme ve talaşlı imalat gibi makine çalışmalarıdır. İkinci durumda; sert yüzey üçüncü bir cisimdir, genellikle küçük abrasif partiküllerdir, diğer iki yüzey arasında bulunur ve yüzeylerden birini veya ikisini de aşındırabilir. Buna örnek ise; parlatmadır. Bir çok durumda, başlangıç aşınma mekanizması adhesiftir. Adhesif aşınmada, aşınma partikülleri oluşur, bu partiküller ara yüzeyde sıkışır ve üç cisimli abrasif aşınmaya neden olur (Çelikyürek, 2006 and K., H., Zum Gahr, 1987).

### 3.2. Malzemelerin Aşınması

Malzemelerde aşınmanın değerlendirilmesi, aşınma hızı ile ölçülür. Aşınma hızı; birim zamanda, birim kayma mesafesindeki hacim veya ağırlık kaybı olarak belirlenir. Aşınma hızı genellikle sabit değildir. Karmaşık bir fonksiyona sahiptir. Aşınma hızı düşük başlayıp artabilir veya tersi de olabilir.

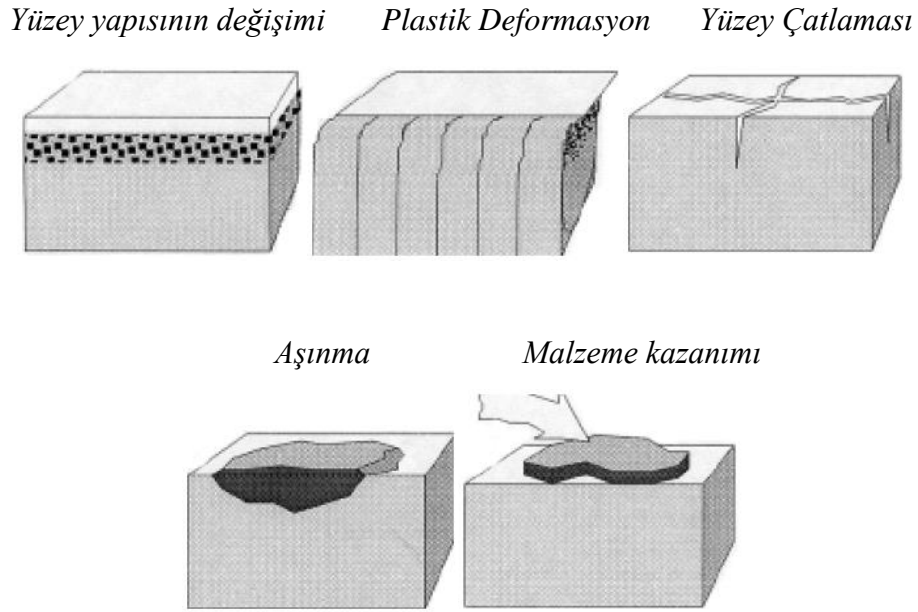
Bir çelik çifti yüksek sürtünme ve aşınma sergiler. Farklı metallere oluşan çiftler, orta sürtünme ve aşınma gösterirler. Vakum altında temiz metalik yüzeylerin temasında, aşınma hızı çok yüksek olabilir.

In, Pb ve Sn gibi yumuşak metallere temas alanı geniştir, düşük yüklerde bile, yüksek aşınma hızları görülür. Co ve Mg gibi hegzagonal metallere, düşük sürtünme ve aşınma sergilerler. Co, Mo ve Cr, çelikte sürtünme ve aşınmayı düşürmek için kullanılan ortak alaşım elementleridir. Bir metal çiftin aşınma hızını, metalurjik uyumluluk belirler (Çelikyürek, 2006 and Gupta. J., 2009).

### 3.2.1. Sıcaklığın etkisi

Metalik çiftlerin yağlamanın olmadığı şartlarda pürüzlerin temasının kayması sırasında ara yüzey ısınır. Bu durumda ara yüzeyde birkaç mikron kalınlığında oksit filminin oluştuğu, termal oksidasyona neden olur. Oksidasyon, genellikle korozyonun yararlı bir formudur. Kalın bir oksit filmi, plastik deformasyonun bir sonucu olan aşınmayı engelleyen ara yüzeyin kesme mukavemetini düşürür. Birçok durumda tribolojik oksidasyon, metalik çiftlerin aşınma hızlarını iki kat kadar düşürebilir (Çelikyürek, 2006). Şekil 3.3.'te yüzey hasarlama sınıfları verilmiştir.

#### Yüzey Hasar Sınıfları



Şekil 3. 3. Yüzey hasar sınıfları (Akbulut, 2005).

## BÖLÜM 4

### DENEYSEL ÇALIŞMALAR

#### 4.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler

Bu çalışmada, otomotiv arka aks mekanizmalarındaki ayna- pinyon dişlilerde (Şekil 4.1) kullanılan 20MnCr5 ve 8622RH malzemelerin kimyasal bileşimleri, PDA 700 Shimadzu optik spektrometre (Şekil 4.2) ile elde edilmiş olup, Çizelge 4.1’ de değerler verilmiştir.



Şekil 4.1. Arka aks dişlileri (Ayna-Pinyon Dişli).

Çizelge 4.1. 20MnCr5 ve 8622RH çeliklerinin spektrometre ile elde edilen kimyasal bileşimleri.

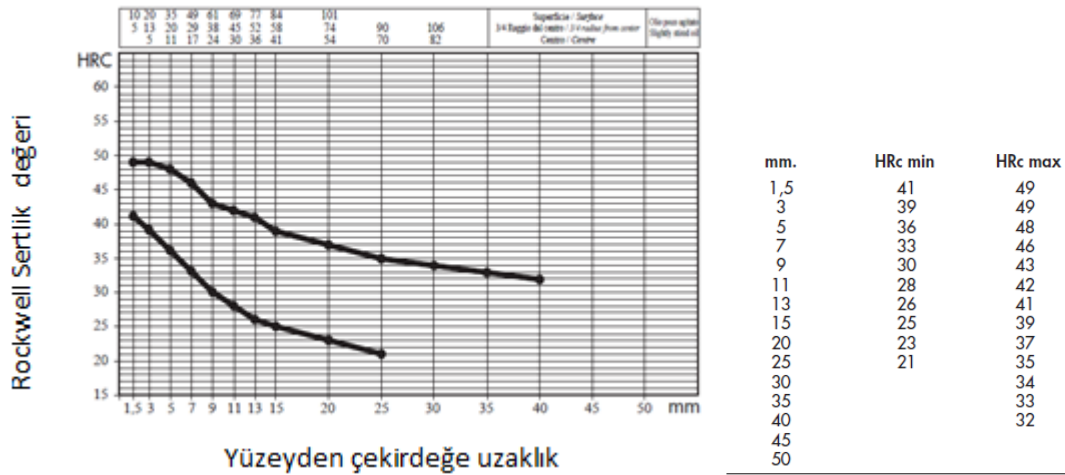
<b>Kimyasal Kompozisyon</b>								
%	C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Mo
<b>20MnCr5</b>	0.218	1.14	0.013	0.02	0.27	1.09	-	0.016
<b>8622RH</b>	0.23	0.76	0.012	0.018	0.27	0.47	0,56	0.18





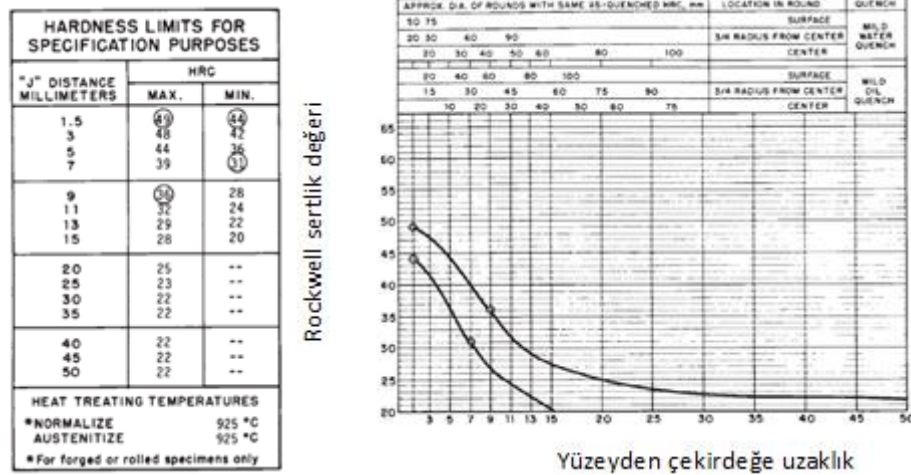
Şekil 4. 2. PDA 700 Schimadzu optik spektrometre

20MnCr5 çelikleri; yüksek aşınma dayanımına sahip, piston, kam mili, dişli ve diğer mekanik kontrol mekanizmalarında kullanılan malzemedir. Aşağıdaki grafikte, 20MnCr5 çeliğinin yüzeyden çekirdeğe doğru muhtemel sertlik değişimi görülmektedir (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. 20MnCr5 çeliğinin yüzeyden çekirdeğe doğru sertlik değişimi (ASTM A\914).

8622RH çeliği, dişlilerde kullanılan çelik olup, sertleşebilirliği ASM Metals Handbook' a göre Şekil 4.4' te verilmiştir.

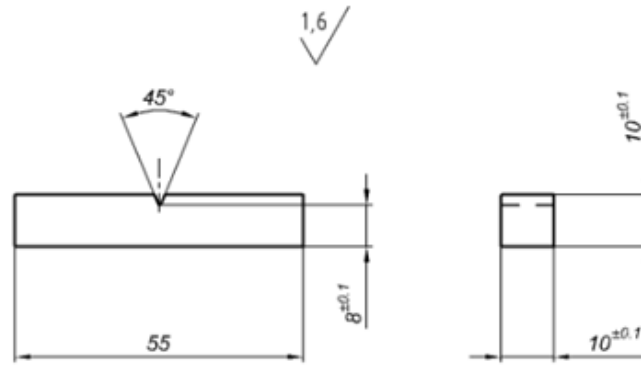


Şekil 4.4. 8622 RH çeliğinin sertleşebilirliği (ASTM A\914).

## 4.2. Numunelerin Hazırlanması

Çalışmada kullanılan 8622RH ile 20MnCr5 malzemeler, 5'er adet charpy darbe test numunesi ebatlarında (55x10x10 mm - Şekil 4.5) hazırlanmak üzere, Metkon Servocut AA-450 Abrasif kesme cihazı (Şekil 4.6) ile kesilmiştir. Kesim sırasında, Tyrolit 350x2,5x32 RPM 3430 Night Fuer Freihaendiges Trennen kesme diski kullanılmıştır. Parçaların kaba kesme işleminin ardından, Studer marka taşlama tezgahında taşlama işlemi gerçekleştirilmiş, Mori Seiki SL-25 tezgahında ise darbe numunesi ebatlarında işlenmiştir (Şekil 4.5).

Charpy darbe test numunesi şeklinde hazırlanan 8622RH ve 20MnCr5 numuneleri, aynı koşullarda (Çizelge 4.2' de atmosfer parametreleri verilmiştir.) ısıl işleme tabi tutulmuştur. Uygulanan ısıl işlem sonrası, mekanik ve metalografik özelliklerin incelenmesi için, aynı numunelerden uygun ebatlarda parçalar alınmıştır. Bu işlem yine Metkon Servocut AA-450 Abrasive kesme cihazı (Şekil 4.6) ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.5. Darbe test numuneleri.



Şekil 4.6. Metkon Servocut kesme cihazı.

### 4.3. Isıl İşlem Prosesi

20MnCr5 ve 8622RH numuneleri, Aichelin marka ısıl işlem fırınında (Şekil 4.7) 930 °C sıcaklıkta, 1,2 C ortam konsantrasyonunda, 395 dk bekletilmiş, daha sonra numuneler yağ banyosuna alınmadan önce fırın 830 °C sıcaklığa kontrollü olarak düşürülmüştür. Bu adımla birlikte C konsantrasyonu 1,2'den 0,9'a düşmektedir. 830 °C'de parçalar 60 dk bekletilmiştir. Prosesteki bu kontrollü sıcaklık düşüşü, tane büyümesini önleme amaçlı gerçekleştirilmektedir. Fırın ısıtma sistemi elektrik enerjisi ile olup, fırın atmosferi metan ve propan gazlarından oluşmaktadır. Numuneler, gaz

atmosferinde karbonlama işleminden sonra, 100 °C’ deki Isorapid 459 adlı hidrokarbon-mineral yağda 30 dakika bekletilerek, direkt sertleştirme işlemine tabi tutulmuşlardır. Bu işlemlerden sonra temperleme işlemi 175 °C’ de 110 dakika süre ile gerçekleştirilmiştir. Isıl işlem parametreleri Çizelge 4.2’ de, proses çıktıları ise Şekil 4.7’ de verilmiştir.



Şekil 4.7. Aichelin ısıl işlem fırını.

Çizelge 4.2. Isıl işlem parametreleri.

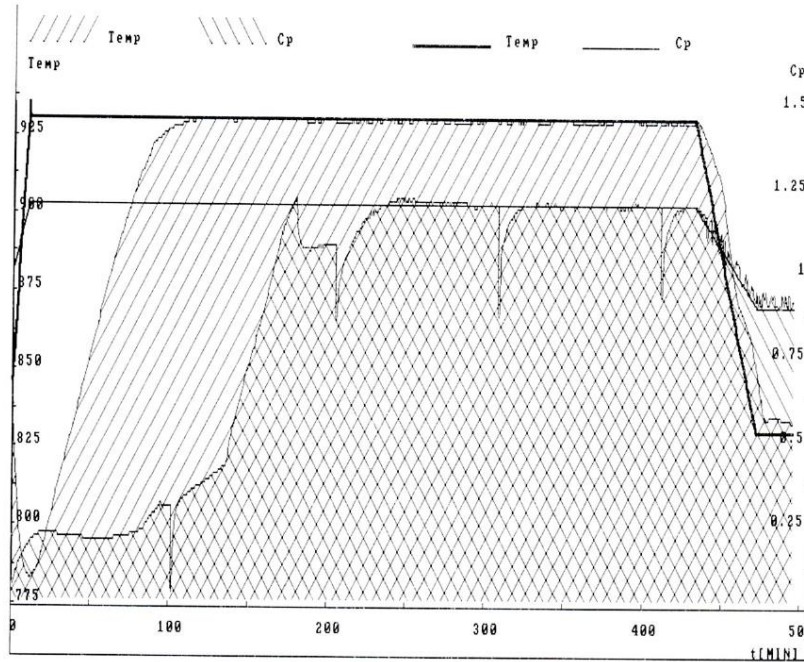
	<b>Proses Değerleri</b>
<b>Karbürleme Sıcaklığı</b>	930 °C
<b>Fırındaki karbon Yüzdesi</b>	% 1,2
<b>Yağa Geçmeden Önceki Sıcaklık</b>	830 °C
<b>830 °C'deki fırın karbon yüzdesi</b>	% 0,9
<b>Toplam Karbürleme Süresi</b>	455 dk
<b>Yağ Sıcaklığı</b>	100°C
<b>Yağda Bekleme Süresi</b>	30 dk
<b>Temperleme Sıcaklığı</b>	175 °C
<b>Temperleme Süresi</b>	110 dk

Description : Carburizing							
Alloy- factor		: 1.00	Core-C-content		: 0.20	[%C]	
Carburizing depth:		0.85 mm at 0.41 [%C]	Surf.-C-content		: 0.80	[%C]	
Corr. profile		: No					
Starting temp.		: 750 [°C]	Starting C-level		: 0.80	[%C]	
Tolerance temp.		: 10 [°C]	Tolerance C-level		: 0.50	[%C]	
Quenching times:		total : 30 [min]	no circ.:		5 [sec]		
slow circ.:		5 [sec]	fast circ.:		900 [sec]	dripping : 10 [min]	
No	Time [min] / [%CD]	Temp. [°C]	C-level [%C] / [%SL]	C- tran	Contr.tracks 1 5 10		
1	[Time] 20	930	[% C] 1.20	1	00000000		
2	[ %CD] 98	930	[% C] 1.20	1	00000000		
3	[Time] 40	830	[% C] 0.90	1	00000000		
4	[Time] 20	830	[% C] 0.90	1	00000000		
5							
6							
7							
8							
9							
10							

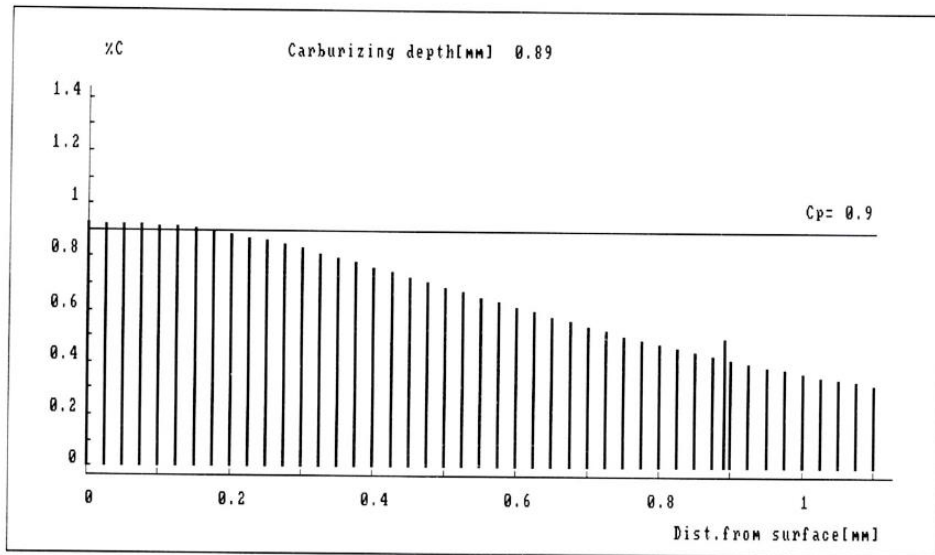
Şekil 4. 8. Isıl işlem proses çıktısı.

Isıl işlem prosesi süresince, atmosferdeki sıcaklık ve numunedeki muhtemel %C değişimlerine ilişkin fırın çıktıları Şekil 4.8 ve 4.9’da verilmiştir. (Verilen şekiller her iki malzeme içinde geçerlidir. ) Şekil 4.8’de karbürleme işlemi boyunca hangi sıcaklık ve karbon potansiyeli değerlerinin hakim olduğu ve işlemin ne kadar sürede gerçekleştiği bilgileri görülmektedir.

Şekil 4.9’ da 20MnCr5 ve 8622RH malzemelerine uygulanan karbürleme işlemi süresince (455 dk), fırın atmosferindeki sıcaklık değişimi görülmektedir.



Şekil 4.9. Isıl işlem prosesi süresince gerçekleşen fırın sıcaklık bilgileri.



Şekil 4.10. Isıl işlem prosesine bağlı olarak numunelerde öngörülen %C değişimleri.

Şekil 4.10'da ise; kontrollü soğutma sonucunda fırın karbon potansiyelinin %0.9'a düşürülmesi ile, ısıl işlem prosesi sonucunda, numunelerde gerçekleşmesi

öngörülen yüzeyden çekirdeğe doğru muhtemel karbon potansiyel değişimi verilmektedir.

#### 4.4.Mikroyapı Analizi

Metkon Servocut AA-450 Abrasive kesme cihazında (Şekil 4.6), Tyrolit kesme diski ile 10 x 10 x 10 mm ebatlarında kesilen parçalar, mikroyapı incelemesi için kalıplıdır. Kalıplama işlemi için; Struers – press to press bakalite alma cihazı kullanılmıştır (Şekil 4.11). İşlem basıncı 30 bar, uygulama süresi ise 15 dakikadır. Kalıplama için Metkon Diallyphtalat siyah bakalit tozu kullanılmıştır. Kalıplama işleminin gerçekleştirilmesinin ardından, Metkon Forcipal 1V zımparalama ve parlatma cihazı ile 350 RPM kademesinde zımparalama ve parlatma yapılmıştır (Şekil 4.11).



Şekil 4.11. Metkon kalıplama ve zımparalama-parlatma cihazı.

Zımparalama kademesinde; 120, 220, 400, 800, 1200 meşlik su geçirmez SiC zımpara kağıtları kullanılmıştır. Parlatma kademesinde ise; AP-A süspansiyon 0,1 µm aglomera alfa alümina süspansiyonu kullanılmıştır.

Parlatma kademesi sonrasında % 5 Nital çözeltisi ile numuneler dağlanmıştır. Numuneler, Clemex programı kullanılarak mikroyapı görüntüleri (Şekil 4.12) alınmıştır.





Şekil 4.12. Nikon & Clemex görüntü analiz sistemi.

#### 4.5. Mekanik Testler

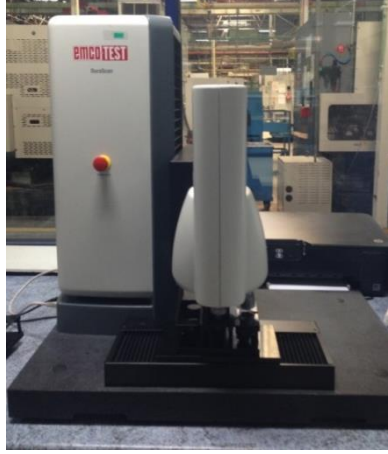
Darbe testi, MFL D-6800 darbe test cihazı ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.13).



Şekil 4.13. MFL D-6800 darbe test cihazı.

Isıl işleme tabi tutulan malzemeler kesilip, kalıplandıktan sonra, uygun yüzey hazırlama işlemlerinden geçirilmiş (yüzeydeki tufal alınacak kadar) ve işlemsiz numunelerle aynı koşullarda sertlikleri ölçülmüştür. Bu işlemin ardından, parçaların

yüzey sertlik dağılımını belirlemek amacıyla, Emcotest Mikrosertlik ölçüm cihazı (Şekil 4.14) ile 1 kg yükü 25 sn uygulanarak, mikrosertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4. 14. Emcotest mikrosertlik ölçüm cihazı.

#### 4.6.Aşınma DeneYleri

Aşınma deneyleri, Isıl işlemler ve orijinal malzemelere, Şekil 4.15' de resmi verilen CSM marka test cihazında uygulanmıştır.

Malzemelerin kullanıldığı şartlarda adhesiv aşınma ortamı oluşabileceği için, öncelikle adhesiv test uygulanmıştır. Çalışmada, en yaygın test yöntemi olan ball-on disk test yöntemi seçilmiştir. Arka aks mekanizmasında kullanılan Castrol 75W/85 diferansiyel yağı, adhesiv test esnasında da kullanılmıştır. Malzemelere karşı aşındırıcı olarak WC bilya kullanılmıştır. Aşındırıcı bilya malzemeye 20N yük (maksimum cihaz kapasitesi) ile çok uzun aşınma mesafelerinde uygulanmasına rağmen, test sonunda belirgin aşınma izleri gözlenememiştir. Bu nedenle aşınma testleri abrasiv koşullarda gerçekleştirilmiştir.

Abrasiv aşınma testlerinde numuneler, 180 meşlik SiC zımparalar ile, yüzeye 10 N yükte temas ettirilmiştir. Aşınma deneyi, 50 cm/sn hızda, 100'er m'lik artışlarla, 1000 m mesafeye kadar uygulanmıştır. Numunelerin yeni aşınmamış partiküllerle aşındırılmasının sağlanabilmesi için her 100 m'de SiC zımpara kağıtları yenilenmiştir. Her 100 m sonunda numuneler  $\pm 0,0001$  g hassasiyetindeki Şekil 4.16' da gösterilen Precisa 125 A hassas terazi ile tartılarak, aşınma kayıpları belirlenmiştir. Aşınma deney

sonuçlarının belirlenmesinde, yapılan deneylerin ortalaması alınmıştır. Aşınma test parametreleri Çizelge 4.3' de verilmektedir.

Çizelge 4.3. Aşınma parametreleri.

<i>Aşınma Parametreleri</i>		
Disk Çapı: 10.24 [mm]	Malzeme: 8622RH & 20MnCr5	Sıcaklık: 25[°C]
Hız: 50.00 [cm/s]		Atmosfer: Hava
Yük: 10.00 [N]		Nem: 35.00 [%]

Numunelerin spesifik aşınma hızları aşağıdaki formül kullanılarak belirlenmiştir.

$$K = \Delta m / (\rho L F) \dots \dots \dots (1)$$

Burada  $\Delta m$ ; ağırlık kaybı (gr),  $\rho$ ; yoğunluk ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ ), F; uygulanan yük (N) ve L(mm) ise toplam aşınma mesafesini ifade etmektedir.



Şekil 4. 15. Aşınma test cihazı.



Şekil 4. 16. Hassas terazi.

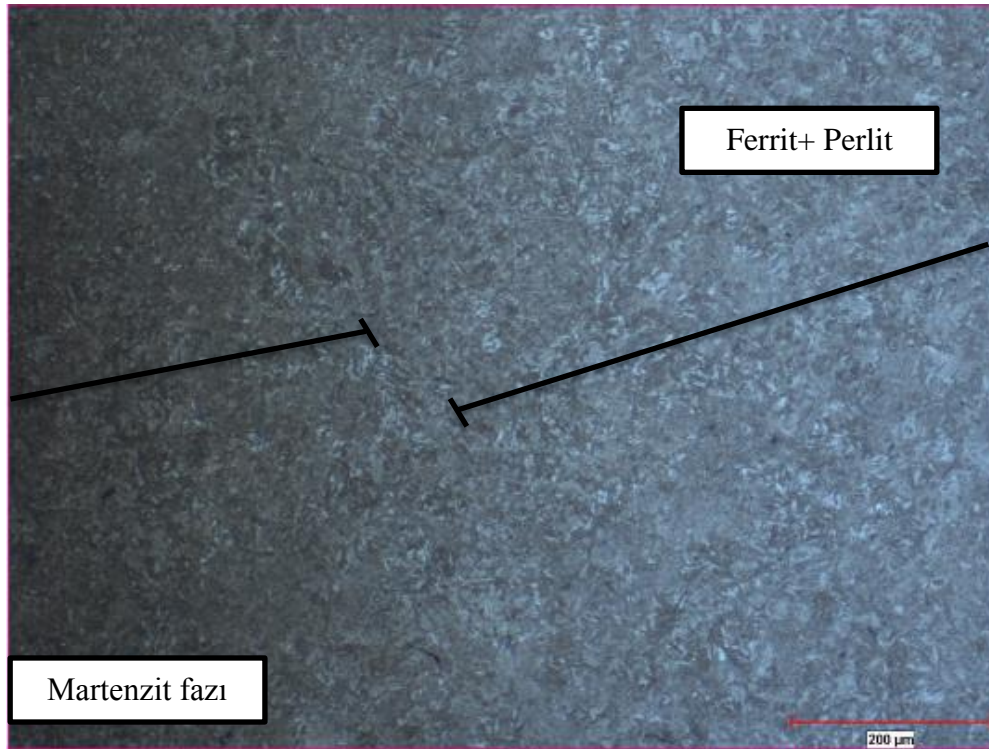
## BÖLÜM 5

### DENEY SONUÇLARI ve İRDELENMESİ

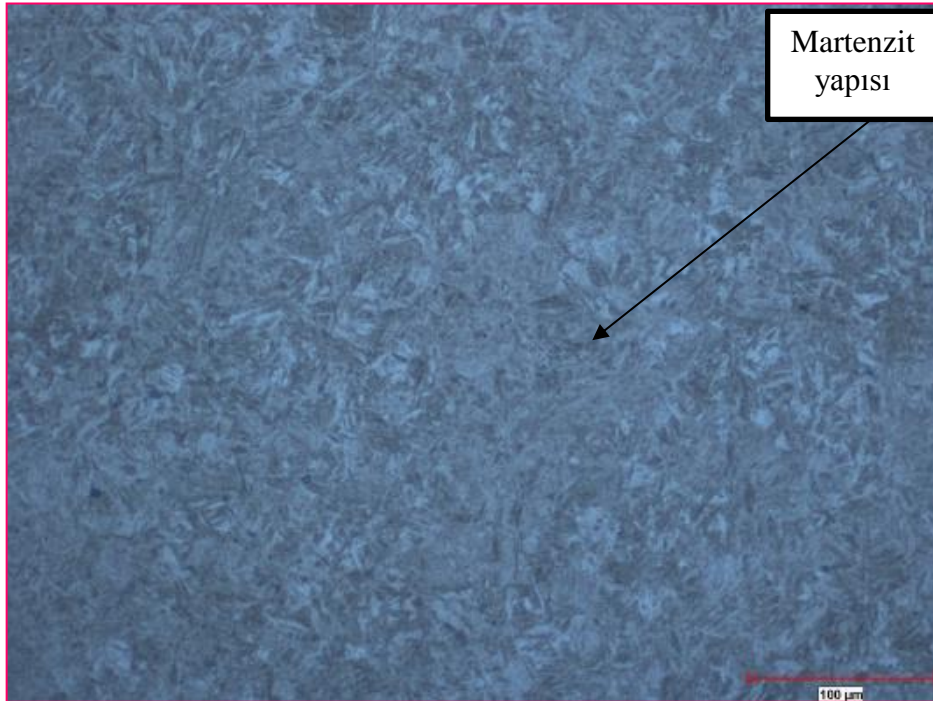
#### 5.1. Mikroyapı İncelemeleri

Isıl işlem sonrasında malzemelerin yapısındaki değişimi incelemek için optik mikroskopta mikroyapı analizi yapılmıştır.

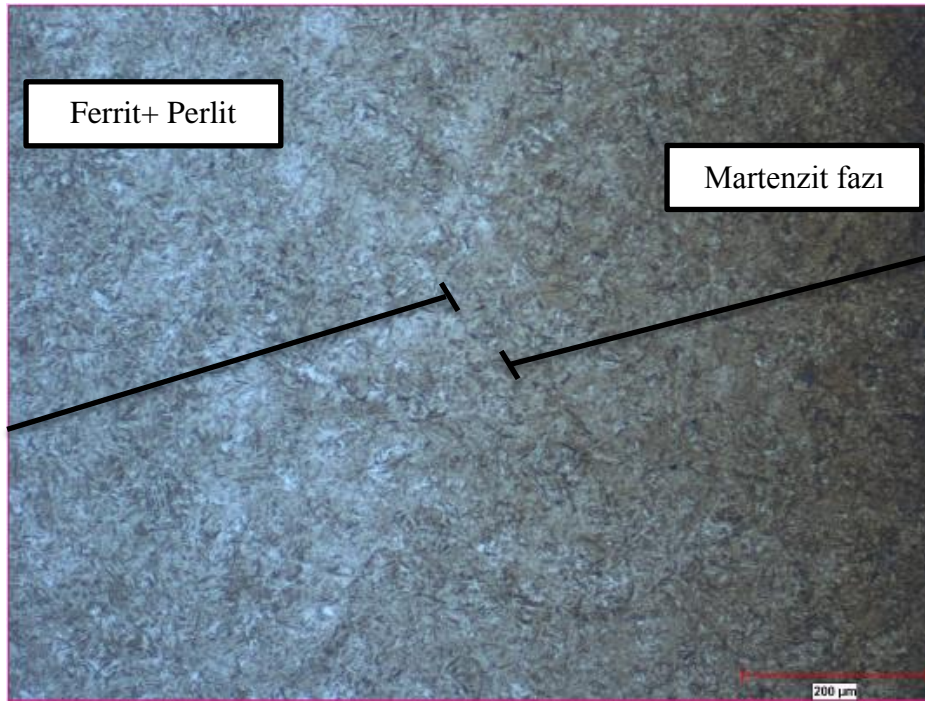
Dağlama sonrası, ısıl işlem görmüş numunelerin mikroyapı görüntüleri Şekil 5.1-5.4' de verilmektedir. Şekil 5.1 ve 5.2' de 20MnCr5' in, Şekil 5.3 ve 5.4' de 8622RH çeliğinin ısıl işlem sonrası mikroyapı görüntüleri verilmiştir. Şekil 5.1 ve 5.3'te geçiş bölgesi açıkça görülmektedir.



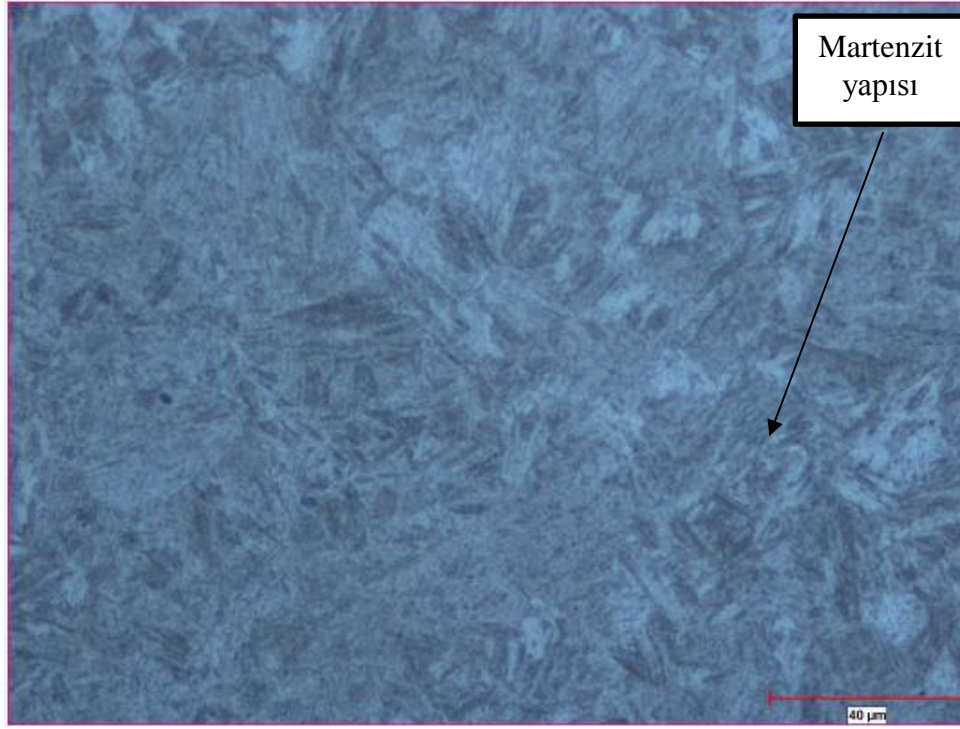
Şekil 5.1. 20MnCr5 ısıl işlem görmüş numunenin yüzeyden çekirdeğe doğru 50X mikroyapı görüntüsü.



Şekil 5.2. 20MnCr5 ısıt işleml görmüş numunenin 200X mikroyapı görüntüsü.



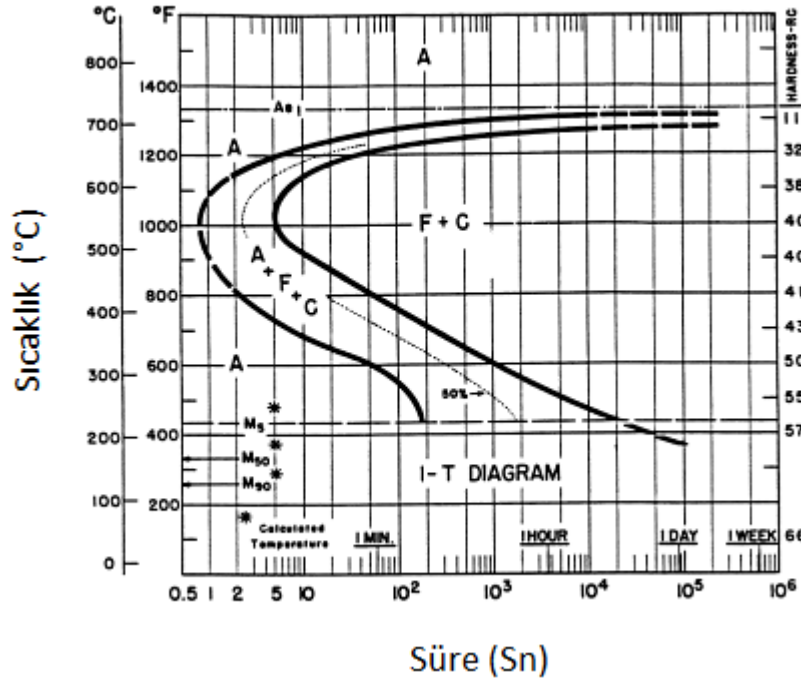
Şekil 5.3. 8622 RH ısıt işleml görmüş numunenin yüzeyden çekirdeğe doğru 50X mikroyapı görüntüsü.



Şekil 5.4. 8622 RH ısıt işlem görmüş numunenin 200X mikroyapı görüntüsü.

Isıl işlem öncesinde mikroyapıda ferritik-perlitik yapı hakimken, ısıt işlem sonrasında karbon difüze olan bölgelerde martenzitik yapı oluştuğu görülmektedir. Bu durumda karbürleme işleminin doğru şekilde gerçekleştiğini işaret etmektedir. Karbürleme esnasında fırın atmosferi ostenit bölgesi sıcaklıklarına kadar ısıtıldığında, yapı tamamen ostenite dönüşür. Bu sıcaklıktan TTT diyagramında (Şekil 5.5) perlit ve beynit burnunu kesmeyecek şekilde hızlı su verme sonucunda; difüzyonsuz dönüşümle, ostenitin  $M_s$  ve  $M_f$  sıcaklıklarının altına soğutulması ile martenzit fazı oluşur. Martenzit, denge dışı yarı kararlı bir faz olduğundan Fe-C denge diyagramında görülmez. Mikroyapıda diğer faz veya fazlarla birlikte bulunabilir.

Isıl işlem ve temperleme prosesi doğru uygulanmış bir çeliğin mikroyapısı ağırlıklı olarak temperlenmiş martenzittir. Ancak yüzeyden çekirdeğe doğru martenzitin yapısı, miktarı ve özellikleri değişmektedir. (Asi O., 2004)



Şekil 5.5. TTT Diyagramı (Bramfitt, B. L., Benscoter, A.O., 2002, )

Sementasyon işleminden sonra, karbon miktarı genellikle yüzeyde en yüksek olacak şekilde çekirdeğe doğru azalır. Meydana gelen sertlik değerleri de karbon miktarına bağlı olarak değişmektedir. Etkili sementasyon derinliği, sementasyon işleminden sonra, belirli bir sertlik değeri için tarif edilir. TS 1719'a göre "etkili sementasyon derinliği"; Vickers sertliği 550 VSD olan karbonlanmış ve sertleştirilmiş tabaka ile yüzey arasındaki dikey uzaklık" olarak tarif edilmektedir. Etkili sementasyon derinliğine etki eden faktörler; sementasyon sıcaklığı, sementasyon süresi, karbonlama ortamının karbon potansiyeli, çeliğin kimyasal bileşimi, parçanın şekli ve büyüklüğü ve su verme esnasındaki soğutma hızıdır (Asi, O., 2004).

Mikroyapı fotoğraflarında (Şekil 5.1- 5.3) açık renkli bölgeler ferrit + perlit fazını gösterirken, koyu renkli bölgeler ise temper martenzit fazını göstermektedir. Malzemeler ısıtılma işlem sonrasında temper prosesine tabi tutuldukları için, martenzit yapısı temper martenzite dönüşmüştür. Temper martenzit, aşırı derecede ince taneli ve ferritik matris içinde dağılmış sementit tanelerinden oluşur.



Temperleme prosesi esnasında gerçekleşen; karbürlerin formasyonu ile martenzitin çökmesi ve yeniden kristallenmesidir. Su verilmiş çelik, metastabil bir çeliktir ve temperleme gibi ısıtma operasyonuna tabi tutulursa, denge fazına geçiş sağlamaya çalışır.

Sıcaklık ve temper süresine bağlı olarak; martenzit çökmesi üç fazda gerçekleşir. Bunlar; çökme, metastabil karbürlerin çökmesi ve sementitin çökmesidir. (Totte and Fasm)

HMT martenzite göre daha sünek ve darbe direnci yüksek bir yapı elde edilmiş olur.

## 5.2. Darbe ve Sertlik İncelemeleri

Isıl işlemler ve orjinal malzemelerin darbe dayanımlarını belirlemek üzere, darbe testleri uygulanmıştır. Test sonuçlarına göre orjinal ve ısıl işlemler numunelerin darbe dayanımları Çizelge 5.1.'de verilmiştir. Tabloda görülen test sonuçları 5 adet test sonucunun ortalaması olarak verilmiştir.

Çizelge 5.1. Isıl işlemler numunelerin darbe dayanımları.

Isıl İşlemler Malzemelerin Darbe Dayanımları		Orjinal Malzemelerin Darbe Dayanımları
<b>20MnCr5</b>	9.5J	66,2 J
<b>8622 RH</b>	9 J	45,4 J

Isıl işlem sonrası, malzemelerde darbe direncinde düşüş olduğu görülmektedir.

20MnCr5 orjinal malzeme darbe dayanımı 66,2 J iken, ısıl işlem sonrası bu değer 9,5 J'e düşmüştür. 8622RH ise ısıl işlem öncesi 45,4 J darbe dayanımına sahipken, ısıl işlem sonrası darbe dayanımı 9 J olarak belirlenmiştir.

Malzemelerin ısıl işlem sonrası darbe dirençlerinde gerçekleşen bu düşüş, karbürleme prosesi sonrasında oluşmaktadır. Literatürde malzemelerin ısıl işlem sonrası darbe dirençlerinin düştüğü ve karbürleme prosesindeki sıcaklığın

yükselmesiyle birlikte, darbe tokluğunun daha da düştüğü görülmüştür. Bu durum J. Gupta'nın makalesinde de belirtilmiştir.

Darbe dayanım değerlerini analiz ettiğimizde, 20MnCr5'in ısıtılma işlem öncesi ve sonrası darbe dayanımının, 8622RH'a göre daha yüksek olduğu görülmüştür.

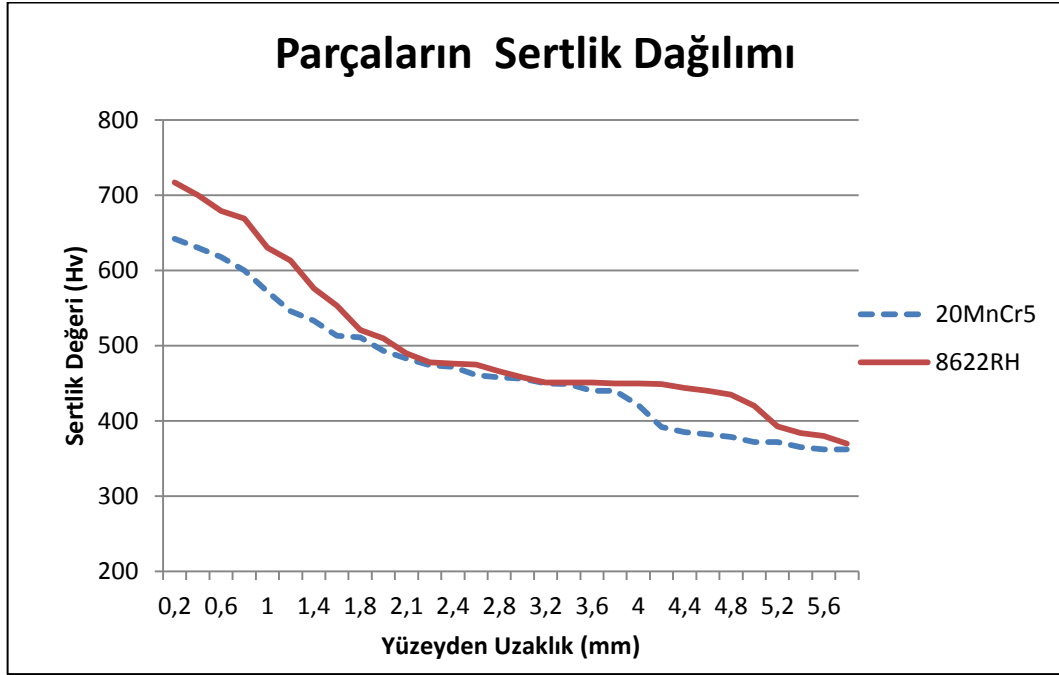
Isıl işlem öncesi sertlik testi için hazırlanan numuneler, Reicherter UH 250 Wilson marka sertlik ölçüm cihazı ile test edilmiştir. Elde edilen sertlik değerleri Çizelge 5.2' de verilmektedir.

Çizelge 5.2. Orjinal malzemelerin sertlik ölçüm değerleri.

<b>Orjinal Malzemelerin Yüzey Sertlik Değerleri</b>	
<b>20MnCr5</b>	180 HB
<b>8622 RH</b>	182 HB

Numuneler ısıtılma işlem öncesi yüzey sertlik değerleri birbirine benzer olup, 20MnCr5'in 180HB, 8622RH'ın 182 HB olarak ölçülmüştür.

Isıl işlem gören numunelere, yüzey sertliği kontrolünün yanısıra, malzeme yüzeyinden çekirdeğe doğru sertlik dağılımını görmek amacıyla, mikro sertlik ölçümleri yapılmıştır. 5.6 mm'lik yüzey boyunca sertlik dağılımı ölçümü, Emcotest mikro sertlik ölçüm cihazında (Şekil 4.14), 1kg'lık yükü 25 sn olarak gerçekleştirilmiş olup, elde edilen sonuçlar Şekil 5.6' da görülmektedir.



Şekil 5.6. Numunelerin ısıtılma sonrası sertlik dağılımı.

Sertleşebilirlik, su verme işlemi sonucu yapısı martenzite dönüşen bir çeliğin sertleşme kabiliyeti olarak tanımlanır. Sertlik derinliğinin ölçülmesi esasına dayanır. Bu derinlik, martenzit miktarının yüzeyden itibaren yarıya indiği ya da %50 martenzit ve beynitin var olduğu mesafe olarak ifade edilmektedir.

Sertleşebilirlik ile sertlik farklı kavramlardır. Maksimum sertlik; çeliğin karbon miktarına bağlıdır. Sertleşebilirlik ise; çeliğin kimyasal bileşimine (karbon ve alaşım elementleri) ve su verme sırasında ostenit tane boyutuna bağlıdır. (Otto and Herring)

Şekil 5.6' yı incelediğimizde; belli bir çaptaki malzemeye su verildiğinde, yüzeyden merkeze doğru soğuma hızları ve karbon konsantrasyonu değişeceğinden, ısıtılma sonrası sahip olunan sertliklerin de birbirinden farklı olduğu görülmektedir. Isı yüzeyden uzaklaştırıldığı için, yüzey merkeze oranla daha çabuk soğur ve bu sebeple de yüzey sertliği daha yüksek olur (Yeğen ve Usta).

Dişlilerde sertleştirilmenin altında yatan sebep; dişlinin aşınma direncinin artırılması ve bu sertleştirme işlemi ile çekirdek sertliğinin 30 ila 40 HRc aralığında tutularak diş kırılmalarının önlenmesidir (Otto and Herring).

8622RH çeliği; yüzeyinde 715 Hv (60,8 HRc) sertliğe sahipken, yüzeyden 5,6 mm içerde sertliğin yaklaşık olarak 362 Hv olduğu görülmektedir.

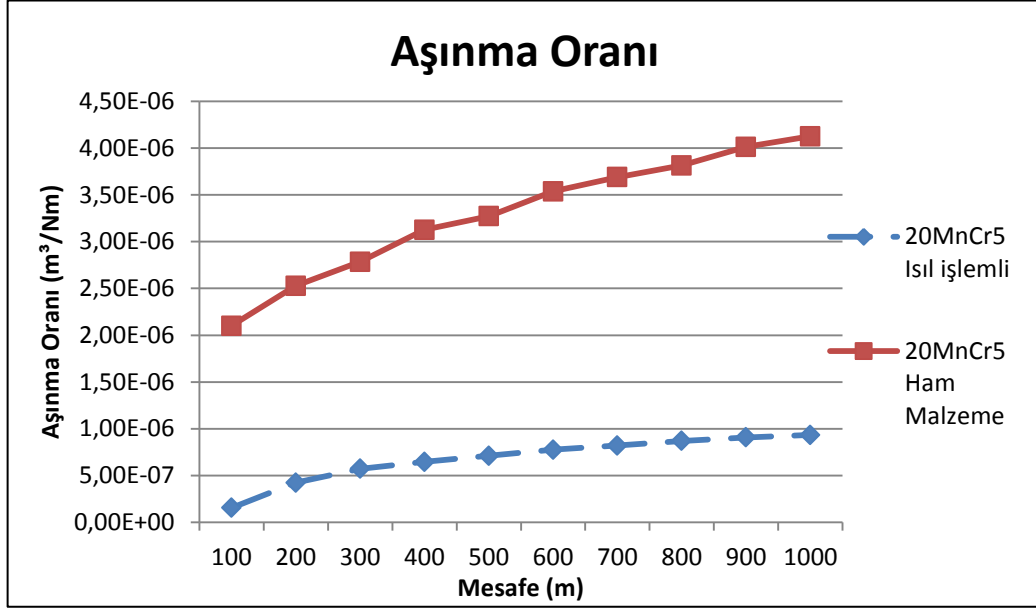
20MnCr5 çeliğinde ise; yüzeyinde 640 Hv (57,3 HRc) sertliğe sahipken, yüzeyden 5,6 mm içerde sertliğin yaklaşık olarak 380 Hv olduğu görülmektedir. Bu durum verilen mikroyapı fotoğraflarında da geçiş bölgeleriyle görülmektedir (Şekil 5.1-5.4).

8622RH çeliğinin yüzey sertliğinin, 20MnCr5'e göre daha yüksek olması kimyasal bileşimindeki Mo ve Ni yüzdelerinin yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Mo ve Ni' in çeliğin sertleşebilirliğine etkisi yüksektir, bu sebeple de yüksek martenzit oranı 8622RH malzemenin mikroyapısında görülmüştür. Bu durum Yeğen ve Usta'nın çalışmasında da benzerdir. 16MnCr5 ve 8620 çeliklerinin ısıtma işlem sonrası mikroyapıları ve sertlikleri kıyaslandığında, 8622RH malzemesinin yüzey sertliğinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu durumda çeliğin içeriğindeki Mo ve Ni elementlerinin yüzdelerinin yüksek olmasından kaynaklandığı belirtilmiştir.

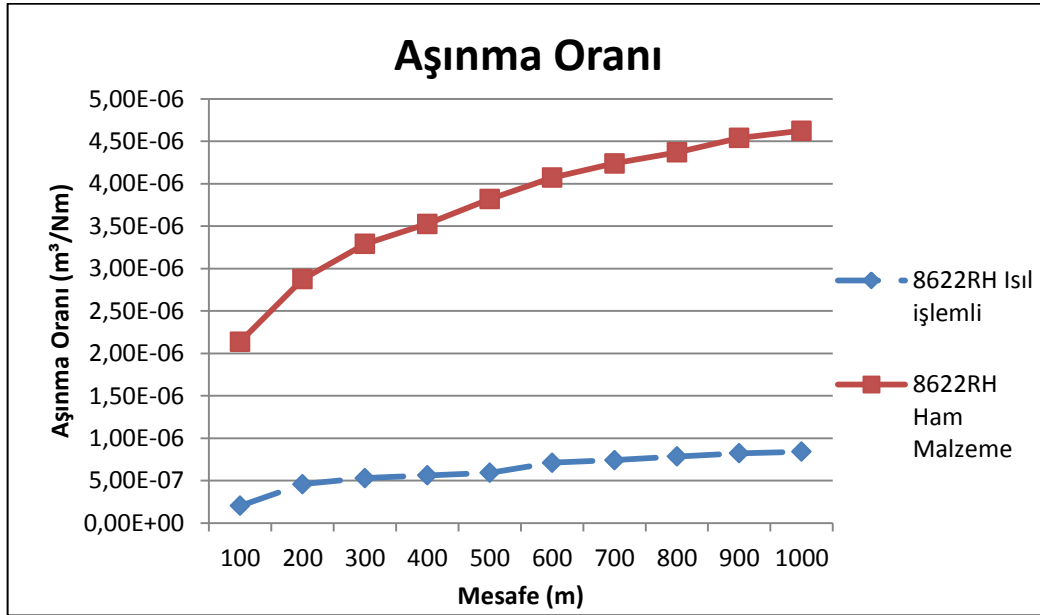
550 Hv sertliği elde ettiğimiz nokta, sertlik derinliği olarak tanımlanmaktadır (Parrish, G. and Krauss, G, 1999). Efektif sertlik derinliği; zamanla birlikte artan karbon difüzyonuna bağlıdır (Yeğen ve Usta). Malzemelerin sertlik derinlikleri kıyaslandığında; 20MnCr5 sertlik derinliği 1,2 mm, 8622RH sertlik derinliğinin ise 1,6 mm olduğu görülmektedir.

### **5.3.Aşınma**

Aşınma testi, hem orjinal malzemeye hemde ısıtma işlemli malzemeye uygulanmış olup, test sonuçları aşağıdaki grafiklerde verilmiştir.

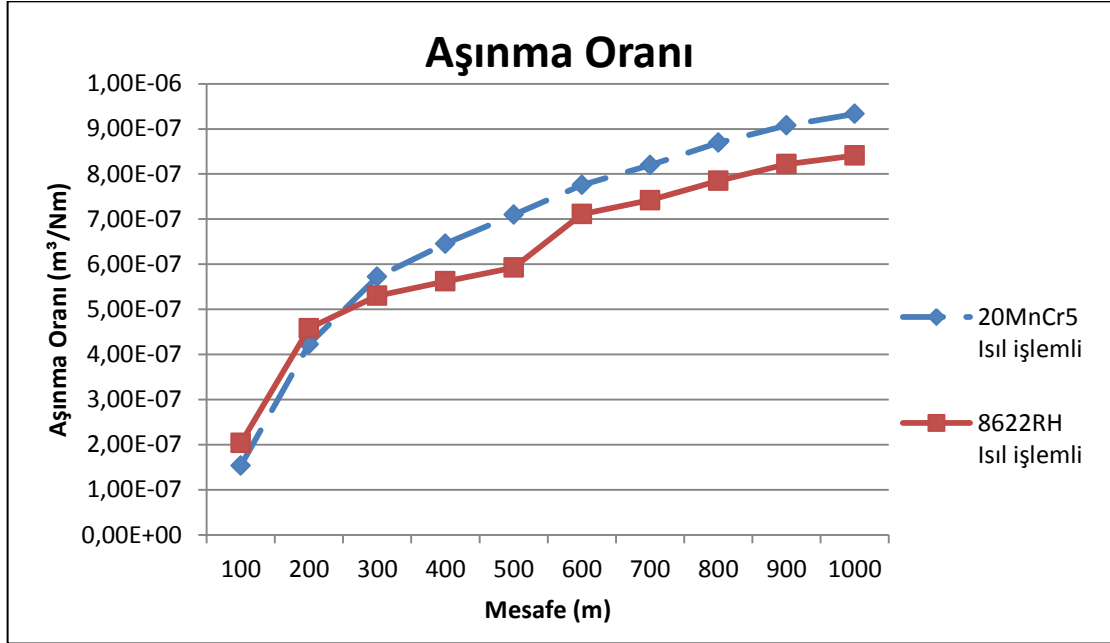


Şekil 5.7. 20MnCr5 Çeliğinin ısıt işlem öncesi ve sonrası aşınma oranları.



Şekil 5.8. 8622RH Çeliğinin ısıt işlem öncesi ve sonrası aşınma oranları.

Şekil 5.7 ve Şekil 5.8 'de malzemelerin ısıt işlemli ve ham malzeme olarak aşınma miktarları verilmiştir. Her iki grafikte de görülen; malzemelerin ısıt işlem sonrasında aşınma miktarlarının azaldığı, yani aşınma dirençlerinin arttığıdır.



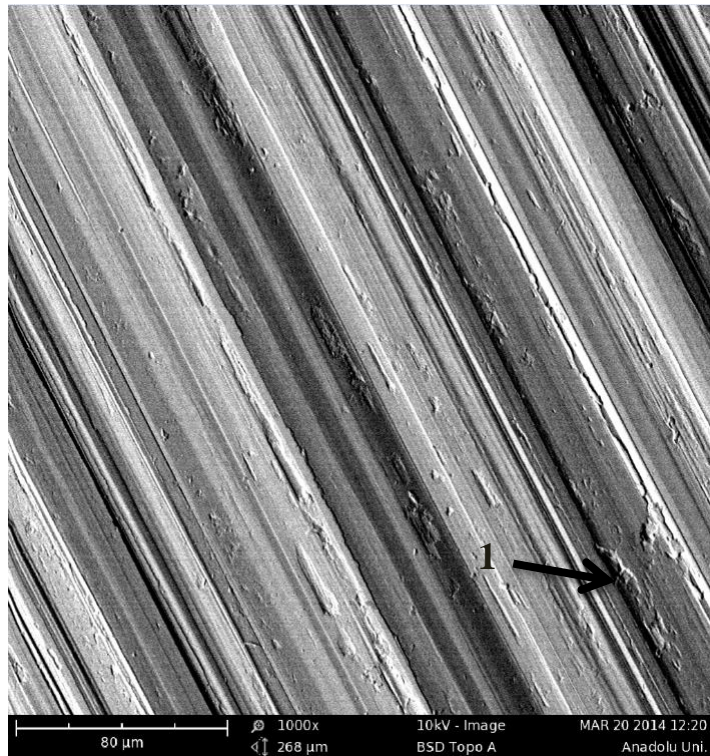
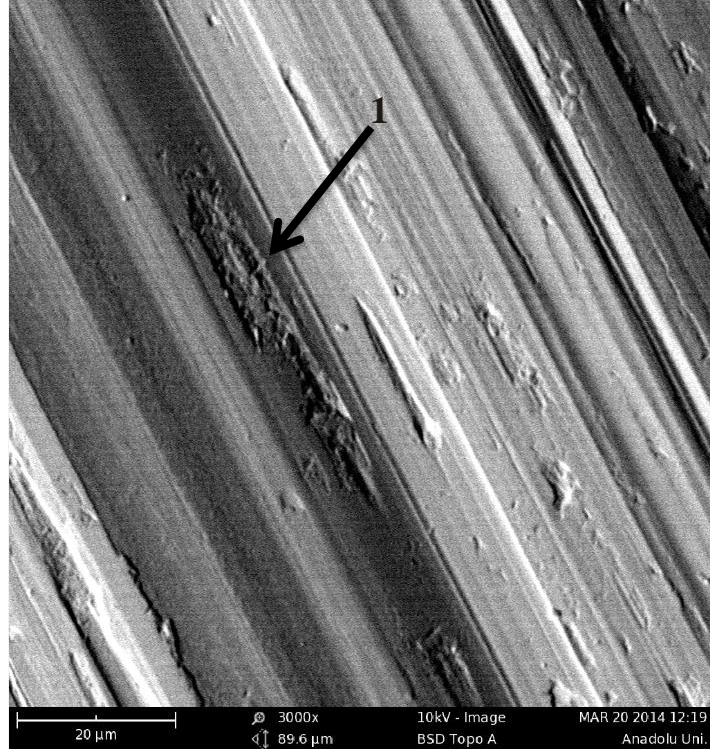
Şekil 5.9. Isıl işlem sonrası malzemelerin aşınma oranlarının karşılaştırılması.

Aşınma testi 1000 m mesafede uygulanmış olup, her iki malzeme karşılaştırıldığında (Şekil 5.9.); 20MnCr5'in aşınma oranının daha yüksek olduğu görülmüştür.

200 m mesafeye kadar aşınma oranları davranışı birbirlerine çok yakınken, bu mesafeden sonra aşınma oranı davranışlarında farklılıklar meydana gelmiştir. 1000 m'de test tamamlandığında, 20MnCr5'in aşınma oranının, 8622RH'a göre daha yüksek olduğu görülmüştür.

Sertlik, malzemelerin aşınma direncini etkileyen en önemli unsurlardan biridir. Sertliğin artışıyla birlikte, malzemelerin aşınma dayanımı da artmaktadır. Şekil 5.7 ve 5.8'de görüldüğü üzere, karbürizasyon işlemi sonucunda çeliklerin aşınma oranı azalmaktadır. Karbürleme işlemi sonrasında artan sertlik oranının, malzemenin aşınma direncine olumlu katkısını, her iki malzemenin yüzey sertlikleri ve aşınma oranlarını karşılaştırarak görülmektedir. 8622RH çeliği, karbürleme sonrasında 20MnCr5 çeliğine göre daha yüksek sertliğe sahip olmuştur. Her iki çeliğin aşınma oranları karşılaştırıldığında, 8622RH çeliğinin aşınma oranının daha düşük olduğu görülmektedir. Bu durum yüksek sertliğin, yüksek aşınma direncini sağladığını ortaya

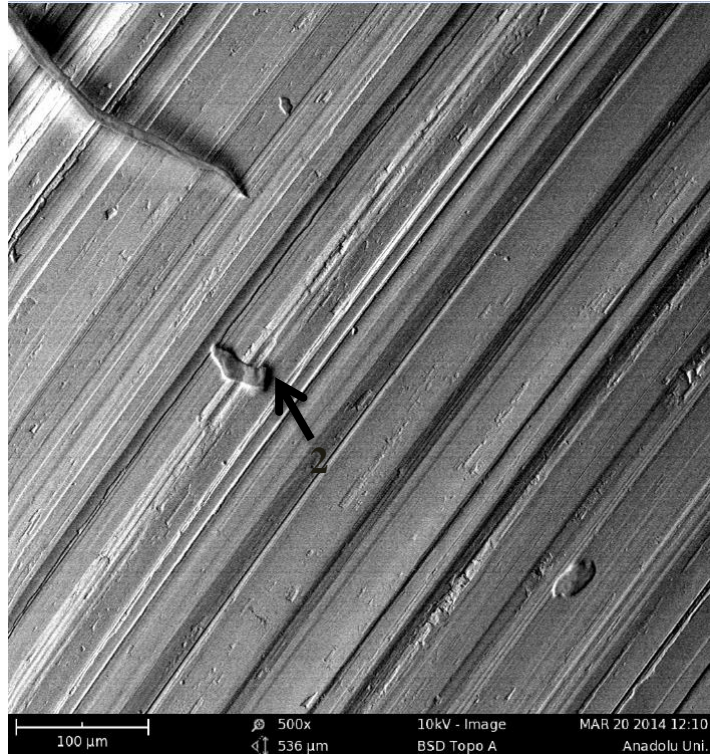
koymaktadır. Benzer durum Yeğen ve Usta'nın ve J., Gupta'nın çalışmalarında da görülmüştür.



Şekil 5.10. 20MnCr5 malzemesinin aşınma deneyi numunesi SEM görüntüleri.



“



Şekil 5. 11. 8622RH malzemesinin aşınma deneyi numunesi SEM görüntüleri.



Şekil 5.10 ve 5.11'deki aşınma testine tabi tutulan numunelerin aşınma yüzeyleri SEM'de incelendiğinde, abrasif aşınma sonrasında, malzeme yüzeylerinde aşınma kanallarının oluştuğu net olarak görülmektedir. Her iki malzeme yüzeyinden de tabakaların ayrılması sonucunda malzeme kaybı oluşmuştur. Abrasif aşınma meydana gelirken, yüzeyden ayrılan partiküllerin malzeme yüzeylerinde abrasif aşınma oluşturduğu da SEM görüntülerinden anlaşılmaktadır. Şekillerde 1 numara ile abrasif yivler, 2 numara ile ise yüzeye yapışan partiküller görülmektedir.

Abrasif aşınma direnci sertliğin artmasıyla ve deformasyon kabiliyetinin düşmesiyle birlikte artar. Alaşımlama aşınma direncini arttırmak için uygulanabilecek yöntemler arasındadır.

## BÖLÜM 6

### SONUÇLAR ve ÖNERİLER

[1] Isıl işlem öncesi malzemelerin mikroyapısında, ferrit fazının yanında ince dağılmış perlit yapısı hakimken, ısıl işlem sonrası mikroyapıda karbon difüze olan bölgelerde martenzit yapısının oluştuğu görülmektedir. Her iki malzemenin ısıl işlem sonrası sahip olduğu mikroyapı birbirine benzerdir. Karbürleme işlemi ile birlikte malzemeye karbon difüzyonu gerçekleştirilmiş ve ani soğutma ile kafes içine yerleşen bu atomların kafesten çıkmasını önleyerek, kafes yapısını HMT yapıya dönüştürülmüştür. Bu sayede martenzit yapısı elde edilmiştir. Martenzit yapısı iğnesel yapıdadır, temperleme işleminden sonra martenzit plakalarında değişimler meydana gelmektedir.

[2] Isıl işlem öncesi ham malzemelerin sertlikleri yaklaşık olarak 19-20 HRc iken, ısıl işlem sonrasında; 20MnCr5 çeliğinin yüzey sertliği 57,3HRc (640 Hv), 8622RH çeliğinin 60,5 HRc (715 Hv) olarak ölçülmüştür. Aradaki sertlik farkı kıyaslandığında 8622RH çeliğindeki yüksek sertliğin içeriğindeki Mo ve Ni'den kaynaklandığı düşünülmektedir. Mo ve Ni'in çeliğin sertleşebilirliğine etkisi yüksektir. Bu durum Yeğen ve Usta'nın çalışmasında da benzer bir şekilde sonuçlanmıştır. Çalışmalarında, 16MnCr5 ve 8620 çeliklerinin sertlikleri kıyaslanmış olup, 8620 çeliğinin yüzey sertliği daha yüksek gelmiştir. Kimyasal bileşim olarak, 8620 çeliğinin, 8622RH çeliğine çok yakın olması (yüksek Mo ve Ni içeriği) göz önüne alındığında, her iki çalışma bulguları birbirini desteklemektedir.

[3] Malzemelerin darbe dirençleri karşılaştırıldığında, ısıl işlem sonrasında büyük bir düşüş olduğu görülmektedir. Bu düşüş, karbürleme prosesi sonrasında oluşmaktadır. Malzemelerin ısıl işlem sonrası darbe dirençlerinin düştüğü ve karbürleme prosesindeki sıcaklığın yükselmesiyle birlikte, darbe tokluğunun daha da düştüğü görülmüştür. Bu durum J. Gupta'nın makalesinde de belirtilmiştir.

Ayrıca Ni,Cr ve Mo alaşım elementlerinin darbe tokluğu sağladığı bilinmektedir. (Totten, Fasm)

[4] Karbürleme işlemi sonrasında 20MnCr5 ve 8622RH çeliklerinin aşınma dayanımlarının, gerçekleşen ısı işlem prosesi sonrasında arttığı tespit edilmiştir. Malzemelerin aşınma dayanımlarının, artan sertlik ile arttığı görülmüştür. Yeğen ve Usta'nın çalışmasında da karbürleme sonrasında daha yüksek sertliğe sahip olan çeliğin, aşınma dayanımının daha yüksek olduğu belirtilmiştir.

Karbürleme işlemi sonrasında, 8622RH çeliğinin yüzey sertliğinin daha yüksek olması, aşınma dayanımının da 20MnCr5 çeliğine göre daha yüksek olmasına sebep olmuştur.

## KAYNAKLAR DİZİNİ

Akbulut, H., 2005, Aşınma Direnci ders notları, Sakarya Üniversitesi, 52s

Asi, O., An investigation of retained austenite contents in carburized SAE 8620 steel, 2004, 11p.

ASM Handbook Volume 1, Properties and selection of iron steels and high performance alloys, 2521p., 300-325.

ASTM-A 914/A 914M – 92, 2005, Standard specification for steel bars subject to restricted end-quench hardenability requirements1, 27p., 3-10.

ASM Handbook Volume 4, Heat treating, 2173s, 721-748.

Aydın, H., Çelik saçların çift fazlı ısıtım sonrası mekanik ve mikroyapı özelliklerinin değişimi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans tezi, 2006, 85s.

Bramfitt, B. L., Benschoter, A.O., 2002, Metallographer's Guide: Practice and Procedures for Irons and Steels, 63p., 23-48.

Çelikyürek, İ., 2006, Demir alüminatların borlanması ve aşınma özelliklerinin belirlenmesi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Metalurji Enstitüsü Anabilim Dalı, Doktora Tezi, 80s.

Çelik, O.N., Mart 2010, Malzeme bilgisi ve Isıtım işlem eğitim semineri, 330s., 55-64, 110-129.

**KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam ediyor)**

Demirci, H., 2004, Malzeme Bilgisi ve Malzeme Muayenesi, 314s.

Eker, D.A., 2008, Demir karbon denge diyagramı, Ders notları, 24s.

Gupta. J., May 2009, Mechanical and wear properties of carburized mild steel samples,  
Master of technology, 69p., 4-7, 12-15

Karabulut, H., 2005-2006, MEGEP Metal teknolojisi ısıt işlemler ders notları , Ankara,  
40s.

Kato, K., Adachi, K., 2001. Wear mechanisms. In: BHUSHAN, B. (Ed.). Modern  
Tribology Handbook: principles of tribology. CRC Press, v. 1 Cap. 7

Krauss, G., “Microstructure and Performance of Carburized Steel, Part II: Austenite,  
Part III: Austenite & Fatigue”,Specials Papers, 5-15, ASM International,  
Metals Park, OH, (1995).

K., H., Zum Gahr, 1987, Microstructure and wear of materials, Tribology Series 10,  
463p.

Malcolm, B., Thomas L. S., Steels casting hand book 6th edition, Chapter 24, 24-42 p.

Mracna, C, & Covert T., December,10,2007, Heat Treating- 101, 50p.

Otto, J. F., and Herring H. D., Gear heat treatment, Part 1, 5p.

Parrish, G., “Carburizing: Microstructures and Properties”, ASM International, Metals  
Park, OH (1999).

Serfiçeli. Y.S.,1998, MEGEP Metal Teknolojisi Yüzey Sertleştirme Malzeme Bilgisi,  
Ankara, 31s.

### **KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam ediyor)**

Totte, G., E. and Fasm, Ph., D., 2006, Steel heat treatment handbook, 2nd edition, Metalurgy and Technologies, 832p.

Yeğen, İ. and Usta, M. , The effect of salt bath cementation on mechanical behaviour of hot rolled and cold drawn SAE 8620 and 16MnCr5 steels, 390p., 1-7

<http://www.metalravne.com/selector/steels/ec100.html>

<http://eyupyaylaci.com/malzemelerde-cokelme-sertlesmesi>