

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AISI 4140 ÇELİĞİNİN SICAK DÖVME  
KARAKTERİSTİĞİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Gürkan BALIKÇI**

**Enstitü Anabilim Dalı** : **METALURJİ VE MALZEME  
MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı** : **Prof. Dr. İbrahim ÖZBEK**

**Haziran 2016**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AISI 4140 ÇELİĞİNİN SICAK DÖVME  
KARAKTERİSTİĞİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Gürkan BALIKÇI**

**Enstitü Anabilim Dalı : METALURJİ VE MALZEME  
MÜHENDİSLİĞİ**

**Bu tez 23 / 06 /2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.**

**Prof. Dr.  
Cuma BİNDAL  
Jüri Başkanı**

**Prof. Dr.  
İbrahim ÖZBEK  
Üye**

**Yrd. Doç. Dr.  
Ş. Hakan ATAPEK  
Üye**

## **BEYAN**

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Gürkan BALIKÇI

23.06.2016

## ÖNSÖZ

Bu çalışmam süresince, her türlü yardım ve fedakarlığı sağlayan, bilgi, tecrübe ve güler yüzü ile çalışmama ışık tutan, ayrıca bana bu çalışmayı vererek kendimi geliştirmeye yönelik de birkaç adım ileride olmamı sağlayan, çalışmamın yöneticisi Sayın Hocam Prof. Dr. İbrahim ÖZBEK'e,

Çalışmamda manevi desteğini eksik etmeyen lisans arkadaşım Arş. Gör. Umut ÖNEN'e,

Çalışmamda kullanmış olduğum hammadde, tezgah, cihaz, yazılım, alet ve techizat konusunda bana her anlamda destek veren OMTAŞ Otomotiv Transmisyon Aksarı A.Ş ailesine,

Bu çalışmayı, yetiştirmemde emeği geçen ve benden maddi, manevi hiçbir desteği esirgemeyen aileme ithaf ederim.

# İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ .....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	vii
TABLolar LİSTESİ .....	xii
ÖZET .....	xiii
SUMMARY .....	xiv
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2.	
KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	4
BÖLÜM 3.	
ÇELİKLER .....	7
3.1. Düşük Alaşımli Çelikler.....	7
3.1.1. Düşük alaşımli krom-molibden çelikleri.....	8
3.1.2. AISI 4140 çeliği .....	9
3.1.2.1. Alaşım elementlerinin AISI 4140 çeliğine etkileri.....	14
3.1.2.2. AISI 4140 çeliğinin uygulama alanları .....	21
BÖLÜM 4.	
DÖVME TEKNOLOJİSİ.....	22
4.1. Başlıca Dövme Yöntemleri .....	23
4.1.1. Açık kalıpla dövme .....	23

4.1.2. Kapalı kalıpla dövme işlemi .....	25
4.1.2.1. Kapalı kalıpla dövmede dövme safhaları.....	25
4.1.2.2. Kapalı kalıpla çapaklı dövme işlemi.....	25
4.1.2.3. Kapalı kalıpla çapaksız dövme .....	26
4.1.3. Yatay dövme.....	26
<b>BÖLÜM 5.</b>	
<b>AISI 4140 ÇELİĞİNE UYGULANAN ISIL İŞLEMLER .....</b>	<b>28</b>
5.1. AISI 4140 Çeliğinde Su Verme İşlemi ve Martenzitik Dönüşüm .....	32
5.1.1. Ostenitleme .....	33
5.1.2. Ostenitleme sıcaklığında bekletme .....	33
5.1.3. Su verme... ..	33
5.1.4. TTT diyagramı .....	35
5.1.5. Temperleme (menevişleme).....	36
5.1.5.1. 150-250°C'de temperleme.....	37
5.1.5.2. 250-400°C'de temperleme .....	37
5.1.5.3. 450-600°C de temperleme .....	38
5.1.6. Temperlenen AISI 4140 çeliğinin mikroyapı inceleme sonuçları .	40
5.1.7. AISI 4140 çeliğinde gerilme giderme tavlaması .....	44
5.1.8. AISI 4140 çeliğinde eş sıcaklık tavlaması ve tam tavlama .....	45
5.1.9. AISI 4140 çeliğinde normalleştirme tavlaması .....	45
<b>BÖLÜM 6.</b>	
<b>DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....</b>	<b>48</b>
6.1. Metod .....	48
6.1.1. Malzeme.....	48
6.1.2. İmalat .....	48
6.1.2.1. Dövme.....	48
6.1.2.2. Isıl İşlem.....	49
6.1.3. Deney numunelerinin hazırlanması .....	49
6.1.3.1. Çekme numunesi hazırlanması .....	50
6.1.3.2. Sertlik ölçüm numunesi hazırlanması .....	51

6.1.3.3. Mikroyapı numunesi hazırlanması.....	51
6.1.3.4. XRD numunesi hazırlanması .....	51
BÖLÜM 7.	
DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA .....	52
7.1. Dövme Sonrası Farklı Şartlarda Yapılan Isıl İşlemlerin Mekanik Özellikler Üzerine Etkisi.....	52
7.1.1. Sertlik test verilerinin değerlendirilmesi.....	52
7.1.2. Çekme test verilerinin değerlendirilmesi .....	55
7.2. Dövme Sonrası Farklı Şartlarda Yapılan Isıl İşlemin Mikroyapı Üzerine Etkisi .....	58
7.2.1. Optik mikroskop görüntüleri.....	58
7.2.2. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri.....	63
7.2.3. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) EDS analizi sonuçları.....	71
7.3. Dövme Sonrası Farklı Şartlarda Yapılan Isıl İşlemin Etkilerinin XRD Yöntemi İle İncelenmesi .....	76
BÖLÜM 8.	
TARTIŞMA ve SONUÇLAR.....	78
KAYNAKLAR.....	81
ÖZGEÇMİŞ .....	88

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

°C	:Derece Celcius
K	:Kelvin
A <sub>c1</sub>	:Çeliklerin ısıtılmalarında perlitin ostenite kritik dönüşüm sıcaklığı
A <sub>c3</sub>	:Çeliklerin ısıtılmalarında çelik hacminin ostenite kritik dönüşüm sıcaklığı
AISI	:Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü (American Iron and Steel Institute)
ANFOR	:Fransa Standart Komitesi
A <sub>r1</sub>	:Çeliklerin soğutulmasında ostenitten perlite kritik dönüşüm sıcaklığı
A <sub>r3</sub>	:Çeliklerin soğutulmasında ostenitten ferrite kritik dönüşüm sıcaklığı
B	:Beynit
BES	:Geri saçılan elektron görüntüsü (Back scatter electron image)
CCT	:Sürekli-Soğuma-Dönüşüm
Ç	:Çelik
DIN	:Alman standart enstitüsü
EDS, EDX	:Enerji dağılımlı X-ışını spektroskopisi
EN	:English Norm
Fe <sub>3</sub> C	:Sementit
Fe-C	:Demir-Karbon
GPa	:Gigapaskal
HB	:Brinell sertliği
HMK	:Hacim merkezli kübik yapı
HRC	:Rockwell sertliği
ISO	:Internationa Organization for Standartization
J	:Joule
M	:Martenzit



$M_f$	:Martenzit bitiş sıcaklığı
MPa	:Megapaskal
$M_s$	:Martenzit başlangıç sıcaklığı
$\emptyset$	:Çap
P	:Perlit
$R_a$	:Aritmetik ortalama pürüzlülük
$R_z$	:Maksimum pürüzlülük derinliği
SAE	:Otomotiv Mühendisleri Derneği
SEI	:İkincil elektron görüntüsü (Secnder electron image)
SEM	:Taramalı elektron mikroskobu
$T_e$	:Ergime sıcaklığı
$T_{me}$	:Temperleme sıcaklığı
TS	:Türk Standardı
TTT	:Sıcaklık-zaman-dönüşüm
XRD	:X-ışınları difraksiyonu
YMK	:Yüzey merkezli kübik yapı
$\alpha$	:Ferrit
$\gamma$	:Ostenit
$T_\epsilon$	:Ergime sıcaklığı
$\Psi$	:Kopmadaki büzülme
$\alpha_k$	:Çentik dayanımı
$\delta$	:Kopma uzaması

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. AISI 4140 çeliğine ait TTT diyagramı.....	12
Şekil 3.2. AISI 4140 çeliğine ait CCT diyagramı .....	13
Şekil 4.1. Dövme sonrası oluşmuş lif yapısı .....	23
Şekil 4.2. Açık kalıpta dövme (1. Üst kalıp 2. Alt kalıp 3. Dövülecek parça 4. Dövülmüş parça) .....	24
Şekil 4.3. Kapalı kalıpla çapaklı dövme.....	26
Şekil 4.4. Kapalı kalıpla çapaksız dövme (1. Zimba 2. Kalıp 3. İlkel parka) .....	26
Şekil 4.5. Yatay dövme (1. Vurucu başlık 2. Parça tutucu) .....	27
Şekil 5.1. Fe-C (Demir-Karbon faz) diyagramının çelik bölgesi ve uygulanan ısı işlemlerin sıcaklık bölgeleri.....	32
Şekil 5.2. AISI 4140 çeliği için seçilen ısı işlem bölgeleri .....	33
Şekil 5.3. Ostenitleme sonrası farklı ortamlarda su verilmiş 4140 çeliğinin yüzeyden itibaren mesafeye bağlı sertlik dağılımı grafiği.....	34
Şekil 5.4. TTT Diyagramı .....	35
Şekil 5.5. AISI 4140 çeliğinin farklı karbon bileşimlerine bağlı olarak oluşan masif ve iğnesel martenzit mikroyapıları. Düşük alaşımlı (% 0,35 C ve % 2 Mn) karbon çeliğinde masif martenzit yapısı (a), Yüksek karbonlu (% 1,2 C) çelikte iğnesel martenzit yapısı(b).....	36
Şekil 5.6. a-)Temperleme sıcaklığı ile mekanik özelliklerin değişimi, b-)sürekli soğuma eğrisi.....	37
Şekil 5.7. Değişik mencevşleme sıcaklığı aralıklarında çelik yapısında meydana gelen dönüşümler.....	38
Şekil 5.8. İşlemsiz AISI 4140 çeliğinin mikroyapısı .....	42
Şekil 5.9. Sertleştirilmiş ve 350°C’de iki saat temperlenmiş AISI 4140 çeliğinin mikroyapısı. ....	43

Şekil 5.10. Sertleştirilmiş ve 450°C’de iki saat temperlenmiş AISI 4140 çeliğinin mikroyapısı .....	43
Şekil 5.11. Sertleştirilmiş ve 550°C’de iki saat temperlenmiş AISI 4140 çeliğinin mikroyapısı .....	43
Şekil 5.12. Sertleştirilmiş ve 650°C’de iki saat temperlenmiş AISI 4140 çeliğinin mikroyapısı .....	44
Şekil 5.13. Gerilim giderme sırasında gerilmelerin zaman ve sıcaklığın fonksiyonu olarak değişmesi .....	45
Şekil 5.14. DIN 42 Cr, Mo4 (AISI 4140) çeliğinin TTT diyagramı (1) nolu eğri tam tavlama (2) nolu eğri eşsıl tavlamanın soğutma eğrileri .....	46
Şekil 6.1. Prosese ait akış diyagramı .....	49
Şekil 6.2. Çekme deney numunesi gösterimi (TS EN ISO 6892-1) .....	50
Şekil 6.3. Çekme test cihazının şematik görüntüsü.....	50
Şekil 6.4. Mikroyapı analiz numunesi boyutu gösterimi .....	51
Şekil 7.1. 900°C’de ostenitlenip yağda su verme sonrası ve 480°C, 570°C ve 640°C sıcaklıklarda yapılan menevişleme sonrası ortalama sertlik değişim grafiği .....	53
Şekil 7.2. 880°C’de ostenitlenip yağda su verme sonrası ve 480°C, 570°C ve 640°C sıcaklıklarda yapılan menevişleme sonrası ortalama sertlik değişim grafiği .....	53
Şekil 7.3. 860°C’de ostenitlenip yağda su verme sonrası, 480°C, 570°C ve 640°C sıcaklıklarda yapılan menevişleme sonrası ortalama sertlik değişim grafiği .....	54
Şekil 7.4. 900°C, 880°C ve 860°C’de ostenitlenip yağda su verme sonrası,480°C, 570°C ve 640°C sıcaklıklarda yapılan menevişleme sonrası ortalama sertlik değişimlerinin toplu grafiği .....	55
Şekil 7.5. 900°C’de ostenitlenip yağda su verme sonrası, 480°C, 570°C ve 640°C sıcaklıklarda yapılan menevişleme sonrası ortalama çekme mukavemet değişim grafiği.....	56
Şekil 7.6. 880°C’de ostenitlenip yağda su verme sonrası, 480°C, 570°C ve 640°C sıcaklıklarda yapılan menevişleme sonrası ortalama çekme mukavemet değişim grafiği.....	56

Şekil 7.7. 860°C’de ostenitlenip yağda su verme sonrası, 480°C, 570°C ve 640°C sıcaklıklarda yapılan menevişleme sonrası ortalama çekme mukavemet değişim grafiği.....	57
Şekil 7.8. 900°C, 880°C ve 860°C’de ostenitlenip yağda su verme sonrası,480°C, 570°C ve 640°C sıcaklıklarda yapılan menevişleme sonrası ortalama çekme mukavemet değişimlerinin toplu grafiği .....	58
Şekil 7.9. 900°C de ostenitlenmiş ve yağda soğutulmuş numunelere ait optik mikroskop görüntüsü a)200X b)500X.....	59
Şekil 7.10. 900°C de ostenitlenmiş, yağda soğutulmuş ve 640°C de menevişlenmiş numunelere ait optik mikroskop görüntüsü a)200X b)500X.....	59
Şekil 7.11. 900°C de ostenitlenmiş, yağda soğutulmuş ve 570°C de menevişlenmiş numunelere ait optik mikroskop görüntüsü a)200X b)500X.....	60
Şekil 7.12. 900°C de ostenitlenmiş, yağda soğutulmuş ve 480°C de menevişlenmiş numunelere ait optik mikroskop görüntüsü a)200X b)500X.....	60
Şekil 7.13. 880°C de ostenitlenmiş ve yağda soğutulmuş numunelere ait optik mikroskop görüntüsü a)200X b)500X.....	60
Şekil 7.14. 880°C de ostenitlenmiş, yağda soğutulmuş ve 640°C de menevişlenmiş numunelere ait optik mikroskop görüntüsü a)200X b)500X.....	61
Şekil 7.15. 880°C de ostenitlenmiş, yağda soğutulmuş ve 570°C de menevişlenmiş numunelere ait optik mikroskop görüntüsü a)200X b)500X.....	61
Şekil 7.16. 880°C de ostenitlenmiş, yağda soğutulmuş ve 480°C de menevişlenmiş numunelere ait optik mikroskop görüntüsü a)200X b)500X.....	61
Şekil 7.17. 860°C de ostenitlenmiş ve yağda soğutulmuş numunelere ait optik mikroskop görüntüsü a)200X b)500X.....	62
Şekil 7.18. 860°C de ostenitlenmiş, yağda soğutulmuş ve 640°C de menevişlenmiş numunelere ait optik mikroskop görüntüsü a)200X b)500X.....	62
Şekil 7.19. 860°C de ostenitlenmiş, yağda soğutulmuş ve 570°C de menevişlenmiş numunelere ait optik mikroskop görüntüsü a)200X b)500X.....	63
Şekil 7.20. 860°C de ostenitlenmiş, yağda soğutulmuş ve 480°C de menevişlenmiş numunelere ait optik mikroskop görüntüsü a)200X b)500X.....	63
Şekil 7.21. 900°C de ostenitlenmiş ve yağda soğutulmuş numunelere ait SEM görüntüsü a)1000X SEI b)1000X BES c)10.000X SEI d)10.000X BES.	64

Şekil 7.22. 900°C de ostenitlenmiş, yağda soğutulmuş ve 640°C de menevişlenmiş numunelere ait SEM görüntüsü a)1000X SEI b)1000X BES c)10.000XSEI d)10.000X BES.....	64
Şekil 7.23. 900°C de ostenitlenmiş, yağda soğutulmuş ve 570°C de menevişlenmiş numunelere ait SEM görüntüsü a)1000X SEI b)1000X BES c)10.000X SEI d)10.000X BES.....	65
Şekil 7.24. 900°C de ostenitlenmiş, yağda soğutulmuş ve 480°C de menevişlenmiş numunelere ait SEM görüntüsü a)1000X SEI b)1000X BES c)10.000X SEI d)10.000X BES.....	65
Şekil 7.25. 880°C de ostenitlenmiş ve yağda soğutulmuş numunelere ait SEM görüntüsü a)1000X SEI b)1000X BES c)10.000X SEI d)10.000X BES.....	66
Şekil 7.26. 880°C de ostenitlenmiş, yağda soğutulmuş ve 640°C de menevişlenmiş numunelere ait SEM görüntüsü a)1000X SEI b)1000X BES c)5.000X SEI d)5.000X BES.....	67
Şekil 7.27. 880°C de ostenitlenmiş, yağda soğutulmuş ve 570°C de menevişlenmiş numunelere ait SEM görüntüsü a)1000X SEI b)1000X BES c)10.000X SEI d)10.000X BES.....	67
Şekil 7.28. 880°C de ostenitlenmiş, yağda soğutulmuş ve 480°C de menevişlenmiş numunelere ait SEM görüntüsü a)1000X SEI b)1000X BES c)10.000XSEI d)10.000X BES.....	68
Şekil 7.29. 860°C de ostenitlenmiş ve yağda soğutulmuş numunelere ait SEM görüntüsü a)1000X SEI b)1000X BES c)10.000X SEI d)10.000X BES.....	69
Şekil 7.30. 860°C de ostenitlenmiş, yağda soğutulmuş ve 640°C de menevişlenmiş numunelere ait SEM görüntüsü a)1000X SEI b)1000X BES c)10.000X SEI d)10.000X BES.....	69
Şekil 7.31. 860°C de ostenitlenmiş, yağda soğutulmuş ve 570°C de menevişlenmiş numunelere ait SEM görüntüsü a)1000X SEI b)1000X BES c)10.000X SEI d)10.000X BES.....	70

Şekil 7.32. 860°C de ostenitlenmiş, yağda soğutulmuş ve 480°C de menevişlenmiş numunelere ait SEM görüntüsü a)1000X SEI b)1000X BES c)10.000X SEI d)10.000X BES.....	70
Şekil 7.33. 900°C de ostenitlenmiş ve yağda soğutulmuş numuneye ait 5000X büyütmedeki SEM görüntüsü .....	71
Şekil 7.34. 1. Bölgeye ait EDS analiz değerleri.....	72
Şekil 7.35. 2. Noktaya ait EDS analiz değerleri.....	72
Şekil 7.36. 4. Noktaya ait EDS analiz değerleri.....	72
Şekil 7.37. 880°C de ostenitlenmiş ve yağda soğutulmuş 640°C de menevişlenmiş numuneye ait 30.000X büyütmedeki SEM görüntüsü .....	73
Şekil 7.38. 3. Noktaya ait EDS analiz değerleri.....	73
Şekil 7.39. 880°C de ostenitlenmiş, yağda soğutulmuş ve 570°C de menevişlenmiş numuneye ait 10.000X büyütmedeki SEM görüntüsü .....	74
Şekil 7.40. 3. Noktaya ait EDS analiz değerleri.....	74
Şekil 7.41. 880°C de ostenitlenmiş, yağda soğutulmuş ve 480°C de menevişlenmiş numuneye ait 10.000X büyütmedeki SEM görüntüsü .....	75
Şekil 7.42. 1. Noktaya ait EDS analiz değerleri.....	75
Şekil 7.43. 2. Noktaya ait EDS analiz değerleri.....	75
Şekil 7.44. 860°C'de ostenitlenmiş, yağda suverilmiş, 860°C'de ostenitlenmiş, yağda suverilmiş ve ardından 480°C, 570°C ve 640°C sıcaklıklarda meneviş yapılmış numunelere ait XRD analiz sonuçları.....	76

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1. Düşük alaşımli Cr-Mo'li çeliklerin kimyasal bileşimleri ve uygulama alanları.....	9
Tablo 3.2.850°C'de yağda suverilerek sertleştirilmiş AISI 4140 çeliğinin çeşitli temperleme işlemleri sonrası oluşan mekanik özellikleri.....	9
Tablo 3.3. AISI 4140 çeliğinin kimyasal kompozisyonu (% ağı) .....	10
Tablo 3.4. AISI 4140 çeliğinin ısı özellikleri.....	10
Tablo 3.5. AISI 4140 çeliğinin mekanik özellikleri.....	10
Tablo 3.6. AISI 4140 çeliğinin elektriksel özelliği .....	10
Tablo 3.7. AISI 4140 çeliğinin ısı işlem özellikleri.....	11
Tablo 3.8. AISI 4140 çeliğinin yaklaşık kritik sıcaklıkları.....	13
Tablo 5.1. Tavlama sonrasında oluşan yeni mekanik özellikler.....	39
Tablo 5.2. AISI 4140 çeliğine uygulanan sertleştirme işlemleri.....	39
Tablo 6.1. AISI 4140 çeliğinin kimyasal kompozisyonu.....	48

## ÖZET

Anahtar kelimeler: Sıcak dövme, AISI 4140, Suverme, Menevişleme, Mekanik özellikler

Endüstride sıcak dövme işlemi ile AISI 4140 çeliğinden üretilen parçalar yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Buna rağmen endüstride AISI 4140 çeliğinin sıcak dövme çalışmasıyla ilgili yazılı doküman sınırlı sayıdadır.

Bu çalışmada AISI 4140 çeliğin sıcak dövme sonrası farklı ostenitleme ve menevişleme sıcaklıkları sonucunda malzemedeki mekanik ve mikro yapısal değişimler deneysel olarak incelenmiştir. Endüstriyel olarak üretilen parçalardan elde edilen numuneler 900°C, 880°C ve 860°C sıcaklıklarda ostenitlenip yağda su verildikten sonra 640°C, 570°C ve 480°C sıcaklıklarda menevişlenmişlerdir. Tüm numunelerde ostenitleme süresi 140 dakika, menevişleme süresi de 200 dakika olarak belirlenmiştir. Bu numunelerin sertlik ve çekme testleri ile XRD ve metalografik mikroyapı analizleri yapılmıştır.

Yapılan ısı işlemler sonucunda bu numuneler TS EN ISO 6892-1 göre çekme, TS EN ISO 6506 -1 göre de sertlik testine tabi tutulmuş ve mikro yapıları optik mikroskop ve SEM’de incelenmiştir. SEM incelemesi sonucunda yapıda farklılıklar görülen bölgelerden EDS analizi alınarak sonuçlar değerlendirilmiştir. Yapıda oluşabilecek fazları belirlemek için XRD analizi yapılmıştır. Ostenitleme ve menevişleme sıcaklıkları sabit tutularak, AISI 4140 çeliğinin sıcak dövme sonrasındaki ısı işleminde ostenitleme ve menevişleme sıcaklıklarının mekanik ve mikroyapı özelliklerine etkisi tespit edilmiş ve aralarındaki farklar incelenmiştir.



# INVESTIGATION OF HOT FORGED CHARACTERISTICS OF AISI 4140 STEEL

## SUMMARY

Keywords: Hot forging, AISI 4140, Quenching, Tempering, Mechanical properties

Parts that are produced from AISI 4140 steel using hot-forging process are widely used in industry. Nevertheless, there are few written documents related to hot-forging of AISI 4140 steel.

In this study, following the hotforging process, mechanical and microstructural changes at different austenitizing and tempering temperatures have been analyzed experimentally. Samples that are obtained from industrially produced parts have been austenitized at 900°C, 880°C and 860°C then quenched with oil and tempered at 640°C, 570°C and 480°C. Austenitizing duration for all the samples has been 140 minutes and tempering time has been 200 minutes. Hardness and Tensile tests along with XRD and metallographic microstructure analyses of these samples have been performed.

Following the Heat-Treatment performed, these samples have been subjected to tensile testing in acc. with TS EN ISO 6892-1 and hardness testing in acc. with TS EN ISO 6506-1. In consequence of SEM examination, EDS analysis has been performed on areas showing differences in micro-structure. XRD analysis has been performed in order to determine the phases that may occur. After the heat treatment of hot forged AISI 4140 steel, keeping the austenitization and tempering temperatures constant, the effect of these temperature on mechanical and microstructural properties has been investigated.

## BÖLÜM 1. GİRİŞ

Dünya metal üretiminin yaklaşık % 95'i demir olup, demirin karbon ile yaptığı alaşımlar en yaygın olarak kullanılan mühendislik malzemelerini oluşturmaktadır. Bunun başlıca nedeni, demirin allotropik (kristal yapısı sıcaklığa bağlı olarak değişen) bir metal olması ve Demir-Karbon (Fe-C) alaşımlarına ısı işlemler ve/veya alaşımlama yoluyla çok farklı özellikler kazandırılabilmesidir.

Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü'nün (AISI) tarihsel gelişimi 150 yıllık bir süreye dayanmaktadır. Şu ana kadar Enstitü'nün evrimini açıklayan liste verilecek olursa;

- 1855 Amerikan Demir Derneği kurulmuştur.
- 1864 Adı Amerikan Demir ve Çelik Birliği olarak değiştirilmiştir.
- 1908 New York merkezli Amerikan Demir ve Çelik Birliği Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü ile birleştirilmiştir.
- 1966 AISI ilk olarak Washington'da ofisi açılmıştır.
- 1974 AISI merkezi Washington'a taşınmıştır.

AISI çelik standartlarının mevcut çoğunluğu karbon çelikleri ve alaşımlı çeliklerdendir. AISI karbon çeliklerine veya alaşımlı çeliklere genellikle 4 basamaklı sayılar verilir. İlk iki basamak AISI şartnamesine göre alaşım elementini ve son iki basamak ise karbon miktarını gösterir [1].

Bütün demir alaşımlarına (dökme demir hariç) çelik adı verilir. Eskiden çeliğin sertleşmesi çeliğin başlıca özelliği kabul edilirdi. Halbuki bugün çeliğin sertleşmesinin yanında birçok özelliğinin olduğu da bilinmektedir. Ayrıca bazı çelik türleri yüksek sıcaklıkta birden soğutulduklarında sertleşeceklerine daha da yumuşamakta ve sünekleşmektedir [2].

Günümüzde en çok kullanılan metal türü olan çeliği tam olarak tanımlamak oldukça güçtür. Çünkü değişik amaçlara hizmet için oldukça fazla miktarlara varan çeşitliliği içerisinde ortak bir paydada birleşip kesin bir tanımlama yapmak güçtür. Ancak bir gerçek vardır ki çelik hayatımızın her alanında karşımıza çıkar. Çeliğe ihtiyaç duyulmayan hiçbir alan yoktur.

Bir makinede bulunması gereken en önemli teknik özellik; gereç olarak yapımında kullanılan çeliğin doğru seçilmiş olmasıyla yeterli ve verimli olarak görevini yapması, istenen sürede aşınmadan ve bozulmadan dayanması, teknik özellikleri yanı sıra, fiziksel ve kimyasal yapısıyla da çok yakından ilgilidir. Bütün bunlar, kullanılan çeliğe yeterli ölçülerde alaşım elementlerinin katılmasıyla oluşan özel niteliğe bağlıdır.

Günümüzde gelişen teknoloji ile birlikte çeliklerin yaygın kullanımı ve buna bağlı olarak mekanik ve metalografik özelliklerinin iyileştirilmesinde, çeliğe uygulanan ısı işlemler giderek önem kazanmaktadır [3].

Teknolojik yöntemlerle kazanılan bu özellikler, çeliğin ya da alaşımın, ısı işlem yöntemine uyulmasıyla istenilen düzeye getirilir. Bu işlem çeliğin yapımı kadar önemlidir. Isıl işlem yöntemi, çelikte olumlu en üstün koşulları sağlama tekniğidir. Isıl işlemin başarıya ulaşabilmesi için teknik donanım, personelin yetenek ve teknik bilgisinin yeterli olması gereklidir.

Düşük alaşımlı orta karbonlu çelikler son yıllarda özellikle otomotiv endüstrisi ve savunma sanayinde önemli ölçüde kullanım alanı bulmuştur. Bu çelikler sanayide hadde mamulü ve döküm mamulü olarak çok geniş bir kullanım alanına sahiptirler. Bunun nedeni de, bu çeliklerin yüksek mukavemete sahip olmalarının yanında iyi tokluk özellikleri de göstermeleridir. Düşük alaşımlı çelikler, düşük maliyetli olması sebebiyle döküm yöntemiyle karmaşık şekilli parçaların üretilmesinde tercih edilir [4-6].

AISI 4140 çelikleri makine imalat endüstrisinde oldukça yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Örneğin AISI 4140 makine imalat çeliği, talaşlı imalat

endüstrisinde yaklaşık %10 oranında kullanılmaktadır ve içerdiği alaşım elementleri nedeni ile yüksek sertleşebilirlik özelliğine sahip bir çeliktir [7].

AISI 4140 çeliğinin en önemli özelliği, içerdiği Cr ve Mo alaşım elementleri nedeniyle, su verme sonrasında sert martenzitik bir yapı oluşturabilmesi, mukavemet, süneklik ve tokluk gibi mekanik özelliklerin bir arada sağlanmasına imkan vermesidir. Tüm bu nedenlerle AISI 4140 çeliği her zaman kullanım alanı yaygın olan bir çeliktir [8, 9]. Çoğu makine elemanlarında özgül sıcaklık değerlerinde temperleme sırasında oluşabilecek gevreklik, en büyük dezavantajlarından [10]. Bu olumsuz etkiyi önlemek için, uygun temper sıcaklığının seçilmesi çok önemlidir [11, 12]. Uygulanan ostenitleme işlemi ve sonrası temper şartlarına bağlı olarak, farklı metalurjik özelliklerle birlikte malzemelerin bazı özellikleri de değişmektedir. Dolayısıyla AISI 4140 çeliğinin temperleme sonrası oluşan özelliklerinin tespit edilmesi gerekir.

## BÖLÜM 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Özçatalbaş Y. 1996 yılında, “AISI 1050, 4140 ve 8620 Çeliklerinin Isıl İşleme Değişen Mikroyapı Ve Mekanik Özelliklerine Bağlı İşlenebilirlikleri” adlı çalışma yapmıştır. Bu çalışmada, haddelenmiş AISI 1050, 4140 ve 8620 çeliklerinin tam tavlama ve normalleştirme ısıl işlemleri ile değiştirilen mikroyapı ve mekanik özelliklerine bağlı işlenebilirliği araştırılmıştır. Her üç çelik için maksimum takım ömrünün malzemelerin haddelenmiş durumunda olduğu gözlemlenmiştir. Ancak, AISI 4140 numunede çeliğinin numunesinde 200m/dak kesme hızının üzerinde tam tavlama işleminin takım ömrünü arttırdığı görülmüştür [13].

Uzkut M. ve Özdemir İ. 2001 yılında, “Farklı Çeliklere Uygulanan Değişen Isıtma Hızlarının Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi” üzerine bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada Ç1020 (düşük karbonlu), Ç1040 (orta karbonlu) ve Ç4140 (düşük alaşımlı) çelikleri ostenit bölgesine kadar ısıtarak havada soğutmuşlardır. Uygulanan yavaş, orta ve hızlı ısıtma hızlarının bu çeliklerin mekanik özelliklere olan etkileri incelenmiştir. Her bir çelikten, normalizasyon uygulanmış ve uygulanmamış iki grup deney numunesi hazırlanmıştır. Bütün deney numunelerinin sertlik değerleri ile mukavemet değerleri belirlenerek birbirleri arasında mukayese imkanı elde edilmiştir. Artan ısıtma hızına bağlı olarak en yüksek mukavemet artış oranının Ç 4140 çeliğinde olduğu saptanmıştır [14].

Aydinoğlu B. 2002 yılında, “Az Alaşımlı Krom-Molibden Çeliklerinin Yapı Kontrolü” adlı bir çalışma yapmıştır. Bu tez çalışmasında, ıslah çelikleri içerisinde en yaygın kullanılanlardan biri olan 42CrMo4 ıslah çeliğine bakır elementi ilavesi ile mekanik ve metalografik özelliklerin değişimi incelenmiştir. Bu çalışma sonucunda artan bakır miktarına bağlı olarak döküm sonrası sertliğin değişmediği görülmüştür, fakat ıslah işlemi sonrası artan bakır miktarı ile sertliğin yükseldiği görülmüştür. En yüksek

sertlik değerine 60 gram bakır ilavesiyle erişilmiştir. Artan bakır miktarına bağlı olarak bakırın yapıda çözelti oluşturduğu gözlemlenmiştir [15].

Köksal S. ve ark. 2004 yılında “Farklı Karbon İçerikli eliklerin Mekanik Özelliklerinin Isıl İşleme Değişimi” adlı bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmalarında, farklı karbon oranlarındaki çeliklere, su verme işleminin ardından 100, 200, 400 ve 600°C sıcaklıklarda temperleme işlemini uygulanmış ve malzemelerin mekanik özelliklerinin değişimi araştırılmıştır. Karbon oranındaki artış, akma ve çekme dayanımı değerlerini artırmıştır. Mukavemet katsayısı ve deformasyon sertleşmesi üssü su verme sıcaklığının artışı ile önemli derecede azaldıkları görülmüştür. Özellikle 1040 ve 1050 çeliklerde, akma ve çekme dayanımını belirgin bir şekilde azalmıştır [16].

Bayrak M. ve ark. 2006 yılında, “Temperleme ısıl işleminin DIN 41Cr4 ve DIN 42CrMo4 eliklerinin malzeme özelliklerine etkisi” üzerine bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada ısıl işleme DIN 41Cr4 ve DIN 42CrMo4 malzemeleri farklı sıcaklıklarda temperlenmiş olup, temperleme sonucunda elde edilen mekanik özellikler karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak temperleme sıcaklığının değiştirilmesi ile 41Cr4 malzemesinin 42CrMo4 malzemesinin mekanik özelliklerine sahip olabileceği tespit edilip. 42CrMo4 malzemesinin yerine 41Cr4 malzemesinin kullanılması halinde maliyet açısından tasarruf sağlanacağı ve malzeme kullanımındaki farklılıkların ortadan kalkacağı tespit edilmiştir [17].

Doruk İ. 2010 yılında, “Yıvsız Setsiz Av Ve Spor Tüfeklerinde Kaliteyi Arttırmak Amacıyla Kritik Parçalarda İyileştirme alışmaları” adlı bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada daha çok, av ve spor amaçlı imal edilen tüfeklerde kritik kilit parçalarında meydana gelen erken hasarın önlenmesi ve kalitenin artırılması için doğru malzemenin belirlenmesi, yapılabilecek uygun ısıl işlemleri ve tasarım düzeltmeleri üzerinde durulmuştur. Dünya genelinde tüfek imalatçılarının bu tür parçaların imalatında kullandıkları malzemeler genellikle AISI4140 ve/veya AISI4340 düşük alaşımlı çeliklerdir. Bundan dolayı bu iki elik aday malzemeler olarak belirlenmiştir. Belirlenen bu iki farklı malzemeye aynı ısıl işlem parametreleri uygulanarak mekanik

özelliklerinin iyileştirilmesi sonucu en iyi performans gösteren malzemenin belirlenmesi ve tasarım iyileştirmesi ile kilit gibi kritik parçaların kalitesinin iyileştirilmesi amaçlanmıştır [18].

Farahat A. ve Shehata G. 2013 yılında, “Sıcak Dövmenin 4140 Çeliğinin Mikroyapı ve Aşınma Direncine Etkisi” adlı çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada, 4140 çeliği farklı mikroyapılar elde etmek için sıcak dövülmüş ve hızlı soğutulmuştur. Mikro yapılar SEM ve optik mikroskop kullanılarak incelenmiştir. Mekanik özellikler sertlik ve çekme testi ile belirlenmiştir. Kuru kayma aşınma testi lineer hız ve uygulanan basınç ile ilişkilendirilerek gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneği kayma hızı ve uygulanan basınçların arasındaki aşınma oranları ile ilişkisinden planlanmıştır. Ortalama kuru kayma hızı ve maksimum basınçta oluşan maksimum kuru kayma aşınma oranı tokluk ile ilişkilendirilmiştir. Mekanik özellikler ve aşınma oranı arasındaki ilişki tokluk üzerinden yapılmıştır [19].

Kam M. ve ark. 2016 yılında, “Isıl İşlem Görmüş Millerin Dinamik Davranışlarının Deneysel Analizi” adlı bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada, makine-imalat ve otomotiv sanayisinde yaygın kullanım alanına sahip AISI 4140 ıslah çeliğinin dinamik davranışları üzerinde ısıl işlemin etkisi incelenmiştir. Bu amaçla, ısıl işlem görmemiş ve ısıl işlem görmüş millerin dinamik davranışları deneysel olarak karşılaştırılmıştır [20].

## **BÖLÜM 3. ÇELİKLER**

Demir–Karbon alaşımları içerdikleri karbon miktarına göre; “çelikler” ve “dökme demirler” olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır. Bu ayrıma göre; ağırlıkça %2’den daha az karbon içeren alaşımlar çelik ve ağırlıkça %2’den daha fazla karbon içeren alaşımlar ise; dökme demir olarak isimlendirilmektedir.

Dökme demir cinsi malzemelerin içinde ağırlıkça %3-%5 oranlarında karbon ve malzemenin özelliğini bozacak oranlarda da mangan (Mn), silisyum (Si), fosfor (P), kükürt (S) gibi elementler vardır. Malzemenin içinde yüksek oranda karbon ve diğer elementlerin bulunması malzemeyi dayanıksız ve kırılğan yapar. Bu malzemeler birbirine kaynatılmaya, eğmeye, bükmeye, çekmeye ve döverek şekillendirmeye elverişli değildir. Bu olumsuzlukları ortadan kaldırıp demire üstün özellikler kazandırmak için, içindeki zararlı elementler kimyasal olarak ayrıştırılarak atılır. Böylece üstün niteliklere sahip çelik elde edilmiş olur [21].

### **3.1. Düşük Alaşımlı Çelikler**

Düşük alaşımlı orta karbonlu çelikler son yıllarda özellikle otomotiv endüstrisi ve savunma sanayinde önemli ölçüde kullanım alanı bulmuştur. Bu çelikler sanayide hadde ve döküm mamülleri olarak çok geniş bir kullanım alanına sahiptirler. Bunun nedeni de, bu çeliklerin yüksek mukavemete sahip olmalarının yanında iyi tokluk özellikleri de göstermeleridir. Düşük alaşımlı çelikler, düşük maliyetli olması sebebiyle döküm yöntemiyle karmaşık şekilli parçaların üretilmesinde tercih edilir [8-10].

Yüksek alaşımlı çeliklerin en önemli grubunu paslanmaz çelikler oluşturur. Bu çeliklerin bileşimindeki alaşım elementlerinin oranları ağırlıkça % 50’ye kadar



çıkabilmektedir. Paslanmaz çelikler alaşımsız ve düşük alaşımlı çeliklerden çok farklı özellikler gösterirler. Paslanmaz çelikler korozyona, ısıya ve aside dayanımları ve sülfürlü ortamlarda kullanılabilirliklerinden dolayı, endüstride çok geniş bir uygulama sahası bulmaktadırlar.

### 3.1.1. Düşük alaşımlı krom-molibden çelikleri

Bileşimlerinde ağırlıkça % 0,25 - 0,45 C, % 0,13-0,20 Mo ve % 0,5-0,95 Cr bulunan çelikler değişik standartlarda farklı isimlendirilmektedir. Bu farklı isimlendirmeler, üretim yöntemine, bileşimdeki ilave alaşım elementine, ısıl işlem şartlarına göre, düşük alaşımlı Cr-Mo'li çelik, ısıl işlenebilir düşük alaşımlı çelik veya ıslah çeliği denir. Bileşimindeki yeterli karbon miktarı ile alaşım elementleri nedeniyle sertleştirmeye elverişli olan ve ıslah edilmiş (Sertleştirme+Temperleme) durumda belirli bir çekme dayanımında yüksek tokluk gösteren makine yapım çeliği olarak da adlandırılırlar [21, 22].

Islah çeliğinin karbon oranı arttıkça kaynak kabiliyeti azalır. Tavsiye edilen temperleme sıcaklığı  $T_{me} = 550-650^{\circ}C$ 'dir. Temperleme sıcaklığı düşük seçilirse mukavemet artar fakat tokluk düşer, yüksek seçilmesi durumunda ise tersi meydana gelir. Bu çelikler piyasaya genellikle ıslah edilmeden sürüldüklerinden, yapılan makine parçası ıslah işleminden geçirilir. Islah çeliklerinden, yüksek mukavemetli ve darbeye dayanıklı makine parçaları yapılır [23].

Cr - Mo'li düşük alaşımlı çelikler çok iyi sertleşebilirliklerinden dolayı martenzit oluşturmak için suda soğutmanın yerine yağda soğutma daha iyi sonuçlar verir. Yağda soğutma yavaş olduğu için sıcaklık gradyanı ve hacimce büzülmeden dolayı artık gerilmeler ve su verme sırasındaki genleşme, çarpılma ve çatlak eğilimleri azaltılabilir [23-25]. Tablo 3.1. ve 3.2.'de 4100 serisi düşük alaşımlı çeliklerin kimyasal bileşimleri ve kullanım alanları verilmiştir.

Tablo 3.1. Düşük alaşımlı Cr-Mo'li çeliklerin kimyasal bileşimleri ve uygulama alanları [24].

AISI	Kimyasal bileşim (% ağırlık)				Tipik Kullanım Alanları
	C	Mn	Cr	Mo	
4118	0,18	0,80	0,50	0,13	Basınçlı kaplar, uçak yapı parçaları, otomobil aksları, aks mafsalları vb.
4130	0,30	0,50	0,55	0,20	
4140	0,40	0,88	0,95	0,20	
4150	0,50	0,88	0,95	0,20	

Tablo 3.2. 850°C'de yağda suverilerek sertleştirilmiş AISI 4140 çeliğinin çeşitli temperleme işlemleri sonrası oluşan mekanik özellikleri [25].

Temper sıcaklığı (°C)	Akma mukavemeti (MPa)	Çekme mukavemeti (MPa)	Uzama (50 mm'de) %	Kesit daralması %	Sertlik (HB)
205	1995	1764	11,0	42	578
260	1890	1400	11,0	44	534
315	1750	1596	11,5	46	495
370	1617	1484	12,5	48	461
425	1470	1365	15,0	50	429
480	1316	1225	16,0	52	388
540	1169	1064	17,5	55	341
590	1036	924	19,0	58	311
650	910	798	21,0	61	277
705	819	700	23,0	65	235

### 3.1.2. AISI 4140 çeliği

AISI 4140 çeliği, düşük alaşımlı Cr-Mo'li ıslah çelikleri içinde en yaygın kullanım alanına sahip olanıdır. AISI 4100 serisi çeliği, düşük alaşımlı yapı çelikleri, dövme kalite çelikler, orta karbonlu çelik ve alaşımlı çelik olarak da isimlendirilir.

Kullanım alanları arasında, otomobil ve uçak parçaları yapımı, krank mili, aks mili ve kovanı, yivli mil ve benzeri sünekliği yüksek parçalar, ayrıca dişli çark ve bandaj vb. parçaları sayabiliriz.

Ayrıca, soğuk çekme mil ve çubukları, makine çelikleri, yaylar, türbin motorları, turbo jeneratörlerinin fren halka ve kolları, gemi zincir ve demirleri yapımında, demir yol tekerlekleri ve millerinde, starter dişlilerinde ve birçok yerde kullanılmaktadırlar.

Tablo 3.3.-3.8.'de AISI 4140 çeliğine ait kimyasal kompozisyonlar, mekanik, ısıl işlem, ısı ve elektrik özellikleri ile kritik sıcaklıklar görülmektedir [26].

Tablo 3.3. AISI 4140 çeliğinin kimyasal kompozisyonu [26].

Element	C	Mn	P	S	Si	Cr	Mo
% ağırlık	0,38-0,45	0,75-1,00	0,035 max	0,04 max	0,15-0,30	0,80-1,10	0,15-0,25

Tablo 3.4. AISI 4140 çeliğinin ısıl özellikleri [26].

Özellikler		Koşullar	
		T (°C)	İşlem
Isıl genleşme (10-6/°C)	12,3	20-100	Yağda sertleştirilmiş, 600°C'de temperlenmiş.
Isıl iletkenlik (W/m-K)	42,7	100	
Özgül ısı (J/kg-K)	473	150-200	

Tablo 3.5. AISI 4140 çeliğinin mekanik özellikleri [26].

Özellikler		Koşullar	
		T (°C)	İşlem
Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	7,7-8,03	25	815°C 'de tavllanmış
Poisson oranı	0,27-0,30		
Elastisite modülü (GPa)	190-210		
Çekme dayanımı (MPa)	655,0		
Akma dayanımı (MPa)	417,1		
% Uzama	25,7		
% Kesit daralması	56,9		
Sertlik (HB)	197		
Darbe dayanımı (J)	54,5		

Tablo 3.6. AISI 4140 çeliğinin elektriksel özelliği [26].

Özellikler	Koşullar	
	Değer (10 <sup>-9</sup> Ω -m)	T (°C)
Elektrik direnci	222	20

Tablo 3.7. AISI 4140 çeliğinin ısıtım özellikleri [26].

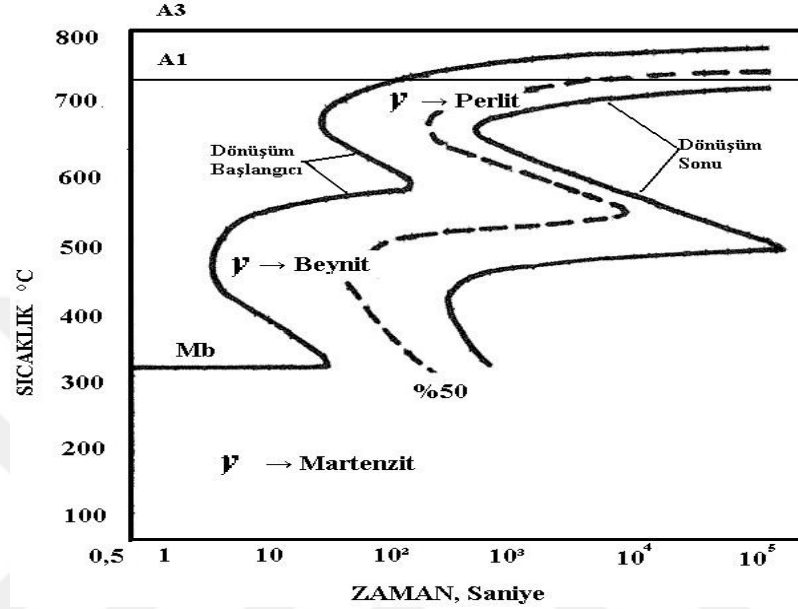
Özellikler	Koşullar	
	Sıcaklık (°C)	Soğutma
Sıcak şekil verme	850-1050°C	
Normalizasyon	840-880°C	
Yumuşak tavlama	680-720°C	
Sertleştirme	820-860°C	Su
		Yağ

AISI 4140 çeliği aynı gruptan çeliklerle kıyaslandığı zaman orta derecede sertleşebilir ancak onlara nazaran dayanım ve tokluğu ise daha iyidir. Fakat çalışma ortamlarındaki performansı normal değerlerdedir. Yüksek karbon içeriğinden dolayı daha iyi sertleşir ve mukavemeti artar. Çekme dayanımları 1650 MPa'a kadar çıkabilir. Sertleştirme ve temperleme ısıtım işlemine uygundur. Çalışma ortamlarındaki dayanımı 480°C'den sonra hızlı bir şekilde azalır. Isıtım işlem ve gerilme konsantrasyonu ile çeşitli sıcaklıklarda dönüşüme uğrayabilirler.

AISI 4140 çeliğinden yüksek dayanım istendiğinde, ısıtım işlem sonucu hidrojen gevrekliği oluşabilir. Ancak bu esnada hidrojen gevrekliğini önlemek ve süneklik kazandırmak için 190°C'de 2-4 saat ısıtım işlemine tabi tutulurlar. 540°C'ye kadar sürünme dirençlerini korurlar. 1100 - 1200°C'de kolayca şekillendirilebilirler ve sıcak şekillendirildikten sonra yavaşça soğutulmalıdırlar. Bu çelikler, bu ısıtım işlemlerden sonra kaynak kabiliyeti iyileşir. Soğuk şekillendirme ile % 62 oranında şekillendirilebilirler. AISI 4140 çelikleri çubuk, merdane, levha, plaka, mil veya döküm yöntemiyle üretilip şekillendirilebilirler. Yüksek dayanımlı makine parçaları ve elemanlarında kullanılır [27].

Ostenit dönüşümü sırasında görülen ve öncelikle dönüşüm ürününün özelliklerini belirleyen çok yönlü olayların irdelenmesinde zaman-sıcaklık-dönüşüm diyagramlarından faydalanılır. TTT (Time - Temperature - Transformation) ve CCT (Continuously - Cooling - Transformation) diyagramları olarak bilinen bu diyagramlarla dönüşüm olayları sıcaklık ve zamana bağlı olarak gösterilir.

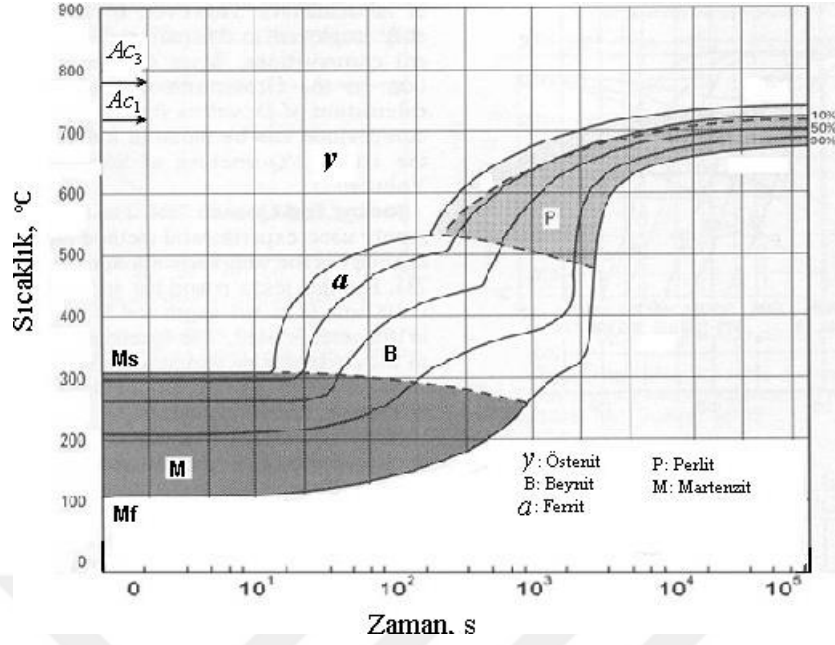
Şekil 3.1.'de izotermik dönüşüm için AISI 4140 çeliğine ait TTT diyagramı görülmektedir. TTT diyagramı ile malzememiz istediğimiz yapı göz önüne alınarak belirlenen bir sıcaklığa hızla soğutulur ve bu sıcaklıkta bekletilir. İsteddiğimiz dönüşüm gerçekleşinceye kadar sabit sıcaklıkta bekletilir ve tekrar soğutulur.



Şekil 3.1. AISI 4140 çeliğine ait TTT diyagramı [29].

Çelikte yapının tamamen perlit ya da beynit olması istendiğinde bu diyagramdan faydalanılır. AISI 4140 çeliğinin yapısının tamamen perlit ya da beynit olmasını istediğimizde Şekil 3.1.' deki değerler okunarak bu yapılar elde edilir.

AISI 4140 çeliğine ait CCT diyagramı Şekil 3.2.' de görülmektedir. Bu diyagram, özel soğutma ortamlarında ulaşılabilen soğutma hızının, ostenitten martenzite veya beynitten perlite faz dönüşümünün etkilerini içermektedir. Bu diyagramlar su verme ortamının etkilerinin teorik olarak görülebileceği diyagramlardır [28].



Şekil 3.2. AISI 4140 çeliğine ait CCT diyagramı [28].

AISI 4140 çeliklerinin soğutma prosesini anlamak için hayli kritik öneme sahip olan martenzit dönüşümünün başlangıç ve bitiş sıcaklıkları olan ( $M_s$ ,  $M_f$ ) bu diyagramdan okunabilir (Şekil 3.2.). Bu sıcaklıklarla birlikte AISI 4140 çeliğine ait olarak çeliğin ısıtılmasında kritik ostenit dönüşüm sıcaklıkları olan  $A_{c1}$  ve  $A_{c3}$  ile çeliğin soğutulmasında ostenitten perlitte dönüşüm sıcaklığı olan  $A_{r1}$  ve ostenitten ferrite dönüşüm sıcaklığı olan  $A_{r3}$  sıcaklıkları Tablo 3.8.'de verilmiştir.

Tablo 3.8. AISI 4140 çeliğinin yaklaşık kritik sıcaklıkları [29].

$M_f$	$M_s$	$A_{r1}$	$A_{c1}$	$A_{r3}$	$A_{c3}$
260°C	343°C	680°C	732°C	743°C	804°C

CCT diyagramı ile soğutma hızları sonunda malzemedeki yapılar görülür. Çok hızlı soğutma (örneğin su) ile yapının tamamen martenzite dönüşeceği şekilde çok açık bir şekilde görülmektedir. Çok hızlı olmamak kaydı ile örneğin yağda soğutularak beynitik bir yapı elde edilebilir. Yine Şekil 3.1.' de malzemede ferrit ve perlit yapısı oluşturmak için yavaş soğuma gerektiği görülmektedir [29].

### 3.1.2.1. Alaşım elementlerinin AISI 4140 çeliğine etkileri

Elementlerin çeliğin yapısında tek elementli faz, katı çözeltiler ve intermetalik bileşik oluşturmasına göre malzeme özelliklerini çok farklı şekilde etkilemektedir. Yalnızca kurşun ve bakırdan kaynaklanan tek elementli fazların yaratabileceği olumlu etkiler sınırlı olduğundan; diğer alaşım elementleri, katı çözeltiler veya intermetalik bileşik meydana getirerek çeliklerin alaşımlandırılmasında büyük önem taşımaktadır [30]. Bu elementlerin demirle katı çözeltiler oluşturması, atom çaplarının oranı ile kristal yapılarına bağlı olmaktadır. Bu elementlerden krom, alüminyum, titanyum, molibden, kalay, arsenik, antimon, niyobyum, zirkonyum, tantalyum, hafniyum, vanadyum, silisyum ve volfram ferrit yapıcılar; nikel, karbon, azot, kobalt, çinko, altın, bakır ve mangan ise ostenit yapıcılar olarak adlandırılmaktadır [31, 32].

Ostenit yapıcı elementler içerisinde nikel, mangan, kobalt, platin sınırlandırılmamış açık ostenit yaparken karbon, azot, bakır, çinko, altın ise; heterojen denge alanı ile sınırlandırılmış ostenit oluşturur. Ferrit yapıcı elementler içerisinde alüminyum, silisyum, titanyum, vanadyum, krom, arsenik, molibden, kalay, antimon ve volfram sınırlandırılmamış açık ferrit sahası oluştururken niyobyum, talyum, zirkonyum ve hafniyum ise; heterojen denge alanı ile sınırlandırılmış ferrit sahası oluşturmaktadır [30, 33].

İntermetalik bağlar, en az iki alaşım elementinin atomları arasında çok büyük çekme kuvvetlerinin bulunması sonucu ortaya çıkmaktadır. Bileşenlerinden farklı ve karmaşık bir kristal yapıya sahip olup, genellikle çok sert ve gevreklerdir. Çeliklerde genellikle özellikleri iyileştiren teknik açıdan en önemli intermetalik bileşikler; karbür ve nitürler ile hem karbon ve hem de azot içeren karbonitürlerdir [30, 31].

Önemli karbür yapıcı elementler ve bu elementleri yüksekten düşüğe doğru karbür yapma eğilimlerine göre sıralayacak olursak; mangan, krom, molibden, volfram, tantalyum, vanadyum, niyobyum, zirkonyum, hafniyum, titanyum yer alır. Genelde zayıf karbür yapıcılar olan mangan ve krom, sementitte ( $Fe_3C$ ) çözünerek, karışık karbürleri meydana getirmektedir. Bunların kararlılığı çok az olmakta ve yaklaşık

650°C sıcaklıkta çözünmeye başlamaktadır. Buna karşın ZrC, HfC ve TiC gibi özel karbürler çok yüksek sıcaklıklara kadar kararlılıklarını korumaktadır. Demirde birçok karbür, karbür meydana getiren elementle birlikte demirin de girmesiyle meydana gelerek, üç elementten oluşmaktadır. Çift karbürlere örnek olarak  $Fe_3W_3C$  ve  $Fe_3Mo_3C$  verilebilir [30, 31]. Islah çeliklerinde alaşım elementi karbürlerinin ostenitleme sırasında çözünmesi, takım çeliklerindeki kadar yavaş değildir. Dolayısıyla aşırı ısınma halinde tane kabalaşması eğilimi olan bu çeliklerin su verme sıcaklığı belli bir aralıkta tutulmalıdır [32]. En önemli nitrür yapıcılar; alüminyum, molibden, volfram, tantalyum, krom, zirkonyum, niyobyum, titanyum, vanadyum ve bor elementleridir. Bu elementlerle AlN, TiN, NbN, ZrN, TaN, VN,  $W_2N$ , CrN,  $Cr_2N$ , MoN ve BN gibi nitrürler oluşmaktadır. Bunlardan kübik yapıları oldukça kararlıdır, ostenitte bile zor çözünürler, hatta TiN, ergiyikte bile kararlılığını korumaktadır [30, 31].

Yapıya alaşım elementi girmesiyle birlikte, dönüşüm eğrilerinin sıcaklık ve bileşimleri değişime uğramaktadır. Alaşım elementleri, çeliğin TTT diyagramındaki eğrilerini değiştirmektedir. Kobalt hariç tüm alaşım elementleri, ötektoid öncesi reaksiyonu (ostenit-ferrit dönüşümü) ve ötektoid reaksiyonu (ostenit-perlit dönüşümü) geciktirerek TTT diyagramındaki dönüşüm eğrilerini sağa (daha uzun dönüşüm sürelerine) kaydırılmaktadır [32, 34].

Alaşım elementlerinin perlit ve beynit dönüşüm başlangıcını geciktirmesi, daha düşük soğuma hızlarında da martenzit oluşumuna imkan sağlamakta, yani çelikte üst kritik soğuma hızı azalmaktadır. Bundan dolayı, daha düşük soğutma gücü olan ortamlarda da martenzitik yapı ve daha fazla sertleşme derinliği elde edilmektedir. Böylece, kalın kesitli parçaların tüm kesiti sertleştirilebilmektedir. Ayrıca, soğutma hızı daha düşük olduğundan, iç gerilmeler ile birlikte çarpılma ve çatlama tehlikesi de azalmaktadır.

Diğer taraftan, artan alaşım elementi cins ve miktarı ile martenzit dönüşümün başladığı  $M_s$  ve dönüşümün tamamlandığı  $M_f$  sıcaklıklarının düşmesi, alaşımlı çeliklerde tam martenzitik yapıya ulaşılmasını zorlaştırmaktadır. Özellikle yüksek karbonlu ve alaşımlı çeliklerde, ani soğutma işlemi oda sıcaklığına kadar yapıldığında, yapıda



önemli miktarda kalıntı ostenit kalmaktadır. Kalıntı ostenitin martenzite dönüştürülmesi istenirse, derin soğutma ( $M_f$  sıcaklığına veya daha da altındaki bir sıcaklığa soğutma) yapılması gerekebilmektedir. Ancak, artık ostenitin yüksek sıcaklıkta temperlenmesi ile yeni karbürler oluşturmak suretiyle, ikincil sertleşme etkisi yaratılabilmektedir [31].

Çelikte demir dışında bulunan arıtılmayan elementler ve önemli alaşım elementlerinin herbirinin çeliğin özelliklerine etkileri aşağıdaki bölümlerde açıklanmıştır.

a-) Çelikte karbon (C): Ergime sıcaklığı  $3540^\circ\text{C}$  olan karbon çeliğin en temel alaşım elementidir [35]. Karbon miktarının artmasıyla birlikte alaşimsız çeliklerin dayanımı ve sertliği önemli ölçüde artmaktadır. Karbon miktarı arttıkça ıslah çeliğindeki perlit oranı arttığından, çeliğin çekme dayanımı ve akma sınırı artmaktadır. Ancak, ağırlıkça %0,80-0,85 C değerinden sonra dayanım daha fazla artmamasına karşılık, bünyeye giren ikincil sementit bünyedeki bağlantıyı zayıflatacağından çekme dayanımı düşmeye başlamakta ve çelik giderek kırılmanlaşmaktadır. Kopmaya kadar şekil değiştirme kabiliyetinin yani kopma uzaması  $\delta$ 'nın ve % kesit daralması  $\Psi$ 'nin en büyük değerlerine tam ferritik bünyede rastlanmaktadır. Kırılman olan sementitin bünyeye girmesiyle bu özellikler artmaktadır. Bu arada aynı nedenle çentik dayanımı  $\alpha_K$ 'nin da düştüğü görülmektedir [31].

Karbon miktarı arttıkça çeliğin sünekliliği, dövülebilirliği, derin çekilebilirliği ve kaynak edilebilirliği azalmakta, ısıl işlemde çatlama ve deformasyon eğilimi artmaktadır. Esas olarak ferrit, soğukta dövülebilir. Karbon oranı arttıkça soğuk şekillendirme için gerekli güç harcaması da o oranda artmakta ve ağırlıkça %0,8 C değeri soğukta şekillendirme için sınır kabul edilmektedir. Talaşlı şekillendirme kabiliyeti de artan karbon miktarı ile azalmaktadır. Çelik içerisinde karbon birikimi (segregasyon) mekanik özelliklerde anizotropiye neden olmaktadır. Sıcak haddelenmiş çelik ürünlerde görülen bantlaşma, karbon birikiminin en belirgin örneğidir [36, 37].

b-) Çelikte manganez (Mn): Ergime sıcaklığı 1221°C olan mangan, çeliğin yapısına genellikle cevherden geçmekte ve bünyeye kükürt ve oksijenli bağlantılar halinde girmektedir [35]. Ostenit genişleten elementlerden biridir. Mangan, çoğu zaman ferrit içerisinde çözünmekte bazen de (Fe, Mn)<sub>3</sub>C olarak sementit içerisine girerek karbürler oluşturmaktadır [38]. Genel olarak, çeliğin dayanımı ve akma noktasını arttırmakta fakat sünekliliğini biraz azaltmaktadır. Ağırlıkça %3 Mn miktarına kadar, her %1 Mn artışı ile çekme dayanımı yaklaşık 100 MPa arttırmakta, %3-8 Mn miktarları arasında artış daha az olmaktadır ve %8 Mn miktarından itibaren düşme görülmektedir. Mangan, kritik soğuma hızını düşürerek sertleşebilirliği arttırmaktadır [35]. Aynı zamanda dövülebilirliği ve korozyon dayanımını da iyileştirmektedir [31, 37].

Çelik içerisinde Mn, kükürt ile MnS inklüzyonu oluşturmaktadır. Bu inklüzyon, hadde yönünde uzayarak süneklik ve tokluğu özellikle enine ve boyuna yönlerde büyük ölçüde azaltmaktadır. Inklüzyonların, süneklik ve tokluk özelliklerinden olumsuz etkilerini gidermek için çeliğe toprak alkali metallerin (Ca, Zr, Ce gibi) ilavesi gerekmektedir. Bu elementlerin ilavelerinin amacı, inklüzyonların plastik özelliklerini azaltarak haddeleme sırasında uzamalarını önlemektir. Bu elementlerin sülfürleri haddeleme sırasında şekil değiştirmezler [35]. Ortamda MnS oluşumu için gerekli olandan fazla mangan bulunduğunda, Mn<sub>3</sub>C oluşma eğilimi artmaktadır. Sementit ve mangan karbür kombinasyonları çeliğin sertliğini ve dayanımını arttırmaktadır. Mangan, ferrit tanelerini ve perlit nodül boyutlarını incelterek akma dayanımını ve ostenitten soğutma sırasında da sertleşme derinliğini arttırmaktadır [33, 39].

Manganlı ıslah çelikleri, orta büyüklükteki kesitler için uygun olup büyük kesitler için yeterli halde çekirdeğe kadar sertleşme kabiliyeti göstermemektedir. Dolayısıyla çekirdeğe kadar tam bir ıslah yapılamamaktadır. Yalnızca manganla alaşımlı olan çelikler, aşırı ısınmaya karşı da hassastırlar ve kaba tane teşekkülüne eğilimleri fazladır. Ayrıca, özellikle su içerisinde soğutmada, sertleştirme çatlağı meydana getirebilmektedir. Haddelemeye dik doğrultuda, çok düşük sünekliliğe sahiptirler. Bu kusurları; 37MnSi5, 50MnSi4, 37MnV7 ve 42MnV7 çeliklerinde olduğu gibi silisyum veya vanadyum ilavesiyle dengelenmektedir [36, 40]. Islah çeliklerinde

mangan içeriği X120Mn12 (1.3401) çeliğinde olduğu gibi ağırlıkça %12 ve üzerinde ise yapı ostenitiktir [32].

İslah çeliklerinin çoğunda mangan oranı %0,50-0,90 aralığında değişmektedir. En yüksek mangan içeriği X120Mn12 (1.3401) çeliğinde olup %13'tür. Minimum mangan miktarı ise %0,30'dur [41].

c-) Çelikte krom (Cr): Ergime noktası 1920°C olan krom, ostenit daraltan ve yapıyı ferritik yapmaya eğilimli bir elementtir. Ferrit içerisinde çözünmektedir ve sementit içerisine girerek de  $(Fe, Cr)_3C$  karbürleri oluşturmaktadır. Aynı zamanda yapı içerisinde  $Cr_{23}C_6$  ve  $Cr_7C_3$  şeklinde karbürler de oluşturabilmektedir [38]. İslah çeliklerinin, oksidasyona ve korozyona karşı dayanımını, aşınma direncini ve özellikle kritik soğuma hızının azalmasıyla sertleşebilirliğini arttırmaktadır. Karbür yapıcı element olduğundan, çekme dayanımını ve ısıya dayanımı arttırmakta, sünekliliği düşürmektedir. Sünekliliğini arttırmak için yapıya nikel ve vanadyum katılmaktadır. Artan krom miktarı ile kaynak edilebilirlik ve çentik darbe dayanımı azalmaktadır [31, 37]. Her %1'lik krom artışı, çekme mukavemetinde 80-100 N/mm<sup>2</sup>'lik artışa tekabül etmektedir. Kromlu ıslah çelikleri aşırı ısınmalara karşı hassas değildir ama yüksek aşınma mukavemeti göstermektedir. 38CrSi6 ve 50CrV4, 58CrV4 çeliklerinde olduğu gibi silisyum ya da vanadyum ilavesi, sertleşebilirliği daha da arttırmaktadır [36, 40].

İslah çelikleri içerisinde en yüksek krom oranına sahip çelik %3,30 Cr oranıyla 32CrMo12 çeliğidir. Genel olarak krom miktarı %0,90-1,20 arasındadır [41].

d-) Çelikte krom-mangan (Cr-Mn): Krom-mangan çelikleri takım çeliği ve yapı çeliği olarak kullanılır. Yapı çeliği olarak ileri sürülmelerine sebep krom-nikel çeliklerinin pahalı olmasıdır. Bilindiği gibi mangan çeliğe nikelin yaptığı aynı etkiyi yapar. Bu sebepten manganez birçok hallerde nikelin yerini tutar. Gerçektende krom-mangan çeliklerine işlem yapılınc krom-nikel çeliklerindeki dayanım değerlerine erişilir fakat uzama biraz düşük kalır. Yüksek alaşımlı krom-mangan çelikleri pasa ve asitlere karşı ortam ve yüksek sıcaklıklarda iyi dayanıklılık gösterir [42].

e-) Çelikte silisyum (Si): Cevherden ve ergitme sırasında ilave edilen malzemelerden demire geçen silisyumun ergime sıcaklığı 1414°C'dir. Silisyum, oksijene olan yüksek afinitesi nedeniyle SiO<sub>2</sub> halinde bulunmakta ve diğer oksitlerle birlikte SiO<sub>2</sub>.M<sub>x</sub>O<sub>y</sub> gibi yüksek derecede ergiyen yuvarlak şekilli ve gevrek silikatlar oluşturmaktadır. Silisyum, oksijen mevcudiyeti söz konusu olmadığı durumlarda ferrit içerisinde çözünmektedir [38]. Kükürt ve fosfor gibi silisyum da, metalik bir element değildir [40]. Islah çeliğindeki silisyum içeriği %0,3'ün altında ise; silisyum, ferrit içinde tamamen çözünmekte ve büyük oranda sünekliliği düşürmesi dışında dayanımı ve sertliği arttırmaktadır [42]. Fakat etkisi mangandan az olmaktadır. Artan silisyum miktarı ile dövülebilirlik ve kaynak kabiliyeti azalmaktadır. Çeliğin sertleşebilirliği, aşınmaya karşı dayanımı ve elastikiyeti artmakta ama çeliğin yüzey kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir [31, 33]. Silisyum ilavesi ile kromlu ıslah çeliklerinin sertleşebilirliği daha da arttırılmakta ve manganlı ıslah çeliklerinin de özellikleri iyileştirilmektedir [40].

Islah çeliklerinin çoğunda silisyum içeriği maksimum %0,40'tır. Mangan silisyumlu ıslah çeliklerinde bu oran %1,00'e kadar çıkmaktadır. En yüksek silisyum içeriği %1,40 Si ile 37MnSi5 çeliğindedir [40, 41].

f-) Çelikte molibden (Mo): Ergime sıcaklığı 2622°C'dir. Karbür yapıcı ve aynı zamanda ostenit daraltan bir elementtir. Molibden, yapı içerisinde Mo<sub>2</sub>C şeklinde karbürler oluşturabilir [38]. Az alaşımlı çeliklerde ve ıslah çeliklerinde genellikle krom ve/veya nikel ile birlikte %0,15-0,30 arasında bulunduğu, kritik soğuma hızını düşürerek sertleşebilirliği arttırmakta ve aynı zamanda çekme dayanımını ve özellikle sıcaklığa dayanımını çok arttırmaktadır. Ayrıca, temper gevrekliğini de azaltmaktadır. Yüksek molibden değerleri, çeliğin dövülebilirliğini zorlaştırmaktadır [35, 36]. Molibden, kroma nazaran daha kuvvetli sertleşebilmeyi arttırmaktadır. Bu etkisi yüksek karbonlu çeliklerde, orta karbonlu çeliklere göre daha belirgin olmaktadır [43]. Temper gevrekliği tehlikesine karşın Cr-Ni çelikleri yerine çoğu zaman Cr-Mo çelikleri kullanılmaktadır. Aynı karbon miktarlarında Cr-Mo çeliklerinin mekanik özellikleri, Cr-V çeliklerine nazaran biraz düşük olmaktadır [40]. Islah çeliklerinde eskiden daha çok kullanılan nikel, özellikle sünekliliği iyileştirmektedir [31, 37].

Islah çeliklerinde Mo miktarı genellikle %0,15-0,30 civarındadır. 14CrMoV6-9 ıslah çeliği, %1,00 Mo içeriği ile en yüksek Mo içeren ıslah çeliğidir [41].

g-) Çelikte kükürt (S): Ergime sıcaklığı 118°C olan kükürt, sülfürlü cevherlerden ve kullanılan yakıtlardan çeliğe geçmektedir [35]. Genel olarak, çelikte %0,08-0,33 oranlarında bulunduğu işlenebilirliği (talaşlı şekillendirmeyi) kolaylaştırmaktadır. Bunun dışında istenmeyen bir elementtir ve daima azaltılmaya çalışılmaktadır. Sertleşebilirliği olumsuz yönde etkilemektedir [31]. Demir içinde kükürt çözünürlüğü yok denecek kadar az olduğundan, içyapıda karakteristik demir sülfür (FeS) fazı ortaya çıkmaktadır. Çelik içerisinde yapıda %0,05'den daha az kükürt içeriği, kaynak edilebilme özelliğini iyileştirmektedir. Mangan ile dengelenmediğinde, kükürt taneler üzerinde FeS olarak çökelmekte ve yüksek sıcaklıkta ergiyik durumda bulunacağından sıcakta kırılmalık yapmaktadır. Manganın kükürde karşı afinitesi yüksek olduğundan kükürt, manganla ince tanecikler halinde 1600°C'de ergiyen MnS'i oluşturmaktadır. Böylece sıcakta kırılmalık önlenmiş olmaktadır [24]. Kükürt genellikle sülfür ve oksisülfür kalıntıları olarak ıslah çeliği yapısında bulunmaktadır. Segregasyon yatkınlığı yüksektir. Islah çeliklerinde kükürt miktarı maksimum %0,045'dir [32, 37].

h-) Çelikte fosfor (P): Ergime sıcaklığı 44°C'dir [35]. Fosfor, çelik içerisinde Fe<sub>3</sub>P bileşiği şeklinde bulunmaktadır. Ferritin dayanımını en fazla arttıran elementtir. Bu nedenle, düşük miktarlarda bulunsun bile ferritin içerisinde çözündüğünden dolayı çeliğin dayanımını ve sertliğini artırıcı, buna karşın şekillendirme yönünde sünekliliği ve darbe dayanımını azaltıcı etki yapmaktadır [31, 33]. Diğer kalay olmak üzere tokluğu en çok azaltan iki elementten biridir. Fosforun küçük miktarlarda artması bile temper gevrekliğine eğilimi arttırmaktadır. Kuvvetli makrosegregasyon gösteren fosforun, demir içinde yayınma hızı çok düşük olduğundan mikrosegregasyonu da belirgin olmaktadır. Fosforun mikrosegregasyonu yüksek sıcaklıklarda yapılan uzun süreli bir tavlama ile çok zor olarak giderilebilmektedir [32]. Çelikte bakır ile az oranda bulunduğu korozyon dayanımını iyileştirmesine karşın; kükürtle birlikte çelikte mümkün olduğunca az bulunmasına çalışılmaktadır ve kalite belirlenmesinde birinci planda rol oynamaktadır [31].

Islah çeliklerinde fosfor miktarı maksimum %0,100 P ile X120Mn12 çeliğine aittir. Genel olarak fosfor içeriği %0,035'tir [41]. Fosforun birikim yatkınlığı karbon ve kükürdünkinden azdır [39].

### 3.1.2.2. AISI 4140 çeliğinin uygulama alanları

AISI 4140 ve AISI 4142 takım çelikleri çeşitli diğer endüstriyel uygulamalarda kullanılmaktadır. Çok yönlü, alaşımlı çeliklerdir. AISI 4140, 217 HB sertlikte tavllanmış durumda satılan alaşımlı çeliktir. AISI 4142, 32 HRC (269-302 HB) [32] ön sertleştirilmiş olarak piyasada bulunan benzer bir çeliktir. Kalınlık olarak yaklaşık 3 inç (76,2 mm)'den daha büyük olan AISI 4142 parçaları tipik olarak kesitinin merkezi bölge içinde daha düşük bir sertlik sergiler. Bu çelikler için tipik uygulamalardan; destek plakaları, dolgu blokları, punch tutucular, taban plakaları kelepçeleri, ölçüm cihazları, kalıplar, fren jigsleri, fikstür takım tutucular, yüksek mukavemet parçalar, otomobil ve uçak yapımında, krank mili, aks mili ve kovanı gibi sünekliği yüksek parçalar, mola kalıpları, bükme kalıpları, destek takımları, kalıp tutucuları, dişliler, flanşlar, pens, debriyaj parçaları, şekillendirme rulo, anahtarları ve diğer el aletleri gibi çeşitli makine bileşenleri içerir.

Akslar, konveyör parçaları, karga bar (levye), dişliler, dingil, miller, zincir dişlileri, çıtçıt, kanat, pompa şaftları, kuron vs gibi. yüksek mukavemet ve tokluk istenen makine elemanlarında ve yapı elemanlarında AISI 4140 çelikleri kullanılmaktadır. Diğer AISI çelikleri gibi AISI 4140 çelikleri de petrol ve gaz uygulamalarında sıklıkla tercih edilen çelik türüdür [34].

## BÖLÜM 4. DÖVME TEKNOLOJİSİ

Dövme işlemi, darbe veya basınç altında kontrollü bir plastik deformasyon sağlanarak, metale istenen şekli verme, tane boyutunu küçültme ve mekanik özelliklerini iyileştirme amacıyla uygulanan bir plastik şekil verme yöntemi olarak tanımlanabilir [44]. Dövme parçaların döküm parçalardan daha mukavim olmasının altındaki ana gerçek, dövme operasyonunda oluşan lif yapısıdır. Lif yapısının oluşması parçadaki mekanik özellikleri artırıcı etki yaratmaktadır (Şekil 4.1.). Dövme işlemi, insanlığın uyguladığı en eski metal şekillendirme sanatıdır. Tarihte yaklaşık 18. yüzyılın sonlarına kadar el sanatı olarak gelişme göstermiştir. Bu tarihten sonra makinelerin insan gücünün yerini almasıyla, dövme sanatının uygulandığı atölyeler endüstrileşme yolunu tutmuştur. Günümüzde alüminyumdan zirkonyuma kadar tüm metaller bir vatandaşın türbin robotuna veya tek parça halindeki uçak kanadına kadar çeşitli boyut ve şekillerdeki parçalar dövülebilmektedir. Dövme ürünleri taşıtlarda (uçak, otomobil, tren vs.), tarım makine ve aletlerinde inşaat ve yol makinelerinde, füze ve roketlerde, silah endüstrisinde, türbin, motor ve çeşitli makinelerde kullanılan parçalar, özellikle emniyet açısından önem taşıyan, darbeye ve gerilmelere dayanıklı kritik parçaları oluştururlar. Dövme işlemi değişik kriterlere göre farklı şekillerde sınıflandırılır. Kullanılan makineleri çalışma prensiplerine göre sınıflandırma, şahmerdanla dövme ve presle dövme diye iki grupta yapılır [45].

Dövme, sıcak, yarı sıcak ve soğuk olarak uygulanabilir. Malzemenin mutlak ergime sıcaklığı ( $K$ ) $T_e$  ve şekil verme sıcaklığı da  $T$  ile gösterilirse, genel olarak,  $T/T_e < 0,3$  ise soğuk şekil verme,  $T/T_e = 0,3 - 0,5$  ise yarı sıcak şekil verme ve  $T/T_e > 0,6$  ise sıcak şekil verme söz konusudur [46].



Şekil 4.1. Dövme sonrası oluşmuş lif yapısı [46].

#### 4.1. Başlıca Dövme Yöntemleri

Günümüze kadar dövme işlemleri çok farklı yaklaşım ve yöntemler ile yapılmakla birlikte bu yöntemleri en genel anlamda iki ana grupta ele almak mümkündür. Bu yöntemler el ile dövme (demirci dövmesi) ve makine ile dövme yöntemleridir.

##### 4.1.1. Açık kalıpla dövme

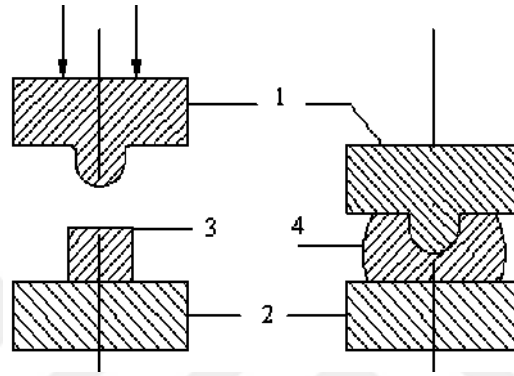
Açık kalıpla dövme, malzemenin düzlemsel veya basit şekilli kalıplar arasında dövüldüğü bir sıcak şekil verme yöntemidir. Bütün dövülebilir malzemelerin çekiç veya hidrolik preslerde şekillendirildiği bu yöntem aşağıdaki hallerde kullanılır;

- İş parçası kapalı kalıpta dövülemeyecek kadar büyükse,
- Üretim miktarı kapalı kalıp maliyetini karşılamayacak kadar az ise,
- Üretimin kapalı kalıp yapılmasına yetmeyecek kadar kısa sürede bitirilmesi gerekiyorsa,
- İş parçasının talaşlı üretimle elde edilemeyecek mekanik özelliklere sahip olması isteniyorsa.

Hammadde olarak çeşitli kesit ve uzunlukta hadde mamulleri, blum ve ingotların kullanıldığı açık kalıpla dövmede, ağırlığı kilogram mertebesinde 350 tona kadar değişen çeşitli parçalar üretilmektedir.



Açık kalıpla dövme sırasında koç stroku ve dövme kuvvetinin kontrol edilmesi gerektiğinden ağırlık düşmeli çekiçlerle mekanik presler kullanılmamalıdır. Ağırlığı yaklaşık 5 tona kadar olan parçalar için güç düşmeli çekiçler, daha ağır parçalar içinde hidrolik presler en uygun açık kalıpla dövme makinalarıdır. Açık kalıpla dövmede kalıplara, dövme makinesinin örsüne ve koçuna bağlanabilmeleri için genellikle kırılmaç kuyrukları işlenir (Şekil 4.2.).



Şekil 4.2. Açık kalıpta dövme (1. Üst kalıp 2. Alt kalıp 3. Dövülecek parça 4. Dövülmüş parça) [47].

Dövme makinesine bağlanan kalıpların yüzeyleri birbirine paralel olmalıdır. Aksi takdirde üretilen parçalarda bazı boyutlar tolerans dışına çıkabilir. Orta büyüklükteki kalıplarda (örneğin 1000x500 mm) ön yüzden arka yüze ve kenardan kenara paralellikten sapma 1,5 mm'yi aşmamalıdır. Daha küçük kalıplarda sapma daha az olmalıdır [47].

Açık dövme kalıplarının ömrü kapalı kalıplara nazaran daha uzundur. Dövmede kalıp yüzeyleri zamanla hasara uğrayarak bozulur. Bu nedenle kalıplar zaman zaman bakıma alınır ve bozulan yüzeyler tashih (taşlama, freze, kaynak vs.) edilerek düzeltilir. Bu işlemler sırasında mümkün olduğu kadar az talaş kaldırılmalıdır. Genel olarak 5-6 mm den az işleme ile bakım gerçekleştirilir. Kalıplar 8-10 kez bakıma alınacak şekilde tasarlanmalıdır. Böylece 4800-6000 saatlik bir çalışma ömrü sağlanabilir [48].

## **4.1.2. Kapalı kalıpla dövme işlemi**

### **4.1.2.1. Kapalı kalıpla dövmede dövme safhaları**

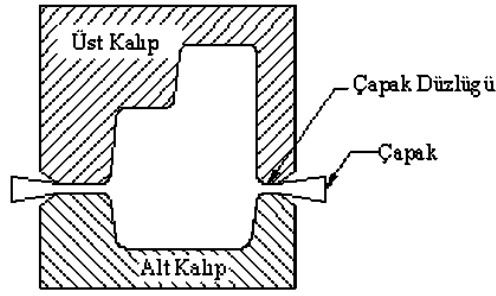
Dövme işlemi en az iki olmak üzere birçok safhalardan geçerek gerçekleşebilir. Dövme safhalarında parçanın yapısı her bir safha için ayrı ayrı göz önünde bulundurulmalıdır ki üretilebilirlik yönünden bir sonraki safhada güçlük oluşmasın. Dövme safhalarını; hazırlama, ön dövme ve son dövme olmak üzere genel olarak üçe ayrılır.

Özellikle ön dövme dizaynı, parçanın son dövmede tam olarak yerine oturmasını sağlamalıdır. Son dövme kalıp boşluğu gravürü iş parçasına en son formu verir. Burada parçanın aşırı fazlalığı çapağa çıkar. Buna rağmen son dövme daima üretimin son adımı anlamına gelmeyebilir. Bazen son dövme ve çapak kesme işlemlerinden sonra parçaya bükme ve ütüleme operasyonları ile son şekil verilebilir. Hazırlama gravürleri ile dövme kalıplarında köşe kırma, boğma, şişirme, çekme, yuvarlama, eğme ve yarma işlemleri yapılabilir. Ön dövme gravürleri gerek son dövme gravüründe verimli ve tamamlayıcı şekillendirme için, gerekse parçaya en uygun ilk biçimi vermede kullanılırlar [49].

### **4.1.2.2. Kapalı kalıpla çapaklı dövme işlemi**

Sıcak olarak yapılan bu işlemde üst kalıbın uyguladığı kuvvetle sağlanan metal akışı kalıp boşluğu tarafından sınırlanır. Kalıp boşluğu dolduktan sonra, fazla malzeme iş parçasını "bölüm yüzeyi" boyunca çevreleyen çapağı oluşturur (Şekil 4.3.). Çapak iş parçasından kesilerek ayrılır. Çapağın meydana geldiği düzleme çapak hattı veya kalıp ayrımı çizgisi de denir.

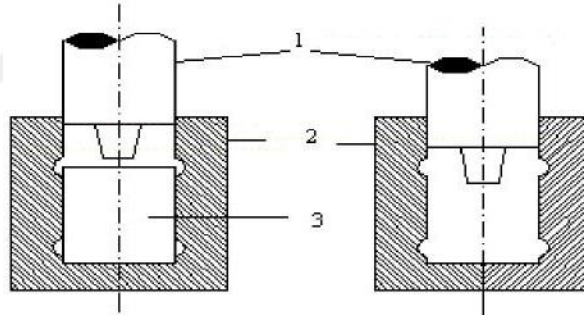
Dövmede fire genellikle çaptan kaynaklanmaktadır. Çapağın görevi malzemenin kalıp boşluğunu tamamen doldurmasını sağlamaktır.



Şekil 4.3. Kapalı kalıpla çapaklı dövme [49].

#### 4.1.2.3. Kapalı kalıpla çapaksız dövme

Kapalı kalıpla çapaksız dövme soğuk veya sıcak olarak uygulanabilir. Ham madde hacmi çok dikkatli bir şekilde kontrol edilmelidir. Böylece metalin bir tarafından uygulanan kuvvetle herhangi bir malzeme kaybı olmadan kalıp boşluğunu doldurması sağlanır. Böylece üretim verimi yükselir ve dövme maliyeti düşer. Zimba ve kalıp birden çok parçadan oluşabilir (Şekil 4.4.) [50].



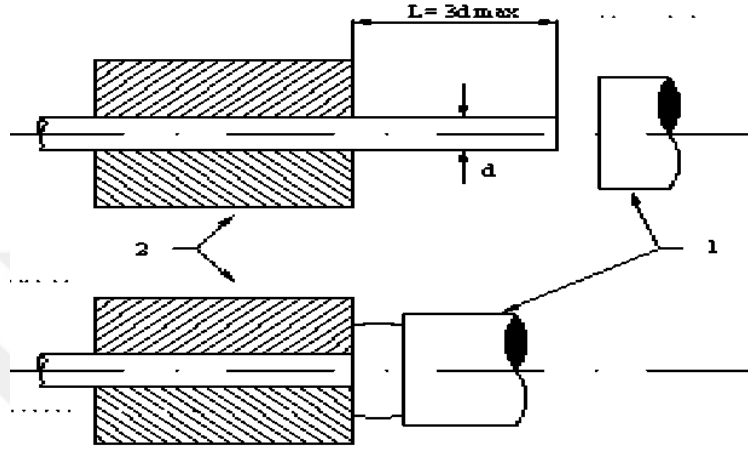
Şekil 4.4. Kapalı kalıpla çapaksız dövme (1. Zimba 2. Kalıp 3. İlkel parka) [50].

#### 4.1.3. Yatay dövme

Soğuk veya sıcak olarak uygulanan bu yöntemde ham maddenin bir kısmında veya tümünde kesit yüzeyi büyütülür.

Kafa şişirme, genellikle dairesel kesitli metal bir çubuğun, eksenine doğrultusunda uygulanan basma kuvveti etkisiyle, bir ucunun yığılarak şekillendirilmesidir. Özel yatay makineler de sıcak, yarı sıcak veya soğuk olarak yapılan bu işlem Şekil 4.5.'de gösterilmiştir. Bu şekilden de anlaşılacağı gibi, biri sabit diğeri ise hareketli olan

burçlar tarafından sıkı bir biçimde kavranan çubuğun serbest ucu ıstampa tarafından kalıp boşluğunu doldurmaya zorlanarak yığılmaktadır. Tipik uygulama örneği civata kafalarının şekillendirilmesi olan kafa şişirme işleminin sağlıklı yapılabilmesi büyük ölçüde burkulmanın önlenmesine bağlıdır.



Şekil 4.5. Yatay dövme (1. Vurucu başlık 2. Parça tutucu) [50].

## **BÖLÜM 5. AISI 4140 ÇELİĞİNE UYGULANAN ISIL İŞLEMLER**

“Isıl işlem” teriminden, malzemeye belirli özellikleri kazandırmak amacıyla katı halde kontrollü bir şekilde ısıtma veya soğutma anlaşılmaktadır. Burada işlem kademesi birden fazla olabilir. Parçaların belirli bir sıcaklığa ısıtılması “ısıtma”, bu sıcaklıkta uygun süre sıcaklığı sabit tutma “bekleme” ve belirli bir programa uygun olarak sıcaklığın oda sıcaklığına düşürülmesi “soğutma” ile üç kademede özellik değişimleri sağlanır.

Bütün ısıl işlemlerin amacı, malzemelerin özelliklerini istenilen şekilde değiştirmektir. Isıl İşlemler ile özellikle sertlik, mukavemet ve işlenebilirliği iyileştirilir. Çeliklerde çeliğin iç yapısını ve buna bağlı olarak da özelliklerini değiştirmek amacıyla yapılan; ısıtma ve soğutma işlemleriyle, yüzeyin kimyasal bileşimini değiştirerek (karbürizasyon, nitrasyon, borlama, dekarbürizasyon vs) yüzey özelliklerinin değiştirilmesi işlemlerinin tümü ısıl işlemdir.

Metal malzemelerde ısıl işlemle özellik değişmesi sağlanırken, malzemenin kimyasal bileşiminde değişim olmaksızın, kristal ya da kafes yapısında düzenlemeler yapılabilir. Sıcaklık değişimleriyle yapılan ve “termik yöntem” adı verilen bu tür ısıl işleme örnek olarak, difüzyon tavlama, tam tavlama gibi tavlama işlemleri ile sertleştirme ve meneviş işlemleri söylenebilir. Kimyasal bileşimin, malzemenin tümünde ya da sadece yüzeyinde değişme yapılarak özellik değiştirmek de olanaklıdır. Malzemenin tamamının veya sadece yüzeyinin bileşiminde değişiklik yapılarak “termo kimyasal yöntem” adı verilen bu tür ısıl işleme örnek olarak sementasyon, nitrasyon, karbonitrasyon, sülfonitrasyon, sülfokarbonitrasyon, borlama, silisyumlama gibi metal ve metal olmayan element ya da bileşiklerinin difüzyonu gösterilebilir. Ayrıca, mekanik ve ısıl işlemler birlikte uygulanarak “termo-mekanik” yöntemle, örnek olarak rekristalizasyon tavlama, toparlanma tavlama ve patentleme gibi işlemlerle özellik

iyileştirilmesi yapılabilir. Yukarıda belirtilen yöntemler, çoğu zaman birbirinin ardından da uygulanabilmektedir [51].

Yöntem ayırımı yapılmaksızın, metal ve alaşımlarında ısıl işleme değiştirilebilen özellikler şu şekilde özetlenebilir:

- Herhangi bir yöntemle sertleştirilmiş yapı yumuşatılabilir. Malzemede talaşlı ve talaşsız işlenebilirlik artırılır.
- Ötektik ya da ötektoid yapıdaki intermetalik bileşikler lamelli yapıdan küresel yapıya dönüştürülebilir.
- Tane sınırlarında bulunan lameller ya da plaka formundaki intermetalik bağlar parçalanır ve küresel forma dönüştürülebilir. Özellikle yüksek karbonlu çeliklerde bu işlem malzemenin plastik şekil değişim kabiliyetini artırmaktadır.
- Soğuk şekillendirme ile uzamış kristaller, daha küçük ve küresel forma dönüştürülür. Malzeme tekrar soğuk şekillenebilirlik özelliği kazanır.
- Dökümden sonraki katılaşmada, tane sınırları arasındaki artılamayan elemanlardan çözülebilenleri, tane içerisinde homojen olarak dağıtılabilir. Çözülmeyen artılamayan elemanlar ise parçalanarak, malzemedeki kötü etkileri azaltılır.
- Talaşlı şekillendirmeyi kolaylaştırmak amacı ile tane kabalaşması sağlanabilir.
- Düşük karbonlu çeliklerde, ostenitik alandan uygun soğutma yapılarak, ferrite nazaran perlit oranı artırılarak, perlitleştirme yapılabilir.
- Katı halde dönüşüm meydana getirebilen alaşımlarda, normal dönüşmenin engellenmesi ve özellikleri tamamen farklı yeni yapının oluşturulmasıyla sertliğinin önemli ölçüde artması sağlanabilir.
- Aşırı doymuş karışık kristalli yapılarda, çökeltme (yaşlandırma) ile sertlik artması sağlanabilir.
- Difüzyon yoluyla, malzeme yüzeyine aynı tür atomlar ya da karbon atomları nüfuz ettirilerek sert yüzey sağlanabilir ya da normal koşullarda sertleşmeyen çeliklerde, yüzeyde difüzyonla karbon artması sağlanarak, sertleşebilirlik özelliği kazandırılabilir.

- Soğuk şekillendirme, kaynak işlemi, sıcak şekillendirme sonucu yapılan soğutma esnasında ya da uygulanmış ısı işlem sonucu oluşmuş kalıcı gerilmeler (artık gerilmeler) ısı işlemle azaltılarak, tehlikeli olmayacak boyutlara indirilebilir.
- Yapının stabil hale getirilmesiyle, kalite yükselmesi, soğuğa dayanıklılık ve talaş kaldırma kabiliyeti arttırılabilir.
- Emaye, laklama gibi yüzey kaplama işlemleri için malzeme yüzeyini hazırlamak amacıyla parlak yüzey sağlanabilir.
- Yüzeye yabancı atom difüzyonu ile ya da dayanıklı bir oksit tabakası oluşturarak, korozyon dayanıklılığı arttırılabilir.

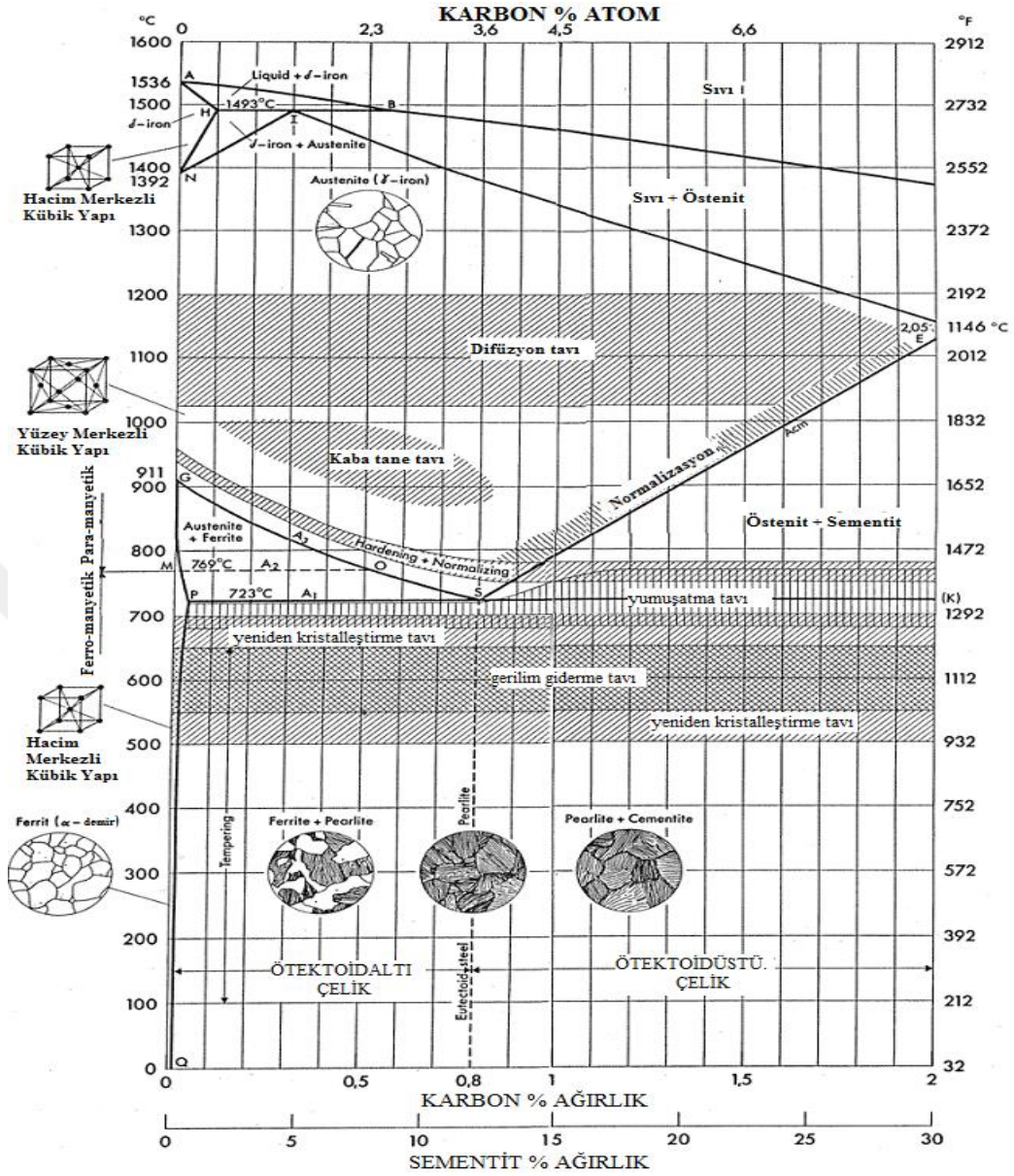
Çelikler, diğer metal ve alaşımlarına nazaran sanayide daha çok kullanıldıkları için çeliklerin ısı işlemi ayrı bir öneme sahiptir. Çeliklerin ısı işlemlerini anlayabilmek için Demir-Karbon denge diyagramının bilinmesi gerekir (Şekil 5.1.). Demir-karbon denge diyagramının ağırlıkça % 2 C bileşimine kadar olan kısmı çelik kısmıdır. Belirli bir karbon bileşimine sahip bir çelikte elde edilmesi istenen yapı, dolayısıyla çeliğin kazanacağı özellik, farklı ısı işlemler için çeliği demir- karbon diyagramının çelik kısmındaki farklı sıcaklık bölgelerine çıkarmak, belirli bir süre bekletmek ve uygun soğutma ortamında soğutmak suretiyle elde edilir [52]. Örneğin şekil 5.2.'deki AISI 4140 çeliğine ait ısı işlem bölgelerinde ısı işlem yapılarak çeliğe kazandırılacak özellikler belirlenebilir.

Metal ve alaşımlarının, faz diyagramlarına bağlı olarak ergime sıcaklığının altındaki sıcaklıklarda uygulanan farklı işlemlerle istenilen mekanik özellik ve içyapıların elde edilmesine ısı işlem denir. Isı işlem, üç ana safhadan oluşur. Bunlar ısıtma, ısıtılan sıcaklıkta bekletme ve soğutma safhalarıdır. Bütün ısı işlem yöntemlerinde bu üç ana safha geçerlidir. Fakat uygulanan ısı işlem türüne göre, ısı işlem sıcaklığı, bekletme süresi, ısıtma ve tutma hızı gibi parametreler değiştirilir. Isıtma, bekletme ve soğutma safhalarına ısı çevrim denir. Uygulanan ısı işlem türüne göre işlem ya bir çevrim yapılarak bitirilir ya da birbirini izleyen birkaç ısı çevrim yapılarak ısı işlem tamamlanır [52].

Isıtma işlemin herhangi bir anında, ısıtılan parçanın merkezi ve yüzeyi arasındaki sıcaklık değerleri farklıdır. Parça yüzeyi belirli bir sıcaklığa ulaştığında parçanın merkezi, parçanın boyutuna ve ısı iletim kabiliyetine bağlı olarak daha geç ısınacağından sıcaklığı daha düşük olur. Parçanın yüzeyi ile merkezi arasındaki sıcaklık farkı, ısıl gerilmeler oluşturur ve bu ısıl gerilmeler sonucu parça çatlayabilir. Bu sıcaklık farkının, dolayısıyla ısıl 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. Aynı zamanda tutma süresi de kısalır. Ayrıca ısıtma hızı azaltılarak da yüzey ve merkez arasındaki sıcaklık farkı azaltılabilir [53].



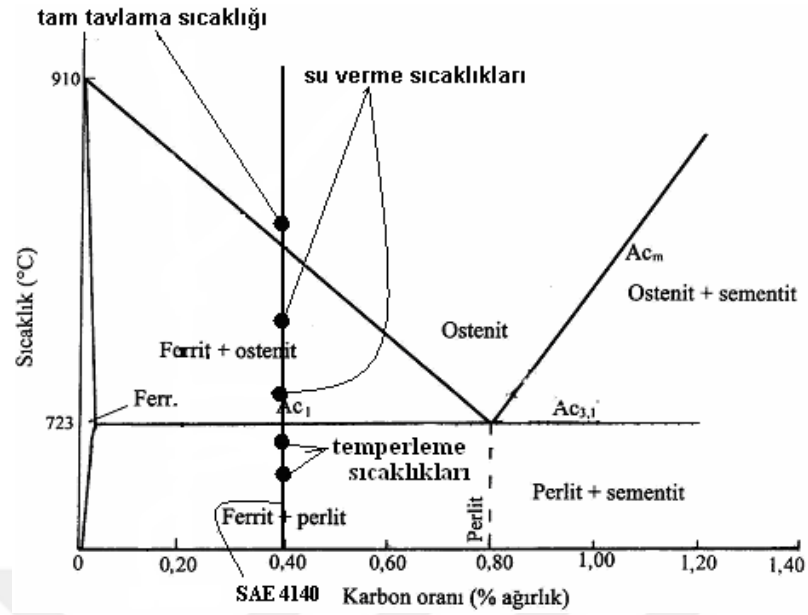




Şekil 5.1. Fe-C (Demir-Karbon) faz diyagramının çelik bölgesi ve uygulanan ısıl işlemlerin sıcaklık bölgeleri [52].

### 5.1. AISI 4140 Çeliği Su Verme İşlemi ve Martenzitik Dönüşüm

Kullanım şartlarında AISI 4140 çeliklerin belirli bir sertlik değerine sahip olmaları istenir. Çeliklerin sertleştirilmesi için uygulanan ısıl işlem ise su verme ısıl işlemi olarak bilinir. Genel olarak bir çeliğin su verme ısıl işlemi ile sertleştirilmesi üç safha içerir. Bunlar; ostenitleme, ostenitleme sıcaklığında bekletme, su verme işlemleridir (Şekil 5.2.) [52].



Şekil 5.2. AISI 4140 çeliği için seçilen ısıtım bölgeleri [52].

### 5.1.1. Ostenitleme

Çeliğin ostenit faz bölgesine ısıtılması işlemidir. Bu işlemle çeliğin bünyesindeki sementitin parçalanarak, karbonun YMK ostenit yapı içerisinde tamamen çözülmesi işlemidir. Çeliklerde ostenitleme sıcaklığı çeliğin ötektoid altı, ötektoid veya ötektoid üstü olmasına göre değişmektedir [52].

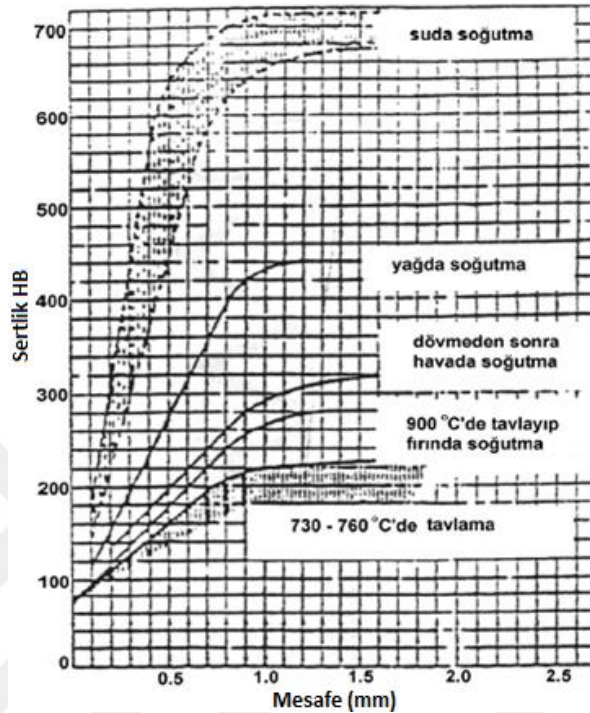
### 5.1.2. Ostenitleme sıcaklığında bekletme

Çelik yapısının tamamen ostenit olması yani sementitin parçalanarak karbonun yapı içerisinde tamamen çözünmesi için gereken süredir. Bu süre genel olarak 1 inç (25,4 mm) kalınlık için 1 saat olarak kabul edilir. Uygulamada çelik üreticisinin vereceği süreye uyulmalıdır [52].

### 5.1.3. Su verme

Ostenitleme bölgesinde belirli bir süre bekletilerek yapısı tamamen ostenitleştirilmiş bir çeliğin soğutulması olayıdır. Su verme sözü her ne kadar çeliğin su içerisinde daldırılarak soğutulması gibi bir anlam içeriyorsa da, çeliğin soğutulmasını ifade eden

genel bir terimdir. Buna göre çelik ostenitleştirme sıcaklığında tutulduktan sonra, su içerisine daldırılarak, yağ banyosu içerisine daldırılarak, havada bırakılarak sertleştirilebilir (Şekil 5.3.).



Şekil 5.3. Ostenitleme sonrası farklı ortamlarda su verilmiş 4140 çeliğinin yüzeyden itibaren mesafeye bağlı sertlik dağılımı grafiği [52].

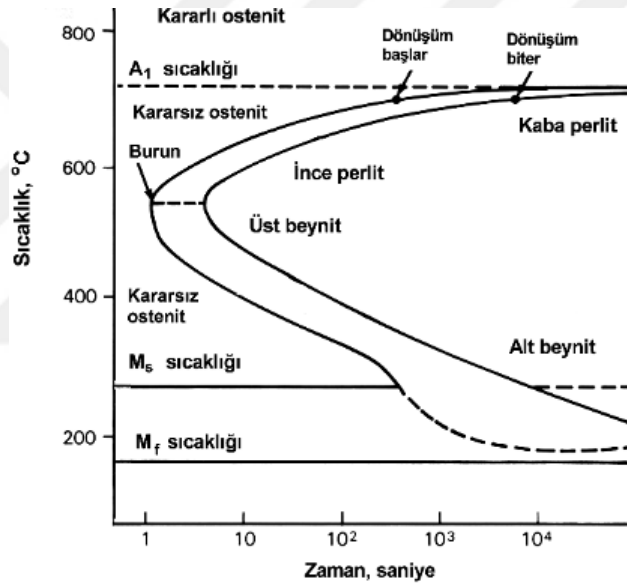
Çelikler ister suda, ister yağda veya havada sertleştirilsin, sertleşmeyi sağlayan mekanizma, ostenitleme sıcaklığında beklemeye oluşan ostenitin soğuma sonrası hacim merkezli tetragonal (HMT) kristal kafes yapısına sahip martenzite dönüşmesidir. Martenzit Fe-C denge diyagramında olmayan yarı kararlı bir fazdır. Çeliğin hızlı soğuması sonucunda oluşan martenzitik dönüşüm TTT (Zaman-Sıcaklık-Dönüşüm) diyagramı ile gösterilebilir (Şekil 5.4.)

AISI 4140 çeliğinin su verme ısı işlemi için ostenitleme sıcaklığı, suda soğutma için 820-850°C, yağda soğutma için ise 830-860°C olarak tespit edilmiştir. Temperleme sıcaklığı ise 540-680°C sıcaklıkları arasındadır. Çelik Jominy sertleşebilirlik testi sonuçlarına göre en fazla 61 HRC sertlik değerine, su verilmiş uçtan itibaren 1,5 mm uzaklıkta erişebilmektedir [52].

Şekil 5.3.'de verilen grafikte çeliklerin sertleştirilmesi sonunda C içeriği ve soğutma banyosu türüne göre erişilebilecek maksimum sertliği göstermektedir.

#### 5.1.4. TTT diyagramı

Bu diyagramda burun noktası denilen bir nokta vardır. Herhangi bir çeliğin su verilerek sertleştirilmesi için gerekli soğuma hızı, o çeliğe ait TTT diyagramında burun noktasını kesmeyecek şekilde seçilecek bir soğuma hızıdır. Bu soğuma hızı o çeliğin sertleştirilebilmesi için gerekli minimum soğuma hızıdır ve kritik soğuma hızı olarak bilinir (Şekil 5.4.).



Şekil 5.4. TTT Diyagramı [52].

AISI 4140 çeliğinin farklı karbon bileşimlerine bağlı olarak oluşan masif ve iğnesel martenzit mikroyapıları Şekil 5.5.'de verilmiştir.

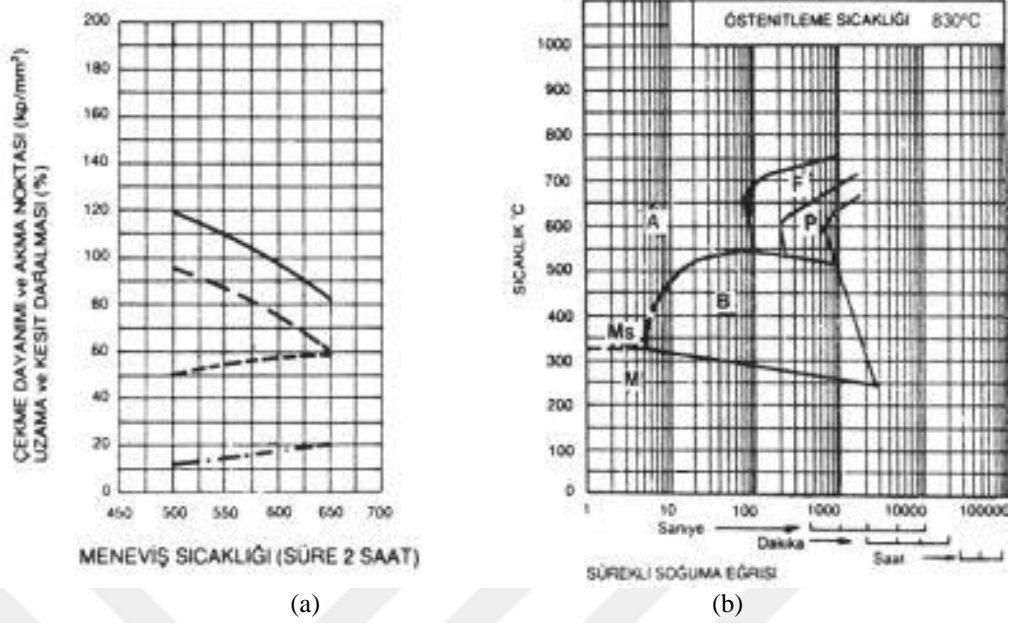


Şekil 5.5. AISI 4140 çeliğinin farklı karbon bileşimlerine bağlı olarak oluşan masif ve ignesel martenzit mikroyapıları. Düşük alaşımlı (% 0,35 C ve % 2 Mn) karbon çeliğinde masif martenzit yapısı (a), Yüksek karbonlu (% 1,2 C) çelikte ignesel martenzit yapısı (b) [52].

### 5.1.5. Temperleme (menevişleme)

Çeliklerde su verme sonrası oluşan martenzit yapısı oldukça sert ve gevrektrir. Dolayısıyla çalışma koşullarında kolayca çatlayabilir ve hasara yol açar. Bu yüzden çeliklere su verme sonrası temperleme adı verilen bir ısıl işlemle çeliğin tokluğu ve süneklığı arttırılabilir. Bu sırada sertlikte de bir miktar düşme meydana gelir. Temperleme sıcaklığı çeliğin türü ve parçanın kullanılacağı yere bağlı olarak 150 - 600°C arasında değişir. Tutma süresi parça kalınlığına bağlı olarak 1 – 2,5 saat arasında değişir. Genellikle 1 inç (2,54 cm) kalınlığında bir parça için 1 saatlik bir temperleme süresi uygulanır. Bu sürenin sonunda parça fırından çıkarılarak havada soğumaya bırakılır. Temperleme bir difüzyon olayıdır, dolayısıyla temperleme sıcaklığı ve tutma süresi temperleme sonucunu etkiler.

Metalik malzemelerin ostenitleme bölgesinden farklı soğuma ortamlarına soğutulmaları sonucu mekanik özelliklerinde içyapılarına bağlı olarak farklılıklar meydana gelmektedir. AISI 4140 çeliğine ait sürekli soğuma eğrisi ve temperleme (meneviş) sıcaklığının çeliğin mekanik özelliklerine etkisini gösteren diyagramlar Şekil 5.6. a ve b’de verilmiştir [52].



Şekil 5.6. a-)Temperleme sıcaklığı ile mekanik özelliklerin değişimi, b-)sürekli soğuma eğrisi [52].

#### 5.1.5.1. 150-250<sup>0</sup>C'de temperleme

Temperleme sıcaklığının yükselmesi ile çeliğin mikroyapısında çeşitli değişiklikler meydana gelir. Sertlikte önemli bir değişme olmaz. İç gerilmeler azalır ve tokluk biraz artar. 200<sup>0</sup>C'ye kadar martenzit yapının dağlanmış görünümü koyudur ve siyah martenzit adını alır. Bu tip temperleme alaşım-sız ve düşük alaşım-lı ölçme, kesme takımlarına ve yüzey sertleştirme işlemlerine tabi tutulmuş parçalara uygulanır [52].

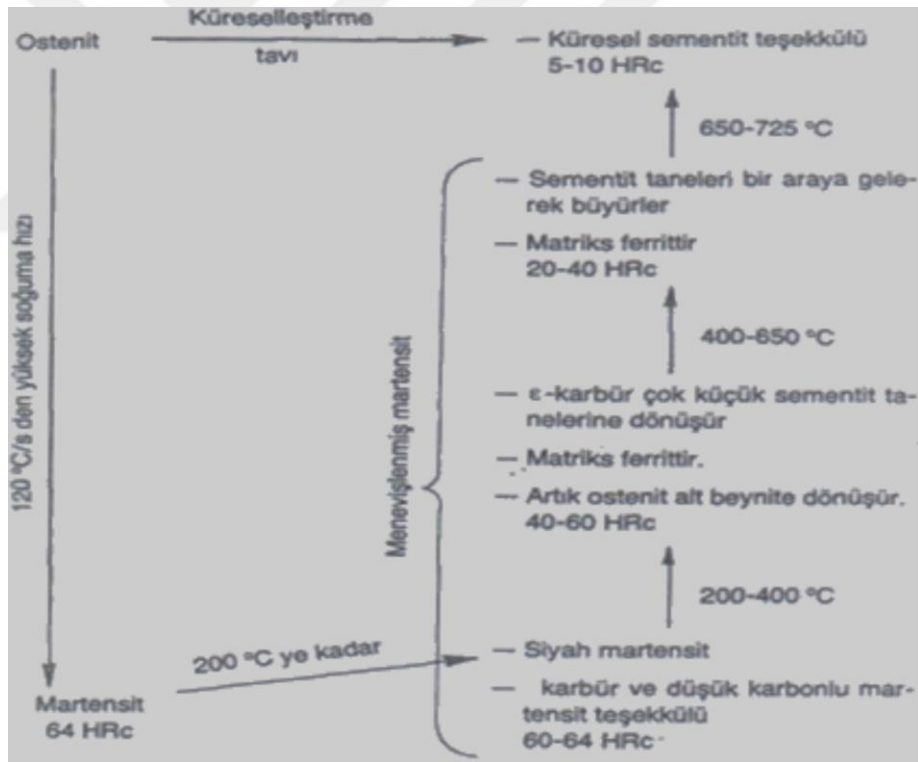
#### 5.1.5.2. 250-400<sup>0</sup>C'de temperleme

Sertlikte ve çekme dayanımında azalma, kesit büyümesi ve kopma uzamasından artma meydana gelir. Ancak bu sıcaklık aralığında temperleme, çeliğin çentik darbe tokluğunu azaltır. Buna “temper gevrekliği” denir. Alaşım-lı çeliklerde, alaşım-sız çeliklere nazaran temper gevrekliği daha etkindir. Çeliklerde temper gevrekliği olayı, % 0,5 Mo ilavesi veya bu sıcaklık aralığı hızlı geçilmek suretiyle engellenebilir. Bu aralığa karşılık gelen sertlik değerleri istenildiğinde, suverme+temperleme yerine östemperleme tercih edilmelidir [52].

### 5.1.5.3. 450-600°C de temperleme

Bu bölgede iç gerilmeler tamamen ortadan kalkar. Sertlik çok düşer ve tokluk büyük ölçüde artar. Ancak bazı alaşımlı çeliklerde ( Cr ve Cr-Ni ) bu aralıkta temperleme sonucu ikinci bir tip temperleme gevrekliği ortaya çıkar. Çeliğin çentik darbe tokluğu azalır. Çelik 600°C nin üzerinde temperlenip, 450-600°C arası hızlı soğutma sonucu bu olay ortadan kalkar.

Menevişleme işleminde sıcaklıkla beraber, menevişleme süresi de önemli bir faktör olarak dikkate alınmalıdır. Yani, işlem sonunda aynı mekanik özelliklere, menevişleme süresini azaltıp sıcaklığı yükselterek veya menevişleme sıcaklığını düşürüp süreyi artırarak ulaşılabilir.



Şekil 5.7. Değişik menevişleme sıcaklığı aralıklarında çelik yapısında meydana gelen dönüşümler [52].

Tablo 5.1. Tavlama sonrasında oluşan yeni mekanik özellikler [3].

AISI çelikleri	İşlem durumu	Akma dayancı (MPa)	Çekme dayancı (MPa)	Charpy (J)	Uzaman %
1340	Tavlama Menevişleme	434 662-834	703 772-944	71 94	25 21
4140		414 841-986	655 910-1075	54 92	25 15-21
4340		469 889-1082	744 958-1138	-68	22 14-20
6150		407 890-1151	662 972-1192	35 46	23 14-18
4130		359 778-944	565 882-1110	- -	28 14-21
Tam sertleşen düşük alaşımlı çeliklere karşın, kabuk sertleşen (sementasyon) çeliklerin özellikleri şöyledir.					
AISI çelikleri	İşlem durumu	Akma dayancı (MPa)	Çekme dayancı (MPa)	Charpy (J)	Uzaman %
4320	Tavlama Semente	421 724-738	579 1021-1048	- -	29 17-28
4620		372 455	510 676	- 87	31 27
8620		379 552-572	531 855-869	- -	31 19-21
9310		434 841	820 1082	88 92-100	17 15-16

Tablo 5.2. AISI 4140 çeliğine uygulanan sertleştirme işlemleri [3].

Deney No	Ostenitleme	Temperleme	Sertlik (HV)	Tokluk (J/cm <sup>2</sup> )	Yüzey pürüzlülüğü (µm)	
					R <sub>a</sub>	R <sub>z</sub>
1	İşlemsiz numune		215±11		0,369	3,954
2	850°C'de 30 dk bekleme, yağda soğutma	İşlem yapılmadı	700	36	0,535	5,631
3		350°C'de 120 dk bekleme, havada soğutma	508	54	0,512	5,733
4		450°C'de 120 dk bekleme, havada soğutma	390	78	0,522	5,114
5		550°C'de 120 dk bekleme, havada soğutma	278	106	0,502	4,967
6		650°C'de 120 dk bekleme, havada soğutma	211	132	0,490	4,205



### 5.1.6. Temperlenen AISI 4140 çeliğinin mikroyapı inceleme sonuçları

AISI 4140 çeliği, yüksek mukavemetli ve az alaşımlı bir çeliktir. Bu malzemenin en önemli özelliği, içerdiği Cr ve Mo alaşım elementleri nedeniyle, su verme sonrasında sert martenzitik bir yapı oluşturabilmesi, mukavemet, süneklik ve tokluk gibi mekanik özelliklerin bir arada sağlanmasına imkan vermesidir. Tüm bu nedenlerle AISI 4140 çeliği her zaman kullanım alanı yaygın olan bir çeliktir [8, 9].

Çoğu makine elemanlarında özgül sıcaklık değerlerinde temperleme sırasında oluşabilecek gevreklik, en büyük dezavantajlarından [10]. Bu olumsuz etkiyi önlemek için, uygun temper sıcaklığının seçilmesi çok önemlidir [11, 12]. Uygulanan ostenitleme işlemi ve sonrası temper şartlarına bağlı olarak, farklı metalurjik özelliklerle birlikte malzemelerin aşınma özellikleri de değişmektedir. Dolayısıyla, yüksek mukavemetli düşük alaşımlı AISI 4140 çeliğinin temperleme sonrası oluşan özelliklerinin tespit edilmesi gerekir.

Çeliklerde ferrit, perlit, beynit, martenzit ve ostenit gibi bilinen yapılar vardır. Bunların her biri farklı mekanik özellikler göstermektedir [54]. Bu yüzden, bu yapıların bazılarında, örneğin martenzit ve beynitten, daha yüksek mukavemet elde etmek mümkündür. Temperleme yöntemi; karbürlerin çökeltilmesi, kalıntı ostenitin yeniden çözünmesi ve martenzitik yapının rekristalizasyonu gibi farklı birçok basit işlemlerle, malzemeye süneklik kazandırmak için geliştirilmiş, martenzitik yapıyı tavlayarak uygulanan bir ısıl işlem tekniğidir. Bir çelikte yüksek mukavemet elde etmek için yapılan sertleştirme sonrası martenzitik yapı dönüşümü nedeniyle, sünekliğin çok az ve iç gerilmelerin çok fazla olması nedeniyle, böyle malzemeler temperlenmemiş durumda kullanılamazlar [21, 55, 56]. Bununla birlikte; düşük sıcaklıkta temperlemeyle, martenzitik yapının özelliklerini değiştirmeksizin iç gerilmeler azaltılabilir.

Dolayısıyla, ticari olarak kullanılan martenzitik çelikler tercihen 200-250°C de temperlenirler. Temperleme sıcaklığının etkisinden başka, martenzitik çeliklerin

mukavemetine; içerdiği karbon miktarı ve martenzit dönüşümünün başladığı ve bittiği ( $M_s-M_f$ ) sıcaklık değerleri de etki eden diğer faktörlerdir [12, 43].

Çeliklerde oluşan martenzit yapısı, mikroyapısal olarak tabaka veya çita şeklinde iki farklı oluşum göstermektedir. Düşük ve orta karbonlu çelik çita tipli martenzit oluşumu paralel düzendedir veya çita topluluğu ya da çita biçimli taneler halindedir. Düşük karbonlu çeliklerde paralel grup halindeki tanelerin çoğu, aynı kristalografik yöne sahiptir ve genel anlamda blok olarak isimlendirilirler [21].

Suda veya yağda soğutulmuş üretilen çita martenzit, yüksek yoğunlukta karmaşık dislokasyonlar içerir. Karbon miktarına bağlı olarak alaşımın  $M_s$  sıcaklığı azalma göstermektedir. Karbon oranı düşükse, oluşan martenzit büyük paketler halinde çita biçiminde bir oluşuma sahiptir. Alt tabaka, hücreler oluşumlu yüksek yoğunluklu dislokasyonlar içerir. Yüksek karbonlu çelikte çok ince taneli tabaka martenzit mevcuttur. Bununla birlikte; orta karbonlu çelikler, çita ve tabaka biçimli martenzit içerebildiklerinden, bunların yapıları çok karmaşıktır. Temperleme zamanı ile çökelen karbürler daha da büyüyebilir.  $400^\circ\text{C}$ 'nin üzerindeki temperleme sıcaklıklarında, martenzitik yapı temperlendiğinde rekristalizasyon oluşabilir. Bu durum elbette  $600-700^\circ\text{C}$  sıcaklık aralığı için de geçerlidir [12, 22, 43]. Ağırlıkça % 0,2'den daha fazla karbon içeriğine sahip çelikler  $180-250^\circ\text{C}$  sıcaklıklarında temperlendiğinde,  $\epsilon$  karbür gibi yapıda farklı bir faz çökeltisi oluşur. Temper sıcaklığı  $250-450^\circ\text{C}$  arasında bulunduğunda, mevcut faz yerini sementite bırakabilmektedir.

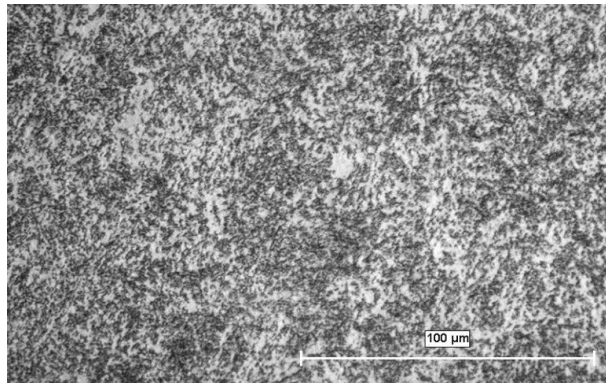
Martenzitik yapıya sahip çeliklerin temperlenmesi sonucunda yapıda ferrit tanelerinde irileşme olacağı da literatürde belirtilmektedir [21]. Ayrıca sade karbonlu ve ağırlıkça % 1-2 arasında alaşım elemanı içeren düşük alaşımlı çeliklerde sabit temperleme süresinde temperleme sıcaklığının artmasıyla sertlikte devamlı parabolik bir düşüş ve mikroyapıda kabalaşma olabileceği belirtilmektedir [43, 57].

Mevcut malzemeye, farklı sıcaklık ve zamanlarda temperlenmiş martenzitik yapılar elde etmek için, numuneler ilk olarak,  $850^\circ\text{C}$ 'de 30 dakika süreyle ostenitlenmiş ve bunu takiben martenzitik çelik yapısı elde etmek için malzemeler yağda

soğutulmuştur. Elde edilen martenzitik yapılı çeliklere 350, 450, 550 ve 650°C gibi farklı temperleme sıcaklıklarında 120 dakika süreyle temperleme işlemi uygulanmıştır. Elde edilen martenzitik çelik ile temperlenen martenzitik çelik numunelerinin mikroyapı resimleri sırasıyla şekil 5.8 – 5.12 'de görülmektedir [58].

Çok uzun zamanlı yapılan temperleme sonucunda, malzeme mikroyapısında karbürlerle birlikte ferrit matrisi oluşmuştur (Şekil 5.9). Temper sıcaklığının yüksek seçilmesi, rekristalizasyonun hızlanmasına ve dislokasyonların hızla azalmasına yol açar [58].

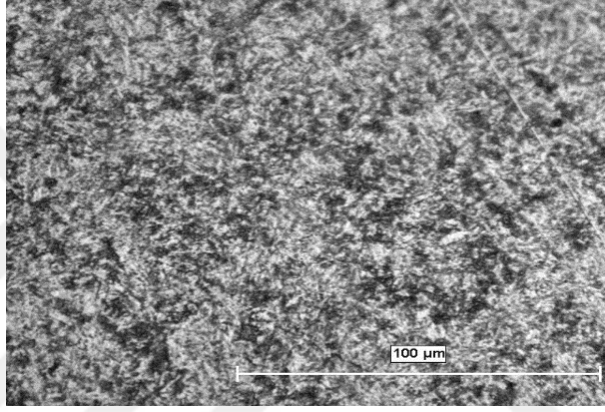
Sonuç olarak; 850°C'de ostenitlenen ve hızla soğutulan AISI 4140 çeliği (Şekil 5.8) farklı sıcaklıklarda iki saat gibi yüksek bir süreyle temperlenmiştir.  $M_s$  sıcaklığı üzerinde temper sıcaklığı seçildiğinde (300-700°C) yapısal olarak fazla bir fark olmamakla birlikte, 450°C'yi aşan sıcaklıklarda temperleme süresinin artmasıyla, ferrit tane büyüklüğünün arttığı (Şekil 5.9 - 5.11), artan C miktarına bağlı olarak  $Fe_3C$  oluşumunun da azaldığı mikroyapısal olarak tespit edilmiştir. 650°C gibi yüksek sıcaklıkta yapılan temperlemeyle, temper sıcaklığına bağlı olarak, yapısal değişimler de gözlenmiştir. 650°C sıcaklıkta 2 saat temperleme sonucunda numunenin mikroyapısal değişimi diğer şartlara göre elde edilen yapılardan farklı bir görünüm sergilemiş ve taneler belirgin şekilde irileşmiştir (Şekil 5.12). Bu kaba taneli yapı, sertlikte önemli bir düşüşe neden olmuştur. Numunelerde genel olarak temperleme sıcaklığının artmasıyla toklukta bir artış elde edilirken, sertlikte düşmeler kaydedilmiştir [58].



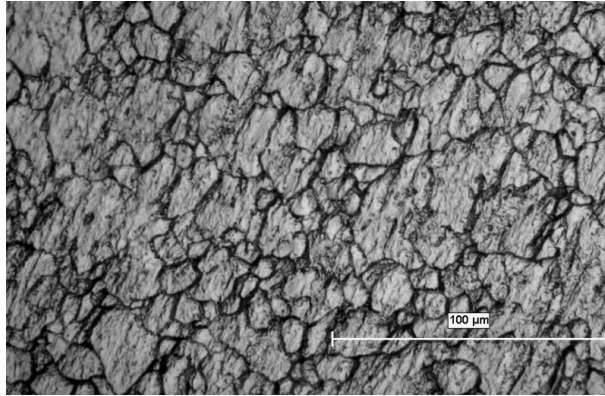
Şekil 5.8. İşlemsiz AISI 4140 çeliğinin mikroyapısı [58].



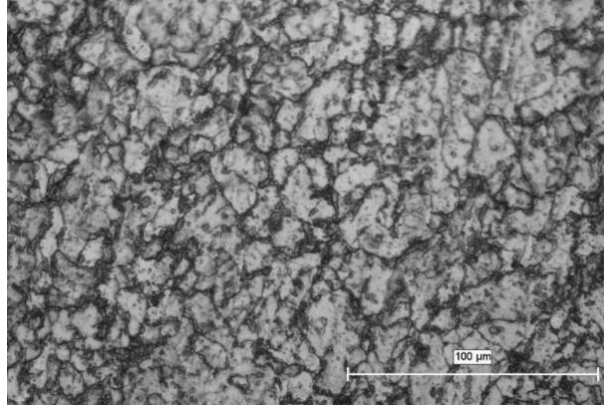
Şekil 5.9. Sertleştirilmiş ve 350°C’de iki saat temperlenmiş AISI 4140 çeliğinin mikroyapısı [58].



Şekil 5.10. Sertleştirilmiş ve 450°C’de iki saat temperlenmiş AISI 4140 çeliğinin mikroyapısı [58].



Şekil 5.11. Sertleştirilmiş ve 550°C’de iki saat temperlenmiş AISI 4140 çeliğinin mikroyapısı [58].



Şekil 5.12. Sertleştirilmiş ve 650°C’de iki saat temperlenmiş AISI 4140 çeliğinin mikroyapısı [58].

### 5.1.7. AISI 4140 çeliğinde gerilme giderme tavlaması

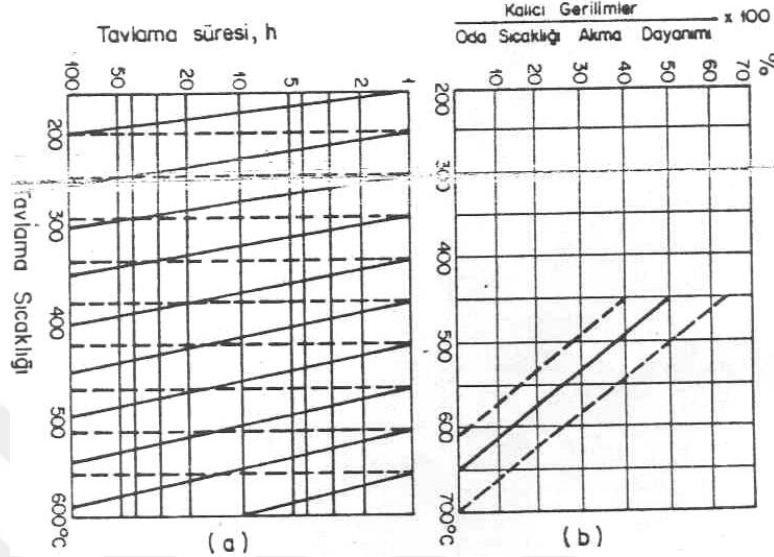
Çelik plastik olarak işlendiği veya deforme edildiği zaman, soğuk işlenen yüzeylerde gerilmeler oluşur. Bu gerilmeler sertliği bölgesel olarak artırır ve sürekli işlemeyi giderek daha da güçleştirir. Ayrıca çeliğin daha sonraki ısıl işlemler sırasında eğilmesine yol açılabilir, bu yüzden söz konusu gerilmelerin 1-2 saatlik gerilim giderme tavlama ile azaltılması veya yok edilmesi gerekir. Karbon ve düşük alaşım çelikleri için 550 - 650°C, sıcak işlem ve yüksek hız çelikleri için 600 – 750°C sıcaklık gereklidir [59].

Bu işlem herhangi bir faz değişimine neden olmaz, ancak yeniden kristalleşmeye yol açar. Soğuma sırasında ısıl gerilmelerin oluşmaması için, parçaların fırında yaklaşık 500°C’ye kadar yavaş soğutulması ve bundan dışarı alınarak havada soğutulması ve bundan sonra dışarı alınarak havada soğutulması iyi bir uygulamadır.

Kalıcı gerilmelerden en çok arındırılması gereken çok büyük takımların veya makine parçalarının gerilim giderme işlemlerinde başlangıçtaki soğutma hızı çok düşük örneğin 300°C altına kadar saatte sadece birkaç °C düzeyinde olmalıdır.

Şekil 5.13’de verilen ortalama eğriye göre, 450°C da 1 saatlik bir tavlama sadece % 50’lik bir gerilim gidermeye yol açmaktadır. Tam bir gerilim giderme için örneğin 650°C da 1 saat veya 600°C da 15 saatlik bir tavlama gerekmektedir. Bu diyagramdan

faydalanarak, fazla miktarda yapay oksitlenme olmaması için daha düşük tavlama sıcaklığı ile yeterli süre seçilebilir [59].



Şekil 5.13. Gerilim giderme sırasında gerilmelerin zaman ve sıcaklığın fonksiyonu olarak değişmesi [59].

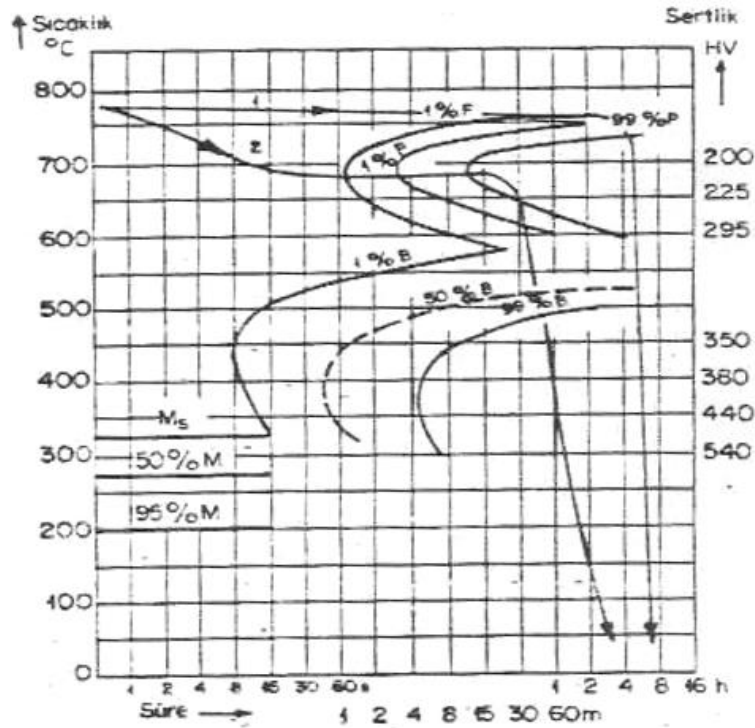
### 5.1.8. AISI 4140 çeliğinde eş sıcaklık tavlaması ve tam tavlama

Bu işlem önce  $A_1$  üzerinde uygun bir sıcaklıkta ostenitleme ve daha sonra da  $A_1$  altındaki dönüşüm sıcaklığına yavaş soğutma işlemlerini kapsar. Eş sıcaklık tavlamasını yapabilmek için söz konusu çeliğin TTT (zaman, dönüşüm, sıcaklık) diyagramından faydalanılır. Şekil 5.14'da DIN42CrMo4 çeliğinin (AISI 4140) TTT diyagramı görülmektedir. Burada 1 nolu eğri tam tavlama, 2 nolu eğri ise eş sıcaklık tavlamasını göstermektedir. 2 nolu eğri, dönüşüm tamamlandığı zaman çeliğin oda sıcaklığına serbestçe soğutulabileceğini göstermektedir. Söz konusu çelik için en uygun dönüşüm sıcaklığını bulabilmek için bu çeliğin TTT diyagramı gereklidir. Bu dönüşüm sıcaklığı bulunduktan sonra, Şekil 5.14.'de görüleceği üzere, dönüşümün tamamlanması için uzun süre gerekebilir.

Büyük ısı kapasitesi nedeniyle sıcaklıkta gerekli hızı düşmeye olanak vermediğinden pratik nedenlerle böyle bir ısıtma işleminin klasik muffle fırınlarında yapılması mümkün değildir. Bunun yerine her biri farklı sıcaklıklarda tutulan iki muffle fırını veya farklı sıcaklık bölgeleri bulunan sürekli fırınlardan faydalanılır.

Eşsıcaklık tavlamasından faydalanılarak işlem süresi klasik tam tavlama için harcanan süreye kıyasla önemli ölçüde kısıtlanabilir. Bununla beraber elde edilen sertlik daha yüksektir. AFNOR 15NC6 gibi alaşımlı yüzey sertleştirme çelikleri çoğunlukla eş sıcaklık tavlamasına tabi tutulur. Ostenitleme 930 - 940°C da yapılır, dönüşüm sıcaklığı 610-680°C olup, tamamlanması 2-4 saat sürer. Elde edilen yapı kaba ferrit ve perlitten ibaret olup, birçok işleme yöntemleri için uygundur.

Genel olarak belirtmek gerekirse, eş sıcaklık tavlaması düşük karbon ve düşük alaşımlı çeliklerde uygulanır, buna karşılık küreleştirme tavlaması plastik şekil değiştirme için minimum sertlik, ya da yüksek karbonlu çeliklerde iyi işlenebilirlik istendiği zaman uygulanmaktadır [59].



Şekil 5.14. DIN 42 Cr, Mo4 (AISI 4140) çeliğinin TTT diyagramı (1) nolu eğri tam tavlama (2) nolu eğri eş ısı tavlamanın soğutma eğrileri [59].

### 5.1.9. AISI 4140 çeliğinde normalleştirme tavlaması

Bu işlem çeliğin kabaca sertleşme sıcaklığına eşit bir sıcaklığa ısıtılması, burada 10-20 dakika tutulması ve sonra havada soğutmaya bırakılmasından ibarettir.

Normalleştirme tavının amacı örneğin dövme veya kaynak için yüksek sıcaklığa ısıtılması sonucu iri taneli hale gelen çeliğin ince taneli bir yapıya getirilmesidir.

Normalleştirme esas olarak karbon ve düşük alaşım çeliklere uygulanır. Bu işlemden sonra elde edilen sertlik, çeliğin bileşimine ve soğuma hızını belirleyen kesit kalınlığına bağlıdır. Ancak normalleştirme sırasında (havada soğutmada) yüzey ile merkezdeki soğutma hızları arasındaki fark azdır. Bu sebepten tek bir soğutma eğrisi parçanın soğumasını oldukça iyi bir şekilde temsil edebilir. Bu tür bir soğuma eğrisi söz konusu çeliğin ZSD diyagramı üzerine konduğunda normalleştirme sonunda beklenen yapı elemanlarının miktarı ile beklenen sertlik değerleri önceden bulunabilir.

Özellikle farklı kesitlerdeki dövme parçalar normal olarak normalize edilebilir. “Widmanstötten” adı verilen yapının ortadan kalkması nedeniyle karbon veya düşük alaşımli çelikler daima normalleştirilmelidir [59].



## BÖLÜM 6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 6.1. Metod

Bu çalışmada, AISI 4140 çeliği 1250°C’de şekillenme sıcaklığına kadar tavlانیp çekiçte dövülmek suretiyle şekillendirilmiştir. Bu prosesin akabinde farklı sıcaklıklarda ostenitlenip farklı sıcaklıklarda menevişlenmesi sonucu oluşan karakteristikler incelenmiştir.

#### 6.1.1. Malzeme

Bu çalışmada, Asil Çelik A.Ş’den tedarik edilen Ø80 AISI 4140 çeliğinin kimyasal analizleri OMTAŞ Otomotiv Transmisyon Aksamı A.Ş. Kalite Müdürlüğü kalite laboratuvarında bulunan ARL 3460 spektrometre cihazında yapılmıştır. Tablo 6.1.’de kimyasal analiz sonuçları verilmiştir.

Tablo 6.1. AISI 4140 çeliğinin kimyasal kompozisyonu (% ağı)

Element	C	Si	Mn	S	P	Cr	Mo	Ni
Miktar	0,450	0,340	0,790	0,020	0,023	0,860	0,155	0,090

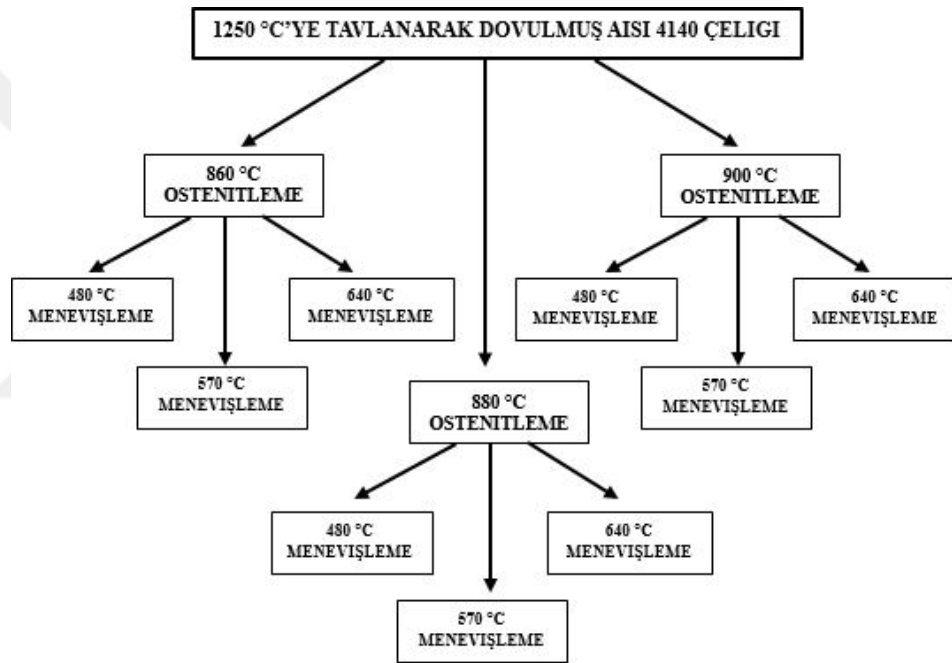
#### 6.1.2. İmalat

##### 6.1.2.1. Dövme

Numuneler EXACTCUT TAC 155 model dairesel hızlı testerede %1 hassasiyetle 240 mm boyda 12 adet numune elde edilecek şekilde kesilmiştir. ELIND marka indüksiyon fırınında 1250°C sıcaklığa tavlانarak MPM6300 çekiç ile 60 mm kalınlıkta olacak şekilde dövülmüştür.

### 6.1.2.2. Isıl İşlem

Sürekli sistem olan Sistem Teknik fırınında 140 dk boyunca 860, 880 ve 900°C ostenitleme sıcaklıklarında ostenitlendikten sonra su verme işlemi için 60-80°C sıcaklığındaki yağ banyosuna indirilerek soğutulmuştur. 14 dk boyunca yağda bekletmek suretiyle su verilerek ıslahlanmıştır. Sonrasında yüzeydeki yağ giderimi için 6 dk süreyle yıkama gerçekleştirildikten sonra meneviş fırınına alınmıştır. 200 dk süreyle 480, 570, 640°C sıcaklıklarda meneviş yapılmıştır. Tavlanan AISI 4140 çelik numunelere uygulanan ısıl işlem akış şeması Şekil 6.1.' de gösterilmiştir.



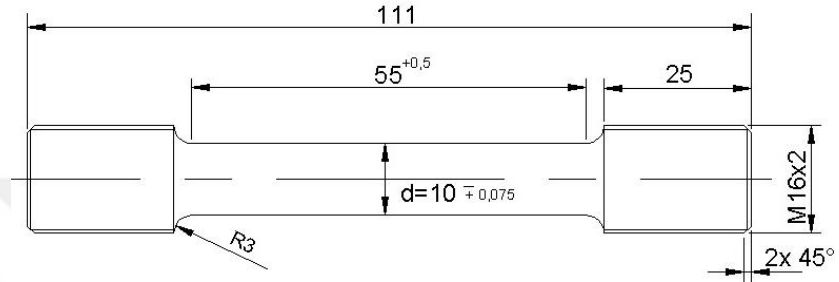
Şekil 6.1. Prosese ait akış diyagramı

### 6.1.3. Deney numunelerinin hazırlanması

Deneylerde kullanılmak üzere AISI 4140 çeliğine ait 24 adet çekme deney numunesi ve 12 adet mikroyapı deney numunesi hazırlanmıştır. Hazırlanan 24 adet çekme numunelerine çekme çubukları yapılmadan önce sertlik testi yapılmıştır. Deney numuneleri OMTAŞ Otomotiv Transmisyon Aksamı A.Ş.'nin Kalıp Atölyesinde hazırlanmıştır.

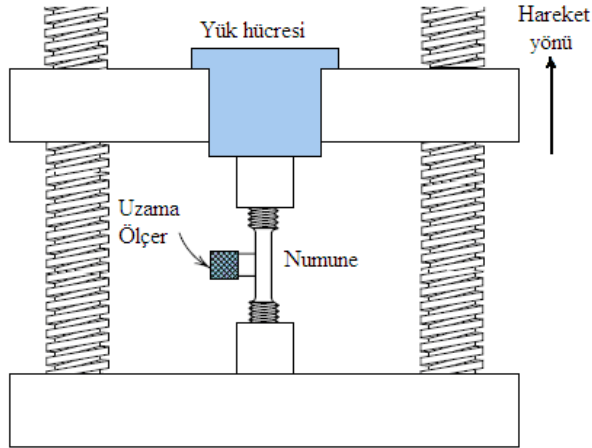
### 6.1.3.1. Çekme numunesi hazırlanması

Isıl işlemleri tamamlanmış numuneler OMTAŞ Otomotiv Transmisyon A.Ş.'nin işleme tezgahlarında % 0,1 hassasiyetle Şekil 6.2.'deki gibi TS EN ISO 6892-1 standartlarına uygun olacak şekilde her bir ısıl işlem parametresinden 2 adet çekme numunesi hazırlanmıştır.



Şekil 6.2. Çekme deney numunesi gösterimi (TS EN ISO 6892-1)

Hazırlanan numunelerin ALSA marka çekme test cihazında çekme mukavemetleri ölçülmüştür.



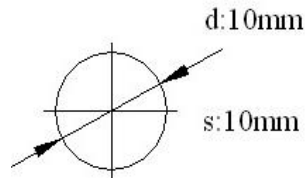
Şekil 6.3. Çekme test cihazının şematik görüntüsü

### 6.1.3.2. Sertlik ölçüm numunesi hazırlanması

Her çekme çubuğu hazırlanan numuneden Wolpert marka sertlik ölçüm tezgahında TS EN ISO 6506 -1 standardına uygun olacak şekilde brinell sertlik ölçme yöntemine göre 10 mm bilya ve 3000 kgf yük altında 3'er adet sertlik ölçümü yapılmıştır ve ortalama değerleri hesaplanmıştır.

### 6.1.3.3. Mikroyapı numunesi hazırlanması

Dövme sonrasında yapılan ısıt işlemlerden sonra mikro yapı incelemesi için numune alınmıştır. Alınan numuneler MetKon marka kesme cihazında kesildikten sonra ATM marka bakalit cihazında bakalite alınmıştır. MetKon marka zımparalama ve parlatma cihazında 180, 500, 800 ve 1200'lük zımparalarla zımparalandıktan sonra elmas ve alümina pasta kullanılarak parlatılmış ve %2 lik nital çözeltisiyle dağlanmak suretiyle mikro yapı incelemesi için hazırlanmıştır. Nikon MA100 marka optik mikroskopta X200 ve X500 büyütmelemlerde mikro yapı incelemesi yapılmıştır. Sakarya Üniversitesi bünyesinde bulunan JEOL JSM 6060LV marka taramalı elektron mikroskobunda (SEM) daha yüksek büyütmelemlerde mikro yapı incelenmiş ve gerekli görülen yerlerden EDS analizi alınarak yapıdaki değişimler gözlenmiştir.



Şekil 6.4. Mikroyapı analiz numunesi boyutu gösterimi

### 6.1.3.4. XRD numunesi hazırlanması

Mikro yapı incelemesine hazırlanmış deney numuneleri parlatma sonrası dağlamadan önce numune içerisindeki fazların incelenmesi için Sakarya Üniversitesi bünyesinde bulunan RIGAKU marka XRD cihazında analiz yapılmıştır.

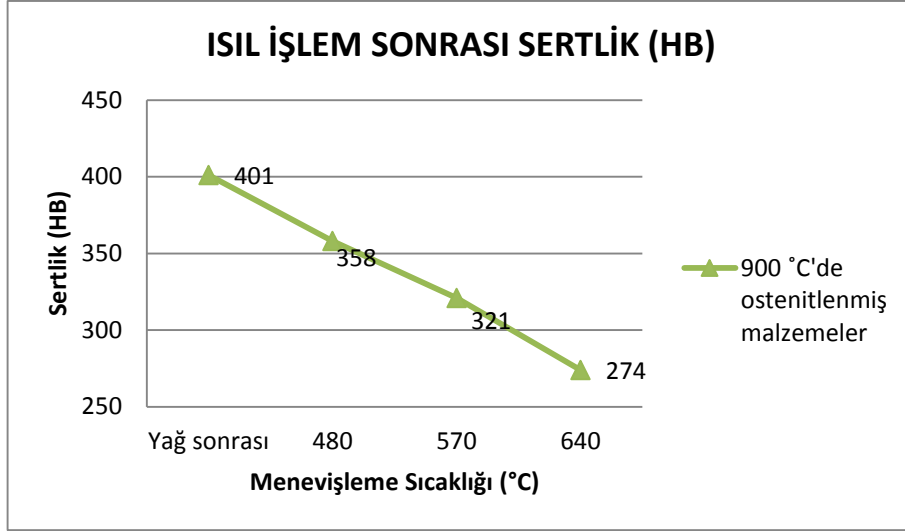
## **BÖLÜM 7. DENEY SONUÇLARI**

### **7.1. Dövme Sonrası Farklı Şartlarda Yapılan Isıl İşlemlerin Mekanik Özellikler Üzerine Etkisi**

AISI 4140 çeliği 1250°C sıcaklığa tavlandıktan sonra, hadde yönüne dik olacak yönde sıcak dövme ile şekillendirilmiştir. Şekillendirme sonrasında farklı sıcaklıklarda ısıl işleme tabi tutulmuştur. Isıl işlem sonucunda AISI 4140 çeliklerine ait mekanik özellikleri belirlemek amacıyla yapılan deneyler aşağıdaki başlıklar altında incelenmiştir.

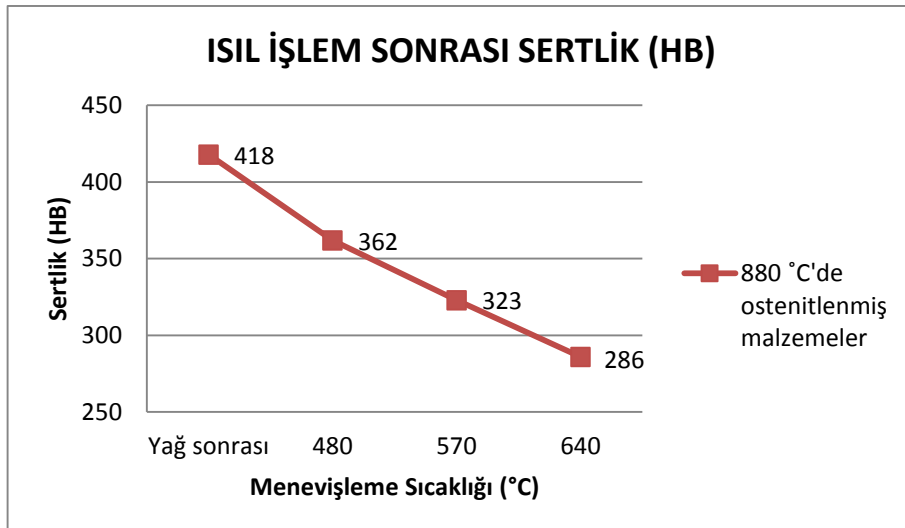
#### **7.1.1. Sertlik test verilerinin değerlendirilmesi**

Dövme sonrası 900°C, 880°C ve 860°C 'de yapılan ostenitleme sonrası yağda su verilen AISI 4140 çeliğinin yağ sonrası, 640°C, 570°C ve 480°C 'de menevişlenmeleri ardından hazırlanan numunelere yapılan sertlik testi sonucu oluşan değerler Şekil 7.1., 7.2. ve 7.3.'de gösterilmektedir. Şekil 7.1.'de görüldüğü üzere 900°C'de 140 dk süreyle ostenitlenen çeliğin yağda su verilmesi sonrası ortalama sertlik değeri 401 HB gelmektedir. 480°C'de 200 dk süreyle yapılan menevişleme sonrası sertlik 358 HB seviyelerine inmektedir. Sürenin sabit kalması koşuluyla sıcaklığın 570°C'ye çıkmasıyla sertlik değerleri 321 HB'ye düşmektedir. Sıcaklığın 640°C'ye çıkmasıyla ortalama sertlik değeri 274 HB olarak ölçülmüştür.



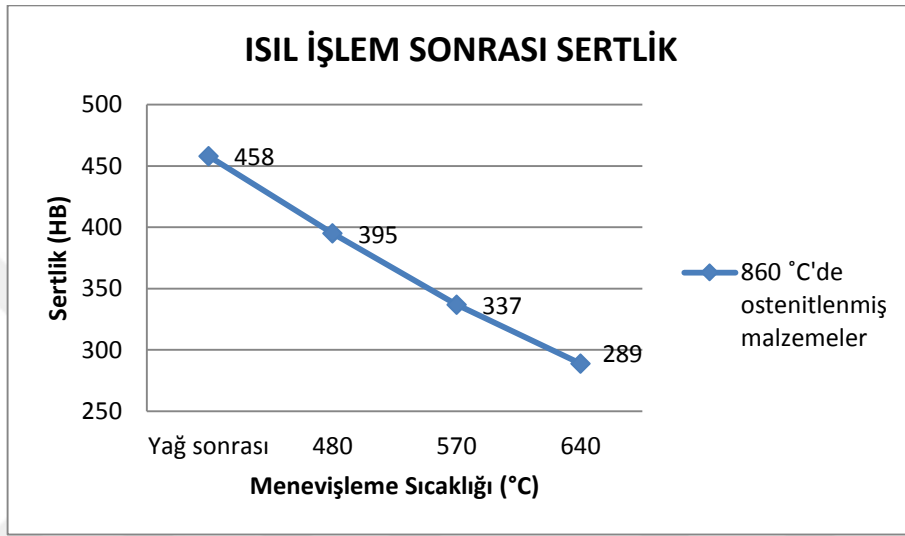
Şekil 7.1. 900°C'de ostenitlenip yağda su verme sonrası ve 480°C, 570°C ve 640°C sıcaklıklarda yapılan menevişleme sonrası ortalama sertlik değişim grafiği

Şekil 7.2.'de görüldüğü üzere 880°C'de 140 dk süreyle ostenitlenen çeliğin yağda su verilmesi sonrası ortalama sertlik değeri 418 HB olarak ölçülmüştür. 480°C'de sabit 200 dk süreyle yapılan menevişleme sonrası sertlik 362 HB seviyelerine inmektedir. Sürenin sabit kalması koşuluyla sıcaklığın 570°C'ye çıkmasıyla sertlik değerleri 323 HB'ye düşmektedir. Sıcaklığın 640°C'ye çıkmasıyla ortalama sertlik değeri 286 HB olarak ölçülmüştür.



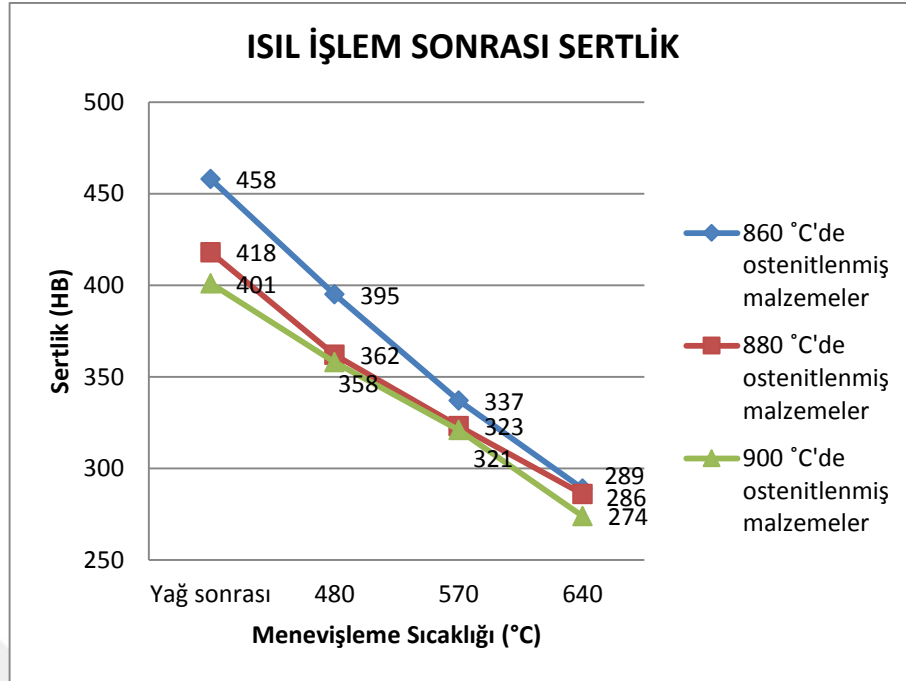
Şekil 7.2. 880°C'de ostenitlenip yağda su verme sonrası ve 480°C, 570°C ve 640°C sıcaklıklarda yapılan menevişleme sonrası ortalama sertlik değişim grafiği

Şekil 7.3.'de görüldüğü üzere 860°C'de 140 dk süreyle ostenitlenen çeliğin yağda su verilmesi sonrası ortalama sertlik değeri 458 HB olarak ölçülmüştür. 480°C'de sabit 200 dk süreyle yapılan menevişleme sonrası sertlik 395 HB seviyelerine inmektedir. Sürenin sabit kalması koşuluyla sıcaklığın 570°C'ye çıkmasıyla sertlik değerleri 337 HB'ye düşmektedir. Sıcaklığın 640°C'ye çıkmasıyla ortalama sertlik değeri 289 HB olarak ölçülmüştür.



Şekil 7.3. 860°C'de ostenitlenip yağda su verme sonrası, 480°C, 570°C ve 640°C sıcaklıklarda yapılan menevişleme sonrası ortalama sertlik değişim grafiği

Ostenitleme ve menevişleme sürelerinin sabit kalması koşuluyla aynı menevişleme sıcaklıklarında menevişlenmiş numuneler incelendiğinde ostenitleme sıcaklıklarının artışıyla Şekil 7.4.'deki gibi ortalama sertlik değerlerinde oluşan düşüş görülmektedir.

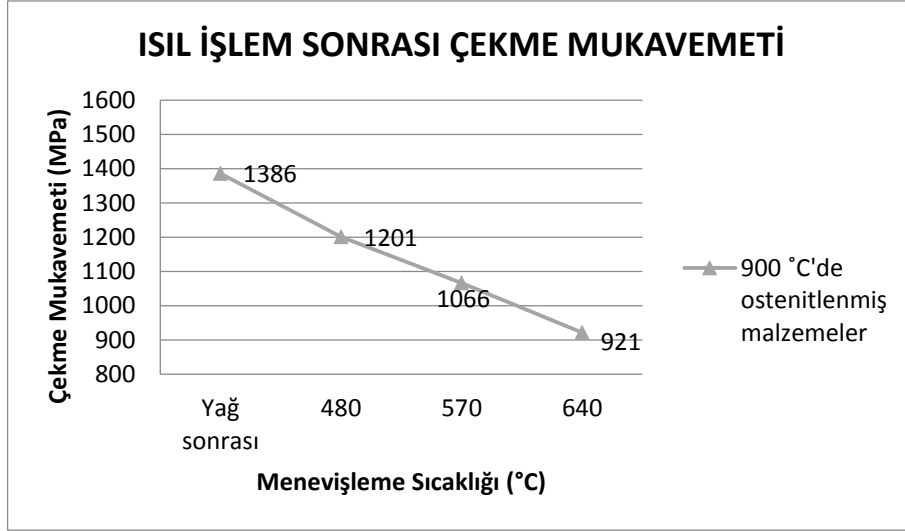


Şekil 7.4. 900°C, 880°C ve 860°C'de ostenitlenip yağda su verme sonrası, 480°C, 570°C ve 640°C sıcaklıklarda yapılan menevişleme sonrası ortalama sertlik değişimlerinin toplu grafiği

### 7.1.2. Çekme test verilerinin değerlendirilmesi

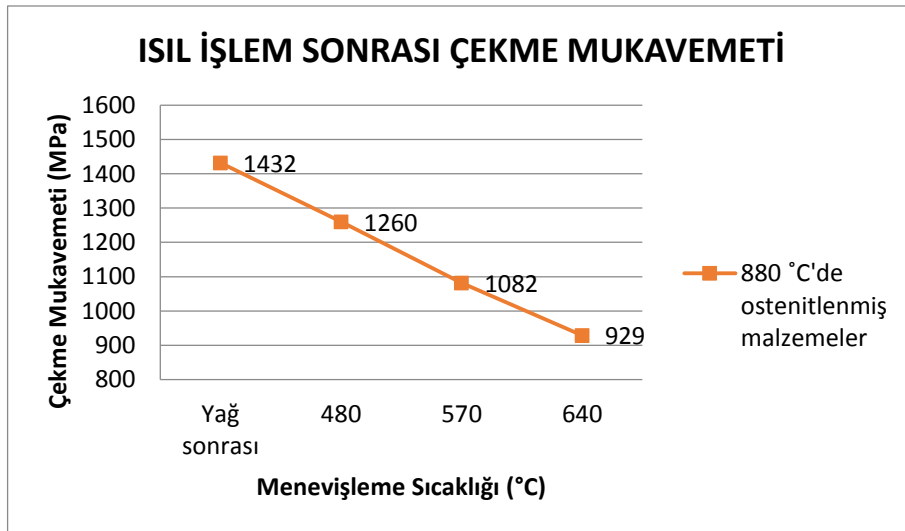
Dövme sonrası yapılan 900°C, 880°C ve 860°C'deki ostenitleme sonrası yağda su verilen AISI 4140 çeliğinin, 640°C, 570°C ve 480°C 'deki menevişlenmeleri sonrasında 2'şer adet hazırlanan numunelerde yapılan çekme testinden elde edilen çekme mukavemeti değerleri Şekil 7.5., 7.6. ve 7.7. 'de gösterilmektedir. Şekil 7.5.'de görüldüğü üzere 900°C'de 140 dk süreyle ostenitlenen çeliğin yağda su verilmesi sonrası ortalama çekme mukavemeti 1386 MPa olarak ölçülmüştür. 480°C'de 200 dk süreyle yapılan menevişleme sonrası çekme mukavemeti 1201 MPa değerlerine düşmektedir. Sürenin sabit kalması ve sıcaklığın 570°C'ye çıkması koşuluyla çekme mukavemeti değeri 1066 MPa'ya düşmektedir. Sıcaklığın 640°C'ye çıkmasıyla ortalama çekme mukavemeti değeri 921 MPa olarak ölçülmüştür.





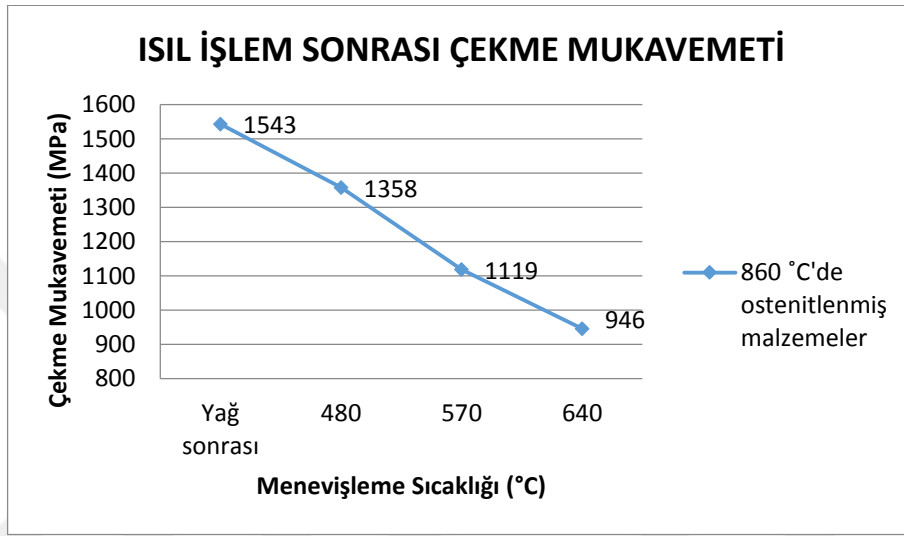
Şekil 7.5. 900°C’de ostenitlenip yağda su verme sonrası, 480°C, 570°C ve 640°C sıcaklıklarda yapılan menevişleme sonrası ortalama çekme mukavemet değişim grafiği

Şekil 7.6.’da görüldüğü üzere 880°C’de 140 dk süreyle ostenitlenen çeliğin yağda su verilmesi sonrası ortalama çekme mukavemeti 1432 MPa olarak ölçülmüştür. 480°C’de 200 dk süreyle yapılan menevişleme sonrası çekme mukavemeti 1260 MPa seviyelerine inmektedir. Sürenin sabit kalması koşuluyla sıcaklığın 570°C’ye çıkmasıyla çekme mukavemeti 1082 MPa’ya düşmektedir. Sıcaklığın 640°C’ye çıkmasıyla ortalama çekme mukavemeti değeri 929 MPa olarak ölçülmüştür.



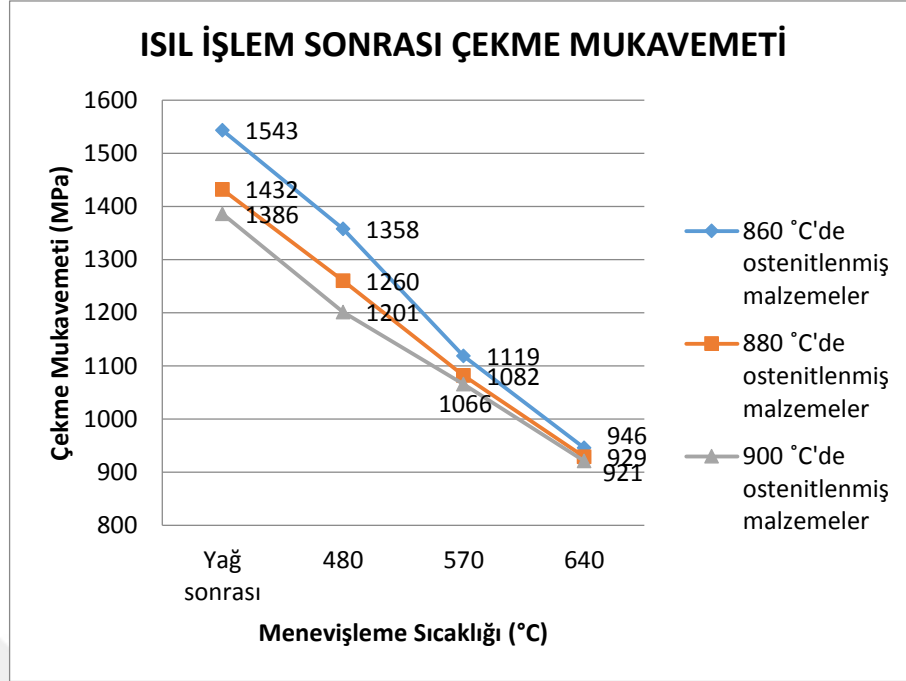
Şekil 7.6. 880°C’de ostenitlenip yağda su verme sonrası, 480°C, 570°C ve 640°C sıcaklıklarda yapılan menevişleme sonrası ortalama çekme mukavemet değişim grafiği

Şekil 7.7.'de görüldüğü üzere 860°C'de 140 dk süreyle ostenitlenen çeliğin yağda su verilmesi sonrası ortalama çekme mukavemeti 1543 MPa olarak ölçülmüştür. 480°C'de 200 dk süreyle yapılan menevişleme sonrası çekme mukavemeti 1358 MPa seviyelerine inmektedir. Sürenin sabit kalması koşuluyla sıcaklığın 570°C'ye çıkmasıyla çekme mukavemeti 1119 MPa'ya düşmektedir. Sıcaklığın 640°C'ye çıkmasıyla ortalama çekme mukavemeti değeri 946 MPa olarak ölçülmüştür.



Şekil 7.7. 860°C'de ostenitlenip yağda su verme sonrası, 480°C, 570°C ve 640°C sıcaklıklarda yapılan menevişleme sonrası ortalama çekme mukavemet değişim grafiği

Ostenitleme ve menevişleme sürelerinin sabit kalması koşuluyla aynı menevişleme sıcaklıklarında menevişlenmiş numuneler incelendiğinde ostenitleme sıcaklıklarının artışıyla Şekil 7.8.'deki gibi ortalama çekme mukavemeti değerlerinde oluşan düşüş görülmektedir.



Şekil 7.8. 900°C, 880°C ve 860°C’de ostenitlenip yağda su verme sonrası,480°C, 570°C ve 640°C sıcaklıklarda yapılan menevişleme sonrası ortalama çekme mukavemet değişimlerinin toplu grafiği

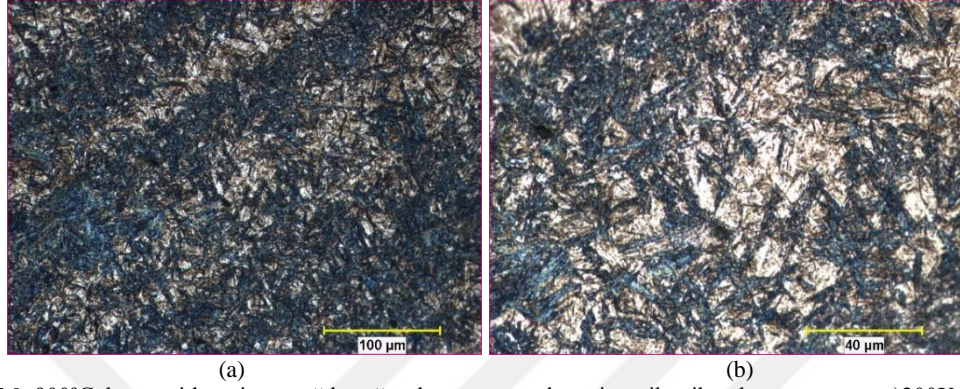
## 7.2. Dövme Sonrası Farklı Şartlarda Yapılan Isıl İşlemin Mikroyapı Üzerine Etkisi

AISI 4140 çeliği 1250°C sıcaklığa tavlansak sıcak dövme ile hadde yönüne dik olarak şekillendirme yapılmış olup, şekillendirme sonrasında farklı sıcaklıklarda ısıl işleme tabi tutulmuştur. Isıl işlem sonucunda AISI 4140 çeliklerine ait mikroyapısal özellikleri belirlemek amaçlı yapılan deneyler aşağıdaki başlıklar altında incelenmiştir.

### 7.2.1. Optik mikroskop görüntüleri

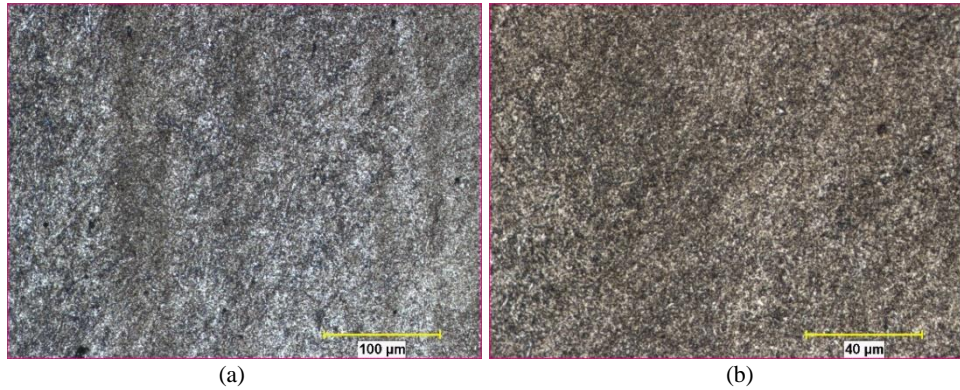
Dövme sonrası yapılan 900°C, 880°C ve 860°C ‘deki ostenitleme sonrası yağda su verilen AISI 4140 çeliğinin yağ sonrası, 640°C, 570°C ve 480°C ‘deki menevişlenmeleri sonrasında hazırlanan mikro yapı numunelerinin 200X ve 500X büyütmedeki optik mikroskop görüntüleri aşağıda verildiği gibidir.

Şekil 7.9.'da 900°C'de ostenitlenmiş numunenin yağda su verilmesi sonrası 200X ve 500X büyütmelerdeki optik mikroskop görüntüleri incelendiğinde iri taneli iğnemi martenzitik yapılar dikkat çekmektedir.

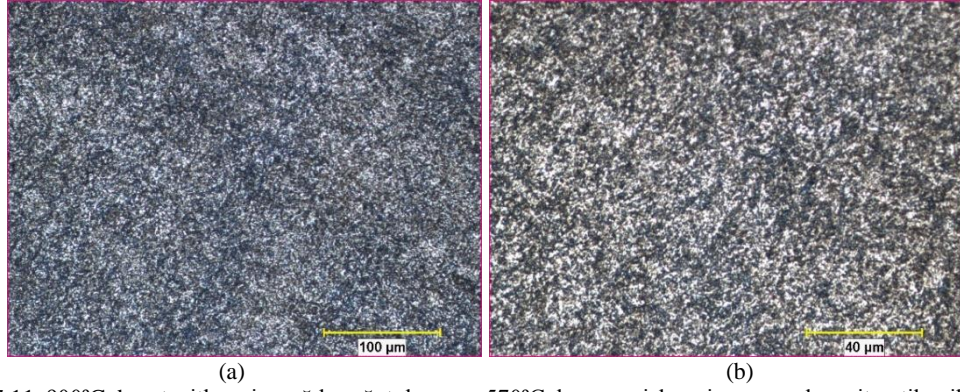


Şekil 7.9. 900°C de ostenitlenmiş ve yağda soğutulmuş numunelere ait optik mikroskop görüntüsü a)200X b)500X

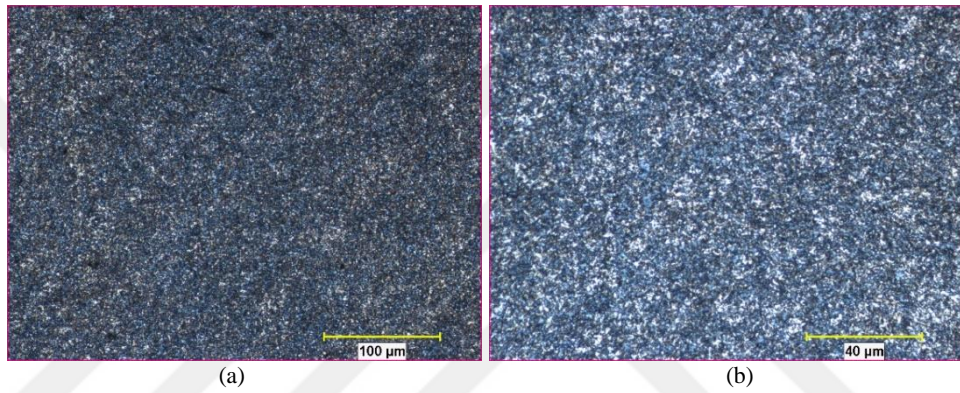
Aşağıdaki şekil 7.10., 7.11. ve 7.12.'de 900°C'de ostenitlenmiş numunenin yağda su verilip 640°C, 570°C ve 480°C sıcaklıklarda menevişlenmesi sonrası 200X ve 500X büyütmelerdeki optik mikroskop görüntüleri incelendiğinde iri taneli iğnemi martenzitik yapının yerini temperlenmiş martenzitik yapıların aldığı görülmektedir.



Şekil 7.10. 900°C de ostenitlenmiş, yağda soğutulmuş ve 640°C de menevişlenmiş numunelere ait optik mikroskop görüntüsü a)200X b)500X

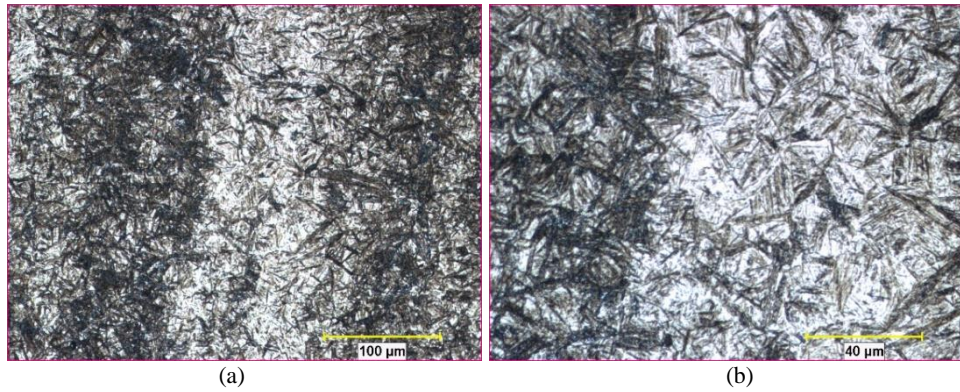


Şekil 7.11. 900°C de ostenitlenmiş, yağda soğutulmuş ve 570°C de menevişlenmiş numunelere ait optik mikroskop görüntüsü a)200X b)500X



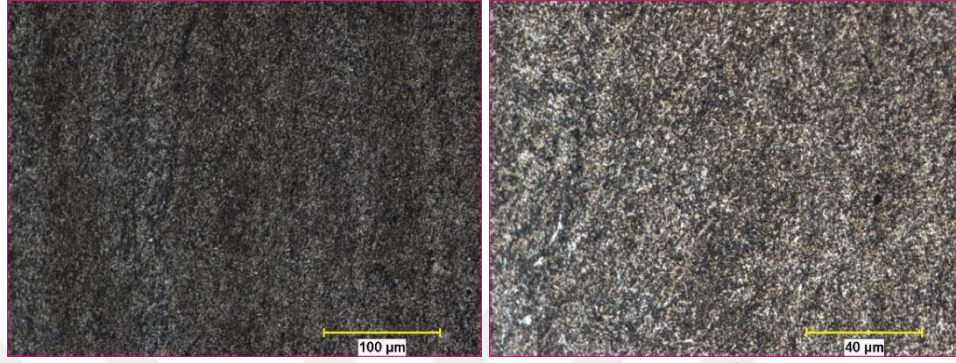
Şekil 7.12. 900°C de ostenitlenmiş, yağda soğutulmuş ve 480°C de menevişlenmiş numunelere ait optik mikroskop görüntüsü a)200X b)500X

Şekil 7.13.'de 880°C'de ostenitlenmiş numunenin yağda su verilmesi sonrası 200X ve 500X büyütmelelerdeki optik mikroskop görüntüleri incelendiğinde iri taneli iğnemsî martenzitik yapılar dikkat çekmektedir.

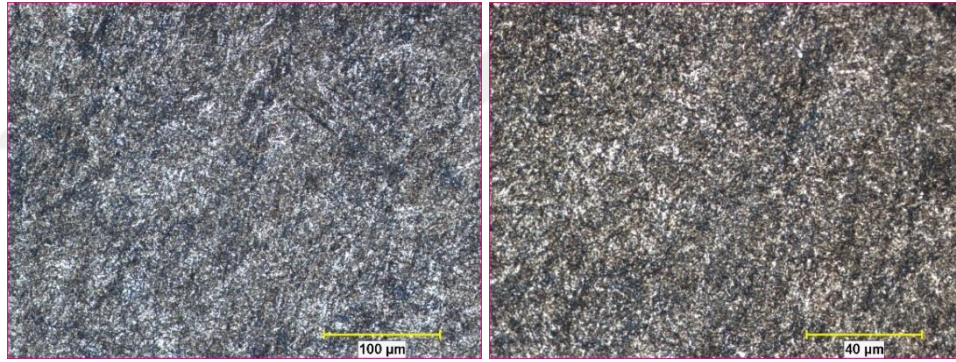


Şekil 7.13. 880°C de ostenitlenmiş ve yağda soğutulmuş numunelere ait optik mikroskop görüntüsü a)200X b)500X

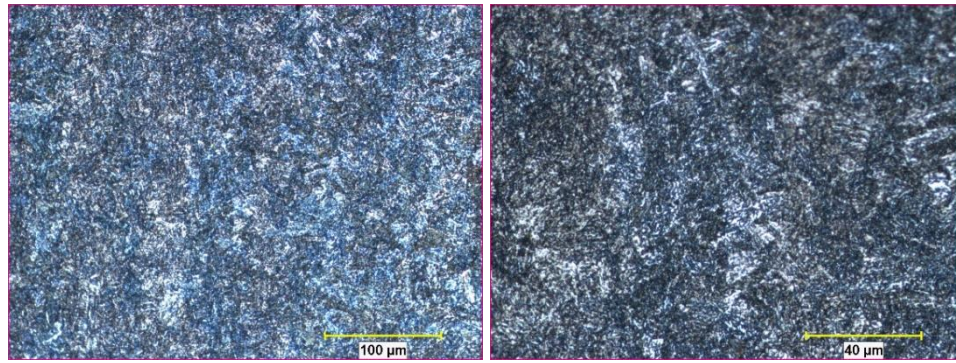
Aşağıdaki Şekil 7.14., 7.15. ve 7.16.'da 880°C'de ostenitlenmiş numunenin yağda su verilip 640°C, 570°C ve 480°C sıcaklıklarda menevişlenmesi sonrası 200X ve 500X büyütmelerdeki optik mikroskop görüntüleri incelendiğinde iri taneli iğnemi martenzitik yapının yerini temperlenmiş martenzitik yapıların aldığı görülmektedir.



Şekil 7.14. 880°C de ostenitlenmiş, yağda soğutulmuş ve 640°C de menevişlenmiş numunelere ait optik mikroskop görüntüsü a)200X b)500X

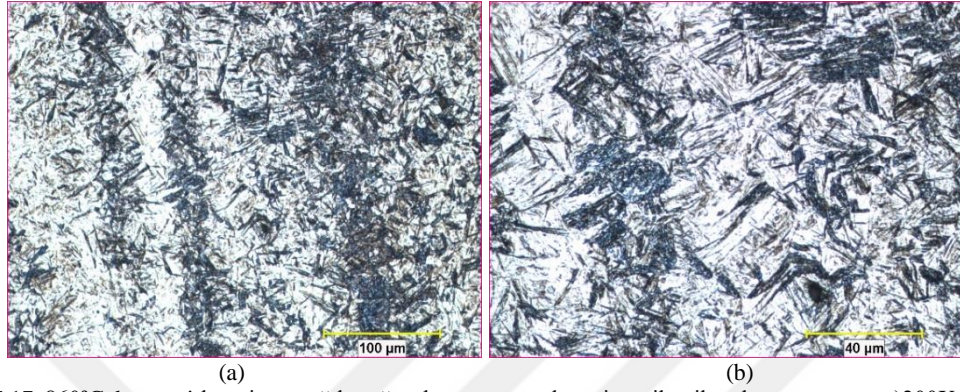


Şekil 7.15. 880°C de ostenitlenmiş, yağda soğutulmuş ve 570°C de menevişlenmiş numunelere ait optik mikroskop görüntüsü a)200X b)500X



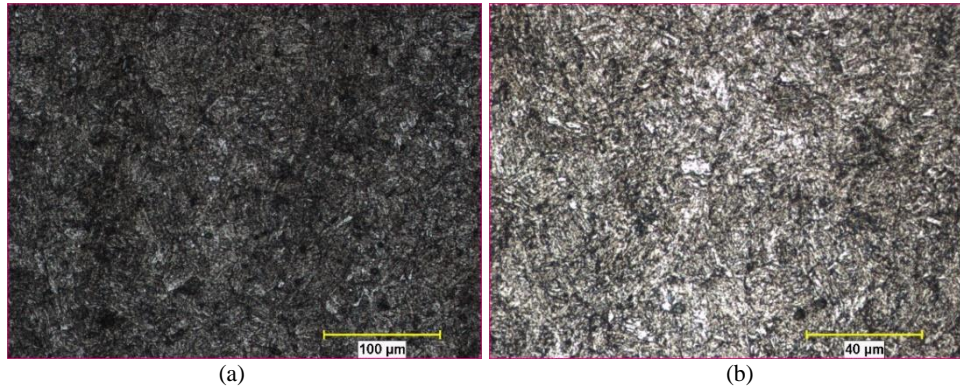
Şekil 7.16. 880°C de ostenitlenmiş, yağda soğutulmuş ve 480°C de menevişlenmiş numunelere ait optik mikroskop görüntüsü a)200X b)500X

Şekil 7.17.'de 860°C'de ostenitlenmiş numunenin yağda su verilmesi sonrası 200X ve 500X büyütmelerdeki optik mikroskop görüntüleri incelendiğinde iğnemsiz martenzitik yapılar dikkat çekmektedir.

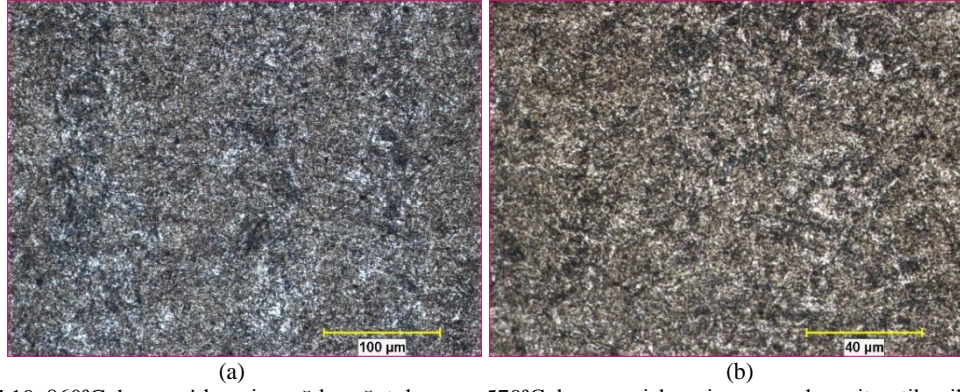


Şekil 7.17. 860°C de ostenitlenmiş ve yağda soğutulmuş numunelere ait optik mikroskop görüntüsü a)200X b)500X

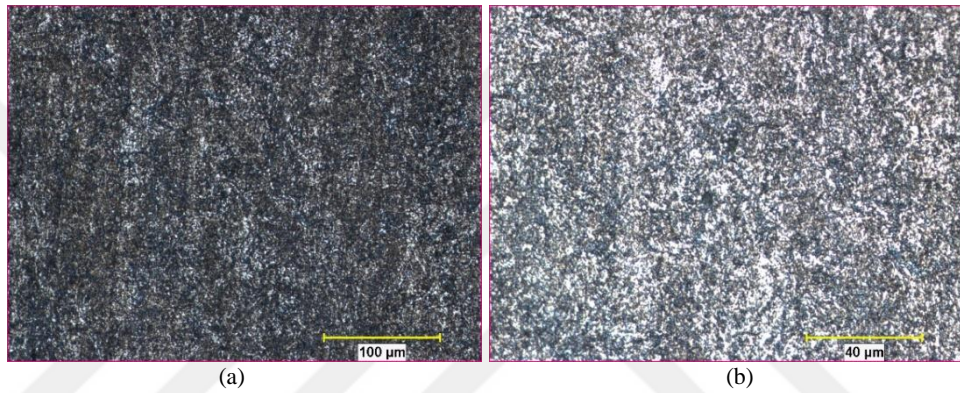
Aşağıdaki Şekil 7.18., 7.19. ve 7.20.'de 860°C'de ostenitlenmiş numunenin yağda su verilip 640°C, 570°C ve 480°C sıcaklıklarda menevişlenmesi sonrası 200X ve 500X büyütmelerdeki optik mikroskop görüntüleri incelendiğinde iğnemsiz martenzitlerin yerine temperlenmiş martenzitik yapıların oluştuğu görülmektedir.



Şekil 7.18. 860°C de ostenitlenmiş, yağda soğutulmuş ve 640°C de menevişlenmiş numunelere ait optik mikroskop görüntüsü a)200X b)500X



Şekil 7.19. 860°C de ostenitlenmiş, yağda soğutulmuş ve 570°C de menevişlenmiş numunelere ait optik mikroskop görüntüsü a)200X b)500X



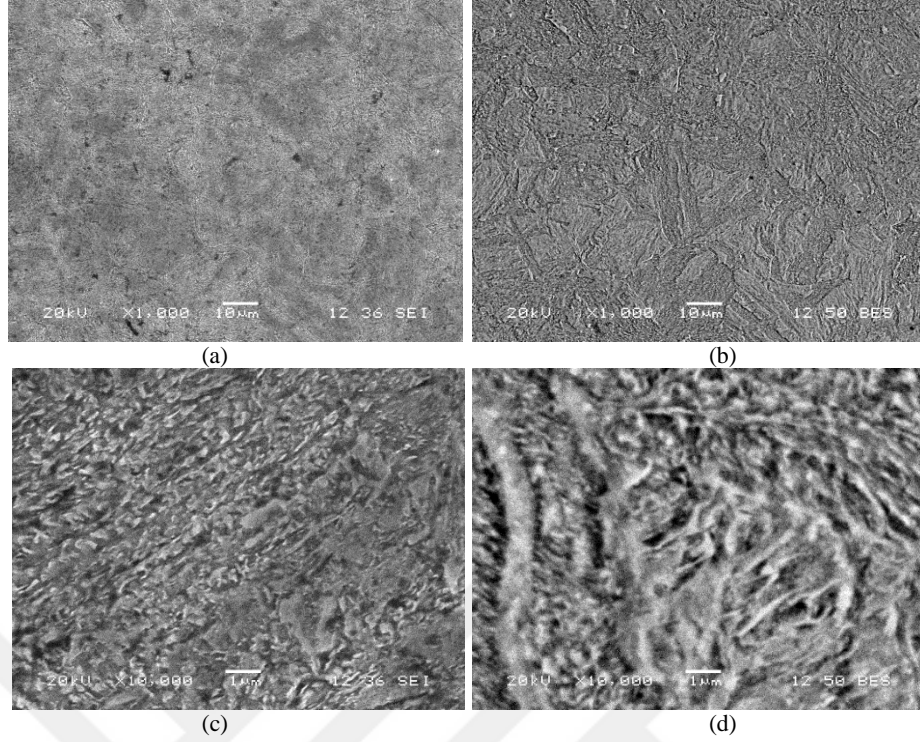
Şekil 7.20. 860°C de ostenitlenmiş, yağda soğutulmuş ve 480°C de menevişlenmiş numunelere ait optik mikroskop görüntüsü a)200X b)500X

### 7.2.2. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri

Dövme sonrası yapılan 900°C, 880°C ve 860°C ‘deki ostenitleme sonrası yağda su verilen AISI 4140 çeliğinin yağ sonrası, 640°C, 570°C ve 480°C ‘deki menevişlenmeleri sonrasında hazırlanan mikro yapı numunelerinin taramalı elektron mikroskobunda 1.000X ve 10.000X büyütmedeki görüntüleri aşağıda verildiği gibidir.

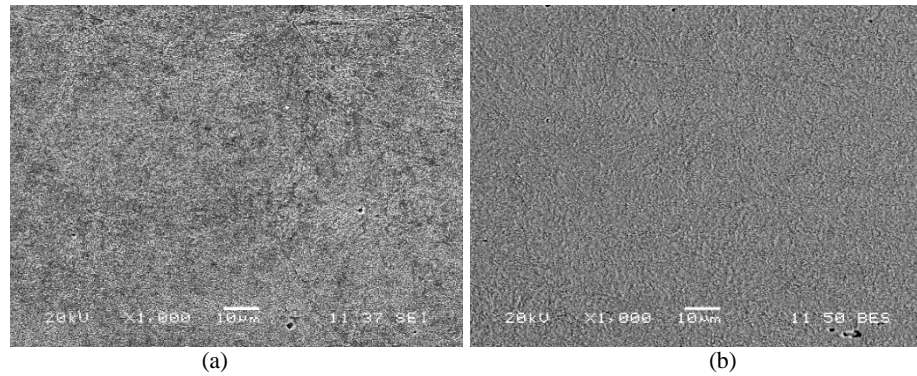
Şekil 7.21.’de 900°C’de ostenitlenmiş numunenin yağda su verilmesi sonrası 1.000X ve 10.000X büyütmelerdeki SEM’de çekilmiş SEI ve BES görüntüleri incelendiğinde optik mikroskop analizlerinde bahsettiğimiz iğnemi martenzitik yapıların oluştuğu tespit edilmiştir.



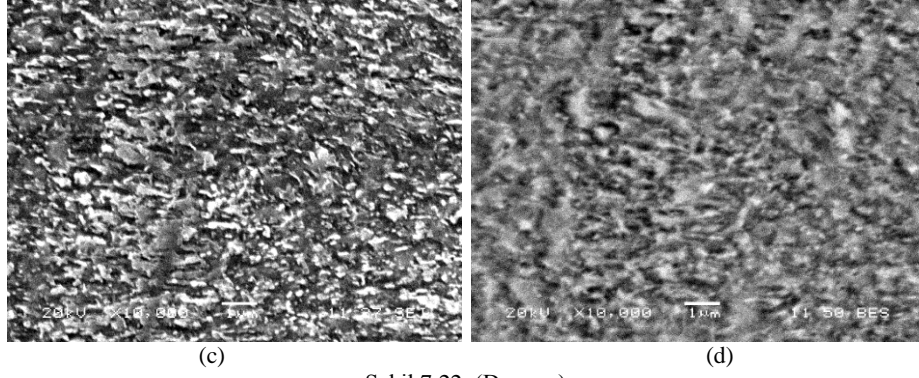


Şekil 7.21. 900°C de ostenitlenmiş ve yağda soğutulmuş numunelere ait SEM görüntüsü a)1000X SEI b)1000X BES c)10.000X SEI d)10.000X BES

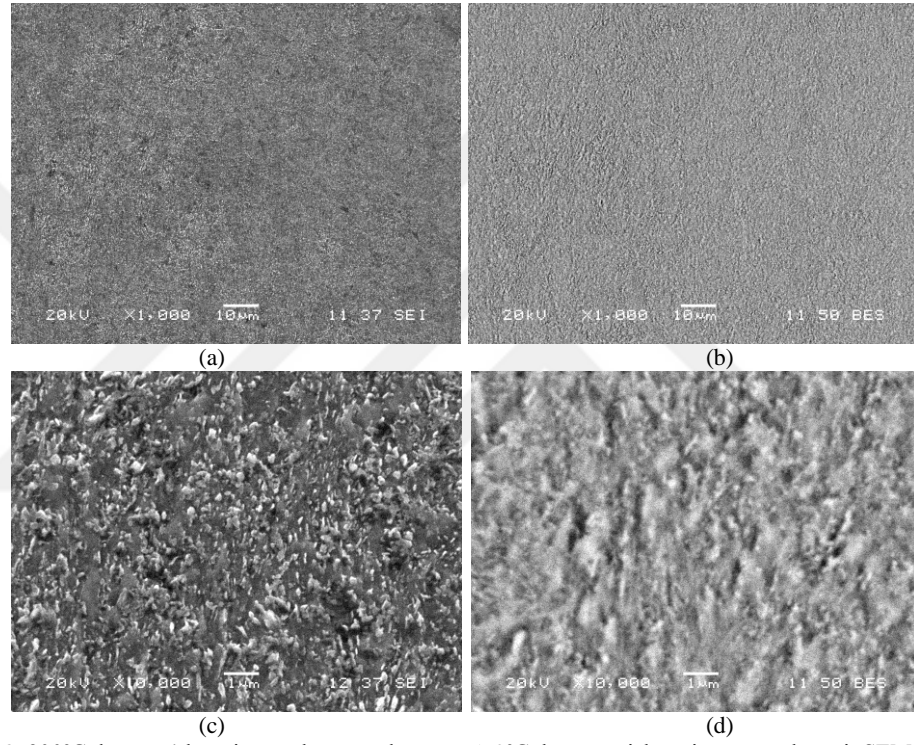
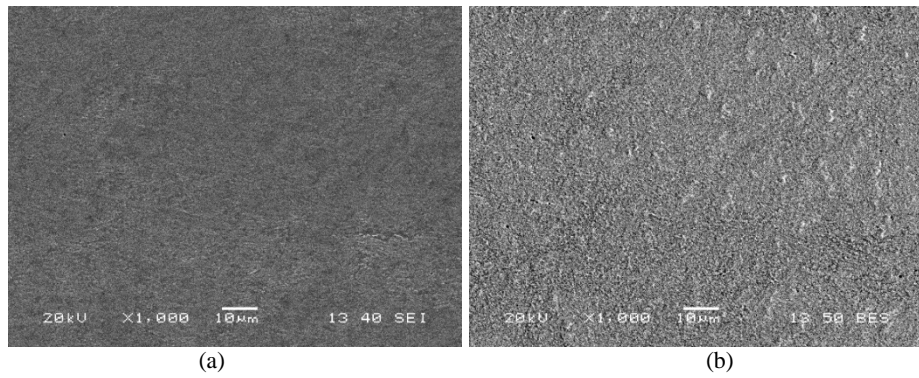
Şekil 7.22., 7.23. ve 7.24.'de 900°C'de ostenitlenmiş numunenin yağda su verilip 640°C, 570°C ve 480°C sıcaklıklarda menevişlenmesi sonrası 1.000X ve 10.000X büyütmelerdeki SEM'de çekilmiş SEI ve BES görüntüleri incelendiğinde optik mikroskop analizlerinde bahsettiğimiz iğnemi martenzitik yapıların yerine temperlenmiş martenzitik yapıların oluştuğu tespit edilmiştir.

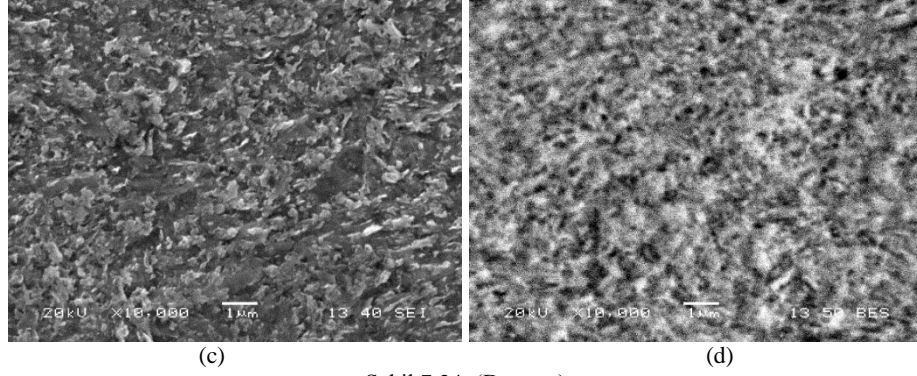


Şekil 7.22. 900°C de ostenitlenmiş, yağda soğutulmuş ve 640°C de menevişlenmiş numunelere ait SEM görüntüsü a)1000X SEI b)1000X BES c)10.000X SEI d)10.000X BES



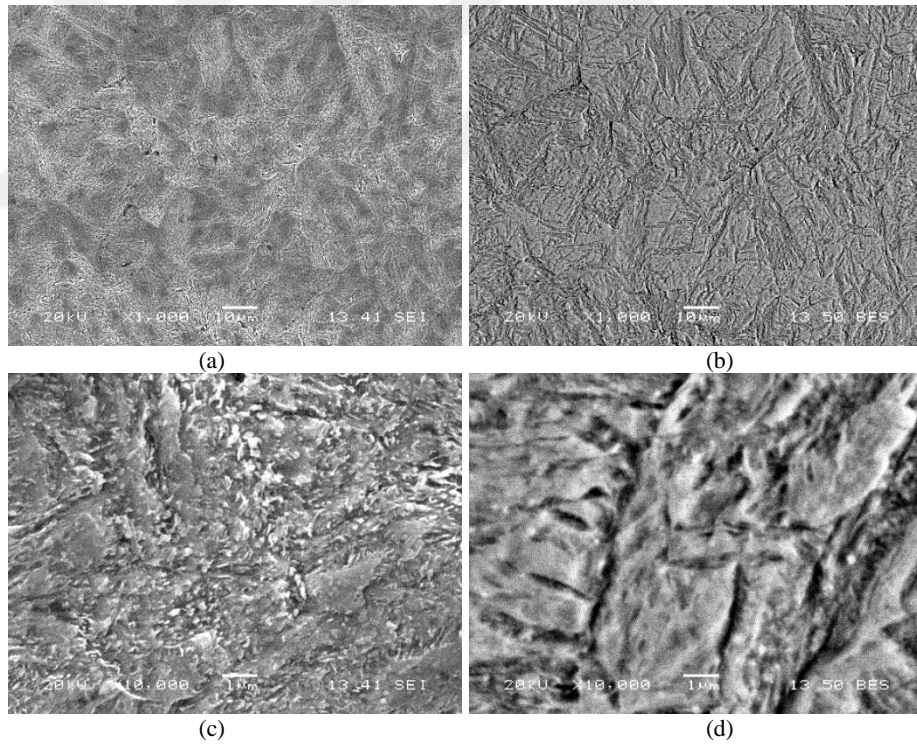
Şekil 7.22. (Devamı)

Şekil 7.23. 900°C de ostenitlenmiş, yağda soğutulmuş ve 570°C de menevişlenmiş numunelere ait SEM görüntüsü  
a)1000X SEI b)1000X BES c)10.000X SEI d)10.000X BESŞekil 7.24. 900°C de ostenitlenmiş, yağda soğutulmuş ve 480°C de menevişlenmiş numunelere ait SEM görüntüsü  
a)1000X SEI b)1000X BES c)10.000X SEI d)10.000X BES



Şekil 7.24. (Devamı)

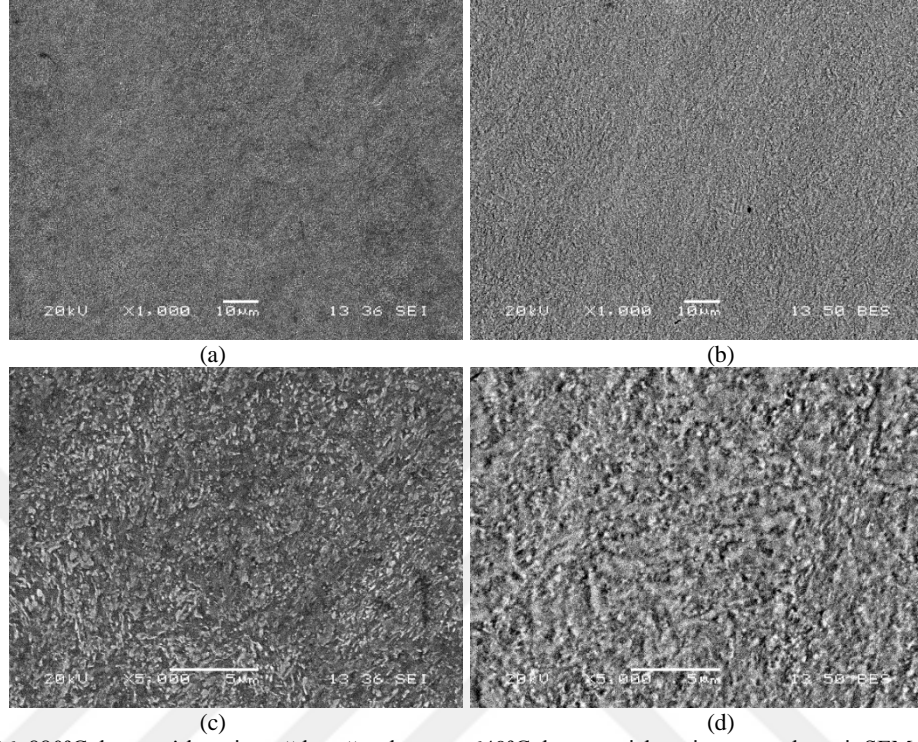
Şekil 7.25’de 880°C’de ostenitlenmiş numunenin yağda su verilmesi sonrası 1.000X ve 10.000X büyütmelerdeki SEM’de çekilmiş SEI ve BES görüntüleri incelendiğinde optik mikroskop analizlerinde bahsettiğimiz iğnemsiz martenzitik yapıların oluştuğu tespit edilmiştir.



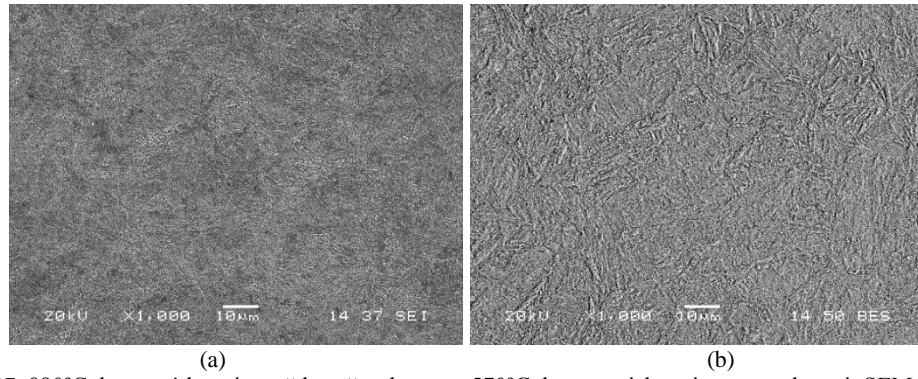
Şekil 7.25. 880°C de ostenitlenmiş ve yağda soğutulmuş numunelere ait SEM görüntüsü a)1000X SEI b)1000X BES c)10.000X SEI d)10.000X BES

Şekil 7.26., 7.27. ve 7.28.’de 880°C’de ostenitlenmiş numunenin yağda su verilip 640°C, 570°C ve 480°C sıcaklıklarda menevişlenmesi sonrası 1.000X ve 10.000X büyütmelerdeki SEM’de çekilmiş SEI ve BES görüntüleri incelendiğinde optik

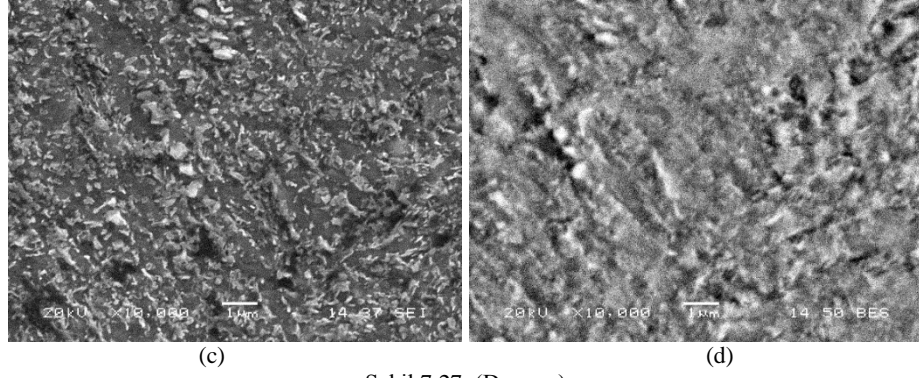
mikroskop analizlerinde bahsettiğimiz iğnemi martenzitik yapıların yerine temperlenmiş martenzitik yapıların oluştuğu tespit edilmiştir.



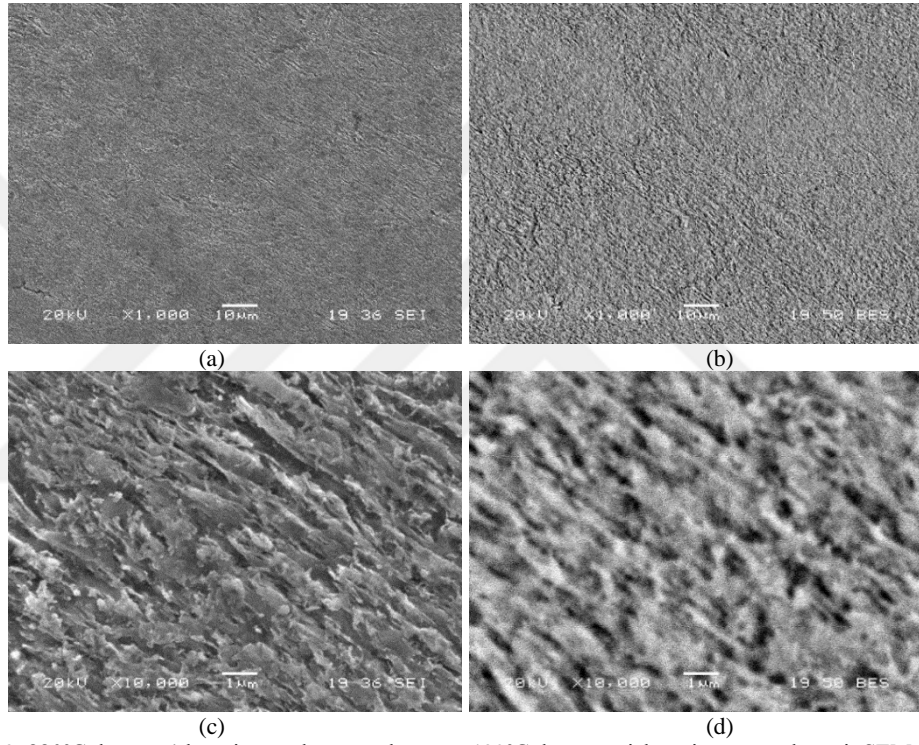
Şekil 7.26. 880°C de ostenitlenmiş, yağda soğutulmuş ve 640°C de menevişlenmiş numunelere ait SEM görüntüsü a)1000X SEI b)1000X BES c)5.000X SEI d)5.000X BES



Şekil 7.27. 880°C de ostenitlenmiş, yağda soğutulmuş ve 570°C de menevişlenmiş numunelere ait SEM görüntüsü a)1000X SEI b)1000X BES c)10.000X SEI d)10.000X BES

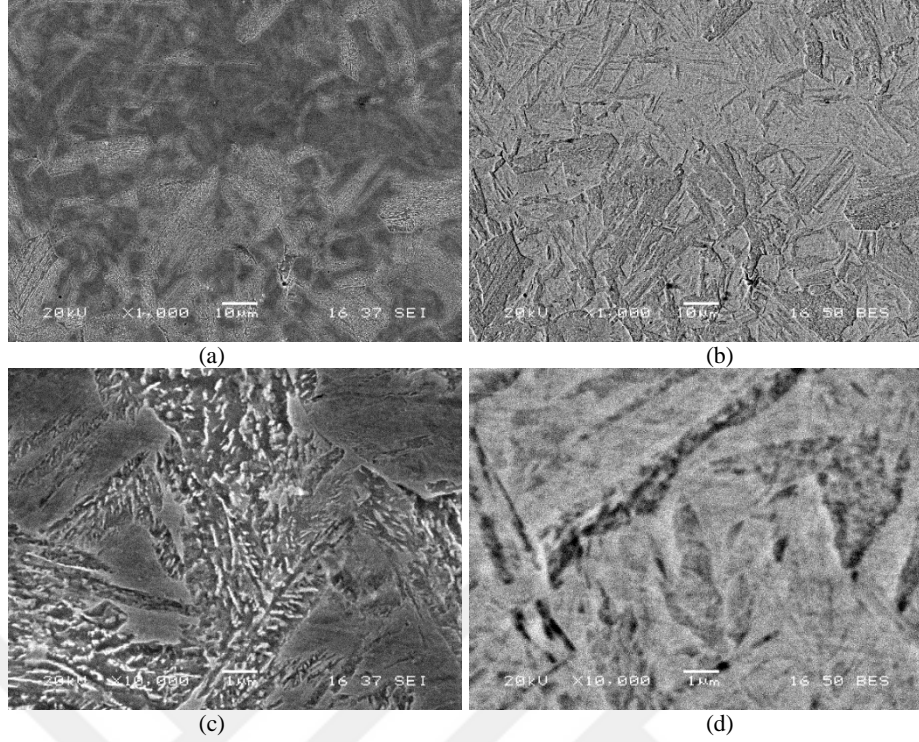


Şekil 7.27. (Devamı)



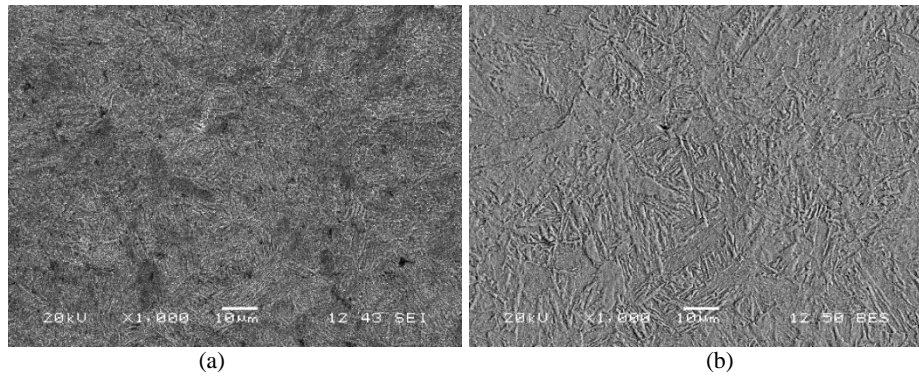
Şekil 7.28. 880°C de ostenitlenmiş, yağda soğutulmuş ve 480°C de menevişlenmiş numunelere ait SEM görüntüsü  
 a)1000X SEI b)1000X BES c)10.000X SEI d)10.000X BES

Şekil 7.29.'de 860°C'de ostenitlenmiş numunenin yağda su verilmesi sonrası 1.000X ve 10.000X büyütmelerdeki SEM'de çekilmiş SEI ve BES görüntüleri incelendiğinde optik mikroskop analizlerinde bahsettiğimiz iğnems martenzitik yapıların oluştuğu tespit edilmiştir.

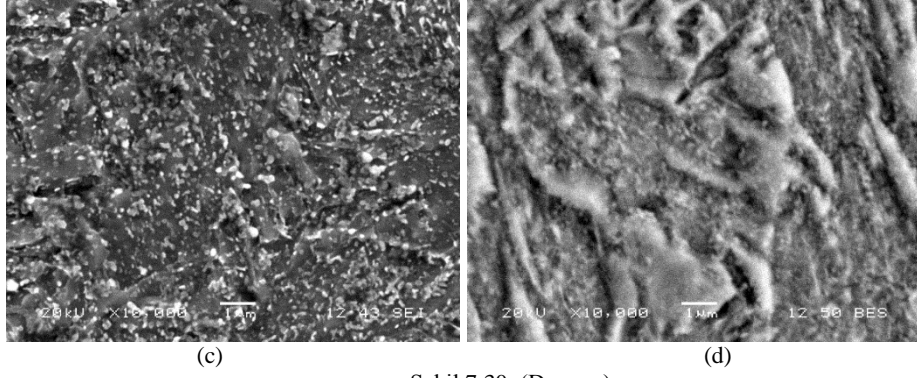


Şekil 7.29. 860°C de ostenitlenmiş ve yağda soğutulmuş numunelere ait SEM görüntüsü a)1000X SEI b)1000X BES c)10.000X SEI d)10.000X BES

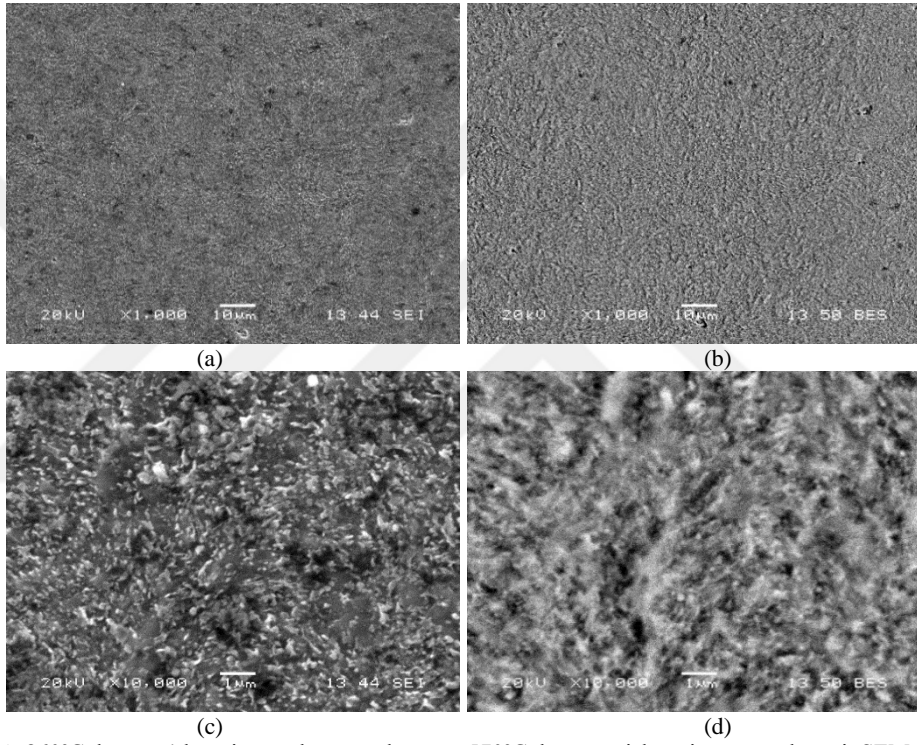
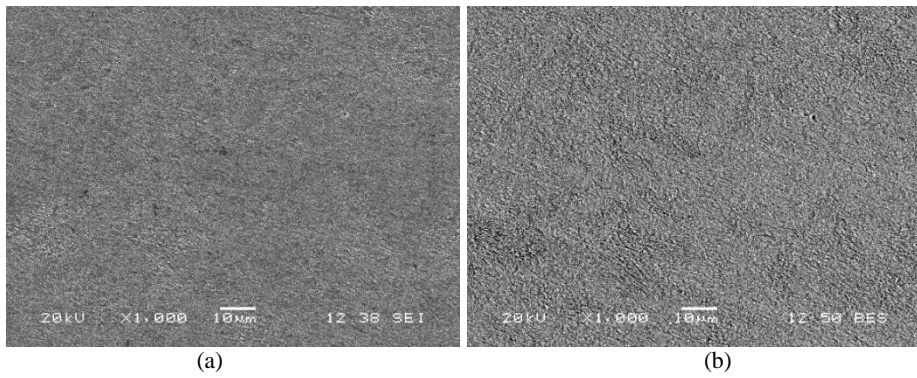
Şekil 7.30., 7.31. ve 7.32.'de 860°C'de ostenitlenmiş numunenin yağda su verilip 640°C, 570°C ve 480°C sıcaklıklarda menevişlenmesi sonrası 1.000X ve 10.000X büyütmelerdeki SEM'de çekilmiş SEI ve BES görüntüleri incelendiğinde optik mikroskop analizlerinde bahsettiğimiz iğnemi martenzitik yapıların yerine temperlenmiş martenzitik yapıların oluştuğu tespit edilmiştir.

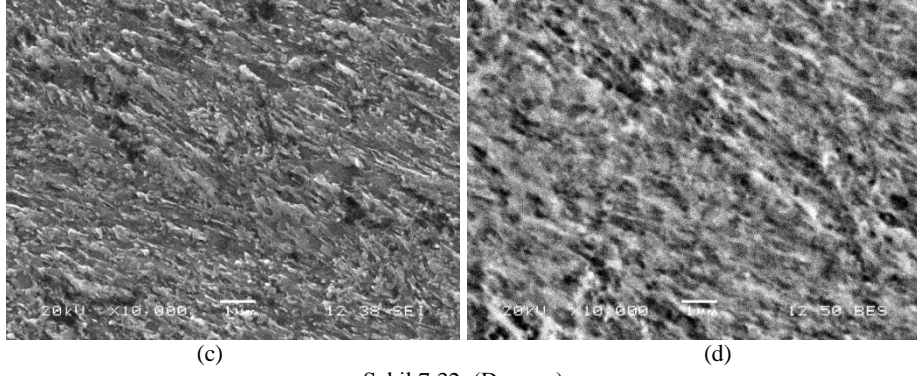


Şekil 7.30. 860°C de ostenitlenmiş, yağda soğutulmuş ve 640°C de menevişlenmiş numunelere ait SEM görüntüsü a)1000X SEI b)1000X BES c)10.000X SEI d)10.000X BES



Şekil 7.30. (Devamı)

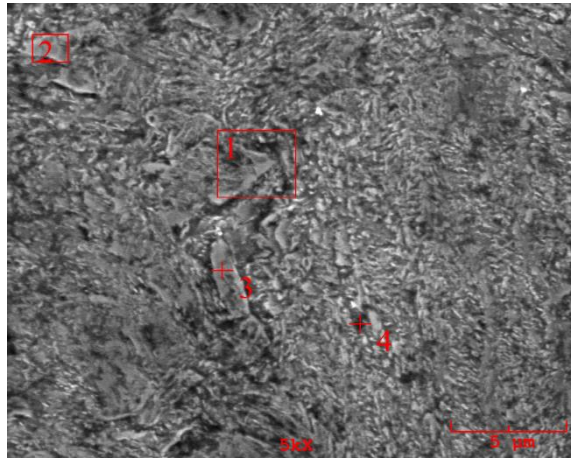
Şekil 7.31. 860°C de ostenitlenmiş, yağda soğutulmuş ve 570°C de menevişlenmiş numunelere ait SEM görüntüsü  
a)1000X SEI b)1000X BES c)10.000X SEI d)10.000X BESŞekil 7.32. 860°C de ostenitlenmiş, yağda soğutulmuş ve 480°C de menevişlenmiş numunelere ait SEM görüntüsü  
a)1000X SEI b)1000X BES c)10.000X SEI d)10.000X BES



Şekil 7.32. (Devamı)

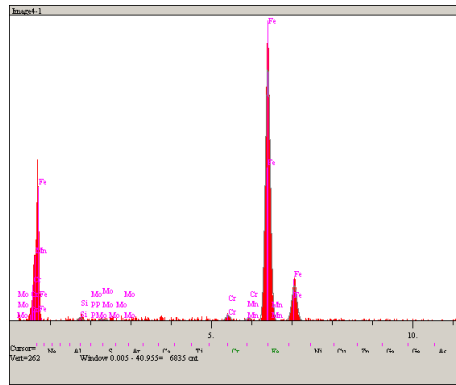
### 7.2.3. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) EDS analizi sonuçları

Optik mikroskop incelemesinden sonra bazı numune parçalarının SEM’de yapı analizleri yapılmıştır. Şekil 7.33.’de 900°C’de ostenitlenmiş yağda soğutulmuş numunenin 5.000X büyütmede ve 20kV’da SEM’de çekilen yapı görüntüsü üzerinde tariflenmiş 1 numaralı bölgeye ait EDS analizi verileri Şekil 7.34.’de verilmiştir. Bu bölgede karbonca fakir fakat %0,67 seviyelerinde molibden zengin bölgeler görülmektedir. Şekil 7.33.’deki 2 numaralı bölgeye ait EDS analizi sonuçlarını içeren Şekil 7.35.’de ki analiz verilerinde de görüleceği üzere benzer bir durum söz konusudur. Şekil 7.33.’de tanımlanmış 4 numaralı noktaya ait Şekil 7.36.’deki EDS değerleri incelendiğinde yağda su verme sonrası karbon atomları difüzyon için yeterli süre ve sıcaklığın olmayışından dolayı belirli bölgelerde %2,24 seviyelerinde birikmiştir.



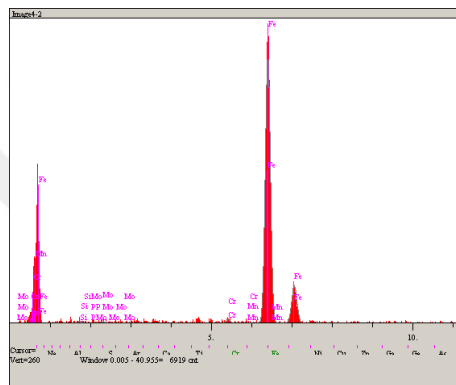
Şekil 7.33. 900°C de ostenitlenmiş ve yağda soğutulmuş numuneye ait 5000X büyütmedeki SEM görüntüsü





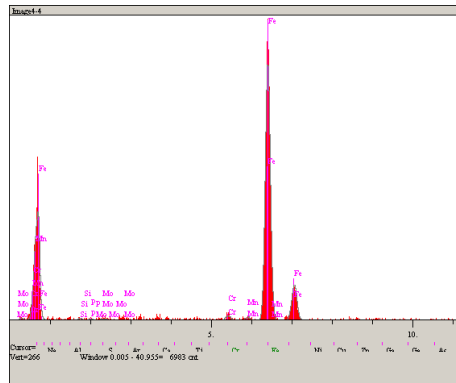
Elt.	Intensity (c/s)	Conc
Si	3,12	0,652
P	0,46	0,086
Cr	6,88	0,871
Mn	2,75	0,626
Fe	339,57	97,095
Mo	2,10	0,670
		100,000

Şekil 7.34. 1. Bölgeye ait EDS analiz değerleri



Elt.	Intensity (c/s)	Conc
Si	2,01	0,408
P	0,13	0,024
Cr	4,09	0,453
Mn	0,80	0,172
Fe	356,07	98,510
Mo	1,43	0,433
		100,000

Şekil 7.35. 2. Noktaya ait EDS analiz değerleri

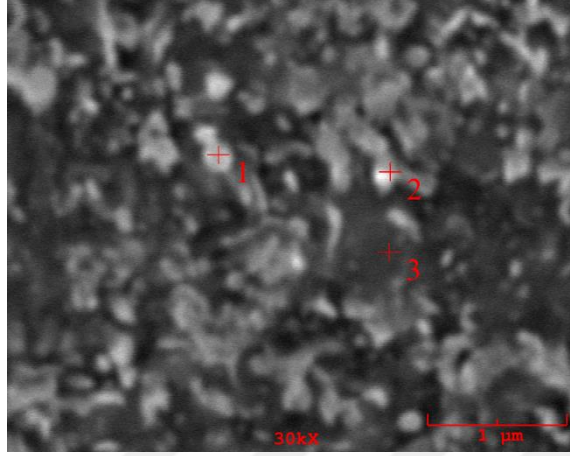


Elt.	Intensity (c/s)	Conc
C	2,16	2,249
Si	1,90	0,372
P	1,32	0,231
Cr	6,11	0,724
Mn	3,30	0,709
Fe	352,44	95,195
Mo	1,74	0,520
		100,000

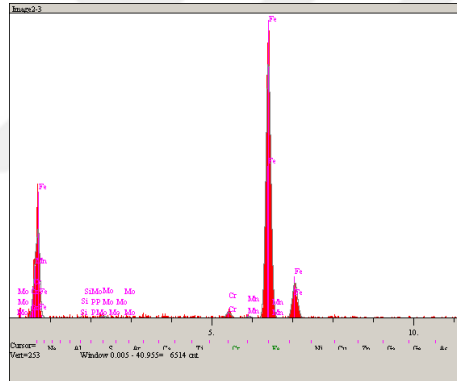
Şekil 7.36. 4. Noktaya ait EDS analiz değerleri

Şekil 7.37.'de 880°C'de ostenitlenmiş yağda soğutulmuş ve 640°C'de meneviş yapılmış numunenin 30.000X büyütmede ve 20kV'da SEM'de çekilen yapı görüntüsü üzerinde tariflenmiş 3 numaralı noktaya ait EDS analiz verileri Şekil 7.38.'de verilmiştir. EDS analiz sonucuna göre bu noktada karbon %0,37 seviyelerinde

görülmektedir. Meneviş sıcaklığının ve süresinin yeterli olması sebebiyle yapıda homojenlik söz konusudur.



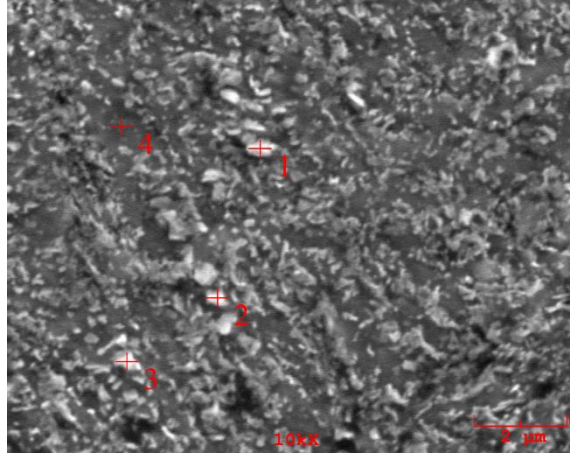
Şekil 7.37. 880°C de ostenitlenmiş ve yağda soğutulmuş 640°C de menevişlenmiş numuneyle ait 30.000X büyütmedeki SEM görüntüsü



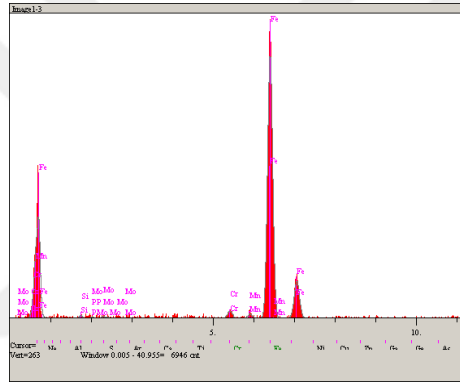
Elt.	Intensity (c/s)	Conc
C	0,33	0,376
Si	0,71	0,151
P	0,09	0,017
Cr	7,49	0,955
Mn	1,77	0,411
Fe	333,03	97,319
Mo	2,38	0,770
		100,000

Şekil 7.38. 3. Noktaya ait EDS analiz değerleri

Şekil 7.39.'da 880°C'de ostenitlenmiş yağda soğutulmuş ve 570°C'de meneviş yapılmış numunenin 10.000X büyütmede ve 20kV'da SEM'de çekilen yapı fotoğrafı üzerinden tariflenmiş 3 numaralı noktaya ait EDS analizi verileri Şekil 7.40.'da görülmektedir. Bu noktada karbon %0,11 mertebelerindedir.



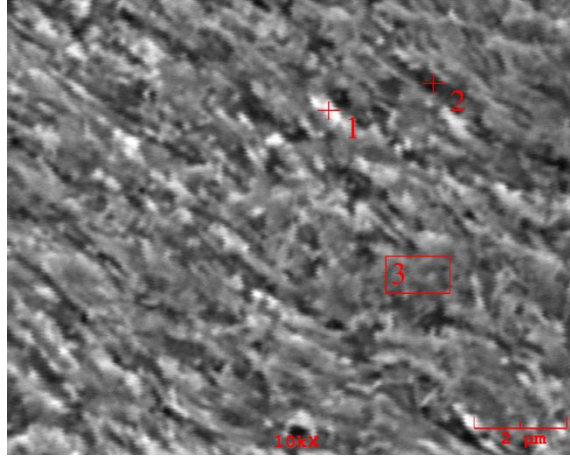
Şekil 7.39. 880°C de ostenitlenmiş, yağda soğutulmuş ve 570°C de menevişlenmiş numuneye ait 10.000X büyütmedeki SEM görüntüsü



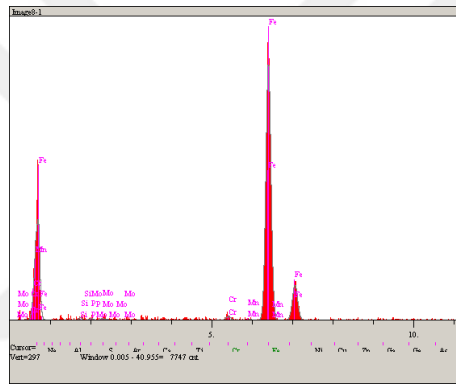
Elt.	Intensity (c/s)	Conc
C	0,11	0,114
Si	2,59	0,513
P	0,98	0,173
Cr	9,13	1,117
Mn	3,70	0,802
Fe	356,88	96,702
Mo	1,91	0,579
		100,000

Şekil 7.40. 3. Noktaya ait EDS analiz değerleri

Şekil 7.41.'de 880°C'de ostenitlenmiş yağda soğutulmuş ve 480°C'de meneviş yapılmış numunenin 10.000X büyütmede ve 20kV'da SEM'de çekilen yapı fotoğrafı üzerinden tariflenmiş 1 numaralı noktaya ait EDS analizi verileri Şekil 7.42.'de görülmektedir. Bu noktada karbon %0,21 mertebelerindedir. Şekil 7.41.'de görülen 2 numaralı noktada ki karbon miktarı Şekil 7.43.'de görüldüğü üzere %0,48 seviyesindedir.

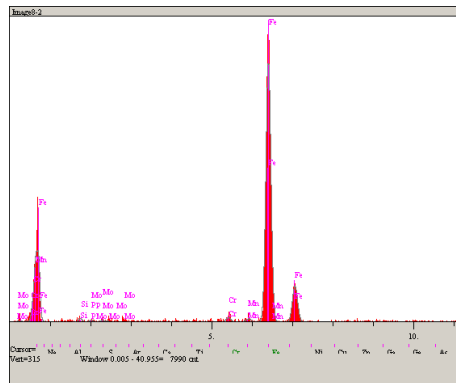


Şekil 7.41. 880°C de ostenitlenmiş, yağda soğutulmuş ve 480°C de menevişlenmiş numuneye ait 10.000X büyütmedeki SEM görüntüsü



Elt.	Intensity (c/s)	Conc
C	0,22	0,217
Si	2,60	0,467
P	2,50	0,402
Cr	5,98	0,630
Mn	1,12	0,217
Fe	394,67	97,316
Mo	2,74	0,750
		100,000

Şekil 7.42. 1. Noktaya ait EDS analiz değerleri

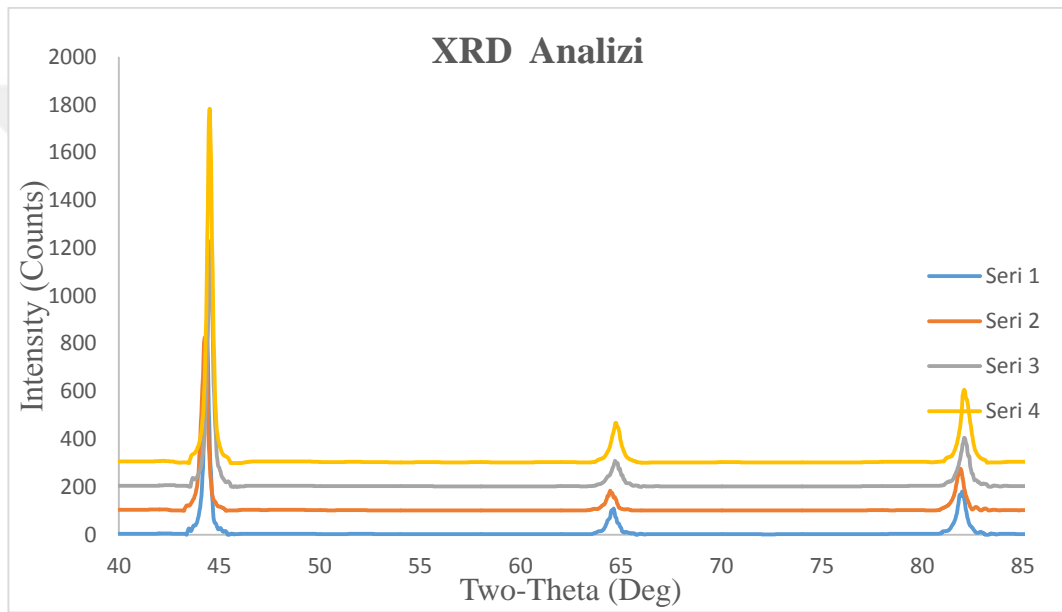


Elt.	Intensity (c/s)	Conc
C	0,54	0,484
Si	4,01	0,668
P	2,13	0,318
Cr	7,53	0,766
Mn	4,22	0,770
Fe	421,60	96,413
Mo	2,27	0,580
		100,000

Şekil 7.43. 2. Noktaya ait EDS analiz değerleri

### 7.3. Dövme Sonrası Farklı Şartlarda Yapılan Isıl İşlemin Etkilerinin XRD Yöntemi İle İncelenmesi

Dövme sonrası farklı ısıl işlem uygulanmış numunelerden 860°C’de ostenitlenmiş yağda su verilmiş, 860°C’de ostenitlenmiş yağda su verilmiş ve akabinde 480°C, 570°C ve 640°C sıcaklıklarda menevişlenmiş 4 adet numune için X-ışını difraksiyonu analizi yapılmıştır. Yapılan inceleme sonrası çıkan XRD grafikleri Şekil 7.44.’de verilmiştir.



Şekil 7.44. 860°C’de ostenitlenmiş, yağda su verilmiş, 860°C’de ostenitlenmiş, yağda su verilmiş ve ardından 480°C, 570°C ve 640°C sıcaklıklarda meneviş yapılmış numunelere ait XRD analiz sonuçları

7.44.’deki grafik çizilirken Seri1, Seri2, Seri3 ve Seri4 çizgilerinin başladığı intensity değerleri, grafiklerdeki farkların görülebilmesi adına birbirinden farklı değerlerde gösterilmiştir. Şekil 7.44.’deki XRD analizi sonuçlarında da görüldüğü üzere sıcaklık farkı en yüksek olan 1 ve 2 numaralı yapılarda gerek 44°’deki ana pik gerekse 64,5°’deki piklerin asimmetrikliğinden ve yayvanlığından bahsedilebilir ve buda gerinim enerjisini gösterir.

En düşük farka sahip 3 ve 4 numaralı numunelerde de pik simetrisi bozulmamış ve kristalin faz kendini hem yüksek pik şiddeti hem de yayvanlığının düşüklüğü ile göstermiştir.

Piklerdeki simetri kaybından dolayı XRD'de genleme ve tane boyu küçülmesi karakterize edilebilmektedir. Pikler ne kadar asimetrikse deformasyon ve tavlama sıcaklığı düşük, pikler ne kadar geniş ve düşük şiddetli ise de kristal boyutunun o kadar küçüldüğü anlaşılır.

Ostenitleme sıcaklığı yüksekliği ve meneviş sıcaklığı düşüklüğü maksimum genlemeye yol açacak şekilde XRD'de pik asimetrisine sebep olmuştur. Ostenitleme ve menevişleme sıcaklığı arasındaki fark arttıkça kristal yapıya genleme enerjisi yüklenmekte ve buda kısmen daha asimetrik ve daha iri taneli yapılara sebep olmaktadır.



## BÖLÜM 8. TARTIŞMA ve SONUÇLAR

AISI 4140 çeliğinin 1250°C tavlaniıp sıcak şekillendirilmesi sonrası süre sabit kalmak koşuluyla yapılan ostenitleme ve menevişleme sonrası oluşan mekanik ve mikroyapı özelliklerinin karakterize edilebilmesi için numunelere sertlik testi, çekme testi, optik mikroskop, SEM mikroskobu ve XRD incelemeleri yapılmıştır. Deneyler sonucunda elde edilen bulguların değerlendirmeleri aşağıdaki maddeler halinde belirtilmiştir.

Sıcak dövmeyle şekillendirilmiş AISI 4140 çeliğinin 860°C’de ostenitlenmesi sonrası yağda su verilen numunenin en yüksek sertlik ve çekme mukavemeti değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir.

AISI 4140 çeliğinin sıcak dövme sonrası ostenitleme sıcaklığı ve süresi sabit kalmak koşuluyla artan menevişleme sıcaklığı ile sertlik ve çekme mukavemetinin düştüğü, menevişleme sıcaklığı sabit kalmak koşuluyla ostenitleme sıcaklığının düşüşü ilede sertlik ve çekme mukavemetinin arttığı tespit edilmiştir.

Mikroyapı analizlerine baktığımızda, sıcak dövme ve ardından yapılan ostenitleme sonrası su verme işlemi sonucunda iğnemsiz martenzitik yapının oluştuğu, değişen menevişleme sıcaklıklarının etkisi sonucunda ise ince taneli temperlenmiş martenzitik yapıya dönüştüğü tespit edilmiştir.

X-ışını difraksiyonu analizleri sonucunda oluşan piklerin patternleri çözümlenmiştir. Sonuç olarak sıcak dövme sonrasında ısıl işlem görmüş AISI 4140 çelikğinde genel yönlenmeye sahip eşeksiz küçük tane yapısı oluşturulmuş olup bunun sebebinin sıcak dövmede dislokasyon hareketinin etkisiz oluşu ve difüzyona zaman verilmeden küçük tane yapısıyla dinamik yeniden kristalleşmeye zaman tanımadan soğutma yapılması olduğu düşünülmektedir.

Sıcak dövme sonrası süre sabit kalmak koşuluyla yapılan ostenitlemede ostenitleme sıcaklığının 860°C 'den 900°C'ye artışıyla yapı içerisinde Şekil 7.9.'da görüldüğü üzere tane irileşmesi kaynaklı çekme mukavemeti ve sertliklerde düşüş görülmüştür. Ostenitleme sıcaklığı sabit kalmak şartıyla, Şekil 7.4. ve 7.8.'de görüldüğü gibi menevişleme sıcaklığının 480°C'den 640°C'ye artışı ile çekme mukavemeti ve sertliklerde düşüş görülmüştür. Bunun sebebi ise sıcaklığın artışı ile difüzyonun doğru orantılı oluşu kaynaklı optik mikroskop ve SEM görüntülerinden de anlaşılacağı üzere yapı içerisinde homojenliğin sağlanmış ve gerilimin büyük oranda azaltılmış olmasıdır.

900°C'de ostenitlenmiş yağda suverilmiş numunenin mekanik özelliklerindeki artış mekanizması EDS analizlerine göre incelendiğinde Şekil 7.36.'da görüldüğü gibi %C oranı Şekil 7.33.'de tanımlanmış 4. noktada %2,24 seviyelerindedir. Numunenin ostenitleme sonrası yağda suverilmesi sonucu C atomlarının difüzyon için yeterli süreyi bulamamasından dolayı bazı bölgelerde birikme göstermiştir. Bu birikme sonucu malzeme içerisinde düzensiz bir yapı oluşması sonucu gerilim artmış dolayısıyla sertlik değerleride artmıştır.

860°C'de ostenitlenmiş numunenin yağda suverilmesi sonrası Şekil 7.44.'deki XRD analizi incelendiğinde 44° deki ana pikin gerekse 64,5° deki piklerin asimetrikliğinden ve yayvanlığından bahsedilebilir ve buda gerilim enerjisini gösterir. Gerilim enerjisindeki artış sertlik artış mekanizması olarak yorumlanabilir.

Kam M. ve ark.'nın yaptığı çalışmada AISI 4140 çeliğinin 850°C ostenitlenip yağda su verilmesi sonrası 320°C'de yapılan menevişi sonucu yaklaşık 50HRC sertlik tespit etmiştir. Sertlik değerlerinin bu kadar yüksek çıkması meneviş sıcaklığının fazlasıyla düşük olmasındandır.

Bayrak M. ve ark.'nın yaptığı çalışmada, AISI 4140 çeliğinin DIN normundaki karşılığı olan 42CrMo4 çeliğine yaptıkları 850°C ostenitleme, yağda su verme ve 450°C, 500°C, 550°C, 600°C ve 650°C sıcaklıklarda menevişleme sonrası ölçülen çekme mukavemetleri ve sertlik değerleri kıyaslandığında, 450°C meneviş sonrası



çekme mukavemeti yaklaşık 1450-1500 MPa gelirken sertlik değerleri 400-450 HB arasında gelmiştir. Bizim çalışmamızda ostenitleme, menevişleme sıcaklığı ve süresi farklı olması sebebiyle 860°C ostenitleme ve 480°C menevişleme şartlarında yapılan denemelerin sonuçları kıyaslandığında çekme mukavemeti yaklaşık 1358 MPa, sertlik değerleri ise 395 HB seviyelerindedir. Aradaki yaklaşık 100 MPa lık çekme mukavemeti veya 50 HB sertlik farkının sebebi bizim çalışmamızdaki ostenitleme ve menevişleme sıcaklığı ve süresinden kaynaklandığı açıkça görülmektedir.



## KAYNAKLAR

- [1] <http://www.steel.org/en/About%20AISI.aspx> Erişim Tarihi:01.04.2016.
- [2] Akbaş, A., Bağcı, M., Yeşilmen, N., Ahmet, S., Metallerin İşlenmesi Mesleki ve Teknik Öğretim Kitapları, Milli eğitim bakanlığı basımevi, İstanbul, 1998.
- [3] ASM Metals Handbook. Volume 1, Properties and Selection, Iron, Steel and High Performance Alloys, Tenth Edition, Materials Park, Ohio, USA, 1063 s., 1997.
- [4] Şen, U., Bindal, C., Yılmaz, F. Çeşitli Yenileme İşlemlerine Uğratılan SAE 4140 Tank Palet Çeliklerinin Özellikleri, 6. Denizli Malzeme Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 70-75 s., 1995.
- [5] Tekin, E., Mühendisler İçin Çelik Seçimi, MMO Yayın No, 119, 285 s., 1992.
- [6] Güleç, Ş., Aran, A. Malzeme Bilgisi, Cilt, 2, TÜBİTAK Yayını, MBEAE Matbaası, Gebze, 1987.
- [7] MKE Kurumu Genel Müdürlüğü, 1454 sayı 8 Nisan tarihli yazı., 1993.
- [8] Avner, S.H., Introduction to Physical Metallurgy, McGraw Hill Book Company, 2.ed., New York, 315-336., 1986.
- [9] Choo, S., Lee, S. and Golkovski, M. G., Effects of accelerated electron beam irradiation on surface hardening and fatigue properties in an Ç-4140 steel used for automotive crankshaft, Materials Science and Engineering A293, 56-70 s., 2000.
- [10] Oliveira, F., Hernandez, L., Berrios, J.A., Villalobos, C., Pertuz, A. and Cabrera, E.S.P., Corrosion-fatigue properties of a 4340 steel coated with Colmonoly 88 alloy, applied by HVOF thermal spray, Surface and Coatings Technology, 133-134, 68-77 s., 2000.
- [11] Buytoz, S., AISI 4340 celiğinin nitrurasyon ve GTA kaynak yontemi ile yuzey modifikasyonu islemleri sonrası mekaniksel davranislarinin arastirilmesi, Fırat Universitesi FBE, Doktora Tezi, Elazığ, 190 s., 2004.
- [12] Charre, M. D., Microstructure of steel and cast irons, (Trans. J.H. Davidson), Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York 2004, 417 s., 2004.

- [13] Özçatalbaş Y., 1050, 4140 ve 8620 Çeliklerinin Isıl İşleme Değişen Mikroyapı Ve Mekanik Özelliklerine Bağlı İşlenebilirlikleri. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitim Bölümü, Doktora Tezi, 1996.
- [14] Uzkut M. ve Özdemir İ., Farklı Çeliklere Uygulanan Değişen Isıtma Hızlarının Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi, Fen ve Mühendislik Dergisi, İzmir, 66-74, 2001.
- [15] Aydınoglu B., Az Alaşımli Krom-Molibden Çeliklerinin Yapı Kontrolü. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2002.
- [16] Köksal S., Uzkut M. ve Ünlü B., Farklı Karbon İçerikli Çeliklerin Mekanik Özelliklerinin Isıl İşleme Değişimi, Fen ve Mühendislik Dergisi, Manisa, 95-100, 2004.
- [17] Bayrak M., Fahrettin O., Mehmet D. Ve Zafer E., Temperleme ısııl işleminin DIN 41Cr4 ve DIN 42CrMo4 çeliklerinin malzeme özelliklerine etkisi, Journal of Materials Engineering and Performance, 597-600, 2006.
- [18] Doruk İ., Yivsiz Setsiz Av Ve Spor Tüfeklerinde Kaliteyi Arttırmak Amacıyla Kritik Parçalarda İyileştirme Çalışmaları, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, 2010.
- [19] Farahat A. ve Shehata G., Sıcak dövmenin 4140 çeliğinin mikroyapı ve aşınma direncine etkisi, ResearchGate, 5-11, 2013.
- [20] Kam M., Saruhan H. Ve Kara F., Isıl İşlem Görmüş Millerin Dinamik Davranışlarının Deneysel Analizi, İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi, 81-90, 2016.
- [21] Krauss, G., Steel; Heat Treatment and Processing Princeples, Materials Park, Ohio, 548 s., 1997.
- [22] Tayanç, M., Toktaş, A., SAE 4140 Çeliğinin İslahında Menevişleme Sıcaklığının İç Yapı ve Süneklik Üzerine Etkisinin İncelenmesi, Kalıp Dünyası, Yıl, 3, Sayı, 15., 2002.
- [23] Asil Çelik. Teknik Yayınlar, 2002.
- [24] Erdoğan, M., Mühendislik Alaşımalarının Yapı ve Özellikleri, Nobel Yayın Dağıtım Ltd Sti, Ankara, 120-153, 338 s., 2000.
- [25] Pope, J. E., Rules of Thumb for mechanical engineers, Gulf Publishing Company, Houston, Texas, 264, 405 p., 1997.
- [26] Stahlschlüssel, Key to Steel, Verlag Stahlschlüssel Wegst GmbH, Almanya., 2004.

- [27] T.M.M.O.B Çelik ve Dökme Demirlerin Metalografisi ve Mekanik Muayenesi Kursu Eğitim Notları, 2001.
- [28] Smith, William F., Structure and Properties of Engineering Alloys. 2nd ed., New York: McGraw Hill. 156 s., 1993.
- [29] Berns H., Theisen W., Ferrous Materials: Steels and Cast Iron, 39 s., 2008.
- [30] Topbaş, M.A., Isıl İşlemler, 90-102., 1993.
- [31] Topbaş, M.A., Endüstri Malzemeleri- 1. Cilt, 44-141., 1993.
- [32] Güleç, Ş., Aran, A., Malzeme Bilgisi-Cilt 2, İ.T.Ü Makina Fakültesi Ofset Atölyesi, İstanbul, 16-90., 1995.
- [33] Sınha, A.K., Ferrous Physical Metallurgy, Research&Engineering Center, Michigan, 14-40., 1989.
- [34] <http://www.matweb.com/search/datasheettext.aspx?matguid=4644996007054e12b78d49666b8253c3> Erişim Tarihi:01.05.2016.
- [35] Stahlschlüssel, Çelik el kitabı, versiyon 1995.
- [36] Tükel, N., Demir- Karbon Alaşımları, İ.D.M.M.A. Makina Bölümü Malzeme ve Ölçme Tekniği Kürsüsü, İstanbul., 1979.
- [37] Tekin, E., Mühendisler için Çelik Seçimi, T.M.M.O.B makine Mühendisleri Odası Yayını, Ankara.
- [38] Smith, W.F., 1996. Principles of Materials Science and Engineering, Third Edition, McGraw-Hill, Inc.517-520., 1986.
- [39] Tekin, A., Çeliklerin Metalurjik Dizaynı, İ.T.Ü Yayınları, İstanbul, 54-88., 1981.
- [40] Topbaş, M.A., Eylül. Çelik ve Isıl İşlem El Kitabı, İstanbul, 169-231., 1998.
- [41] Stahllüssel versiyon, 2001.
- [42] Tekin, A., Çelik ve Isıl İşlemi, İ.T.Ü Yayınları, İstanbul., 1984.
- [43] Brooks, C.R., Principles of the Heat Treatment of Plain Carbon and Low Alloy Steels, USA, 36-480., 1996.
- [44] Kayalı, E.S.; Ensari, C.: “Metallere Plastik Şekil Verme ilke ve Uygulamaları”, İTÜ, İstanbul, 86-1, 1986.
- [45] Çiğdem, M., İmal Usulleri,Ders kitabı, s.120-130., 1996.

- [46] Çapan, L., Metallere Plastik Şekil Verme, Ders kitabı, s.144-189., 1999.
- [47] Sözüo, H.: “Kapalı Kalıpta Dövme Dizaynı”, Y.Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, 1987.
- [48] Serim, İ.: “Dövme Sanayi Teknolojisi”, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, İstanbul, 1978,97.
- [49] “Metallere Plastik Şekil Verme”, Çağlayan Kitapevi, İstanbul, 1999.
- [50] Çapan, L.: “Dövme Teknolojisi”, Trakya Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, (1987)
- [51] İslah Çeliklerinin Akışkan Yatak Ortamında Isıl İşlemleri, Cemil ŞENOCAK, Haziran, 2002.
- [52] <http://www.istanbul.edu.tr/eng/metalurji/duy/lab/cii.pdf> Erişim Tarihi:01.04.2015.
- [53] MEGEP, Metal Teknolojisi, Yüzey Sertleştirme -1, Ankara, 2006.
- [54] Ashby, M. F. and Jones, D.R.H., Engineering Materials, 2nd ed., Oxford, UK: Butterworth-Heinemann, 125-132 p., (vol. 1). 322p, (vol. 2). 392 p., 1998.
- [55] Speich, G. R. and Taylor, K. A., Tempering of ferrous martensites, In: Olson G B, Owen W S (eds.) Martensite. ASM International, Materials Park, OH, 243-275., 1992.
- [56] Yıldırım, M.M., Doğantan, Z.S., Pakdil, M. ve Cakan, A., Muhendislik Malzemeleri -III-, MKU Mustafa Kemal Üniversitesi Yayınları, No:11, İskenderun, 10-30,(b) 194 p., 2001.
- [57] Roberts, G., Krauss, G. and Kennedy, R., Tool Steels, 5th edn. ASM International, Materials Park, OH, 364 p., 1998.
- [58] Adır, M. AISI 4140 Çeliği. Bozok Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Uygulama Projesi, 2006.
- [59] <http://abis.bozok.edu.tr/dosya/dosyalar/882/%C3%87elikler%20ve%20Is%C4%B1%20C4%B0%C5%9Flemler.pdf> Erişim Tarihi:01.04.2016.

## ÖZGEÇMİŞ

Gürkan Balıkçı, 17.01.1985 de İstanbul'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Kocaeli/Gebze'de tamamladı. 2003 yılında Gebze Anadolu Lisesi, Fen Bölümü'nden mezun oldu. 2004 yılında başladığı Cumhuriyet Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nü 2009 yılında bitirdi. 2009 yılında Sakarya Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisansa başladı. 2010 – 2012 yılları arasında Çakmak Makina Sanayi ve Tic. Ltd. Şti'nde kalite mühendis olarak çalıştı. Şu anda Omtaş Otomotiv Transmisyon Aksarı A.Ş. şirketinde Kalite Güvence Müdürlüğü departmanında görevine kalite uzmanı olarak devam etmektedir. 2013 yılından bu güne kadar şirketin kalite anlamındaki çalışmalarında ve TÜBİTAK, SSM/TEİ gibi kurum ve kuruluşlarla ortak yürüttüğü projelerde aktif rol aldı.