



**T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TEMPERLEME SICAKLIKLARININ AISI 4140 VE AISI 4340
ÇELİKLERİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE
ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

ERDEM SARAÇ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
DR. ÖĞR. ÜYESİ NURSEL ALTAN ÖZBEK**

DÜZCE, 2019

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEMPERLEME SICAKLIKLARININ AISI 4140 VE AISI 4340
ÇELİKLERİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE
ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Erdem SARAÇ tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Dr. Öğr. Üyesi Nursel ALTAN ÖZBEK

Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Nursel ALTAN ÖZBEK

Düzce Üniversitesi

Doç. Dr. Fuat KARA

Düzce Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Harun GÜL

Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 24/07/2019

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

24 Temmuz 2019



Erdem SARAÇ

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimimde ve bu tezin hazırlanmasında gösterdiği her türlü destek ve yardımlarından dolayı çok değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Nursel ALTAN ÖZBEK'e en içten dileklerimle teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca değerli katkılarını esirgemeyen iş arkadaşlarım İbrahim AKDÜMBEK, Ramazan UZUN, Caner ARSLAN ve Kıvanç ÇETİNKAYA'ya şükranlarımı sunarım.

Bu çalışma boyunca yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen sevgili aileme ve özellikle eşim Sultan Burcu SARAÇ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışması, Düzce Üniversitesi BAP-2018.22.01.722 numaralı Bilimsel Araştırma Projesiyle desteklenmiştir

24 Temmuz 2019

Erdem SARAÇ

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ŞEKİL LİSTESİ	VIII
ÇİZELGE LİSTESİ	IX
SİMGELER	X
ÖZET	XI
ABSTRACT	XII
1. GİRİŞ	1
1.1. LİTERATÜR ÇALIŞMASI	2
2. ÇELİKLER	8
2.1. ISLAH ÇELİKLERİ	8
2.2. SEMENTASYON ÇELİKLERİ	9
2.3. NİTRÜRLENEBİLEN ÇELİKLER	9
2.4. OTOMAT ÇELİKLERİ	9
2.5. PASLANMAZ ÇELİKLER	10
2.6. TAKIM ÇELİKLERİ	11
3. DİYAGRAMLAR	12
3.1. DEMİR-KARBON DENGİ DİYAGRAMI	12
3.2. TTT (ZAMAN-SICAKLIK-DÖNÜŞÜM) DİYAGRAMI	13
3.3. CCT (SÜREKLİ-SOĞUMA-DÖNÜŞÜM) DİYAGRAMI	15
4. ÇELİKLERİN ISIL İŞLEMİ	16
4.1. TAVLAMA	16
4.1.1. Yumuşatma Tavlama	16
4.1.2. Gerilme Giderme Tavlama	16
4.1.3. Yeniden Kristalleştirme Tavlama	17
4.1.4. Normalleştirme Tavlama	17
4.2. SERTLEŞTİRME	17
4.3. ISLAH ETME	17
4.3.1. Su Verme	17
4.3.1.1. Su	18
4.3.1.2. Yağ	18
4.3.1.3. Tuzlu Su Çözeltisi	19
4.3.1.4. Hava	19
4.3.2. Menevişleme	19
4.4. SEMENTASYON	19

4.5.	İNDÜKSİYONLA YÜZEY SERTLEŞTİRME	20
5.	MALZEME MUAYENE YÖNTEMLERİ.....	21
5.1.	TAHRİBATSIZ MUAYENE YÖNTEMLERİ	21
5.1.1.	Radyografi Yöntemi	21
5.1.2.	Manyetik Parçacık Yöntemi	23
5.1.3.	Penetrant Yöntemi.....	24
5.1.4.	Ultrasonik Test.....	25
5.1.5.	Girdap Akımları (Eddy-Current) Yöntemi.....	26
5.1.5.1.	Alternatif Akım Alan Ölçümü	27
5.1.5.2.	Uzak Alan Testi	27
5.2.	TAHRİBATLI MUAYENE YÖNTEMLERİ.....	27
5.2.1.	Çekme Deneyi.....	27
5.2.2.	Sertlik Testi	28
5.2.2.1.	Rockwell Sertlik Deneyi	28
5.2.2.3.	Brinell Sertlik Deneyi.....	29
5.2.2.4.	Vickers Sertlik Deneyi.....	29
5.2.3.	Çentik Darbe Testi.....	29
5.2.3.1.	Darbe testinde sıcaklığın etkileri	30
5.2.3.2.	Malzemede çentik hassasiyeti	30
5.2.4.	Jominy Testi	30
5.3.	AŞINMA DENEYİ.....	31
5.3.1.	Sürtünme ve Aşınma	31
5.3.1.1.	Sürtünme	31
5.3.1.2.	Aşınma.....	31
5.3.2.	Aşınma Kaybı Ölçüm Yöntemleri.....	32
5.3.2.1.	Ağırlık Farkı Metodu.....	32
5.3.2.2.	Kalınlık Farkı Metodu.....	33
5.3.2.3.	İz Değişim Metodu	33
6.	MATERYAL VE YÖNTEM.....	34
6.1.	MATERYAL.....	34
6.2.	YÖNTEM.....	34
6.2.1.	Isıl İşlemler	35
6.2.1.1.	Sertleştirme	36
6.2.1.2.	Temperleme Isıl İşlemi	37
6.2.2.	Testler	37
6.2.2.1.	Sertlik Testi.....	37
6.2.2.2.	Çekme Testi	38
6.2.2.3.	Darbe Testi.....	39
6.2.2.4.	Aşınma Testi.....	40
6.2.2.5.	Mikroyapı Analizi.....	40
7.	BULGULAR VE TARTIŞMA.....	43
7.1.	İŞLEM GÖRMEMİŞ NUMUNLER.....	43
7.2.	SERTLİK TESTİ BULGULARI.....	45
7.3.	ÇEKME TESTİ BULGULARI	46
7.4.	DARBE TESTİ BULGULARI.....	50
7.5.	AŞINMA TESTİ BULGULARI	52

7.6. MİKROYAPI BULGULARI.....	53
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	61
KAYNAKLAR.....	63
ÖZGEÇMİŞ.....	66



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 3.1. Demir - Karbon denge diyagramı [32].	12
Şekil 3.2. SAE/AISI 4140 çeliğine ait TTT diyagramı [34].	14
Şekil 3.3. SAE/AISI 4340 çeliğinin sabit sıcaklıkta TTT diyagramı [35].	14
Şekil 3.4. SAE/AISI 4340 çeliği için sürekli soğuma CTT diyagramı [35].	15
Şekil 3.5. SAE/AISI 4140 çeliğinin sürekli soğuma CTT diyagramı [34].	15
Şekil 5.1. Döküm malzemede sıcak yırtılma hatası örneği.	22
Şekil 5.2. Malzemede gözeneklenme örneği.	22
Şekil 5.3. MT yöntemiyle tespit edilen çatlak örnekleri.	23
Şekil 5.4. PT metodu ile tespit edilen hata örnekleri.	24
Şekil 5.5. UT cihazı ekranında hata ekoları.	26
Şekil 6.1. Deney akış şeması.	34
Şekil 6.2. Sertleştirme fırını ve sertleştirme yapılan numuneler.	36
Şekil 6.3. Temperleme (Meneviş) fırını.	37
Şekil 6.4. Sertlik deney numuneleri.	37
Şekil 6.5. Makro sertlik ölçme cihazı.	38
Şekil 6.6. Çekme deney numunesi gösterimi [37].	38
Şekil 6.7. Çekme deney cihazı.	39
Şekil 6.8. Darbe deney numunesi [38].	39
Şekil 6.9. Darbe test cihazı.	39
Şekil 6.10. Aşınma deney numune ölçüleri.	40
Şekil 6.11. TRDWear aşınma test cihazı.	40
Şekil 6.12. Mikroyapı analizi numuneleri.	41
Şekil 6.13. Struers Citopress-20 model otomatik bakalit alma cihazı.	41
Şekil 6.14. Struers TegraPol-21 zımpara- Struers-Tegra Force 5 parlatma cihazı.	42
Şekil 6.15. Nikon Epiphot 200 optik mikroskop cihazı.	42
Şekil 7.1. AISI 4140 çeliğinin ısıtılma işlemi olmadan önceki mikroyapı görüntüleri	43
Şekil 7.2. AISI 4340 çeliğinin ısıtılma işlemi olmadan önceki mikroyapı görüntüleri	43
Şekil 7.3. AISI 4140-4340 çeliğinin temperleme sıcaklıklarına bağlı sertlik değişimi.	45
Şekil 7.4. AISI 4140 ve AISI 4340 malzemelerin akma dayanımı grafikleri.	46
Şekil 7.5. AISI 4140 ve AISI 4340 malzemelerin çekme dayanımı grafikleri.	46
Şekil 7.6. AISI 4140 ve AISI 4340 malzemelerin yüzde uzama grafikleri.	47
Şekil 7.7. AISI 4140 numunelerinin çekme grafikleri a) 0 °C b) 300 °C c) 450 °C d) 550 °C e) 650 °C.	48
Şekil 7.8. AISI 4340 numunelerinin çekme grafikleri a) 0 °C b) 300 °C c) 450 °C d) 550 °C e) 650 °C.	49
Şekil 7.9. AISI 4140 ve AISI 4340 malzemelerin tokluk grafikleri.	50
Şekil 7.10. AISI 4140 çeliğinin darbe testi grafiği.	51
Şekil 7.11. AISI 4340 çeliğinin darbe testi grafiği.	51
Şekil 7.12. AISI 4140 ve AISI 4340 malzemelerin aşınma oranı grafikleri.	52
Şekil 7.13. AISI 4140 ve AISI 4340 malzemelerinin sürtünme katsayısı grafikleri.	52
Şekil 7.14. Temperleme yapılmamış numunelerinin X200 mikroyapı görüntülemesi...	53
Şekil 7.15. Temperleme yapılmamış numunelerinin X500 mikroyapı görüntülemesi...	53

Şekil 7.16. Temperleme yapılmamış AISI 4140 numunelerinin X1000 içerisinde X3000 mikroyapı görüntülemesi.	54
Şekil 7.17. Temperleme yapılmamış AISI 4340 numunelerinin X1000 içerisinde X3000 mikroyapı görüntülemesi.	54
Şekil 7.18. 300 °C’de temperlenmiş numunelerin X200 mikroyapı görüntülemesi a) AISI 4140 b) AISI 4340.....	55
Şekil 7.19. 300 °C’de temperlenmiş numunelerin X500 mikroyapı görüntülemesi a) AISI 4140 b) AISI 4340.....	55
Şekil 7.20. 300 °C’de temperlenmiş AISI 4140 numunelerinin X1000 içerisinde X3000 mikroyapı görüntülemesi.	56
Şekil 7. 21. 300 °C’de temperlenmiş AISI 4340 numunelerinin X1000 içerisinde X3000 mikroyapı görüntülemesi.	56
Şekil 7.22. 450 °C’de temperlenmiş numunelerin X200 mikroyapı görüntülemesi a) AISI 4140 b) AISI 4340.....	57
Şekil 7.23. 450 °C’de temperlenmiş numunelerin X500 mikroyapı görüntülemesi a) AISI 4140 b) AISI 4340.....	57
Şekil 7.24. 450 °C’de temperlenmiş AISI 4140 numunelerinin X1000 içerisinde X3000 mikroyapı görüntülemesi.	58
Şekil 7.25. 450 °C’de temperlenmiş AISI 4140 numunelerinin X1000 içerisinde X3000 mikroyapı görüntülemesi.	58
Şekil 7.26. 550 °C’de temperlenmiş numunelerin X200 mikroyapı görüntülemesi a) AISI 4140 b) AISI 4340.....	59
Şekil 7.27. 550 °C’de temperlenmiş numunelerin X500 mikroyapı görüntülemesi a) AISI 4140 b) AISI 4340.....	59
Şekil 7.28. 650 °C’de temperlenmiş numunelerin X200 mikroyapı görüntülemesi a) AISI 4140 b) AISI 4340.....	60
Şekil 7.29. 650 °C’de temperlenmiş numunelerin X500 mikroyapı görüntülemesi a) AISI 4140 b) AISI 4340.....	60

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 6.1. AISI 4140 çeliğinin kimyasal bileşenleri.	34
Çizelge 6.2. AISI 4340 çeliğinin kimyasal bileşenleri.	34
Çizelge 6.3. Numune hazırlama tablosu.	35
Çizelge 6.4. Soğutma sıvısının özellikleri.	36
Çizelge 7.1. İşlem görmemiş AISI 4140-4340 çeliklerinin çekme testi sonuçları.	44
Çizelge 7.2. İşlem görmemiş AISI 4140-4340 çeliklerinin darbe testi sonuçları.	44



SİMGELER

Ac1:	Perlitin ostenite kritik dönüşüm sıcaklığı
Ac3:	Çelik hacminin ostenite kritik dönüşüm sıcaklığı
Ar1:	Ostenitten perlite kritik dönüşüm sıcaklığı
Ar3:	Ostenitten ferrite kritik dönüşüm sıcaklığı
B:	Beynit
Bi	Bizmut
Fe ₃ C:	Sementit
Pb	Kurşun
S	Kükürt
L	Eriyik Çelik
Mn	Manganez
M	Martensit
Ms	Martensit başlangıcı
Mf:	Martensit bitişi
Te	Tellür
P	Perlit
Se	Selenyum
y	Ostenit
a	Ferrit

ÖZET

TEMPERLEME SICAKLIKLARININ AISI 4140 VE AISI 4340 ÇELİKLERİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Erdem SARAÇ

Düzce Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Nursel ALTAN ÖZBEK

Temmuz 2019, 65 Sayfa

Islah çelikleri, özellikle kimyasal bileşimlerindeki karbon içeriği açısından sertleştirmeye uygun olan ve işlem sonunda belirli bir çekme dayanımında yüksek tokluk gösteren, alaşımlı ve alaşımsız makine imalat çelikleridir. Bu özelliklerini, içerdikleri Cr ve Mo elementlerinin su verme sonucu yüksek oranda martenzitik yapı oluşturma özelliğinden alırlar. Endüstride kullanılan tüm makine sistemlerinde ihtiyaç duyulan bu üstün mekanik özellikleri içinde barındırdıkları için dişli, şaft, kaplin vb. neredeyse tüm makine parçalarında kullanılırlar. Sunulan bu çalışmada, sanayide geniş kullanım alanına sahip olan AISI 4140 ve AISI 4340 ıslah çeliklerinin su verme işleminden sonra uygulanan temperleme ısı işlemi sıcaklığının çeliğin mekanik özellikleri üzerine etkileri araştırılmıştır. Numuneler öncelikle talaşlı imalat yöntemi ile hazırlanmış, ardından 850 °C sıcaklıkta oda sıcaklığındaki yağda su verme işlemi uygulanmış ve ardından numuneler 300, 450, 550 ve 650 °C olmak üzere dört farklı sıcaklıkta 1 saat süre ile temperleme işlemine tabi tutulmuş oda sıcaklığında soğutulmuştur. Mekanik özelliklerinin belirlenmesi için numunelerin sertlik ölçümleri yapılmıştır. Ayrıca numuneler çekme ve darbe deneylerine tabi tutulmuştur. Metalografik muayene yöntemi ile ortaya çıkan mekanik değerlerin mikro yapı ile bağlantısına bakılmıştır. Sonuç olarak 300 °C’de malzemelerin akma-çekme mukavemetleri ve sertlik değerlerinin yüksek sıcaklıkta temperlenmiş numunelere göre daha iyi olduğu, aynı zamanda en iyi darbe dayanımı ise temperleme sıcaklığının artmasıyla birlikte 650 °C’de temperlenen numunelerde görülmüştür.

Anahtar sözcükler: AISI 4140, AISI 4340, Temperleme, Çekme, Darbe deneyi, Mikroyapı.

ABSTRACT

THE EFFECTS ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF AISI 4140 AND AISI 4340 STEELS OF THE TEMPERING TEMPERATURE

Erdem SARAÇ

Düzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Mechanical
Engineering

Master's Thesis

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Nursel ALTAN ÖZBEK

July 2019, 65 Pages

Hardenable steels are alloyed and unalloyed machine manufacturing steels, which are particularly suitable for hardening especially in terms of carbon content in their chemical compositions and which exhibit high toughness at a certain tensile strength at the end of the process. They contain these properties as a result of the quenching of Cr and Mo elements with high martensite structure. Because of the superior mechanical properties of corrosion steels, which are needed industry, they are used in almost all machine parts (gear, shaft, coupling, and so on). In this study, the effects of tempering temperature on the mechanical properties of AISI 4140 and AISI 4340 treatment steels applied after quenching, which have wide usage area in industry, were investigated. Samples were first prepared by machining and then oil quenching at room temperature at 850 °C was applied, and then samples were cooled to room temperature for 1 hour at 4 different temperatures, 300, 450, 550 and 650 °C. For the determination of mechanical properties, the hardness measurements of the samples were made. Samples were also subjected to tensile and impact tests. The relation of the mechanical values with the microstructure was investigated by the metallographic examination method. As a result, the yield, tensile strength and hardness values of the materials at 300 °C were better than the tempered samples at high temperature while the best impact resistance was observed in the samples tempered at 650 °C with the increase of tempering temperature.

Keywords: AISI 4140, AISI 4340, Tempering, Tensile strength, Impact test, Microstructure.

1. GİRİŞ

Çelik, çok çeşitli alanlarda ve çeşitli amaçlarda kullanıldığı için ve yapısı itibari ile tanımlanması oldukça zor bir terimdir. Öte yandan çelik hayatımızın her alanında ihtiyaç duyduğumuz bir malzemedir. Düşük alaşımlı orta karbonlu çelikler son yıllarda birçok endüstride önemli ölçüde kullanılmaktadır. Bu çelikler sanayide haddelenmiş ya da döküm olarak çok çeşitli kullanım alanına sahiptirler. Mekanik özellikleri bakımından yüksek mukavemetli olmalarının yanında yüksek tokluk özelliklerini de içlerinde barındırmaları, bu çelikleri çok tercih edilir hale getirmiştir. Düşük alaşımlı çelikler, hem düşük maliyette olmaları hem de döküm yapılabilir olmaları sebebi ile karmaşık şekilli parçaların üretilmesinde de tercih edilirler [1]. AISI 4140 ve AISI 4340 çelikleri yaygın olarak dişliler, civatalar, kaplinler, iğler, takım tutucular, dişliler, takım bağlantıları vb. makine elemanları imalatında kullanıldığı görülmektedir. Bu tür çelikler ısıtıl işlem sonrası en belirgin fazlarının temperlenmiş martenzit olduğu, QT (quench&tempering) çelikler olarak sınıflandırılır [2].

Günümüzde gelişen teknoloji ile birlikte ıslah çeliklerinin yaygın kullanımı ile buna bağlı olarak mekanik ve metalografik yapılarının iyileştirilmesinde uygulanacak ısıtıl işlemler giderek önem kazanmaktadır [3]. Çeliklerin içyapısındaki dönüşümler uygulanan ısıtıl işlemlerle ilişkilidir. Çeliğin fiziksel ve mekanik özelliklerine en büyük etkiyi bu dönüşümlerin bileşimi, türü ve metalografik yapısı yapmaktadır [4], [5].

Çok çeşitli yükleme koşullarında deformasyon sırasında metallerin mekanik özelliklerinin anlaşılması, bir dizi mühendislik uygulaması için oldukça önemlidir. Yüksek mukavemetli çeliği tartışırken, tanımın farkına varmak çok önemlidir. Yüksek dayanım denilen şey tamamen çeliğin nasıl kullanılacağına bağlıdır. Bu kullanımlar farklı özellik kombinasyonlarının gerekli olduğu birkaç farklı kategoriye girme eğilimindedir. Bu kategorilerin her birinde, yüksek mukavemetli çeliklerin geliştirilmesi için yürütülen çalışmaların üretim süreçlerini alması, ısıtıl işlem ve alaşım teknolojisi dikkate alınır. Örneğin; AISI 4340 çeliği, makine elemanlarının uygulamaları için avantajlı bir mukavemet, süneklik ve tokluk kombinasyonu sağlayan, yaygın olarak kullanılan düşük alaşımlı martenzitik bir çelik olmasına rağmen, belirli bir sıcaklık aralığında temperleme işlemi sırasında gevrekleşmeye açıktır. Bu hatayı önlemek için,

AISI 4340 çeliğinin farklı tavlama koşullarında mikro yapı ve mekanik özellikleri üzerine bir çalışma gerekli hale gelmektedir [6]. AISI 4140 çeliği incelendiğinde ise, Cr ve Mo alaşım elementleri nedeniyle bu çeliğin su vermeden sonra sert martensitik yapı oluşturabildiği ve kuvvet, süneklik ve tokluk gibi mekanik özelliklerin bir kombinasyonunu sağladığı görülmüştür. Bütün bu nedenlerden dolayı, AISI 4140 çeliği her zaman tercih edilen ve kullanılan bir çeliktir [1]. Fakat temperleme sırasında oluşabilecek çatlamlar dikkate alınarak uygun sıcaklıklarda ısıtılmalı ve ısıtılmalıdır. Uygulanan tavlama işlemi ve sonrası temperleme şartlarına bağlı olarak malzemenin tüm mekanik özellikleri değişkenlik göstermektedir.

Tüm bu şartlar altında AISI 4140 ve AISI 4340 çeliklerinin ıslah işleminden sonra mekanik özelliklerinin belirlenmesi ve uygun şartların sağlandığının kontrol edilmesi gerekmektedir. Bu amaçla bu çalışmada AISI 4140 ve AISI 4340 çelikleri, su verme işlemine ve ardından dört farklı sıcaklıkta temperleme işlemine tabi tutulmuştur. Numuneler sertlik, çekme deneyi ve darbe deneyine tabi tutularak; su verme işleminden sonra uygulanan temperleme ısıtılma sıcaklığının çeliklerin mekanik ve mikroyapısal özellikleri üzerine etkileri araştırılmıştır.

1.1. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Bu bölümde, literatürde çeşitli çelik türlerine yapılan ıslah işlemleri ile ilgili çalışmaların özetleri sunulmuştur. Son olarak yapılan literatür araştırmasının değerlendirilmesine yer verilmiştir.

Meysami vd., sıcak haddelenmiş AISI 4140 çeliğine Direk su verme-temperleme (DQ-T) ve tekrar ısıtarak su verme-temperleme (RQ-T) işlemlerinin malzemenin mekanik özellikleri üzerine etkilerini araştırmışlardır. Bu amaçla RQ-T işlemi için 450x450 mm² ölçülerindeki külçeleri 1200 °C tavladıktan sonra çubuk şeklinde haddelenmişler ardından çubukları 840 °C’de 2 saat re-östenizasyon işlemine tabi tuttukten sonra 60 °C derecedeki su havuzuna soğumaya bırakmışlardır. Soğuyan malzemeler 630 °C’de 2 saat temperlemişlerdir. DQ işlemi için çubuk şekline getirilen malzemelerden 20 m uzunluğunda ve farklı çaplarda (75, 80, 85, 100, 105 ve 115 mm) çelik numuneler 829, 836, 850, 850, 863, 871 °C’de iken 60 °C de su tankına atılarak su verme işleminin ardından 630 °C’de 2 saat süre ile temperleme işlemine tabi tutulmuştur. Numunelerin mikro yapı analizleri yapılarak çekme dayanımı, akma dayanımı, setlik ve darbe tokluğu gibi mekanik özellikleri ölçülmüştür. Sonuçlar, DQ işleminin sertliği daha efektif bir

şekilde arttırdığını, DQ prosesinin RQ prosesine göre gerilme mukavemeti ve akma gerilmesi değerlerinde daha başarılı olduğu, RQ çeliklerinin daha yüksek darbe direncine sahip olduğu gibi veriler elde edilmiştir [2].

Zou vd., temperleme işleminin, 00Cr13Ni4Mo süpermartenzitik paslanmaz çelik (SMSS)'nin mikro yapısal evrimi ve mekanik özellikleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Numuneler 1150 °C sıcaklıkta sıcak haddelenmiş olarak hazırlanıp daha sonra 1040 °C'de 1 saat çözelti işlemine tabi tutulduktan sonra oda sıcaklığına suda soğutulmuştur. Daha sonra numuneler 520-720 °C sıcaklık aralığında 3 saat süreyle temperlenmiş ve ardından havada soğutulmuştur. Çıkan sonuçlara göre en uygun sıcaklık değerleri alınıp başka numuneler 3-12 saat aralığında sürelerle temperlenip havada soğutularak en uygun temperleme zamanı belirlenmiştir. Isıl işlemlerden sonra, mikro yapı analizini (taramalı elektron mikroskopu ile), X-ışını difraksiyon muayenelerini, sertlik ölçümlerini ve çekme testleri gerçekleştirmişlerdir. En iyi sonuç olarak, 1040 °C'de 1 saat + su soğutmada ve 600 °C'de 3 saat + hava soğutmasında temperlenerek üstün mekanik özelliklerin elde edildiğini ortaya koymuşlardır [7].

Lee vd., çalışmalarında AISI 4340 yüksek mukavemetli alaşımlı çeliğinin farklı temperleme koşulları altında mekanik özellikleri ve mikro yapılarını araştırmışlardır. Numuneleri 25,4 mm çapında hadde malzemeden seçmişler ve önce 850 °C'de 30 dakika östenitize (tavlama) etmişler daha sonra martenzit üretmek üzere yağda soğutmuşlardır ve daha sonra 100, 200, 250, 300, 400, 500 ve 650 °C'de, sırasıyla 2 ve 48 saat süreyle her biri için 3 numune olacak şekilde ısıtmışlardır. (MTS 810) dinamik kırılma testi makinesi vasıtasıyla $3,3 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ 'lik bir sabit gerilme oranı ile yükleme yapmışlardır. Çökme ve kırılma mekanizmalarını analiz etmek için örneklerin fraktografisini de yapmışlardır. Elde edilen sonuçlar mekanik özelliklerin ve mikro yapısal özelliklerin temperleme sıcaklığından ve temperleme süresinden önemli ölçüde etkilendiğini göstermektedir. Temperli martensitin sertliğinin ve dayanımının temperleme sıcaklığı ve tutma süresi arttıkça düştüğünü gözlemlemişlerdir [6].

Uzkut ve Özdemir, farklı çeliklere uygulanan değişen ısıtma hızlarının mekanik özelliklere etkisinin incelenmesi adında bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada C1020 (düşük karbonlu), C1040 (orta karbonlu) ve C4140 (düşük alaşımlı) çelikleri 6,25 ve 900 °C/dk hız aralıklarında oda sıcaklığında ve tuz banyosu ortamlarında 900 ve 750 °C derecelerde östenit sıcaklığını geçene kadar ısıtarak sonrasında havada soğutmuşlardır. Uygulanan yavaş, orta ve hızlı ısıtma hızlarının numunelerin mekanik özelliklere olan

etkileri incelenmiştir. Tüm numunelerinin, mukavemet değerleri belirlenerek birbirleri arasında mukayese ederek, artan ısıtma hızına bağlı olarak en yüksek mukavemet artış oranının 4140 çeliğinde olduğu saptanmıştır [3].

Koksal vd., farklı karbon içerikli çeliklerin mekanik özelliklerinin ısıtma işlemle değişimini inceleyen bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmalarında, farklı karbon oranlarındaki çeliklere önce 900 °C’de 30 dakika bekleterek normalizasyon yapmışlar ardından Ç1020 için 900 °C, Ç1030 için 870 °C, Ç1040 için 860 °C, Ç1050 için 845 °C de 30 dk. ısıtarak su verme işleminin ardından 100, 200, 400 ve 600 °C sıcaklıklarda temperleme işlemi uygulamış, havada soğutulmuş ve malzemelerin mekanik özelliklerinin değişimi araştırmışlardır. Çeliklere çekme deneyi uygulanarak F- Δ l eğrileri elde edilmiştir. Eğriler yardımıyla mukavemet katsayısı, deformasyon sertleşmesi üssü, akma ve çekme dayanımı değerleri bulunmuşlardır. Sonuç olarak karbon oranındaki artış, akma ve çekme dayanımı değerlerini artırmıştır. Mukavemet katsayısı ve deformasyon sertleşmesi üssü su verme sıcaklığının artışı ile önemli derecede azaldıkları görmüşlerdir. Özellikle Ç1040 ve Ç1050 çeliklerde, akma ve çekme dayanımını belirgin bir şekilde azaldığı tespit edilmiştir [8].

Güler ve Özcan, yüksek karbonlu çelik malzemeye su verme işleminin mekanik dayanıma olan etkilerini araştıran bir çalışma yapmışlardır. Bu işlem için %0,71 değerinde Karbon içeren bir malzeme seçmişlerdir. Numuneler fırında 700 ile 900 °C aralığında 30 dk. ısıtıldıktan sonra suda soğutma işlemlerini gerçekleştirmişlerdir. Uygulanan çekme deneyleri ve sertlik ölçümleri sonucunda, malzemenin su verme işlemiyle gevrekleştiği ve dayanımının düştüğü sonucuna varılmışlardır. Optimum dayanımın 700 °C’de olduğunu gözlemlemişlerdir [9].

Kesti, Ç4140 çeliğinin su verme ortamı ve farklı temperleme sıcaklıkları sonucunda mekanik yapısındaki değişimlerini deneysel olarak incelemiştir. Çeşitli sayıda hazırladığı numunelerin iki âdetine önce 870 °C’de 25 dk. Normalizasyon+hava soğutma işlemine tabi tutmuştur, ardından 20 adet numuneye 840 °C’de 25 dk. tavlamaştır. 10 adet yağda, 10 adet suda soğutmuştur. İçlerinden bazı numunelere 150 °C, 300 °C, 450 °C ve 600 °C’de 2 saat temperleme+hava soğutma işlemi uygulamıştır. Yapılan ısıtma işlemleri sonucunda numuneler çekme, darbe deneyine tabi tutulmuş ve mikro yapıları irdelenmiştir. Bunun sonucunda su verme ortamına göre ve farklı, temperleme sıcaklıklarına göre Ç4140 çeliğinin mekanik ve mikroyapı özelliklerini tespit etmiştir. Aynı su verme ortamları için farklı temperleme sıcaklıkları sonuçları arasındaki farkları ile farklı su verme ortamlarının aynı temperleme işlemleri sonundaki

farkları incelemiştir. Sonuç olarak su ortamında soğutulan numunelerde çatlak oluştuğu, yağda soğutulan malzemelerin temperleme sıcaklığı arttıkça akma ve çekme dayanımının düşük olduğu en uygun temperleme sıcaklığının 150 °C olduğunu gibi çeşitli bilgiler sunmuştur [1].

Çalığülü vd., temperleme işleminin yağda soğutulan çeliklerin mikroyapı ve sertlik özelliklerine etkisini araştırmışlardır. 38MnVS6 mikro alaşımlı çelik ve 41CrMo4 çelik malzemelere 900 °C’de 1 saat tavlama sonrası yağda soğutma işlemi uygulanmışlardır. Yağda soğutulan çelik malzemeler 300 °C, 400 °C ve 500 °C sıcaklıklarda 1 saat sürede temperleme işlemine tabi tutulmuş olup, temperleme işleminin mikro yapı ve mekanik özelliklerine etkisi incelemişlerdir. Numunelerin mikro yapı incelemeleri yapılmış, temperleme öncesi ve sonrası sertlik testi uygulamışlardır. Sonuç olarak, çeliklerde temperleme sıcaklığına bağlı olarak martenzitik yapıdan beynitik yapıya dönüşüm gözlemlenirken, sertlik değerlerinin de temperleme sıcaklığına bağlı olarak düştüğünü göstermişlerdir [10].

Öztürk vd., DIN 41Cr4 ve DIN 42CrMo4 çeliklerde ısıtılma işleminin mekanik özelliklere etkisini araştırmışlardır. Numuneleri önce 850 °C’de 40 dk. tavlamışlar, sonra 90 °C’de yağda soğutmuşlardır. Daha sonra malzemeleri 450, 500, 550, 600, 650 °C’de 60 dk. temperlemişlerdir. Temperleme işleminin sonucunda elde edilen mekanik özellikleri karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak temperleme sıcaklığının değiştirilmesi ile 41Cr4 malzemesinin 42CrMo4 malzemesinin mekanik özelliklerine sahip olabileceğini tespit etmişlerdir. 42CrMo4 malzemesinin yerine 41Cr4 malzemesinin kullanılması halinde maliyet açısından tasarruf sağlanacağı ve malzeme kullanımındaki farklılıkların ortadan kalkacağını tespit etmişlerdir [11].

Koksal vd., AISI 1060 çeliğine tavlama sıcaklığı ve soğutma ortamları değiştirilerek malzemenin içyapısı ve mekanik özelliklerinde oluşan değişimleri araştırmışlardır. Tavlama sıcaklığı 820 °C ve 950 °C olup, 25 dk. süresince numuneler bekletilmiş ve havada, suda ve yağda soğutulmuştur. Ayrıca suda soğutulan numunelere 600 °C’de gerilim giderme tavı da uygulanmıştır. Çentik darbe deneyi ve mikro sertlik ölçümleri ile yapıda oluşan değişimleri gözlemlenmiştir. Ayrıca optik mikroskop ile içyapı görüntüleri almışlardır. Sonuçlarda bu çeliğin 820 °C sıcaklıktan su, yağ ve hava ortamında soğutulan numunelerde elde edilen tokluk artışı su, yağ ve hava sırasıyla olduğu ve daha sonra uygulanan ısıtılma işlemle önemli oranda tokluk artışı elde edildiğini bildirmişlerdir [12].

Rashidi ve Moshrefi-Torbati çalışmalarında temperleme süresinin ve sıcaklığının sfere dökme demir üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Demir indüksiyon ocağında dökülen demir numuneleri önce 950 °C’de 2 saat ısıtılmıştır ardından 760 °C’ye soğutarak 5 saatte bu sıcaklıkta tutmuşlar ardından fırın içinde soğumaya bırakmışlardır. Son olarak 900°C’de 8dk östenize edilen malzemeler ılık suda soğutulmuştur. Daha sonra bazı numuneler 300 °C, 400 °C, 450 °C, 500 °C ve 600 °C’de 1 saat temperlenmiş özel olarak 500 °C için 30, 90, 120, 150, 180 dk. olarak farklı temperleme zamanı uygulamışlardır. Sonuç olarak temperleme sıcaklığının akma stresine, nihai gerilme mukavemetine, darbe mukavemetine ve uzama yüzdelerini bularak sıcaklık 500 °C olduğunda temperleme süresinin etkisini göstermişlerdir [13].

Li vd., temperasyon işleminin G18CrMo2-6 ısıya dayanıklı çeliğinin mukavemet ve darbe tokluğuna ve mikro yapı gelişimine etkisini incelemişlerdir. Numuneleri önce 1100 °C’de 20 saat tavlama işlemi uygulamışlar ardından 940 °C’de normalizasyon işlemi uygulamışlardır. Sonrasında 680 °C’de 1-100 saat aralığında zamanlarda temperlemişlerdir. Çıkan numuneleri TEM cihazında mikro yapıları karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak temperli mikro yapılarda 3 çeşit karbür çökmesi olduğu, kısa süreli temperlemede çekme mukavemetinin arttığını, uzun süreli temperlemede tokluğun arttığı, darbe tokluğunun da azaldığını söylemişlerdir [14].

Sanij vd., Tek (CQT) ve çift (DQT) su verme ve temperleme ısı işlemlerinin AISI 4140 çeliğinin mikro yapı ve mekanik özellikleri üzerine etkisini araştırmışlardır. Numuneleri önce 860 °C’de 60 dakika süreyle ıslatmış ve ardından 80 °C sıcak yağda söndürme işlemi uygulamışlardır. CQT işlemi için bazı numuneleri 600 °C’de 30 dk. temperlemişlerdir. DQT işlemi iki aşamalı olarak önce 300 °C’de 60 dk. ardından 600 °C’de 30 dk. olarak uygulamışlardır. Sonuç olarak DQT ve CQT işlemleri kıyaslandığında DQT işleminin darbe tokluğuna %23 bir avantaj sağladığını, bununla birlikte daha gevrek bir malzeme elde edilmesini sağlarken, CQT işleminde yüzey çatlakları çok düşük seviyede olduğunu söylemişlerdir [15].

Yan vd., temperleme sıcaklığının 9Cr-3W-3Co ısıya dayanıklı martenzitik çeliğinin tokluğuna etkisini incelemişlerdir. Öncelikle malzemeleri 1100 °C’de 3 saat normalize ettikten sonra 740 -780 °C’de 3 saat temperlenmiş ve havada soğutmuşlardır. Sonuç olarak temperleme sıcaklığının artması malzeme tokluğunun artırdığını, bu artışı metalin yumuşamasına ve aynı zamanda çatlak yollarının artmasına bağlamışlardır [16].

Qin vd., temperleme sıcaklığının 00Cr16Ni5Mo martenzitik düşük karbonlu paslanmaz çeliğine etkilerini incelemişlerdir. Numuneleri önce 1000 °C’de 1 saat normalize

işleminden sonra havada soğutmuşlar ardından sırasıyla 525 °C, 550 °C, 575 °C, 600 °C ve 625 °C’de 2 saat temperleyerek yine havada soğutmaya bırakmışlardır. Ardından çeşitli testler uygulayarak sonuçları yorumlamışlardır. Sonuç olarak 550 °C’de ve 600 °C’de 2 saat temperlenen numuneler, gerilme, uzama, darbe enerjisi, sertlik ve korozyon direncinin mükemmel bir kombinasyonuna sahip olduğunu söylemişlerdir [17].

Salemi ve Abdollah-zadeh temperleme sıcaklığının NiCrMoV çeliğinin mekanik özelliklerine ve kırılma morfolojisine etkisini incelemişlerdir. Numuneleri önce 870 °C’de 1 saat tavlama işleminden sonra oda sıcaklığında yağda soğutmuşlardır, ardından tüm numuneleri 200-600 °C sıcaklık aralığında 1 saat temperlemişlerdir. Çekme testi sonuçları olarak, artan temperleme sıcaklığı ile akma dayanımı (YS) ve maksimum gerilme mukavemetinin (UTS) azaldığını söylemişler, bununla birlikte UTS’nin YS karşılaştırıldığında daha yüksek oranda azaldığını, ayrıca numunelerin yüzeylerinde sünek kırılma mekanizması olduğunu gösteren çukurların var olduğunu, Charpy V-Çentik (CVN) darbe enerjisi temperlenmiş martensit gevrekleşmesine (TME) dair herhangi bir kanıt olmadan, temperleme sıcaklığının artırılmasıyla geliştiğini söylemişlerdir. TME’nin eksikliği, kimyasal bileşime, yani incelenen çeliğin Mn, Si ve Mo içeriğine atfetmişlerdir [18].

Zhang vd., su verilmiş ve temperlenmiş 25CrMo48V çeliklerin martensitik morfolojisinin mekanik özelliklerine etkisini incelemişlerdir. Çelik borudan kesilen 12 mm x 12 mm x 100 mm’lik çelik levhaları, 900, 950, 1000, 1050, 1100, 1150, 1200 °C’deki farklı sıcaklıklarda su verdikten sonra 650 °C’de temperlemişlerdir. Mikro yapıları optik mikroskop (OM), alan emisyonunu taramalı elektron mikroskobu (FESEM), elektron geri saçılma difraksiyonu (EBSD) ve transmisyon elektron mikroskobu(TEM) ile karakterize etmişlerdir [19].

Literatürde AISI 4140 ve AISI 4340 çelikleri için ayrı ayrı incelemeler olduğu, ayrıca temperleme işleminin mekanik yapıya etkisinin birçok farklı çelik üzerinde araştırıldığı görülmektedir. İki çeliğin birbiri ile karşılaştırılmadığı görülmüştür. Ayrıca aşınma testleri üzerine fazla yoğunlaşmadığı fark edilmiştir. İşte bu nedenle bu çalışmada AISI 4140 ve AISI 4340 çeliklerinin ıslah işleminden sonraki mekanik yapıları karşılaştırılmış olup, Çekme-Darbe-Sertlik ve Aşınma testleri ile sonuçlar analiz edilmiştir. Bulunan sonuçların mikro yapılarına bakılarak karşılaştırılması yapılmıştır.

2. ÇELİKLER

Çelik terimi yaklaşık %2'den daha az miktarlarda karbon içeren demir esaslı bir alaşım anlamına gelir. Genellikle ölçülebilir miktarlarda manganez içerir ve kolayca şekillendirilebilir. Karbon çeliği ise kendine has özelliklerini, içerdiği karbonlara borçlu olan çeliktir. Karbon çeliği sektördeki en yaygın kullanılan malzemelerden biridir. Bu malzeme örneğin enerji santrallerindeki su ve buhar basıncı içeren sistemlerin çoğunda, aynı zamanda bu sistemlerin destek parçalarında da kullanılmaktadır. Alaşımlı çelikler, ayırt edici özelliklerini özellikle karbon dışındaki bazı elemente veya elementlere borçlu olan çeliklerdir [20].

Çelik türlerinden bazılarını inceleyecek olursak;

2.1. ISLAH ÇELİKLERİ

Islah çelikleri, sertleştirilmeye uygun çeliklerdir. Islah çelikleri yüksek dayanım ve yüksek tokluk özelliği gereken durumlar için kullanılmaktadır. Bu nedenle, çeliği sertleştirme işleminden sonra, tavlama (ıslah etme) işlemi uygulanarak hem sert (dayanımı yüksek) hem de sünek (Tok – Darbe Dayancı Yüksek) çelik elde edilir. İlk önce sertleştirme ve ardından temperleme (genellikle yüksek sıcaklıkta temperleme) art arda uygulandığında ıslah işlemi olarak adlandırılır. Islah çelikleri alev ve indüksiyonla sertleştirilebilirler. Bu şekilde, ısıtma işlemi görecektir malzemenin seçiminde kimyasal bileşim, sertlik değeri ve yüzeyde elde edilecek sertleşme derinliği dikkate alınmaktadır [5], [21].

Islah Çelikleri kimyasal yapılarına göre 4 gruba ayrılır.

1. Alaşımsız ıslah çelikleri

2. Mangan Alaşımlı Islah çelikleri

3. Krom alaşımlı Islah çelikleri

4. Krom-Molibden alaşımlı Islah çelikleri

2.2. SEMENTASYON ÇELİKLERİ

Sementasyon çelikleri, karbon içeriği %0,2'den az olan çeliklerdir. Sementasyon işleminden sonra sert ve aşınmaya dayanıklı dişli çark, mil, makara, kesici alet gibi uygulama alanlarına sahiptirler. İç kısımları yumuşak ve dış kısımları ise serttir. Sertleştirmenin tüm işlemlerden sonra yapılabilmesi ve sertleştirme öncesi yumuşak çeliklerle aynı yapıya sahip olması talaşlı imalat uygulamasını kolaylaştırır. Sertleşmesi istenmeyen yüzeylerin bakır ve bronz gibi ısı iletim katsayısı düşük maddelerle kaplanarak korunabilmesi, malzemenin iç kısımları tok olduğu için çarpılma ve çatlak oluşumunun en az seviyede olması gibi avantajlara sahiptir.

Tipik olarak, sementasyon ve su verme işlemlerinin sonunda 58 - 62 HRC lik bir kabuk sertliği ve 10 - 40 HRC'lik bir çekirdek sertliği elde edebilmek mümkündür. Bununla beraber tüm bu sertliklerin elde edilmesinde kimyasal kompozisyon, iş parçası ölçüleri ve ısıtma işlem prosedürleri etkilidir. Sementasyon işlemi yapıldığı ortama göre üç şekilde uygulanmaktadır [22], [23].

- Gaz ortamda sementasyon işlemi,
- Sıvı ortamda sementasyon işlemi,
- Katı ortamda sementasyon işlemi.

2.3. NİTRÜRENEBİLEN ÇELİKLER

Nitrürleme, yüzeye azot emdirme işlemidir. İçeriğinde düşük seviyede karbon yanı sıra Mo, Cr, Al, Ti, V elementlerini içeren çelikler bu gruba girer. Islah işleminden sonra 500 - 550 °C arasında nitrürleme yapılır. Nitrürleme sıcaklığının ıslah sıcaklığından düşük olması gerekmektedir.

2.4. OTOMAT ÇELİKLERİ

Otomat çelikleri yüksek miktarda Kükürt (S) ve Manganez (Mn) içeren alaşımsız çeliklerdir. Kırılgan ve küçük boyutta talaş oluştururlar. Bu nedenle hızlı takım tezgâhlarında (tek veya çok millî) işlenmeleri daha uygundur. Bazen kesme hızlarını artırabilmek için içeriklerine kurşun (Pb), Tellür (Te), Selenyum (Se) ve Bizmut (Bi) eklenerek üretilmektedirler. Diğer tüm çeliklere oranla daha fazla kükürt içerirler. İlave

edilen bu elementler malzemede metalik kırılganlık sağlayarak, kısa kırılgan talaş oluşumunu sağlar. Kükürt ve fosfor çelikte yağlama etkisi ile parça dayanımının artmasına, işlenen parçada temiz yüzey elde edilmesine olanak tanır [24], [26].

Otomat çelikleri ısıtıl işlem uygulananlar, ısıtıl işlem uygulanmayanlar ve sementasyon işlemi uygulananlar olarak üç gruba ayrılır. Otomat çelikleri, hassas ölçü toleranslarında soğuk çekilmiş olarak kullanılır. Yüzey hassasiyeti h9, h11 toleransları dâhilinde üretilmektedir.

2.5. PASLANMAZ ÇELİKLER

Paslanmaz çelik yüksek alaşımlı bir çelik türüdür. Paslanmaz çelik imalatı için gerekli temel alaşım elementi kromdur. Düşük karbonlu çeliklere %11 ve üzerinde krom alaşım elementi ilave edilerek atmosfer koşullarında korozyon direnci sağlanmaktadır. Krom metali çelik yüzeyinde pasif özellikte ve yenilenebilir krom oksit (Cr_2O_3) tabakası oluşturmaktadır. Krom oksit tabakası çeliğin koroziif ortamlara karşı oksitlenme direncini arttırmaktadır [27].

Paslanmaz çeliklerde krom elementi yanı sıra nikel, manganez, molibden, bakır, azot gibi alaşım elementleri de kullanılmaktadır. Alaşım elementi ilavesi ile paslanmaz çeliklerin fiziksel yapısı, mekanik özellikleri ve korozyon dayanımı değişmektedir. Paslanmaz çelikler kimyasal bileşimlerinde bulunan alaşım elementlerinin etkilerine bağlı olarak beş gruba ayrılmaktadır.

- Östenitik Paslanmaz Çelikler
- Ferritik Paslanmaz Çelikler
- Martenzitik Paslanmaz Çelikler
- Ferritik-Östenitik (Dubleks) Paslanmaz Çelikler
- Çökelme Sertleşmeli Paslanmaz Çelikler [28], [29].

Başlıca kullanım alanları mutfak eşyaları, evyeler, ev aletleri, endüstriyel mutfaklar, kimya ve petro kimya sektörü, gıda sektörü, otomotiv sanayi, eşanjör ve boyler üretimi olarak gösterilebilir.

2.6. TAKIM ÇELİKLERİ

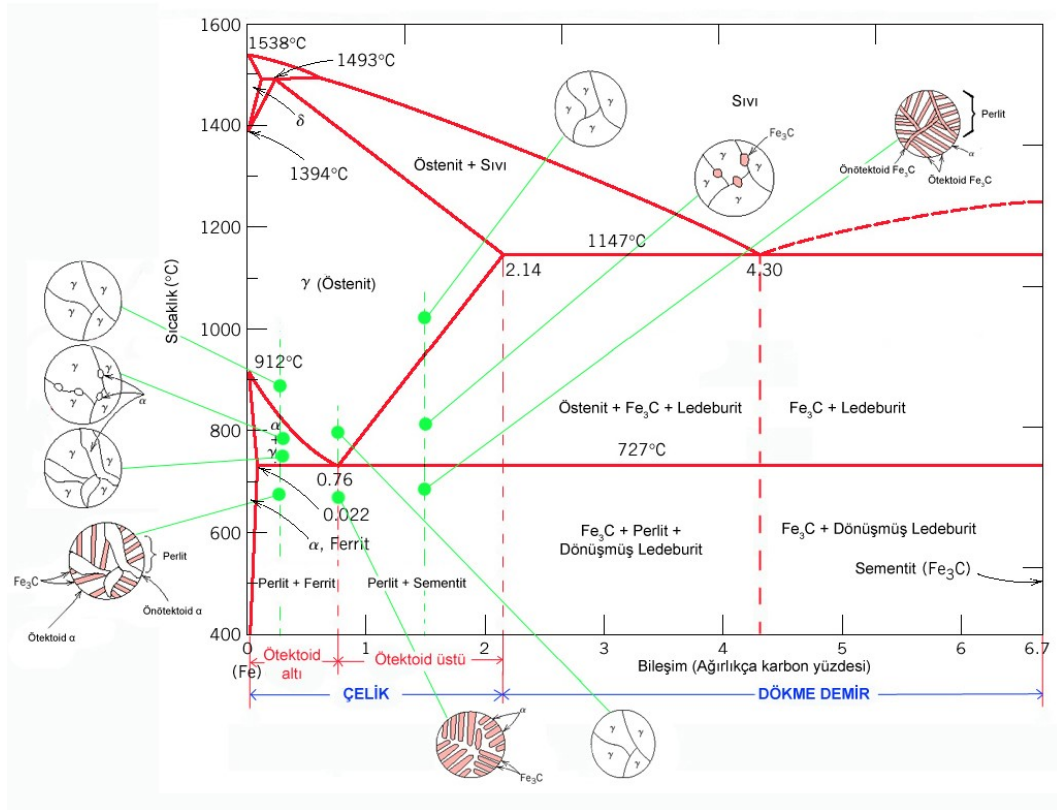
Takım çelikleri, diğer çeliklere nazaran daha farklı çalışma ortamına sahip olduklarından diğer çelikler göre farklı bir kategoride değerlendirilirler. Takım çelikleri, tüm talaşlı imalat malzemelerinin üretiminde kullanıldıkları için büyük öneme sahiptirler. Takım çelikleri ile sıcak-soğuk haldeki tüm iş parçasını kesme, dövme, delme, eğme, bükme, form verme, ekstürüzyon ve benzeri yöntemlerle şekillendiren takım ve kalıplar imal edilir. Takım ve kalıp yapımının yanı sıra, belirli özelliklerin gerekli olduğu makine parçalarının imalatında yüksek kaliteli takım çelikleri kullanılır. Takım çeliklerinin istenen özelliklerinden bazıları yüksek aşınma direnci, yüksek sertlik, yüksek tokluk, yüksek sıcaklık direnci, yüksek işlenebilirlik, yüksek sertlik ve homojen mikroyapıdır. Çalışma koşulları diğer çeliklere göre daha zorlu olduğundan, yüksek dayanıma sahip olmaları gerekmektedir. Çalışma koşullarına göre istenilen özellikler, yapısındaki karbon ve bileşiminde bulunan diğer alaşım elementleri ile sağlanır. Krom, vanadyum, molibden, volfram ve kobalt gibi elementler bu çeliklere üstün özellik katarlar. Mangan, nikel ve silisyumun, alüminyum, titanyum ve zirkonyum gibi elementler tane küçültücü etkiye sahip oldukları için bu çeliklerin içeriğine katılırlar.

Bugün, 500'den fazla farklı takım çeliği türü vardır. Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü (AISI) ve Otomotiv Mühendisleri Birliği (SAE) takım çeliklerini sertleştirme ortamları ve genel kullanımları dikkate alarak farklı gruplara ayırmışlardır [30], [31].

3. DİYAGRAMLAR

3.1. DEMİR-KARBON DENGİ DİYAGRAMI

Demir Karbon diyagramındaki katı fazlar Şekil 3.1’de gösterilmiştir. Başlıca fazlar şu şekilde özetlenebilir.



Şekil 3.1. Demir - Karbon dengi diyagramı [32].

Ferrit(α): HMK α-demirde çok küçük bir miktar karbon çözünmesiyle oluşan ara yer katı çözeltilisidir. Demirin oda sıcaklığındaki kararlı halidir. Maksimum karbon çözünürlüğü %0,022, oda sıcaklığında ise %0,008 C çözündürür.

Östenit(γ): YMK γ-demirde karbonun ara yer katı çözeltilisidir. Maksimum karbon çözünürlüğü %2,14 tür. 1050 MPa çekme mukavemeti, %10 uzama ve 40 HRC sertliğe ve yüksek tokluğa sahiptir. Oda sıcaklığında kararlı değildir. Belli koşullar altında oda sıcaklığında östenit yapı elde etmek mümkündür.

d-Ferrit: HMK demirde karbonun katı eriyiğidir. α -Fe ile aynı yapıdadır. Sadece yüksek sıcaklıklarda ($>1395\text{ }^{\circ}\text{C}$) kararlıdır.

Sementit (Fe_3C): Sementit aynı zamanda demir-karbür olarak da bilinir ve kimyasal formülü Fe_3C dir. %6,67 C ve %93,3 Fe içerir. Diyagramda görülen en sert yapıdır.

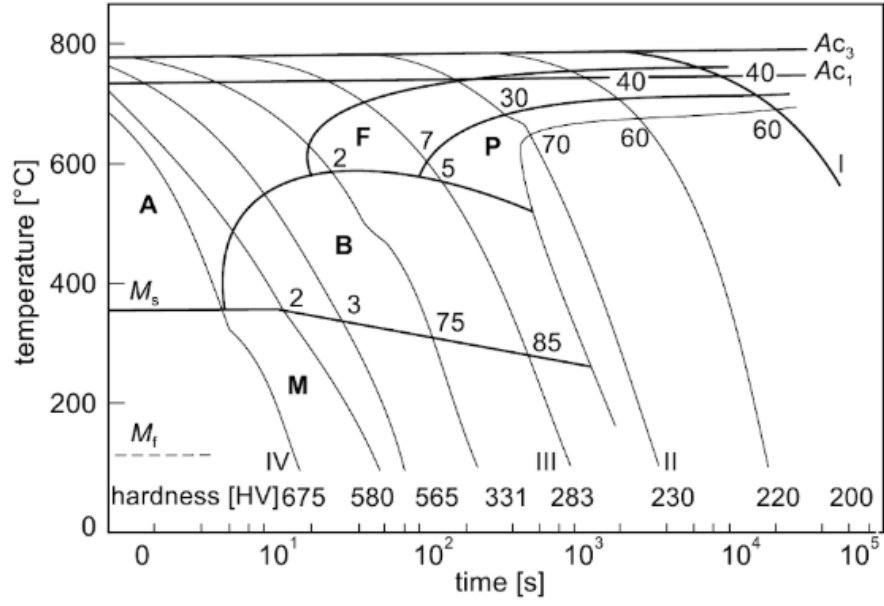
Perlit ($\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$): %0,8 karbon bulunan çeliğin östenit bölgesinden ağır olarak soğutulması sırasında $723\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de meydana gelen ötektoid dönüşüm sonunda oluşur. Perlitin iç yapısı ferrit ve sementit lamelleri içerir.

Ledeburit: %4,3 oranında karbon içeren demir-karbon alaşımının $1147\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta ötektik dönüşümle katılaşması ile oluşur, östenit ve sementit fazlarını içerir.

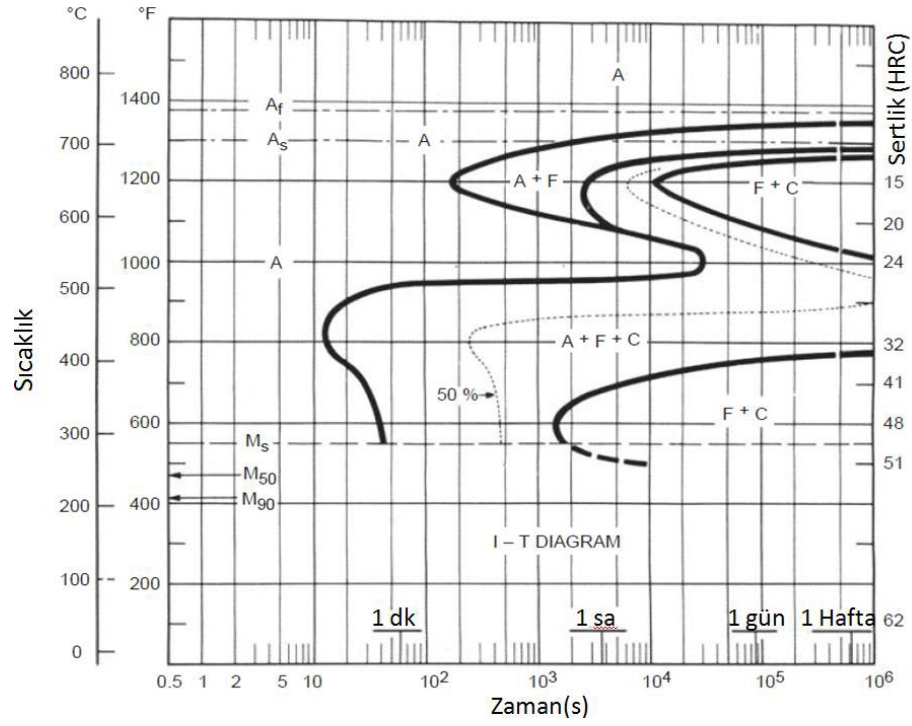
Dönüşmüş Ledeburit: Fe - Fe_3C denge diyagramında, ötektoid dönüşüm sıcaklığının ($723\text{ }^{\circ}\text{C}$) altında yer alan ledeburit demektir. Ötektoid dönüşüm sıcaklığının altındaki sıcaklıklarda östenit tanelerinin perlite dönüşmesi sebebiyle bu yapı perlit ve sementit karışımından oluşmaktadır.

3.2. TTT (ZAMAN-SICAKLIK-DÖNÜŞÜM) DİYAGRAMI

Zaman-sıcaklık dönüşüm diyagramları, östenit dönüşümü sırasında meydana gelen çok boyutlu olayları incelemek ve dönüşüm ürününün özelliklerini belirlemek için kullanılır. TTT (zaman-sıcaklık-dönüşüm) ve CCT (sürekli-soğutma-dönüşüm) diyagramları sıcaklık ve zamana bağlı olarak dönüşüm olaylarını gösterir. Şekil 3.2 ve Şekil 3.3'de izotermik dönüşüm için SAE/AISI 4140 ve SAE/AISI 4340 çeliklerine ait TTT diyagramı görülmektedir. TTT diyagramı ile çelikte istediğimiz yapı göz önüne alınarak hızla soğutma yapılacak sıcaklık belirlenir ve bu sıcaklıkta bekletilir. İstenilen dönüşüm gerçekleşinceye kadar sabit sıcaklıkta bekletilir ve tekrar soğutulur. Bu diyagramlar, çelik yapının tamamen perlit veya beynit olması istendiğinde kullanılır ve teorik olarak su verme ortamının etkileri görülür [33].



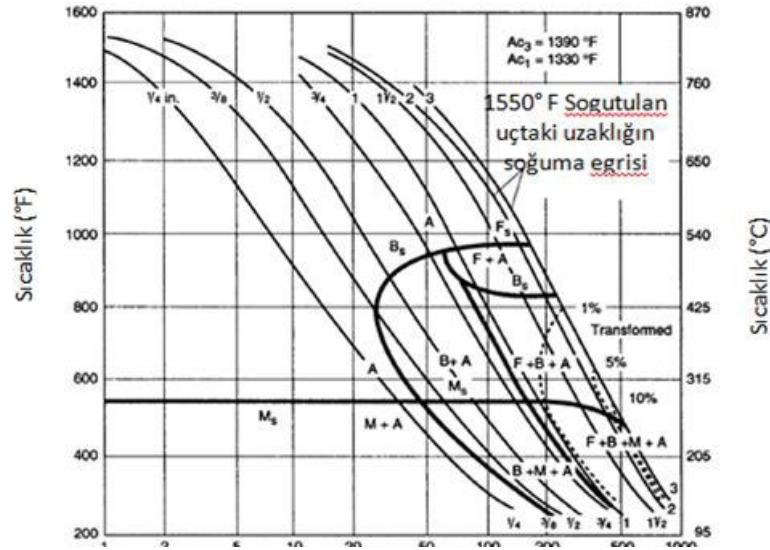
Şekil 3.2. SAE/AISI 4140 çeliğine ait TTT diyagramı [34].



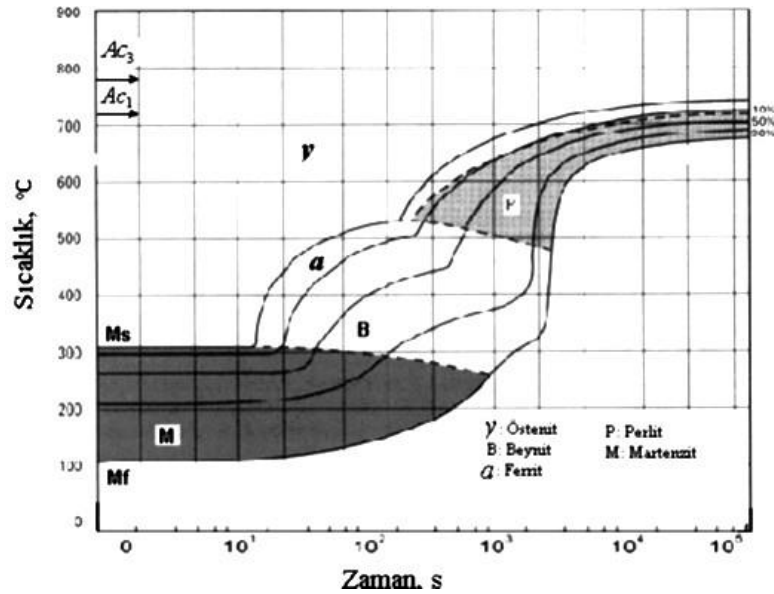
Şekil 3.3. SAE/AISI 4340 çeliğinin sabit sıcaklıkta TTT diyagramı [35].

3.3. CCT (SÜREKLİ-SOĞUMA-DÖNÜŞÜM) DİYAGRAMI

CCT diyagramı, tercih edilen soğutma hızlarının sonunda çelikte oluşturulacak yapıları gösterir. Yapının ostenit faz sıcaklığından (soğutma ortamı olarak su seçildiğinde) çok hızlı bir şekilde soğutulacağı ve martensite geri döneceği açıktır. Beynitik yapı, örneğin, yağda çok hızlı soğutulmamasıyla elde edilebilir. Yine Şekil 3.4 ve Şekil 3.5'te gösterildiği gibi, malzemenin bir ferrit ve perlit yapısı oluşturmak için yavaş soğutma gerektirdiği anlaşılmaktadır.



Şekil 3.4. SAE/AISI 4340 çeliği için sürekli soğuma CTT diyagramı [35].



Şekil 3.5. SAE/AISI 4140 çeliğinin sürekli soğuma CTT diyagramı [34].

4. ÇELİKLERİN ISIL İŞLEMİ

4.1. TAVLAMA

Malzemelerin, belirlenen bir sıcaklığa kadar ısıtılıp ardından soğutulması şeklinde gerçekleştirilen işlemlerdir. Tavlama işlemi işlem sıcaklıkları ve soğutma şekilleri yönünden farklı şekillerde ifade edilir. İşlem sonunda malzemenin talaşlı işlenebilirlik özelliğini geliştirmek, plastik şekillendirme özelliğini çoğaltmak, içyapı geliştirmek amaçlanır. Tavlama çeşitleri şu şekilde belirtilebilir.

4.1.1. Yumuşatma Tavlaması

Isıl işleme maruz kalmamış malzemeler, içerdikleri karbon içeriğine bağlı olarak oda sıcaklığında farklı sertlik gösterirler. Bazı malzemeler sertlikleri nedeniyle kolayca işlenebilir. Özellikle plastik deformasyon işlemleri için, malzemelerin minimum bir sertliğe sahip olması istenir. Bu nedenle, malzemeleri yumuşatmak için malzemelere yumuşatma tavlaması uygulanır. Çelik malzemelerin oda sıcaklığında yapıları içindeki karbon muhtevasına doğrudan orantılı olarak granüller ve ince levhalar şeklinde sıralı olarak düzenlenmiş karbür çökeltileri formundadır. Bu yapıdaki perlit denilen karbür plakaların yoğunluğu, malzemenin karbon içeriği ile artar ve bu da sertlikte bir artışa yol açar. Yumuşatma tavlaması yapılarak, uzatılmış yapının karbür plakaları daha kısa ve küresel bir yapıya dönüştürülür. Bu durumda, çelik orijinal formundan daha yumuşak ve daha kolay şekillendirilebilir bir yapıya sahiptir. Bu yöntem aynı zamanda küreselleşme tavlaması olarak da bilinir [36].

4.1.2. Gerilme Giderme Tavlaması

Ani ısıtma-soğutma, kaynak esnasında oluşan gerilim gibi koşulları ortadan kaldırmak için yapılmalıdır. İç gerilimleri ortadan kaldırmak için, parçaları en yüksek çalışma sıcaklığının üstünde ve faz dönüşüm sıcaklığının altında bir sıcaklıkta en fazla iki saat bekleterek yapılır.

4.1.3. Yeniden Kristalleştirme Tavlama

Plastik şekillendirme yöntemleri ile oluşturulan parçaların tane yapılarında, özellikle duvar bölgelerinde, kalıcı yapı hataları meydana gelir ve sertlik, mukavemet artışı, sünekliklerde azalma ve elektriksel iletkenlik azalması gibi durumlar oluşur. Faz dönüşüm sıcaklığının altındaki bir sıcaklıkta, bir saate kadar ısıtma ve yavaş soğutma, tanecik yapısı düzgün ve düzenli bir forma dönüştürülür ve deformasyon özellikleri geri kazanılır. Bu işlem aynı zamanda yeniden kristalleşme olarak adlandırılır.

4.1.4. Normalleştirme Tavlama

Tavlama işleminin tümü malzemeye iyi özellikler verir, ancak aynı zamanda tane kabalaşmasına neden olur. İşleme göre kaba taneli yapıların istenmediği durumlarda, malzemeler sertleşme sıcaklığına ısıtılır ve sakın havada soğumaya bırakılır. Normalizasyonu diğerlerinden ayırt edici olan, parçaların yavaş soğutma yerine sakın havada hızlı soğutulmasıdır. Bu durumda, tane yapısı daha incedir. Bu işlem normalleştirme olarak da bilinir [36].

4.2. SERTLEŞTİRME

Kullanım yerlerine göre çeşitli özellikler taşıması istenen malzemelere, istenilen özelliklere göre çeşitli ısıtma işlemleri uygulanarak sertleştirme işlemi yapılmak istenebilir. Yapılış özellikleri ve nihai yapı özellikleri göz önüne alınarak sertleştirme işlemi farklı başlıklar altında değerlendirilir.

4.3. ISLAH ETME

Kullanım yeri ve özelliklerine göre malzemenin istenen sertlik ve mekanik özelliklerini elde etmek için su verme ve temperleme işlemidir. Özellikle parçanın tüm bölümünün rijit olması istenen durumlarda kullanılır.

4.3.1. Su Verme

Su verme işleminde metallerin çoğu 715 ile 900 °C arasında ısıtılır. Isıtma işlemi sırasında, malzemenin sabit sıcaklıkta ısıtılması çok önemlidir. Sabit sıcaklıkta ısıtma, metalin istenen özelliklerinin elde edilmesine önemli rol oynar. Isıtmadan sonra soğutma için su verme ortamına geçilebilir. Soğutma işleminde, iş parçalarının su verme

sıvıları içinde kalması gerekir. Su verme ortamı olarak su, yağ kullanırsınız. Su verme aracı olarak suyun, metal yüzeyinde bir miktar çatlamaya neden olabileceği veya metal yüzeyini deforme edebileceği gibi bir dezavantajı vardır. Unutulmaması gereken bir şey, yağın soğutma hızının sudakinden daha yavaş olmasıdır. Su verme işlemi ayrıca inert gazların varlığında da uygulanabilir. Söndürme işleminde azot, helyum ve argon gibi inert gazlar kullanılabilir. Bu ısı işlem sürecinde, söndürme ortamı çok önemli bir rol oynar. Su verme ortamı istenen orandan daha yavaş bir oranda soğursa, çıkış metalinin beklenen özellikleri elde edilemeyebilir. Su verme ortamı istenen orandan daha hızlı bir şekilde soğursa, çıkış metalinde çatlaklar görülebilmektedir.

Avantajları;

- Su verme yoluyla doğru şekilde geçirilen malzeme daha dayanıklıdır ve daha fazla gerilme direncine sahiptir. Dolayısıyla, su verme metalin dayanıklılığını artırır.
- Su verme, diğer ısı işlemlere göre çok kolay ve basit bir işlemdir.
- Su verme çok daha az zaman alır ve dikkatli yapıldığında en etkili olanıdır.

Genel olarak, su verme, su verme ortamlarını dikkatlice seçmek zorunda olduğunuz hızlı soğutma tekniğidir. Bu ortamlar tüm söndürme işleminde önemli bir rol oynar. Bu ısı işlem tekniği, metalin dayanıklılığının yanı sıra sertliğinin de artırılmasını sağlar.

4.3.1.1. Su

Su verme işlemi sırasında metalleri soğutmanın en hızlı yoludur. Metalin bükülmesinin yanı sıra, kostik soda kullanırken cilde veya gözlere zarar verebileceklerinden güvenlik önlemleri alınmalıdır. 22 – 45 °C sıcaklıkları arasında tutulan suda yapılan sertleştirme en verimli olduğu bilinirken, 60 °C ve üstü sıcaklıklarda soğuma ciddi oranda yavaşlamaktadır.

4.3.1.2. Yağ

Bu, en popüler bir yöntem olma eğilimindedir, çünkü bazı yağlar metalleri hızlı bir şekilde soğutabilir. Yağlar risklidir, çünkü yanıcıdır. Bu nedenle, metal işçileri için çalıştıkları yağların sınırlarını bilmek, yangınları önlemek için sıcaklıklar ve yük ağırlıkları bakımından önemlidir. 50 - 80 °C arasında tutulan yağ en verimli olurken, soğutma esnasında yapının sürekli karıştırılması önerilir.

4.3.1.3. Tuzlu Su Çözeltisi

Suda su verme işlemini daha faydalı hale getirmek için suya sodyum hidroksit ilave edilir. %10 ve civarı oranlarda ilave edilen NaOH soğutma hızını fazlaca artırdığı bilinmektedir. Bu uygulama ile sertlik derinliği daha da artırılabilir.

4.3.1.4. Hava

En az verimli olan yöntemdir. Havanın soğutma hızının çok düşük olması bu söylemin en büyük sebebidir. Bu özelliğinden dolayı bu yöntem yüksek hız çelikleri için tercih edilir.

4.3.2. Menevişleme

Su vermeden sonra son yapı çok sert ve kırılmandır, anında soğutma sırasında iç gerilmelere sahiptir. Bu nedenle temperleme, malzemenin tokluğunu arttırmak için bir süre boyunca tekrar ısıtıp aynı sıcaklıkta tutarak malzemenin soğutulmasıdır.

İstenilen tokluk oranına, sertliğe ve son yapıya bağlı olarak farklı sıcaklıklarda temperleme yapılabilir. Temperleme, parçanın tamamen soğumasına izin verildikten sonra çatlamaya neden olabilir. Bu nedenle tavlama, parça 60 - 80 °C'ye düştükten hemen sonra yapılmalıdır.

4.4. SEMENTASYON

Sertleştirme için geleneksel ısı işlemler çeliğin kimyasal bileşimini değiştirmez yani eğer malzeme %0,4 karbon ile işleme tabi tutuluyorsa yine %0,4 karbon ile biter. Bununla birlikte bazen çelik yüzeyinin özelliklerini geliştirmek için kimyasal bileşimdeki değişiklikleri tamamlamak gerekli olabilir. Bu değişiklikler termo-kimyasal işlemlerle yapılır. Bu süreç temel olarak yüzeyin aşınma direnci, sertliğini ve gücünü artırırken, aynı zamanda çekirdek sünek (yumuşak) kalmasını amaçlar.

Sementasyon, düşük karbon içeriğine sahip çelik yüzeylere daha büyük miktarlarda karbon verilmesini içerir. Bu nedenle, orijinal karbon %0,25'in altında olduğunda hafif çelik veya alaşımlı çelik için endikedir. Sementasyon bu seviyeyi %1'e kadar yükselterek sert yüzeyler ve daha sert bir çekirdek sağlar. Ağır bükülme işlemlerine maruz kalacak orta veya yüksek oranda karbonlu çelikten parçalar kırılma eğilimindedir. Bununla birlikte, eğer düşük karbonlu çelikten (örneğin, SAE 1010) yapılmışlarsa ve sonra şekillendirilmiş ve semente edilmişse parçaların çatlama riski

olmadan başarılı sonuç elde etmek mümkündür. Sementasyon katı, gaz veya sıvı yöntemlerle yapılabilir.

4.5. İNDÜKSİYONLA YÜZEY SERTLEŞTİRME

Endüksiyon akımı ile parçanın yüzeyinin anında ısıtılması ve anında soğutulması ile yapılan yüzey sertleştirme işlemidir. Alev sertleşmesine benzer ancak işlem süresi ve yüzeyde yüksek ısı birikimi açısından daha verimlidir. İndüksiyonla ısıtma sonrası anında soğutma genellikle suyla yapılır ve yüksek karbonlu çeliklerde çatlama olasılığını arttırır. Soğutma suyu veya tuzun 60 °C civarında kullanılması çatlama ve iç gerilme olasılığını azaltır. Sertleşmeden sonra iç gerilmeleri gidermek için temperleme 150 - 200 °C’de yapılır [36].

5. MALZEME MUAYENE YÖNTEMLERİ

5.1. TAHRİBATSIZ MUAYENE YÖNTEMLERİ

Tahribatsız muayene (NDT) parçanın veya sistemin hizmet verilebilirliğini tahrip etmeden malzemelerin, bileşenlerin veya düzeneklerin süreksizlik veya özellik farkları için test edilmesi veya değerlendirilmesi sürecidir. Başka bir deyişle, muayene veya test tamamlandığında, parça hala kullanılabilir. Tahribatsız muayene yöntemlerinin tamamında malzemede göze görülemeyen malzemenin yüzeyinde veya içindeki hataları göze gösterebilir hale getirirken malzemeye zarar vermemek esastır.

Günümüzde modern tahribatsız testler, imalat işlemlerini kontrol etmek ve üretim maliyetlerini düşürmek ve aynı kalite seviyesini korumak için ürün bütünlüğü ve güvenilirliğini sağlamak için imalat ve hizmet teftişlerinde kullanılmaktadır.

Tıp alanında aynı işlemlerin çoğunu kullanırken, "nondestructive testing" teriminin genellikle tıbbi uygulamaları tanımlamak için kullanılmadığı belirtilmelidir.

Günümüzde kullanılan birçok NDT test metotları olmasına rağmen en sık kullanılan altı test metodu MT, PT, RT, UT, ET ve VT'dir. Bu test yöntemlerinin her biri burada açıklanacaktır.

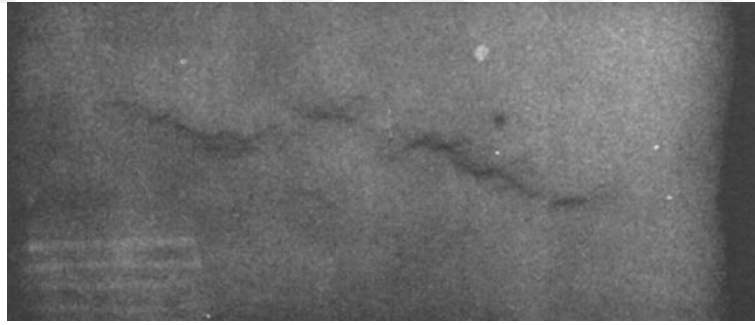
5.1.1. Radyografi Yöntemi

Endüstriyel radyografi, bir test nesnesinin nüfuz edici radyasyona maruz bırakılması anlamına gelmektedir. Radyasyon incelenen cisimden ve o cismin karşı tarafına yerleştirilmiş bir kayıt ortamından geçer. Alüminyum gibi daha ince veya daha az yoğun malzemeler için, elektriksel olarak üretilen x-ray (x-ışınları) yaygın olarak kullanılır, daha kalın veya daha yoğun malzemeler için gamma ışınları genellikle tercih edilmektedir. Gamma ışınları, en yaygın kullanılan iki gamma ışın kaynağı olan Iridium-192 (Ir-192) ve Cobalt-60 (Co-60) radyoaktif maddelerinin bozunumu ile elde edilir. Kayıt ortamı endüstriyel röntgen filmi veya çeşitli dijital radyasyon detektörlerinden biri olabilir. Her ikisi de test edilen parçanın içinden geçerek karşı taraftaki filme bir görüntü oluşturur. Film üzerinde ki koyu kısımlar daha çok ışının parçadan karşıya geçtiğini gösterirken, daha açık tonlu olan kısımlar daha az ışının parçadan geçtiğini gösterir. Eğer parçada bir boşluk var ise boşluk olan bölge filmde

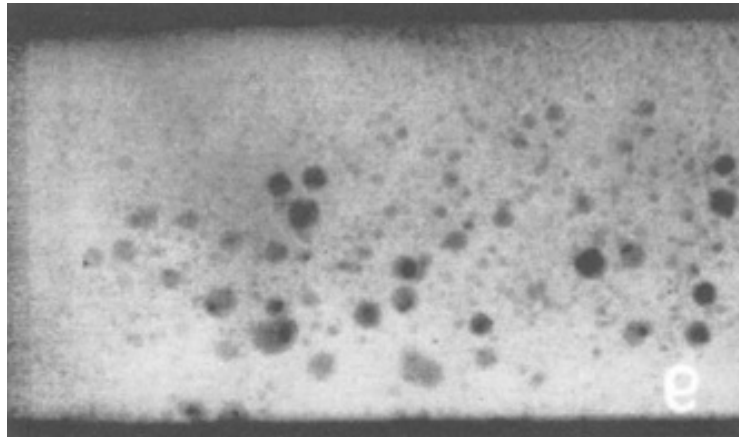
tam koyu olarak kendini belli eder. Bu testte malzemeler ışınlanırken malzemedeki tespit edilecek hatalara ışınların gelme açısı çok önemlidir. Radyasyon kaynakları seçilirken malzemenin cinsi, kalınlığı ve bulunduğu alan dikkate alınır. Bu metotta en önemli konu ise radyasyona maruz kalmamaktır.

Günümüzde uygulanan 4 farklı Radyografi yöntemi bulunmaktadır.

- Film Radyografisi
- Bilgisayarlı Radyografi
- Bilgisayarlı Tomografi
- Dijital Radyografi



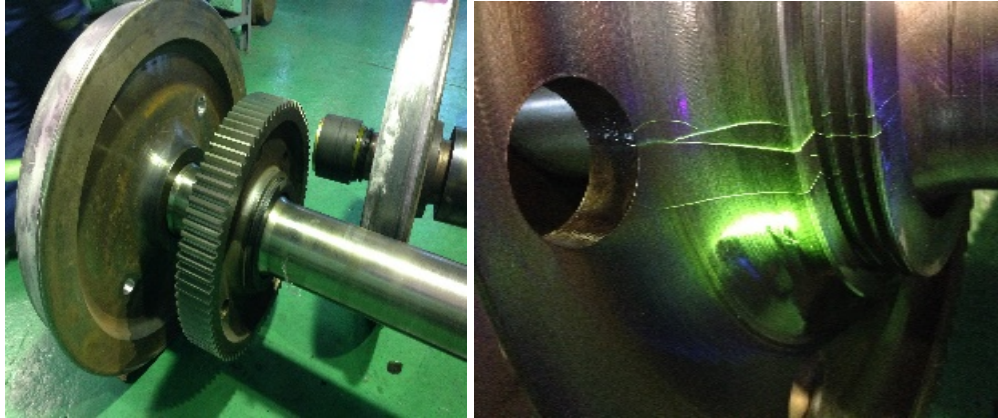
Şekil 5.1. Döküm malzemedeki sıcak yırtılma hatası örneği.



Şekil 5.2. Malzemedeki gözeneklenme örneği.

5.1.2. Manyetik Paracak Yöntemi

Manyetik Paracak Testi, ferromanyetik malzemelerdeki yüzey ve yüzeye yakın süreksizlikleri bulmak için bir veya daha fazla manyetik alan kullanılarak uygulanan bir testtir. Genellikle yüzeye çok yakın hataların tespitinde kullanılmaktadır. Manyetik alan kalıcı bir mıknatıs veya elektromıknatıs ile uygulanabilir. Manyetik alan, manyetik alanın yönüne dik bir süreksizlikle karşılaştığında Akı çizgileri kendilerine ait bir kaçak akı alanı üretir. Manyetik alan çizgileri ile malzemedeki hataya dik geldiğı yerlerde en net görüntü elde edilirken, alan çizgileri ile hata arasındaki açı küçüldükçe görüntü netliğı azalır. Açı 30 derecenin altına düştüğünde ise görüntü elde edilemez. Manyetik alandaki bu değışim, MT'nin en temel prensibidir. Malzemedeki hatanın oluşturduğu bu kaçak akı alanı, işlem sırasında yüzeye uygulanan (özel karışım) ve serbest olan demir ve demir oksit tozlarını eker. Hatalı bölge üzerinde dizilen tozlar malzemedeki hata formuna göre şekil alır. Bu oluşan görüntü uzman yorumu ile yorumlanarak hatanın çeşidi belirlenir. Uygulanması en kolay yöntemlerdendir. Sadece yüzey ve yüzeye yakın bölgelerdeki hataları gösterdiğinden malzemenin iç hatalarının kontrolü için uygun değıldir. Gün ışığı aydınlık ortamda (ışık şiddeti 500 Lux ve üzeri yerler) test yapıldığı gibi, karanlık ortamlarda da (ışık şiddeti 20 Lux altındaki yerlerde) testler uygun cihazlar ve solüsyonlarla yapılabilir.



Şekil 5.3. MT yöntemiyle tespit edilen çatlak örnekleri.

Genel olarak MT testinde malzemeler mıknatıslanırken aşağıdaki teknikler kullanılır;

- Yokes (Boyunduruklar)
- Prods (Prodlar)
- Coils (Bobinler)
- Heads (Manyetik banklar)
- Central Conductor (Merkezcil iletkenler)

5.1.3. Penetrant Yöntemi

Sıvı penetrant testinin temel prensibi, bir parçanın yüzeyine çok düşük viskoziteli (çok akışkan) sıvı (nüfuz edici) uygulandığında, yüzeye açılan çatlaklara ve boşluklara girerek yüzeydeki çatlak ya da boşluk olan bölgeleri belirgin hale getirmektir.

Bu yöntem manyetik ve manyetik olmayan malzemeler üzerinde yapılabilir, ancak gözenekli malzemeler üzerinde uygulanması çok zordur. Penetrant testi gün ışığında uygulanabildiği gibi karanlık ortamlarda da (ışık şiddeti 20 Lux den düşük) uygun cihazlar (flouresan penetrantlar ve UV Lamba gibi) ile uygulanabilmektedir.

Bir PT incelemesi yapılırken, test edilen yüzeyin temiz olması ve penetrantın parça yüzeyine açık boşluklara veya çatlaklara girmesini engelleyebilecek herhangi bir yabancı madde veya sıvı içermemesi şarttır. Penetrantı uyguladıktan sonra, belirli bir süre (nüfuz etme süresi) yüzeyde bekletilmesine izin verilir daha sonra yüzeydeki fazla penetrantı gidermek için parça dikkatlice temizlenir. Bu temizlik esnasında boşluk ve çatlak içerisindeki penetrantı kaybetmeyecek şekilde işlem yapılmalıdır. Daha sonra penetrantın daha belirgin gözükmelerini sağlamak için yüzeye developer (geliştirici) sürülür. Ters kılcallık (capillar) olarak adlandırılan bu işlemten sonra, belli bir süre daha beklenir. Öngörülen developer bekleme süresinin ardından, malzeme yüzeyinde beliren belirtiler incelenerek uzmanlar tarafından belli standartlar altında değerlendirilir.



Şekil 5.4. PT metodu ile tespit edilen hata örnekleri.

Malzeme yüzeyindeki fazlalık penetrantı temizlemek için, özelliklerine göre dört penetrant kullanılmaktadır:

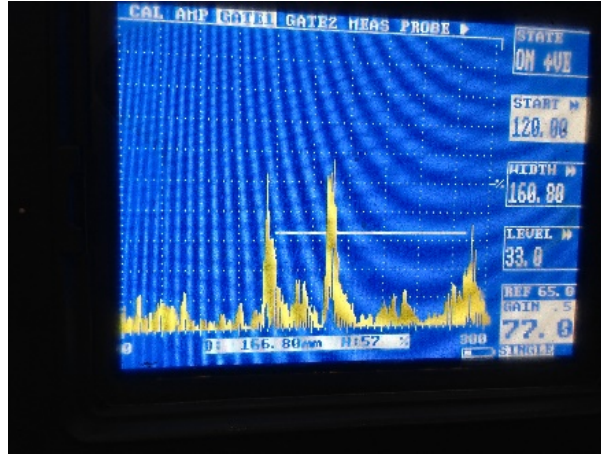
- Su ile yıkanabilen penetrant
- Lipofilik penetrant
- Çözücü (Solvent) ile giderilen penetrant
- Hidrofilik penetrant

5.1.4. Ultrasonik Test

Ultrasonik test muayene edilecek malzemeye yüksek frekanslı ses dalgası gönderilerek, bu ses dalgasının malzemeden farklı bir yansıtıcıdan geri dönmesi ile malzeme içindeki hatanın yerinin ve büyüklüğünün tespit edilmesi prensibine dayanmaktadır.

Muayene edilen kısma yüksek frekanslı ses dalgası verilir ve ses farklı bir akustik empedansa (yoğunluk ve akustik hız) sahip bir malzemeye (gözenek, çatlak, inklüzyon vs.) çarparsa seslerin bir kısmı geri gönderme ünitesine geri yansır ve görsel bir ekranda sunulabilir. Gönderilen ses dalgası demetinin malzeme içindeki hataya dik temas etmesi hata yerinin tespitinde çok önemlidir. Sesin parça içerisindeki hızının (akustik hız) ve sesin gönderici üniteye geri dönmesi için gereken zamanın bilinmesiyle yansıtıcıya olan mesafe (farklı akustik empedans ile gösterge) belirlenebilir. UT’de kullanılan en yaygın ses dalgası frekansları, duyulamayacak kadar yüksek ve havada dolaşamayan 1,0 ile 10,0 MHz arasındadır. Düşük frekanslar daha yüksek nüfuz etme gücüne sahiptir ancak daha düşük hassasiyetle görüntü verirler. Yüksek frekanslar derinlemesine nüfuz etmemekte ancak daha küçük göstergeleri (hataları) tespit edebilmektedir. Endüstriyel incelemelerde kullanılan en yaygın kullanılan iki ses dalgası türü boyuna dalgalar (Basınç dalgaları) ve enine dalgalardır (Kesme dalgalar). Bunlarla beraber Plaka dalgaları (Lamb dalgaları), Yüzey dalgaları (Rayleigh dalgaları) gibi dalga türleri de vardır. Boyuna dalgaların yönü bir parçadaki atomların salınım yönü ile aynı olduğundan malzeme içerisinde enine dalgalardan daha hızlı ilerler. Mesela boyuna ses dalgası çelik (alaşımsız çelik) malzemede 5920m/s hızla ilerlerken, enine dalga aynı malzemede 3255 m/s hızla ilerler. Ses, UT makinesinden elektriksel darbeleri ses dalgalarına dönüştüren ultrasonik bir transdüser (prob) kullanarak parçaya verilir, daha sonra geri dönen sesi, dijital veya LCD ekranda görsel bir gösterim olarak gösterilebilen elektriksel darbelere geri dönüştürür. Makine uygun şekilde kalibre edilirse, kullanıcı dönüştürücüden yansıtıcıya olan mesafeyi belirleyebilir ve çoğu durumda deneyimli bir operatör, yansıtıcıya neden olan süreksizlik tipini (cüruf, gözeneklilik veya bir çatlak gibi) belirleyebilir. Ultrasonik ses dalgası, havada hareket etmeyeceğinden (Hava moleküllerindeki atomlar, ultrason iletimi için çok uzak) sesin parçaya iletilmesine izin vermek için dönüştürücünün (prob) yüzü ile parçanın yüzeyi arasında "birleştirici" olarak adlandırılan bir sıvı ya da jel kullanılır. Endüstride kullanılan çeşitli ultrason teknikleri vardır.

- Straight beam
- Angle Beam
- Immersion Testing
- Through Transmission
- Phased Array
- Time of Flight Diffraction



Şekil 5.5. UT cihazı ekranında hata ekoları.

5.1.5. Girdap Akımları (Eddy-Current) Yöntemi

Elektromanyetik test, Girdap Akımı testinin Alternatif Akım ile Alan Ölçümü (ACFM) ve mesafe ölçümünü içeren genel bir test kategorisidir. Manyetik parçacık testi aynı zamanda yaygın kullanımı nedeniyle elektromanyetik bir test olmasına rağmen, elektromanyetik test tekniği yerine tek başına bir test yöntemi olarak kabul edilir. Girdap Akımı Testi, alternatif bir akım bobinin bir elektromanyetik alanı iletken bir test parçasına dönüştürdüğü zaman, manyetik akı alanının çevresinde, bir elektrik akımı etrafında manyetik bir alan gibi, küçük bir akım meydana geldiği gerçeğini kullanır. Bir "girdap" akımı adı verilen bu ikincil akımın akış modeli, test parçasında bir süreksizlikle karşılaştığında etkilenir ve girdap akım yoğunluğundaki değişiklik tespit edilebilir ve bu değişime neden olan süreksizliği karakterize etmek için kullanılabilir. Bobin tipini değiştirerek bu test yöntemi düz yüzeylere veya boru şekilli ürünlere uygulanabilir. Bu teknik, pürüzsüz yüzeylerde en iyi şekilde çalışır ve genellikle $\frac{1}{4}$ "den daha az penetrasyon gösterir. Çevreleyen bobinler (Şekil 14-b), boru şeklindeki ve çubuk şeklindeki ürünleri test etmek için kullanılır. Tüp veya çubuk, test nesnesinin tam

kesitinin sorgulanmasına izin veren nispeten yüksek bir hızda bobin içinden beslenebilir. Bununla birlikte, akı çizgilerinin yönü nedeniyle çevresel olarak yönlendirilen süreksizlik bu uygulamada tespit edilemeyebilir.

5.1.5.1. Alternatif Akım Alan Ölçümü

Alternatif Akım Alan Ölçümünde (ACFM), manyetik bir alan oluşturan test parçasının yüzeyine alternatif bir akım sağlayan özel bir prob kullanılır. Süreksizlik içermeyen parçalarda, bu alan tek tip olacaktır ancak yüzeye açık bir süreksizlik varsa manyetik alan prob içindeki sensörler tarafından tespit edilebilecek alanın bozulmasına neden olan süreksizlik çevresinde ve altında akacaktır. Elde edilen sonuçlar daha sonra süreksizliğin uzunluğunu ve derinliğini belirleyebilen yazılıma beslenebilir. ACFM, pürüzlü yüzeylerde Eddy Akımına göre daha iyi sonuçlar verir ve herhangi bir yüzey kaplamalarında kullanılabilir.

5.1.5.2. Uzak Alan Testi

Genelde ferromanyetik boruların testinde kullanılır. Standart girdap akımı tekniklerine kıyasla, uzaktan alan testi, tüpün hem ID hem de OD yüzeylerinde yaklaşık olarak eşit duyarlılığa sahip tüp kalınlığı boyunca daha iyi sonuçlar sağlar. Ferromanyetik olmayan borular için girdap akımı, daha fazla hassasiyet sağlama eğilimindedir.

5.2. TAHRİBATLI MUAYENE YÖNTEMLERİ

5.2.1. Çekme Deneyi

Bir malzemenin mekanik özelliklerini ölçmek için kullanılan en yaygın test türü çekme testidir. Bu deneyin prensibi, kullanılan tezgâh yâda standarta göre hazırlanan deney numunelerinin sabit bir hızda ve tek eksenle koparıncaya kadar çekilmesi ilkesine dayanır. Çekme testi, malzemelerin mukavemeti hakkında temel bir tasarım bilgisi sağlamak için yaygın olarak kullanılır ve malzemelerin spesifikasyonu için bir kabul testidir. Bu testi sırasında elde edilen stress-strain eğrisini tanımlayan ana parametreler;

- a) Orantı sınırı (σ_0)
- b) Elastiklik sınırı (σ_e)
- c) Akma dayanımı (σ_a)
- d) Çekme dayanımı (σ_c)
- e) Kopma uzaması (KU)

f) Kopma büzülmesi (KB)

g) Rezilyans

Tokluk, Esneklik, Poisson oranı (ν) da bu test tekniğinin kullanımıyla bulunabilir.

Bu testte, kullanılacak olan test makinesi tipinin çenelerine tutturulmaya uygun bir numune hazırlanır. Kullanılan  rnek, ölçülü bir uzunluk boyunca (uzama ölçümlerinin yapıldığı uzunluk) yaklaşık olarak aynıdır.

Çekme  rnekleri dikdörtgen ve yuvarlak olabilir.

Çekme  rnekleri, test edilecek malzemeden istenen yönde ve standartlara göre işlenir. Numunenin kesiti genellikle yuvarlak, kare veya dikdörtgendir. Metaller için, kolayca işlenebilmesi adına yeterli kalınlıkta bir parça elde edilebilir, genellikle yuvarlak bir örnek kullanılır. Sac ve plaka stoku için genellikle düz bir örnek kullanılır. Numuneye kırılınca kadar tek eksende gerilme yükü uygulanır. Test sırasında malzeme üzerinde belirli bir uzamayı sağlamak için gereken y k kaydedilir. Bir yük uzatma eğrisi bir x-y kaydedici tarafından çizilir böylece malzemenin gerilme davranışı elde edilebilir. Gerekli yükler hesaplanarak bu yük uzatma eğrisinden bir mühendislik gerinim-gerinme eğrisi oluşturulabilir. Ardından aradığımız mekanik parametreler bu eğri üzerinde çalışılarak bulunabilir.

Numuneler  ekme işlemine tabi tutulduktan sonra,   ölçüm uzunluğunda boydaki değişiklik, aktüatör pozisyonundaki değişiklikten (strok veya toplam uzunluktaki değişim) veya numuneye takılı bir sensörden (ekstensometre olarak adlandırılır)  l  l r. Yükleme türüne göre iki çeşit çekme test cihazı vardır;

1 - Vidalı Tahrik Test Cihazı: Deney sırasında, uzama oranı sabit tutulur.

2 - Hidrolik Test Cihazı: Yükleme hızını sabit tutar. Yükleme hızı, kırılma için istenen s reye bağlı olarak ayarlanabilir.

5.2.2. Sertlik Testi

Sertlik terimi, malzemelerin plastik deformasyona dayanma yeteneği olarak tanımlanır. Sertlik  l  m , malzemeye belirli bir miktarda yükün başka malzeme tarafından uygulanması ile ölçülür. Malzemelerin plastik deformasyona direnci akma dayanımı ile ilgili olduğu için, sertlik göreceli olarak böyle bir kuvvet uygulanarak belirlenebilir. Yük uygulayacak olan malzeme elmas gibi sert malzemelerden kullanılırsa deformasyon sadece test numunesi üzerinde olacaktır. Temel sertlik ölçüme yöntemleri  u şekildedir;

5.2.2.1. Rockwell Sertlik Deneyi

Sabit yük altındaki malzeme üzerindeki iz derinliğini ölçme işlemine rockwell sertlik deneyi denilmektedir. Ölçülecek malzemenin türüne bağlı olarak, iz bırakan uç kısmı için sert elmas uçlar ya da sert çelik bilyeler kullanılabilir. 60 ile 150 kg arası yük uygulanabilir. Her bir yük ve iz bırakıcı birleşimi farklı bir Rockwell ölçeği anlamına gelmektedir. Rockwell B ve Rockwell C ölçekleri en yaygın kullanılanlarıdır. Rockwell B ölçeği, 100 kg yük ve 1/16” çapında çelik bilya kullanılarak yumuşak ve sünek malzemelere uygulanır. EN uygun sonucu sertlik değeri 35 - 100 HRB olan malzemelerde vermektedir. Rockwell C ölçeği, 150 kg yük ve konik bir elmas uç kullanılarak sertleştirilmiş çeliklere uygulanır. 20 - 70 HRC arasında sertliğe sahip malzemelerin sertliğini ölçmek için uygundur.

5.2.2.3. Brinell Sertlik Deneyi

Brinell sertlik testi, yüzeyde kalıcı bir iz oluşturmak için belirli bir çaptaki sert bir malzemedan yapılmış top yardımıyla malzemenin yüzeyine belirli bir yükün (F) uygulanmasına dayanmaktadır. Brinell sertlik değeri, elde edilen kuvvetin oluşan küresel yüzey alanına bölerek elde edilir. Testten sonra sertlik sonucunu ifade ederken, BSD işaretinin yanı sıra, top çapı / yük / uygulama zaman sırasına göre diğer test koşulları eklenir.

5.2.2.4. Vickers Sertlik Deneyi

Vickers sertlik deneyi çok yaygın ve geniş bir alanda kullanılmaktadır. Çok yumuşak ve çok sert malzemelerin sertliklerini ölçmek için vickers deneyi en etkili yöntemdir. Vickers sertlik deneyi, standartlaş piramit şeklinde (tabanı kare ve tepe açısı 136°’dir.) bir elmas ucun, değişken yüklerde, numune yüzeyine batırılması ile bir iz oluşturmaları olarak tanımlanır. Deney yükü 1- 100 kg arasında olabilir. Vickers değerini bulmak için batırma işleminden sonra mikroskop yardımı ile oluşan kare ize bakılarak ölçüm yapılır.

5.2.3. Çentik Darbe Testi

Ani darbelere karşı direnci iyi olan malzeme seçimi için kopma direnci darbe testi ile ölçülmelidir. Bu amaçla Charpy çentik deneyini de içeren birçok test geliştirilmiştir. Bunun için kullanılan numuneler çentikli veya çentiksiz olabilir. V çentik numuneler, malzemelerin çatlağın büyümesine karşı direncini ölçer. Bu testi uygulamak için belli bir yüksekliğinde bırakılan ağır bir sarkaç yarım ay şeklinde sallanarak numuneye

çarparak kırar. Daha sonra en düşük ho yüksekliğine erişir. Sarkacın başlangıç ve son yükseklikleri bilindiğinde potansiyel enerji farkı hesaplanabilir. Bu fark numunenin kırılması sırasında absorbe edilen yani emilen darbe enerjisidir. Malzemelerin ani darbelere karşı dayanımı malzemenin tokluğu ile ilişkilidir.

5.2.3.1. Darbe testinde sıcaklığın etkileri

Malzemenin darbe ile sıcaklıkları arasında orantı vardır. Yüksek sıcaklarda numunenin kopması için fazlaca emilme enerjisi gereklidir. Hâlbuki düşük sıcaklarda malzeme daha az bir enerji ile kopar. Yüksek sıcaklarda, malzeme yoğun şekil değiştirdiği için sünek olduğu görülür ve numune kopmadan önce bir miktar uzar. Düşük sıcaklarda (-) numune kırılgandır ve kopma noktasında çok çok şekil değiştirme gözlenmez. Yani malzeme kopar. Malzemenin sünek kopmadan gevrek kopmaya geçtiği sıcaklığa geçiş sıcaklığı denir.

Kullanım sırasında ani bir darbeye maruz kalabilecek malzeme ortam sıcaklığının altında bir geçiş sıcaklığına sahip olmalıdır. Malzemelerin hepsi belirgin bir geçiş sıcaklığına sahip değildir. Örneğin hacim merkezli kübik malzemeler belirli bir geçiş sıcaklığına sahip iken yüzey merkezli malzemeler belli bir geçiş sıcaklığına sahip değildir. Yüzey merkezli kübik malzemeler sıcaklık düştükçe ve yavaşça azalan enerji emme yani yüksek enerji absorbe enerjisine sahiptir.

5.2.3.2. Malzemedeki çentik hassasiyeti

Malzemelerde, kötü işçilik, imalat ve tasarımın neden olduğu çentikler, gerilimin yoğunlaşmasına ve tokluğun azalmasına neden olur. Örneğin malzemelerin çentik hassasiyeti çentikli ve çentiksiz numunelerin absorbe etkileri enerjileri karşılaştırarak bulunabilir. Örneğin sünek dökme demir gibi çentikli bir numunede absorbe edilen enerji miktarı azdır. Buna karşı gri dökme demirdeki lameller şeklindeki grafit çentik etkisi gösterir.

Sonuç olarak darbe testi tasarım kriteri olarak kullanılmaktan çok malzeme seçiminde mukayese amaçlı kullanılmaktadır.

5.2.4. Jominy Testi

Jominy deneyi malzemenin su vermeye karşı davranışı hakkında bilgi vermektedir. Bu davranışlardan bir tanesi su verme sonrası oluşacak maksimum sertlik, bir diğeri ise sertlik derinliğidir. Sertleşebilirlik ölçümü için en yaygın kullanılan yöntemdir. Bu deneyde, 25 mm çapında ve 100 mm uzunluğunda bir silindirik numune su ile

soğutulur. Parça boyunca farklı soğutma oranları elde edilir. Numune, su hortumundan 12,5 mm uzaklıkta yatay bir yüzeye yerleştirilir. Su sıcaklığı 24 - 28 °C'dir. Test numunesi ilk önce normalize edilir. Verilen boyutlarda işlendikten sonra, bileşimine göre uygun su verme sıcaklığına (östenitleme sıcaklığı) ısıtılır ve bu sıcaklıkta en az 30 dakika tutulur. Bu sürenin sonunda, fırından çıkan numune hızlı bir şekilde test aparatına yerleştirilir ve bir uçtan su püskürtülerek soğutulur. Soğutma hızı çelik çubuk boyunca su verilmiş uçtan kademeli olarak azalır. Çubuk soğutulduktan sonra, eksenine paralel ve yüzeyden 0,4 - 0,5 mm derinlikte talaş kaldırma işlemi yaparak pürüzsüz bir yüzey elde edilir. Yüzey sertliği daha sonra bu yüzey kullanılarak söndürülmüş uçtan düzenli aralıklarla ölçülür. Sertlik ölçümleri, söndürme alanından başlayarak 1,5-1,5-2-2-2-2-2-2-2 mm mesafede yapılır. Bu noktalar toplam 15 mm'ye ulaştıktan sonra, 5 mm aralıklarla ölçümler yapılır. Elde edilen sertlik değerleri mesafeye bağlı olarak bir grafik üzerinde gösterilmekte ve Jominy eğrileri elde edilmektedir.

5.3. AŞINMA DENEYİ

Bu deneyin amacı, birbirleri ile temas halinde olan iki elemanın aşınmalarını araştırmak ve aşınma miktarını hesaplayarak metalik malzemelerin aşınma özelliklerini tespit etmektir.

5.3.1. Sürtünme ve Aşınma

5.3.1.1. Sürtünme

İki malzeme birbirleriyle temas halinde olacak şekilde konumlandırıldıklarında ve malzemelerden biri diğer malzeme üzerine kaydırıldığında, uygulanan kaydırma kuvvetine zıt yönde bir sürtünme kuvveti üretilir. Temas yüzeylerinde, sürtünme kuvvetleri, güç kaybına neden olur ve çalışma toleranslarının bozulmasına neden olur. Günlük hayatımıza baktığımızda, fren sistemleri gibi sürtünmenin gerekli olduğu durumlar vardır, ancak aşınma istenmeyen bir zarar türüdür. Ek olarak, işleme uygulamalarında minimum sürtünme ile en yüksek aşınma (talaş kaldırma) sağlayarak parçaların işlenmesi amaçlanmaktadır.

5.3.1.2. Aşınma

Aşınma, temas yüzeylerinden mekanik etkilere bağlı olarak mikro partiküllerin ayrılmasından dolayı malzemedeki istenmeyen değişimdir. Temas yüzeylerinde,

sürtünme kuvvetleri güç kaybına neden olur ve aşınma, çalışma toleranslarının bozulmasını ve makine parçalarının işlevlerini tam olarak yerine getirmesini önler. Aşınma olayı genellikle; Hareket aktarma elemanı olarak kullanılan şaftlarda, kaymalı ve makaralı rulmanlarda, fren balatalarında, motor pistonlarında ve silindirlerde, dişlilerde ve türbin bıçaklarında görülebilir. Aşınma kaybı, aşınma ortamı, aşınma mekanizması, malzeme tipi, yük miktarı, farklı mühendislik malzemelerinin üretkenlik ömrünü önemli ölçüde etkileyen aşınma ve makine elemanları hızı, yüzey filmi özellikleri ve sürtünme sırasında oluşan sıcaklık gibi birçok faktöre bağlıdır. Aşınma olayını maddi bir özellik olarak değerlendirmek yerine, olayı bir bütün olarak sistem içinde değerlendirmek gerekir. Bu sisteme tribolojik sistem denir. Triboloji, sürtünme, yağlama ve aşınmayı içerir. Öte yandan, tribolojik sistem, etkileşimli elemanlardaki hız, ısı koşulları ve yük kombinasyonu ile oluşan aşınma olaylarını inceler. Bilinen 5 farklı aşınma türü vardır.

- **Abrasiv Aşınma:** Malzeme yüzeyinin daha sert parçacıklarla basınç altında etkileşmesi ile sert parçacıkların malzeme yüzeylerinden parçacık kaldırılması durumudur.
- **Adhesiv Aşınma:** Birbirleriyle kayma yaparak çalışan yüzeylerde soğuk kaynama veya bölgesel bağlanmalar ile bir yüzeyden diğerine malzeme transferi ve kayma hareketi sonucunda malzeme kopması olarak tanımlanır.
- **Yorulma Aşınması:** Yorulma (pitting) aşınması, dişli çarklar, rulmanlı yataklar ve kam mekanizmaları gibi birbirleriyle sürekli temas halinde olan yüzeylerde yaygın olarak görülen bir aşınma türüdür.
- **Korozif Aşınma:** Aşınan yüzeyler, aynı zamanda korozif etkilere de maruz kalırsa bu durumda korozif aşınma oluşmaktadır.
- **Erozyon Aşınması:** Akışkan içerisinde bulunan aşındırıcı partiküller, yüksek hızla hareket eden sıvı damlacıkları ve yüksek hızdaki gaz kabarcıkları tarafından oluşturulan bir aşınma türüdür.

5.3.2. Aşınma Kaybı Ölçüm Yöntemleri

5.3.2.1. Ağırlık Farkı Metodu

Aşınma kaybı ölçüm yöntemleri arasında en ekonomik yöntem olan ağırlık farkı metodu hassas sonuçlar elde edilmesi sebebiyle en çok kullanılan yöntemdir. Ağırlık kaybı genellikle 10^{-3} veya 10^{-4} hassasiyete sahip teraziler kullanılarak belirlenmektedir. Bu

yöntemde aşınma sonucu meydana gelen ağırlık kaybı; aşınma miktarı gram veya miligram olarak ifade edildiğinde sürtünme mesafesine karşılık olarak gr/km veya mgr/km cinsinden, birim alan için hesap edilecekse gr/cm² cinsinden ifade edilmektedir. Aşınma miktarı hacimsel olarak hesaplanmak istendiğinde malzemenin yoğunluğu ve numune üzerine uygulanan yük dikkate alınarak, birim yol ve birim yükleme ağırlığına karşılık gelen hacim kaybı kullanılarak ağırlık kaybı belirlenebilir. Özgül aşınma miktarı aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanabilir.

$$W_s = \Delta m / d F_n S = \Delta v / F_n S$$

Burada; W_s : Özgül aşınma miktarı (mm³/Nm), Δm : Ağırlık kaybı (mgr), d : yoğunluk (mgr/mm³), F_n : Uygulanan normal kuvvet (N) ve S : Aşınma mesafesi (m)'ni ifade etmektedir.

5.3.2.2. Kalınlık Farkı Metodu

Bu yöntemde aşınma miktarı, aşınma sonucunda meydana gelen boyut değişikliğinin ölçülmesi ve ilk değerler ile karşılaştırılması suretiyle belirlenmektedir. Elde edilen kalınlık farkı değerleri kullanılarak hacimsel kayıp değeri ve dolayısıyla birim hacimdeki aşınma miktarı bulunabilir. Bu yöntemde ölçüm hassasiyetini arttırmak için hassas kalınlık ölçü aletleri (+1 µm duyarlılıkta) ile ölçüm yapılmalıdır.

5.3.2.3. İz Değişim Metodu

Bu yöntemde, aşınma yüzeyinde plastik deformasyon kullanılarak geometrisi belirli bir iz oluşturulur. Bu izin oluşumu için Brinell veya Vickers sertlik ölçme uçları kullanılır. Deney boyunca oluşturulan iz boyutlarının değişimi mikroskop vasıtasıyla ölçülerek değerlendirilir.

6. MATERİYAL VE YÖNTEM

6.1. MATERİYAL

Yapılan bu çalışmada AISI 4140 ve AISI 4340 ıslah çelikleri kullanılmıştır. Çeliklerin kimyasal bileşimleri Çizelge 6.1 ve Çizelge 6.2’de verilmiştir. Numunelerin kimyasal analizleri ERDEMİR T.A.Ş. Laboratuvarlar Müdürlüğü bünyesinde LECO marka CS744 model XFR spektrometre cihazında yapılmıştır.

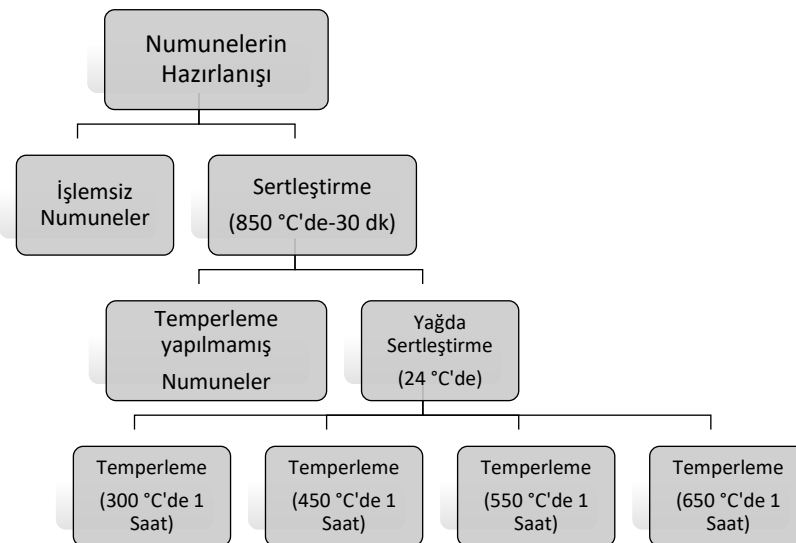
Çizelge 6.1. AISI 4140 çeliğinin kimyasal bileşenleri.

Element	C	Mn	Si	Cr	S	P	Mo
%	0,44	0,65	0,19	1,01	0,02	0,02	0,16

Çizelge 6.2. AISI 4340 çeliğinin kimyasal bileşenleri.

Element	C	Mn	Si	Cr	Ni	S	P	Mo
%	0,38	0,63	0,21	1,13	1,54	0,001	0,015	0,2

6.2. YÖNTEM



Şekil 6.1. Deney akış şeması.

6.2.1. Isıl İşlemler

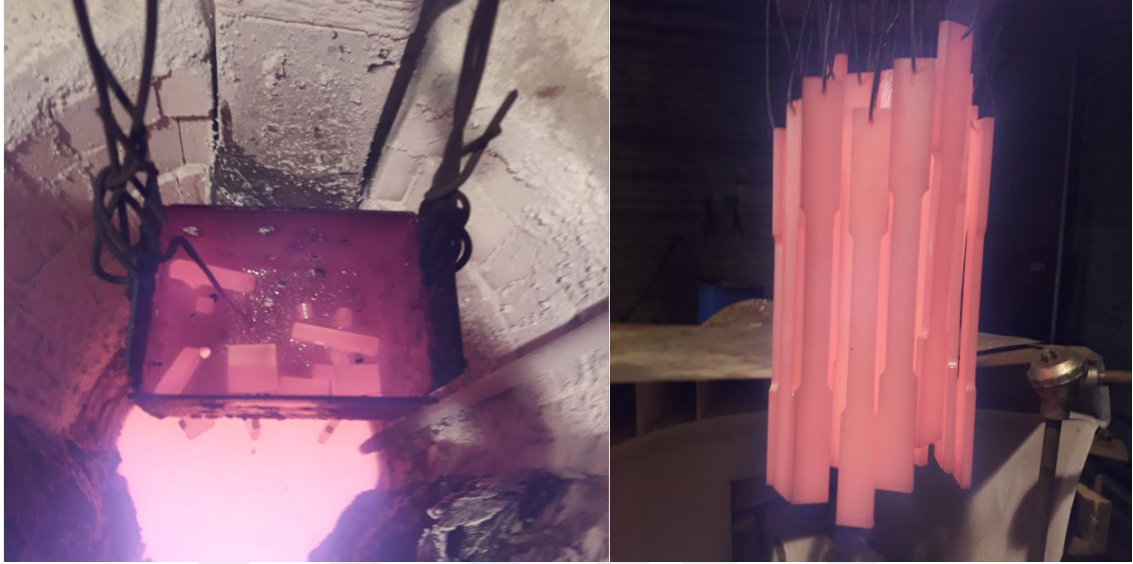
Çalışmada numuneler üzerine uygulanan ısıl işlemler Çizelge 6.3’de özetlenmiştir.

Çizelge 6.3. Numune hazırlama tablosu.

Malzeme	Uygulanan sertleştirme işlemi	Temperleme sıcaklığı	Temperleme süresi
AISI 4140	840-850 °C – 30 dk bekletilip Yağ ortamında soğutma	-	-
	840-850 °C – 30 dk bekletilip Yağ ortamında soğutma	300 °C	1 saat
	840-850 °C – 30 dk bekletilip Yağ ortamında soğutma	450 °C	1 saat
	840-850 °C – 30 dk bekletilip Yağ ortamında soğutma	550 °C	1 saat
	840-850 °C – 30 dk bekletilip Yağ ortamında soğutma	650 °C	1 saat
AISI 4340	840-850 °C – 30 dk bekletilip Yağ ortamında soğutma	-	-
	840-850 °C – 30 dk bekletilip Yağ ortamında soğutma	300 °C	1 saat
	840-850 °C – 30 dk bekletilip Yağ ortamında soğutma	450 °C	1 saat
	840-850 °C – 30 dk bekletilip Yağ ortamında soğutma	550 °C	1 saat
	840-850 °C – 30 dk bekletilip Yağ ortamında soğutma	650 °C	1 saat

6.2.1.1. Sertleştirme

AISI 4140 ve AISI 4340 ıslah çelikleri 850 °C sıcaklıkta 30 dakika bekletildikten sonra 30 °C’de yağ ortamına bırakılarak sertleştirme işlemine tabi tutulmuşlardır. İşlem Erdemir T.A.Ş.’de bulunan kuyu tipi 1050 °C maksimum ısıtma kapasiteli, elektrik ile ısınan, oransal ısı kontrollü fırında gerçekleştirilmiştir (Şekil 6.2).



Şekil 6.2. Sertleştirme fırını ve sertleştirme yapılan numuneler.

Soğutma sıvısı olarak kullanılan yağ Houghton HOUGHTO-QUENCH C 140 yağıdır (Çizelge 6.4). Yüksek performanslı soğuk ısıl işlem yağı (ISO 6743-14) UHB temel yağlardan hazırlanmış, 100 °C’ye varan sıcaklıklarda kullanılmaya uygun bir ısıl işlem yağıdır. İçerdiği katkıları, su verme işlemi sırasında yağda çamur tortularının oluşmasını önler. Suyu kıyasla soğutma hızı 1/3 yavaştır. Bu özellik yüzeyde kılcal çatlak oluşumunu önler.

Çizelge 6.4. Soğutma sıvısının özellikleri.

Görünüm	Berak Kehribar
Özgül ağırlık @15,5 °C	870 kg/m ³
Kinematik viskozite @40 °C	27 cSt
Kinematik viskozite @100 °C	5
Parlama noktası (COC, °C)	214
Maksimum soğutma hızı (@40 °C, °C/s)	95

6.2.1.2. Temperleme Isıl İşlemi



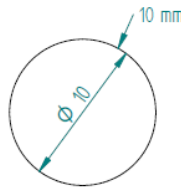
Şekil 6.3. Temperleme (Meneviş) fırını.

Sertleştirme işlemine tabi tutulan numuneler 300 °C, 450 °C, 550 °C ve 650 °C sıcaklıklarında 1 saat süre ile temperleme işlemine tabi tutulmuşlardır. İşlem Erdemir T.A.Ş. de bulunan kuyu tipi 850 °C maksimum ısıtma kapasiteli, elektrik ile ısınan, oransal ısı kontrollü meneviş fırınında gerçekleştirilmiştir (Şekil 6.3).

6.2.2. Testler

6.2.2.1. Sertlik Testi

Makro sertlik ölçümleri, Erdemir T.A.Ş. makine atölyesinde bulunan Equotip 550 UCI Portable makro sertlik ölçüm cihazı (Şekil 6.5) ile Rockwell C (HRC) sertlik ölçme metodu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sertlik ölçümleri için, numuneler Şekil 6.4 ölçülerde hazırlanmıştır. Sertlik ölçümü ASTM A1038 standartına göre ultrasonik ölçüm yapan Equotip UCI Probe ET50-005-0337 uç ile oda sıcaklığında yapılmıştır. Makro sertlik ölçümlerinde, ölçüm sonucu 3 farklı ölçümün ortalaması alınarak belirlenmiştir.



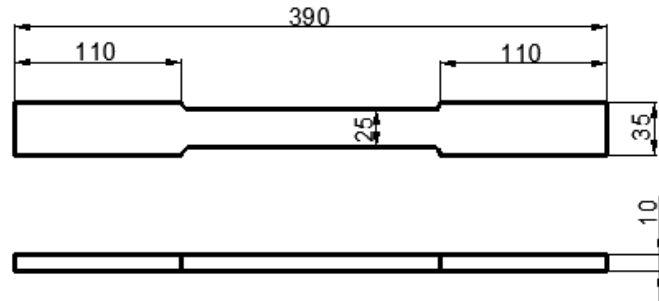
Şekil 6.4. Sertlik deney numuneleri.



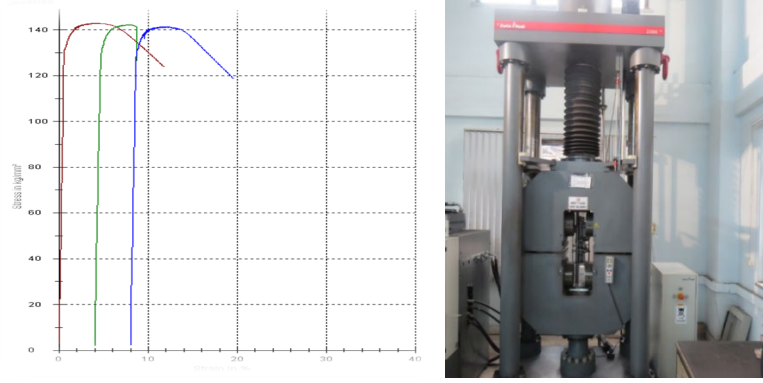
Şekil 6.5. Makro sertlik ölçme cihazı.

6.2.2.2. Çekme Testi

Çekme numuneleri CNC kontrollü freze tezgâhında Şekil 6.6'daki ebatlarda hazırlanmıştır. Çekme cihazında bulunan ekstansometre yardımı ile ölçülen numunelerin uzama değerleri el ile uzama ölçümü metodu ile doğrulanmıştır. Numuneler, 200 ton kapasiteli Zwick Z2000H modeli servohidrolik çekme cihazı kullanılarak çekme testlerine tabi tutulmuştur (Şekil 6.7). Deney hızı akma mukavemetinin başlamasına kadar 0,00025 mm/sn. iken malzeme boy vermeye başladıktan sonra 0,0032 mm/sn. yükselmiştir. Her bir test 3 kere tekrarlanarak ortalaması alınmıştır. Çekme testleri ile numunelerin çekme dayanımı, akma dayanımı ve % uzama değerleri elde edilmiştir.



Şekil 6.6. Çekme deney numunesi gösterimi [37].

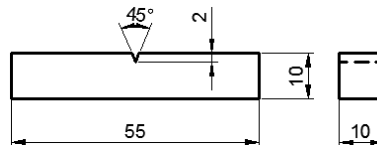


Şekil 6.7. Çekme deney cihazı.

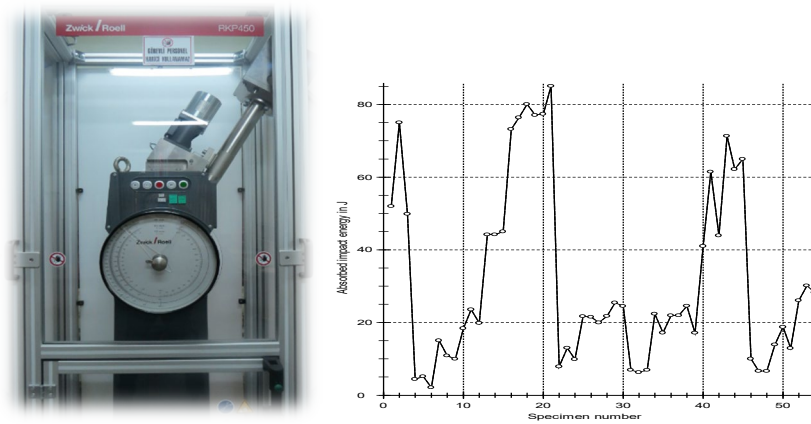
6.2.2.3. Darbe Testi

Darbe deneyi metallerin özellikle gevrek kırılmaya müsait koşullardaki mekanik özelliklerini incelemek amacıyla uygulanmıştır. Darbe enerjisini ölçmek için Charpy ve İzod testleri kullanılır.

Darbe numuneleri, önce torna tezgâhında yaklaşık 14 mm çapa işlendikten sonra freze tezgâhında Şekil 6.8'deki ebatlara getirilerek hazırlanmıştır. Daha sonra testler (Charpy Impact Test) Zwick rkp 450 Modeli cihaz ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 6.9). Her bir test için 300 J değerindeki mekanik çekiç kullanılmış olup, her bir test 3 kere tekrarlanarak ortalaması alınmıştır. Darbe testi sonucunda numunelerin tokluk değerleri belirlenmiştir.



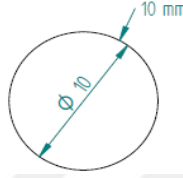
Şekil 6.8. Darbe deney numunesi [38].



Şekil 6.9. Darbe test cihazı.

6.2.2.4. Aşınma Testi

Aşınma testi Bilgisayar kontrollü TRDWear cihazında (Şekil 6.11) ASTM G99'a göre disk üzerine pim sürtünmesi yöntemi ile yapılmış olup, yük tek bir yönde verilmiştir. Ortamda yağlayıcı kullanılmamıştır. Numuneleri teste girmeden hemen önce ve sonra hassas kantarda tartarak oluşan ağırlık farkı ile aşınma oranı hesabı ve hacimce aşınma oranları hesaplanmıştır. Aşınma test numuneleri, torna tezgâhında Şekil 6.10'daki ebatlarda hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler daha sonra yüzeyleri parlatılarak teste hazır hale getirilmiştir. Deney ortamı için disk şeklinde işlenmiş olan AISI 440 B paslanmaz malzeme, su verme işlemine tabi tutularak sertliği 50-55 HRC çıkarılmıştır. Aşınma testlerinin koşulları tüm numuneler için sabit olup, hız 0,5 m/sn, yol 500 mt ve Normal kuvvet 20 N'dur. Her bir numuneden 3'er adeti teste tabi tutulmuş, değerlerin ortalaması alınmıştır.



Şekil 6.10. Aşınma deney numune ölçüleri.

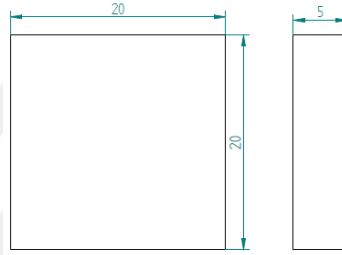


Şekil 6.11. TRDWear aşınma test cihazı.

6.2.2.5. Mikroyapı Analizi

Numunelerin içyapılarının ve farklı sıcaklıktaki temperlemenin oluşturduğu yapısal farklılıkların belirlenmesi için optik mikroskop ile içyapı görüntüleri alınmıştır. Mikroyapı numuneleri önce torna tezgâhında 28,28 mm çapa düşürüldükten sonra freze tezgâhında Şekil 6.12'deki ölçülere getirilmiş ve ardından testerede dilimlenmiştir. Optik mikroskopa sığacak şekilde son şekli verilerek bakalite alma işlemi gerçekleştirilmiştir. Bakalite alma işlemi için Struers Citopress-20 model (Şekil 6.13)

otomatik bakalit alma cihazı kullanılmıştır. Numunelerin üzerine, karbon dolgulu elektrolitik bakalit tozu dökülmüş ve cihazın test için ayarları yapılarak gerekli kalıplama işlemi tamamlanmıştır. Yüzeyden düzgün görüntü alınması için Struers-Tegra Pol-21 aparatı kullanılarak zımpara işlemi yapılmıştır (Şekil 6.14). Bu işlem için 120, 240, 400, 800, 1200 mesh boyutundaki SiC zımparalar kullanılmış ve numunelerde herhangi bir deformasyon olmaması için su eşliğinde zımpara yapılmıştır. Struers-Tegra Force 5 cihazında parlatma işlemleri gerçekleştirilmiş ve bu işlem için 1, 3 ve 6 mikron (μm) boyutlu kadife parlatma çuhaları özel elmas süspansiyonlar damlatılarak kullanılmıştır. Numuneler, inceleme için ASTM E3 standartına uygun bir şekilde hazırlanmış ve yine aynı standarta uygun bir şekilde %2 Nital içerikli solüsyon kullanarak dağlama işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6.12. Mikroyapı analizi numuneleri.



Şekil 6.13. Struers Citopress-20 model otomatik bakalit alma cihazı.



Şekil 6.14. Struers TegraPol-21 zımpara- Struers-Tegra Force 5 parlatma cihazı.

Numunelerin mikroyapı fotoğrafları Şekil 6.15'deki Nikon marka Epiphot 200 model optik mikroskop kullanılarak çekilmiştir. İnceleme işlemi ASTM E112 ve ASTM E45 standartlarına uygun şekilde gerçekleşmiş olup X200 ve X500 büyütmelerde içyapı görüntüleri alınmıştır.



Şekil 6.15. Nikon Epiphot 200 optik mikroskop cihazı.



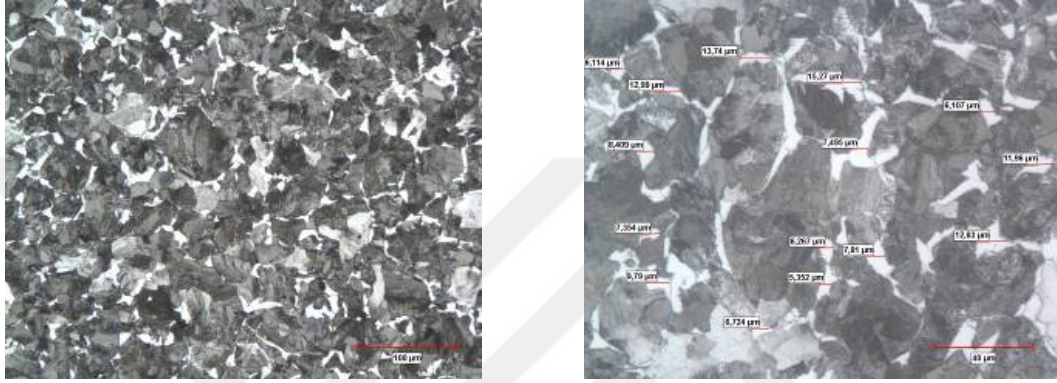
Şekil 6.16. JEOL JSM 5600 taramalı elektron mikroskobu (SEM) cihazı.

Numunelerin detaylı mikroyapı fotoğrafları Şekil 6.16'daki JEOL JSM 5600 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) cihazı ile çekilmiştir. Tungsten (W) uca sahip, elektron tabancası ile çalışan taramalı elektron mikroskobudur. Bu çalışma için martenzit dönüşümünü incelemek için 0 °C, 300 °C ve 450 °C'deki numunelerin X1000 ve X3000 büyütmedeki içyapı görüntüleri alınmıştır.

7. BULGULAR VE TARTIŞMA

7.1. İŞLEM GÖRMEMİŞ NUMUNLER

Şekil 7.1’de siyah bölgelerde perlit matrislerin yoğunluğu görülmekte olup, beyaz bölgelerde martenzit adacıkları olduğu görülmektedir.

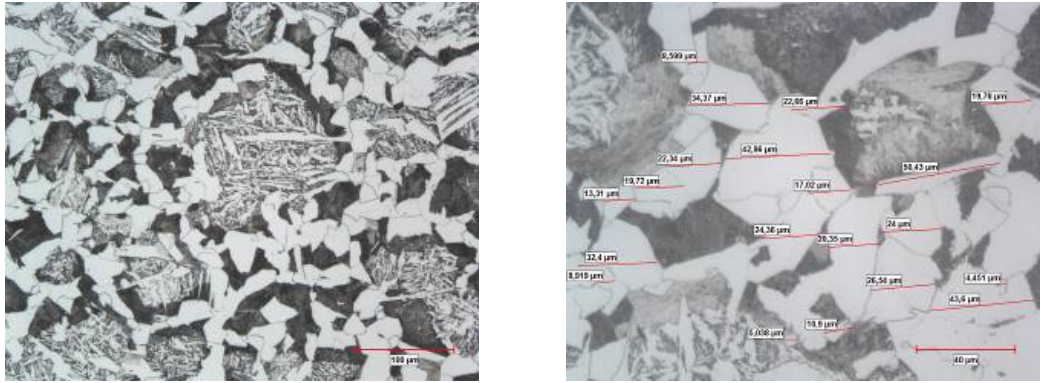


a)

b)

Şekil 7.1. AISI 4140 çeliğinin ısıt işlem olmadan önceki mikroyapı görüntüleri
a) X200 b) X500.

Şekil 7.2’de perlit matris içerisinde ferritik ve martenzitik yapılar görülmektedir. Bunun temel sebebi ferritlerin tamamının martenzitik dönüşüme uğrayamamış olması olduğu düşünülmektedir. Perlit içerisindeki ferrit yapıların östenit stabilizasyonuna bağlı olarak martenzitik dönüşüme uğradığı görülmüştür. Reklistarilizasyon sonucunda ferrit tane boyutunun 50 mikron seviyelerine ulaştığı görülmüştür.



a)

b)

Şekil 7.2. AISI 4340 çeliğinin ısıt işlem olmadan önceki mikroyapı görüntüleri
a) X200 b) X500.

Çizelge 7.1. İşlem görmemiş AISI 4140-4340 çeliklerinin çekme testi sonuçları.

	EMod	Rp 0.2	Rp 0.5	Rm	E.Uz.	A	Agt	a0	b0	Fm
	kN/mm ²	kg/mm ²	kg/mm ²	kg/mm ²	%100	%	%	mm	mm	N
4140	157,4	41,18	42,4	78,8	22	26,3	12	8,77	25,29	17136
	212,3	41,48	41,6	77,6	22	26,5	12	8,8	24,99	16733
	199,8	42,14	42,8	80,4	21	24,6	12,1	8,76	24,95	17235
4340	106,6	30,61	33,3	63,9	23	35,2	15,1	8,52	25,3	13504
	131,3	29,4	32,1	62,8	21	36,1	16	8,74	25,33	13637
	120,8	29,6	31,5	63	22	40,2	18,5	9,02	25,29	14103

Numunelerin çekme testi sonuçlarına baktığımızda 4140 malzemelerin mukavemet değerleri 4340 çeliğine göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum 4340 numunelerde martenzit yapılarının küresel ferrit taneleri ile çevrili olmasından kaynaklanmaktadır. 4140 numunelerde tane sınırlarına adacık halinde yayılan martenzit yapıları mukavemet artırıcı etki yapmaktadır.

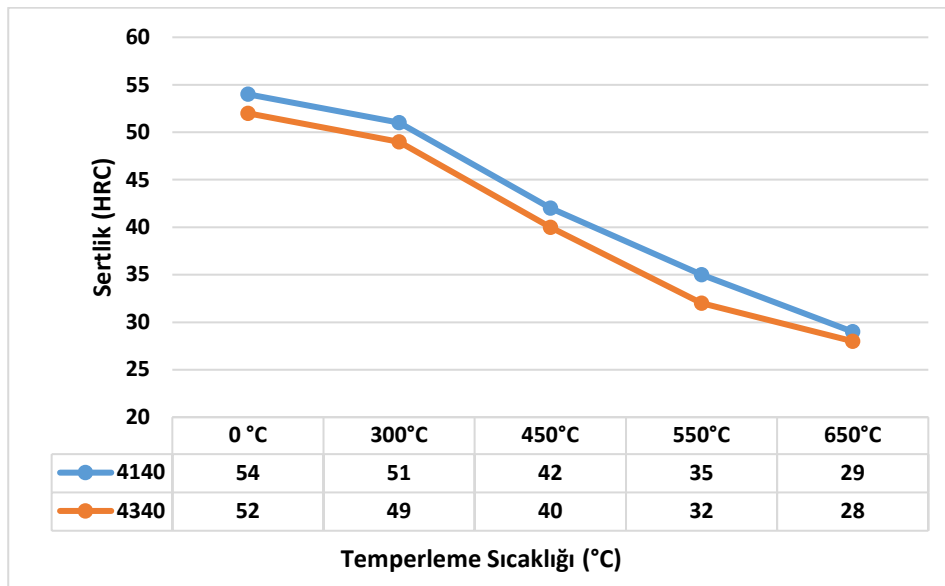
Çizelge 7.2. İşlem görmemiş AISI 4140-4340 çeliklerinin darbe testi sonuçları.

Lab No	T {lo Specimen}	KV {lo 2}	S {lo 0}	h	w	Height at the notch base	l
	°C	J	mm ²	mm	mm	mm	mm
4140	20	57,86	80	10	10	8	55
	20	76,98	80	10	10	8	55
	20	82,25	80	10	10	8	55
4340	20	201,57	80	10	10	8	55
	20	148,89	80	10	10	8	55
	20	198,86	80	10	10	8	55

4340 numunelerde daha yüksek darbe mukavemetleri ölçülmesinin sebebi yüksek Ni içeriğine bağlı olarak östenit kararlılığının 4140 numunelere göre daha iyi gerçekleşmesinden kaynaklanmaktadır.

7.2. SERTLİK TESTİ BULGULARI

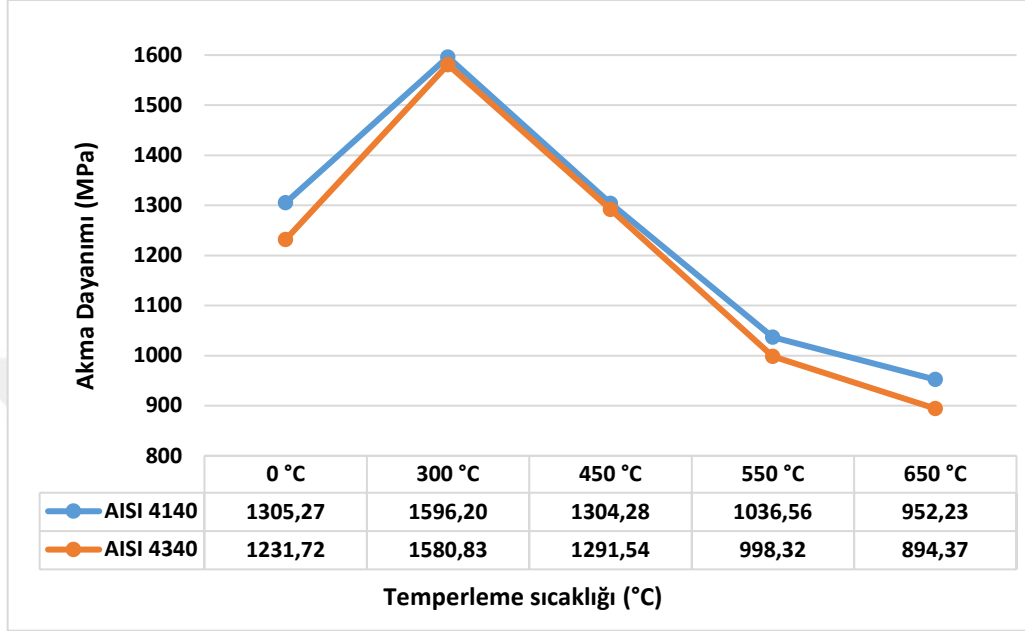
Numunelerin temperleme sıcaklıklarına bağlı sertlik değerlerini gösteren grafik Şekil 7.3'te verilmiştir. Grafik incelendiğinde, her iki çelik türü için de temperleme yapılmayan numunelerin en yüksek sertlik değerinde olduğu görülmektedir. Temperleme yapılan numuneler arasında ise 300 °C sıcaklıkta temperlenmiş numunelerin sertlik değeri maksimuma ulaşmış, 550 °C'ye kadar artan temperleme sıcaklığıyla birlikte sertlik değerleri de büyük oranda düşmüştür. Ancak temperleme sıcaklığı 650 °C'ye çıkarıldığında çok küçük bir oranda düşüşler gözlenmiştir. 300 °C sıcaklıkta temperlenen AISI 4140 çeliği 51 HRC sertliğe sahip iken, 450 °C sıcaklıkta temperlendiğinde sertliğinde %8,2 oranında azalma gerçekleşerek 42 HRC sertliğe azalmıştır. Temperleme sıcaklığı 550 °C'ye çıkarıldığında ise sertlik değeri %8,3 oranında düşüş ile 35 HRC değerine ulaşmıştır. Son olarak 650 °C temperleme sıcaklığında sertlik değerinde %8,3 oranında düşüş ile 29 HRC olduğu görülmüştür. AISI 4340 çeliği için de benzer şekilde 300 °C sıcaklıktaki temperleme işlemi ile sertlik değeri 49 HRC'ye ulaşırken, 450, 550 ve 650 °C sıcaklıklarda uygulanan temperleme işlemi sonrasında çeliğin sertliğinde sırasıyla %8,1, %8, 8,7 oranlarında düşüş meydana gelmiştir. Artan temperleme sıcaklığı ile sertlik değerlerindeki bu düşüş; düşük temperleme sıcaklıklarında çelik numunelerin mikroyapılarında bulunan martenzit yapının, temperleme sıcaklığının artmasıyla bey nitik-perlitik yapıya dönüşmesiyle ilişkili olduğu düşünülmektedir.



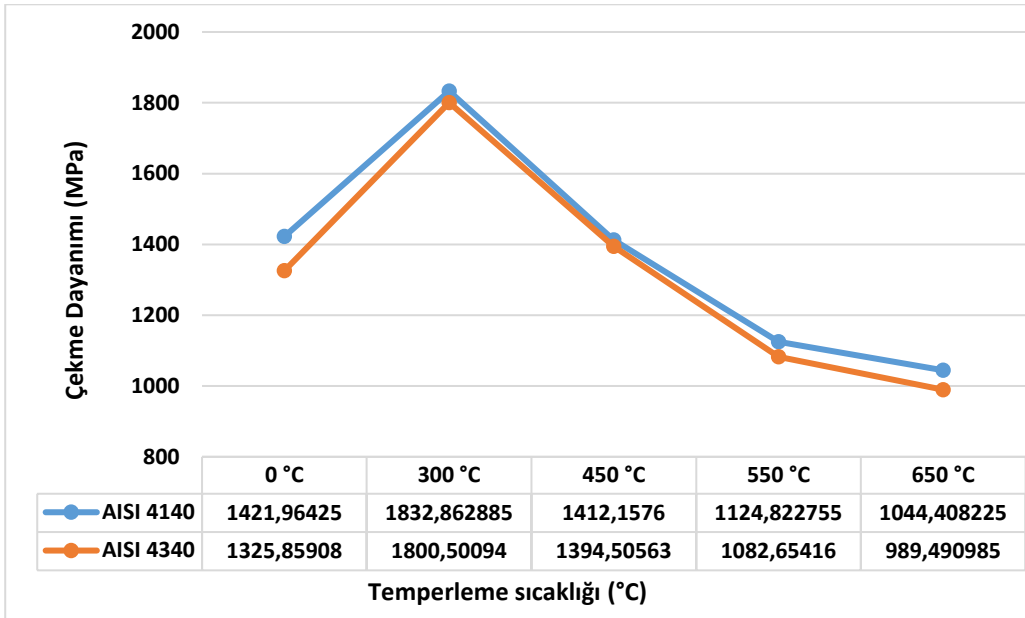
Şekil 7.3. AISI 4140-4340 çeliğinin temperleme sıcaklıklarına bağlı sertlik değişimi.

7.3. ÇEKME TESTİ BULGULARI

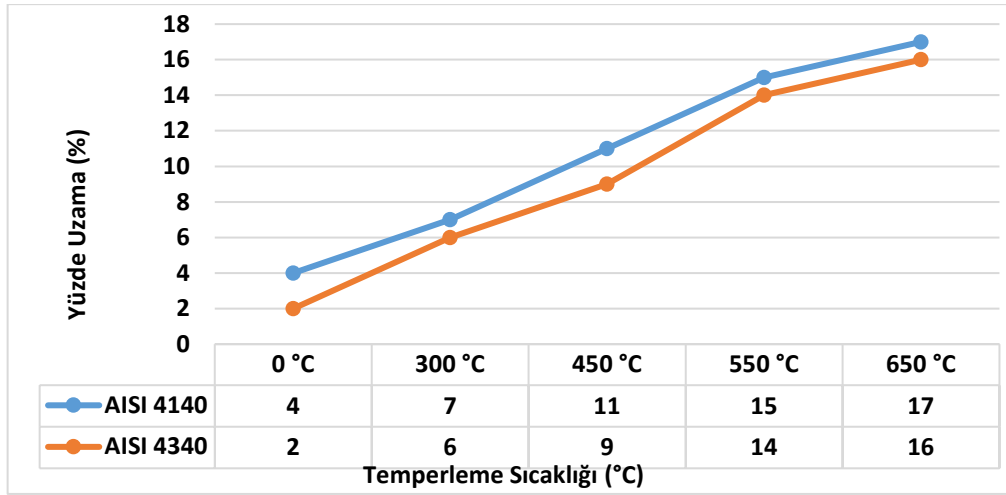
Şekil 7.4 ve Şekil 7.5'teki grafiklerde, çekme testine tabi tutulan numunelerin farklı temperleme sıcaklığına bağlı çekme dayanımı, akma dayanımı ve yüzde uzaması değişimleri verilmiştir.



Şekil 7.4. AISI 4140 ve AISI 4340 malzemelerin akma dayanımı grafikleri.



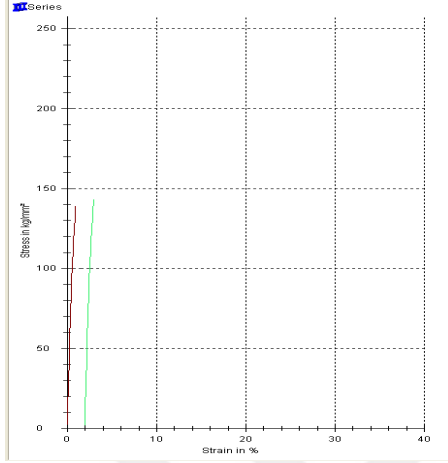
Şekil 7.5. AISI 4140 ve AISI 4340 malzemelerin çekme dayanımı grafikleri.



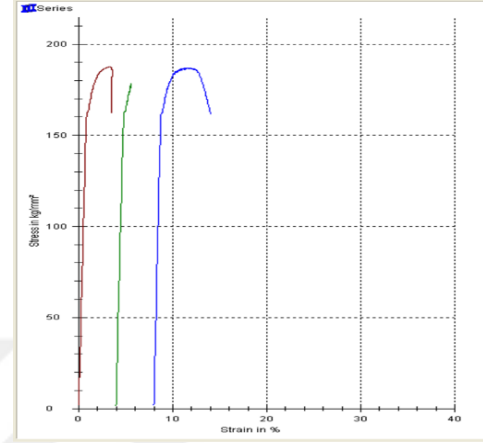
Şekil 7.6. AISI 4140 ve AISI 4340 malzemelerin yüzde uzama grafikleri.

Şekil 7.4 ve Şekil 7.5’deki grafikler incelendiğinde, her iki çelik türü içinde temperleme yapılmamış numunelerin 300 °C’de temperlenen numunelere göre çekme ve akma dayanımlarının düşük olduğu görülmüştür. Bu durumun, ani soğumanın etkisi ile tanelerin tümüyle martenzit yapıda olması ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Temperleme yapılan numunelere bakıldığında ise 300 °C sıcaklıkta temperleme uygulanan numunelerde çekme ve akma dayanımı değerlerinin maksimum olduğu ve artan temperleme sıcaklığı ile birlikte numunelerin çekme ve akma dayanımı değerlerinde düşüş olduğu görülmektedir. En yüksek çekme dayanımı değeri AISI 4140 için 1832,86 MPa ve AISI 4340 için ise 1800,5 Mpa olarak en düşük temperleme sıcaklığı olan 300 °C’de elde edilmiştir. Temperleme sıcaklığının 450, 550 ve 650 °C’ye artırılmasıyla çekme dayanımı değerlerinde AISI 4140 için sırasıyla %23, %38,5 ve %43 oranlarda AISI 4340 için ise %22,5, %39,87 ve %45 oranlarında düşüş gözlenmiştir. Benzer şekilde; 300 °C’de temperleme işleminin sonunda, AISI 4140 için 1596,20 MPa ve AISI 4340 için 1580,83 MPa olarak ölçülen akma dayanımı değerleri, temperleme sıcaklığının 450, 550 ve 650 °C’ye artırılmasıyla AISI 4140 için sırasıyla %18, %35 ve %40 oranda düşüş gösterirken AISI 4340 için ise sırasıyla %18,3, %36,85, %43,4 düşüş göstermiştir. 300 °C temperleme sıcaklığında her iki malzemede de maksimum çekme değeri elde edilmesinin nedeni, buna bağlı olarak uzamanın da minimum olmasının sebebi martenzit yapılarının iğnesel formdan küresel forma dönüşmeden, malzemeye daha tokluk özelliği veren perlitik/beynitik yapıya dönüşmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Temperleme sıcaklığı arttıkça martenzit yapıları küreselleşmekte ve buna bağlı olarak mukavemet değerlerinde düşüş görülmektedir. Şekil 7.6’da ise, çekme ve akma dayanımı grafiklerinin aksine artan

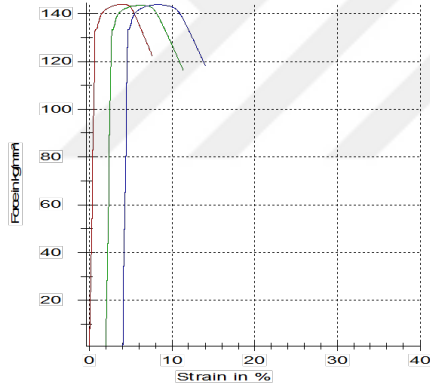
temperleme sıcaklığı ile birlikte numunelerin kopma uzaması değerlerinde artış meydana gelmiştir. En yüksek uzama yüzdesi iki çelik içinde 650 °C’de elde edilirken, en düşük uzama yüzdesi temperlenmemiş numunede görülmüştür. Numunelerin orijinal çekme grafikleri Şekil 7.7 ve Şekil 7.8’de verilmiştir.



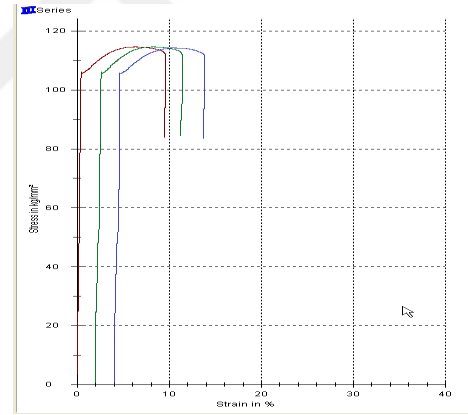
a)



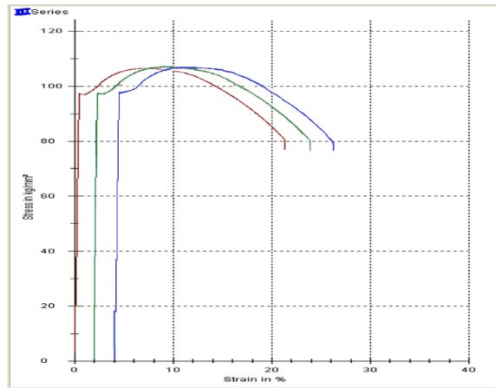
b)



c)

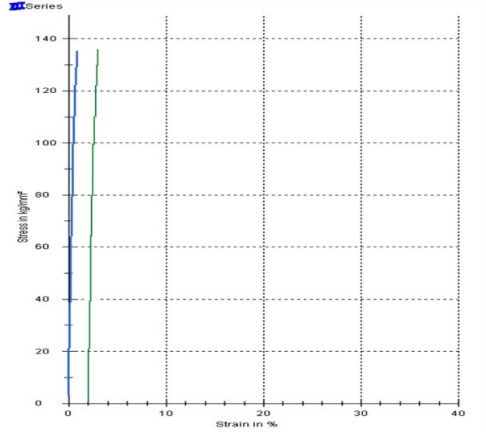


d)

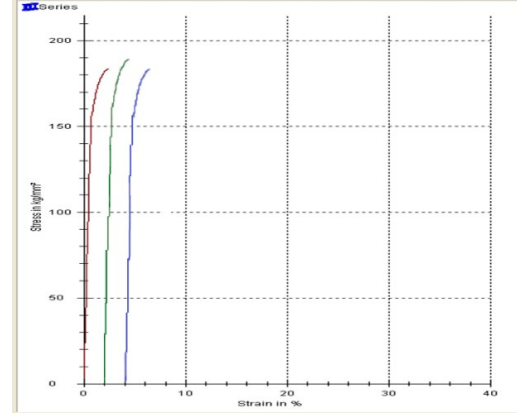


e)

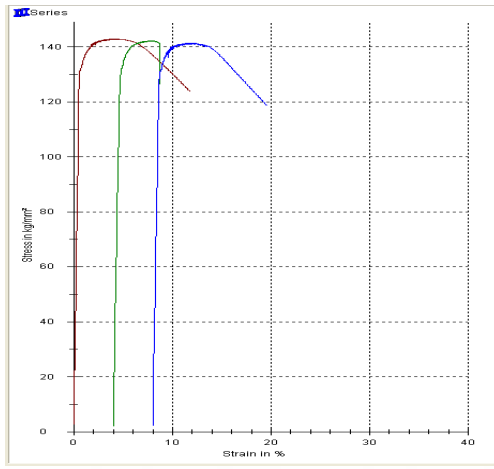
Şekil 7.7. AISI 4140 numunelerinin çekme grafikleri a) 0 °C b) 300 °C c) 450 °C d) 550 °C e) 650 °C.



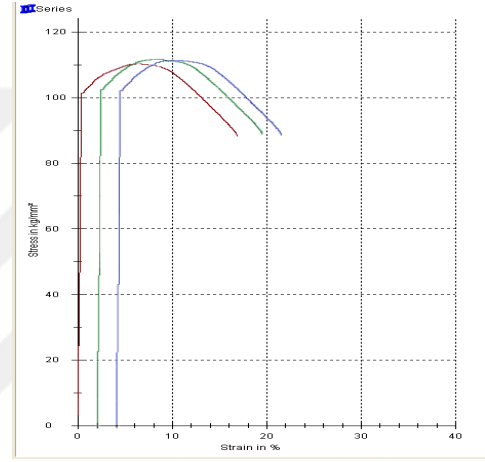
a)



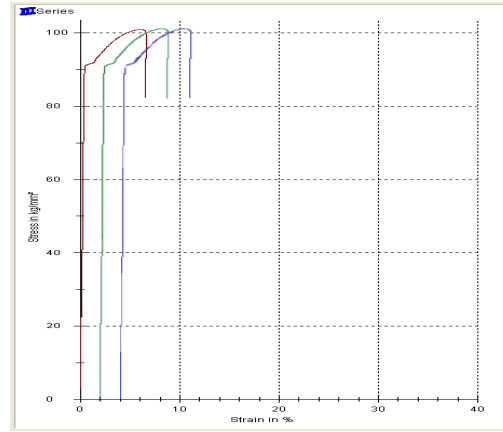
b)



c)



d)



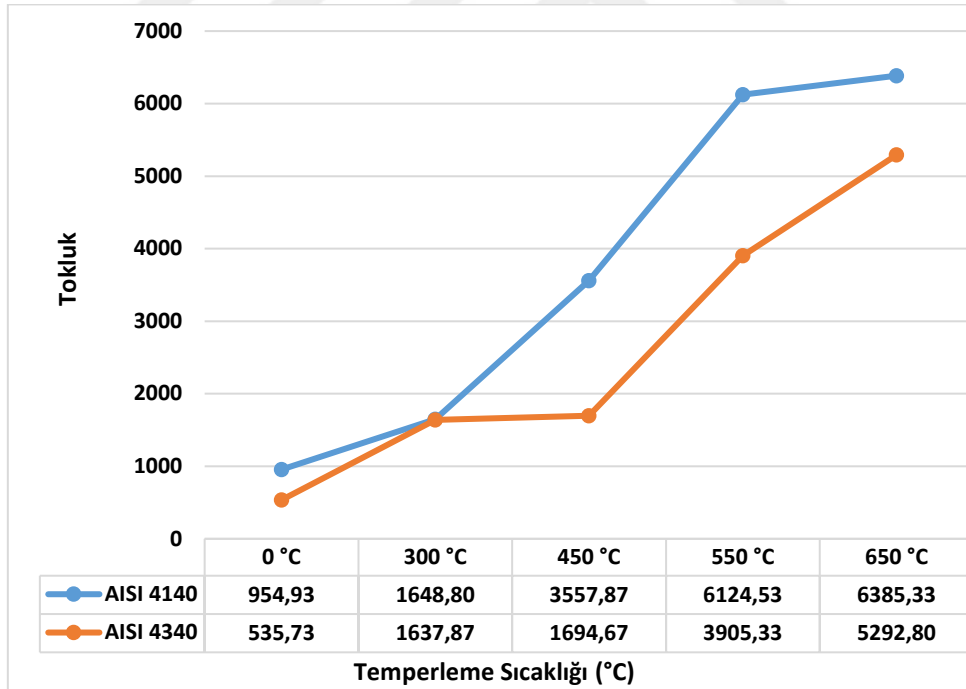
e)

Şekil 7.8. AISI 4340 numunelerinin çekme grafikleri a) 0 °C b) 300 °C c) 450 °C d) 550 °C e) 650 °C.

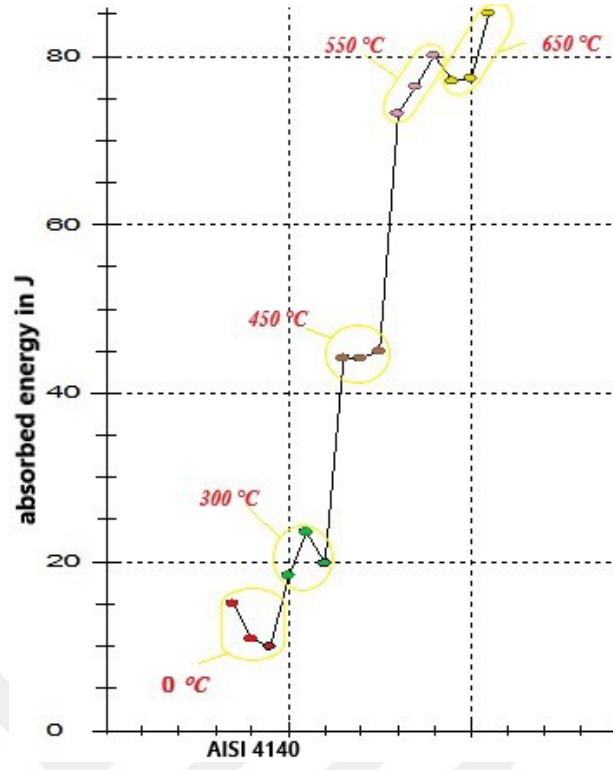
7.4. DARBE TESTİ BULGULARI

Çelik numunelerin darbe testi sonuçlarını gösteren grafik Şekil 7.9’de verilmiştir. Şekil 7.9 incelendiğinde en düşük tokluk değerinin temperleme yapılmayan numunelerde elde edildiği görülmektedir. Sertlik, çekme ve akma dayanımı grafiklerinin aksine artan temperleme sıcaklığıyla birlikte çeliklerin tokluk değerleri de artmıştır. Bilindiği gibi sertlik ile tokluk ters orantılıdır ve sertlik arttıkça tokluk düşer. Temperleme yapılan numuneler arasında en düşük tokluğa 300 °C sıcaklıkta temperleme yapılan numuneler sahip iken, en yüksek tokluğa 650 °C sıcaklıkta temperleme yapılan numuneler sahiptir. Darbe dayanımının yükselmesinin nedeni, temperleme sıcaklığı arttıkça numunelerde tane incelmeye bağlı olarak süneklik artışı olduğu düşünülmektedir.

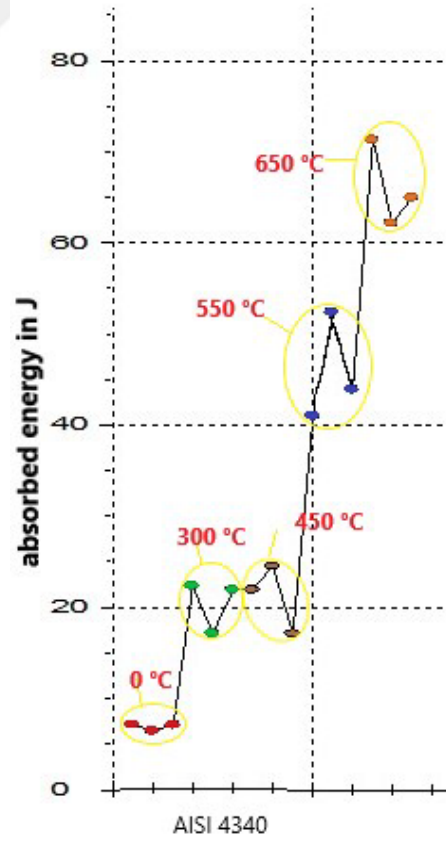
AISI 4140 numuneler daha lineer bir artış gösterirken, AISI 4340 numuneleri özellikle 300 °C ile 450 °C sıcaklığı arasında çok fazla değişim göstermeyerek yatay bir ilerleme göstermiş, 650 °C sıcaklığa doğru lineer olarak artmıştır. Numunelerin darbe testi grafikleri Şekil 7.10 ve Şekil 7.11’de verilmiştir.



Şekil 7.9. AISI 4140 ve AISI 4340 malzemelerin tokluk grafikleri.



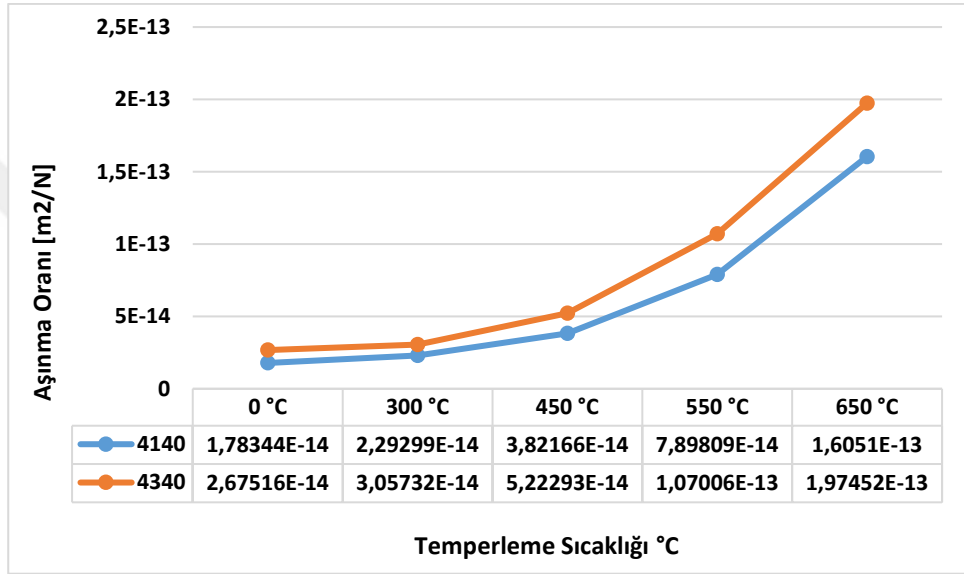
Şekil 7.10. AISI 4140 numunelerinin darbe testi grafiği.



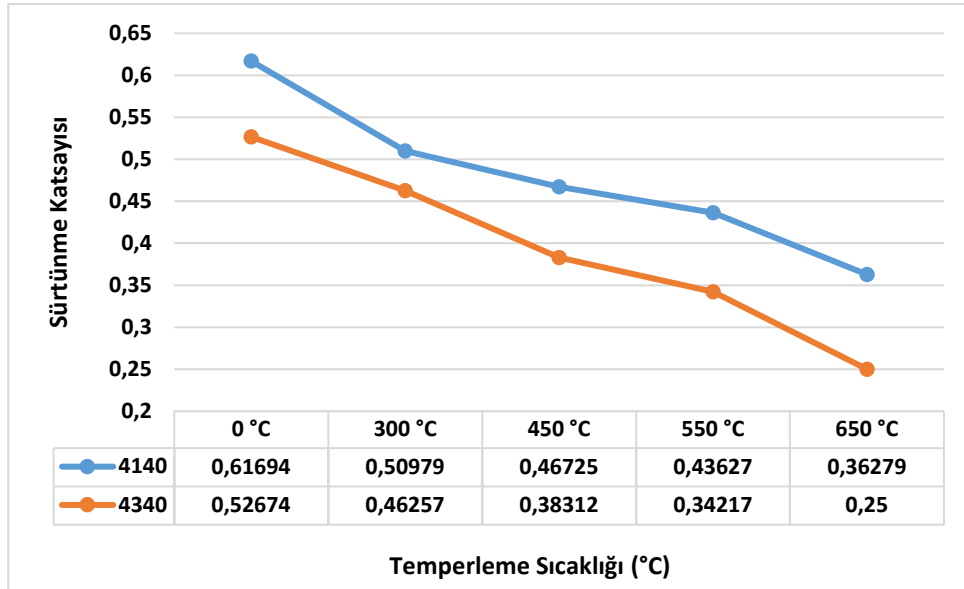
Şekil 7.11. AISI 4340 numunelerinin darbe testi grafiği.

7.5. AŞINMA TESTİ BULGULARI

Aşınma testleri her numune için aynı koşullarda yapılmış olup hız 0,5m/sn, yol 500 mt, yük 20 N'dur. Elde edilen değerler Şekil 7.12 ve Şekil 7.13'deki grafiklerde sunulmuştur. Çıkan sonuçlar temperleme yapılmayan numunelerin her iki malzeme içinde sürütünme katsayısının en fazla olduğunu göstermiş, temperleme sıcaklığı arttıkça sürütünme katsayısının azaldığı bunun yanı sıra aşınma oranının arttığı görülmüştür.



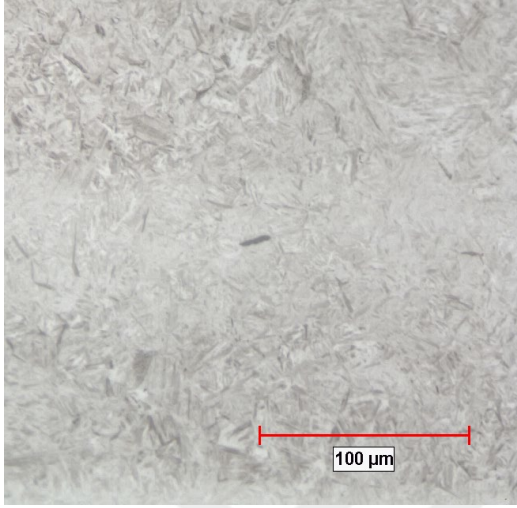
Şekil 7.12. AISI 4140 ve AISI 4340 malzemelerin aşınma oranı grafikleri.



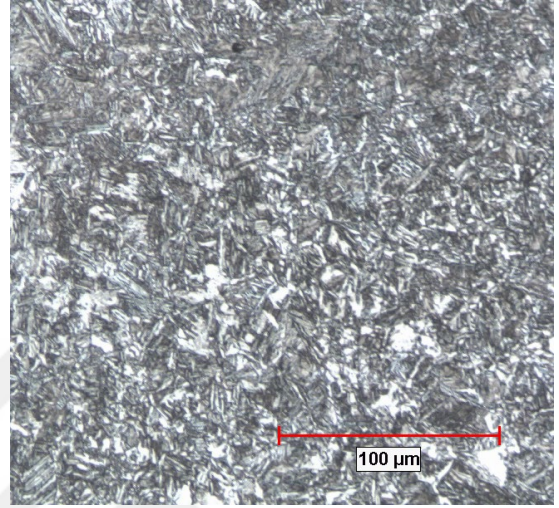
Şekil 7.13. AISI 4140 ve AISI 4340 malzemelerinin sürtünme katsayısı grafikleri.

7.6. MİKROYAPI BULGULARI

Şekil 7.14 ve Şekil 7.15'deki resimler incelendiğinde, 860 °C'de 30 dakika bekletildikten sonra çok hızlı soğumanın etkisiyle malzemedeki taneler iğneselleşerek martenzitik yapıya dönüştüğü görülmüştür.

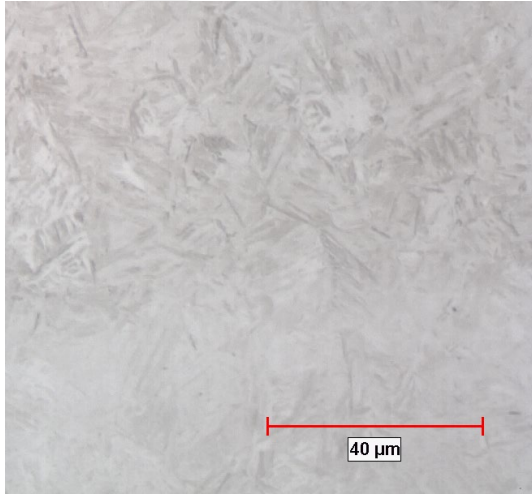


a)

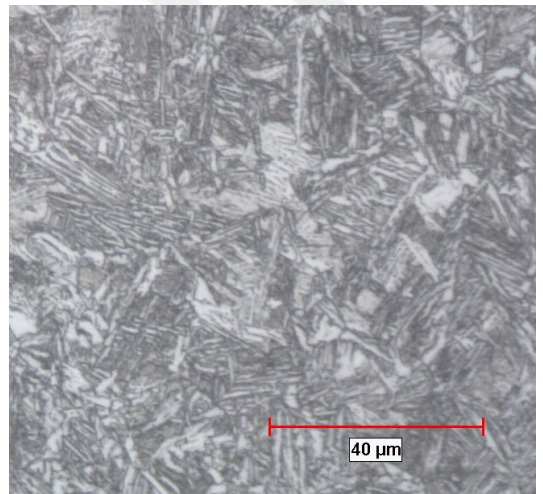


b)

Şekil 7.14. Temperleme yapılmamış numunelerinin X200 mikroyapı görüntülemesi
a) AISI 4140 b) AISI 4340.

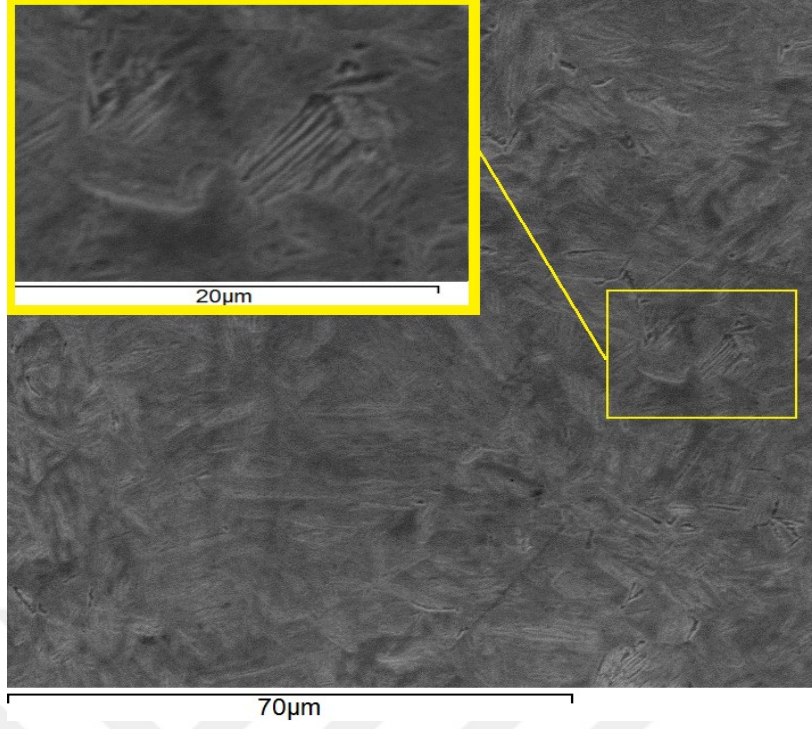


a)

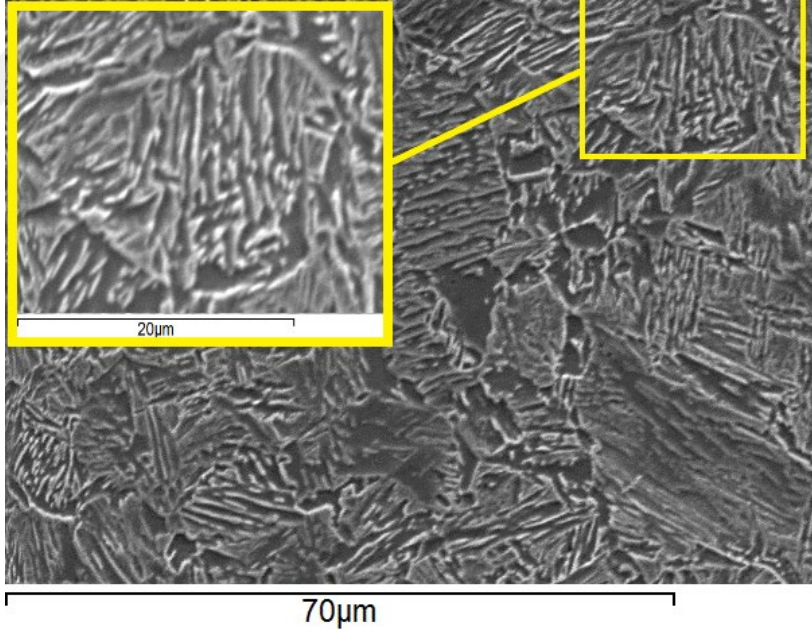


b)

Şekil 7.15. Temperleme yapılmamış numunelerinin X500 mikroyapı görüntülemesi
a) AISI 4140 b) AISI 4340.

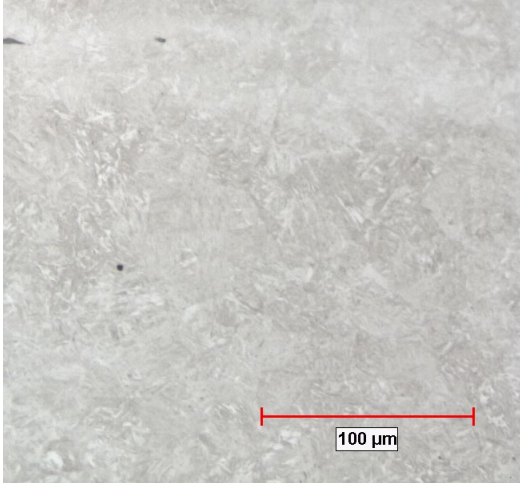


Şekil 7.16. Temperleme yapılmamış AISI 4140 numunesinin X1000 içerisinde X3000 mikroyapı görüntülemesi.

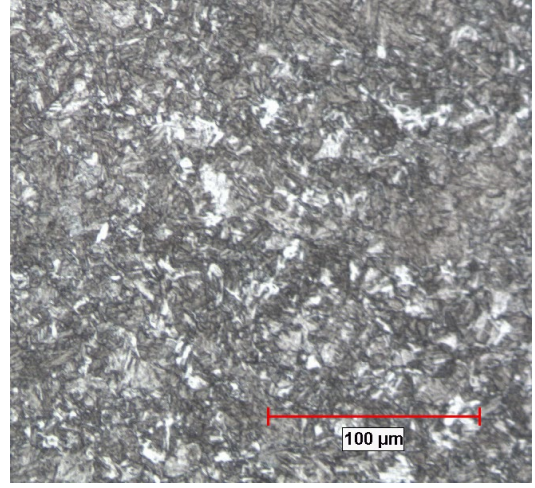


Şekil 7.17. Temperleme yapılmamış AISI 4340 numunesinin X1000 içerisinde X3000 mikroyapı görüntülemesi.

Şekil 7.16 ve Şekil 7.17’deki SEM fotoğraflarında görüldüğü gibi martensitik yapılar tüm içyapıda dağılım göstermiştir. Martenzit tanelerin kalın görüntüsü, mekanik testlerdeki düşük çekme ve akma mukavemetlerinin bu yapıyla ilişkili olduğunu düşündürmektedir.

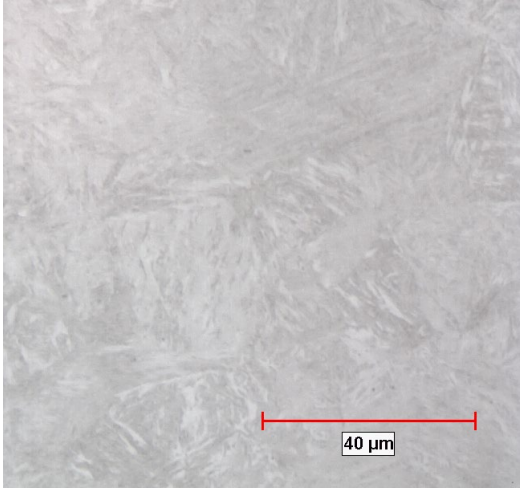


a)

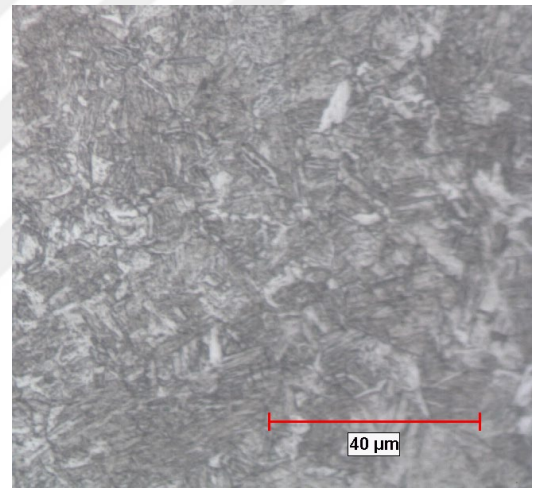


b)

Şekil 7.18. 300 °C’de temperlenmiş numunelerin X200 mikroyapı görüntülemesi a) AISI 4140 b) AISI 4340.



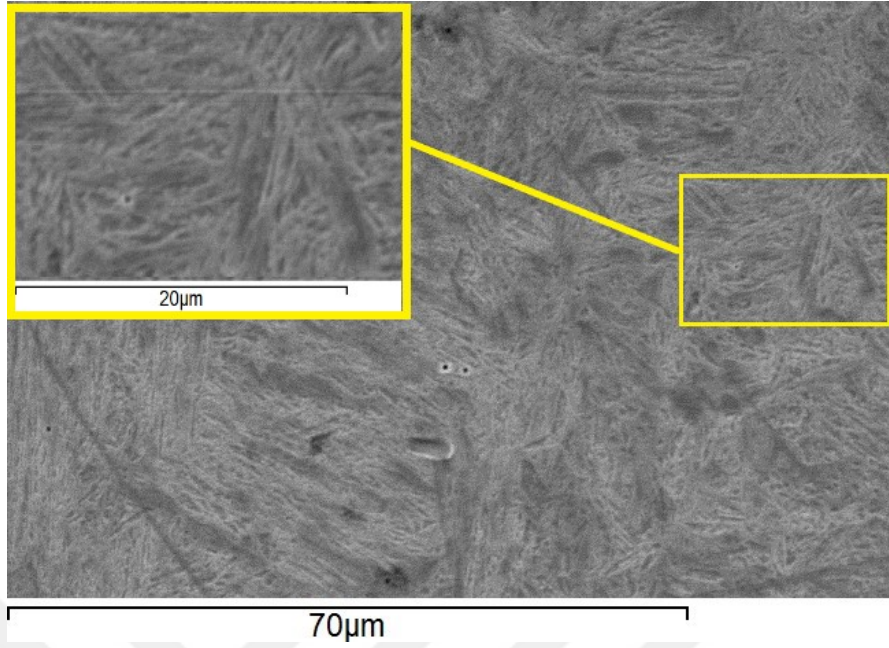
a)



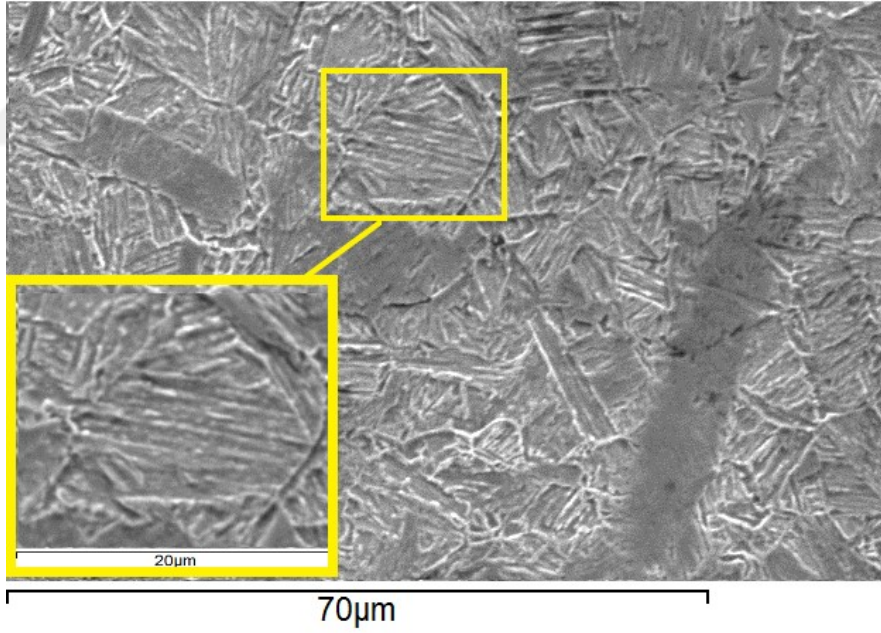
b)

Şekil 7.19. 300 °C’de temperlenmiş numunelerin X500 mikroyapı görüntülemesi a) AISI 4140 b) AISI 4340.

Şekil 7.18 ve Şekil 7.19 incelendiğinde 300 °C’de temperleme işleminden sonra martenzit yapı ile birlikte perlitik/beynitik yapılar da ortaya çıkmıştır. Düşük sıcaklıkta yapılan temperleme işlemi ile birlikte malzemedeki gerilmeler azalmış ve çalışmadaki en iyi akma ve çekme değerleri elde edilmiştir. Mekanik özelliklerdeki bu iyileşme ile 300 °C sıcaklıktaki temperleme, gerilim gidermenin en iyi olduğu sıcaklık olduğu belirlenebilir.

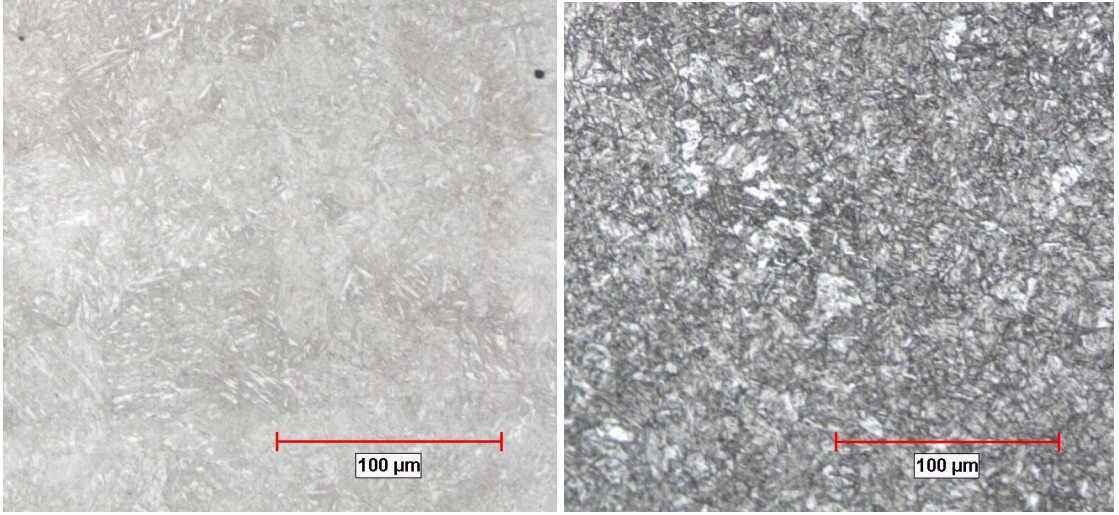


Şekil 7.20. 300 °C’de temperlenmiş AISI 4140 numunesinin X1000 içerisinde X3000 mikroyapı görüntülemesi.



Şekil 7.21. 300 °C’de temperlenmiş AISI 4340 numunesinin X1000 içerisinde X3000 mikroyapı görüntülemesi.

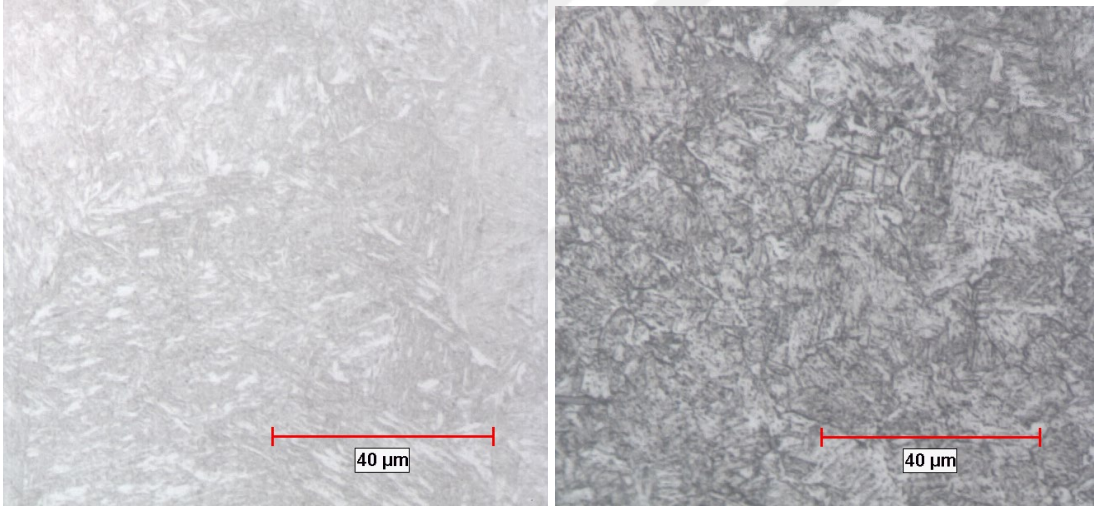
Şekil 7.20 ve Şekil 7.21’deki SEM görüntülerinde martenzit yapıların daha ince yapıda olduğu görülmektedir. Bu durum yapıda temperlenmiş martenzit ile birlikte beynitik bir yapının da olduğu, oluşan beynitik yapının mekanik değerlerdeki artışa sebep olduğu düşünülmektedir.



a)

b)

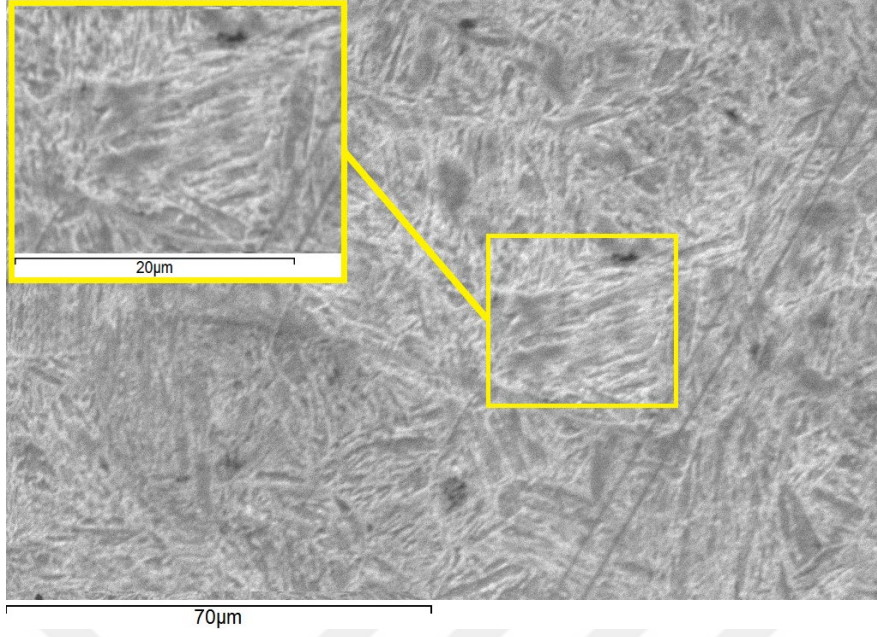
Şekil 7.22. 450 °C’de temperlenmiş numunelerin X200 mikroyapı görüntülemesi a) AISI 4140 b) AISI 4340.



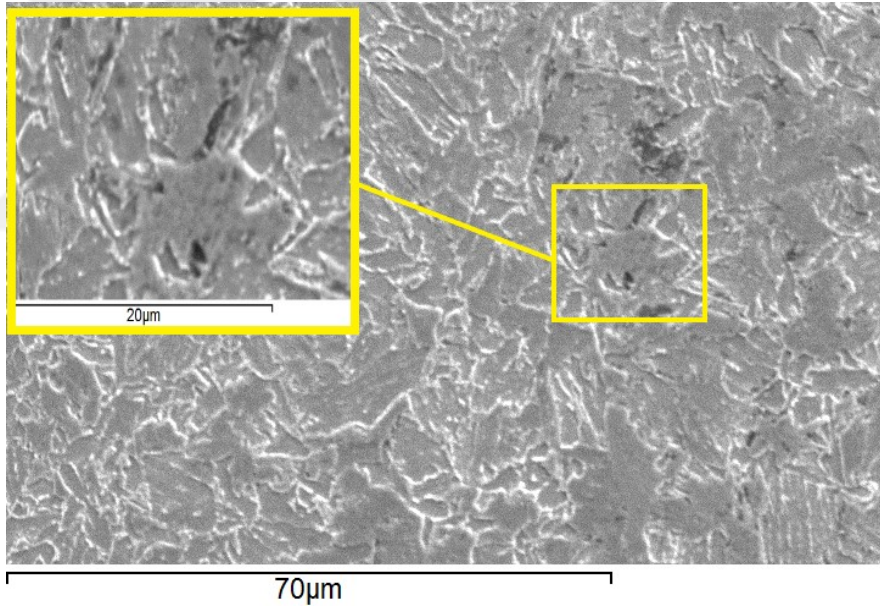
a)

b)

Şekil 7.23. 450 °C’de temperlenmiş numunelerin X500 mikroyapı görüntülemesi a) AISI 4140 b) AISI 4340.

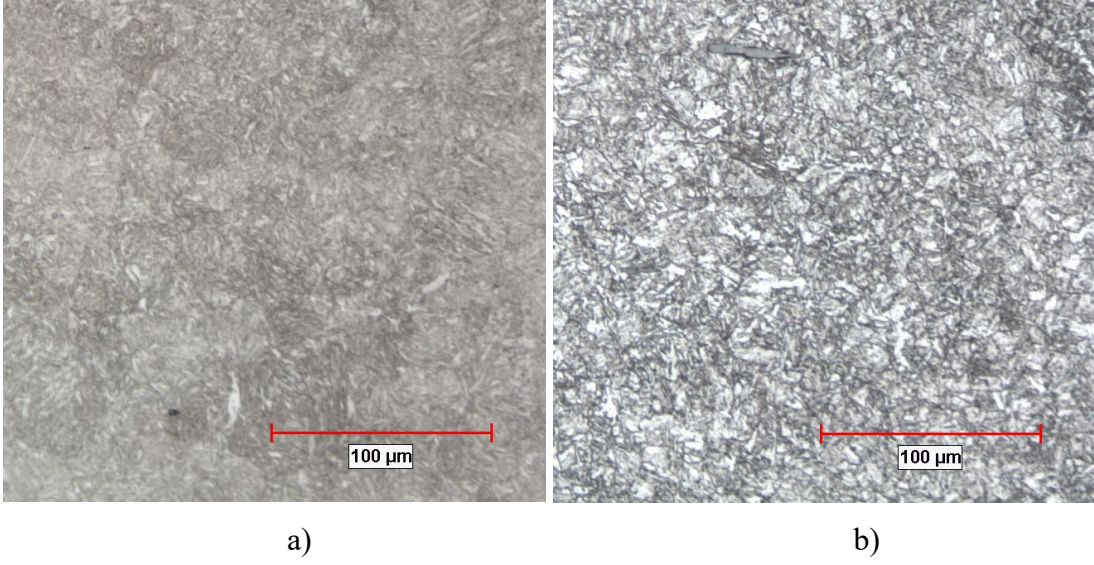


Şekil 7.24. 450 °C’de temperlenmiş AISI 4140 numunesinin X1000 içerisinde X3000 mikroyapı görüntülemesi.

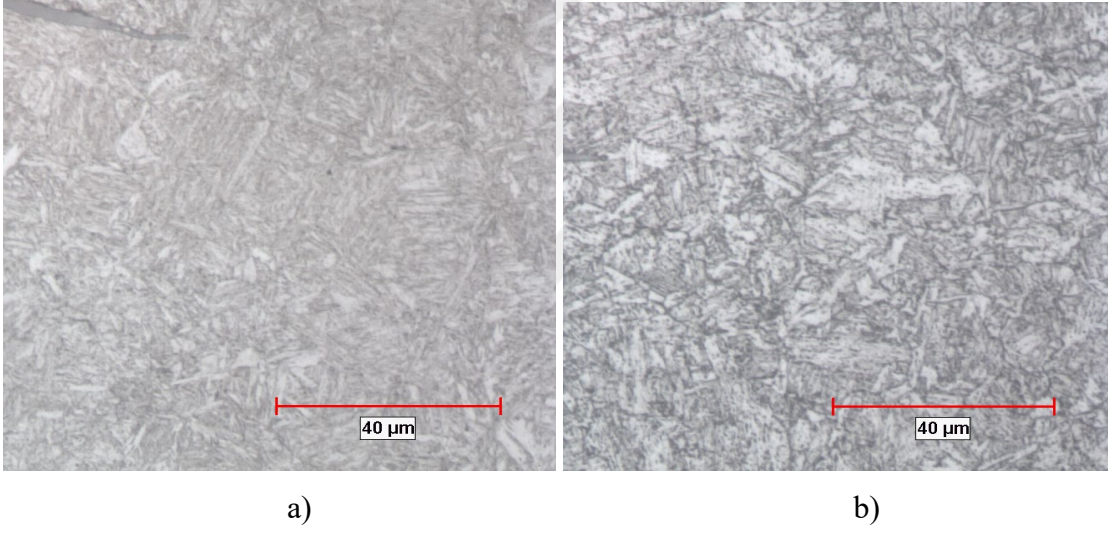


Şekil 7.25. 450 °C’de temperlenmiş AISI 4140 numunesinin X1000 içerisinde X3000 mikroyapı görüntülemesi.

Şekil 7.24 ve Şekil 7.25 incelendiğinde tane yapıları 300 °C’deki yapılara göre daha büyük ve beynit yoğunluğu artmıştır. Bu sıcaklıktan sonra yapıda martenzit tanesi izlemesi yapılmaya gerek görülmemiştir.

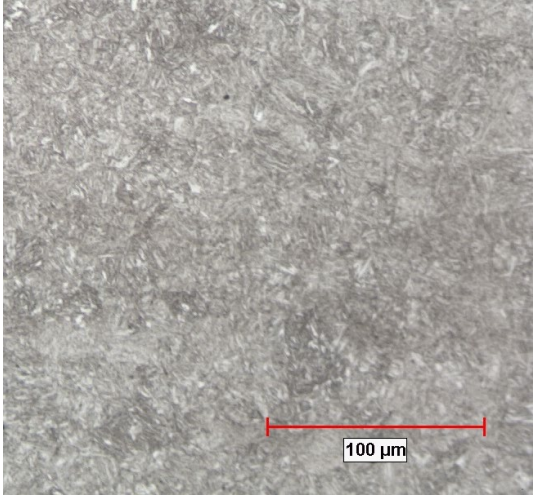


Şekil 7.26. 550 °C’de temperlenmiş numunelerin X200 mikroyapı görüntülemesi a) AISI 4140 b) AISI 4340.

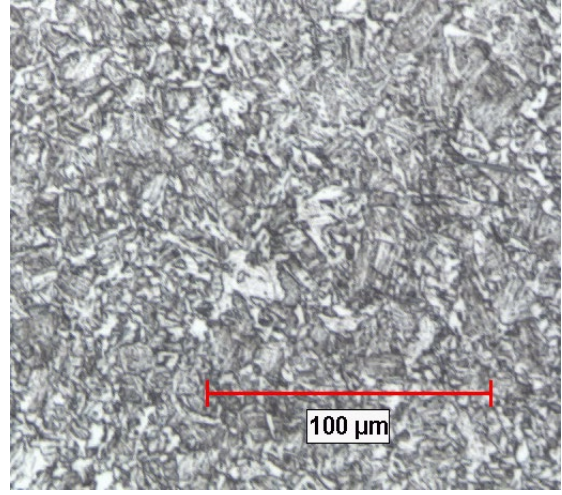


Şekil 7.27. 550 °C’de temperlenmiş numunelerin X500 mikroyapı görüntülemesi a) AISI 4140 b) AISI 4340.

Şekil 7.26 ve Şekil 7.27 incelendiğinde, tane yapısının belirgin bir şekilde büyüdüğü ve yapıda yeniden kristalleşme olduğu görülmektedir.

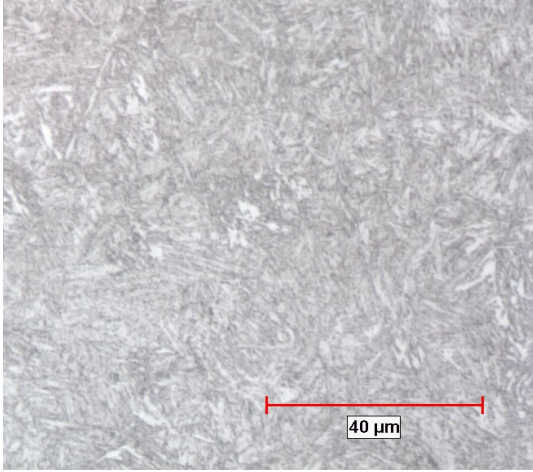


a)

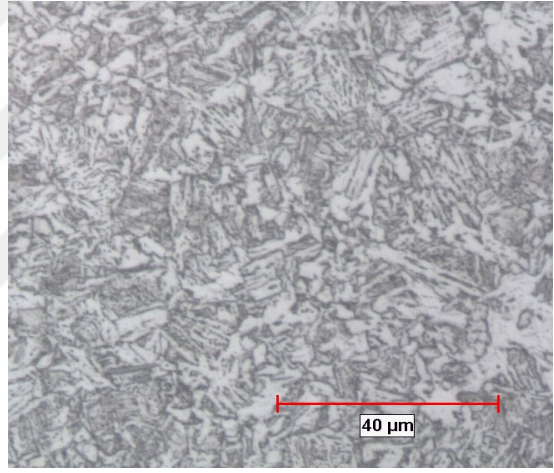


b)

Şekil 7.28. 650 °C’de temperlenmiş numunelerin X200 mikroyapı görüntülemesi a) AISI 4140 b) AISI 4340.



a)



b)

Şekil 7.29. 650 °C’de temperlenmiş numunelerin X500 mikroyapı görüntülemesi a) AISI 4140 b) AISI 4340.

Şekil 7.28 ve Şekil 7.29’da tanelerin daha irileştiği ve tane sınırlarının belirginleştiği görülmüştür. Genel olarak düşük temperleme sıcaklığında sert bir yapıya sahip olan martenzit yapı, artan temperleme sıcaklığıyla birlikte azalmış, taneler küreselleşerek homojen bir yapı ortaya çıkmış, daha yumuşak bir yapıya sahip olan beynit ve perlit yapı artmıştır.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tüm ısıtım işlem şartlarında AISI 4140 çeliği AISI 4340 çeliğine kıyasla daha yüksek sertlik değerlerine ulaşmıştır.

Malzeme farkına bakılmaksızın her iki malzeme türü için de; su verme işleminden sonra temperleme yapılmayan numuneler en yüksek sertlik değerine sahiptirler. Temperleme yapılan numuneler arasında ise 300 °C sıcaklıkta temperlenmiş numunelerin sertlik değerleri en yüksek seviyeye ulaşmış ve 650 °C'ye kadar artan temperleme sıcaklığıyla birlikte sertlik değerleri de düşmüştür. Temperleme sıcaklığının 300 °C'den 650 °C'ye artırılmasıyla AISI 4140 çeliğinin sertliğinde %41, AISI 4340 çeliğinin sertliğinde ise %36,7 oranda azalma oluşmuştur.

Tüm ısıtım işlem şartlarında AISI 4140 çeliğinin çekme ve akma dayanımı değerleri AISI 4340 çeliğine kıyasla daha yüksektir. Her iki malzeme türü için de (AISI 4140 ve AISI 4340) su verme işleminden sonra temperleme yapılmamış numunelerin çekme ve akma dayanımı değerleri 300 °C'de temperlenen numunelere göre düşüktür. En yüksek çekme ve akma dayanımı değerleri 300 °C'de temperlenmiş numunelerde elde edilmiş ve 650 °C'ye kadar artan temperleme sıcaklığıyla birlikte numunelerin çekme ve akma dayanımı değerlerinde düşüş gözlenmiştir.

Genel olarak, AISI 4140 çeliğinin yüzde uzama değerleri AISI 4340 çeliğine kıyasla daha yüksektir. Her iki malzeme türü için de; su verme işleminden sonra temperleme uygulanmamış numunelere kıyasla temperleme uygulanmış numunelerin yüzde uzama değerleri daha yüksek olmakla birlikte artan temperleme sıcaklığı ile birlikte yüzde uzama değerleri de artmıştır. En yüksek yüzde uzama değeri; iki çelik içinde 650 °C'de elde edilirken, en düşük yüzde uzama değeri temperlenmemiş numunede görülmüştür.

Tüm ısıtım işlem şartlarında AISI 4140 çeliğinin tokluk değerleri AISI 4340 çeliğine kıyasla daha yüksektir. Her iki çelik türünde de; en düşük tokluk değeri su verme işleminden sonra temperleme uygulanmamış numunelerde görülmüştür. 300 °C temperleme işleminin ardından her iki çeliğin tokluk değerlerinde artış meydana gelmiş ve 650 °C'ye kadar artan temperleme sıcaklığıyla birlikte tokluk değerleri de artmıştır.

Tüm ısıt ışılem ışıletlerinde, AISI 4340 elięi AISI 4140 elięine kıyasla daha fazla aşınmıştır. Her iki elik türünde de en düşük aşınma oranı su verme ışıleminden sonra temperleme uygulanmamış numunelerde oluşmuştur. Temperleme ışılemi uygulanan numunelerin aşınma oranları da daha yüksektir ve artan temperleme sıcaklığı ile birlikte aşınma oranları da artmıştır.

Aşınma deneylerinden elde edilen sürtünme katsayısı değerlerinde, AISI 4140 elięinin daha yüksek sürtünme katsayısı değerlerine sahip olduğu görölmüştür. Her iki elik türünde de en yüksek sürtünme katsayısı değerleri; su verme ışıleminden sonra temperleme uygulanmamış numunelerde oluşmuş ve artan temperleme sıcaklığı ile birlikte sürtünme katsayısı değerlerinde düşüş meydana gelmiştir.

Temperlenmemiş numunelerde yağda hızlı soğuma etkisine bağlı olarak martenzitik yapı görölmektedir. Temperleme ışıleminin martenzit yapıya küreselleştirme etkisi artan temperleme sıcaklığı ile birlikte artmaktadır. 450 - 550 ve 650 °C sıcaklıklarda martenzit yapıları tav etkisine bağlı olarak küresel ve homojen ferritik/beynitik yapıya dönüşmüş ve nihai mikroyapı ferritik-perlitik hale gelmiştir. Burada ferrit perlit dağılımının etkisi 4340 numunelerde daha net görölmektedir. Matristeki ferrit arttıkça mukavemet değerlerinde düşüş görölmektedir. 4140 numunelerde daha düşük ferrit ve daha yüksek perlit oranı mukavemet değerlerini artırıcı etki yaratmıştır. Ferrit yapılarının aseküler yapıda olması tane boyutu ölçümlerini zorlaştırmıştır.

Tüm incelemeler göz önüne alındığında AISI 4140 elięinin, AISI 4340 elięine göre ısıt ışılem yeteneğinin daha yüksek olduğu görölmüştür. Kullanım alanları göz önüne alınarak uygun temperleme sıcaklığı seçilebilir.

Sonraki çalışmalarda soğutma ortamı olarak polimer sıvı soğutucu seçilerek malzemelere daha iyi mekanik özellikler katılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] E. Kesti, “Ç - 4140 Çeliğinin, mikro yapı ve mekanik özelliklerine su verme ortamının etkilerinin araştırılması,” Yüksek Lisans tezi, Makine Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye, 2009.
- [2] A. H. Meysami, R. Ghasemzadeh, S. H. Seyedein, and M. R. Aboutalebi, “An investigation on the microstructure and mechanical properties of direct-quenched and tempered AISI 4140 steel,” *Materials & Design*, c. 31, s. 3, ss. 1570-1575, 2010.
- [3] M. Uzkut ve İ. Özdemir, “Farklı çeliklere uygulanan değişen ısıtma hızlarının mekanik özelliklere etkisinin incelenmesi,” *Deü Mühendislik Fakültesi Fen Ve Mühendislik Dergisi*, c. 3, s. 3, ss. 65-74, 2001.
- [4] T. Savaşkan, *Malzeme Bilimi ve Malzeme Muayenesi*, Trabzon, Türkiye: Celepler Matbaacılık, 2015, ss. 1-10.
- [5] M. A. Topbaş, *Çelik Ve Isıl İşlem El Kitabı*, İstanbul, Türkiye, Prestij yayıncılık 1998, ss. 12-17.
- [6] W. S. Lee and T. T. Su, “Mechanical properties and microstructural features of aisi 4340 high-strength alloy steel under quenched and tempered conditions,” *Journal of Materials Processing Technology*, c. 87, s. 1-3, ss. 198-206, 1999.
- [7] D. N. Zou, Y. Han, W. Zhang, and X. D. Fang, “Influence of tempering process on mechanical properties of 00cr13ni4mo supermartensitic stainless steel,” *Journal of Iron and Steel Research International*, c. 17, s. 8, ss. 50-54, 2010.
- [8] N. S. Köksal, M. Uzkut ve B. S. Ünlü, “Farklı karbon içerikli çeliklerin mekanik özelliklerinin ısıtma işlemleriyle değişimi,” *Deü Mühendislik Fakültesi Fen Ve Mühendislik Dergisi*, c. 6, s. 2, ss. 95-100, 2004.
- [9] H. Güler ve R. Özcan, “Yüksek karbonlu çeliklere su verme işleminin mekanik özelliklere etkisinin incelenmesi,” *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, c. 19, s. 2, ss. 77-83, 2014.
- [10] U. Çalığülü ve M. Aras, “Temperleme işleminin yağda soğutulan çeliklerin mikroyapı ve sertlik özelliklerine etkisi” *4th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science senpozyumunda sunuldu, Alanya, 2016*, ss. 600-607
- [11] F. Öztürk, M. Demirezen, ve M. Bayrak, “DIN 41Cr4 ve DIN 42CrMo4 çeliklerde ısıtma işlemin mekanik özelliklere etkisinin araştırılması,” *Teknoloji Dergisi*, c. 9, s. 2, ss. 145-152, 2006.
- [12] N. S. Köksal, G. Akpınar ve D. Aydın, “AISI 1060 çelik malzemenin tokluk ve sertlik değerlerine soğutma ortamının etkisi,” c. 7, s. 2, ss. 45-52, 2010.
- [13] A. M. Rashidi and M. Moshrefi-Torbati, “Effect of tempering conditions on the mechanical properties of ductile cast iron with dual matrix structure (Dms),” *Materials Letters*, c. 45, s. 3, ss. 203-207, 2000.
- [14] Z. Li, N. Xiao, D. Li, J. Zhang, Y. Luo, and R. Zhang, “Effect of microstructure

- evolution on strength and impact toughness of G18CrMo2-6 heat-resistant steel during tempering,” *Materials Science and Engineering: A*, c. 604, ss. 103–110, 2014.
- [15] M. H. Khani Sanij, S. S. Ghasemi Banadkouki, A. R. Mashreghi, and M. Moshrefifar, “The effect of single and double quenching and tempering heat treatments on the microstructure and mechanical properties of aisi 4140 steel,” *Materials & Design*, c. 42, ss. 339–346, 2012.
- [16] P. Yan, Z. Liu, H. Bao, Y. Weng, and W. Liu, “Effect of tempering temperature on the toughness of 9Cr-3W-3Co martensitic heat resistant steel,” *Materials & Design*, c. 54, ss. 874–879, 2014.
- [17] B. Qin, Z. Y. Wang, and Q. S. Sun, “Effect of tempering temperature on properties of 00Cr16Ni5Mo stainless steel,” *Materials Characterization*, c. 59, s. 8, ss. 1096–1100, 2008.
- [18] A. Salemi and A. Abdollah-Zadeh, “The effect of tempering temperature on the mechanical properties and fracture morphology of a niernov steel,” *Materials Characterization*, c. 59, s. 4, ss. 484–487, 2008.
- [19] C. Zhang, Q. Wang, J. Ren, R. Li, M. Wang, F. Zhang, and Z. Yan, “Effect of microstructure on the strength of 25CrMo48V martensitic steel tempered at different temperature and time,” *Materials & Design*, c. 36, ss. 220–226, 2012.
- [20] *Carbon Steel Handbook*, Palo Alto, California, USA: Electric Power Research Institute, 2007, ss. 10–15
- [21] Ş. Y. Güven ve D. Çelik, “SAE 4340 çeliğinde ısıtıl işlem parametrelerinin yorulma ve mikro yapı üzerine etkisi,” *Teknik Bilimler Dergisi*, c. 8, s. 2, ss.55–61, 2018.
- [22] K. Onaran, *Malzeme Bilimi*. İstanbul, Türkiye: Bilim Teknik Yayınevi, 1999, ss. 25–31
- [23] U. Özserağ, R. Yılmaz, F. A. Ekerer, ve H. Uzun, “Sementasyon işlemi yapılan çeliklerde mikro sertlik ve mikroyapı değişimlerinin incelenmesi,” *Metallurji Dergisi*, s. 127, 2012.
- [24] D. Karayel, “Prediction and control of surface roughness in cnc lathe using artificial neural network,” *Journal of Materials Processing Technology*, c. 209, s. 7, ss. 3125–3137, 2009.
- [25] A. Ulusoy, “Orta Karbonlu Ve Otomat Çeliklerinde Kesme Hızının İşlenebilirlik Üzerine Etkisi,” Yüksek Lisans tezi, Makine Mühendisliği, Fen bilimleri Enstitüsü, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya, Türkiye, 2008.
- [26] N. Kıratlı, “Ç1040 ve 11SMnPb37 çeliklerinin işlenmesinde yüzey pürüzlülüğü ve üretim maliyetinin deneysel olarak incelenmesi,” *e-Journal of New World Sciences Academy*, c. 5, s. 2, 2010.
- [27] *Asm Handbook Volume 1 Desk Edition*, Ohio, USA: ASM International, c.1, 2001.
- [28] D. Askeland, P. Fulay, and W. Wright, *The Science and Engineering of Materials*, Stamford, USA: Cengage Learning, 2010, ss. 107–110.
- [29] O. Palabıyık, “Soğuk deformasyonun AISI 304 ve AISI 204Cu kalite paslanmaz çeliklerin mikro yapılarına, mekanik özelliklerine ve korozyon davranışlarına

- etkisi,” Yüksek Lisans tezi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2013.
- [30] A. Hatman, *Takım Çelikleri El Kitabı*, İstanbul, Türkiye: Assab Korkmaz Çelik A.Ş, 2001, ss. 15-20.
- [31] A. Çiçek, E. Ekici, İ. Uygur, S. Akıncıoğlu, ve T. Kıvak, “AISI D2 Soğuk iş takım çeliğinin delinmesinde derin kriyojenik işlemin takım ömrü üzerindeki etkilerinin araştırılması” *Süleyman Demirel Üniversitesi Uluslararası Teknoloji Bilim Dergisi*, c. 4, s. 1, ss. 1–9, 2012.
- [32] A. Akdoğan Eker. (2008, 7 Kasım). *Malzeme 2 Dersi Ders Notları-Demir Karbon Denge Diyagramı*. Yıldız Teknik Üniversitesi. [Online]. Erişim: http://www.yildiz.edu.tr/~akdogan/lessons/malzeme2/demir_esasli_malzemeler.pdf.
- [33] W. F. Smith, *Structure And Properties Of Engineering Alloys*, Michigan, USA: McGraw-Hill, 1993, ss. 45-57
- [34] H. Berns and W. Theisen, *Ferrous Materials: Steel And Cast Iron*. Berlin, Germany: Springer Science & Business Media, 2008, ss. 60-70
- [35] F. C. Campbell, *Elements Of Metallurgy And Engineering Alloys*, Ohio, USA: ASM International, 2008, ss. 50-55
- [36] Hascometal, (2018,10 Temmuz). *Çeliklerin Isıl İşlemi*. [Online]. Erişim: <http://www.hascometal.com/teknik-bilgiler.aspx?id=70>.
- [37] *Metallic Materials - Tensile Testing - Part 1: Method Of Test At Room Temperature*, ISO Standard 6892-1:2016, 2016.
- [38] *Metallic Materials- Charpy Pendulum Impact Test- Part 1: Test Method*, ISO 148-1, 2010.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Erdem SARAÇ
Doğum Tarihi ve Yeri : 14/10/1989 ANKARA
Yabancı Dili : İNGİLİZCE
E-posta : erdemsarac@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Makine Müh.	Düzce Üniversitesi	2019
Lisans	Makine Müh.	Selçuk Üniversitesi	2012
Lise	Matematik-Fen	Abidinpaşa Anadolu Lisesi	2007