

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

**G18NiMoCr3-6 ÇELİĞİNİN MİKRO YAPI VE  
MEKANİK ÖZELLİKLERİNE FARKLI ISIL İŞLEM  
KOŞULLARININ ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Uğur GÜROL**

**Enstitü Anabilim Dalı : METALURJİ VE MALZEME  
MÜHENDİSLİĞİ**  
**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Süleyman Can KURNAZ**

**Aralık 2014**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**G18NiMoCr3-6 ÇELİĞİNİN MİKRO YAPI VE  
MEKANİK ÖZELLİKLERİNE FARKLI ISIL İŞLEM  
KOŞULLARININ ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**Uğur GÜROL**

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

**Bu tez 31 / 12 / 2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.**

.....  
**Jüri Başkanı**

.....  
**Üye**

.....  
**Üye**

## TEŞEKKÜR

Tezimin hazırlanması esnasında hiçbir yardımı esirgemeyen ve biz genç araştırmacılara büyük destek olan, bilgi ve birikimini sonuna kadar bizlerle paylaşan danışman hocam Sayın Prof. Dr. Süleyman Can Kurnaz'a teşekkür ederim.

Bilimsel konularda daima yardımını gördüğüm Sayın Yard. Doç. Dr. Mustafa Akçil'e ve deneysel çalışmalarındaki yardımlarından dolayı Sayın Yard. Doç. Dr. Mustafa Türkmen'e teşekkür ederim.

Deneylerin birçok aşamasında yardımlarını gördüğüm değerli arkadaşım Nisa Topal'a ve Akmetal Metalurji Endüstrisi A.Ş. firmasında çalışmakta olan değerli iş arkadaşlarım Bülent Akkayaoğlu'na, Serhat Adışen'e, Eylem Subaşı'na, Aylin Bulut'a, Levent Yüksek'e, Emrah Polat'a, Kadir Kantar'a, Şeyda Loredana Çelik'e, Furkan Demirkıran'a, Orhan Yalçın'a ve Özkan Bilgin'e ayrı ayrı teşekkür ederim.

Ayrıca tezim boyunca benden maddi manevi desteklerini esirgemeyen Akmetal Metalurji Endüstrisi A.Ş.'nin Yönetim Kurulu Başkanı Sayın Fuat Can Akbaşoğlu'na ve Genel Müdür'ü Sayın Murat Akın Öztekin'e teşekkür ederim.

Son olarak, eğitim hayatım boyunca her zaman yanımda olduklarını hissettiğim canım aileme teşekkür ederim.

# İÇİNDEKİLER

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ .....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	viii
TABLolar LİSTESİ .....	xii
ÖZET.....	xiii
SUMMARY .....	xiv

## BÖLÜM 1.

GİRİŞ .....	1
-------------	---

## BÖLÜM 2.

ÇELİKLERİN SINIFLANDIRILMASI .....	4
2.1. Alaşım-sız Çelikler .....	4
2.1.1. Düşük karbonlu çelikler .....	4
2.1.2. Orta karbonlu çelikler .....	4
2.1.3. Yüksek Karbonlu Çelikler .....	5
2.2. Alaşım-lı Çelikler .....	5
2.2.1. Alaşım-lı çeliklerin sınıflandırılması .....	5
2.2.1.1. Az alaşım-lı çelikler .....	5
2.2.1.2. Yüksek alaşım-lı çelikler .....	6
2.2.2. Alaşım elementlerin çeliğe etkisi .....	6
2.2.2.1. Çelikte karbon (C).....	8
2.2.2.2. Çelikte mangan (Mn) .....	8
2.2.2.3. Çelikte molibden (M).....	9
2.2.2.4. Çelikte krom (Cr) .....	9
2.2.2.5. Çelikte nikel (Ni).....	9
2.2.2.6. Çelikte silisyum (Si).....	9
2.2.2.7. Çelikte aliminyum (Al) .....	10

2.2.2.8. Çelikte fosfor (P).....	10
----------------------------------	----

### BÖLÜM 3.

ÇELİKLERİN ISIL İŞLEMİ .....	11
3.1. Demir Karbon Denge Diyagramı .....	12
3.1.1. Çeliğin iç yapısı .....	14
3.2. Ostenit Fazının Soğutulması Esnasında Oluşan Yapı Dönüşmeleri ....	16
3.2.1. İzometrik zaman-sıcaklık dönüşüm diyagramı (İZSD diyagramları) .....	16
3.2.2. Sürekli soğutmada zaman-sıcaklık dönüşüm diyagramları (SZSD Diyagramları .....	17
3.3. Tavlama Teknikleri .....	18
3.3.1. Normalleştirme tavlaması .....	19
3.3.2. Yumuşatma tavlaması .....	20
3.3.3. Gerilim giderme tavlaması .....	22
3.3.4. Yeniden kristalleştirme travması .....	23
3.3.5. Difüzyon tavlaması .....	24
3.4. Sertleştirme .....	25
3.4.1. Sertleştirme ısıl işleminin uygulanması .....	26
3.4.2. Sertleşebilirlik.....	27
3.4.2.1. Grosman sertleşebilirlik testi .....	29
3.4.2.2. Jominy alın sertleştirme deneyi .....	30
3.4.3. Sertleştirme için ısıtma işlemi .....	32
3.4.4. Sertleştirme sıcaklığında tutma süresi .....	35
3.4.5. Sertleştirme için ani soğutma işlemi .....	36
3.4.5.1. Doğrudan su verme .....	39
3.4.5.2. Kesikli su verme .....	39
3.4.5.3. Duraklı (kademeli) su verme (martemperleme).....	40
3.5. Temperleme .....	41
3.5.1. Temper kırılganlığı .....	42
3.5.2. Temperleme işlemi parametreleri .....	44
3.5.2.1. Temper süresi .....	44
3.5.2.2. Temper sıcaklığında soğutma hızı .....	45

3.5.2.3. Çeliğin bileşimi .....	45
3.5.2.4. Temper sıcaklığı .....	46
BÖLÜM 4.	
DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....	49
4.1. Giriş .....	49
4.2. Deneylerde Kullanılan Numuneler .....	49
4.3. Isıl İşlem Deneyleri .....	51
4.4. Numune Çıkarma İşlemi .....	53
4.5. Metalografik İncelemeler .....	54
4.6. Sertlik Ölçümleri .....	54
4.7. Çekme Deneyleri .....	54
4.8. Çentik Darbe Deneyleri .....	55
BÖLÜM 5.	
DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA .....	56
5.1. Metalografik İnceleme Sonuçları .....	56
5.1.1. Optik mikroskop görüntüleri .....	56
5.1.2. Kırılma yüzeyi görüntüleri .....	61
5.2. Sertlik Sonuçları .....	62
5.3. Çekme Deneyi Sonuçları .....	65
5.4. Çentik Darbe Sonuçları .....	68
5.5. Mekanik Test sonuçlarının firma şartnameleri ile karşılaştırılması .....	70
BÖLÜM 6.	
GENEL SONUÇLAR .....	72
KAYNAKLAR .....	74
ÖZGEÇMİŞ .....	77

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

A <sub>1</sub>	: Fe- C diyagramında 723°C derce boyunca uzanan çizgi
A <sub>3</sub>	: Fe- C diyagramında 910°C den ötektoid noktasına inen eğri
Al	: Aluminyum
As	: Arsenik
B	: Bor
C	: Karbon
CCT	: Continuous-Cooling-Transformation
Co	: Kobalt
Cr	: Krom
Cu	: Bakır
Di	: İdeal kritik çap
DIN	: Deutsches Institut für Normung(Alman Standartlar Enstitüsü)
Do	: Kritik çap
Fe <sub>2</sub> C	: Demir karbit
Fe <sub>3</sub> C	: Demir karbür (Sementit)
HB	: Brinel Sertlik
HMK	: Hacim merkezli kübik yapı
HRC	: Rockwell Sertlik
IT	: Isothermal transformation
İZSD	: İzotermik Zaman-Sıcaklık-Dönüşüm Diyagramları
KSH	: Kritik soğutma hızı
Mf	: Martenzit bitiş sıcaklığı
Mn	: Mangan
MnO	: Magnezyum oksit
MnS	: Mangan Sülfür
Mo	: Molibden

Ms	: Martenzit başlangıç sıcaklığı
N	: Azot
NaOH	: Sodyum hidroksit
Nb	: Niobyum
Ni	: Nikel
P	: Fosfor
S	: Kükürt
Sb	: Antimon
Si	: Silisyum
SiO <sub>2</sub>	: Silisyum dioksit
Sn	: Kalay
Ti	: Titanyum
TTT	: Time Temperature Transformation
V	: Vanadyum
W	: Tungsten
YMK	: Yüzey merkezli kübik yapı
Zr	: Zirkon
ZSD	: Zaman-Sıcaklık-Dönüşüm Diyagramları
$\alpha$	: Ferrit
$\gamma$	: Ostenit
$\Delta T$	: Yüzey ile çekirdek arasındaki sıcaklık farkı



## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	FeC <sub>3</sub> içerisinde çözünen elementlerin çeliğin sertliğine etkileri .....	7
Şekil 2.2.	Çeşitli alaşım elementlerinin ötektoid dönüşüm sıcaklığına etkileri .....	8
Şekil 3.1.	Genel ısıl işlem prosesi .....	11
Şekil 3.2.	Yarı kararlı dengeyi gösteren Demir Karbon Denge Diyagramı ....	14
Şekil 3.3.	AISI 4130 çeliğine ait IT Diyagramı .....	17
Şekil 3.4.	SAE 4340 çeliğine ait CCT diyagramı .....	18
Şekil 3.5.	Temel tavlama sıcaklık aralıklarını gösteren Demir Karbon Denge Diyagramının çeliklere ait kısmı.....	19
Şekil 3.6.	a) %35 karbonlu çelik dökümün iç yapısı b) Aynı malzemenin 880°C sıcaklıkta 30 dakika ve havada soğutma ile normal tavllanmış yapısı .....	20
Şekil 3.7.	a) %0,3 karbon içeren çeliğin yapısındaki ferrit ve lamel formundaki perlit oluşumları b) Aynı malzemenin sıcaklık değişimli yumuşak tavllanmış, ferrit ve lamelli perlit doku görünümü .....	21
Şekil 3.8.	Yumuşak tavlama işleminin karbon miktarına bağlı olarak uygulandığı sıcaklık sahası .....	22
Şekil 3.9.	Gerilim giderme tavlamasının uygulandığı sıcaklık alanı ve uygulama tarzı .....	23
Şekil 3.10.	Yumuşak tavlama uygulanmış çelik yapı a) Kuvvetli soğuk şekillendirilmiş b) Rekristalizasyon tavlama uygulanmış .....	24
Şekil 3.11.	Difüzyon tavlamasında tavlama sıcaklığının segragasyonların dağılımına etkisi.....	25
Şekil 3.12.	Sertlik, karbon oranı ve % martenzit arasındaki bağıntı.....	28
Şekil 3.13.	Kritik çap D <sub>0</sub> ile ideal çap D <sub>i</sub> arasındaki bağlantıyı, soğutma şiddeti H faktörüne bağlı olarak veren çizelgeler .....	30

Şekil 3.14.	Jominy sertleşebilirlik deneyinin şematik gösterimi .....	31
Şekil 3.15.	Alaşsız (C 45), düşük alaşımlı (40 Cr 4) ve yüksek alaşımlı (X 40 Cr 13) çeliklerinin Jominy karakteristik eğrileri .....	32
Şekil 3.16.	Alaşsız çeliklerde sertleştirme (ostenitleştirme) sıcaklığı .....	33
Şekil 3.17.	Sertleştirme sıcaklığının ani soğutma sonrası elde edilebilecek sertliğe etkisi .....	34
Şekil 3.18.	Dönüşüm hızının ve soğutma hızının, sıcaklığa bağımlılığı .....	37
Şekil 3.19.	Silindirik bir çelik parçasının sertleştirilmesinde, sertleştirme derinliği .....	38
Şekil 3.20.	Doğrudan su verme işlemi gösterimi .....	39
Şekil 3.21.	Kesikli su verme işlemi gösterimi .....	40
Şekil 3.22.	Kademeli su verme işlemi şematik gösterimi .....	40
Şekil 3.23.	1 saat temperlenmiş C-4140 çeliğinin sertlik ve çentik darbe .....	41
Şekil 3.24.	Meneviş kırılabilirliği nedeniyle çentik darbe dayanımının ani düştüğü geçiş sıcaklığının daha yüksek sıcaklıklara kayma durumu .....	43
Şekil 3.25.	Su verme sonrası değişik derecelerde temperleme süresi ve sertlikdeğişimi .....	44
Şekil 3.26.	Parça kalınlığı ve temperleme süreleri .....	45
Şekil 3.27.	Artan temper sıcaklığı ile 0.35% C içeren çelikte Mo miktarının sertliğe etkisi .....	46
Şekil 3.28.	Sade karbonlu otokoit çeliklerde temperleme sıcaklığının fonksiyonu olarak çeliğin sertliği ve iç yapısındaki değişikliklerin şematik gösterimi .....	48
Şekil 4.1.	Akmetal marka Elektrik Ark Ocağı .....	49
Şekil 4.2.	Akmetal marka AOD Konverteri.....	50
Şekil 4.3.	Deneylerde kullanılan numunelere ait görüntü.....	50
Şekil 4.4.	Akmetal Metalurji Endüstrisi A.Ş. bünyesinde Emtav marka doğalgaz fırını .....	51
Şekil 4.5.	Akmetal Metalurji Endüstrisi A.Ş. bünyesindeki Emtav marka Elektrik Fırını.....	52
Şekil 4.6.	Akmetal Metalurji Endüstrisi A.Ş. bünyesindeki Magma Therm marka laboratuvar fırını.....	52

Şekil 4.7.	Test için kullanılacak numunelerin parça içerisindeki konumları ...	53
Şekil 4.8.	Çekme deneyinde kullanılan numunelerin şekil ve boyutları.....	54
Şekil 4.9.	Çentik darbe deneyinde kullanılan numunelerin şekil ve boyutları.	55
Şekil 5.1.	G18CrNiMo6-7 kalitedeki malzemenin CCT diyagramı.....	56
Şekil 5.2.	Yumuşatma ısııl işleme sonrası (YUM) mikroyapı görüntüleri a) Kenar Bölge, b) Orta Bölge .....	57
Şekil 5.3.	Su verme ısııl işleme sonrası suda soğutmada elde edilen mikroyapı görüntüleri (SU) a) Kenar Bölge, b) Orta Bölge .....	57
Şekil 5.4.	Su verme ısııl işleme sonrası polimerde soğutmada elde edilen mikroyapı görüntüleri (POL) a) Kenar Bölge, b) Orta Bölge.....	58
Şekil 5.5.	SAU1 isimli numuneye ait kenar ve orta bölgedeki mikroyapı görüntüleri.....	58
Şekil 5.6.	SAU2 isimli numuneye ait kenar ve orta bölgedeki mikroyapı görüntüleri.....	59
Şekil 5.7.	SAU3 isimli numuneye ait kenar ve orta bölgedeki mikroyapı görüntüleri.....	59
Şekil 5.8.	SAU4 isimli numuneye ait kenar ve orta bölgedeki mikroyapı görüntüleri.....	59
Şekil 5.9.	SAU5 isimli numuneye ait kenar ve orta bölgedeki mikroyapı görüntüleri.....	60
Şekil 5.10.	SAU6 isimli numuneye ait kenar ve orta bölgedeki mikroyapı görüntüleri .....	60
Şekil 5.11.	SAU7 isimli numuneye ait kenar ve orta bölgedeki mikroyapı görüntüleri .....	60
Şekil 5.12.	SAU8 isimli numuneye ait kenar ve orta bölgedeki mikroyapı görüntüleri.....	61
Şekil 5.13.	Çentik darbe deneyi sonucunda SAU1 isimli numunenin kenar ve orta bölgesine ait kırılma yüzeyi görüntüsü.....	62
Şekil 5.14.	Çentik darbe deneyi sonucunda SAU4 isimli numunenin kenar ve orta bölgesine ait kırılma yüzeyi görüntüsü .....	62
Şekil 5.15.	Su verme ısııl işleme sonrası su ve polimer ortamında soğutulan numunelerin kenar kenar bölgeden merkeze doğru sertlik değişim grafiği.....	63

Şekil 5.16.	Su ve polimer ortamında soğutulan numunelerin değişen temper sıcaklığıyla kenar ve orta bölgelerindeki sertlik değişimleri .....	65
Şekil 5.17.	Akma Mukavemeti sonuçları .....	67
Şekil 5.18.	Çekme mukavemeti sonuçları .....	67
Şekil 5.19.	% Uzama sonuçları .....	68
Şekil 5.20.	Çentik Darbe deneyinin sonuçlarının grafiksel gösterimi .....	70

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1.	Grossman yöntemine göre ani soğutma ortamlarına bağlı olarak, soğutma şiddeti katsayısı H faktörleri .....	29
Tablo 3.2.	%0,86 C'lu alaşimsız çelikte, sertleştirme sıcaklığına bağlı olarak elde edilen sertlik değeri .....	34
Tablo 4.1.	EN10340 standartında G18NiMoCr3-6 kalitedeki malzemenin alt-üst limitleri ve deneylerde kullanılan malzemelerin kimyasal bileşimi (% ağırlık) .....	50
Tablo 4.2.	Numunelere uygulanan ısıl işlem parametreleri .....	53
Tablo 5.1.	Yumuşatma ısıl işlemi sonrası kenar ve orta bölge sertlik ölçüm değerleri .....	63
Tablo 5.2.	Su verme ısıl işlemi sonrası su da ve polimerde soğutulan numunelerin kenar bölgeden merkeze doğru sertlik değerlerinin değişimi.....	63
Tablo 5.3.	Su da soğutulan numunelerin değişen temper sıcaklığıyla kenar ve orta bölgelerindeki sertlik ölçümleri .....	64
Tablo 5.4.	Polimerde soğutulan numunelerin değişen temper sıcaklığıyla kenar ve orta bölgelerindeki sertlik .....	64
Tablo 5.5.	Çekme Deneyi sonuçları .....	66
Tablo 5.6.	Çentik Darbe deneyi sonuçları.....	69
Tablo 5.7.	Deney sonuçlarının firma şartnameleri ile karşılaştırılması .....	70

## ÖZET

Anahtar kelimeler: Düşük Alaşımli Çelik, Döküm, Isıl İşlem, Su Verme, Temperleme, Mukavemet, Mikroyapı, Kenar, Orta

Çelik dökümlerin ısıl işlemleri hakkında günümüz literatür bilgileri ele alındığında kenar bölgelerin tane yapılarındaki farklılıklar sebebiyle merkez bölgelere nazaran daha mukavemetli olduğu bilinmektedir.

Bu çalışmada EN10340 standardında belirtilmiş olan G18NiMoCr3-6 kalitedeki malzeme ile dökülen 150 mm et kalınlığındaki numunelerin, sabit sertleştirme sıcaklığında soğutma ortamları ve temper sıcaklıkları değiştirilerek tüm bu değişkenlerin kenar ve orta bölgedeki malzeme yapısına ve malzeme mukavemetine doğrudan etkileri incelenmiştir.

Böylece tasarım aşamasında, tasarım mühendislerine kenar ve orta bölgelerin mukavemetleri açısından yardımcı olabilecek nümerik bilgiler elde etmeyi ve istenen standart değerleri sağlayabilecek optimum çalışma koşullarını belirlemeyi hedefliyoruz.

# **THE EFFECT OF DIFFERENT HEAT TREATMENT CONDITIONS TO MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF G18NiMoCr3-6 STEEL**

## **SUMMARY**

Keywords: Low Alloy Steel, Casting, Heat Treatment, Quenching, Tempering, Strength, Microstructure, Edge, Center

According to today's literature informations about heat treatment of steel castings, it is known that edge areas are more strenght than center area due to differences in grain structure.

In this study, the direct and total effect of different quenching medium and tempering temperature to material structure and strength in edge and centre areas at stable hardening temperature was examined by using 150 mm wall thickness samples which were cast G18NiMoCr3-6 material according to EN 10340 standard.

Thus, at the design stage we aim to achieve numerical information which can help to design engineers in terms of strength of the edge and centre areas and determine working conditions which can provide the required standart values.

## **BÖLÜM 1. GİRİŞ**

Tarih boyunca ortaya çıkan tüm medeniyetler, malzemeleri çeşitli yöntemler kullanarak enerji ile birlikte insanların yaşam kalitelerini yükseltmek için kullanmışlardır. Bu yüzden içinde bulunduğumuz bilgi çağında teknolojik gelişmelerin getirdiği gereksinimlerden dolayı malzemelerin tüm özelliklerinin anlaşılması ve bu özelliklerinin geliştirilmesi için birçok çalışma yapılmıştır. Medeniyetlerin teknoloji ve uygarlık düzeyi o dönemde kullanılan malzemelerin kalitesi ve çeşitliliğiyle ölçülmüştür. Diğer taraftan teknolojideki tüm gelişmeler malzeme bilimindeki gelişmelere bağlı olarak gelişmeye devam etmiştir [1].

Çelik, demir cevherinin çeşitli işlemler sonucunda empuritelere arındırılması sonucunda üretilen bir demir karbon alaşımıdır. Çeliğin stratejik önem taşıyan kullanım alanları nedeniyle mekanik özellikleri oldukça fazla önem kazanmaktadır. Demir cevherinin doğada bolca bulunması, maliyetinin diğer malzemelere nazaran daha ucuz olması, işlenebilmesi, kaynak edilebilmesi ve çeşitli ısıl işlemlerle pek çok özellik elde edilebilmesi nedeniyle yaygın olarak kullanımı sağlanmıştır [2].

Ekonomik olarak kalkınmanın temeli, güçlü bir demir çelik sektörüne sahip olmaktır. Çünkü demir çelik sektörü tüm endüstriyel dallara girdi verebilen bir sektördür. Çelik üreterek tarımdan savunmaya kadar bir çok alanda kullanabilmek çeliğin keşfinden bu güne kadar ülkeler için bir güç kaynağı ve üstünlük sebebi olmuştur [3].

Dünya'da 2000'li yıllara kadar çeliğin üretimi kamuya bağlı şirketler tarafından yapılırken, sonraki yıllarda yaşanan aşırı talep nedeniyle özel şirketler çelik üretiminde önemli bir paya sahip olmuşlardır. Tüm dünya ülkelerinde olduğu gibi Türkiye'de de, büyüyen ekonomi, gelişen teknoloji ve artan sanayi üretimi nedeniyle hızlı büyüyen sektörlerin başında demir çelik sektörü gelmektedir [3].



Demir çelik sektöründeki taleplerin bu denli artmasına ve kullanım alanlarının oldukça çeşitlilik göstermesine bağlı olarak çeliklerin mekanik ve metalografik özelliklerinin iyileştirilmesinde, çeliğe uygulanan ısıtma işlemleri giderek önem kazanmaktadır. Katı haldeki malzemenin malzeme özelliklerine bağlı olarak tespit edilen kritik bir sıcaklığa kadar ısıtılıp tekrardan soğutulması işlemine ısıtma işlemi denir. Isıtma ve soğutma işlemleri esnasında malzemenin yapısında dönüşümler meydana gelir. Bu dönüşümler sonucunda malzemenin fiziksel ve mekanik özellikleri büyük ölçüde etkilenir [4].

Çeliklere genellikle üretildikten sonra üretim aşamasında ortaya çıkan iç gerilmelerin giderilmesi, korozyona ve ısıya karşı direncinin yükseltilmesi, sertlik kazandırılması, talaş kaldırmak için yumuşatılması, kimyasal olaylardan etkilenmemesi, elektriksel ve manyetik özellikler kazandırılması gibi özelliklerin değiştirilmesi amacıyla çeşitli ısıtma işlemleri uygulanır [4].

Bilindiği üzere çeliklere yapısal özellik kazandıran en önemli ısıtma işlemlerinden birisi de su verme (sertleştirme) sonrasında ısıtma işlemidir. DIN 17014'e göre sertleştirme çeliklerin A3 veya A1 üzerindeki belli bir sıcaklıktan, yüzeyde veya aynı zamanda kesitte önemli bir sertlik artışı sağlayacak bir hızla soğutulması olarak tanımlanmaktadır. Böylece sertleştirme sonrasında yüksek oranda martenzite dönüşen içyapıda ferrit ve perlit oluşumu engellenir [5].

Genellikle sertleştirme ısıtma işleminin hemen ardından martenzit yapı nedeniyle oluşan iç gerilmelerin giderilmesi için temperleme (menevişleme) ısıtma işlemi uygulanır. Uygulanan temperleme işlemi darbe enerjisi dayanımını arttırmak için gerekli olan sünekliğin ve tokluğun ikisini de artırırken temperlenmiş martenzit kafes yapısının oluşmasını sağlar. Böylece çelik daha iyi bir dinamik mukavemete sahip olur.

Sertleştirme işleminden sonra malzeme kesitinde ulaşılan sertliğin dağılımı ve yüzeyde ulaşılabilecek sertliğin değerlerinin bilinmesi gerekir. Burada martenzit yapısı oluşumu nedeniyle yüzeyde ulaşılabilecek maksimum sertlik değeri malzemenin yüzde karbon miktarına bağlıdır. %0.8 C miktarına kadar malzeme miktarındaki karbon miktarındaki artış ile yüzeyde elde edilebilecek sertlik değeri

artarken, daha yüksek karbon miktarlarında sertlik ya sabit kalır ya da biraz daha azalma gösterir [6].

Sertleştirme işlemi sonunda yüzeyde elde edilen sertlik değeri ile merkezde elde edilen sertlik değerleri malzeme içerisindeki alaşım miktarına bağlı olarak farklılık gösterir. Alaşimsız çeliklerde ince kesitli parçalarda ancak ve ancak merkeze kadar sertleştirme sağlanabilir. Malzemenin kalınlığı arttıkça yüzeyde elde edilen sertlik ile merkezde elde edilen sertlik arasında büyük bir azalma gözlenir. Nitekim bu durum alaşımlı çeliklerde biraz daha farklıdır. Çünkü alaşım elementlerinin ilavesi martenzitik yapının oluşması için gerekli olan kritik soğuma hızını düşürür. Böylece alaşimsız çeliklerdeki gibi yüksek soğutma hızlarına gereksinim duymadan daha düşük soğuma hızlarında da martenzit yapısı elde edilir [6].

Günümüz literatür bilgileri kontrol edildiğinde malzemelerin mikro yapı ve mekanik özelliklerine ısı işleminin etkisini araştırmak ve anlamak için birçok araştırmacı son yıllarda oldukça fazla çalışma yapmıştır. Ancak G18NiMoCr3-6 çeliğine yapılan su verme ve temperleme ısı işleminin kenar ve orta bölgelere olan etkisine dair herhangi bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu nedenle, yapılan bu çalışma ile G18NiMoCr3-6 çeliğine uygulanan farklı temper sıcaklıklarının ve farklı soğutma ortamlarının kenar ve orta bölgelerdeki mekanik özelliklere ve mikro yapıya olan etkisi incelenmiştir.

## **BÖLÜM 2. ÇELİKLERİN SINIFLANDIRILMASI**

Demir-karbon denge diyagramı Şekil 2.1'e göre; %2,1'e kadar karbon içeren demir-karbon alaşımlarına çelik denir [7]. Çelikler, alaşımlı ve alaşımsız çelikler olarak ikiye ayrılır. Alaşımsız çelikler kendi içlerinde düşük, orta ve yüksek karbonlu çelikler olarak sınıflandırılır [2]. Alaşımlı çelikler ise genel olarak az alaşımlı çelikler ve alaşımlı çelikler olarak 2 farklı şekilde sınıflandırılır [7].

### **2.1. Alaşımsız Çelikler**

#### **2.1.1. Düşük karbonlu çelikler**

Bunlar %0,30 oranına kadar C içeren ve çok çok az miktarda S, P, Mn ve Si içeren çeliklerdir. Yüksek mukavemetin aranmadığı yerlerde maliyetinden dolayı tercih edilir. Kaynak edilmeye, soğuk şekillendirmeye ve işlenmeye elverişli olmasına karşın su verilip sertleştirmeye karbon oranı yetersiz olduğu için elverişli değildir. Bu tip çeliklerin mukavemet artışı su verilip sertleştirmeden ziyade soğuk şekillendirmeye sağlanır [2].

#### **2.1.2. Orta karbonlu çelikler**

%0,30 ila %0,60 arası karbon içeren çeliklerdir. Karbon miktarı arttığından soğuk şekillendirme ve kaynak edilebilme yeteneğinde düşme görülmesine karşılık su verilip sertleştirme yeteneği büyük oranda artmıştır. Bu yüzden bu çeliklerin yapı ve özellikleri ısı ile büyük oranda değiştirilebilir [2].

### **2.1.3. Yüksek karbonlu çelikler**

%0,6-0,9 karbon içeren çelikler olup yüksek mukavemet, sertlik ve aşınma direnci istenen yerlerde kullanılır. Bu çelikler genellikle imalat aşamasından sonra sertleştirilir ve menevişlenir. Pres kalıp blokları, müzik aletleri bunlara örnek olarak verilebilir [2].

## **2.2. Alaşımli Çelikler**

Alaşımli celikler, sade karbonlu celiklere alaşım elemanlarının ilavesi ile elde edilen celiklerdir. Alaşımli celiklerin uretilmesiyle, sade karbonlu celiklerde bulunan bazı dezavantajlar azaltılarak, celiğin kullanım alanı genişletilmiştir [8].

### **2.2.1. Alaşımli çeliklerin sınıflandırılması**

Alaşımli çelikler az alaşımli ve yüksek alaşımli çelikler olarak 2 farklı grupta sınıflandırılır [8].

#### **2.2.1.1. Az alaşımli çelikler**

Bu gruptaki çeliklerde bulunan alasıım elementlerinin toplammiktarı %5'i geçmez. Islah çelikleri, makina yapım çelikleri, bazı takım çelikleri buçelik grubuna dahildirler. Karbon çeliklerine göre daha kaliteli ve daha pahalı çeliklerdir [8].

Az alaşımli çelik türlerinden NiCrMo çeliklerinin özellikleri aşağıdaki gibidir;

Bu çelikler düşük alaşımli yüksek mukavemetli martensitik çelikler grubuna girer. Bu çelikler yüksek mukavemete, yüksek aşınma direncine, yüksek yorulma mukavemetine ve yüksek süneklikle birlikte derin sertleşebilirliğe sahip çeliklerdir. Son yıllarda bu çeliklerin basınçlı kap uygulamalarındaki, otomobil endüstrisindeki ve uçak sanayindeki kullanımları artmıştır. Fakat bu çeliklerin yüksek mukavemet seviyelerindeki zayıf toklukları nedeniyle kullanımları sınırlanmaktadır. Bu nedenle

NiCrMo çeliklerinde tokluk ve mukavemet değerlerinde kombine bir şekilde iyileşme sağlamak için sulama (sertleştirme) ve temperleme ısı işlemi uygulanır [9].

#### **2.2.1.2. Yüksek alaşımlı çelikler**

Bunlarda, toplam alaşım elementi miktarı %5'den fazladır. Bu tür çelikler çoğunlukla özel tekniklerle üretilir ve özel uygulamalar için uygundur. Takım çeliklerinin büyük çoğunluğu, paslanmaz çelikler, maraging çelikleri bu gruptadırlar. Alaşım katkısının üst sınırı %50'ye yakındır [8].

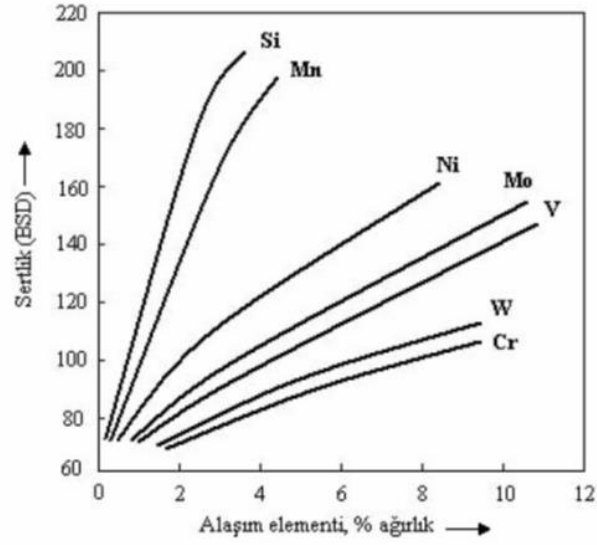
#### **2.2.2. Alaşım elementlerinin çeliğe etkisi**

Çelikler sade karbonlu olabileceği gibi, çeşitli spesifik özelliklerin geliştirilebilmesi için bazı alaşım elementleri içerebilirler. Bu yüzden alaşım elementleri çeliklere var olan özellikleri geliştirmek ve ya yeni özellikler kazandırmak için eklenirler [6].

Alaşım elementlerinin çeliklere sağladıkları avantajlar şunlardır;

- Sertleşme kabiliyetini artırır,
- olağan sıcaklıklarda mukavemeti iyileştirir,
- düşük ve yüksek sıcaklıklardaki mekanik özellikleri iyileştirir,
- sertlik/mukavemet ve tokluk arasındaki optimizasyona yardımcı olurlar,
- aşınma, korozyon direncini artırır ve manyetik özellikleri düzeltirler [7].

Alaşım çeliklerde alaşım elementlerinin dağılımı çeliğin kompozisyonuna bağlıdır. Bu elementlerinin sayısının ve miktarının artırılmasıyla etkileşim karmaşıklığı (Şekil 2.1.) da artar [8].



Şekil 2.1. FeC<sub>3</sub> içerisinde çözünen elementlerin çeliğin sertliğine etkileri [8]

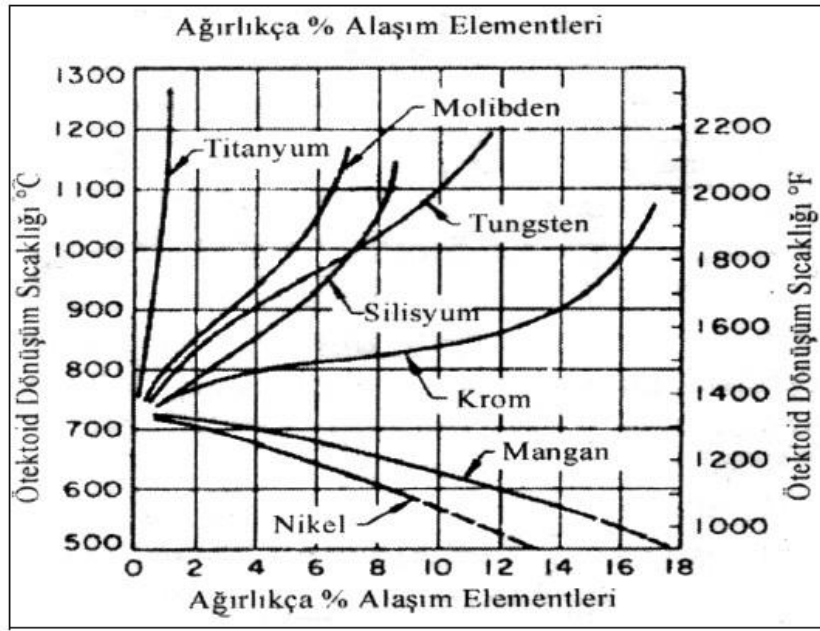
Alaşım elementleri matris üzerindeki etkilerine göre sınıflandırıldığında, iki kategoriye ayrılırlar;

- Östenik yapıcı elementler (Ni, Co, Mn, Cu, C, ve N)
- Ferrit yapıcı elementler (Si, Cr, W, Mo, P, Al, Sn, Sb, As, Zr, Nb, B ve S) [10]

Karbon ile etkileşimlerine göre sınıflandırıldığında ise yine iki kategoriye ayrılırlar;

- Karbür oluşturan elementler (Mn, Cr, Mo, W, V, Nb, Ti, ve Zr)
- Karbür oluşturmeyen elementler (Ni, Co, Cu, Si, P, ve Al) [10]

Belli başlı alaşım elementlerinin otektoid sıcaklığına etkileri Şekil 2.2.'de gösterildiği gibidir.



Şekil 2.2. Çeşitli alaşım elementlerinin ötektoid dönüşüm sıcaklığına etkileri [8]

### 2.2.2.1. Çelikte karbon (C)

Çeliklerin temel yapısı olan karbon çeliğin özelliklerini tayin eder. Karbon, çeliğin akma ve çekme mukavemetini artırırken, yüzde uzamayı, şekillenebilirliği ve kaynak kabiliyetini azaltır. İşlenebilirliğin ön planda olduğu çeliklerde karbon miktarı düşük tutulmalı, dayanım değerlerinin yüksek olması gerektiği durumlarda ise çeliğin karbon içeriği yüksek olmalıdır [11].

### 2.2.2.2. Çelikte mangan (Mn)

Mangan da karbon gibi üretim işlemlerinde çelik yapısında yer alan bileşendir. Çeliğin sünekliğini azaltmakla birlikte dayanımını artırır. Bunun yanıdasertleşebilme ve kaynak kabiliyetini de artırır. Östenit yapıcı bir elementtir. En önemli özelliği ise kükürtle MnS ve MnO bileşiği yaparak demirin kükürt ve oksijenle reaksiyona girmesini engellemesidir [11].

### 2.2.2.3. Çelikte molibden (M)

Molibden, düşük alaşımlı çeliklerde kullanılan ana elementlerden birisidir. Molibdenin ilavesi çeliklerdeki temper kırılma direncini azaltır [12]. Ayrıca tane büyümesini önler ve sertleşebilme kabiliyetini, sürtünme dayanımını ve aşınma direncini artırır [11].

Östenitik paslanmaz çeliklerde Mo ilavesi ise, parçanın sünekliğini etkiler, işlenebilirliğini azaltır ve 1000°C'nin altındaki sıcaklıklarda deformasyona karşı direncini artırır [13].

### 2.2.2.4. Çelikte krom (Cr)

Çeliklerle yaygın olarak kullanılan alaşım elementlerinden biridir. Kuvvetli bir karbür yapıcı element olan Cr, ferritte çözünerek katı çözümleri sertleştirir. Çeliklerde, mukavemeti, korozyon direncini ve sıcak oksidasyon direncini artırır, fakat az da olsa tokluk düşüşüne neden olur. Bu nedenle yüksek oranlarda krom içeren çelikler korozyon ve oksidasyona karşı dayanım gereken yerlerde kullanılır [7].

### 2.2.2.5. Çelikte nikel (Ni)

Çeliklerde en çok krom ile birlikte kullanılır ve çelik yapımı esnasında ilave edilir. Kromla birlikte kullanıldığında sertleşme derinliğini artırarak çekirdeğe kadar sertleştirilmelerini sağlar [7]. Östenit yapıcı bir elementtir. Bu yüzden de sünekliği ve tokluğu artırır [14].

### 2.2.2.6. Çelikte silisyum (Si)

Ucuz bir alaşım elementi olan silisyum çeliğin akma, çekme dayanımını ve elastikiyetini artırır. Çelik yapısındaki silisyum miktarı azaldıkça tufal yapma oranı artar [11]. Ayrıca, çeliğin içerisindeki oksijenin büyük bir kısmını alarak silisyum dioksit (SiO<sub>2</sub>) oluşturur ve böylece çeliğin kalitesini iyileştirir [15].



### **2.2.2.7. Çelikte alüminyum (Al)**

Çeliklerde yaygın olarak oksijen giderici olarak kullanılır. Düşük karbonlu korozyona dayanıklı çeliklerde aşınma direncini artırır. Su vermeden önce tane büyümesini kontrol etmede en etkili elementlerden birisidir [10]. Akma dayanımını ve darbe tokluğunu arttırıcı etki gösterir [11].

### **2.2.2.8. Çelikte fosfor (P)**

Fosfor çelik içinde üretim işlemlerinden kalan ve istenmeyen özellikleri olan bir element olması nedeniyle olabildiğince yapıdan uzaklaştırılır. Çeliğin akma ve çekme mukavemetini arttırır, yüzde uzamayı ve eğme özelliklerini çok fazla kötüleştirir, soğuk kırılmalık yaratır, talaşlı şekillendirme kabiliyetini arttırır [11].

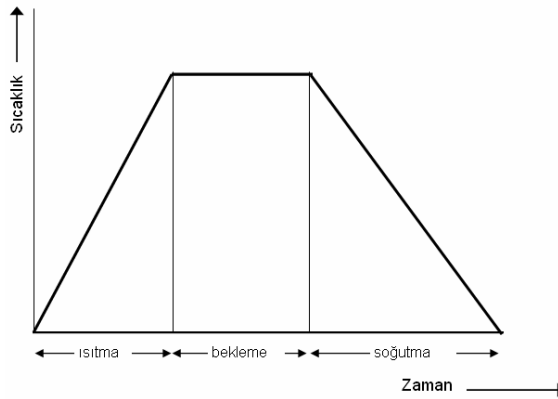
### BÖLÜM 3. ÇELİKLERİN ISIL İŞLEMİ

Isıl İşlem, katı haldeki metal veya alaşımlara belirli özellikler kazandırmak amacıyla bir veya daha çok sayıda, yerine göre birbiri peşine zamanlanarak uygulanan ısıtma ve soğutma işlemleridir. Her Isıl işlem en az 3 kademedен oluşur (Şekil 3.1). Bunlar;

- Belirli bir sıcaklığa ısıtma
- Bu sıcaklıkta tutma
- Soğutma [8]

Demir karbon denge diyagramı dikkate alındığında ısıl işlem yöntemleri, dönüşümün etkili olmadığı ve dönüşüme bağlı ısıl işlemler olarak ikiye ayrılabilir;

- Birinci grupta, demir olmayan diğer tüm alaşımlara da uygulanabilen, difüzyon tavlaması, kaba tane tavlaması, yeniden kristalleşme tavlaması, gerilim giderme tavlaması ve çökelme sertleşmesi işlemleri sayılabilir [16].
- İkinci grupta ise sadece çelikler için söz konusu olan normal tavlama, sertleştirme, ıslah ve ara kademe ıslah işlemleri gösterilebilir [16].



Şekil 3.1. Genel ısıl işlem prosesi [7]

Çeliklere ısıtılma işlem yapılmasının başlıca amaçları olarak,

- talaşlı işlenebilme özelliğinin iyileştirilmesi
- mukavemetin artırılması veya azaltılması
- soğuk şekil vermenin etkisinin yok edilmesi
- mikrosegregasyon'un giderilmesi
- tane büyüklüğünün değiştirilmesi
- iç gerilmelerin azaltılması
- belirli bir icyapının elde edilmesi gösterilebilir [8].

### 3.1. Demir Karbon Denge Diyagramı

Saf demirin 1538°C'de erir ve yoğunluğu 7,8 gr/cm<sup>3</sup>'dür. Saf demir, odasıcaklığından erime sıcaklığına kadar üç farklı kristal yapıda bulunur: Oda sıcaklığından 912°C'ye kadar hacim merkezli kübik (HMK), 912°C'den 1394°C'ye kadar yüzey merkezli kübik (YMK) ve 1394°C'den erimesıcaklığına (1538°C) kadar hacim merkezli kübik (HMK) yapıdadır. Birmalzemenin kimyasal yapısı değişmeden kristal yapısı değişiyorsa, bu türmalzemelere allotropik veya polimorfik özellik gösteriyor denir. Demirin allotropiközellik göstermesi, onun ve alaşımlarının çok geniş bir istek yelpazesine (sertlik, süneklik, tokluk, aşınma direnci gibi) olumlu cevap vermesine ve bundan dolayı sayılamayacak kadar çok alanda kullanılmasına imkan tanıyan olağanüstü biravantajdır. Demir 768°C'de (Curie sıcaklığı) ferromanyetik karakterden paramanyetik karaktere geçmektedir; yani, demir 768°C'nin altında mıknatıslanma özelliği gösterirken, bu sıcaklığın üzerinde mıknatıslanma göstermez [7].

Çelik temel olarak demir karbon alaşımıdır. Bu nedenle demirin özellikleri ve dolayısıyla çeliğin yapısı değişen karbon yüzdesiyle belirgin bir şekilde etkilenmektedir [17].

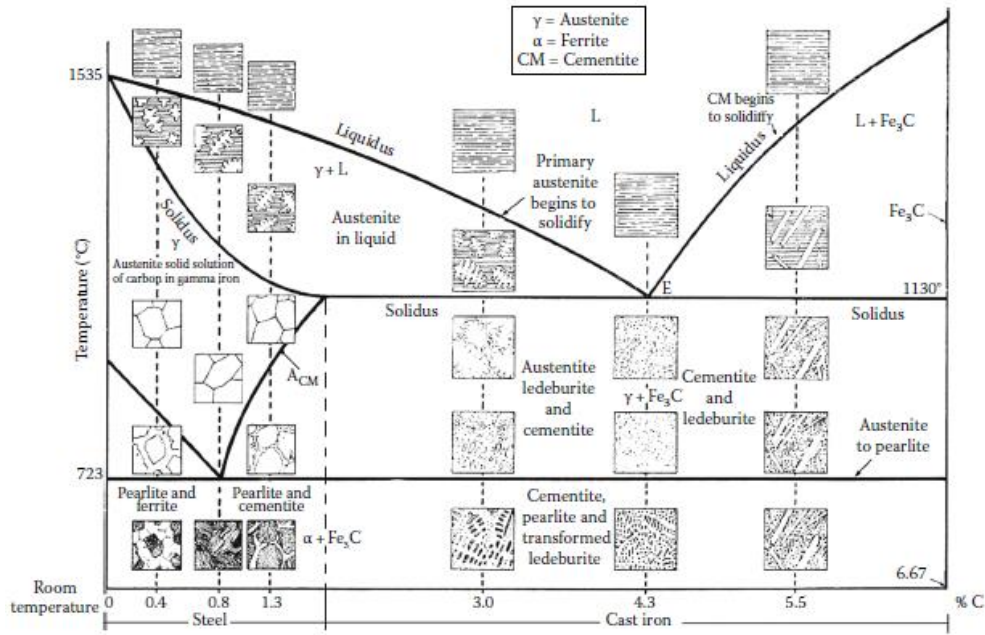
Sekil 3.2.'de demir ile karbonun meydana getirdiği ikili denge diyagramı görülmektedir. Demir karbon denge diyagramı, demir ve karbon tarafından oluşturulan tüm fazların kristal yapıları, bileşimleri ve sıcaklıkları arasındaki ilişkiyi

gösterir. Diyagramın sol tarafında demir, sağ tarafında ise Fe<sub>3</sub>C (demir karbürsementit) bulunmaktadır. Diyagramın alt eksenini demire katılan karbonun ağırlık olarak yüzdesini, dikey eksenini ise sıcaklığı göstermektedir. %100 Fe<sub>3</sub>C bileşiğinin oluşması için demir içerisine ağırlıkça %6,67 C konulması gerektiği açıkça görülmektedir. Esasen, dikkat edilirse, sementit oluşumunun çok düşük karbon oranlarında başladığı ve yapının tamamının Fe<sub>3</sub>C olması için %6,67 karbonun demire katılması gerektiği anlaşılır. Diyagramda, daha yüksek karbon oranları göz önüne alınmamıştır. Bu tür demir-karbon alaşımları teknolojik olarak önem taşımaz [7].

Saf demirde bulunan farklı kristal yapıları bölgeler denge diyagramında da vardır. HMK yapıları bölge 7270C'de en fazla olmak üzere (%0,02) karbon çözündürmekte ve karbon çözünürlüğü sıcaklık düştükçe ve yükseldikçe azalmaktadır. Bu şekilde oluşan E-Fe bölgesi ferrit olarak adlandırılmaktadır. Saf demirdeki YMK yapıları G-Fe daha geniş bir alan oluşturmuştur. Bu alanın en fazla karbon çözündürdüğü sıcaklık 1148°C ve en fazla çözündürdüğü karbon miktarı da ağırlıkça %2,1'dir. Bu bölge ostenit adını alır. H-Fe de diyagramda bir bölge seklindedir; içerisinde 1495°C'de maksimum ağırlıkça %0,1 karbon çözünmüştür [7].

Ferrit ve ostenitin teknolojik olarak çok önemli olmasına karşılık, delta bölgesi çok yüksek sıcaklıklarda kararlı olması sebebiyle bir çok teknolojik işlemde ilgi duyulan bir alan değildir. Diyagramda üç önemli dönüşüm vardır: 1495°C'de %0,15 karbon bileşiminde "sıvı+delta"dan ostenit oluşmaktadır. Bu dönüşüm peritektik olarak adlandırılır ve teknolojik olarak çok önemli değildir. 1148°C'de %4,3 karbon bileşiminde ise sıvı faz "ostenit+sementit" fazlarından oluşan bir karışıma dönüşür. Bu reaksiyon ötektik adını alır ve denge diyagramında sıvının görüldüğü en düşük sıcaklığı gösterir. Ötektik reaksiyon dökme demir teknolojisi açısından çok önemlidir ve ötektik reaksiyon ile oluşan ürün ledeburit adını alır [7].

Diyagramdaki üçüncü reaksiyon ise çelik teknolojisi açısından çok önemli olan ötektoid reaksiyondur, ötektoid reaksiyon 727°C'de ve ağırlıkça %0,8 karbon bileşiminde ostenitin "ferrit+sementit"e dönüşümü seklindedir ve ötektoid dönüşüm ürünü perlit (ferrit+sementit) adıyla bilinir [7].



Şekil 3.2. Yarı kararlı dengiyi gösteren Demir Karbon Denge Diyagramı (Basitleştirilmiş bir diyagramdır ve delta demir dönüşümü gösterilmemiştir.) [18]

### 3.1.1. Çeliğin iç yapısı

Demir-karbon denge diyagramlarında karşılaştığımız fazlar aşağıdaki gibidir;

- Ferrit (ferrite) E katı çözeltilisinin adıdır. HMK E-demirde çözünmüş karbonun bir katı çözeltilisidir. Maksimum çözünürlük 723°C'de ag. %0,025'dir. Bu çözünürlük sıcaklık düşüsü ile azalır ve oda sıcaklığında sadece %0,008 kadar olur. Ostenitten daha yumuşak ve daha az mukavemetlidir [7]. Ortalama özellikleri şöyle özetlenebilir:

Çekme mukavemeti: 40.000psi

Uzama : % 40

Sertlik : 0-HRC'nin altında [19]

- Perlit (pearlite) %0,80 karbon içeren ötektoid karışım olup çok yavaş soğuma sonucunda 723°C'de oluşur. Ferit ve sementitin çok ince plaka veya lamellerinden oluşan bir karışımdır. Orta seviyede mukavemeti vardır [7]. Ortalama özellikleri şöyle özetlenebilir:

Çekme mukavemeti: 120.000 psi

Uzama : % 20 (2inçte)

Sertlik : 20 HRC [19]

- Sementit (cementite) veya demir karbür ( $Fe_3C$ ) ağırlıkça %6,67 karbon içerir. Çekme mukavemeti düşük, basma mukavemeti yüksek, sert ve gevrek metaller arası bir bileşiktir. Diyagramda görülen en sert yapı sementittir [7]. Bu yüzden döküm alzemelerin işlenmesindeki en büyük sıkıntı sementit fazını yer yer ihtiva etmesindedir [2].

- Ostenit (austenite) YMK yapıya sahip olup, kolayca şekillendirilebilen ve manyetik olmayan yapıya sahiptir. Östenit artırıcı elementler ilave edilmediği sürece  $911^{\circ}C$ - $1392^{\circ}C$  arasında görülebilir. Maksimum C çözünebilirliği  $1148^{\circ}C$ 'de %2'dir. Ferrite göre daha fazla karbon çözünebilirliğe sahiptir. Karbonun YMK yapılı  $\gamma$ -demiri içerisinde çözünmesiyle oluşan bir arayer çözeltilisidir. Yüksek tokluğa sahip bir faz olup ayrıca dayanımı da daha yüksektir [2]. Ortalama özellikleri şöyle özetlenebilir:

Çekme mukavemeti: 150.000 psi

Uzama : % 10 (2 inçte)

Sertlik : Maksimum 40 HRC [19]

- Martensit (martensite) Çeliğin östenit fazından yaklaşık  $200$ - $250^{\circ}C$  ye hızla soğutulması sonucu elde edilen iğneli ve sert bir yapıdır. Östenitin, perlitik dönüşüme izin vermeyecek hızlarda, ancak martensit elde etmeyecek kadar yavaş soğutulması sonucu değişik yapılar ortaya çıkar. Bu yapılar soğuma hızı arttıkça, sorbit, beynit, trostit isimlerini alır [19]:

a) Sorbit: Martensitin  $400^{\circ}C$ 'nin üzerinde tavlınması ile de elde edilebilir. Ferrit ve sementitin tanesiz ve çok ince karışımıdır. Mikroskop altında ince perlit olarak da tanımlanır. Bu yapı, özellikle tel çekme işlemlerinde aranır. Sertliği 250 HB civarındadır [19].

b) Beynit: Özmenevişleme işlemi ile elde edilen bu yapının sertliği perlit ve martensit yapıların arasında olup, 40-60 HRC arasında değişir. Beynitik çelikler, özellikle, yaylar, tarım araçları, segman, çanak, çayır bıçağı gibi aletlerin üretiminde kullanılırlar [19].

c) Trostit: Martensitin 250°C sıcaklıkta tavlanması ile de elde edilebilir. Ferrit ve sementitin tanesiz ince karışımıdır. Sertliği 400 HB civarındadır [19].

- Ledeburit (ledeburite) %4,3 karbon içeren demir - karbon alaşımının 1148°C sıcaklıkta ötektik dönüşümle katılaşması sonucunda oluşan bir yapı olup, östenit ve sementit fazlarını içermektedir. Sıvı fazın bulunabileceği en düşük sıcaklık 1148°C'dir [2].

### 3.2. Ostenit Fazının Soğutulması Esnasında Oluşan Yapı Dönüşmeleri

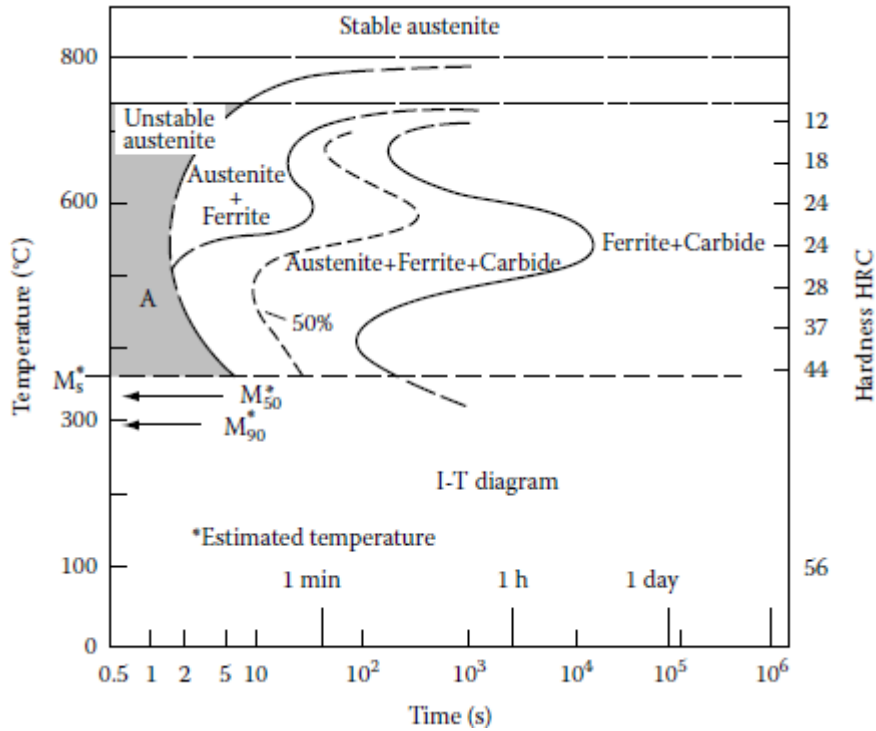
Çeliğin östenit fazından soğutulmasıyla oluşabilecek yapılar Zaman-Sıcaklık-Dönüşüm (ZSD) diyagramları ile açıklanabilir. Yaygın olarak kullanılan bu diyagram ile hangi zaman aralığında ne tarz dönüşümlerin gerçekleşebileceği görülebilir. Soğuma koşulları, sürekli sıcaklık düşmesi ve belli bir aralıkta tutuktan sonra soğutma şeklinde olabileceğinden, Sürekli ZSD (SZSD) ve İzotermik ZSD (İZSD) olmak üzere iki farklı türde diyagram mevcuttur. Bu iki diyagram için eski İngilizce kaynaklarda TTT (Time-Temperature-Transformation) diyagramı olarak anılmaktayken, yeni İngilizce kaynaklarda TTT ifadesi sadece izotermik dönüşümler için kullanılmaktadır. Sürekli soğutma da CCT (Continuous-Cooling-Transformation) şeklinde ayırım yapılmaktadır [16].

#### 3.2.1. İzotermik zaman-sıcaklık-dönüşüm diyagramları (İZSD diyagramları)

İzotermik diyagramlar, küçük çelik numunelerin östenit dönüşümünün tamamlandığı sıcaklığa ısıtılmasında sonra bu sıcaklıktan belli bir sıcaklığa (östenitleme ve Ms sıcaklığının ortasındaki bir sıcak banyoya) hızla soğutulmuş burada belli bir süre tutulmasından sonra oda sıcaklığına tekrardan ani soğutulmasıyla elde edilir. Bu işlemler yapılırken farklı tutma süreleri kullanılarak her bir numune içerisindeki

dönüşüm ürünleri tespit edilir. Bu işlem farklı sıcaklıklarda tekrar tekrar yapılır ve sonra işlemin sıcaklıkla olan ilişkisi farklı sıcaklıklarda yapılan gözlemlerden bir IT şeması elde edilene kadar incelenir [18].

Tipik bir 4130 çeliğine ait IT diyagramı Şekil 3.3 de gösterilmiştir.



Şekil 3. 3. AISI 4130 çeliğine ait IT Diyagramı [18]

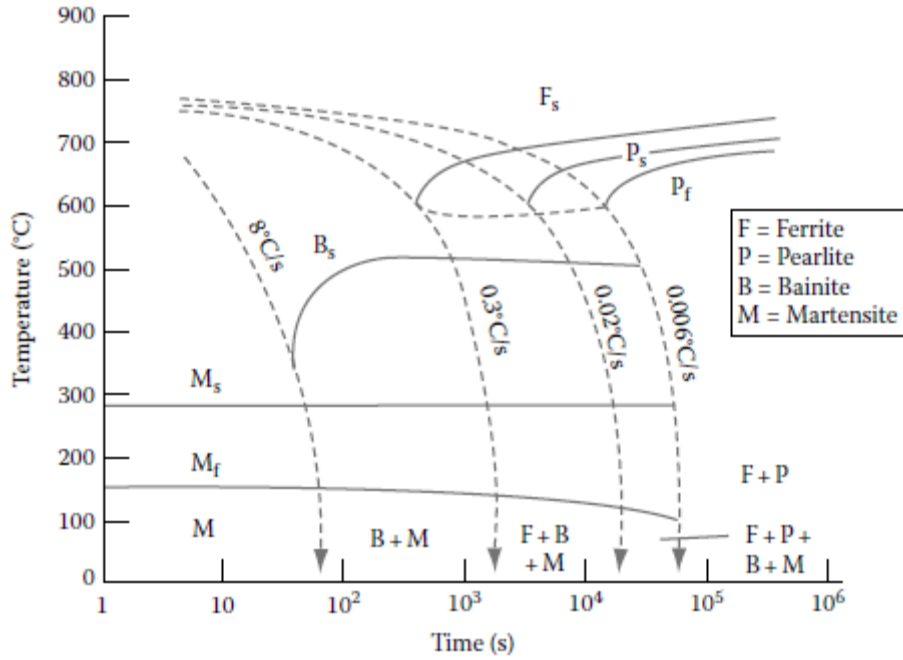
### 3.2.2. Sürekli soğutmada zaman-sıcaklık-dönüşüm diyagramları (SZSD diyagramları)

CCT eğrileri faz geçiş sıcaklıklarına, belirtilen zamandaki soğuma oranı için dönüşüm ürününün miktarına ve martenzit elde etmek için gerekli soğuma oranına bağlıdır. Bu ilişkiler farklı soğutma hızı eğrileri kullanılarak elde edilen CCT diyagramlarından elde edilir [18].

Kritik soğutma oranı belirli bir çeliğin sulanması sırasında perlit oluşumundan kaçınmak için gereklidir. Genel kural olarak, martenzit oluşumu için sulaştırma hızı, perlit geçiş eğrisinin burnuna eşit veya daha hızlı bir soğutma hızı üretmelidir [18].



4340 çeliğine ait CCT diyagramı örnek olarak Şekil 3.4 de gösterilmektedir.



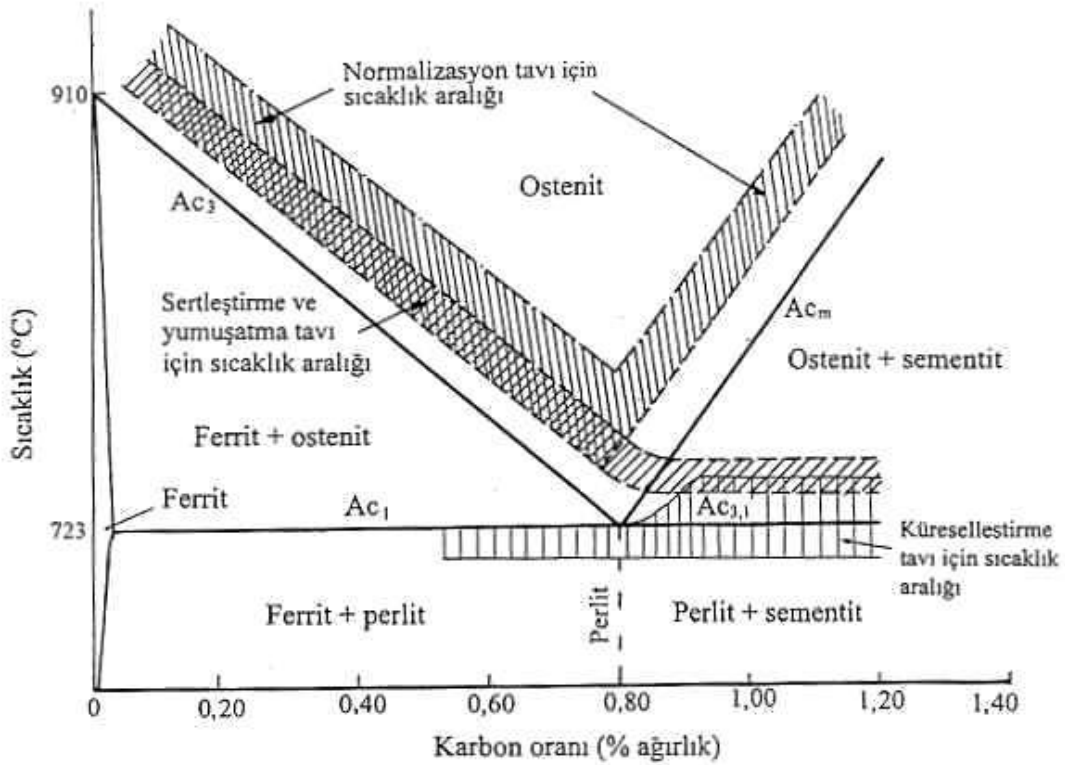
Şekil 3.4. SAE 4340 çeliğine ait CCT diyagramı [18]

### 3.3. Tavlama Teknikleri

Tavlama çeliğin daha sonraki aşamalarında işlenebilir olması için plastik kıvama getirilmesini yani yumuşatılmasını amaçlayan süreçlerin tümünü kapsar. Tavlama işlemi boyunca yapılan işlemler, çeliğin yapısını homejenleştirdiği gibi, tane boyutlarını küçültür ve işlem esnasında meydana gelebilecek gerilmeleri de giderebilir. Buradan yola çıkarak tavlamanın tanımı şu şekilde yapabiliriz;

Tavlama, çelik ve alaşımlarının solidus eğrisi altındaki belirli bir sıcaklığa ısıtılmasına, bu sıcaklıkta bekletilmesine ve sonradan da soğutulmasına denir [20].

Şekil 3.5. de temel olarak uygulanan bazı tavlama sıcaklık aralıkları gösterilmiştir.

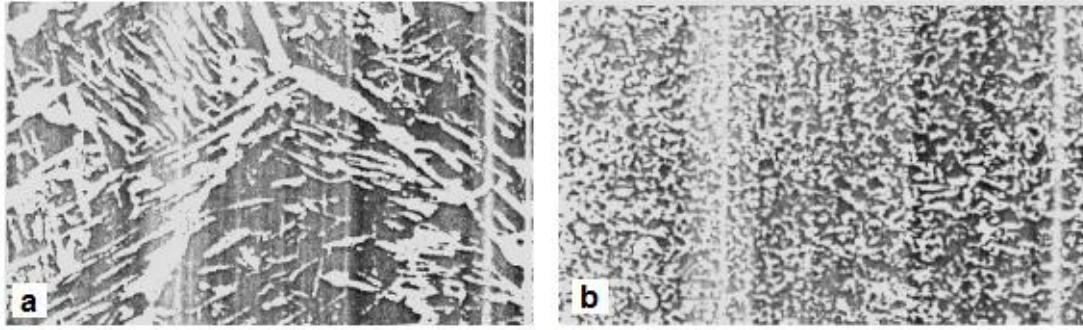


Şekil 3.5. Temel tavlama sıcaklık aralıklarını gösteren Demir Karbon Denge Diyagramının çeliklere ait kısmı [4]

### 3.3.1. Normalleştirme tavlaması

Dökülmüş, haddelenmiş, dövülmüş, çekilmiş çelik ile kaynak edilmiş iş parçalarının kaynak bölgesinin çevresi yüksek sıcaklıktan etkilenerek iri taneli yapı haline gelirler. Yüksek sıcaklıkta bekletme iri taneli yapının oluşmasına sebebiyet verir. İri taneli çelik yapısının da şekil değiştirmeden kopmaya karşı eğilimi vardır. Bu nedenlerden dolayı, ince taneli yapı çeliklerinin biçimlendirme sonra tekrardan eski hallerine dönmeleri istenir [20].

Normalleştirme tavlama ile yapıdaki homojensizlik giderilir ve yapı daha ince taneli yapıya (Şekil 3.6.) ulaşılır. Bunun için, ötektoid altı çeliklerde, A<sub>3</sub> sıcaklığının 30...50°C üzerine kadar ısıtmak ve biraz beklemeden sonra,  $\gamma \Rightarrow \alpha$  dönüşmesi gecikecek şekilde soğutmak gerekir [21].



Şekil 3.6. a) %35 karbonlu çelik dökümün iç yapısı b) Aynı malzemeni 880 °C sıcaklıkta 30 dakika ve havada soğutma ile normal tavllanmış yapısı (Yapı ferrit ve perlitten oluşuyor) [21]

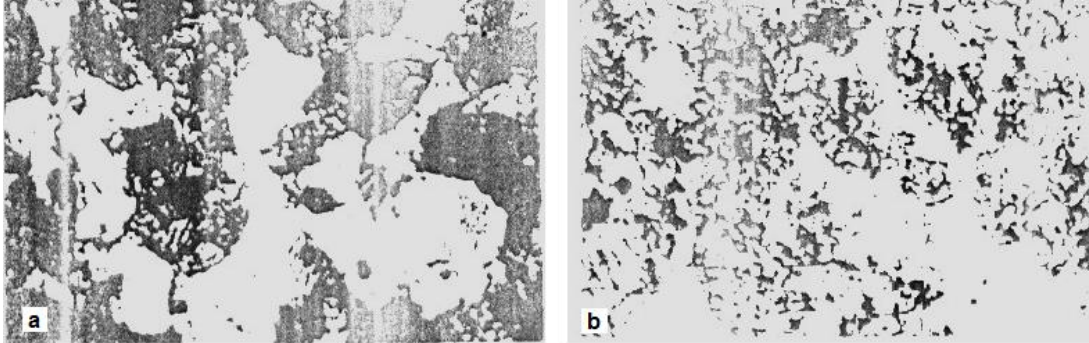
Normalleştirme tavinin esas amaçları;

- Tane yapısını inceltmek veya çelik su verme sertleşmesi veya tam tavlama için yeniden ısıtıldığında homojen bir östenitten emin olmak.
- Döküm ve ya dövme ile üretilen malzemelerdeki segregasyonu azaltmak ve böylece daha üniform bir yapı elde etmek.
- Çeliği hafifçe sertleştirmek [22].

### 3.3.2. Yumuşatma tavlaması

Yumuşatma tavlaması, ferrit matris yapısı içerisinde yerleşmiş sementiti küresel hale getirmek ve dengeli bir yapı (Şekil 3.7 ) oluşturmak için uygulanır. Bu işlem, ötektoid altı çeliklerde  $A_1$  sıcaklığının altında ısıtmayla gerçekleştirilir. Başlangıç yapısındaki lamelli perlit ne kadar kaba ise, gerekli tav süresi o kadar uzundur ve sementit küreleri de o ölçüde büyüktür. Bu işlem, ötektoid altı çeliklerde  $A_1$  sıcaklığının altında ısıtmayla gerçekleştirilir. Çeliğin başlangıç yapısındaki lamelli perlit ne kadar kaba ise, gerekli tav süresi o kadar uzundur ve sementit küreleri de o ölçüde büyüktür. Otektoid altı çeliklerde, ferritik sahada karbon difüzyonu olmaktadır. Sekonder sementit ağ yapısı içeren ötektoid üstü çeliklerde  $A_1$  tav sıcaklığının altında tav süresinin çok uzun tutulması zorunludur. Bundan dolayı, ötektoid üstü çeliklerde perlit dönüşümünün çevresinde salınım yaptırarak, yani iki fazlı sahada perlitik sementitin daha kolay parçalanması sağlanır. Tavlama sonrası yapılacak yavaş soğumada, çözülmüş karbon mevcut karbürlerin çevresinde küresel sementit olarak

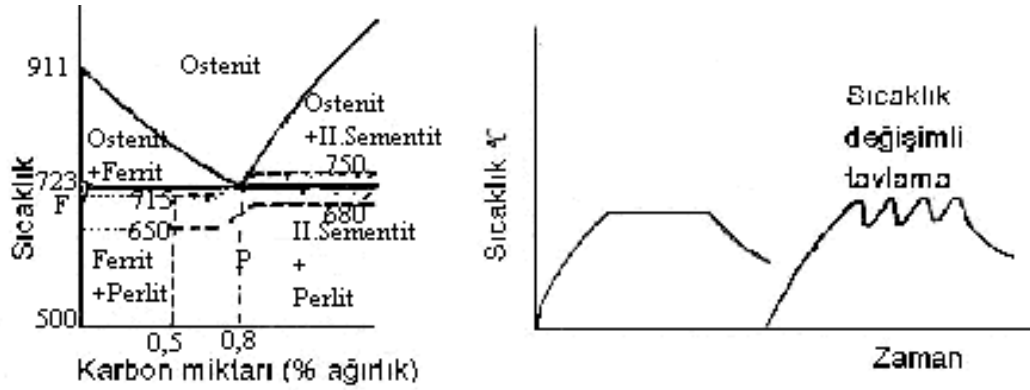
ayırır. Sekonder sementit,  $\gamma$ -sahasında karbonun daha fazla çözünebilirliğinden dolayı, hızla küresel forma dönüşmektedir [16].



Şekil 3 7 a) % 0,3 karbon içeren çeliğin yapısındaki ferrit ve lamel formundaki perlit oluşumları b) Aynı malzemenin sıcaklık değişimli yumuşak tavllanmış, ferrit ve lamelli perlit doku görünümü [21]

Yumuşak tavlama ile sertlik önemli ölçüde düşer ve süneklik artar. Ferrit içerisinde yerleşmiş sementit küreleri, talaşsız şekil vermede ferritle birlikte şekil almazlar ve bundan dolayı şekil almada etkili engelleme yapıları söz konusu değildir. Aynı olay, talaşlı şekillendirme içinde geçerlidir, dolayısıyla yüksek karbonlu çeliklerde yumuşatma tavlaması ile talaşlı şekillenebilirlik iyileşirken, düşük karbonlu çeliklerde aksine talaşlı şekillenebilirlik kötüleşir. Yumuşatma tavlamasının, özellikle ötektoidüstü çeliklerde yapının sertleştirme için uygun hale getirilmesi için kullanılması da oldukça önemlidir [16].

Ötektoidüstü çelikler sertleştirilebilmek için yumuşatma tavlaması yapılmadığında, çelikte mevcut sekonder sementit ağı sertleştirme sonrasında çok kırılgan bir yapı yaratır. Yumuşak tavlama uygulandığında küresel form alan karbürler, A1 üzerindeki östenitleştirmede mükemmel çözülür ve ani soğutmadan sonra da martenzit içerisinde homojen olarak dağılır. Bu şekilde, takımların aşınma dayanımı yükselir ve talaş kaldırma takımında ilave mikro kesiciler sağlanmış olur [16].



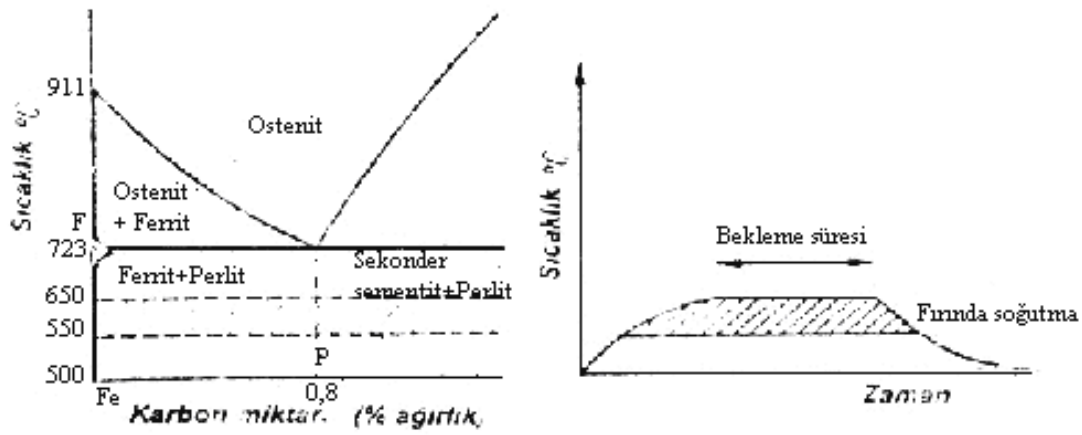
Şekil 3.8. Yumuşak tavlama işleminin karbon miktarına bağlı olarak uygulandığı sıcaklık sahası ve uygulama tarzı [21]

Yumuşak tavlama, alaşımsız çeliklerde yaklaşık %0,5 ve alaşımlı çeliklerde %0,3'den itibaren daha yüksek karbonlularda daha çok kullanılır (Şekil 3.8.). Özellikle, otektoid üstü çeliklerde önemlidir. Bu konuda, perlit noktasının alaşımlı çeliklerde %0,8 karbondan çok daha aşağılara düşeceği unutulmamalıdır.

Sementasyon çelikleri gibi düşük karbonlu çeliklerde, lamelli perlitik yapıda da yeterli talaşsız şekillenebilirlik vardır ve yumuşak tavlama bu tür çeliklerde talaşlı şekillendirmede sorun çıkmasına neden olur. Ayrıca, bu çeliklerin sertleştirilmesinde yüksek sıcaklığa ısıtma yapıldığında, tüm karbürler ostenit içerisinde çözülebilir [16].

### 3.3.3. Gerilim giderme tavlaması

Gerilim giderme tava; döküm, kaynak ve soğuk şekil verme işlemlerinden kaynaklanan iç gerilmeleri azaltmak amacıyla, metalik malzemeleri dönüşüm sıcaklıklarının altındaki uygun bir sıcaklığa kadar ısıtma ve sonra yavaş soğutma işlemidir. Bu işlem, bazen dönüşüm sıcaklığı veya kritik sıcaklık altı tava olarak da adlandırılır. Çelik malzemeler 540 °C ile 630 °C sıcaklıkları arasında gerilme giderme tavaına tabi tutulurlar [4].

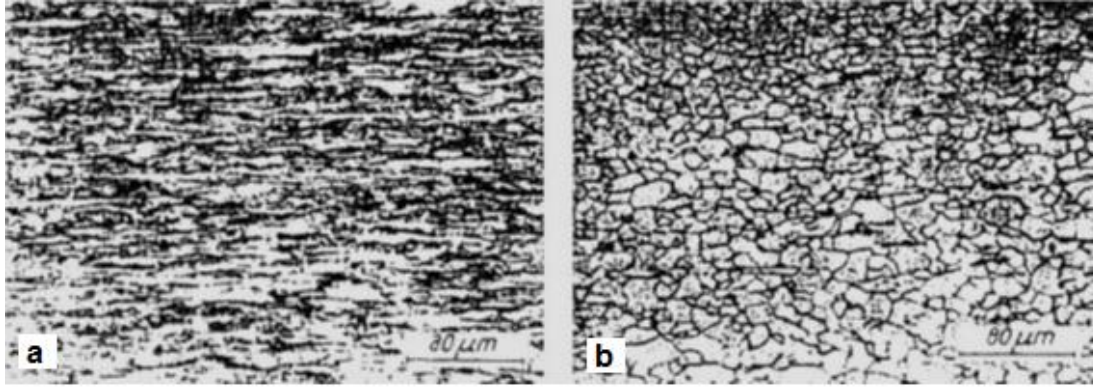


Şekil 3.9. Gerilim giderme tavlamaının uygulandığı sıcaklık alanı ve uygulama tarzı [21]

Gerilim giderme tavlamasında, iç gerilmeler sürünme olaylarıyla azaltılır. Önceden yapılmış plastik şekillendirmeye bağlı olarak uygulanan rekristalizasyon tavlamasına karşıt olarak, bu tavlama yapı değişimi söz konusu değildir. Gerilim giderme tavlamasında sıcaklık, en yüksek kullanım sıcaklığının üzerinde, fakat özellik değişimlerinin rastlandığı sıcaklığın da altında sečilmesidir (Şekil 3.9.). Örneđin, martenzitik yapı elde edilecek şekilde sertleştirilmiş parçalarda 100°C sıcaklığa ısıtmada, sertlikte dikkate değer bir düşme olmaksızın, iç gerilmelerde önemli ölçüde azalma meydana gelir. Ancak, bu durumda 1.meneviş kademesi olarak sayılan yapısal değişimlere de bu esnada mani olunamaz. Isıl işlem görmemiş parçalar için, gerilim giderme tavlamasında sıcaklık değerü  $A_1$  sıcaklığın altında seçilir. Yeni gerilmelerin doğmasını engellemek için, parçalar fırında yavaş soğutulmalıdır. Gerilmelerin yok olmasını sağlayan sürünme olayları genellikle 2 saatte tamamlandığından, özel durumlar dışında daha uzun süre genellikle beklenilmektedir [16].

### 3.3.4. Yeniden kristalleştirme tavlaması

Yeniden kristalleşme soğuk şekillendirilmiş metallerde yeni gerilimsiz tanelerin (Şekil 3.10) oluştuğu bir işlemdir. Bu işlem sırasında soğuk şekillendirmenin neden olduğu mekanik ve fiziksel özelliklerdeki değerim yaklaşık olarak soğuk şekillendirme öncesi özellikler seviyesine geri döner [22].

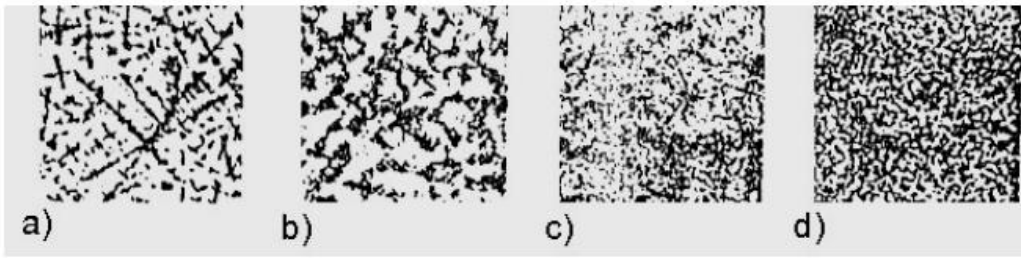


Şekil 3.10. Yumuşak tavlama uygulanmış çelik yapı a) Kuvvetli soğuk şekillendirilmiş b) Rekristalizasyon tavlama uygulanmış [21]

Demir olmayan malzemeler için kaba taneli yapıyı ince taneli yapıya dönüştürmek için tek yol, bu tavlama işlemidir. Çeliklerde, soğuk şekillendirme neden olduğu bu dayanıklılaşmayı gidermek ve ince taneli yapı için ayrıca normal tavlama da yapılabilmektedir. Ancak normal tavlama sıcaklığının yüksek olması, enerji maliyetinin yüksekliği, fırında aşınmasının fazlalığı, tufalleşme kayıpları, karbon azalması ve deformasyon olaylarından dolayı, eğer parçada homojen ve kritik şekil değiştirmenin üzerinde şekillendirme varsa, rekristalizasyon tavlaması tercih edilir [16].

### 3.3.5. Difüzyon tavlaması

Genellikle alaslamlı çelik ingotlara ve büyük döküm parçalara kristal tanelerindeki kimyasal bileşim farklarını difüzyon yoluyla gidermek için yapılan bir tavlama işlemidir. Yayınma yoluyla derisinin dengelenmesi ancak mikro ölçekte olmak üzere çok yüksek sıcaklık (1100 - 1300 °C) ve çok uzun sürede (yaklaşık 50 saat) gerçekleşir [4].



a-Dökülmüş  
tavlanmış

b-1000°C'da  
tavlanmış

c-1100°C'da  
tavlanmış

d-1200°C'da  
tavlanmış

Şekil 3.11. Difüzyon tavlama sıcaklığının segregasyonların dağılımına etkisi [21]

Difüzyon tavlama ile ulaşılan yapıdaki çok iyi homojenlik sonucunda, döküm parçalarda daha iyi süneklilik ve haddelenmiş ya da dövülmüş parçalarda da dizesel yapının yok edilmesi sağlanır. Ancak, bu tavlama ile yalnızca katı çözümlü segregasyonları yok edilebilir ve blok segregasyonlar için difüzyon yolu çok uzun olduğundan genelde uygulanmaz (Şekil 3.11) Ayrıca, difüzyon tavlama maliyeti yüksektir, tesiste fazla aşınma meydana getirir ve önemli ölçüde tufal ve yanma kayıpları oluşabilir. Bunlardan dolayı, bu tavlamanın kullanılması özellikle yüksek değerli malzemelerle sınırlıdır. oluşabilir. Bunlardan dolayı, bu tavlamanın kullanılması özellikle yüksek değerli malzemelerle sınırlıdır [21].

### 3.4. Sertleştirme

Alaşımız karbonlu çeliklerin,  $A_3$  veya  $A_1$  (karbon miktarına bağımlı olarak) dönüşme noktalarının hemen üstüne kadar ısıtılmaları ardından yüzeyde veya çekirdeğe kadar yüksek sertliği (martenzit oluşumunu) sağlayacak kritik bir hızla soğutulmasına sertleştirme denir [4].

Dönüşüm sertleştirme uygulamak için, otektoidaltı çelikler  $A_3$  ve otektoidüstü çelikler  $A_1$  sıcaklığının üzerinde ostenitleştirme yapıldıktan sonra, yalnızca yüzeyinde (cidar sertleştirme) yada tüm kesitinde (tam sertleştirme) üst kritik soğutma hızı aşılacak şekilde soğutma (ani soğutma) yapılır. Özellikle stabil karbür teşekkül ettiren alaşım elemanları (Cr, Mo, W, V) ostenitleştirme sıcaklığını yükseltir veya kritik soğutma hızını düşürmektedirler (Mn ve Cr) [16].



Ostenit faz sıcaklığında homojenliği sağlamak için yeterli süre bekletilmiş çelikparça, yüksek hızla soğutulduğunda martenzit yapı elde edilir. Dönüşüm esnasında çeliğin kristal yapısında yüzey merkezli kübikten hacim merkezli tetragonal kristal yapısına değişiklik olur. Hacim merkezli tetragonal kristalin boyutlarındaki oran ( c/a oranı) çeliğin kimyasal bileşimindeki karbon miktarındaki artışa bağlı olarak büyür. Martensit sertliğinin esası çeliğin kristal yapısındaki bu değişikliktir [23].

Sertleşmenin asıl amacı minimum soğuma hızında tamamen martensit yapı elde etmektir. Tamamen martensit yapı verecek minimum soğuma hızına kritik soğum hızı (KSH) denir. Kritik soğuma hızı çeliğin kimyasal bileşimine ve ostenit tane büyüklüğüne bağlı olarak değişir [23].

Eğer çelik parça, kritik soğuma hızından daha süratli soğutulursa sonuçta yüksek sertlikte sadece martensit yapı elde edilir. Fakat eğer, parçaya uygulanan soğutma hızı kritik Soğuma hızından daha yavaşsa, ostenitin bir kısmının veya tamamının ferrit ve perlitte dönüşmesiyle sonuçta yapıda martensit miktarı azalacak ve sertlik düşecektir. Parçanın soğuma hızı ile kritik soğuma hızı arasındaki fark büyüdükçe ostenitin ferrit ve perlitte dönüşüm miktarı artacak ve buna bağlı olarak sertlik düşecektir [23].

Sertleştirme işleminde, mutlaka en azından düşük bir sıcaklıkta meneviş işlemin de yapılması zorunludur [16].

### **3.4.1. Sertleştirme ısıl işleminin uygulanması**

Normal sertleştirmede parçalar havada, yüzeyde karbon azalmasını veya karbon artmasını engellemek için koruyucu gaz altında ya da tuz banyosunda sertleştirme sıcaklığına ısıtılır. Yeterli homojenlikte ostenit oluşumu meydana gelene ve mevcut özel karbürlerin gereken miktarı çözülene kadar ostenitleştirme sıcaklığında bekletilirler. Bu işlemin ardından, martenzit oluşumu için gerekli üst kritik soğuma hızını aşacak şekilde ani soğutma yapılır. Soğutma hızının, ostenitin

kısmen ya da tamamen perlit ve ara kademe (beynit) kademelerinde oluşumuna imkan vermeyecek, uygun soğutma ortamıyla sağlanması gerekir [16].

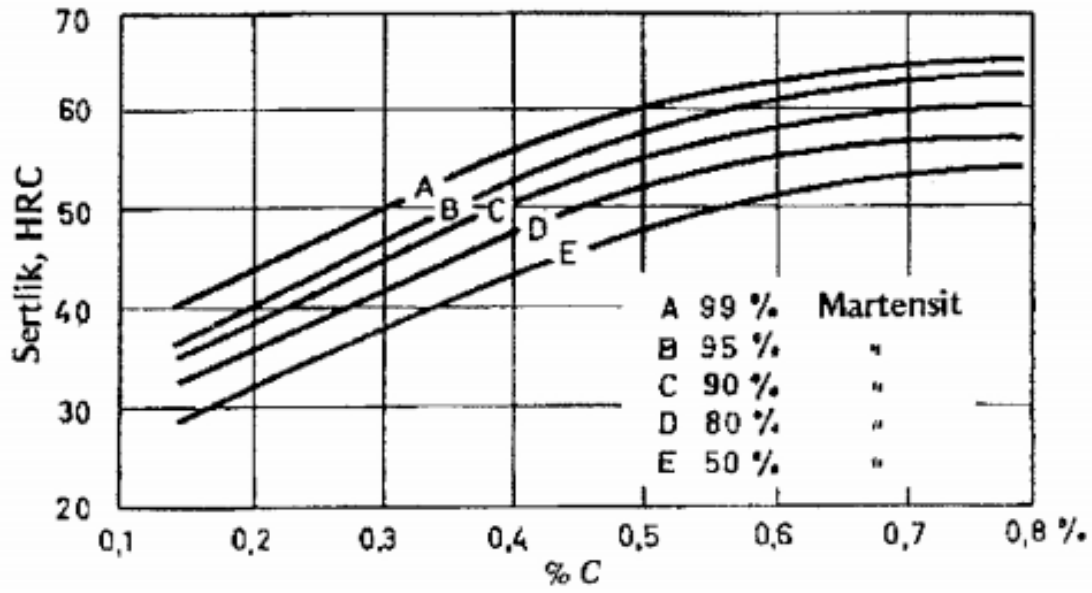
Alaşımız çeliklerde perlit ve beynit dönüşümünün tam engellenebilmesi için, soğutma başlangıcından itibaren birkaç saniye içerisinde martenzit dönüşümün başladığı Ms sıcaklığına ulaşması gereklidir. Alaşımlı çeliklerde ise bu süre çok daha uzundur. Ancak, eğer dönüşüm beynit kademesinde çok hızlı gerçekleşirse, daha büyük soğutma hızları gerekir. Bundan dolayı, soğutma ortamının seçiminde malzemeyle birlikte, parçanın boyutları gibi diğer birçok faktörde göz önünde tutulmalıdır [16].

Malzemenin çekirdeğindeki sertlik, cidarla aynı ise, bu sertleşme tam sertleşme ya da normal sertleştirme olarak adlandırılırken, martenzit oluşumu yalnızca parçanın cidar bölgesinde belirli bir derinliğe kadar sınırlı kalırsa bu işleme de yüzey sertleştirme ya da cidar sertleştirme denir [16].

### 3.4.2. Sertleşebilirlik

Çeliğin su vermede martenzit oluşumu ile sertleşme özelliğine sertleşebilirlik denir. Sertleşebilme özelliği, söz konusu çelik için bu çeliğin yüzeyinden merkezine sertlik dağılımı yanında elde edilen ve bazen yüzeyden %50 martenzitin bulunabildiği noktaya kadar olan uzaklıkla belirlenen sertleşme derinliğini verir [24].

Soğutma hızının kritik soğutma hızından daha büyük olduğunda, su vermede elde edilecek maksimum sertlik değerleri Şekil 3.12.'de görüldüğü üzere çelikteki karbon miktarına bağlıdır. Bu nedenle düşük karbonlu çeliklerde elde edilebilecek en büyük sertlik değeri bile yüksek karbonlu çeliklerinkinden azdır. 60 HRC değeri üzerinde sertlik ancak karbon miktarı %0,5 ' den fazla olan çeliklerde görülebilir [24].



Şekil 3. 12. Sertlik, karbon oranı ve % martenzit arasındaki bağıntı [24]

Farklı çelik türlerinin sertleşebilirliğinin karşılaştırılması ancak aynı geometriye ve aynı su verme ortamına sahip olduğunda yapılabilir. Çünkü daha hızlı bir soğutma hızına sebebiyet verecek soğutma ortamı daha büyük sertleşme derinliği verir. Öte yandan aynı sertleşebilirlikte kesit kalınlığının artması ile daha küçük sertleşme derinliği ve daha küçük merkez sertliği elde edilir [24].

Çeliğin sertleşebilirliğini veya diğer deyişle sertlik derinliğini arttırmak için iki farklı yöntem kullanılır [23].

1- Çeliğin kimyasal bileşimindeki alaşım elementleri miktarları artırılarak veya ostenit tane ebadı büyütülerek, ZSD diyagramındaki dönüşüm eğrileri sağa doğru kaydırılır. Bu, çeliğin kritik soğuma hızının yavaşlatılması demektir. Böylece aynı sertleştirme şartlarında, daha yüksek sertlikler ve daha fazla sertlik derinlikleri elde edilir [23].

2- Çeliğin kimyasal bileşiminde herhangi bir değişiklik yapılmadan (ZSD diyagramında dönüşüm eğrileri sabit tutularak), sertleştirme ortamının soğutma şiddeti artırılarak veya parçanın ortamda hareketi sağlanarak soğuma hızı artırılır. Böylece daha yüksek sertlikler ve daha fazla sertlik derinlikleri elde edilir [23].

### 3.4.2.1. Grosman sertleşebilirlik testi

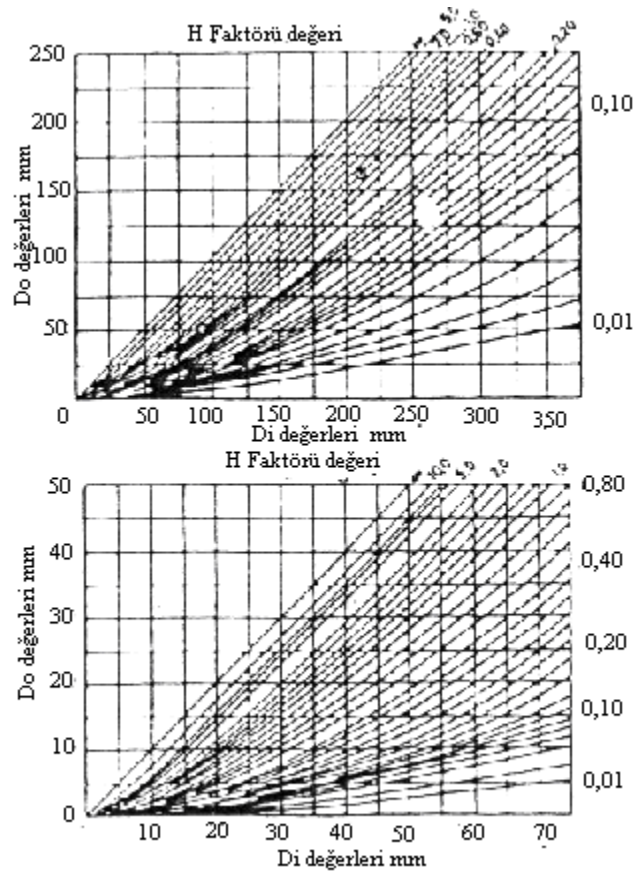
Grossmann'a göre sertleşebilirliğin saptanması için, farklı çaplarda olan çok sayıda silindirik çelik çubuk numuneler, belirli bir soğutma ortamında sertleştirilebilirler. Metalografik muayene ile, merkezinde %50 martensitik meydana gelen çubuk örnek seçilir ve bunun çapı, genellikle kritik çap ( $D_0$ ) olarak gösterilir. Farklı soğutma ortamlarında saptanmış soğutma şiddetlerine, H-faktörleri adı verilmektedir. H faktör değerleri, Tablo 3.1.'de verilmiştir [21].

Tablo 3.1. Grossman yöntemine göre ani soğutma ortamlarına bağlı olarak, soğutma şiddeti katsayısı H faktörleri [21]

Karıştırma	Soğutma ortamlarına bağlı olarak ani soğutma şiddeti katsayısı H		
	Yağ	Su	Sıcak banyo(tuz)
Yok	0,25-0,30	0,9-1,0	2,0
Yumuşak	0,30-0,35	1,0-1,1	2,0-2,2
Orta	0,35-0,40	1,2-1,3	
İyi	0,4-0,5	1,4-1,5	
Kuvvetli	0,5-0,8	1,6-2,0	
Şiddetli	0,8-1,1	4,0	5,0

( $D_i$ ) ideal çap değeri çeliğin sertleşebilirliğinin ölçüsü olup, soğutma ortamından bağımsızdır. ( $D_i$ ) ideal çap değeri, (Şekil 3.13)'deki diyagram kullanılarak, çeşitli soğutma ortamlarında ani soğutulmuş çubukların  $D_0$  kritik çap değerlerini saptamak için kullanılır [21].

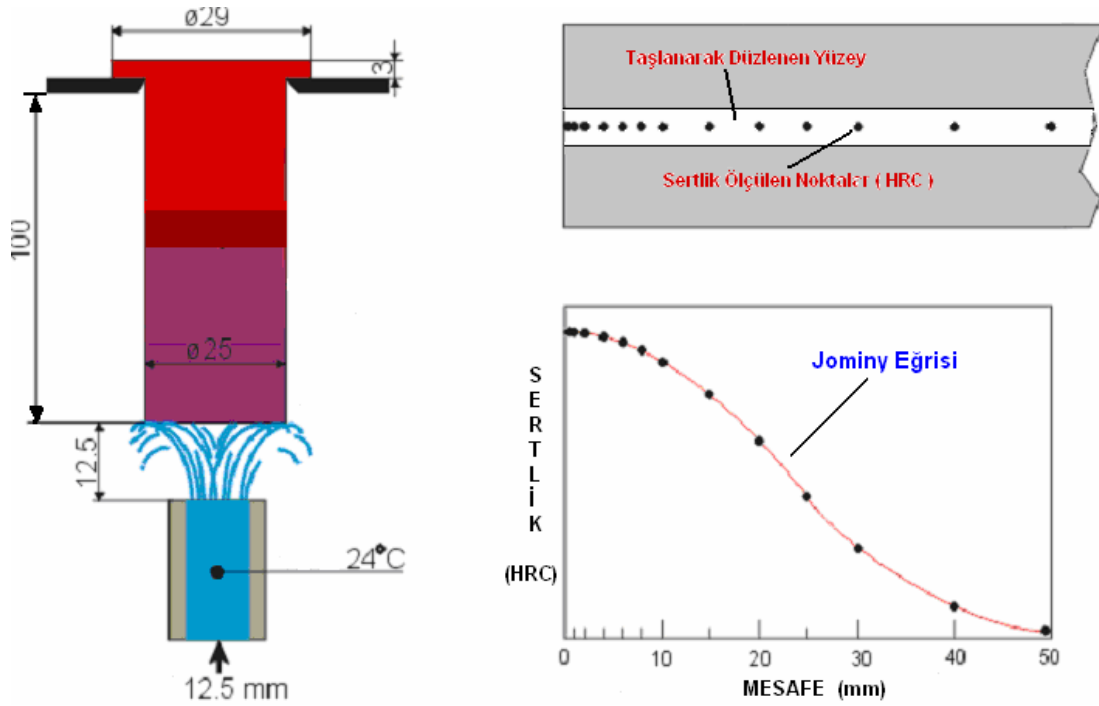
( $D_0$ ) değeri, soğutma ortamının H katsayısının uygun değerini kullanılarak, ( $D_i$ ) ideal çap değerine dönüştürülebilir. ( $D_i$ ) ideal çap, yüzeyin sonsuz hızla soğutulması halinde ( $H=\infty$ ), merkezde %50 martensit oluşan çubuğun çapı olarak tarif edilir.  $D_0$  ile  $D_i$  arasındaki bağıntı, (Şekil 3.13)'de verilmiştir [21].



Şekil 3.13. Kritik çap  $D_o$  ile ideal çap  $D_i$  arasındaki bağlantıyı, soğutma şiddeti  $H$  faktörüne bağlı olarak veren çizelgeler (alttaki diyagram üstteki diyagramın sol alt köşesinin büyütülmüş halidir) [21].

### 3.4.2.2. Jominy alın sertleştirme deneyi

Laboratuvar şartlarında yapılması ve kullanılması hem daha kolay hem de daha ekonomik olması açısından en yaygın kullanılan sertleşebilirlik deneyidir. Bu yöntemde 25 mm çapında 100 mm uzunluğunda silindirik bir çubuk kullanılır. Numune su vermesıcaklığına ısıtılır, bu sıcaklıkta belirli bir süre bekletilir ve daha sonra bir ucundan supüskürtülerek numune soğutulur (Şekil 3.14). Su verilen uç, çok çabuk soğuduğundan karbon yüzdesine göre maksimum sertlikte olacak ve yine uçtan uzaklaştıkça soğuma hızı ve sertlik azalacaktır [6].



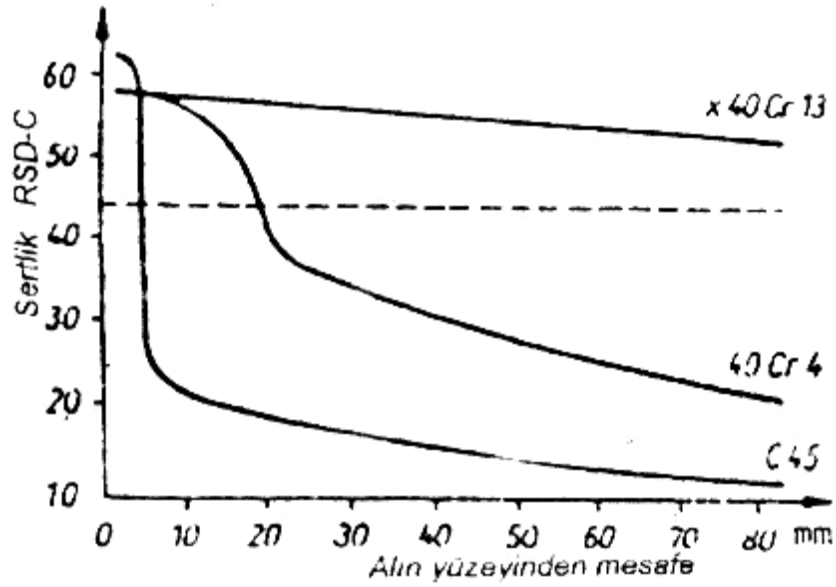
Şekil 3.14. Jominy sertleşebilirlik deneyinin sematik gösterimi [6]

Daha sonra çubuğun yüzeyi 0,4 mm derinlikte taşlanarak düzgün yüzey elde edilir. Daha sonra bu yüzey parlatılır ve su verilmiş uçtan başlanılarak çubuk boyunca belirlenirliklerle sertlikleri ölçülür. Bu sertlik değerleri ve su verilmiş uçtan itibaren olaneşdeğer mesafeleri bir diyagram üzerinde belirtilir. Bu eğrilere Jominy Eğrileri adı verilir [6].

Jominy eğrileri, kalite kontrolün en kıymetli yöntemi olarak, aynı sınıf çeliklerin farklı sertleşebilirliklerini mukayese için kullanılabilir ilk akla gelen eğriler olmasının yanında, çeşitli ortamlarda soğutularak sertleştirilmiş farklı boyutlardakiçelik çubuklarda elde edilen beklenen sertlik dağılımını tahmin etmede dekullanılabilirler. Jominy numunesinde farklı mesafelerdeki pratik soğuma hızları, çeşitli ortamlarda soğutulmuş farklı çaplardaki çubuklardaki pratik soğuma hızları ile mukayese edilebilir [6].

Örneğin (Şekil 3.15)'de, yaklaşık aynı karbon miktarlı, fakat alaşım düzeyi farklı üç çelikte Jominy deneyiyle elde edilmiş karakteristik eğrileri görülmektedir. Karbon miktarı yaklaşık aynı olduğu için, yüzeyde ulaşılan sertlik değeri alaşımlı çeliklerde yaklaşık 58 HRC dir. Alaşımsız çelik olan C 45 çeliğinde, yüzeyden yaklaşık 5mm

mesafeden itibaren sertlikte çok hızlı düşme varken, düşük alaşımlı 40 Cr 4 çeliğinde sertlik azalması daha derinlerde olmakta, yüksek alaşımlı X 40 Cr 13 çeliğinde ise pek az sertlik azalması görülmektedir [21].



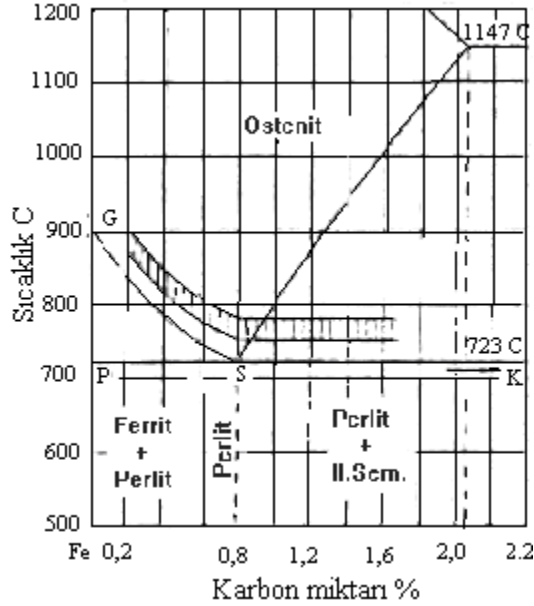
Şekil 3.15. Alaşımsız (C45), düşük alaşımlı (40Cr4) ve yüksek alaşımlı (X40Cr 13) çeliklerinin Jominy karakteristik eğrileri [21]

### 3.4.3. Sertleştirme için ısıtma işlemi

Çeliğin dönüşümle sertleştirilmesinde ilk aşama, gerekli sıcaklığa (ostenitleşme sıcaklığı) kadar ısıtılması ve bu sıcaklıkta istenilen yapı değişikliğine erişinceye kadar bekletilmesinden ibarettir. Isıtma sıcaklığının yeterli homojenlikte bir ostenitik yapı elde etmeyi ve mevcut özel karbürlerin gereken kadarının çözülmesini sağlayacak, fakat tane büyümesinin gerçekleşmesine imkan vermeyecek düzeyde olması zorunludur [16].

Tüm çeliklerde ostenit dönüşüm sıcaklığı aynı değildir ve başta karbon olmak üzere alaşım elementlerinin cins ve miktarına bağlıdır. Sertleştirme amacıyla yapılan ısıtmada tavlama sıcaklığı, alaşımsız çeliklerde karbon miktarına bağlı olarak (Şekil 3.16)'da verilmiştir. Alaşımsız çeliklerde, eğer çelik otektoitaltı bir alaşım ise  $A_3$  hattının  $30-50^\circ\text{C}$  üzerine, otektoid ya da otektoidüstü alaşım ise  $A_1$  hattının pek az

üzerine kadar ısıtmak, yapının ostenitleştirilmesi için yeterli gelir. Bu koşullarda ısıtılmış ostenitik yapının ani soğutulmasıyla elde edilen martensit, oldukça ince taneli ve diğer koşullarda elde edilenlere nazaran nispeten sünektir [16].



Şekil 3. 16. Alaşımsız çeliklerde sertleştirme (ostenitleştirme) sıcaklığı [21]

Örneğin, %0.86 C içeren ötektoid bir çelik 760°C’de ostenitleştirme sonrasında ani bir şekilde soğutulursa, yapısındaki martensitin iğnesel yapısı belirgin olarak ayırt edilemez. Aynı çelik oldukça yüksek sıcaklıklardan sertleştirilirse, ostenit kristalleri hızlı büyür ve ani soğutmada meydana gelen martensit iğneleri oldukça kaba olur (aşırı ısıtma). Bu durumdaki yapı, ince taneli martensite nazaran çok fazla kırılmandır ve bu tür uygulamalardan sakınılmalıdır [16].

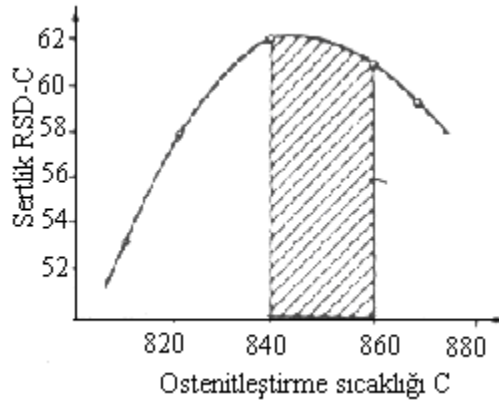
Aşırı ısıtma ile sertleştirilmiş çelikte kabul edilemeyecek bir başka olay da, artık ostenit miktarının çok fazla yükselmesidir. Artan ostenitleştirme sıcaklığıyla birlikte, ani soğutma sonrasında dönüşmeden kalan artık ostenit miktarı yükselir ve oldukça fazla sertlik düşmesine sebep olur. Örnek olarak %0.86 karbon içeren alaşımsız çelikte ostenitleştirme sıcaklığına bağlı olarak elde edilen sertlik değerleri Tablo3.2. de verilmiştir [16].



Tablo 3.2. % 0,86 C 'u alaşımsız çelikte sertleştirme sıcaklığına bağlı olarak elde edilen sertlik değeri [21]

Sertleştirme sıcaklığı (°C)	750	800	850	900	950	1000	1100	1200
Veckers sertliği (VSD)	740	790	810	800	750	650	425	320

Çeliklerin sertleştirilmesinde ostenitleşme sıcaklığı, genellikle bu çelikle ilgili ısıtma işlem koşullarını belirten tablolardan alınabilir. Ancak, bu tür bilgiler olmadığında ya da karar vermede güçlük çekildiğinde, çeliği değişik sıcaklıklarda tavlayıp sertleştirdikten sonra, meydana gelen yapının mikroskobik tetkiki ile tam martensitik yapıya ulaşma sıcaklığı saptanabilir ya da sertlik ölçme ile en yüksek sertlik değerinin bulunduğu ostenitleşme sıcaklığı belirlenebilir. (Şekil 3.17)'de, ostenitleştirme sıcaklığının ulaşılacak sertlik değerine etkisi şematik olarak verilmiştir. Uygun sıcaklık aralığı, genellikle 20°C aralığı (örneğin 840-860°C gibi) olarak verilir. Bu sahanın altında yeterli düzeyde ostenitleştirme yapılamadığı için, sahanın üzerinde ise Ms sıcaklığı düşeceği ve artık ostenit miktarı artacağı için düşük sertlik değerleri bulunur [21].



Şekil 3.17. Sertleştirme sıcaklığının ani soğutma sonrası elde edilebilecek sertliğe etkisi [21]

#### 3.4.4. Sertleştirme sıcaklığında tutma süresi

Katı eriyik içine alınması istenilen karbür miktarı sertleştirme sıcaklığında tutma süresini etkiler. Karbür miktarı çeşitli çelikler için farklı olacağından tutma süresi aynı zamanda çelik tipine bağlı olmaktadır. Çok kolay çözünür karbürleri içeren sade karbonlu ve az alaşımlı yapı çeliklerinde sertleştirme sıcaklığına ulaşıktan sonra 5-15 dakikalık bir tutma süresi genellikle yeterli olmaktadır [25].

Orta alaşımlı çelikler için boyuttan bağımsız olarak 15-25 dakikalık tutma süresi tavsiye edilmektedir. Kesin ısıtma sürelerinin ayarlanabildiği alevle veya indüksiyonla sertleştirme durumunda, alışlagelmiş sertleştirme sıcaklığından daha yüksek sıcaklıklar kullanılır. Buna ilaveten tutma süresi birkaç dakikaya ve bazı hallerde bir saniyeye kadar kısaltılabilir [25].

Az alaşımlı takım çeliklerinde gerekli sertliğin sağlanabilmesi için kesin bir tutma süresine gereksinim vardır. Bu konuda 1 mm parça kalınlığı için 0,5 dakikalık bir süre önerilir. Minimum ve maksimum süreler ise 5 dakika ve 1 saattir [25].

Tutma süresinin parça kalınlığı arttıkça uzatılmasının nedeni, karbür tanelerinin boyutu ve buna bağlı olarak katı eriyik içerisine girmelerinin zorlaşmasıdır. Az alaşımlı çeliklerin çoğu genellikle yetersiz sertleşebilirliğe sahiptir. Bununla beraber, özellikle büyük parçalarda, karbürlerin katı eriyik içine alınmaları sonucu sertleşebilirlikleri geliştirilebilir. Bunun için sertleşme sıcaklığında tutma süresinin uzatılması gerekir [25].

Tüm takım çelikleri arasında yüksek kromlu olanların tutma süresi en fazladır. Ancak, bu çeliklerin tutma süreleri büyük ölçüde sertleştirme sıcaklığına bağlıdır [25].

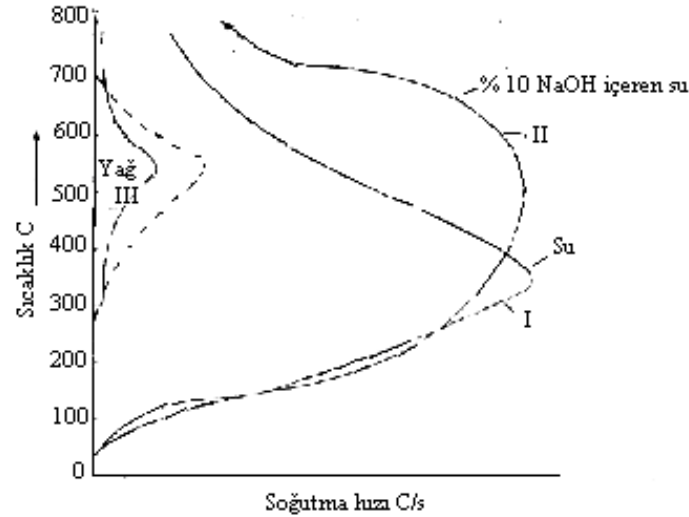
Kısa tutma süresi yetersiz miktarda karbürlerin katı eriyiğe girmesine ve dolayısıyla düşük sertliğe, çok uzun tutma süresi de fazla miktarda kalıntı ostenitin bulunmasına ve buna bağlı olarak düşük sertliğe neden olmaktadır [25].

Optimum tutma süresi için teklif edilen süreler kesit kalınlığının her bir mm için 0,5-0,8 dakika olup, minimum 10 dakika, maksimum 1 saat olarak belirtilmektedir. 0,5 dakika faktörü sertleştirme işleminin, sertleştirme sıcaklık aralığının en üst sınırına yakın bir sıcaklıkta uygulanması, 0,8 faktörü ise en alt sınırına yakın bir sıcaklıkta uygulanması durumunda kullanılır [25].

### 3.4.5. Sertleştirme için ani soğutma işlemi

Ostenit sıcaklığına ısıtılmış çeliğin soğutma hızının büyüklüğü için ölçü, ostenitin perlitte dönüşüm hızıdır. Bu dönüşüm hızı, soğutmanın her anında eşit büyüklükte değildir ve sıcaklık değeriyle ilgilidir. Yüksek karbon miktarında, perlit kademesinde dönüşüm hızı yükselir. Bu hız fazlalığı, karbonu zengin ostenitten, karbonun büyük bir kısmının difüzyon yoluyla ayrılmasıyla gerçekleşir. Perlit kademesindeki dönüşüm hızı, düşen karbon miktarıyla azalırken, ara kademe yapısında artar [16].

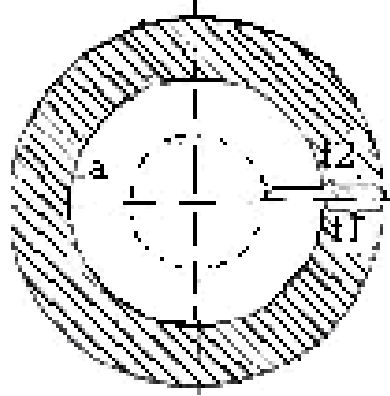
Şekil 3.18'deki, ostenitin perlitte dönüşüm hızını gösteren eğri, yaklaşık olarak 550°C'de maksimuma ulaşmaktadır. 723°C'nin hemen altında, perlit oluşumu oldukça yavaştır. Hız, 723°C'den itibaren artmakta, maksimumdan sonra tekrar azalmakta ve 250°C civarında da hemen hemen sıfır olmaktadır. Orta ve düşük karbonlu çeliklerde 250°C sıcaklığı, martensit dönüşümüne rastlar. 723°C'nin hemen altında ostenitten perlit oluşumu için çekirdek etkisi, yüksek difüzyon hızına karşın pek azdır. Düşen sıcaklıkla birlikte, difüzyon hızının azalmasına karşın, aşırı soğutmadan dolayı çekirdek etkisiyle dönüşüm artar. Yaklaşık 550°C'de, çekirdek etkisi oldukça büyüktür ve difüzyon hızı da yeterlidir. Düşen sıcaklıkla birlikte, çekirdek etkisinin artmasına karşın, difüzyon hızının çok azalmasıyla dönüşüm hızı çok azalır ve yaklaşık olarak 250°C'de sıfır olur [16].



Şekil 3.18. Dönüşüm hızının ve soğutma hızının, sıcaklığa bağlılığı (Noktalı çizgi; alaşımsız çeliklerde perlitin engellenebilmesi için gerekli olan en düşük soğutma hızını belirtmektedir) [16].

Ostenit sıcaklığına kadar ısıtılmış çeliğin ani soğutulmasında, perlit oluşumunun engellenmesi ile martensit oluşumu gerçekleşir. Cidar ve çekirdek arasında büyük mesafe bulunan çeliğin soğutulmasında, soğutucu ortamın soğutucu etkisi yanında, çeliğin ısı iletme kabiliyeti de önemlidir [16].

Şekil 3.19'da, farklı soğutma hızlarında soğutulmuş yuvarlak bir kesitin durumu görülmektedir. Çeliğin su içerisinde soğutulmasında, cidar bölgesinde perlit teşekkülünün engellenmesi için, 550°C'deki maksimum soğutma hızı aşıldığından, perlit oluşmaz. Fakat parçanın çekirdeği için ısı, parçanın cidarından çekildiği için oldukça yavaş soğur. Çekirdekte, perlit oluşumunu engellemeyecek büyüklükte soğutma hızına ulaşamadığı için, perlit oluşur. (Şekil 3.19)'daki a dairesi, şematik olarak su içerisinde ani soğutmada, soğutma hızının perlit oluşum hızına eşit olduğu değere karşılıktır. Taralı cidar bölgesinde martensit yapı meydana gelmiştir [16].



Şekil 3.19. Silindirik bir çelik parçasının sertleştirilmesinde, sertleştirme derinliği [16]

$t_1$ -Suda soğutmada sertleşme derinliği

$t_2$ - % 10 NaOH içeren su içerisinde sertleştirme derinliği

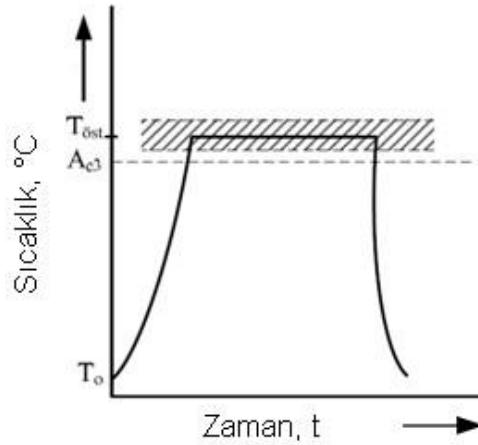
Tam sertleşmenin anlamı parçanın çekirdeğine kadar bir sertlik değerine ulaşmasıdır. Yani sertleşme derinliği, parçanın çekirdeğine kadar devam eder. Tam sertleşmeye ulaşamadığında, geçiş bölgesi (Şekil 3.19)'da görüldüğü gibi kesin değildir, aksine perlitin kısmen engellenmesiyle, martensit ve kısmen de perlitlen oluşur. Bu bölgedeki perlit çok ince lamellidir, normal ışık mikroskopunda büyük büyütülmelerde bile ferrit-sementit yapısı ayırt edilemez, yalnızca dağlama sonrası siyah bir görüntü bulunur [16].

Çelik sertleştirmek amacıyla ani soğutulduğunda yüzey ile çekirdek arasında  $\Delta T$  sıcaklık farkı meydana gelir. Sıcaklık farkı büyük ısı gerilmeler meydana gelmesine sebep olur. Soğutmanın başlangıcında, yüzey hızla soğuduğu için, cidar büzülme isteyecek, fakat henüz sıcak ve genişlemiş olan çekirdek bunu engellemeye çalışacaktır. Cidar bir kılıf gibi çekirdeğe baskı yapar ve böylece elastiklik sınırını aşabilen gerilmeler oluşur. Bu anda, cidarda olan gerilmeler çekme, çekirdekte olan gerilmeler ise basma tarzındadır. Soğutmanın devamında çekirdek de soğuyunca büzülme çalışır, fakat daha önce soğumuş ve çekirdeğe bağlı bulunan cidar bunu engellemeye çalışır. Bu durumda, çekirdekteki basma gerilmeleri ile cidardaki çekme gerilmeleri yön değiştirir. Çeliğin elastik sınırı yeterli büyüklükte ise, gerilmeler fazla bir form ve boyut değişimi meydana getirmez. Ancak, oluşan gerilmeler elastiklik sınırının üzerinde olursa, büyük ölçüde form ve boyut değişimi

meydana gelir. Daha büyük gerilmelerde mikro çatlaklar, çatlama ve kırılmalar meydana gelebilir [16].

### 3.4.5.1. Doğrudan su verme

Doğrudan su verme (Şekil 3.20) orijinal bir sertleştirme yöntemi olarak bilinir ve halen yaygın olarak kullanılır. Bu yöntemde çelik sertleştirme sıcaklığından oda sıcaklığına ya doğrudan su verilerek soğutulur ya da kullanılan soğutma ortamının sıcaklığının çok az üzerindeki bir sıcaklığa kadar soğutulur. Soğutma ortamları olarak su, yağ veya hava kullanılabilir [26].

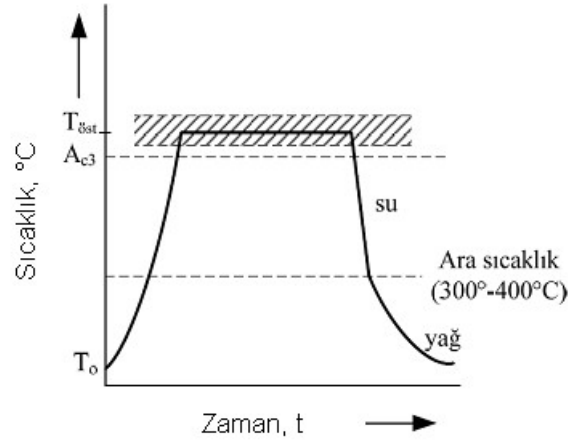


Şekil 3.20. Doğrudan su verme işlemi gösterimi [8]

### 3.4.5.2. Kesikli su verme

Ostenitten 300°-400°C'ye kadar (ara sıcaklığa) suda hızlı soğutulur. Sonra iş ve dış kısımdaki sıcaklık farkının dengelenebilmesi için yağda soğutmaya devam edilir [8].

Şekil 3.20'de doğrudan su verme işlemi şematik olarak gösterilmiştir. Ara sıcaklığın seçimi ve yakalanması deneyim gerektirdiğinden, seyrek uygulanan bir yöntemdir [8].

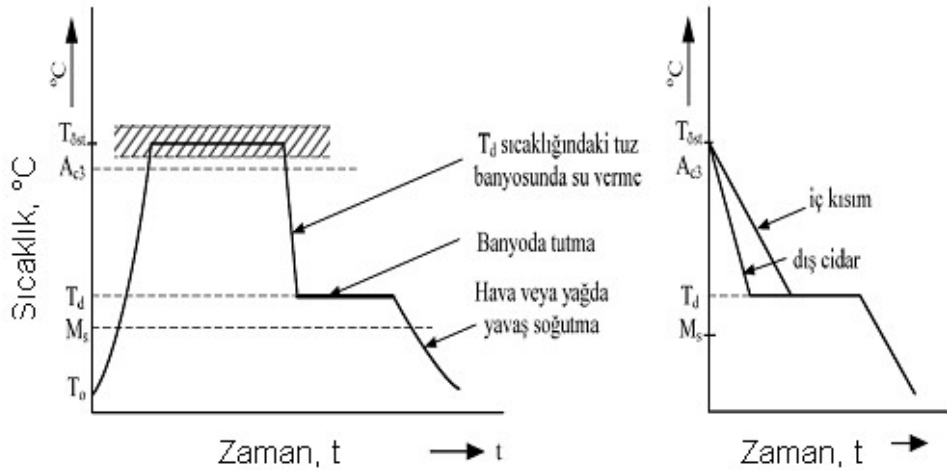


Şekil 3.21. Kesikli su verme işlemi gösterimi [8]

Su verme işlemi sonunda parçanın çatlama tehlikesi, doğrudan su vermeye kıyasla daha azdır [8].

### 3.4.5.3. Duraklı (kademeli) su verme (martemperleme)

Özellikle karmaşık şekilli parçalara su verme esnasında deformasyon ve çatlama riskini azaltmak için parçaların kademeli soğutulması, kademeli soğutulması sonucunda da %100 martenzit yapı oluşur. Martemperleme, martenzit oluşumu başlangıcındaki temperlemedir. Şekil 3.22'de kademeli su verme işlemi gösterilmiştir. Banyoda tutma süresi, beynit oluşumuna imkan vermeyecek şekilde olmalıdır [8].

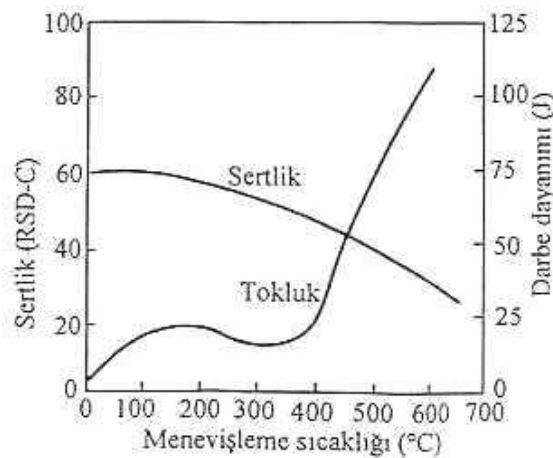


Şekil 3.22. Kademeli su verme işlemi şematik gösterimi [8]

### 3.5. Temperleme

Temperleme, öncelikle sünekliği ve tokluğu arttırmak, fakat aynı zamanda matris tane boyutunu arttırmak için, sertleştirilmiş ve ya normalize olmuş bir çeliğin genellikle alt kritik sıcaklığa ısıtılması ve uygun bir hızla soğutulması işlemine denir. Çelikler belirli mekanik özellikleri elde etmek, sertleştirme sonrası oluşan gerilimlerini azaltmak ve boyutsal kararlılık sağlamak için tekrar ısıtılarak temperleme işlemine maruz bırakılır. Temperleme, su verme sertleştirme takiben yapılan bir işlemdir. Aynı zamanda kaynak işlemi esnasında oluşan sertliğin azaltılması ile birlikte işleme ve şekil verme gibi işlemlerden sonra oluşan gerilimleri gidermek için uygulanır [27].

Temperleme, sertleştirme sonucu elde edilen martenzitin tokluğunu yükselterek çeliği yumuşatır ve bu da çeliğin sünekliğini artırırken sertlik ve mukavemetin düşmesine neden olur (Şekil 3.23) [27]. Mekanik özelliklerdeki bu değişimler, kısmen iç gerilmelerin azalması sonucu ise de, esas değişimler ısıtma esnasında mikro yapıda meydana gelen olayların sonucudur. Bu değişimler temel olarak temperleme sıcaklığına bağlıdır, fakat aynı zamanda karbon ve alaşımlarının miktarı, temperleme sıcaklığında bekleme süresi ve başlangıçtaki yapının karakteri gibi birçok faktör rol oynar. Değişimler genel olarak, temperleme sıcaklığına gelindiğinde daha hızlı, bekleme esnasında ise oldukça yavaş seyreder [16].



Şekil 3.23. 1 saat temperlenmiş C-4140 çeliğinin sertlik ve çentik darbe tokluğunun temperleme sıcaklığına göre değişimi



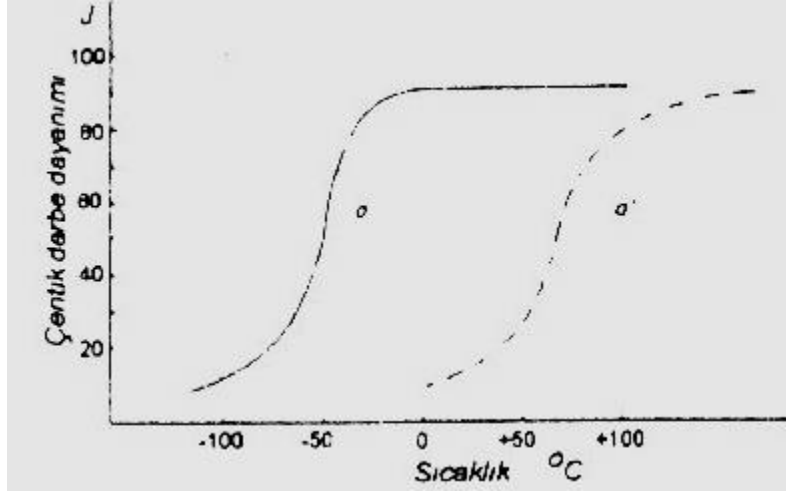
### 3.5.1. Temper kırılmalığı

Temper sıcaklığı 723°C'nin altında olduğundan, temper işleminden yapılan soğutmada yapı dđnüşmesi olmaz, çünkü oluşan yapı soğutma hızına bağlı değildir. Parçalarda büyük kalıcı gerilme oluşmasını önlemek için, yavaş soğutma yapmak daha uygundur. Fakat bazı durumlarda temper sıcaklığından yapılan yavaş soğutmanın, çentik darbe dayanımını ve titreşim dayanımını azalttığı görüldüğünden, suda ani soğutma yapılır. Fakat hızlı soğutulan çeliklerde de, eğer belirli bir sıcaklıkta (örneğin 500 °C) temperleme yapılmışsa, dayanıklılığın azaldığı görülebilir. Temper işleminden sonra yavaş soğutmada ya da belirli bir temper sıcaklığında, dayanıklılığı azalan çeliklere, temperde kırılmalığ çelikler ve bu olaya temper kırılmalığı (gevrekliği) adı verilir [16].

Temper kırılmalığı olan çeliklerde, temper işleminden sonra yavaş soğutmada dayanıklılığın ani düşmesi, pozitif sıcaklıklara kayar ve genellikle oda sıcaklığında son bulur. Alışılmış çentik darbe testleri daha çok oda sıcaklığında yapıldığından, çok düşük dayanım değerleri elde edilir. Bu durumda çelik kırılmalığ artık kırılmalığdır. Çeliğin alaşım durumu, üretim tarzı ve temper koşulları seçiminde, çentik darbe dayanımı geçiş sıcaklığının -40°C'nin altında olması arzu edilir. Çünkü çeliğin kırılmalığı, kışın açık havada kullanımda sorun yaratmaktadır [16].

Bir çeliğin darbe dayanımı belirlenmek istenirse yalnızca oda sıcaklığında yapılan deney yeterli değildir. (şekil 3.24)'de, alaşımsız çeliklerde darbe dayanımının deney sıcaklığına bağımlılığı verilmiştir. (şekil 3.24)'de a eğrisinden, çeliğin çentik darbe dayanımı 0°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda (0 ilâ 150°C) yaklaşık olarak sabittir. Düşük sıcaklıklarda çentik darbe dayanımında ani bir düşme görülmektedir. Yaklaşık -100°C'de, en az değere ulaşmaktadır. Daha düşük sıcaklıklarda, oldukça az bir dayanım mevcuttur ve malzeme kırılmalığdır. Çeliğin bileşimi ve ergime tarzının değiştirilmesi ile eğrinin sağa ya da sola kaydırılması mümkündür, yani darbe geçiş sıcaklığı'nın yeri değiştirilebilir. Temperleme de görülen kırılmalığ, dayanım-sıcaklık eğrisinin paralel bir şekilde yüksek sıcaklıklara kaymasına neden olur. Temperlemeden sonra yavaş soğutmada bu tarzdaki kayma, şekil 3.24'de klasik

çizgilerle a' olarak gösterilmiştir. Buna karşın a eğrisi ise, temperden sonra su içerisinde hızlı soğutmada elde edilmiştir [16].



Şekil 3.24. Meneviş kırılma nedeniyle çentik darbe dayanımının ani düştüğü geçiş sıcaklığının daha yüksek sıcaklıklara kayma durumu [21]

a -Menevişten sonra suda soğutma

a' -Menevişten sonra havada soğutma

Temper kırılma daha çok çeliğin bileşimi ile temper işleminin yapıldığı sıcaklık ya da temperden sonra yapılan soğutmanın hızı ile alakalı bir durumdur. Temper kırılma meydana gelen sıcaklıktan daha yüksek bir sıcaklıkta temperleme yapıldığında, kırılma bölgesinin hızlı soğutma ile geçilmesi yararlı olur [16].

Pratikte, temper kırılmasından sakınmak için şu yollar önerilebilir:

1. Tempere hassas çeliklerde, temper kırılma sahasında temper sıcaklığından sakınılmalı ve gerekli mekanik karakteristiklere diğer yöntemlerle ulaşmaya çalışılmalıdır [16].
2. Tehlikeli sıcaklık bölgesinin civarında, mümkün olduğu kadar kısa bekleme süreleri seçilmelidir [16].
3. Tehlikeli sıcaklık bölgesinin üzerindeki meneviş sıcaklıklarında meneviş uygulandığında, soğutma suda veya yağda hızlı olarak yapılmalıdır [16].

4. Mangan ve mangan-krom alaşımlı çelikler kullanıldığında, ayrıca molibden içerenler tercih edilmektedir. [16] Çünkü molibden temper kırılma hızına karşı etkin bir alaşımdır. Fakat uzun süreli yüksek sıcaklık kullanımı sırasında yararlı olabilmesi için Molibdenin karbid biçimde çökmesini önlemek gerekir [28].

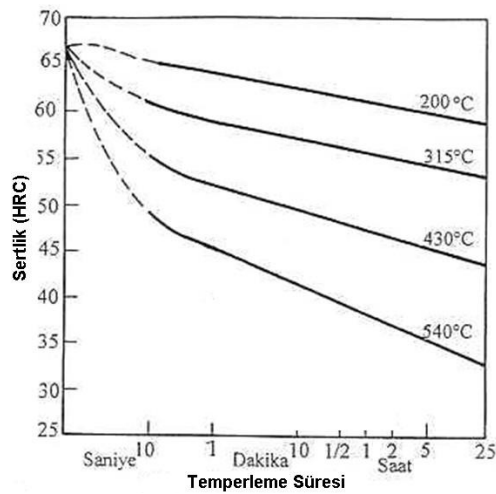
### 3.5.2. Temperleme parametreleri

Temperleme işlemi boyunca çeliğin mikroyapı ve mukavemetini etkileyen parametreler:

- temper süresi
- temper sıcaklığından soğuma hızı
- çeliğin bileşimi
- temper sıcaklığı şeklindedir [27].

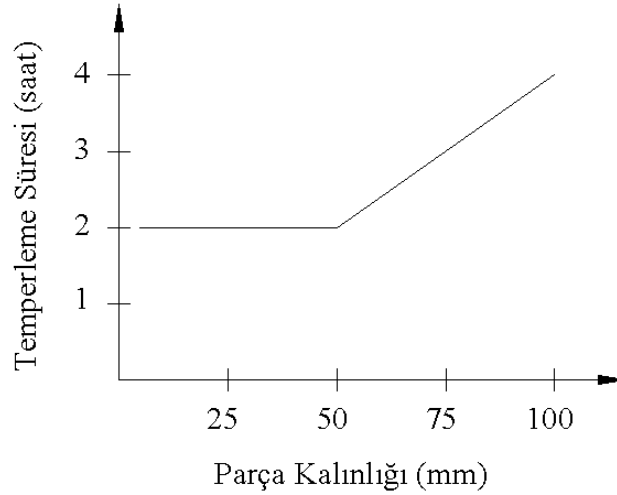
#### 3.5.2.1. Temper süresi

Su verme sonrası temperleme işlemlerinde malzemedeki sertlik düşüşü temper derecesinin ilk dakikasında olmaktadır. Daha sonraki sürelerin sertlik değişimine etkisi çok azdır. Şekil 3.25'de de görüldüğü üzere malzemenin 67 HRC'den 48 HRC'ye düşmesi 10 saniye gibi bir sürede gerçekleşirken 1 saat ile 5 saat arasında ki temperleme sürecinde ancak birkaç HRC sertlik düşüşü gerçekleşmektedir [8].



Şekil 3.25. Su verme sonrası değişik derecelerde temperleme süresi ve sertlik değişimi [8]

Temperleme sıcaklığı için bekleme süresi malzemenin kalınlığına göre değişim gösterir. Şekil 3.26'de de görüleceği gibi 50 mm kalınlığa kadar 2 saatmenevişlemenin yapılması uygun olacaktır. Bu bütün çelikler için geçerlidir [8].



Şekil 3.26. Parça kalınlığı ve temperleme süreleri [8]

### 3.5.2.2. Temper sıcaklığından soğutma hızı

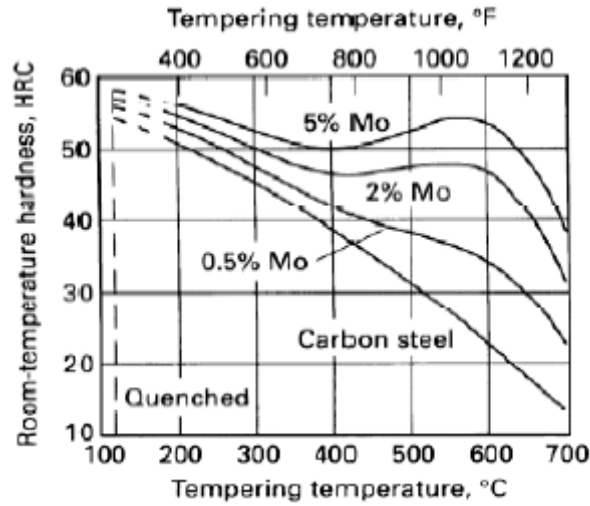
Çeliğin özelliklerini etkileyen bir başka faktörde temper sıcaklığından soğutma hızıdır. Malzemelerin çekme mukavemetleri soğuma hızlarından etkilenmezken, tokluk değerleri eğer çelik 375-575 C sıcaklıkları boyunca yavaş soğutulursa azalır. Bu durum özellikle karbit yapıcı elementler içeren çeliklerde gözlenir [27].

### 3.5.2.3. Çeliğin bileşimi

Çeliğin bileşimindeki alarım elementleri genellikle yumuşama hızını düşürürler; hatta alarım elementleri sertliğin daha yüksek sıcaklıklarda bile korunmasını sağlayabilirler. Temperlenmiş çeliklerin sertliğine nikel, silisyum ve mangan gibi ferritte çözünen elementlerin etkisi daha az olurken, karbür yapıcı olan krom, vanadyum ve molibden (Şekil 3.27) gibi elementlerin etkileri daha çok olur [23].

Kompleks karbür yapıcı krom, tungsten, molibden ve vanadyum yumuşamanın geciktirilmesinde çok daha etkilidir. Bunlar, sadece temperleme sıcaklığını

yükseltmekle kalmazlar aynı zamanda yüksek oranlarda bulunmaları sonucunda çeliklerin temperleme eğrilerinde, temperleme sıcaklığındaki artışa bağlı olarak sertlikte yeni bir artışa da sebep olurlar. Bu karakteristik davranış ikinci sertleşme olarak adlandırılır ve ince alayım karbürlerinin gecikme ile çökmesi sureti ile meydana geldiği düşünülür [23].



Şekil 3.27. Artan temper sıcaklığı ile 0.35% C içeren çelikte mo miktarının sertliğe etkisi [27]

#### 3.5.2.4. Temper sıcaklığı

Temper sıcaklığının yükselmesi ile karbon atomlarının martenzit içerisinde zorlu çözelti halinde buldukları durumdan kurtularak daha kolay difüzyona uğrarlar. 200°C civarında karbon atomları martenzit kafesini terk eder ve ince karbür taneleri halinde bir araya gelir. Temperleme sıcaklığı arttıkça karbonun difüzyonu giderek kolaylaşır. Daha iri karbür taneleri oluşur. 700°C civarındaki bir temperleme sıcaklığı ile iç yapı taneli bir perlit benzer. Karbonun yapı içerisinde ayrışması ile martenzitin sertliği de azalır. Ferrit miktarının artması neticesinde malzemenin uzama kabiliyeti ve sünekliği artar [8].

Bu bağlamda temperleme işlemi sırasında martensitik yapıdaki değişimleri 4 kademede değerlendirmek mümkündür [8].

### I. Kademe (100-200°C)

Bu aşamada martensit, tetragonelliğini kısmen kaybeder. İnce  $\epsilon$  – karbürlerin( $Fe_2C$ ) çökeliş yapıya dağılmasıyla tetragonal martenzit, kafesi daha az gerilmiş kübik martenzite dönüşür. Sertlikte önemli bir düşüş görülmez. Aşırı kafesgerilmeleri giderilerek ile çelik kullanılabilir duruma getirilir [8].

### II. Kademe (200-350°C)

200°C'nin üstünde karbur çözünür ve çok ince sementit ( $Fe_3C$ ) çöker. Martensit tetragonal yapısını tamamen kaybederek bir nevi ferrit oluşur. Temperleme sıcaklığının yükselmesi ile sementitler büyür ve küreselleşir. Sertlik düşer. Yüksek karbonlu çeliklerin mikroyapısında martensitle birlikte bulunan kalıntı ostenit kısmen beyrite dönüşerek malzemenin sertliğinde artışa neden olur. Bu sıcaklık aralığındaki temperleme ile sade karbonlu düşük alaşımlı çeliklerin tokluğunda düşme olur (Temper Gevrekliği). Bu nedenle bu sıcaklıkta temperleme işlemlerinden kaçınılır. Ancak temperlemeye karşı direnci arttıran alaşım elementlerinin ilavesi ile temper gevrekliği azaltılabilir [8].

### III. Kademe (350-540°C)

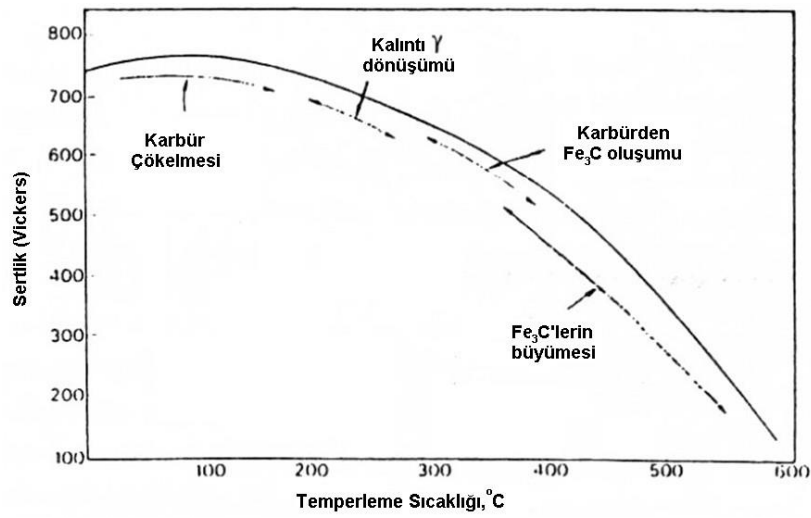
Sementit büyümeye ve küreleşmeye devam eder. Malzemenin sertliği düşerken, tokluğu artar. Tokluk ve mukavemetin optimum kombinasyonu bu aralıkta elde edilir. Yüksek tokluk gerektiren ortamlarda kullanılan sade karbonlu ve düşük alaşımlı yapı çelikleri bu aralıkta temperlenir [8].

### IV. Kademe (540-675°C)

Bu bölgede temperlenen yapıda sertlik değerleri ile çekme ve akma dayanımları düşer, darbe dayanımı artar. Bu sıcaklıklarda yeniden kristalleşme olduğundan yapı yeniden kristalleşen ferrit ve küresel sementit halini alır. Yeniden kristalleşme ile malzeme sınırlarında ve içinde küresel sementit içeren eş eksenli ferrit taneleri oluşur

ve daha sonra bu ferrit taneleri buyur. Bu safhada dislokasyonlar yeniden düzenlenir ve dislokasyon yoğunluğu azalır [8].

Düşük karbonlu çeliklerde yeniden kristalleşme kolay olurken, yüksek karbonlu çeliklerde sementit partiküllerinin yoğunluğu fazla olduğundan, sementitler tane sınırlarında dislokasyon hareketini ve ferrit tane sınırlarını kilitleyerek yeniden kristalleşmeyi zorlaştırır. Şekil 3.28'de temperleme sıcaklıklarının oluşturduğu değişimler görülmektedir [8].



Şekil 3.28. Sade karbonlu otektoid çeliklerde temperleme sıcaklığının fonksiyonu olarak çeliğin sertliği ve içyapısındaki değişikliklerin şematik gösterimi [8]

## BÖLÜM 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 4.1. Giriş

Bu çalışmada, EN10340 standartında belirtilen döküm yolu ile elde edilmiş 18NiMoCr3-6 kalitedeki çeliğin farklı ısıtışem koşullarında kenar ve orta bölgelerindeki, mikro yapı ve mukavemet değişimleri incelenmiştir. Aynı kimyasal bileşime sahip numunelere, farklı ısıtışem parametreleri uygulanmıştır. Parçalara çekme, çentik darbe, sertlik, deneyleri uygulanmış olup mikro yapıları incelenmiştir.

### 4.2. Deneylerde Kullanılan Numuneler

Deneylerde kullanılan numuneler, Şekil 4.1. de gösterilen Akmetal Marka Elektrik Ark Ocağında ergitildikten sonra, daha temiz ve empüritesiz çelik elde etmek amacıyla Şekil 4.2. de gösterilen Akmetal Marka AOD (Argon Oksijen Dekarbürizasyon) konvertörüne alınarak Tablo 4.1 de verilen kimyasal bileşim ile dökülmüştür.



Şekil 4.1. Akmetal marka Elektrik Ark Ocağı (Akmetal)





Şekil 4.2. Akmetal marka AOD Konverteri

Tablo 4.1. EN10340 standartında G18NiMoCr3-6 kalitedeki malzemenin alt-üst limitleri ve deneylerde kullanılan malzemelerin kimyasal bileşimi (% ağırlık)

%	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
<b>Üst Sınır</b>	0,21	0,50	1,20	0,02	0,015	0,90	1,00	0,70
<b>Alt Sınır</b>	0,18	0,35	0,90	-	-	0,40	0,60	0,40
<b>Numuneler</b>	0,20	0,41	1,00	0,016	0,003	0,70	0,79	0,41

Numuneler 4'er li olmak üzere üç derece kullanılarak toplamda 12 adet dökülmüştür. Bunlardan 11 tanesi değişik ısıl işlem parametreleri uygulanarak deneylerde kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan numunelerin döküm sonrası elde edilen görüntüleri Şekil 4.3'de verilmiştir.



Şekil 4.3. Deneylerde kullanılan numunelere ait görüntü

### 4.3. Isıl İşlem Deneyleeri

Deneylee numunelerinin tümü ilk olarak Akmetal Metalurji Endüstriisi A.Ş. firmasındaki Şekil 4.4 de gösterilen Emtav marka doğal gaz fırını kullanılarak 920°C de 6 saatyumuşatma ısıll işleme tabi tutulmuştur.



Şekil 4.4. Akmetal Metalurji Endüstriisi A.Ş. bünyesinde Emtav marka doğal gaz fırını

Dökülen ve yumuşatma ısıll işleme uygulananan numunelerden 1 tanesine (YUM) yumuşatma ısıll işleminde sonra herhangi bir ısıll işleme uygulanmamış olup yumuşatma sonrası mikroyapı ve mukavemet değereeri incelenmiştir.

Aynı şekilde yumuşatma uygulananan diğereer numunelerden 2 adeti su verme ısıll işleme için kullanılmıştır (920°C 4 saat).Su verme ısıll işleminde sonra bu numunelerden 1 tanesi (SU) diğereer de polimer (POL) ortamında soğutulmuş ve ardından herhangi bir ısıll işleme uygulanmayarak su verme ısıll işleme sonrası mikroyapı ve mukavemet değereeri incelenmiştir.Numunelerin sertleştirme ısıll işlemeeri Akmetal Metalurji Endüstriisi A.Ş. firmasındaki Şekil 4.5 de gösterilen Emtav marka elektrik fırını kullanılarak 10 tonluk sulama havuzunda gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.5. Akmetal Metalurji Endüstrisi A.Ş. bünyesindeki Emtav marka Elektrik Fırını

Geriye kalan 8 adet numuneye (SAU1~.SAU8) su verme ısıl işlemi sonrasında temperleme ısıl işlemi uygulanarak, temperleme ısıl işleminin mikroyapı ve mukavemete etkileri incelenmiştir. Numunelerin temperleme ısıl işlemi yine Akmetal Metalurji Endüstrisi A.Ş. firmasındaki Şekil 4.6 da gösterilen labaratuvar fırını kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 4.6. Akmetal Metalurji Endüstrisi A.Ş. bünyesindeki Magma Therm marka labaratuvar fırını

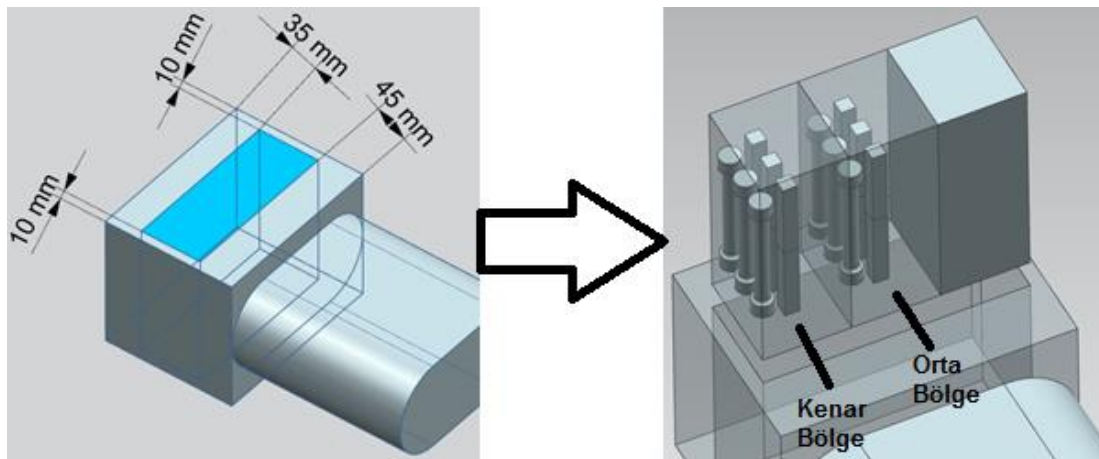
Son olarak Tablo 4.2’de numunelere uygulanan tüm ısıl işlemler bir arada gösterilmektedir.

Tablo 4.2. Numunelere uygulanan ısıl işlem parametreleri

Numune Adı	Yumuşatma Sıcaklığı (°C)	Su Verme Sıcaklığı (°C)	Su Verme Sonrası Soğutma Ortamı	Temperleme Sıcaklığı(°C)	Temperleme Sonrası Soğutma Ortamı
YUM	920	-	-	-	-
SU	920	925	Su	-	-
SAU1	920	925		620	Su
SAU2	920	925		600	
SAU3	920	925		580	
SAU4	920	925		560	
POL	920	925	% 13 Polimer Çözeltisi (Ferroquench 2000)	-	-
SAU5	920	925		620	% 13 Polimer Çözeltisi (Ferroquench 2000)
SAU6	920	925		600	
SAU7	920	925		580	
SAU8	920	925		560	

#### 4.4. Numune Çıkarma İşlemi

Şerit testere kullanılarak Şekil 4.7 de kenar ve orta bölge olarak gösterilen bölgelerden çekme ve çentik darbe deneyi numuneleri kaba olarak çıkartılmıştır. Daha sonra bu numuneler Şekil 4.8 ve Şekil 4.9 belirtilen ölçülerde işlenerek testlere hazır hale getirilmiştir.



Şekil 4.7. Test için kullanılacak numunelerin parça içerisindeki konumları

#### 4.5. Metalografik İncelemeler

Metalografik incelemeler için numuneler sırasıyla 120, 240, 320, 400, 600, 800, 1000 ve 1200'nolu zımparalardan geçirilmiştir. Daha sonra 1  $\mu\text{m}$ 'lik alümina süspansiyonu ile parlatılmıştır. Parlatılan yüzeyler %3'lük nital ile dağlanarak mikro yapıları ortaya çıkarılmıştır. Mikro yapılar, Zeiss marka optik mikroskop ve Jeol Jsm-6060 marka SEM cihazı ile incelenerek fotoğrafları çekilmiştir.

#### 4.6. Sertlik Ölçümleri

Numunelerin optik mikroskop ile fotoğrafları çekildikten hemen sonra numuneler temizlenerek sertlik için tekrardan 1  $\mu\text{m}$ 'lik alümina süspansiyonu ile parlatılmış ve LeicaMarkaSertlik Cihazı ile sertlikleri ölçülmüştür. Her numunenin kenar ve orta bölgesi için ayrı ayrı 6 adet sertlik ölçümü yapılmış ve deney sonucu olarak bu 6 sonucun ortalaması alınmıştır.

#### 4.7. Çekme Deneyleri

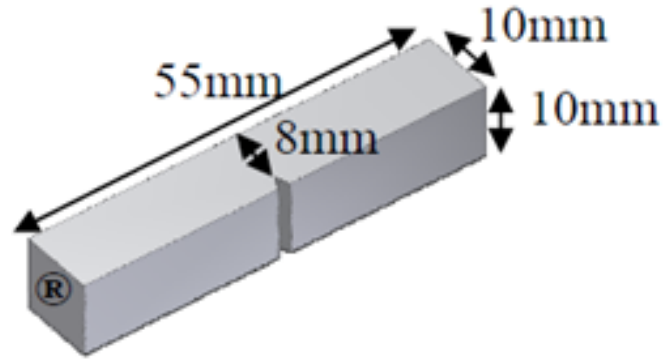
Çekme deneyleri, Akmetal Metalurji Endüstrisi A.Ş. bünyesindeki Alşa marka cihazla yapılmıştır. Her numunenin kenar ve orta bölgesi için ayrı ayrı 3 adet deney numunesi hazırlanmış ve deney sonucu olarak bu 3 numunenin ortalaması alınmıştır. Çekme deneyinde kullanılan numunelerin şekil ve boyutları Şekil 4.8 de gösterildiği gibidir.



Şekil 4.8. Çekme deneyinde kullanılan numunelerin şekil ve boyutları

#### 4.8. Çentik Darbe Deneyleri

Ortasına bir çentik yapılmış ve her iki ucundan desteklenmiş bir deney parçasının, bir sarkaç darbesi ile kırılması sonucu, absorplanan enerjinin ölçülmesi olayına çentik darbe deneyi denir.[23] Çentik darbe deneyleri -20 °C de Akmetal Metalurji Endüstrisi A.Ş. bünyesinde bulunan Alşa marka deney cihazı ile yapılmıştır. Her numunenin kenar ve orta bölgesi için ayrı ayrı 6 adet deney numunesi hazırlanmış ve deney sonucu olarak bu 6 numunenin ortalaması alınmıştır. Çentik darbe deneyinde kullanılan numunelerin şekil ve boyutları Şekil 4.9 de gösterildiği gibidir.



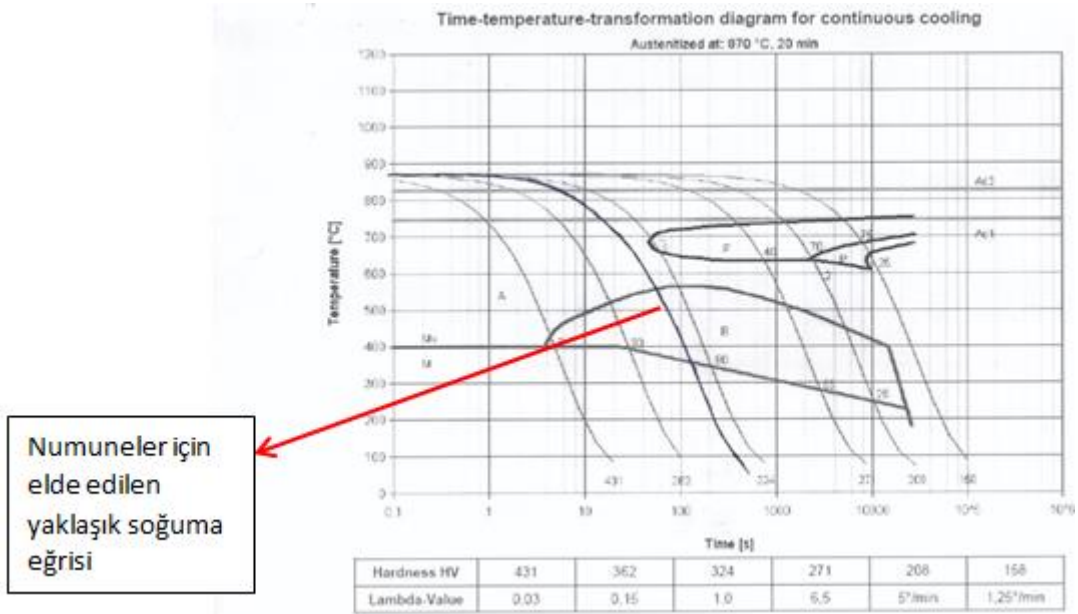
Şekil 4.9. Çentik darbe deneyinde kullanılan numunelerin şekil ve boyutları

## BÖLÜM 5. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

### 5.1. Metalografik İnceleme Sonuçları

#### 5.1.1. Optik mikroskop görüntüleri

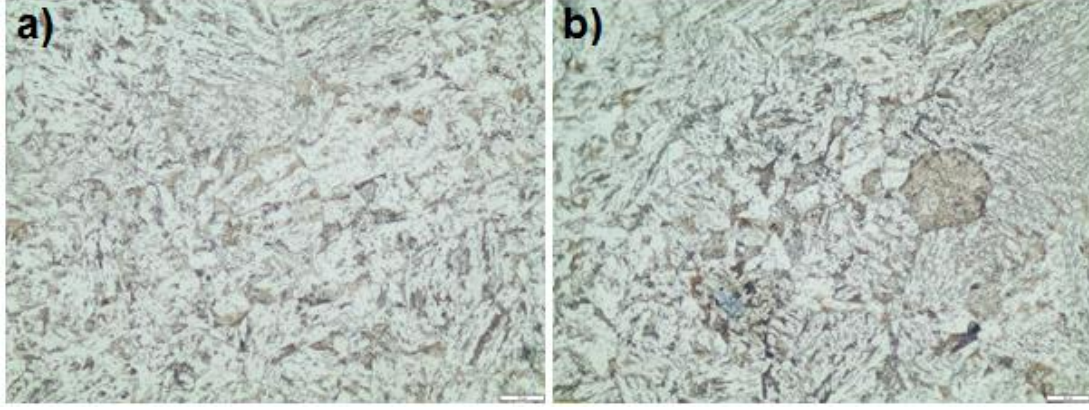
Deneylerde kullanılan farklı ısıl işlem parametreleri uygulanan numunelerin kenar ve orta bölgelerine ait optik mikroskopta çekilen mikro yapıları Şekil 5.2 – 5.12 'de görülmektedir.



Şekil 5.1. G18CrNiMo6-7 kalitedeki malzemenin CCT diyagramı [29]

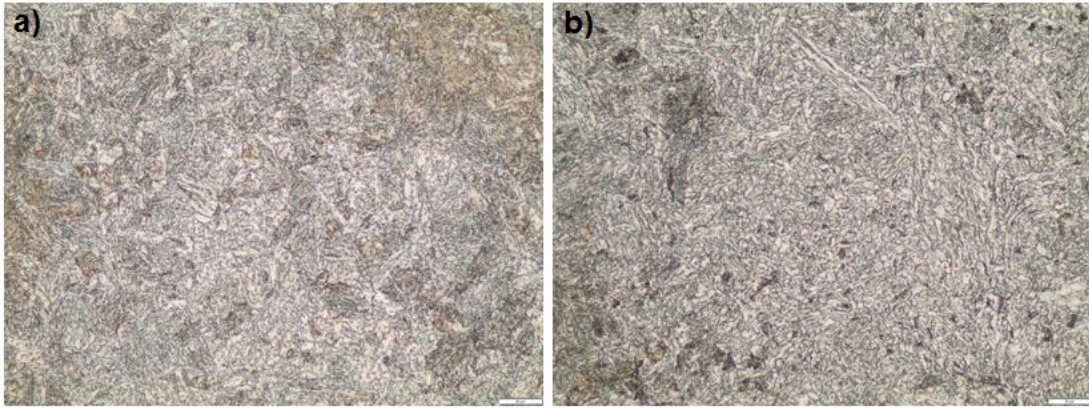
Şekil 5.1'de çalışmamızda kullanılan G18NiMoCr3-6 kalitedeki malzemeye yakın kimyasal bileşimde olan G18CrNiMo6-7(0.17% C, 0.25% Si, 0.50% Mn, 1.65% Cr, 0.30% Mo, 1.55% Ni) malzemeye ait CCT diyagramı verilmiş ve bu sayede yapı içerisinde oluşabilecek fazların tespiti sağlanmıştır. Deneylerimizde uygulanan ısıl

işlem koşulları baz alınarak yaklaşık olarak elde edilen soğuma eğrisi çizildiğinde yapımızda martenzit ve beyrit yapıların oluşacağı görülmektedir.



Şekil 5.2. Yumuşatma ısı işlemi sonrası mikroyapı görüntüleri (YUM) a) Kenar Bölge b) Orta Bölge

Şekil 5.2’de yumuşatma ısı işlemi sonrası kenar ve orta bölgelerden alınan optik mikroskop görüntüleri verilmiştir. Malzeme genel yapısı ferrit ve perlit fazlarından oluşmaktadır. Kenar bölgelerden orta bölgelere gidildikçe ince taneli perlitik yapıların irileştikleri görülmektedir.

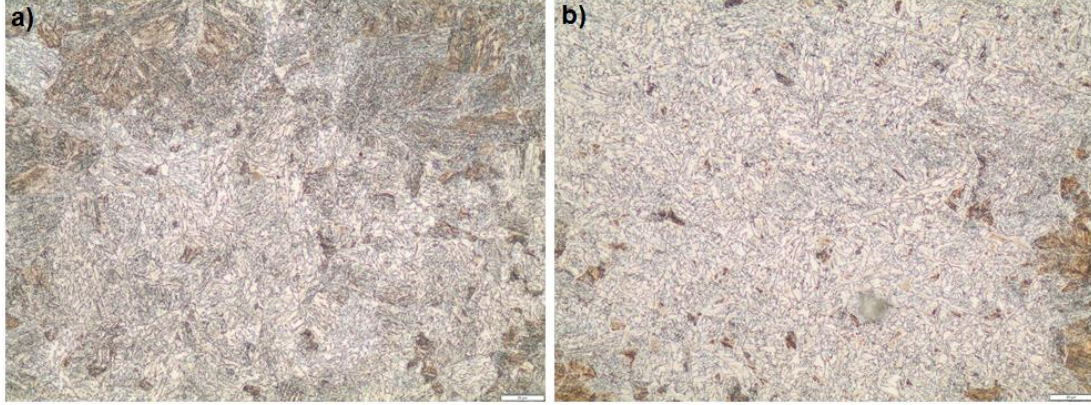


Şekil 5.3. Su verme ısı işlemi sonrası su da soğutmada elde edilen mikroyapı görüntüleri (SU) a) Kenar Bölge, b) Orta Bölge

Şekil 5.3’de su verme ısı işlemi sonrasında su da soğutulan numunelerin kenar ve orta bölgelerinden alınan optik mikroskop görüntüleri verilmiştir. Her iki bölgede de yapı genel olarak martenzitik ve beyritik yapılardan oluşmaktadır. Fakat kenar

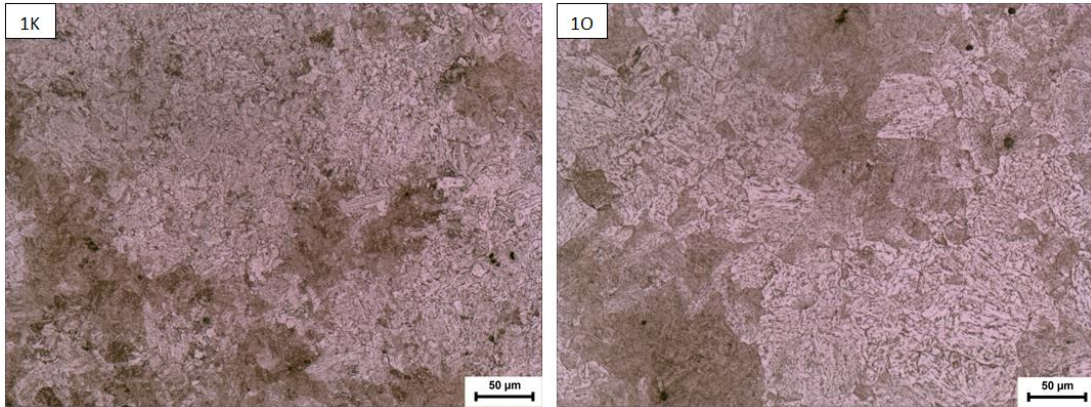


bölgelerden merkeze doğru gidildikçe merkez bölgelerin daha geç soğuması sebebiyle yapıda beynitik yapı hakim olmaktadır.

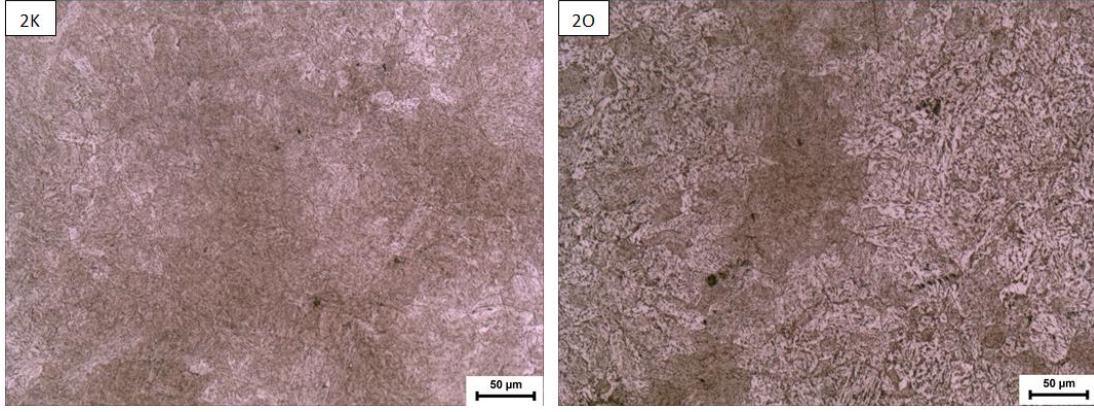


Şekil 5.4. Su verme ısı işlemi sonrası polimerde soğutmada elde edilen mikroyapı görüntüleri (POL) a) Kenar Bölge, b) Orta Bölge

Şekil 5.4’de su verme ısı işlemi sonrasında polimerde soğutulan numunelerin kenar ve orta bölgelerinden alınan optik mikroskop görüntüleri verilmiştir. Su’da soğutulan numuneyle kıyaslandığında daha yavaş soğuma sebebiyle kenar bölgede beynitik yapı daha fazla hakimdir. Merkeze gidildikçe yapı neredeyse tamamıyla beynitik yapı olarak görünmektedir.

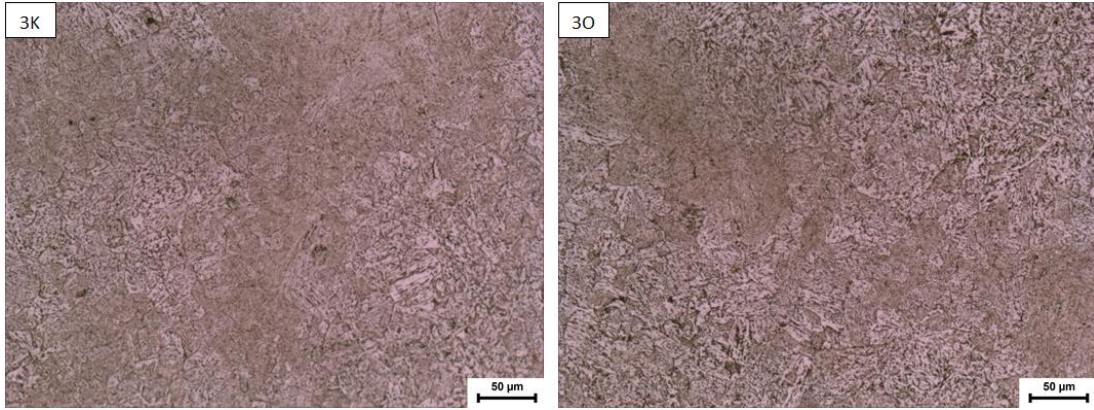


Şekil 5.5. SAU1 isimli numuneye ait kenar ve orta bölgedeki mikroyapı görüntüleri

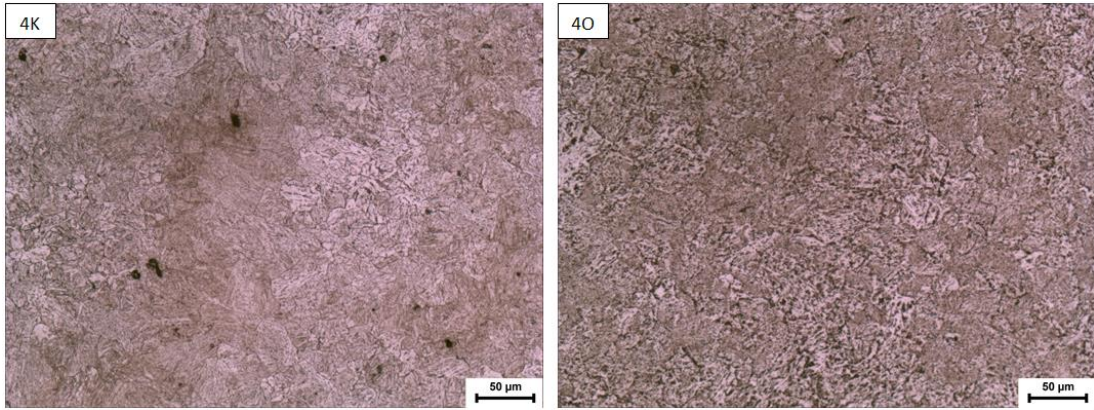


Şekil 5.6. SAU2 isimli numuneye ait kenar ve orta bölgedeki mikroyapı görüntüleri

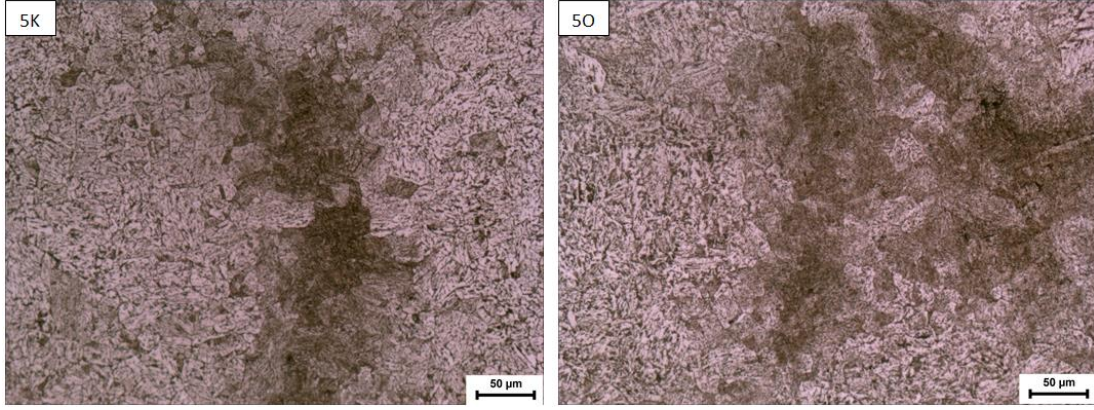
Deneylerde kullanılan numuneler döküm yöntemi ile imal edilmiş numunelerdir. Bu sebeple mikroyapılar içerisinde görünen siyah renkli oluşumlar, dökümden kaynaklanan döküm kusurlarıdır.



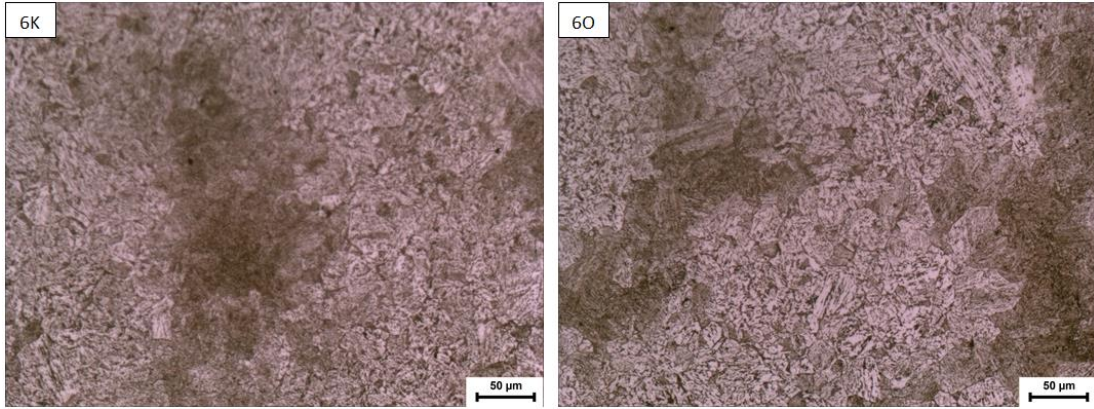
Şekil 5.7. SAU3 isimli numuneye ait kenar ve orta bölgedeki mikroyapı görüntüleri



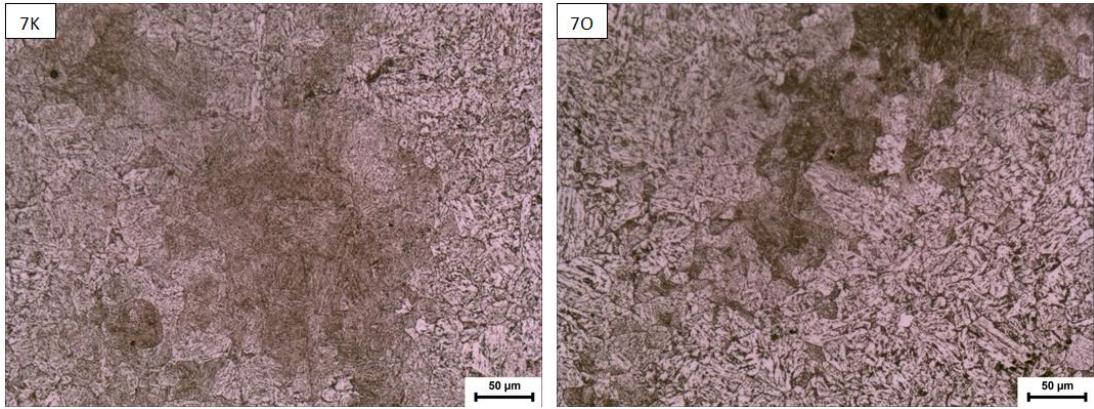
Şekil 5.8. SAU4 isimli numuneye ait kenar ve orta bölgedeki mikroyapı görüntüleri



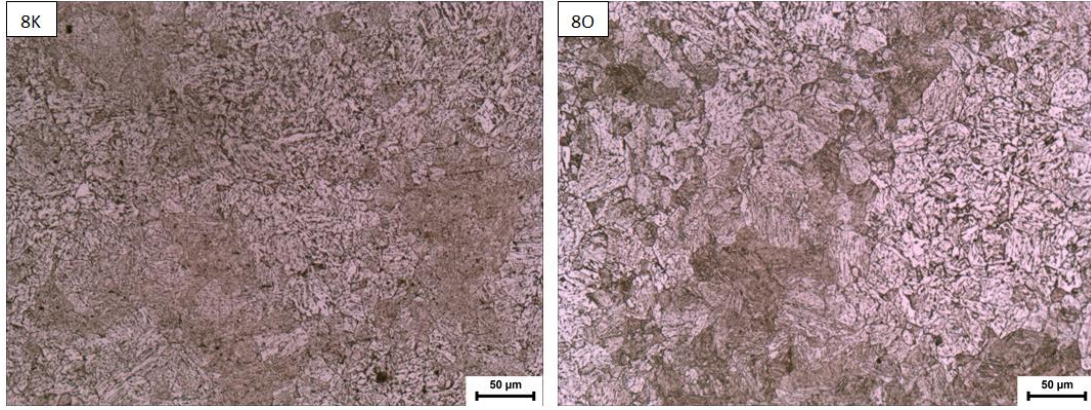
Şekil 5.9. SAU5 isimli numuneye ait kenar ve orta bölgedeki mikroyapı görüntüleri



Şekil 5.10. SAU6 isimli numuneye ait kenar ve orta bölgedeki mikroyapı görüntüleri



Şekil 5.11. SAU7 isimli numuneye ait kenar ve orta bölgedeki mikroyapı görüntüleri



Şekil 5.12. SAU8 isimli numuneye ait kenar ve orta bölgedeki mikroyapı görüntüleri

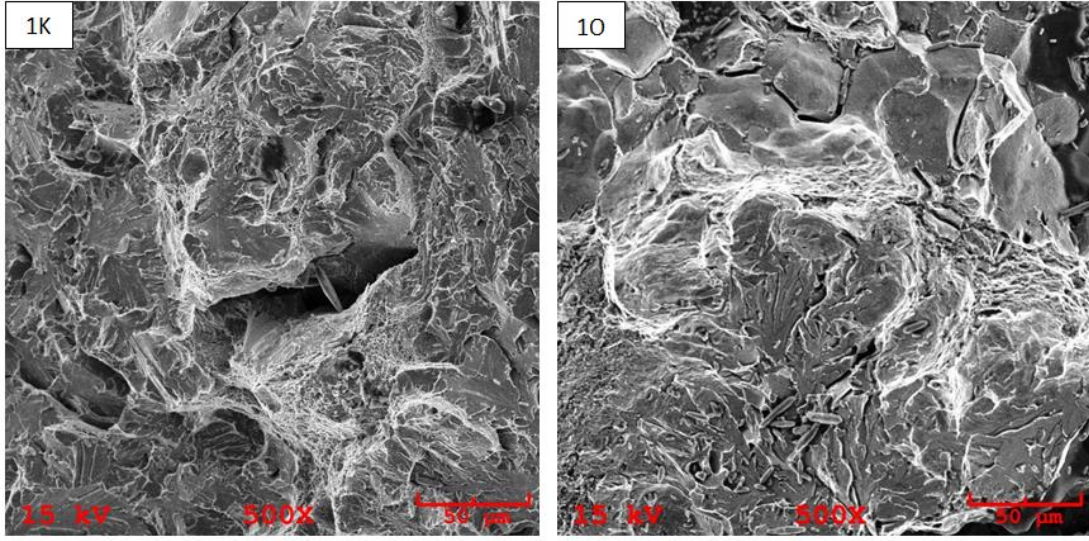
Temperlenmiş numunelerin genel mikro yapıları beynitik ve temperlenmiş martenzitik olup özellikle kenar bölgelerde etkin biçimde görüldüğü gibi, temperleme sıcaklığının artması ile birlikte 560 °C'den 620 °C temper sıcaklığına çıkıldıkça yapı içindeki beynit miktarı artmaktadır.

Temperleme sıcaklığının artması ile mikro yapıda görülen bu farkın temel nedeni, temperleme öncesinde dönüşüm ile oluşan beynitik yapı sabit kalmakla birlikte ilk oluşan martenzit yapı temperleme sıcaklığının yükselmesi ile birlikte özellikle 600 °C sıcaklık değerinin üzerinde temperlemenin 4. kademesine geçerek yapı ferrit ve sementit fazlarına ayrılarak daha tok bir hale gelmekle birlikte beynitik bir görünüm oluşturmaktadır.

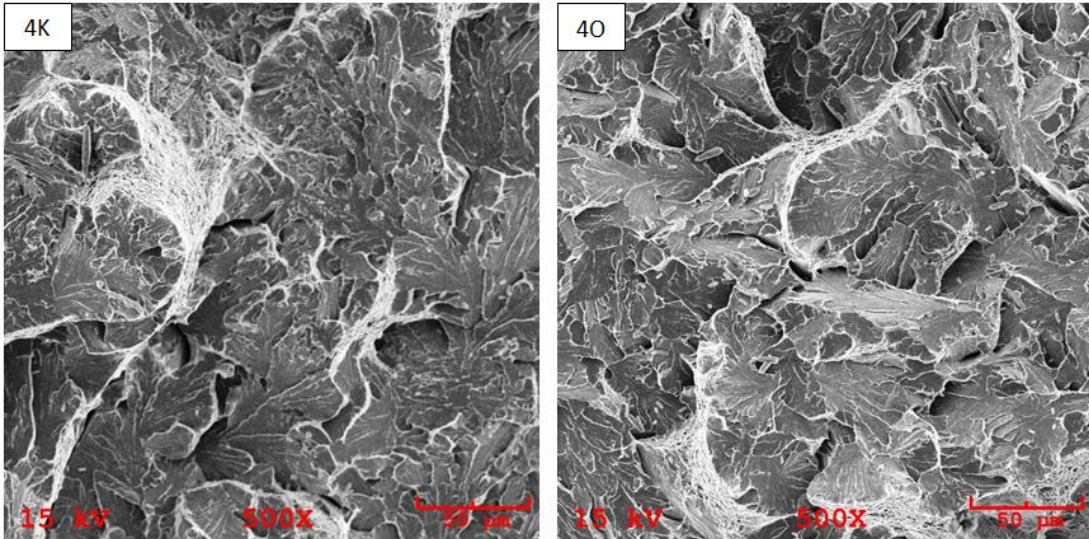
Özellikle orta bölgeden alınan numunelerde açıkça görüldüğü gibi başlangıçta beynit miktarı kenar bölgeye göre daha fazla olduğundan temperleme sıcaklığının artmasına rağmen martenzit fazı yok denecek kadar az olduğu için sıcaklıktan pek fazla etkilenmeyip beynit fazı tüm temperleme sıcaklıklarında büyük hâkimiyet göstermektedir.

### 5.1.2. Kırılma yüzeyi görüntüleri

SAU1 ve SAU4 isimli numunelerden yapılmış olan çentik darbe deneyleri sonucunda elde edilen kırılma yüzeylerine ait Taramalı Elektron Mikroskobu ile çekilen fotoğraflar Şekil 5.13 ve 5.14'de görülmektedir.



Şekil 5.13. Çentik darbe deneyi sonucunda SAU1 isimli numunenin kenar ve orta bölgesine ait kırılma yüzeyi görüntüsü



Şekil 5.14. Çentik darbe deneyi sonucunda SAU4 isimli numunenin kenar ve orta bölgesine ait kırılma yüzeyi görüntüsü

Buradan en sünek kırılmanın oluşan lifli yapıların çokluğu sebebiyle 1K isimli numunede, en gevrek kırılmanın ise daha pürüzsüz ve parlak görüntüsü nedeniyle 40 isimli numunede oluştuğu görülmektedir.

## 5.2. Sertlik Sonuçları

Tablo 5.1, 5.2, 5.3 ve 5.4 de, numunelerin Vickers sertlik değerleri verilmiştir.

Tablo 5.1. Yumuşatma ısı işleminin sonrası kenar ve orta bölge sertlik ölçüm değerleri

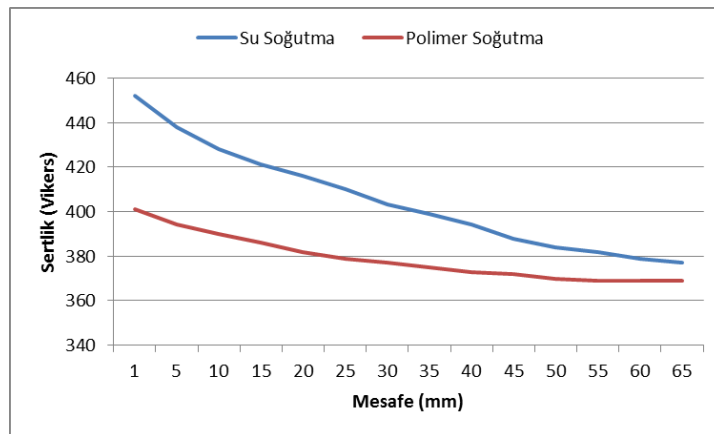
Numune Kodu	1.Ölçüm (HV)	2.Ölçüm (HV)	3.Ölçüm (HV)	4.Ölçüm (HV)	5.Ölçüm (HV)	6.Ölçüm (HV)	Ortalama Sertlik (HV)
YUM Kenar	235	228	241	233	221	225	231
YUM Orta	225	224	231	223	215	222	223

Tablo 5.1’ de yumuşatma sonrası numunenin kenar ve orta bölgesinde alınan sertlik değerleri gösterilmiştir.

Tablo 5.2. Su verme ısı işleminin sonrası su ve polimerde soğutulan numunelerin kenar bölgeden merkeze doğru sertlik değerlerinin değişimi

Numune Kodu	Mesafe (mm)													
	1	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
SU	452	438	428	421	416	410	403	399	394	388	384	382	379	377
POL	401	394	390	386	382	379	377	375	373	372	370	369	369	369

Tablo 5.2’ de su verme ısı işleminin sonrası su ve polimer ortamlarından soğutulan numunelerin kenardan merkeze doğru sertlik değerlerindeki değişimler gösterilmektedir. Su soğutmada elde edilen soğutma hızı, polimerde soğutmada tam olarak elde edilememesine rağmen, polimer ile soğutmada parça yüzeyinde oluşan buhar filmi tabakasının suda soğutma sırasında oluşan buhar filmi tabakasına göre daha ince ve kolay kırılabilen yapıda olması nedeniyle numunenin kenar ve orta bölge arasındaki sertlik farklılıkları su soğutmaya nazaran daha az olarak tespit edilmiştir (Şekil 5.15).



Şekil 5.15. Su verme ısı işleminin sonrası su ve polimer ortamında soğutulan numunelerin kenar kenar bölgeden merkeze doğru sertlik değişim grafiği

Tablo 5.3’de su verme ısıl işlemi sonrasında su da soğutulan numunelerin değişen temper sıcaklıklarıyla kenar ve orta bölgelerinde sertlik değerleri gösterilmiştir. En yüksek sertlik değeri en düşük temper sıcaklığında elde edilmiş ve ortalama olarak kenar ve orta bölgenin sertlik farklılıkları %5 oranında tespit edilmiştir.

Tablo 5.3. Su da soğutulan numunelerin değişen temper sıcaklığıyla kenar ve orta bölgelerindeki sertlik ölçümleri

Numune Kodu	1.Ölçüm (HV)	2.Ölçüm (HV)	3.Ölçüm (HV)	4.Ölçüm (HV)	5.Ölçüm (HV)	6.Ölçüm (HV)	Ortalama Sertlik (HV)
1K	241	234	242	238	241	238	239
1O	228	233	232	228	232	232	231
2K	241	256	258	257	244	253	251
2O	227	238	236	229	235	238	234
3K	263	269	261	264	263	266	264
3O	255	250	256	256	250	255	254
4K	274	283	288	288	278	278	282
4O	268	265	254	265	255	268	262

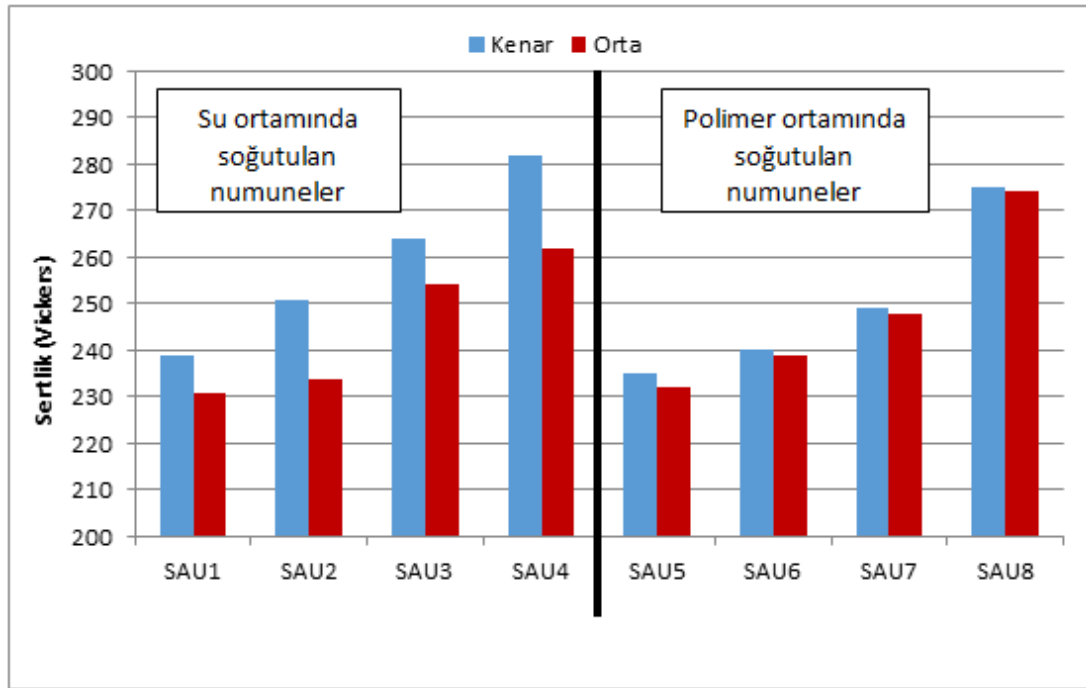
Tablo 5.4’de de aynı şekilde su verme ısıl işlemi sonrasında polimerde soğutulan numunelerin değişen temper sıcaklıklarıyla kenar ve orta bölgelerinde sertlik değerleri gösterilmiştir. Burada da en yüksek sertlik değeri en düşük temper sıcaklığında elde edilirken, ortalama olarak kenar ve orta bölgenin sertlik farklılıkları %1 oranında tespit edilmiştir. Mikroyapılardan da görüleceği üzere bu farklılığın su da soğutulan numunelere nazaran daha az olmasının sebebi polimer soğutmada kenar bölgedeki martenzit oluşumunun su soğutmada göre daha az olmasıdır.

Tablo 5.4. Polimerde soğutulan numunelerin değişen temper sıcaklığıyla kenar ve orta bölgelerindeki sertlik ölçümleri

Numune Kodu	1.Ölçüm (HV)	2.Ölçüm (HV)	3.Ölçüm (HV)	4.Ölçüm (HV)	5.Ölçüm (HV)	6.Ölçüm (HV)	Ortalama Sertlik (HV)
5K	238	235	230	238	231	235	235
5O	230	235	232	235	231	231	232
6K	241	244	235	240	241	240	240
6O	241	234	243	236	240	242	239
7K	257	243	247	246	244	257	249
7O	248	249	248	249	249	248	248
8K	277	277	272	274	275	276	275
8O	266	275	280	281	271	269	274

Tablo5.3 ve 5.4'den de görüleceği üzere artan temper sıcaklığı ile birlikte su verme ısıl işlemi sonucu oluşan gerginlik azalmakta ve dolayısıyla da sertlik değerleri düşmektedir.

Sekil 5.16 de her iki soğutma ortamı için merdiven basamağı gibi artarak değişen grafikte bu durum açıkça görülmektedir.



Şekil 5.16. Su ve polimer ortamında soğutulan numunelerin değişen temper sıcaklığıyla kenar ve orta bölgelerindeki sertlik değişimleri

### 5.3. Çekme Deneyi Sonuçları

Çekme deneyleri sonunda akma, çekme ve kopma mukavemeti değerleri ile % uzama değerlerini gösteren veriler, Tablo 5.5 ' de verilmiştir.



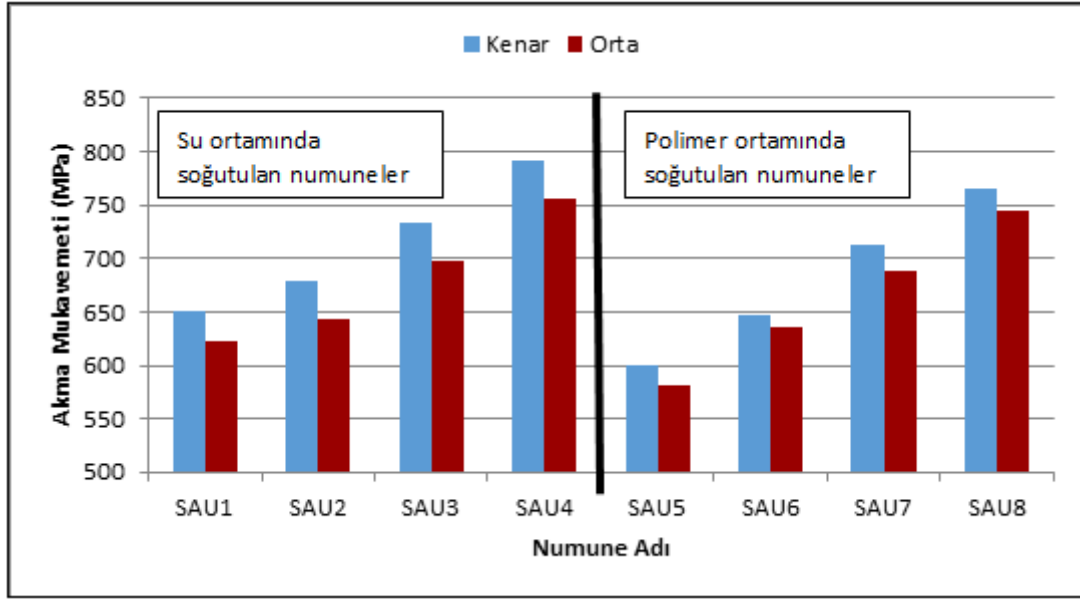
Tablo 5.5. Çekme Deneyi Sonuçları

Numune Adı	Numune Bölgesi	Temper Sıcaklığı °C	Akma Mukavemeti (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Uzama Miktarı (%)
YUM	Kenar	-	793,8	882,6	5,4
	Orta		759,4	858,9	4,8
SU	Kenar Bölge	-	921,3	1144,3	6,3
	Orta Bölge		853,6	1041,6	5,2
SAU1	Kenar Bölge	620	650,0	767,9	17,3
	Orta Bölge		622,9	736,7	16,0
SAU2	Kenar Bölge	600	678,7	784,3	15,8
	Orta Bölge		643,6	751,6	13,6
SAU3	Kenar Bölge	580	734,2	842,5	14,7
	Orta Bölge		697,6	807,0	11,8
SAU4	Kenar Bölge	560	790,9	887,5	13,1
	Orta Bölge		755,6	850,1	10,9
POL	Kenar Bölge	-	883,6	1057,3	7,9
	Orta Bölge		841,3	1011,3	6,2
SAU5	Kenar Bölge	620	599,3	715,6	18,0
	Orta Bölge		581,9	705,1	16,3
SAU6	Kenar Bölge	600	646,5	757,9	16,2
	Orta Bölge		635,5	746,7	13,9
SAU7	Kenar Bölge	580	713,4	817,1	14,9
	Orta Bölge		688,7	795,0	12,3
SAU8	Kenar Bölge	560	765,7	861,0	13,7
	Orta Bölge		745,2	836,4	11,1

Tablo 5.5'e bakıldığında yumuşatma sonrası, su soğutma sonrası ve polimer soğutma sonrasında malzemeler oldukça az boy vererek kopmuştur. Buna istinaden artan temper sıcaklığıyla su verme ısıl işlemi sonucunda elde edilen gerilimleri azalması ile malzemeler daha fazla boy vererek kopmuşlardır (Şekil 5.19). Bu yüzden de her iki soğutma ortamı içinde elde edilen en yüksek uzama değerleri yüksek sıcaklıkta temperlenen numunelerde elde edilmiştir.

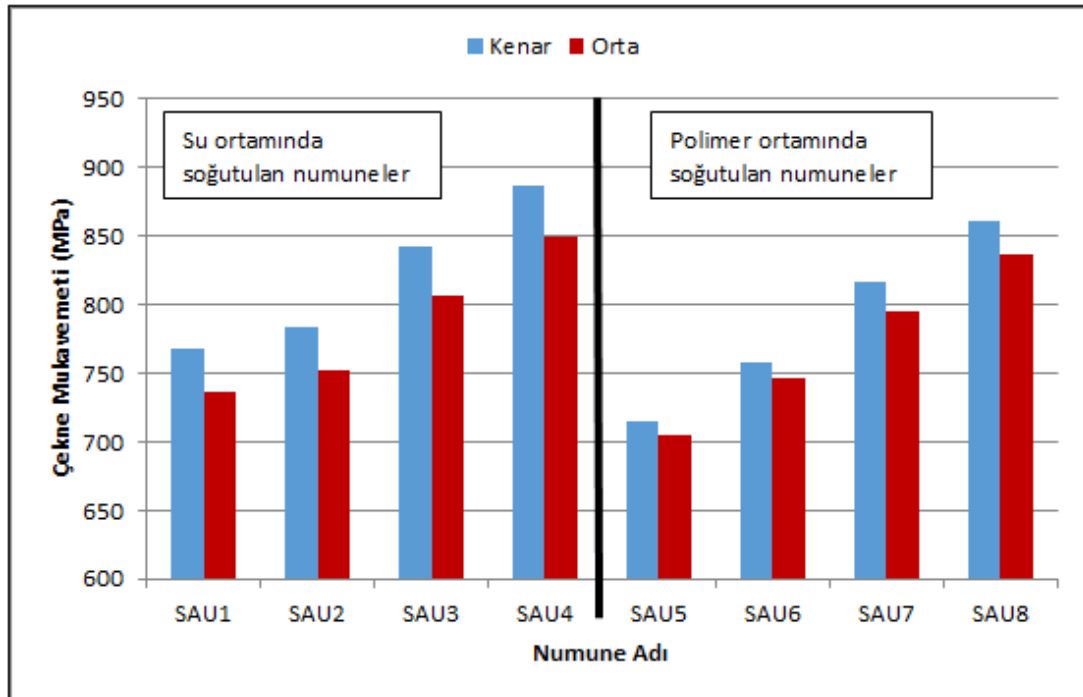
Ayrıca su ortamında elde edilen mukavemet değerleri aynı sıcaklıktaki polimerde soğutulan numunelerin mukavemet değerlerinden daha yüksek gelirken (Şekil 5.17 ve Şekil 5.18) uzama miktarları daha düşük gelmiştir.

Şekil 5.17 da çekme deneyi sonucunda elde edilen akma mukavemeti değerleri gösterilmektedir.



Şekil 5.17. Akma Mukavemeti sonuçları

Şekil 5.17’de çekme deneyi sonucunda elde edilen çekme mukavemeti değerleri gösterilmektedir.



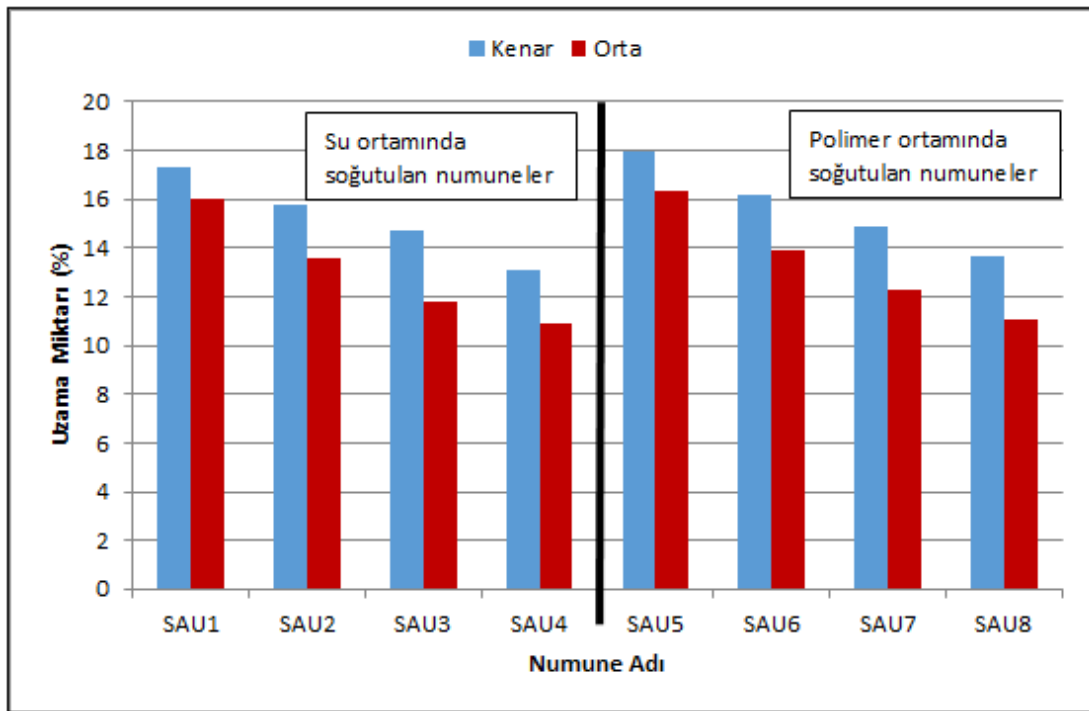
Şekil 5.18. Çekme mukavemeti sonuçları

Aynı şekilde sertlik sonuçlarından da görüldüğü üzere su da soğutulan numunelerin kenar ve orta bölgelerindeki akma ve çekme sonuçları ortalamaları alındıklarında sırasıyla %5 ve %4 farklılık gösterirken, polimerde soğutulan numunelerde %3 ve

%2 farklılık göstermiştir. Bu da polimer soğutma ile daha homojen bir yapı elde edildiğini göstermektedir.

Sertlik sonuçlarında da belirtildiği üzere Akma ve Çekme mukavemetleri su da soğutulan numunelerle kıyaslandığında polimer soğutma da her iki bölgede bey nitik yapı hakim olduğu için kenardan merkeze doğru daha homojen bir yapı sağlanmış ve sonuçlar birbirine daha yakın gelmiştir.

Şekil 5.19 da çekme deneyi sonucunda elde edilen % uzama değerleri gösterilmektedir.



Şekil 5.19. % Uzama sonuçları

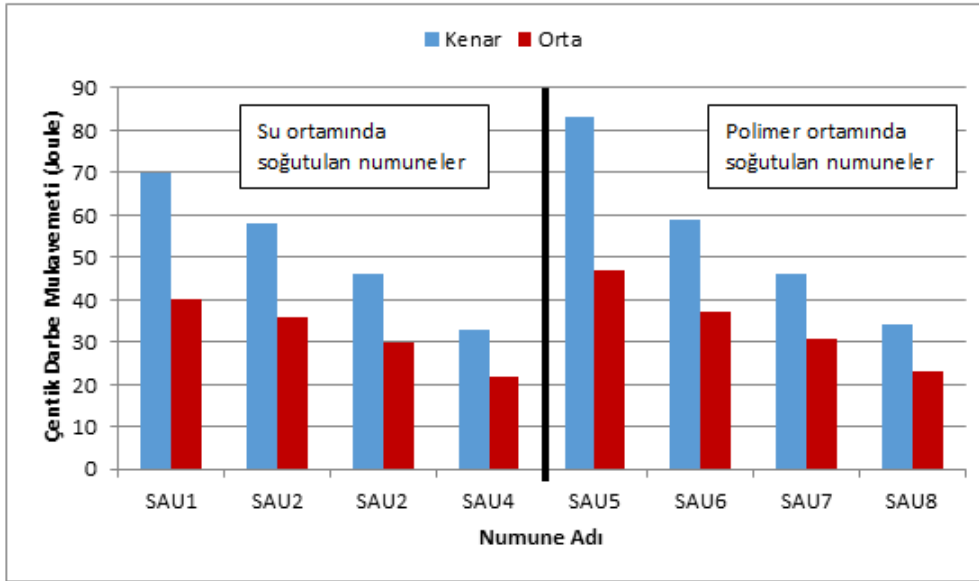
#### 5.4. Çentik Darbe Sonuçları

Çentik darbe deneyi sonucunda her ısıl işlem kosulu için elde edilen ortalama kopma enerjisi Tablo 5.6.' da gösterilmiştir.

Tablo 5.6. Çentik Darbe deneyi sonuçları

Numune Kodu	1.Deney (Joule)	2.Deney (Joule)	3.Deney (Joule)	4.Deney (Joule)	5.Deney (Joule)	6.Deney (Joule)	Ortalama (Joule)
YUM Kenar	4	7	9	8	7	6	7
YUM Orta	4	5	5	6	6	6	5
SU Kenar	10	9	8	8	7	8	9
SU Orta	6	7	5	5	6	4	6
1K	68	64	90	54	56	90	70
1O	36	41	55	27	39	42	40
2K	56	64	66	48	64	52	58
2O	29	49	38	34	28	38	36
3K	41	42	62	34	52	42	46
3O	18	41	35	12	43	33	30
4K	32	36	38	31	32	30	33
4O	34	22	15	28	18	14	22
POL Kenar	12	13	10	12	9	12	11
POL Orta	8	8	7	8	7	7	8
5K	115	86	59	102	61	75	83
5O	25	49	65	22	60	58	47
6K	72	55	46	80	54	48	59
6O	36	48	22	41	48	28	37
7K	64	42	34	40	46	50	46
7O	22	36	34	18	34	44	31
8K	34	36	31	35	34	36	34
8O	28	18	27	14	23	30	23

Çentik darbe deneyi sonuçları karşılaştırıldığında su verme işlemi sonrasında temperlenen numuneler arasında düşük sıcaklıkta temperlenen su verilmiş numunenin orta bölgesi en düşük gelirken, yüksek sıcaklıkta temperlenen ve polimerde soğutulan numunenin kenar bölgesi en yüksek gelmiştir (Şekil 5.20).



Şekil 5.20. Çentik Darbe deneyinin sonuçlarının grafiksel gösterimi

### 5.5. Mekanik Test Sonuçlarının Firma Şartnameleri İle Karşılaştırılması

Çalışma sonucunda bu malzemeyi kullanan firmaların şartnamesine uygun mekanik sonuçların elde edilmesi amaçlanmıştır. Bu yüzden firma şartnamelerine göre istenen minimum değerler ve kenar ile orta bölgelerde elde edilen sonuçlar Şekil 5.21 de gösterilmiştir.

Tablo 5.7. Deney sonuçlarının firma şartnameleri ile karşılaştırılması

Deney	KENAR BÖLGE					ORTA BÖLGE				
	Akma Muk. (Mpa)	Çekme Muk. (Mpa)	Uzama Miktarı (%)	Çentik Darbe Day. (J)	Sertlik (HV)	Akma Muk. (Mpa)	Çekme Muk. (Mpa)	Uzama Miktarı (%)	Çentik Darbe Day. (J)	Sertlik (HV)
İstenen Min. Değerler	650	800	12	33	225	650	800	12	33	225
SAU1	650,0	767,9	17,3	70,3	238,8	622,9	736,7	16,0	40,0	230,8
SAU2	678,7	784,3	15,8	58,3	251,4	643,6	751,6	13,6	36,0	234
SAU3	734,2	842,5	14,7	45,5	264,1	697,6	807,0	11,8	30,3	253,5
SAU4	790,9	887,5	13,1	33,2	281,7	755,6	850,1	10,9	21,8	262,5
SAU5	599,3	715,6	18,0	83,0	234,6	581,9	705,1	16,3	46,5	232,2
SAU6	646,5	757,9	16,2	59,2	240,1	635,5	746,7	13,9	37,2	239,3
SAU7	713,4	817,1	14,9	46,0	249,1	688,7	795,0	12,3	31,3	248,4
SAU8	765,7	861,0	13,7	34,3	275,1	745,2	836,4	11,1	23,3	273,5

Tablo 5.7’de turuncu ile gösterilen sonuçlar istenilen değerleri sağlayamayan değerleri göstermektedir. Tablodan da anlaşılacağı üzere yapılan tüm deneylerin sonucunda 150 mm et kalınlığındaki bu numuneler için orta bölgelerde hiçbir koşulda istenilen değerler sağlanamamaktadır. Fakat her iki soğutma ortamında da 560 C ve 580 C de yapılan temperleme işlemiyle kenar bölgelerde istenen tüm değerler sağlanırken orta bölgelerde düşük tokluk sebebiyle uzama ve çentik darbe mukavemeti istenilen değerleri sağlayamamaktadır.

Yüksek mukavemet ve tokluk gerektiren yerlerde çalışan bu döküm malzemenin 150 mm et kalınlığında istenen mekanik mukavemet değerlerinin sağlanabilmesi için optimum çalışma koşullarının tespiti gerekmektedir.

## BÖLÜM 6. GENEL SONUÇLAR

G18NiMoCr3-6 kalitedeki dökümler ile yapılan ve farklı ısı işlem parametreleri uygulan numunelere yapılan deneysel çalışmalar sonucunda aşağıda özetlenen sonuçlara ulaşılmıştır;

- Yumuşatma ısı işlemi uygulanan numunelere su verme işlemi uygulandıktan genel yapı ferrit+perlitten martenzitik ve beynitik yapıya dönüşmüştür. Bu da sertlik ve mukavemet değerlerinin artmasına sebep olmuştur.
- Su verme ısı işlemi sonucunda polimerde soğutulan numunelerin suda soğutulan numunelere nazaran oluşan yavaş soğuma nedeniyle daha homojen bir mukavemet oluşturduğu gözlenmiştir. Fakat polimer soğumadaki yavaş soğuma nedeniyle malzeme yapısındaki beynitik görünümün artması ile malzeme mukavemeti etkilenmiş ve suda soğutulan numunelere nazaran daha düşük gelmiştir.
- Artan temperleme sıcaklığı ile malzeme yapısındaki gerginlikler azalmış ve martenzit yapısının parçalanarak beynitik bir görüntü oluşturmasına sebep vermiştir. Bu da artan temper sıcaklığı ile malzeme mukavemetini ve sertliğini azaltırken, tokluğunu arttırmıştır.
- Tüm ısı işlem parametrelerinde kenar bölgelerin mukavemet değerlerinin orta bölgelere göre daha yüksek olmasının sebebi kenar bölgelerin orta bölgelere nazaran daha hızlı soğumasıdır. Fakat polimer soğutma da kenar ve orta bölgelerin mukavemet değerleri su soğutmaya nazaran daha fazla yakın ve homojen olarak tespit edilmiştir.

- Optimum çalışma koşulları olarak su verme işleminden sonra su da soğutulan ve 580 °C'de temperlenen numunenin olduğu belirlenmiş ve bundan sonraki uygulamalarda bu ısı işlem parametreleriyle devam edilmesine karar verilmiştir.



## KAYNAKLAR

- [1] ALTUNTAŞ, Ö., Yüksek Karbonlu Toz Metal Çeliklerin Mikroyapı Ve Darbe Tokluğu Özelliklerine Küreselleştirme Isıl İşlemleri Etkilerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [2] TURGUT, O. K., Ç 1040 Çeliklerinde Isıl İşlem Ve Kaynağın Mekanik Özelliklerine Olan Etkilerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [3] AKMAN, E., Dünya’da Ve Türkiye’de Demir Çelik Sektörü Ve Türk Demir Çelik Sektörünün Rekabet Gücü, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- [4] ÇAKIR, M., Su Verme Isıl İşleminde Çelik-Ortam Arasındaki Isı Transferinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [5] KÖKSAL, N. S., UZKUT, M., ÜNLÜ, B. S., Farklı Karbon İçerikli Çeliklerin Mekanik Özelliklerinin Isıl İşlemlerle Değişimi, DEU Mühendislik Fakültesi Dergisi, Cilt: 6 Sayı: 2 s. 95-100 Mayıs 2004.
- [6] KÖSE, S., AISI/SAE 1040 – 2738 – 304 Çeliklerinin Sertleşme Kabiliyetlerinin Jominy Deneyi İle Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [7] ERSİN, R. C., Isı Girdisinin ve Kaynak Sonrası Gerilim Giderme İşleminin Mekanik Özelliklere Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [8] KESTİ, E., Ç-4140 Çeliğinin, Mikro Yapı Ve Mekanik Özelliklerine Su Verme Ortamının Etkilerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [9] SALEMİ, A., ABDOLLAH-ZADEH, A., The Effect of Tempering Temperature on The Mechanical properties and Fracture Morphology of a NiCrMoV Steel, Materials Characterization, Vol. 59, Page 484-487, 2008.
- [10] TOTTEN, G. E., Steel Heat Treatment, Second Edition, Oregon, 2006.

- [11] DİKMEN, S., AISI 4140 AISI 1050 ve AISI 8620 Çelikleri İçin Soğutma Ortamının Aşınma Davranışı Üzerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalı.
- [12] SONG, S. H., FAULKNER, R.G., FLEWIT, P. E. J., Quenching And Tempering-Induced Molybdenum Segregation to Grain Boundaries in a 2.25Cr-1Mo Steel, *Materials Science and Engineering*, A281, 23-27, 2000.
- [13] MEJIA, I., SALAS-REYES, A. E., BEDOLLA-JECUINDE, A., CALVO, J., CEBRERA, J. M., Effect and Mo on The Hot Ductility Behavior of a High-Manganese Austenitic Fe-21Mn-1.3Al-1.5Si-0.5C TWIP Steel, *Materials Science&EngineeringA*, 616, 229-239, 2014.
- [14] VARDAVOULIAS, M., PAPADIMITRIOU, G., Effect of Ni Addition on The Fracture Behaviour of a Cast Ferritic Stainless Steel, *Materials Letters*, 27, 349-353, 1996.
- [15] ERDEM, S., Yüksek Karbon İçeriğine Sahip, Yüksek Kromlu, Manganlı ve Alaşımız Düşük Karbonlu Çeliklerin Aşınma Davranışlarının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [16] TOPBAŞ, M. A., Çelik ve Isıl İşlem El Kitabı, İstanbul, 1998.
- [17] RAHHİT, A.K., Heat Treatment of Gears: A Practical Guide for Engineers, ASM International, 2000.
- [18] LISTIC, B., TENSI, H. M., CANALE, L. C. F., TOTTEN, G. E., Quenching Theory and Technology, Second Edition, CRC Press 2010.
- [19] AL, A., KILIÇ, S., Östenitik Çeliğin Soğutulmasındaki Yapı Dönüşümleri, Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü.
- [20] SERFİÇELİ, Y. S., Malzeme Bilgisi, Ankara, 2000.
- [21] HARMAN, F. M., Çeliğin Isıl İşleminin Teorik ve Pratik Esasları, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [22] ERDOĞAN, M., Mühendislik Alaşımlarının Yapı ve Özellikleri, 1. Cilt, Ankara, 2000.
- [23] GÜLGEN, İ. S., İş Makineleri Tırnakları Üretiminde Kullanılan Az Alaşımli Çeliklerin Isıl İşlemi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [24] ÇAVDAR, B., Alaşımli Çeliklerin Sertleşebilme Kabiliyetinin Saptanması, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

- [25] ULU, S., Karbonlu ve Düşük Alaşımli Çeliklerin Temel Özelliklerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [26] TEKİN, A., Çelik ve Isıl İşlemi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul 1984
- [27] GÜNERLİ, E., Effect of Tempering Temperature on The Mechanical Properties of Hardened 1.2842 Tool Steel, MSc Thesis, Çukurova University Institute of Natural and Applied Sciences.
- [28] BAYRAKTAR, E., Temperleme Sürecinde Oluşan Kırılganlık Problemi, Makine ve Mühendis, Cilt:30, Sayı:351, Sayfa:5-7, Nisan 1989.
- [29] [www.steeldata.info](http://www.steeldata.info), Erişim Tarihi: 08.12.2014  
Müşteri Teknik Şartnamesi  
Türk Standartları Enstitüsü, EN10340 ve EN10002-1 Standartları

## ÖZGEÇMİŞ

Uğur Gürol, 16.08.1989 de İstanbul' da doğdu. İlköğretimini İstanbul'da tamamladı. 2003 yılında İstek Acıbadem Fen Lisesi'nden mezun oldu. 2007 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümünü 1 yıllık hazırlık dönemiyle beraber 2012 yılında bitirdi. 2009-2010 yılları arasında Technical University of Cluj-Napoca üniversitesinde erasmus öğrenimi gördü. Temmuz 2012'den beri Akmetal Metalurji Endüstrisi A.Ş.'de Kalite Kontrol Mühendisi olarak görev yapmaktadır. İyi derece İngilizce ve başlangıç seviyesinde Rumence bilmektedir.