

**ÇELİKLERİN SU VERME DERİNLİĞİNE TANE
BOYUTUNUN ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mesut GÖK

**DANIŞMAN
Prof. Dr. Galip SAİD**

METAL EĞİTİMİ ANA BİLİM DALI

HAZİRAN 2010

**AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ÇELİKLERİN SU VERME DERİNLİĞİNE TANE BOYUTUNUN
ETKİSİ**

MESUT GÖK

**DANIŞMAN
PROF.DR. GALİP SAİD**

METAL EĞİTİMİ ANA BİLİM DALI

HAZİRAN 2010

ONAY SAYFASI

Prof. Dr. Galip SAİD danışmanlığında,
Mesut GÖK tarafından hazırlanan

ÇELİKLERİN SU VERME DERİNLİĞİNE TANE BOYUTUNUN ETKİSİ

başlıklı bu çalışma lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca

28/06/2010

tarihinde aşağıdaki jüri tarafından

Metal Eğitimi Anabilim Dalında

Yüksek Lisans tezi olarak oybirliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

Ünvanı, Adı, SOYADI

İmza

Başkan Prof. Dr. Süleyman TAŞGETİREN

Üye Prof. Dr. Galip SAİD

Üye Doç. Dr. Yılmaz YALÇIN

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetin Kurulu'nun

...../...../..... tarih ve

..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Doç. Dr. Rıdvan ÜNAL

Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ÇELİKLERİN SU VERME DERİNLİĞİNE TANE BOYUTUNUN ETKİSİ

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Metal Eğitimi Ana Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Galip SAİD

Kaliteli imalat, ancak uygun malzeme seçimine bağlıdır. Çünkü üretim, öncelikle kullanılacak malzeme seçimi ile başlamaktadır. Makine imalat ve yapı sanayiinde en çok kullanılan malzeme çelik olduğuna göre çelik seçimi son derece önemlidir. Sertleşme derinliği ve sertleşme kabiliyetinin bilinmesi çelik seçimini kolaylaştırır. Sertleşme kabiliyetini tespit etmek için kullanılan metodun ucuz, kolay ve pratik olması onun yaygın olarak kullanılmasını sağlayacaktır.

Bu çalışmada, SAE/AISI 1030 ve 4130 çeliklerinin sertleşme kabiliyetine tane boyutunun etkisi araştırılmaya çalışılmıştır. Söz konusu çeliklerden Jominy deney numuneleri yapılmış ve numunelerin tane boyutunu değiştirmek için, deney sıcaklıkları 900 °C, 1000 °C, 1100 °C, 1200 °C olarak seçilmiştir.

Jominy deneyleri sonrası, numunelerin mikro yapıları da karakterize edilmeye çalışılmıştır. Sonuç olarak bu çalışmaya göre sıcaklık arttıkça tane boyutu da artmaktadır ve tane boyutu arttıkça su verme derinliği de artmıştır.

2010, 96 sayfa

Anahtar Kelimeler: Jominy, Alından Su Verme, Sertleşebilirlik, Tane Boyutu

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

EFFECT OF GRAIN SIZE ON THE QUENCHING DEPTH OF STEELS

Afyon Kocatepe University,
Institute for the Natural and Applied Sciences
Department of Metal Education
Advisor: Prof. Dr. Galip SAİD

High – Quality production depends just on the choice of proper material. Because, producing begins first by the choice of materials that will be used. Considering that steel is the material mostly used in the machine production and construction industry, the choice of steel is extremely important. The knowledge of hardening depth and hardening ability enables the steel selection. Being cheap, easy and practical of the method that is used to determine the capability of hardening will maintain it to be used extensively.

In this study, the capability of hardening of steel in SAE/AISI 1030 and 4130, grain size's effects were investigated. Jominy steel specimens were made and in order to change the grain size of samples and test temperatures were selected as 900 °C, 1000 °C, 1100 °C, at 1200 °C.

After Jominy tests, the micro structures of the samples were attempted to characterize. As a result, in this study, the grain size increases with increasing temperature and also with increasing depth of quenching medium.

2010, 96 page

Keywords : Jominy, quenching on one side, hardenability, grain size

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanması esnasında fikir, bilgi ve tecrübelerinden fazlasıyla faydalandığım, bana öncülük ve rehberlik eden, danışmanım ve değerli hocam Prof. Dr. Galip SAİD' e en derin teşekkür ve Őükranlarımı sunarım.

Deneysel çalışmalarda ve tezin yazılımlında yardımlarını esirgemeyen Arş. Grv. Dr. Sinan ULU' ya, Arş. Grv. İbrahim GÜNES'e, Öğr. Grv. Muzaffer ERDOĞAN'a, emeği geçen tüm hocalarıma, arkadaşlarıma ve her zaman yanımda olan aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
RESİMLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
3. ÇALIŞMADA KULLANILAN ÇELİKLER VE UYGULAMA ALANLARI.....	5
3.1 Alaşımli Çelikler.....	5
3.1.1 Alaşım Miktarına Göre Çelikler.....	5
3.1.2 Esas Alaşım Elementine Göre Çelikler.....	6
3.1.3 Islah Çelikleri.....	9
3.2 Orta Karbonlu Çelikler	9
3.2.1 Genel Yapı Çelikleri	10
4. TANE BOYUTUNU ETKİLEYEN ISIL İŞLEMLER.....	11
4.1 Difüzyon Tavlaması (Homojenizasyon , Homojenleştirme Tavlaması).....	12
4.2 Yumuşatma Tavı.....	14
4.3 Normalleştirme Tavlaması (Normalizasyon) Tavlaması.....	15
4.4 Küreselleştirme Tavı	16
4.5 Gerilim Giderme Tavı ve Ara Tavı.....	17
4.6 Tam Tavlama	18
4.7 Sertleştirme.....	21
4.7.1 Sertleştirme İçin Isıtma İşlemi.....	21
4.7.2 Sertleştirme Sıcaklığında Tutma Süresi.....	24
4.7.3 Su Verme ve Soğutma.....	25
4.8 Menevişleme (Temperleme).....	31
4.9 Martemperleme.....	32
4.10 Östemperleme.....	32

4.11 Yeniden Kristalleşme (Rekristalizasyon).....	33
4.12 Tane Boyutunu Saptanması.....	35
4.12.1 Sementasyon Yöntemi.....	35
4.12.2 Oksitleme Yöntemi.....	35
4.12.3 Su Verilmiş Çeliklerin İlk Östenit Tane Sınırını Tayin Etme Yöntemi	36
4.12.4 Ferrit Veya Sementit Ağını Tayin Etme Yöntemi.....	36
4.12.5 Troostit Filesini Elde Etme Yöntemi.....	36
5. ÇELİKLERİN SERTLEŞEBİLİRLİĞİ.....	37
5.1 Jominy Deneyi.....	41
5.2 Alaşım Elementlerinin Çeliklerin Sertleşme Kabiliyetine Etkisi.....	45
6. MATERYAL METOD.....	55
6.1 Çalışmada Kullanılan Çelikler Ve Kimyasal Kompozisyonları.....	55
6.2 Jominy Deneyi.....	57
6.3 Metalografi.....	60
6.4 Sertlik Testi.....	62
6.5 Tane Boyutu Analizi.....	62
7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	65
7.1 SAE/AISI 1030 Çeliği İçin Deney Sonuçları.....	65
7.1.1 Jominy Deneyi Sonrasında SAE/AISI 1030 Çeliğinin Durumu.....	67
7.1.2 İç Yapı Analizleri.....	72
7.2 SAE/AISI 4130 Çeliği İçin Deney Sonuçları.....	76
7.2.1 Jominy Deneyi Sonrasında SAE/AISI 4130 Çeliğinin Durumu.....	77
7.2.2 İç Yapı Analizleri.....	82
8.SONUÇ VE DEĞERLENDİRME.....	90
KAYNAKLAR.....	92
ÖZGEÇMİŞ.....	96

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

AC ₁	Demir – Sementit faz diyagramında alt kritik sıcaklık sınırı,
AC ₃	Demir – Sementit faz diyagramında üst kritik sıcaklık sınırı,
Ms	Çeliklerde martensit dönüşümünün başlangıç sıcaklık sınırı,
Mf	Çeliklerde martensit dönüşümünün bitiş sıcaklık sınırı,
°C	Santigrat derece,
°F	Fahrenheit derece,
mm	Milimetre,
dk	Dakika,

Açıklama

Kısaltmalar

HMK	Hacim merkezli küp kafes,
TTT	Time Temperature Transformation
ZSD	Zaman – Sıcaklık – Dönüşüm
CCT	Sürekli – Soğuma – Dönüşüm (Continuous Cooling Transformation),
A.K.Ü. T.E.F.	Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi,
TÜDEMSAŞ	Türkiye Demiryolları Sanayi Anonim Şirketi
ASTM	American Society for Testing and Materials,
KOSGEB	Küçük ve Orta Ölçekli Sanayi Geliştirme ve Destekleme İdaresi Başkanlığı,
TDÇİGM	Türkiye Demir Çelik İşletmeleri Genel Müdürlüğü,
YMK	Yüzey Merkezli Küp Kafes,
M	Martensit,
B	Beynit,
F	Ferrit,
P	Perlit,

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 4.1 Alaşım-sız Çeliklere Uygulanan Yumuşatma, Normalizasyon, Küreselleştirme ve Sertleştirme İşlemleri için Tavlama Sıcaklık Aralıkları.....	12
Şekil 4.2 İki Bileşimli Alaşımın Denge Diyagramı ve Mikrosegregasyon.....	13
Şekil 4.3 (a) Ötektoidaltı Çeliklerde Sert Perlit Tanelerindeki Sementit Lamellerinin Parçalanmasının (b) Ötektoidüstü Çeliklerde Hem Perlit Tanelerindeki Sementit Lamellerini Hemde Tane Sınırındaki 2. Sementit Ağının Parçalanmasının Şematik Gösterimi.....	14
Şekil 4.4 Ötektoidaltı ve Ötektoidüstü Çeliklerde Normalleştirme Tavlama-sının Şematik Gösterimi.....	15
Şekil 4.5 Fe-C Diyagramının Çelik Bölümü	16
Şekil 4.6 Gerilim Giderme Tavı' nın Şematik Gösterimi.....	18
Şekil 4.7 % 0,2 Karbon İçeren Çeliğin Tam Tavlama Sırasında Oluşan İç Yapı Değişikliklerinin Şematik Gösterimi	19
Şekil 4.8 Östenitin İzotermik Parçalanma Diyagramı.....	20
Şekil 4.9 Alaşım-sız Çeliklerde Östenitleştirme Sıcaklığı.....	21
Şekil 4.10 Soğutma Ortamlarının TTT Diyagramıyla İlişkisi	25
Şekil 4.11 Çeşitli Sıcaklık Bölgelerinde Östenitin Parçalanması.....	26
Şekil 4.12 a) %0,8 C' lu Çeliğin TTT Diyagramı b) %0,45 C' lu Çeliğin TTT Diyagramı.....	27
Şekil 4.13 Östenitten (γ) Martensite (α) Dönüşümün Kafes Modeli.....	28
Şekil 4.14 Alaşım-sız Bir Çelikte Östenitik Karbon (östenit içerisinde çözünmüş) Miktarının Ms ve Mf Sıcaklığına Etkisi.....	30
Şekil 4.15 Östenit İçerisinde Çözünmüş (erimiş) Halde Bulunan Karbon Miktarına Bağlı Olarak Kalıntı Östenitin Değişimi.....	31
Şekil 4.16 Menevişleme' de Martenzitin, Sementit ve Ferrite Dönüşümü.....	31
Şekil 4.17 (a) Martemperleme İçin Isıl İşlem Programı ve (b) ZSD Diyagramındaki Yerinin Şematik Gösterimi.....	32
Şekil 4.18 Sıcak Banyoda Soğutma İşlemlerinin ZSD Diyagramındaki Yerinin Şematik Gösterimi.....	33
Şekil 4.19 Teknik Safılıktaki Metallerde Rekristalizasyon Sıcaklığı	34
Şekil 4.20 Soğuk Şekil Verme ve Tavlama Sonrası İç Yapıların Şematik Gösterimi.....	34

Şekil 5.1 Martenzit Miktarının, Çeliğin Sertlik ve Karbon İçeriği İle İlişkisi	37
Şekil 5.2 Çeşitli Çelikler İçin Sertleşme Derinliği (100 mm Çapında W_1 Çeliğinden Yapılmış Çubuklar).....	38
Şekil 5.3 AISI 01 Çeliğinin Yağda Su Verilmesinden Sonra Farklı Boyutlardaki Sertleşme Derinliği.....	39
Şekil 5.4 95 mm Çapında Yağda Su Verilmiş Çelik Bir Çubuğun Yüzeyi ve Çekirdeği (merkezi) İçin Soğuma Eğrilerinin Şematik Gösterilisi.....	39
Şekil 5.5 (a) Jominy (Uç Su Verme) Sertleşebilirlik Deneyinin (b) Deney Cihazının Şematik Gösterimi.....	42
Şekil 5.6 Sertlik Ölçümleri Sonucunda Çizilen Diyagrama Bir Örnek.....	45
Şekil 5.7 Saf Fe – C Alaşımlarının Sertleşebilirliği (% 90 Martenzit, Suda Su Verilmiş, ASTM No. 4).....	46
Şekil 5.8 % 0,5 Mn ' lı Çelikte C Miktarının Sertleşebilirliğe Etkisi (% 90 Martenzit, Suda Su Verilmiş, ASTM No. 4) (Saf Fe – C Alaşımları Karsılaştırılarak)...	47
Şekil 5.9 Çelikte Mn Miktarının Sertleşebilen Çap Üzerine Etkisi (% 90 Martenzit, Suda Su Verilmiş, ASTM No. 4, C İçeriği % 0,2).....	48
Şekil 5.10 Çelikteki Si Miktarının Sertleşebilen Çap Üzerine Etkisi (% 0,2 C, % 0,5 Mn) (% 90 Martenzit, Suda Su Verilmiş, ASTM No. 4).....	48
Şekil 5.11 Çelikteki P Miktarının Sertleşebilen Çap Üzerine Etkisi (% 0,2 C, % 0,5 Mn) (% 90 Martenzit, Suda Su Verilmiş, ASTM No. 4)	49
Şekil 5.12 Çelikteki S Miktarının Sertleşebilen Çap Üzerine Etkisi (% 0,2 C, % 0,5 Mn) (% 90 Martenzit, Suda Su Verilmiş, ASTM No. 4)	50
Şekil 5.13 Çelikteki Ni Miktarının Sertleşebilen Çap Üzerine Etkisi (% 0,2 C, % 0,3 Mn) (% 90 Martenzit, Suda Su Verilmiş, ASTM No. 4)	50
Şekil 5.14 Çelikteki Cr Miktarının Sertleşebilen Çap Üzerine Etkisi (% 0,2 C, % 0,3 Mn) (% 90 Martenzit, Suda Su Verilmiş, ASTM No. 4).....	51
Şekil 5.15 Çelikteki Mo Miktarının Sertleşebilen Çap Üzerine Etkisi (% 0,2 C, % 0,3 Mn) (% 90 Martenzit, Suda Su Verilmiş, ASTM No. 4).....	51
Şekil 5.16 Çelikteki V Miktarının Sertleşebilen Çap Üzerine Etkisi (% 0,2 C, % 0,5 Mn)(% 90 Martenzit, Suda Su Verilmiş, ASTM No. 4).....	52
Şekil 5.17 Çelikteki Ti Miktarının Sertleşebilen Çap Üzerine Etkisi (% 0,2 C, % 0,5 Mn) (% 90 Martenzit, Suda Su Verilmiş, ASTM No. 4).....	53

Şekil 5.18 Çelikteki Zr Miktarının Sertleşebilen Çap Üzerine Etkisi (% 0,2 C, % 0,5 Mn) (% 90 Martenzit, Suda Su Verilmiş, ASTM No. 4).....	54
Şekil 5.19 AISI 1045 Çeliğinde Cu ' in Sertleşebilir Çap Üzerine Etkisi (% 90 Martenzit, Tuzlu Su Çözeltisinde Su Verilmiş).....	54
Şekil 6.1 Jominy Deneyinde Kullanılan Numune Parçaların Ölçüleri.....	58
Şekil 7.1 Sertlik Değerlerinin Numunenin Taşlanmış Yüzeyinden Alınmasının Şematik Gösterimi.....	65
Şekil 7.2 Farklı Sıcaklıklara Isıtılmış ve Farklı Sürelerde Bekletilmiş 1030 Çeliğinin Karbon Miktarına Göre Sertlik Değerine Dönüştürülmesi.....	66
Şekil 7.3 900 °C' ye Isıtılmış ve 30 dk Beklemiş Numunede Deney Sonunda Oluşan Sertlik (HRC) – Mesafe (mm) Diyagramı.....	68
Şekil 7.4 1000 °C' ye Isıtılmış ve 28 dk Beklemiş Numunede Deney Sonunda Oluşan Sertlik (HRC) – Mesafe (mm) Diyagramı.....	69
Şekil 7.5 1100 °C' ye Isıtılmış ve 26 dk Beklemiş Numunede Deney Sonunda Oluşan Sertlik (HRC) – Mesafe (mm) Diyagramı.....	70
Şekil 7.6 1200 °C' ye Isıtılmış ve 25 dk Beklemiş Numunede Deney Sonunda Oluşan Sertlik (HRC) – Mesafe (mm) Diyagramı.....	71
Şekil 7.7 SAE/AISI 1030 Çeliği İçin Dört Farklı Sertlik Değerlerinin Bir Arada Verilmesi.....	75
Şekil 7.8 Farklı Sıcaklıklara Isıtılmış ve Farklı Sürelerde Bekletilmiş 4130 Çeliğinin Karbon Miktarına Göre Sertlik Değerine Dönüştürülmesi.....	76
Şekil 7.9 900 °C' ye Isıtılmış ve 30 dk Beklemiş Numunede Deney Sonunda Oluşan Sertlik (HRC) – Mesafe (mm) Diyagramı.....	77
Şekil 7.10 1000 °C' ye Isıtılmış ve 28 dk Beklemiş Numunede Deney Sonunda Oluşan Sertlik (HRC) – Mesafe (mm) Diyagramı.....	79
Şekil 7.11 1100 °C' ye Isıtılmış ve 26 dk Beklemiş Numunede Deney Sonunda Oluşan Sertlik (HRC) – Mesafe (mm) Diyagramı.....	80
Şekil 7.12 1200 °C' ye Isıtılmış ve 25 dk Beklemiş Numunede Deney Sonunda Oluşan Sertlik (HRC) – Mesafe (mm) Diyagramı.....	81
Şekil 7.13 SAE/AISI 4130 Çeliği İçin Dört Farklı Sertlik Değerlerinin Bir Arada Verilmesi.....	85

Şekil 7.14 900 °C de 30 dk Beklemiş Çeliklerin Karbon Miktarına Göre (%50 Martenzit, % 50 Troostit) Sertlik Değerlerinin ve Su Verme Derinliğinin Kıyaslanması.....	86
Şekil 7.15 1000 °C de 28 dk Beklemiş Çeliklerin Karbon Miktarına Göre (%50 Martenzit, % 50 Troostit) Sertlik Değerlerinin ve Su Verme Derinliğinin Kıyaslanması.....	87
Şekil 7.16 1100 °C de 26 dk Beklemiş Çeliklerin Karbon Miktarına Göre (%50 Martenzit, % 50 Troostit) Sertlik Değerlerinin ve Su Verme Derinliğinin Kıyaslanması.....	88
Şekil 7.17 1200 °C de 25 dk Beklemiş Çeliklerin Karbon Miktarına göre (%50 martenzit, % 50 troostit) Sertlik Değerlerinin ve Su Verme Derinliğinin Kıyaslanması.....	88

RESİMLER DİZİNİ

Resim 4.1 % 0,8 C' lu Çelik, 760 °C Sıcaklıktan Suda Ani Soğutulmuş X500 (İnce İğnesel ve Strüktürsüz Martensitik Yapı).....	22
Resim 4.2 %0,8 C' lu Çelik, 1000 °C Sıcaklıktan Suda Ani Soğutulmuş X500 (Kaba İğnesel Martensit Yapısı).....	22
Resim 4.3 %0,3 C' lu Çelik, 740 °C Sıcaklıktan Suda Ani Soğutulmuş X500. (Ferrit, Martensit).....	23
Resim 4.4 Düşük Sıcaklıklarda Östenitin Martensite Ardı Ardına Dönüşümü. (a)280°C (b) 220°C (c) 200°C (d) 195°C (e) 180°C (f) 175°C.....	29
Resim 4.5 (a) Masif Martensit, (b) İğnesel Martensit.....	30
Resim 5.1 Ferrit / Perlit ve Martenzit Yapıların Mikroskop Altında Görünümü.....	41
Resim 5.2 Numune Parçaların Soğutulması Anı.....	44
Resim 6.1 SAE/AISI 1030 Çeliğinin Isıl İşlem Öncesi Mikro Yapısı (200x).....	56
Resim 6.2 SAE/AISI 4130 Çeliğinin Isıl İşlem Öncesi Mikro Yapısı (200x).....	57
Resim 6.3 Deneyde Kullanılacak Olan Numuneler.....	58
Resim 6.4 Deneyde Kullanılan Isıtma Fırını.....	59
Resim 6.5 Deneyde Kullanılan Jominy Test Cihazı	59
Resim 6.6 Numune Parçaların Taşlandığı Tezgah	60
Resim 6.7 Metalografik Numune Zımparalama ve Parlatma Cihazı.....	61
Resim 6.8 Optik Mikroskop.....	61
Resim 6.9 Numune Sertliklerinin Ölçüldüğü Cihaz	62
Resim 6.10 Oksitleme Yönteminin Yapıldığı Fırın.	63
Resim 6.11 1000 °C ye Isıtılmış ve Havada Soğutulmuş 4130 Çeliğinin İç Yapısından Tane Çapının Belirlenmesi. (200X).....	63
Resim 7.1 SAE/AISI 1030 Çeliğinin Isıl İşlem Görmemiş İç Yapısı (200x).	72
Resim 7.2 SAE/AISI 1030 Çeliğinin (a) 900 °C 30 dk Bekleme (b) 1000 °C 28 dk Bekleme (c) 1100 °C 26 dk Bekleme (d) 1200 °C 25 dk Bekleme Sürelerinde Meydana Gelen İç Yapılar (200x).....	72
Resim 7.3 SAE/AISI 1030 Çeliğinin (a) 900 °C 30 dk Bekleme (b) 1000 °C 28 dk Bekleme (c) 1100 °C 26 dk Bekleme (d) 1200 °C 25 dk Bekleme ve Oksitleme Yöntemi Kullanılarak Ortaya Çıkarılmış Tane Boyutları.....	73

Resim 7.4 SAE/AISI 4130 Çeliğinin Isıl İşlem Görmemiş İç Yapısı (200x).....	82
Resim 7.5 SAE/AISI 4130 Çeliğinin (a) 900 °C 30 dk Bekleme (b) 1000 °C 28 dk Bekleme (c) 1100 °C 26 dk Bekleme (d) 1200 °C 25 dk Bekleme Sürelerinde Meydana Gelen İç Yapılar (200x).....	82
Resim 7.6 SAE/AISI 4130 Çeliğinin (a) 900 °C 30 dk Bekleme (b) 1000 °C 28 dk Bekleme (c) 1100 °C 26 dk Bekleme (d) 1200 °C 25 dk Bekleme ve Oksitleme Yöntemi Kullanılarak Ortaya Çıkarılmış Tane Boyutları.....	83

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1 Az Alaşımli Çeliklerin Türk Standartları'na Göre Gösteriminde Kullanılan Katsayılar.....	5
Çizelge 4.1 Manganez Miktarına Bağlı Olarak Kritik Soğuma Hızı	26
Çizelge 4.2 Soğuk Şekil Verme ve Tavlama Sonrası İç Yapı Özellikleri	34
Çizelge 6.1 SAE/AISI 1030 İmalat (Yapı) Çeliğinin Spektro Analiz Sonuçları	55
Çizelge 6.2 SAE/AISI 4130 İmalat (Yapı) Çeliğinin Spektro Analiz Sonuçları	56
Çizelge 7.1 900 °C' ye Isıtılmış ve 30 dk Beklemiş Deney Numunesinde Elde Edilen Sertlik Değerleri Tablosu.....	67
Çizelge 7.2 1000 °C' ye Isıtılmış ve 28 dk Beklemiş Deney Numunesinde Elde Edilen Sertlik Değerleri Tablosu.....	69
Çizelge 7.3 1100 °C' ye Isıtılmış ve 26 dk Beklemiş Deney Numunesinde Elde Edilen Sertlik Değerleri Tablosu.....	70
Çizelge 7.4 1200 °C' ye Isıtılmış ve 25 dk Beklemiş Deney Numunesinde Elde Edilen Sertlik Değerleri Tablosu.....	71
Çizelge 7.5 SAE/AISI 1030 Çeliği İçin Dört Farklı Deney Parametresinin Bir Arada Verilmesi.....	74
Çizelge 7.6 900 °C' ye Isıtılmış ve 30 dk Beklemiş Deney Numunesinde Elde Edilen Sertlik Değerleri Tablosu.....	77
Çizelge 7.7 1000 °C' ye Isıtılmış ve 28 dk Beklemiş Deney Numunesinde Elde Edilen Sertlik Değerleri Tablosu.....	78
Çizelge 7.8 1100 °C' ye Isıtılmış ve 26 dk Beklemiş Deney Numunesinde Elde Edilen Sertlik Değerleri Tablosu.....	80
Çizelge 7.9 1200 °C' ye Isıtılmış ve 25 dk Beklemiş Deney Numunesinde Elde Edilen Sertlik Değerleri Tablosu.....	81
Çizelge 7.10 SAE/AISI 4130 Çeliği İçin Dört Farklı Deney Parametresinin Bir Arada Verilmesi.....	84
Çizelge 7.11 Çeliklerin Isıtma Sıcaklığı ve Bekleme Sürelerine Göre Tane Boyutlarının Gösterimi.....	86

1. GİRİŞ

Günümüz endüstrisinde, başarının yakalanabilmesi için malzeme seçimi çok önemlidir. Zira üretim, öncelikle kullanılacak malzeme seçimi ile başlamaktadır. Seçimin amaca uygunluğu büyük önem taşımaktadır. Makine imalat ve yapı sanayinde en çok kullanılan malzeme çelik olduğuna göre çelik seçimi son derece önemlidir.

Sertleşebilirlik, çeliğin su verme işlemiyle martenzite dönüşümü sonucu sertleşme kabiliyetidir. Sertleşebilirlik su verme ile elde edilen sertliğin derinliğini saptar. Bu derinlik yüzeyden itibaren % 50 martenzit ve beynitin mevcut olduğu mesafe olarak belirlenir. Yüksek sertleşebilirliğe sahip bir çeliğin, büyük bir sertleşme derinliği göstermesi anlamına gelir. Sertleşme derinliği, takım ve yapı çelikleri için çok önemlidir. Sertleşebilirlik genellikle sertlik değişimi cinsinden tarif edildiğinden, çelik cinsine, C (karbon) başta olmak üzere alaşım oranlarına bağlı olarak sertlik değişimidir. Aynı zamanda mikro yapı değişimi olarak da görülebilir. Genel olarak, alaşım elementleri perlit, beynit dönüşümlerini geciktirerek sertleşebilirliğini artırır (Tekin 1984).

Ana alaşım elementi olan karbon, çelik özelliklerine en fazla etki eden elementtir. Krom, dayanımı ve sertleşebilme özelliğini artırır. Karbonla birleşerek çok sert olan krom karbürü oluşturur. Krom ile birlikte kullanılan nikel, sertliğin derinliğe inmesini sağlar. Krom ve Nikel ile beraber kullanılan molibden ise, az miktarda katılmasına rağmen sertlik ve dayanımı artırır (M.E. B 2001).

Çeliğin sertleşme sonrası kazanacağı sertlik, tercih faktörlerinden en başta gelenidir. Bu sebepten çeliğin sertleşebilirliğini belirlemek için östenitleştirilmiş çeliğe bir uçtan su verilerek sertleşebilirlik deneyi, diğer yaygın adıyla Jominy Deneyi uygulanır. Bu deney, uluslararası düzeyde standartlaştırılmıştır. Detayları Türk Standartları 1381'de verilmiştir (TS 1381).

Tez çalışmasında SAE/AISI 1030 ve 4130 çeliklerinin dört farklı östenit bölgesi sıcaklığından, değişik bekleme süreleri ile Jominy deneyleri gerçekleştirilmiştir. Söz

konusu sıcaklıklarda elde edilen tane boyutlarının çeliklerin sertleŖebilirlik kabiliyetine olan etkileri irdelenmeye alıŖılmıŖtır.

Ayrıca alıŖmada kullanılan orta karbonlu alaŖımsız (SAE/AISI 1030) ve orta karbonlu alaŖımlı (SAE/AISI 4130) elikler birbiriyle kıyaslanmaya alıŖılmıŖtır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Çelik vd. (2006), Çelikteki alaşım elementlerinin sertleşebilirliğe ve sertleşme derinliğine etkisi üzerine yaptıkları çalışmaya göre, karbon çelikleri (Ç1040 – Ç1050), içindeki karbon miktarı arttıkça sertleşebilirliği artan ve sertleşme derinliği az olan çeliklerdir. Alaşımli çelikleri (Ç8620 – Ç 4140) ise içindeki alaşım elementlerinin katkısıyla ısıl iletkenlikleri yüksek olduğundan, sertleşebilirlikleri yüksek ve sertleşme derinliği fazla olan çeliklerdir. İçindeki alaşım elementi miktarı arttıkça, sertleşebilirlikleri ve sertlik derinliklerinin arttığı sonucuna varılmıştır.

Köse (2008), AISI/SAE 1040–2738–304 çeliklerinin sertleşme kabiliyetlerinin Jominy deneyi ile araştırılması adlı çalışmasına göre 850 °C östenitleştirilmiş ve Jominy yöntemi ile alından su verilmiştir. Numuneler soğuduktan sonra belli mesafelerde sertlikleri ölçülmüş ve su verme derinlikleri tayin edilmiştir. Neticede ise sertleşebilirlik eğrilerinin Jominy bantları ile uyumlu olduğu, arzu edilen sertliklere ulaşıldığı ve mikro yapısal olarak incelendiğinde ise martenzitin oluştuğu gözlemlenmiştir.

Kara (2005), SAE/AISI 1030, 8620, 1016 çelikleri üzerinde tane boyutunun temel mekanik özelliklere etkisini araştırmış ve Fe-C faz diyagramında östenitleme bölgesinde üç ayrı tam tavlama sıcaklığı seçilmiş, seçilen sıcaklıklarda tam tavlama işlemi uygulanmıştır. Tam tavlama sıcaklıkları ve bekletme süreleri arttıkça, deneye tabi tutulan çeliklerin tane boyutları da artmıştır. Artan tane boyutu ile birlikte çeliklerin mukavemet değerinde (akma gerilimi, çekme gerilimi v.s) azalma gözlemlenmiştir.

Craft ve Lamont (1971), Jominy deneyinin orta dereceli sertleşebilme kabiliyetine sahip çelikler için en yararlı ve kullanışlı deney olduğunu ifade etmişler, çalışmalarıyla bunu göstermişlerdir.

Flinn ve Trojan (1986), deney çubuğunda geniş bir soğuma hızı varyasyonlarının meydana geldiğini ve bunun sonucunda çubuk boyunca sertliklerin ölçülerek östenitleme sıcaklığından farklı soğuma hızları ile elde edilen sertliklerin bulunduğunu;

bu deney yönteminden elde edilecek en dikkat çekici bilginin, numune üzerinde verilen bir noktadaki sertliğin olmadığını, verilen bir soğuma hızından elde edilecek olan sertlik olduğunu ve yine Jominy çubuğu üzerindeki bir noktanın sertliğinin, aynı soğuma hızıyla yağ veya suda su verilmiş bir parçadaki noktanın sertliğine eşit olacağını ifade ederek çalışmalarında bunlara yer vermişlerdir.

Tane büyüklükleri birbirinden farklı olan iki çeliğin kimyasal bileşimleri aynı olsa da, mekanik özellikleri büyük farklılıklar gösterir (Weissbach 1998).

Tane büyümesini sınırlandırılmasında en önemli element vanadyumdur. Vanadyumun çelik içinde çok düşük oranlarda (%0,1) kullanımı bile sertleştirme işlemi sırasında tane büyümesini durdurmak için yeterlidir. Bunun nedeni vanadyumun sertleştirme sıcaklıklarında homojen dağılmış karbürler ve nitürler şeklinde bulunmasıdır. Bu tür karbürleri veya nitürleri katı eriyik içine alabilmek için yüksek sıcaklığa çıkarmak gerekir. Bu nedenle alışlagelmiş sertleşme sıcaklıklarında vanadyum bileşikleri tane büyümesi için engel teşkil eder. Eğer sıcaklık normal değerden daha yüksek değere çıkartılırsa vanadyum bileşikleri çözündürülebilir. Ancak bu durumda çeliğin tane boyutunun büyümesi söz konusu olabilir. Böyle bir durumda çeliğin darbe mukavemeti başta olmak üzere mekanik özelliklerinde düşme görülür (İnt. Kyn.1).

Her çelik için, maksimum sertliği verecek belirli bir soğuma hızı vardır ki (kritik soğuma hızı) bu hızla en yüksek martenzitik sertliği elde edilir. Eğer soğutma hızı kesitin merkezinde yeter derecede yüksekse, maksimum sertliğe bütün kesit genişliği boyunca erişmek mümkündür. Daha aşağı su verme hızlarında ise merkez sertliğinde bir düşüş olacak ve çubuğun bütün kesit boyundaki sertlik dereceleri kademeli olacaktır (Craft ve Lamont 1971).

Detayları ile birlikte T.S. 1381' de verilen, orta dereceli sertleşebilen çelikler için sıkça kullanılan, Jominy ve Boegehold tarafından geliştirilmiş olan Jominy – Uç su verme deneyi; kolay olmasıyla birlikte ucuz olması ve aynı kararlılıkla tekrarlanabilmesi gibi avantajları sayesinde uluslararası düzeyde standartlaştırılmış bir deney olarak karsımıza çıkmakta ve bu konuda birçok çalışma yapılmaktadır.

3. ÇALIŞMADA KULLANILAN ÇELİKLER VE UYGULAMA ALANLARI

3.1 Alaşımli Çelikler

Alaşımli çelikler alaşım miktarına göre veya esas alaşım elementine göre sınıflandırılabilir (İnt. Kyn. 2).

3.1.1 Alaşım Miktarına Göre Çelikler

a. Az Alaşımli Çelikler

Bu tip çeliklerin gösteriminde C işareti kullanılmaz. Ortalama yüzde karbon oranının yüz katı yazıldıktan sonra, oran sırasına göre alaşım elementlerinin simgeleri ve bu elementlerin çizelge 3.1 deki katsayılarla çarpılarak tam sayıya yuvarlatılmış ortalama yüzde oranları belirtilir (İnt. Kyn. 2).

Çizelge 3.1 Az alaşımli çeliklerin Türk Standartları'na göre gösteriminde kullanılan katsayılar (İnt. Kyn. 2).

Alaşım Elementi	Katsayı
Cr, Co, Mn, Ni, Si, W	4
Al, Be, Cu, Pb, Mo, Nb, Ta, Ti, V, Zr	10
P, S, N, Ce, C	100
B	1000

Örneğin bileşiminde % 0,20 C ve % 1,25 Mn bulunan az alaşımli çelik 20 Mn 5, bileşiminde % 0,15 C ve % 0,75 Cr bulunan az alaşımli asal çelik 15Cr3 ve bileşiminde % 0,15 C, % 1 Cr ve % 0,40 Mo bulunan az alaşımli çelik ise 15 Cr Mo 44 şeklinde gösterilir (İnt. Kyn. 2).

b.Otomat Çelikleri

Karbon oranı az alaşımli çeliklerde olduğu gibi yazılır. Çelikte S, Mn, Pb ve P elementlerinden hangileri varsa bu sırayla gösterilir ve yalnız kükürdün ortalama yüzde oranı yüz ile çarpılarak belirtilir. Örneğin; bileşiminde % 0,45 C, % 0,20 S ve % 0,15 - % 0,30 Pb bulunan otomat çeliği 45SPb20, bileşiminde % 0,09 C, % 0,15 - % 0,30 S, % 0,90 - % 1,30 Mn ve % 0,15 - % 0,30 Pb bulunan otomat çeliği ise 9SMnPb23 şeklinde gösterilir (İnt. Kyn. 2).

c.Yüksek Alaşımli Çelikler

Yüksek alaşımli çeliklerin gösterimi için en başta X harfi kullanılır. Karbon oranı, az alaşımli çeliklerde olduğu gibi yazılır ve alaşım elementlerinin her birinin gerçek yüzde oranı kendi simgesinden sonra belirtilir. İkinci derecede önemli olan alaşım elementlerinin oranları gösterilmeyebilir. Örneğin; bileşiminde % 0,08 C, %18Cr ve % 8 Ni bulunan yüksek alaşımli çelik X 8 Cr 18 Ni 8 şeklinde gösterilir (İnt. Kyn. 2).

3.1.2 Esas Alaşım Elementine Göre Çelikler

a. Manganlı Çelikler

Mangan bütün ticari çeliklerin, oksijeni gidermek ve kükürtle karıştırılarak küresel MnS oluşturmak için % 0,25'den - % 1'e kadar bir dizi şeklinde eklenir. Manganın maliyet üzerindeki artış etkisi ile bağlantılı olarak mukavemetteki artış göz önünde tutulursa diğer alaşım elementlerine göre en etkili olan mangandır. Bu nedenle yumuşak çelikten daha yüksek dayanım ve kaynaklanabilirlik gerektiğinde, % 1,6 - % 1,9 arasında Mn içeren çelikler yaygın olarak kullanılmaktadır.

Düşük alaşımli manganlı çeliklerin AISI 13xx serisi % 0,30'dan % 0,45'e varan karbon ve % 1,75 mangan nominal düzeyine sahiptir. Bu 13xx çelikleri sade karbonlu çelik karşılıklarında daha yüksek dayanıma ve sertleştirilebilme özelliğine sahiptir ve

dingiller, şaftlar, vitesler ve otomobiller için hareket kolları ve tarım aletleri için kullanılırlar (İnt.Kyn.2).

13xx alaşımlı çeliklerin sertleşebilme özelliği 13xx sade karbon çeliklerden biraz daha yüksektir. Bu da 13xx alaşımlarında mangan içeriğinin nominal % 1,75'e çıkmasının bir sonucudur. Mangan difüzyon hızını azaltarak, östenitin, ferrite – perlitte dönüşümünü yavaşlatır. Bu nedenle, karbonlu çeliklerin sertleştirilebilme özelliğinde artış olur. Aynı zamanda mangan, karbonlu çeliklerdeki perlitte incelterek dayanımlarını da yükseltir (İnt.Kyn.2).

Karbonlu çeliklerin mangan miktarı yaklaşık % 2'yi aştığında çelik kırılma eğilimine girer. Buna karşın mangan içeriği yaklaşık % 12'ye ve karbon içeriği yaklaşık % 1,1'e yükseldiğinde çelik östenit sıcaklığından hızlı soğutulursa östenitik yapı oda sıcaklığında dönüşmeden kalır. Hadfield manganlı çeliği olarak bilinen bu alaşım 1982'de geliştirilmiş ve ilk yüksek alaşımlı çelik olmuştur. Östenitik şartlardaki bu çelik yüksek bir hızda pekleştiği için özellikle yüksek darbe gerilimleri altında aşınmaya karşı dirençlidir(İnt.Kyn.2).

Sade karbonlu çeliklerin mukavemetlendirilmesinde manganın etkisi üç kısma ayrılabilir. Bunlar; katı eriyik mukavemetlenmesi, tane boyutu inceltme ve perlit oranını artırma etkileridir. Mangan östenit ve ferrit içinde eriyebilir ve katı eriyik mukavemetlenmesiyle karbonlu çeliklerde ferriti mukavemetlendirebilir (İnt.Kyn.2).

b. Molibden Çelikleri:

Dayanımı ve sertleşebilirliği iyileştirmek için sade karbonlu çeliklere az miktarlarda molibden eklenir. 40xx serilerinin düşük alaşımlı çelikleri öncelikle oto endüstrisinde karbürleme sınıfları olarak kullanılırlar. Bu çelikler yoğunlukla arka aks dişlileri ve otomatik güç aktarma parçaları için kullanılırlar (İnt.Kyn.2).

c. Krom – Molibden Çelikleri:

41xx alaşım serisini oluşturmak için küçük miktarda (% 0,13 – 0,20) molibdenin yanı sıra (% 0,5 – 0,95) oranında krom eklenir. Krom eklenmesi aynı karbon miktarına sahip sade karbonlu çeliklerin sertleşebilirlik, mukavemet ve aşınma direncini daha da artırır. Buna karşın düşük alaşımlı yapı çeliklerine kromun ilave edilmesi bu çeliklerin aynı şartlar altında temper kırılma hızına hassasiyet eğilimini artırır. Krom ve molibdenli düşük alaşımlı çelikler iyileştirilmiş sertliklerinden dolayı martenzit oluşturmak için suda soğutmanın yerine yağda soğutulabilir. Yağda soğutma yavaş olduğu için sıcaklık gradyanları ve hacimce çekilmeden kaynaklanan iç gerilmeler ve su verme sırasındaki genleşme, çarpılma ve çatlama eğilimleri azaltılabilir (İnt.Kyn.2).

d. Nikel – Krom – Molibdenli Çelikler

Düşük alaşım çeliklere % 1,8 Ni, % 0,5' ten % 0,8' e Cr ve % 0,20 Mo ilave edilerek 43xx alaşım serileri oluşturulur. 86xx serilerinde, nikel miktarı % 0,55' e düşürülmüştür. Kromla kombine edilmiş nikel sade karbonlu çeliklerden daha yüksek elastik limite, sertleşebilirliğe, darbe ve yorulma direncine sahip düşük alaşımlı çelik oluşturulur. Daha fazla Mo (yaklaşık % 0,2) ilavesi bu alaşımların temper kırılma hızına karşı hassasiyetini azaltırken sertleşebilirliği halen iyileştirir (Smith 2000).

e. Nikel – Silisyum – Krom – Molibden Çelikleri

Nikel, krom ve molibdenli çelik alaşımına % 2 Si ilavesi dayanım ve tokluğu oldukça artırır. Tokluktaki artışın nedeni silisyumun temperlenmiş martenzitteki kalıntı östenitten sementit oluşumunu engellemesine ve ϵ karbürün kararlı hale gelmesine atfedilir. Düşük silisyum içerikli su verilmiş ve temperlenmiş çeliklerde kalıntı östenit 200 – 370 °C aralığında temperleme üzerine bozunur ve etrafında sementit filmi oluşur (Smith 2000).

3.1.3 Islah elikleri

Islah elikleri, kimyasal bileşimleri özellikle karbon miktarı bakımından, sertleştirilmeye elverişli olan ve ıslah işlemi sonunda belirli bir çekme dayanımında yüksek tokluk özelliği gösteren alaşimsız ve alaşımli makine imalat elikleridir.

Islah işlemi, sonuçta elik parçaya yüksek tokluk özelliğinin kazandırılacağı önce bir sertleştirme ve arkasından menevişleme işlemlerinin bütünü olarak tarif edilir (İnt.Kyn.3).

Yeterli değerde martensit sertliğini sağlayabilmek için, nispeten yüksek karbon içerirler (%0,25–0,60 C). Kalın kesitlerde, yeterli sertleşme derinliği ancak alaşımli çeliklerde sağlanabilir. Islah elikleri çok yönlü olarak kullanılabilirler. Bunlardan önemlileri yay çeliği, sıcağa dayanıklı elik, alaşimsız takım çeliği, alaşımli soğuk iş takım çeliği ve yüksek dayanımlı genel konstrüksiyon çeliği olarak kullanılabilirler (Topbaş 1993).

Uygun ıslah çeliğinin seçimi ve doğru ıslah işleminin uygulanması çok dikkat ve tecrübeyi gerektirir. Islah işleminin iyi sonuç vermesi (istenilen tokluk veya sertlik değerine ulaşılması) kullanılan çeliğin içyapı temizliği ile yakından ilgilidir. İçyapı temizliği, sıvı çeliğin bünyesinde erimiş halde bulunan gazlardan (hidrojen, oksijen ve azot) arındırılması ve oksit, sülfür inkluzyonlarından temizlenmesi işlemidir (İnt. Kyn.3).

3.2 Orta Karbonlu elikler

Bu elikler, % 0,25 ile % 0,55 oranları arasında karbon içerirler. Isıl işlem için çok uygun çeliklerdir. Yani, bu çeliklerin yapı ve özellikleri ısıl işlemle büyük ölçüde değiştirilebilir. Bu elikler, karbon oranlarına göre genel dövme çelikleri, mil çelikleri ve aşınmaya dayanıklı çelikler olmak üzere üç gruba ayrılır (İnt.Kyn.4).

a.Genel Dövmeye Çelikleri: % 0,25 ile % 0,35 arasında karbon içerirler.

b.Mil Çelikleri: % 0,35 ile % 0,45 oranları arasında karbon içerirler. Mil, tel ve dingil yapımında kullanılırlar.

c.Aşınmaya Dayanıklı Çelikler: % 0,45 ile % 0,55 arasında karbon içerirler. Ray, ray tekerleği, silindir ve pres kalıplarının yapımında kullanılırlar.

3.2.1 Genel yapı çelikleri

Genel yapı çeliği, çekme dayanımı ve akma sınırı ile tanımlanan ancak biçimlendirme (ısıtıl işlemi uygulanmamış) suretiyle yapılan ve normleştirme tavı uygulanmış veya uygulanmamış durumdaki alaşımsız ve az alaşımlı çeliklerdir (İnt. Kyn.5).

Yapı çelikleri ilk planda, çekme dayanımları ve akma sınırı değerleri göz önünde tutulduğundan çelik konstrüksiyon, köprü yapımı, basınçlı kap ve donanımları, taşıt yapımı ve makine konstrüksiyonlarında, levha, sac, bina, gemi yapımında kullanılırlar. Genellikle filmaşın, yuvarlak köşeli, lama şeklinde çubuklar, profiller, kütükler, blumlar ve dövülmüş parçalar halinde piyasaya verilirler. Perçin, civata ile birleştirilebilirler. Elektrik direnç kaynağı ve diğer yöntemler ile kaynak yapılabilirler. Kütle halinde üretilen ticari kalitedeki bu çelikler dünyada kullanılan çeliklerin miktar olarak çok büyük bir bölümünü oluştururlar (KOSGEB 1992, TDÇİGM 1997).

4. TANE BOYUTUNU ETKİLEYEN ISIL İŞLEMLER

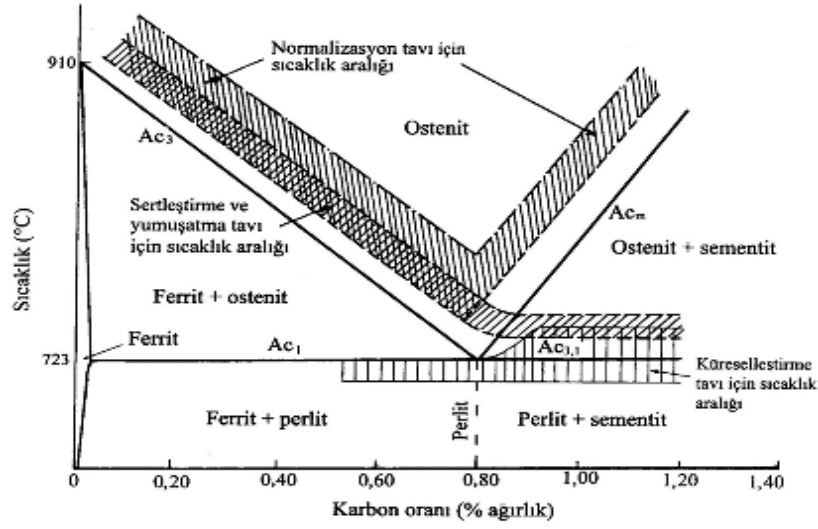
Genel anlamda ısıtma işlemi, metal veya alaşımlara istenilen özellikleri kazandırmak amacıyla katı halde uygulanan kontrollü ısıtma ve soğutma işlemleri olarak tanımlanır (Savaşkan 1999).

Türk standartlarındaki tanımı ise, katı haldeki metal veya alaşımlara belirli özellikler kazandırmak amacıyla bir veya daha çok sayıda, yerine göre birbiri peşine zamanlanarak uygulanan ısıtma ve soğutma işlemleri olarak verilmektedir (TSE 1112 EN 10052).

Çeliklere uygulanan bütün temel ısıtma işlemleri, östenit fazının dönüşümü ile ilgilidir. Dönüşüm ürünlerinin türü, bileşimi ve metalografik yapısı çeliğin fiziksel ve mekanik özelliklerini büyük ölçüde etkiler. Diğer bir deyişle bir çeliğin fiziksel ve mekanik özellikleri içerdiği dönüşüm ürünlerinin cinsine, miktarına ve metalografik yapısına bağlıdır.

Çeliğin ısıtma işlemine temelde östenitleştirme ile başlanır. Bu işlem için çelik malzeme, alt kritik sıcaklık çizgisinin (A_{c1}) üzerindeki bir sıcaklığa kadar ısıtılır. Çoğu durumlarda çeliğin belirlenen sıcaklığa kadar ısıtılmasında seçilen ısıtma hızı, iç gerilim içeren malzeme durumuna göre ve çeliğin kesit durumuna göre farklılıklar göstermektedir (Savaşkan 1999).

Şekil 4.1’de demir karbon denge diyagramında çeşitli ısıtma işlemlerinin uygulama sıcaklık bölgeleri gösterilmektedir.



Şekil 4.1 Alaşımız çeliklere uygulanan Yumuşatma, Normalizasyon, Küreselleştirme ve Sertleştirme işlemleri için tavlama sıcaklık aralıkları (Savaşkan 1999).

Ötektoid altı çelikler üst kritik sıcaklık çizgisinin (Ac_3) 40–60°C üzerindeki sıcaklıklarda östenitleştirme işlemine tabi tutulurlar. Ac_3 çizgisinin altındaki sıcaklıklarda çelik içerisinde ötektoid dışı ferrit bulunmaktadır. Bu fazın oranı çeliğin karbon oranına bağlıdır. Ötektoid dışı ferrit, su verme işleminden sonrada yapıda kaldığından, çelik içerisinde yumuşak bölgelerin oluşmasına neden olur. Sonuçta malzemenin sertleşmesi engellenir, kırılmaya karşı olan direnç de artar. Ötektoid üstü çelikler ise, Ac_1 ile bu çeliklere ait üst kritik sıcaklık çizgisi (Ac_m) arasındaki sıcaklıklarda östenitleştirilirler (Gregory 1958).

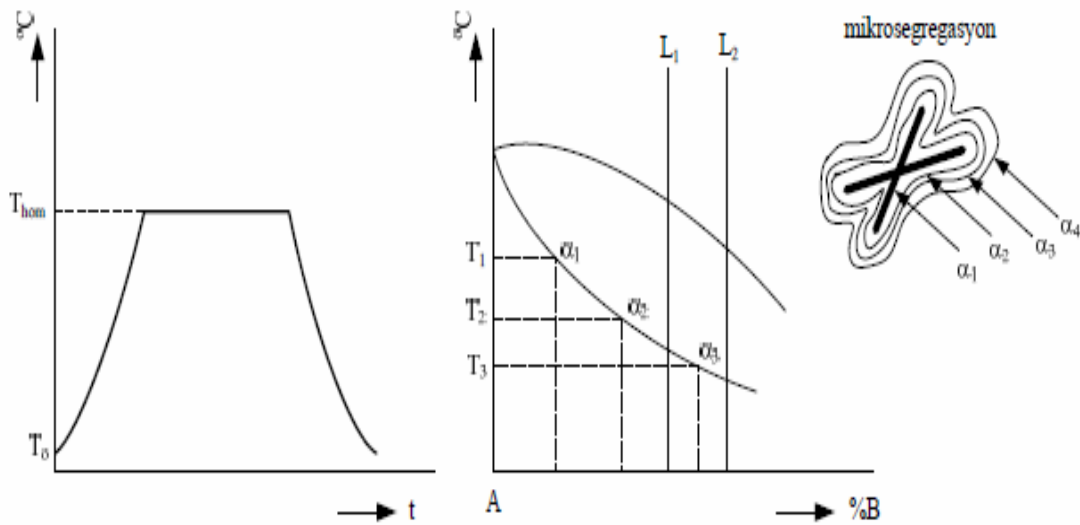
4.1 Difüzyon Tavlaması (Homojenizasyon, Homojenleştirme Tavlaması)

Genellikle haddeleme öncesinde tav çukurlarında ingotlara uygulanan ısı işlemidir. Malzeme içerisinde bulunan gevrekleştirici katışkıların bazıları çözünebilir ve tane sınırlarından tane içine yayılır. Oksitler, karbürler, nitrürler vb. katışkılar ise çözünemez ve küresel bir şekil alırlar. Isıl işlem sonucunda, yassı mamullerin yarı mamulü olan ingotların şekillendirilmesi iyileştirilmiş olur (Akdoğan Eker 2008).

Birincil kristalleşme sonucunda oluşan kimyasal bileşim farklılıklarını (mikrosegregasyonu) gidermek için yaklaşık 1100 °C- 1300 °C arasında 6–12 saat veya 50 saat süre ile uygulanır.

Böylelikle ikincil kristalleşmede (örneğin sıcak şekillendirmede) ortaya çıkacak bantlı içyapının oluşması önlenir. Şekil 4.2’ de iki bileşimli alaşımın denge diyagramı ve mikrosegregasyon gösterilmektedir (Akdoğan Eker 2008).

Mikrosegregasyon;



Şekil 4.2 İki bileşimli alaşımın denge diyagramı ve mikrosegregasyon (Akdoğan Eker 2008).

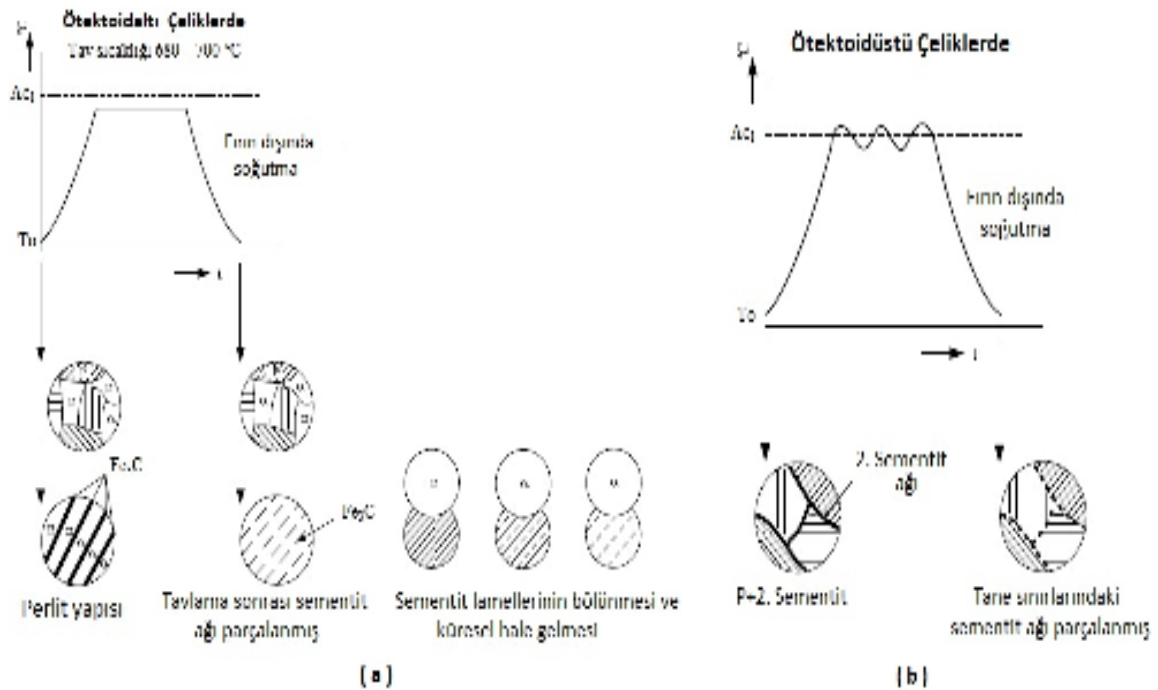
L_1 alaşımı ergiyik halden soğutulurken, T_1 sıcaklığında, bileşimleri α_1 olan ilk katı çözelti kristalleri oluşur. T_2 sıcaklığında ise, yalnız o andaki değil, daha önce ayrışan katı çözeltilerin tümünün bileşimi α_2 olmalıdır. Bunun için, α_1 belirli miktar B’ yi bileşimine almak zorundadır. Ancak, hızlı soğuma nedeniyle bu kütle transferi, denge durumunun gerektirdiğinden genellikle daha azdır. Yani ilk ayrışan α_1 katı çözeltileri, α_2 bileşimine ulaşamazlar. T_2 sıcaklığında oluşan α_2 katı çözelti kristalleri, α_1 çekirdeklerinin çevresine tabakalar halinde yerleşirler. Böylece tüm katı çözeltilerin ortalama bileşimi α_1 civarında olur. T_3 sıcaklığında ise benzer olarak, ortalama bileşim α_3 ise, kaldiraç bağıntısına göre, geriye α_3 ergiyiğinin kalması gerekir. Bu nedenle de ergiyik katılaşmaya devam edebilir ve katılaşma sıcaklığının altındaki sıcaklıklara düşebilir. Dolayısıyla tanelere bir T_4 sıcaklığında, α_4 katı çözeltisi tabakası eklenir.

Mikrosegregasyon, katılaşma aralığı büyüdükçe, soğuma hızı arttıkça ve alaşımı oluşturan elementlerin yayınma katsayıları küçüldükçe daha fazla ortaya çıkar. Yoğunluk farkından dolayı olan bileşim farklılığı makrosegregasyon, kimyasal bileşim farklılığı ise mikrosegregasyon olarak isimlendirilir (Akdoğan Eker 2008).

4.2 Yumuşatma Tavlaması (Yumuşak Tavlama, Küreleştirme Tavlaması)

$C \geq \%0,4$ olan çeliklerde talaşlı işlemeyi, $C < \%0,4$ olan çeliklerde soğuk şekillendirmeyi kolaylaştırmak amacıyla uygulanır. Tavlama sıcaklığı çeliğin ötektoid altı ya da ötektoid üstü olmasına göre değişir. Tavlama süresi ise 5 saat' den az olmamalıdır. Bazen 100 saat olabilir.

Yumuşatma tavlaması; Şekil 4.3' de de görüldüğü gibi ötektoid altı çeliklerde sert perlit tanelerindeki sementit lamellerini parçalamak, ötektoid üstü çeliklerde ise hem perlit tanelerindeki sementit lamellerini hem de tane sınırlarındaki 2.sementit ağını parçalamak amacı ile uygulanır (Akdoğan Eker 2008).

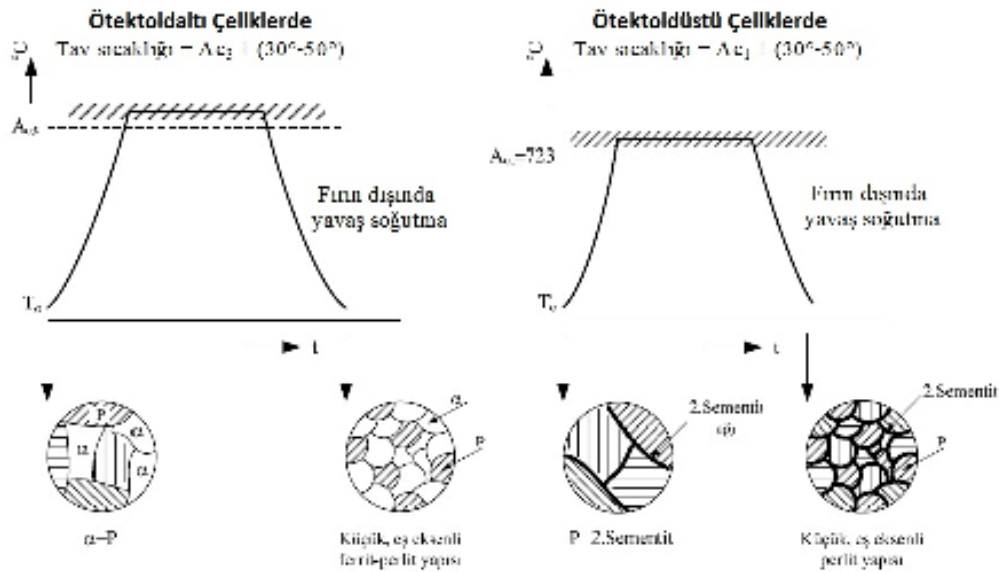


Şekil 4.3 (a)Ötektoid altı çeliklerde sert perlit tanelerindeki sementit lamellerinin parçalanmasının, (b)Ötektoid üstü çeliklerde hem perlit tanelerindeki sementit lamellerini hemde tane sınırındaki 2.sementit ağının parçalanmasının şematik gösterimi (Akdoğan Eker 2008).

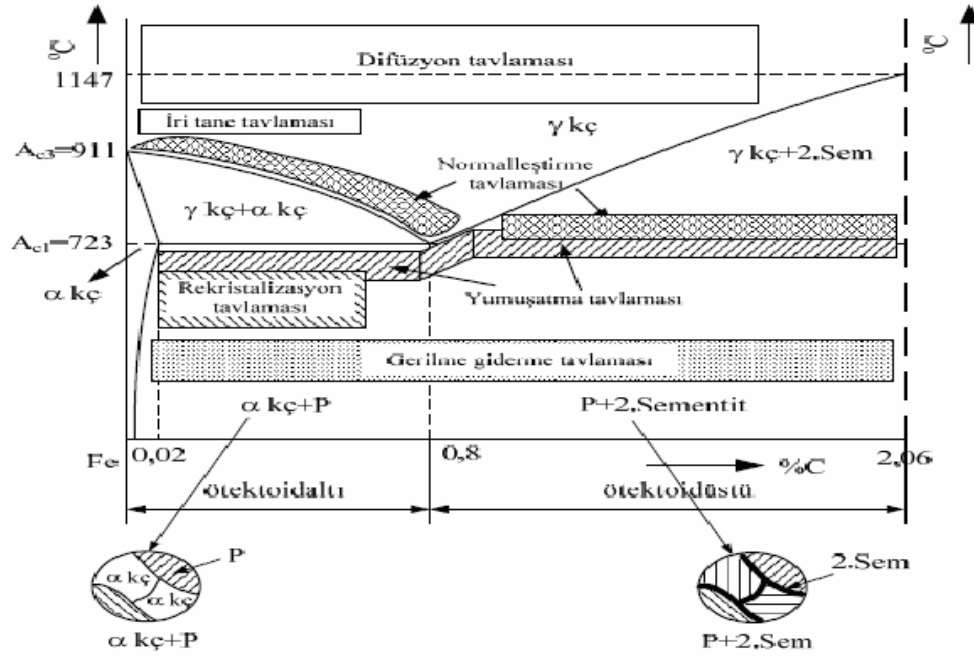
4.3 Normalleştirme Tavlaması (Normalizasyon) Tavlaması

Normalleştirme tavlaması sonunda, küçük ve eş eksenli tanelerden oluşan perlitik ferritik içyapı elde edilir. Normalleştirme tavlaması soğuk şekil verme sonrasında uzamış taneleri başlangıç yapısına döndürmek ve döküm içyapısı olan widmanstatten yapısını iyileştirmek amacıyla yapılır.

Widmanstatten yapısında yumuşak ferrit levhaları ile sert perlit kolonileri birbiri içine girdiğinden malzeme olduğundan daha çok perlit içeriyormuş gibi davranır. Diğer bir deyişle, malzeme aynı kimyasal bileşimde ve içinde perlit odacıkları bulunan ferritik mikro yapıya sahip çelikten daha sert ve gevrektrir. Sıcak haddeleme sonucunda oluşan bantlı mikro yapının giderilmesi, kaynaklı parçalarda (tane büyüklüğü farklı olan hadde yapısı ve döküm içyapısının bir arada olduğu durumlarda), difüzyon tavlaması sonucunda irileşmiş tanelerin inceltilmesi, tavlama işlemi sonucunda, malzemenin mekanik özelliklerinde, özellikle de toklukta artış sağlanır. Tav süresi, et kalınlığına göre 30–60 dk. arasındadır. Basınçlı kaplara mutlaka bu tavlama işlemi uygulanmalıdır. Şekil 4.4’ de ötektoid altı ve ötektoid üstü çeliklerde normalleştirme tavlamasının şematik olarak, Şekil 4.5’ de ise Fe – C faz diyagramının çelik bölümü gösterilmiştir (Akdoğan Eker 2008).



Şekil 4.4 Ötektoid altı ve ötektoid üstü çeliklerde normalleştirme tavlamasının şematik gösterimi.



Şekil 4.5 Fe-C faz diyagramının çelik bölümü (Akdoğan Eker 2008).

4.4 Küreselleştirme Tavı

Küreselleştirme tavı, çelikleri A_{c1} sıcaklık çizgisi civarında uzun süre tuttuktan ve bu bölgede salınlı olarak tavladıktan sonra, yavaş soğutma ile karbürlerin küresel şekle dönüştürülmesi işlemidir. Bu işlem, östenitleştirmeden sonra kontrollü soğutma ile de yapılabilir.

Yumuşatma tavı işleminde belirtildiği gibi, tavlannmış durumdaki ötektoid üstü çelikler mikroyapılarında sert ve gevrek sementit tanelerinin bulunması nedeniyle işlenmeye elverişli değildir. Bu tür çeliklerin işlenmesini kolaylaştırmak ve sünekliğini artırmak amacıyla da küreselleştirme tavı uygulanır.

Küreselleştirme tavı aşağıdaki yöntemlerden biri ile gerçekleştirilir;

- Çelik malzeme A_{c1} çizgisinin hemen altındaki bir sıcaklıkta (Örneğin 700 °C) uzun süre (15 – 25 saat) tavllanır.

b) Çelik malzeme, düşük kritik sıcaklık çizgisinin (Ac_1) hemen altında ve üstündeki sıcaklıklar arasında ısıtılıp soğutulur, yani salınlımlı olarak tavllanır.

c) Malzeme, Ac_1 kritik sıcaklık çizgisinin üzerindeki bir sıcaklıkta tavlandıktan sonra ya fırında çok yavaş soğutulur, ya da Ac_1 çizgisinin hemen altındaki bir sıcaklıkta uzunca bir süre tutulur.

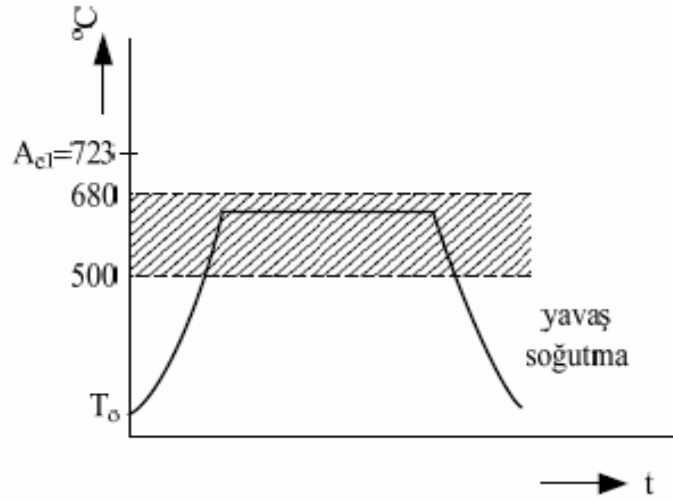
Küreselleştirme tavlama, daha çok yüksek karbonlu çeliklere uygulanır. Düşük karbonlu çelikler nadiren küreselleştirme tavlama tabii tutulurlar. Çünkü bu tür çelikler küreselleştirme tavlama sonunda çok yumuşarlar ve bu aşırı yumuşama talaşlı işleme sırasında bazı zorluklar doğurur. Orta karbonlu çelikler ise yeterli ölçüde süneklik kazanmaları için plastik şekil verme işleminden önce, bazen küreselleştirme tavlama tabii tutulurlar.

Küreselleştirme tavlama sırasında tavlama süresinin iyi ayarlanması gerekir. Eğer çelik, gereğinden daha uzun süre tavlansa sementit parçacıkları birleşerek uzama gösterirler ve bu durum çeliğin işleme kabiliyetini olumsuz etkiler (İnt.Kyn.6).

4.5 Gerilim Giderme Tavlama ve Ara Tavlama

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

İşlem sıcaklığı malzemenin kimyasal bileşimine göre, alaşımsız ve az alaşımlı çeliklerde 500–680°C arasındadır. Tav süresi ise 0,5–1 saat arasındadır. İşlemin başarılı sonuç verebilmesi için, soğuma işleminin yavaş yapılması gerekir. Aksi takdirde soğuma farkı nedeniyle, malzeme içinde tekrar iç gerilmeler oluşabilir. Şekil 4.6' da gerilim giderme tavlama şematik olarak gösterilmiştir (Akdoğan Eker 2008).



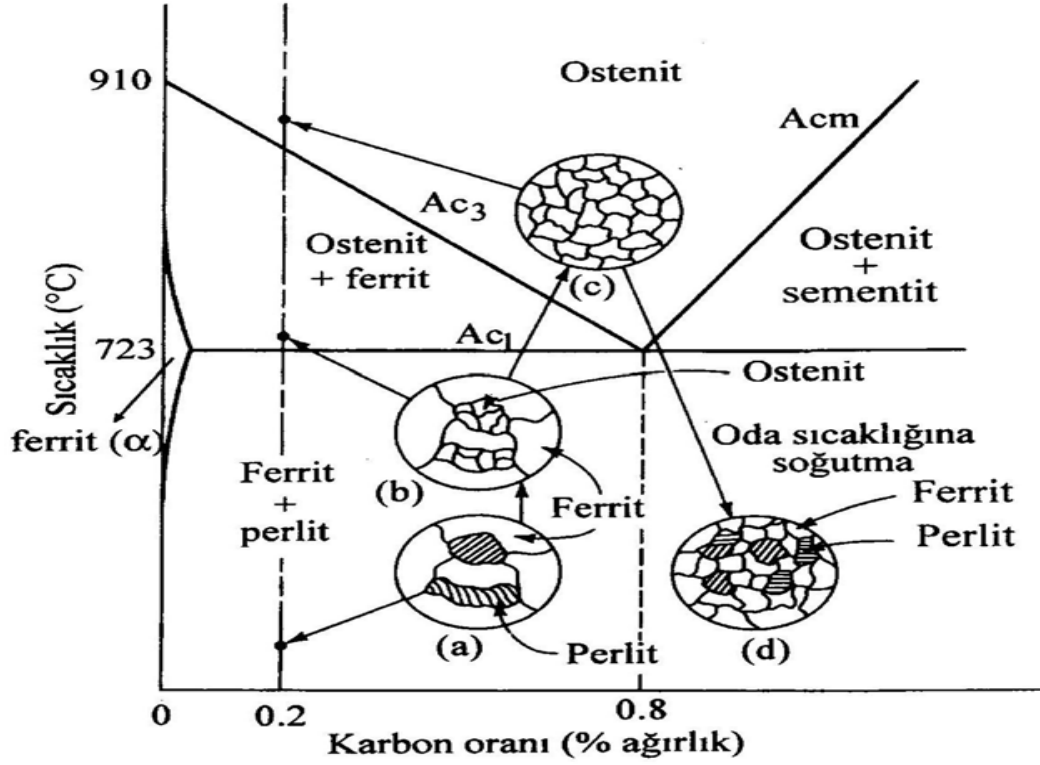
Şekil 4.6 Gerilim giderme tavinin şematik gösterimi (Akdoğan Eker 2008).

Ara Tavı

Gerilim giderme tavına çok benzeyen bir işlem olup, ötektoid altı çeliklerden sac ve tel yapımında soğuk şekillendirmeye devam edebilmek için çelik malzemelerin A_{c1} dönüşüm sıcaklığının hemen altındaki bir sıcaklığa (550–680 °C) kadar ısıtılıp, yeniden kristalleşme sağlandıktan sonra yavaş soğutulması işlemidir (Gökçe 2004).

4.6 Tam tavlama

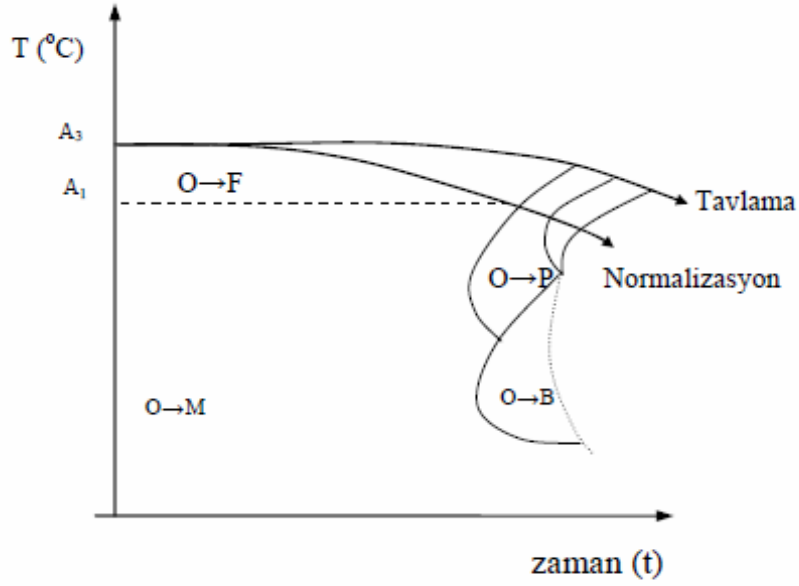
Tam tavlama çeliğin uygun sıcaklıkta ısıtılması ve faz dönüşümü için yavaş soğutulmasından (genellikle fırın içerisinde) ibarettir. Soğutma işlemi fırın içerisinde oda sıcaklığına kadar devam etmektedir. Bu ısıl işlemin genel amacı, taneleri küçültmek, sertliği düşürmek, işlenebilirliği arttırmak, elektrik ve manyetik özellikleri geliştirmek için yapılır. Ötektoid altı çelikler tam tavlama için A_{c3} (üst kritik) sıcaklığının 30–50°C üzerinde ısıtılır. Faz dönüşümü tamamlandıktan sonra fırında yavaş soğutulur. Soğuma hızı ortalama olarak alaşımlı çelikler için 30–100°C/saat, karbonlu çelikler için 200°C/saat alınmaktadır. Şekil 4.7' de kaba taneli bir ötektoid altı çeliğinin tam tavlama ile tanelerinin küçültülmesi şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 4.7 % 0,2 Karbon içeren çeliğin Tam Tavlama sırasında oluşan iç yapı değişikliklerinin şematik gösterimi (Savaşkan 1999).

Bu çeliğin Ac_1 e kadar ısıtılması aşamasında tanelerinde değişiklik gözlenmez. Ac_1 'in hemen üzerinde perlit, küçük taneli östenite dönüşür. Ferrit ise değişmez. Isıtma işleminin Ac_3 sıcaklığına kadar devam etmesiyle kaba ferrit taneleri küçük östenit tanelerine dönüşmekte ve Ac_3 sıcaklığının ortalama 30–50°C kadar üzerinde ise mikro yapı tamamen küçük taneli östenit olur. Soğutma işleminin fırın içerisinde düşük hızda olması ve bunun oda sıcaklığına kadar devam etmesi durumunda küçük östenit taneleri küçük ferrit ve perlit bölgeciklerini meydana getirmektedir. Sonuçta oluşan bu fazlar, çeliğin mekanik özelliklerine etki eder, kırılmaya karşı olan direncini artırır (Weissbach 1998, Prabhudey 1992).

Tam tavlamanın, östenitin izotermik parçalanma diyagramıyla ilişkisi Şekil 4.8' de gösterilmektedir.



Şekil 4.8 Östenitin izotermik parçalanma diyagramı.

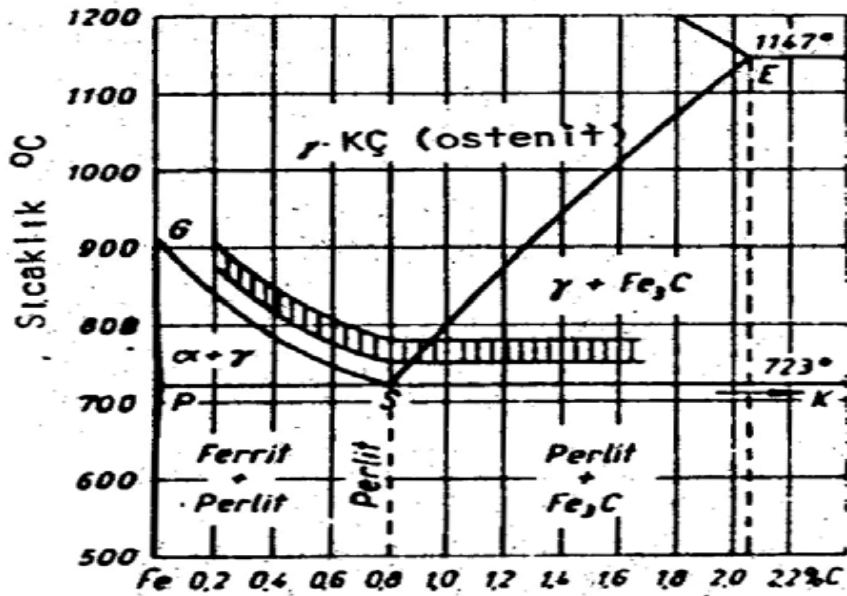
Yapılan çalışmalardan edinilen bilgilere göre, eğer çelik malzeme östenit bölgesindeki (911–1392 °C) yüksek sıcaklıklara kadar ısıtılırsa östenit tanelerinin büyüme hızı yüksektir. Dolayısıyla östenit tane boyutu aşırı büyümektedir ve bu bölgeden soğutulduğunda tanelerin boyutu değişmez. Sonuçta yüksek sıcaklıktaki östenit bölgesinden soğutulmuş metal tanesi iri olur ve çelik malzemenin mekanik özelliklerini düşürür. Bu durumu engellemek için tam tavlama işlemi östenit çekirdeklerinin aşırı büyümeye başlayamadığı sıcaklık aralığında $A_{c3}+(30-50)^{\circ}\text{C}$ gerçekleşmektedir (Said 2003).

Ötektoid üstü çeliklere, tam tavlama ısı işlemi genellikle uygulanmaz. Bu tip çeliklerde, yavaş soğutma aşamasında tane sınırlarında sementit ağı oluşur. Sementit bilindiği üzere sert ve kırılman olması itibarıyla, genellikle çeliğin mekanik özellikleri açısından arzu edilmemektedir. Bundan dolayı ötektoid üstü çeliklere genellikle tam tavlama yerine küreleştirme tavlama yaygın olarak kullanılmaktadır (Weissbach 1998, Prabhudey 1992).

4.7 Sertleştirme

4.7.1 Sertleştirme İçin Isıtma İşlemi

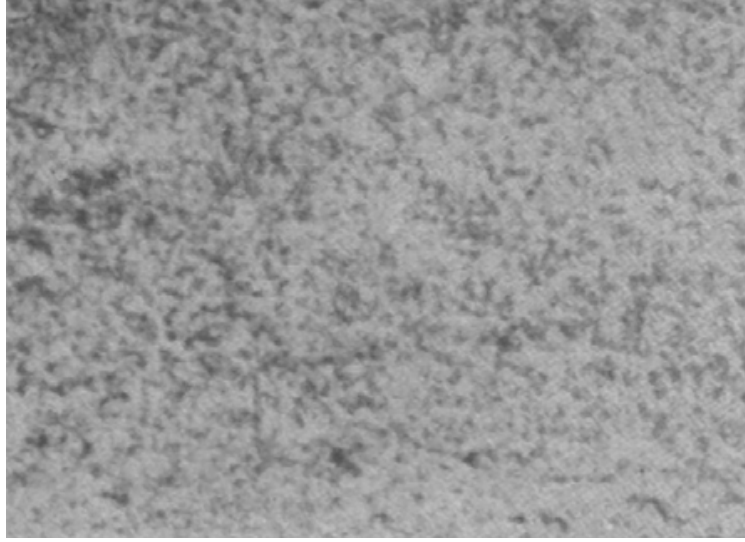
Bir çeliğin dönüşümle sertleştirilmesinde ilk aşama, çeliğin gerekli sıcaklığa kadar ısıtılması ve sertleştirme sıcaklığı ya da östenitleştirme sıcaklığı denilen bu sıcaklıkta, istenilen yapı değişikliğine ulaşmaya kadar bekletilmesinden ibarettir. Isıtma sıcaklığının yeterli homojenlikte bir östenitik yapı elde etmeli ve mevcut özel karbürlerin gereken kadarının çözülmesini sağlayacak, fakat tane büyümesine de imkân vermeyecek düzeyde olması zorunludur. Tüm çeliklerin östenite dönüşüm sıcaklığı aynı değildir ve başta karbon olmak üzere alaşım elementlerinin türü ve miktarına bağlıdır. Sertleştirme amacıyla yapılan ısıtmada tavlama sıcaklığı, alaşımsız çeliklerde karbon miktarına bağlı olarak Şekil 4.9’da verilmiştir.



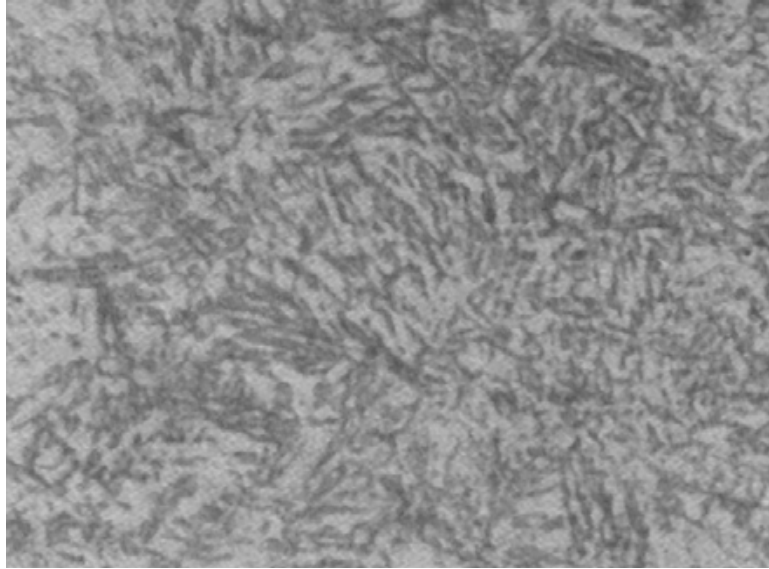
Şekil 4.9 Alaşımsız çeliklerde östenitleştirme sıcaklığı (Topbaş 1993).

Alaşımsız çeliklerde, eğer çelik otektoid altı bir alaşım ise GS (Ac_3) sınırının 30- 50 °C üzerine, otektoid ya da otektoid üstü bir alaşım ise SK (Ac_1) hattının pek az üzerine kadar ısıtmak, içyapının östenitleştirilmesi için yeterli gelir. Bu koşullarda ısıtılmış östenitik yapının ani soğutulması sonucu elde edilen martensit, oldukça ince taneli ve diğer koşullarda elde edilenlere göre nispeten sünektir. Resim 4.1’ de %0,8 C içeren

otektoid bir çeliğin 760 °C' de östenitleştirme sonrasında ani soğutulmuş mikro yapısını göstermektedir. Resim 4.2' de %0,8 karbonlu çeliğin 1000 °C sıcaklıktan ani soğutma yapısını göstermektedir (Topbaş 1993).



Resim 4.1 % 0,8 C' lu çelik, 760 °C sıcaklıktan suda ani soğutulmuş X500 (ince iğnesel ve strüktürsüz martensitik yapı).



Resim 4.2 %0,8 C'lu çelik, 1000 °C sıcaklıktan suda ani soğutulmuş X500 (kaba iğnesel martensit yapısı).

Resim 4.1 ile Resim 4.2 karşılaştırıldığında, kaba martensitik yapı çok iyi görülebilmektedir. Bu durumdaki yapı ince taneli martensite nazaran çok fazla

kırılgandır ve bu tür uygulamalardan kaçınılmalıdır. Aşırı ısıtma ile sertleştirilmiş çelikte kabul edilemeyecek bir diğer olayda, artık östenit miktarının çok yükselmesidir. Artan östenitleştirme sıcaklığıyla birlikte, ani soğutma sonrasında dönüşmeden kalan artık östenit miktarı yükselir ve istenilenden daha fazla sertlik düşmesine sebep olur. Otektoidaltı çeliklerde, ani soğutma sonrası yapıda ferrite rastlanmasıyla beklenen sertlik değerinden daha düşük değerlere ulaşılır. Çelik malzeme, demir karbon denge diyagramında $\alpha + \gamma$ çift fazlı bölgesinden ani soğutulursa, yapıda martensitin yanında ferrit de içerir. Resim 4.3' de %0,3 C' lu çelikte, 740 °C sıcaklığından ani soğutulmuş yapıyı göstermektedir. Yapıda, sert yapı olarak koyu renkli dağlanmış iğnesel martensit ve yumuşak yapı olarak açık renkli ferritik yapı, gözle fark edilecek biçimde ayırt edilebilmektedir (Topbaş 1993).



Resim 4.3 %0,3 C' lu çelik, 740 °C sıcaklıktan suda ani soğutulmuş X500. (Ferrit, Martensit).

(Ac_1) sıcaklığının 30–50 °C üzerinden sertleştirilen otektoidüstü çeliklerde, bu sıcaklıkta sementit henüz çözülemeyeceğinden, östenitin yanında ayrıca karbür de bulunur. Martensitten daha sert olan bu karbürler ani soğutmadan sonra martensitik ana yapı içerisinde yerleşerek çeliğin aşınmaya karşı dayanımını artırır ve kısmen de olsa arzu edilen mekanik özelliklere ulaşılmaktadır. otektoidüstü çelikler, önceden yumuşak tavlama ya da normal tavlama yapılmadan sertleştirilirse, tane sınırlarında band formunda ya da tane içlerinde çubukçuk formunda sekonder sementit içerirler ve çelikte çok fazla kırılganlık yaparlar. Alaşımli çeliklerde karbonun dışındaki alaşım elemanları da otektoid noktaya önemli ölçüde etki yaptıklarından, alaşım elemanlarının türü ve

miktarlarına göre bu sıcaklık alanı değişmektedir. Alaşım elementleri otektoid noktayı sola doğru kaydırmasına karşın, mangan ve nikel otektoid sıcaklığını düşürücü, krom, silisyum, volfram, molibden ve titan ise yükseltici etki gösterir (Gregory 1958).

4.7.2 Sertleştirme Sıcaklığında Tutma Süresi

Sertleştirme sıcaklığında tutma süresi, katı eriyik içine alınması istenilen karbür miktarına bağlıdır. 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 ulaştıktan sonra bu sıcaklıkta 5–15 dakikalık bir tutma süresi genellikle yeterli olmaktadır.

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.

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

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. Tüm takım çelikleri arasında yüksek kromlu olanların tutma süresi en fazladır. Ancak, bu çeliklerin tutma süreleri büyük ölçüde sertleştirme sıcaklığına bağlıdır (Thelning et al. 1984).

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. 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 (Thelning et al.1984).

4.7.3 Su Verme ve Soğutma

a) Doğrudan Su Verme

Doğrudan su verme orijinal bir sertleştirme yöntemi olarak bilinir ve halen yaygın kullanım alanına sahiptir. Bu yöntemde göre çelik sertleştirme sıcaklığından oda sıcaklığına ya doğrudan su verilerek soğutulur ya da kullanılan soğutma ortamının sıcaklığının çok az üzerindeki bir sıcaklığa kadar soğutulur. Bu soğutma ortamı su, yağ veya hava olabilir (Çelik ve Isıl İşlemi). Şekil 4.10 'da tek soğutucu ortamda su verme yönteminin ve diğer soğutma ortamlarının TTT diyagramı ile ilişkisi gösterilmektedir (Said 2003).

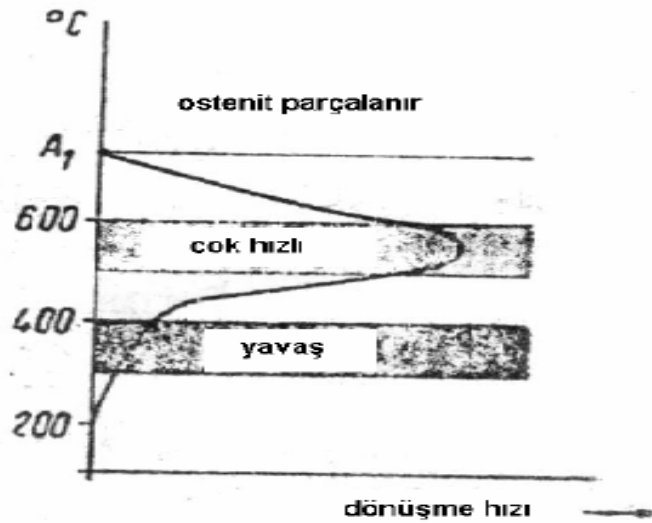


Şekil 4.10 Soğutma ortamlarının TTT diyagramıyla ilişkisi (İnt.Kyn.7).

Su verme ortamı, çeliğin ısını, parçanın kritik soğuma hızını aşacak şekilde absorbe etmelidir. Ancak bu şekilde östenitten martensitik bir içyapı teşekkül eder. Çizelge 4.1' den ve Şekil 4.11' den görüldüğü üzere kritik soğuma hızı (Vk) çeliğin kimyasal bileşimine bağlıdır ve alaşımsız çeliklerde karbon miktarı azaldıkça bu hız yükselir. Alaşım elementleri, özellikle manganez, kritik soğuma hızını düşürürler.

Çizelge 4.1 Manganez miktarına bağlı olarak kritik soğuma hızı (Weissbach 1998).

C (%)	Mn (%)	Vk (°C/san)
0,6	-	1800
0,6	0,3	750
0,9	1,1	200
0,8	1,5	80

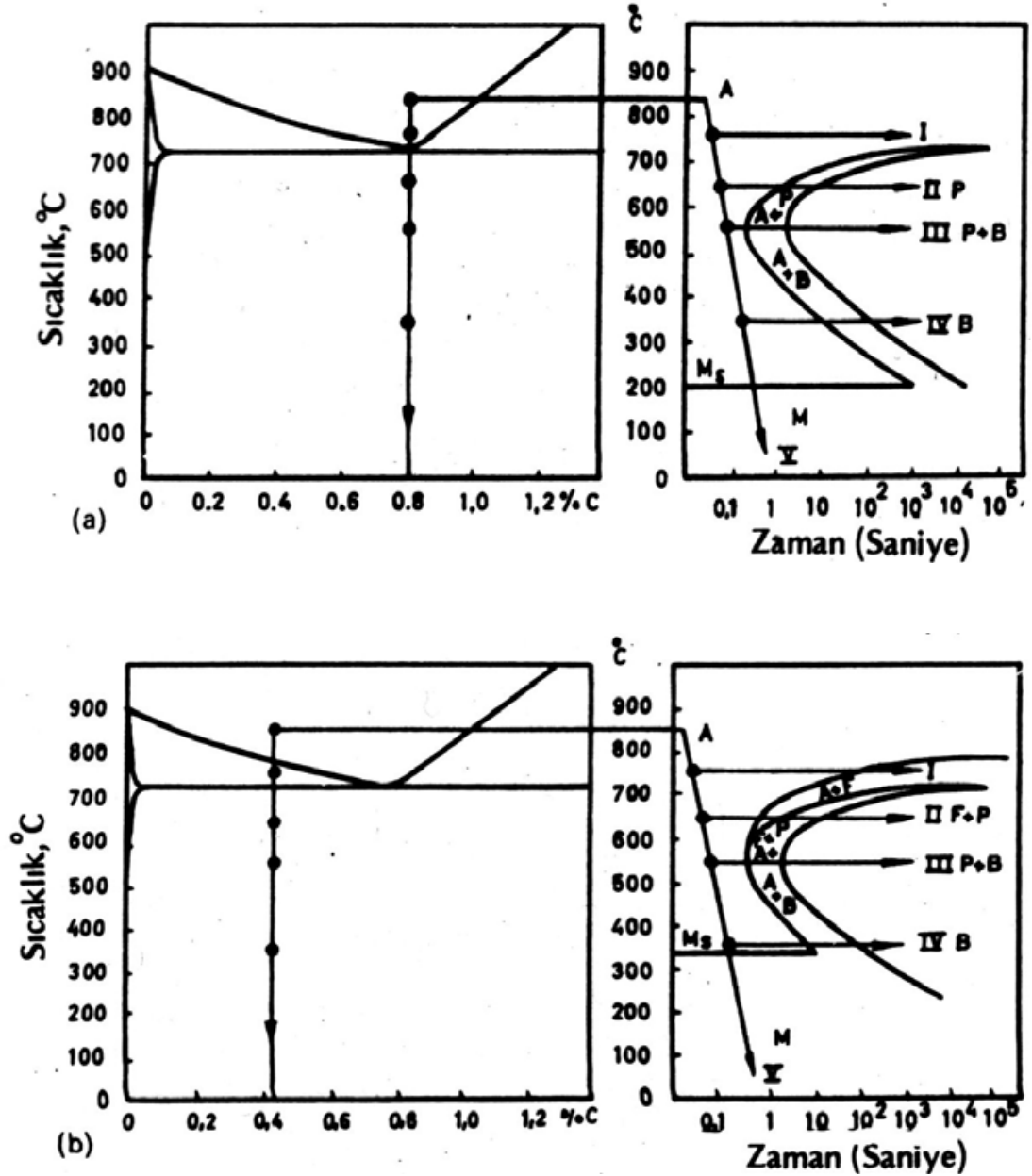


Şekil 4.11 Çeşitli sıcaklık bölgelerinde östenitin parçalanması (Weissbach 1998).

Yüksek soğutma hızının oda sıcaklığına inilinceye kadar devam etmesine gerek yoktur. Burada amaç östenitin perlitte dönüşmesini önlemektir. Şekil 4.11' de görüldüğü gibi, bu dönüşüm özellikle 550 °C civarında çok çabuk meydana gelmektedir. Bu sıcaklıkta östenit saniyeden daha kısa bir zamanda çok çabuk ince lamelli perlit haline dönüşür (Weissbach 1998).

b) Soğuma Esnasında Martensitin Oluşumu

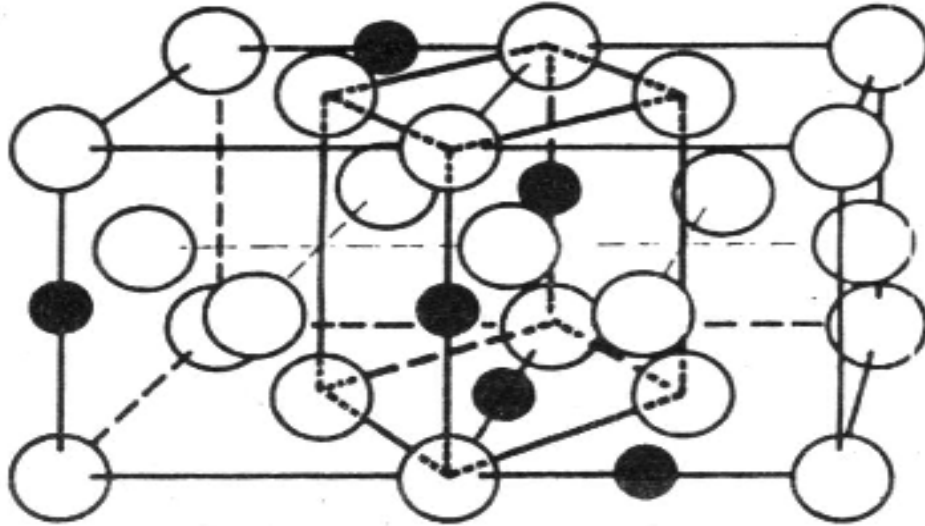
Şekil 4.12 a ve b' de görüldüğü gibi eğer soğuma V eğrisiyle temsil edildiği şekilde meydana gelirse, örneğin çok hızlı soğuma, östenit; M hattına ulaşıldığında ferrite dönüşmeye başlayacaktır.



Şekil 4.12 a) %0,8 C' lu çeliğin TTT diyagramı b) %0,45 C' lu çeliğin TTT diyagramı (Weissbach 1998).

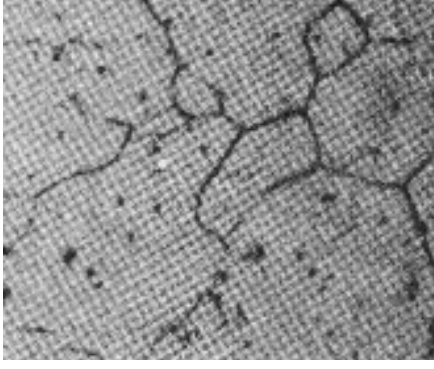
Eğer soğumaya M_s nin altında devam edilirse östenitin dönüşümü sırasında çok az karbon hareketi olacak, böylece karbon atomları α demiri katı eriyiği içerisinde kalacaklardır. Karbon atomlarının yerleşebilecekleri mevcut boşluklar γ demirine oranla α demirinde daha az olduğu için, α demiri kafesinde bir genişleme söz konusu olacak ve böyle bir gerilmeli durum çeliğin sertleşmesine yol açacaktır. Sertleşme sonrası oluşan ve karbonun α demiri içerisinde aşırı doymuş eriyiği olan bu faza martensit adı verilir (Weissbach 1998).

Şekil 4.13' de martensit oluşumu sırasında γ demirinden, α demirine geçişin şematik olarak gösterilişi sunulmaktadır.

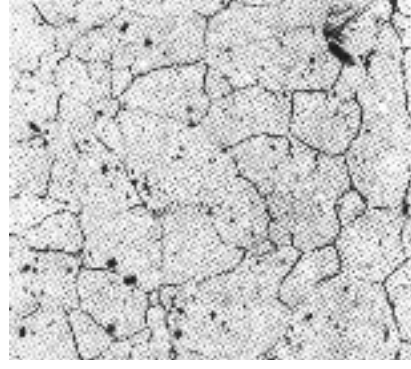


Şekil 4.13 Östenitten (γ) Martensite (α) dönüşümünün kafes modeli (Weissbach 1998).

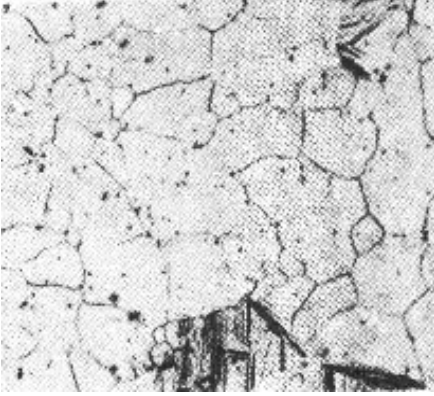
Dönüşüm diyagramlarında görüldüğü gibi, perlit ve beynit oluşması zamana bağlı olarak ilerlediği halde, martensit teşekkülünde böyle bir durum söz konusu değildir. M_s altındaki her bir sıcaklık belli bir martensit oluşum yüzdesine tekabül etmektedir, ancak oluşan gerçek martensit miktarı çeliğin cinsine, östenitleme işleminin koşullarına ve sertleştirme için uygulanacak soğutma hızına bağlıdır (Weissbach 1998). Resim 4.4' de martensit oluşumunun adım adım ilerleyişi görülmektedir.



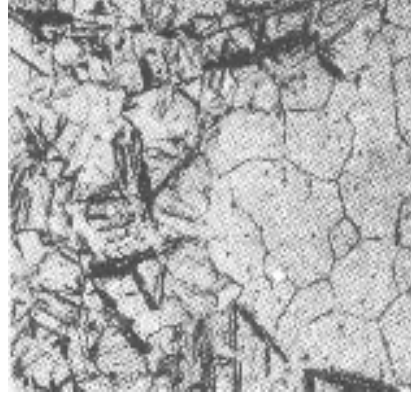
(a)



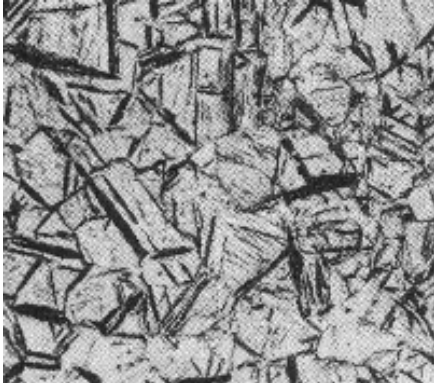
(b)



(c)



(d)



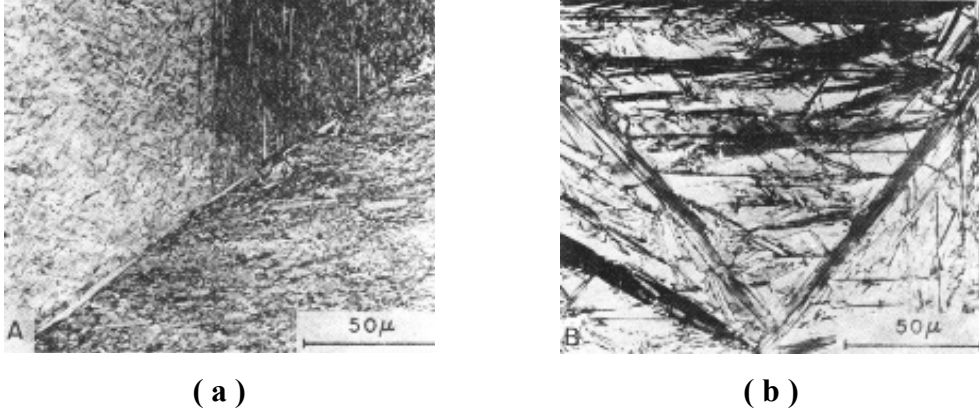
(e)



(f)

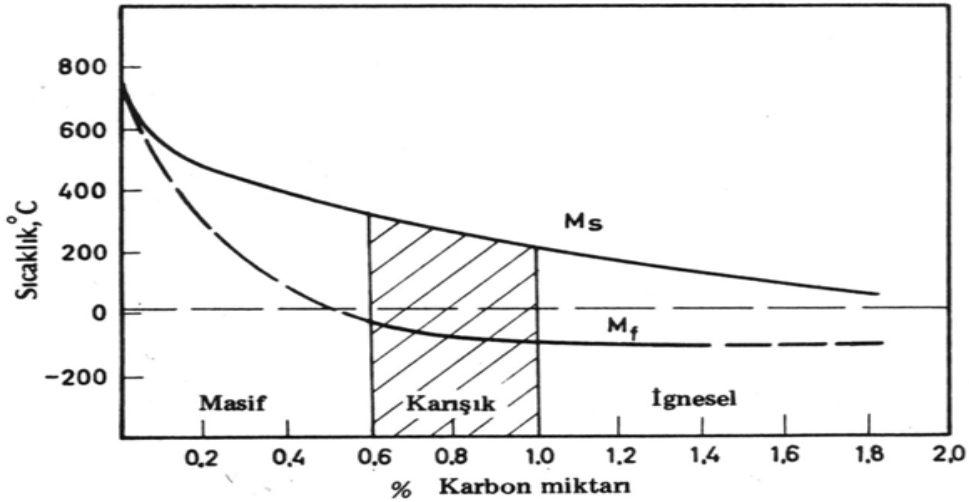
Resim 4.4 Düşük sıcaklıklarda Östenitin Martensite ardı ardına dönüşümü. (a)280°C (b) 220°C (c) 200°C (d) 195°C (e) 180°C (f) 175°C

Marder ve Krauss Fe-C alaşımlarında martensitin yapısını incelemişler ve “masif martensit” ve “iğnesel martensit” adı verilen iki çeşit martensitin var olduğunu bulmuşlardır. Resim 4.5’ de bu martensitlerin biçimleri görülmektedir.



Resim 4.5 (a) Masif Martensit, (b) İğnesel Martensit.

Masif martensit % 0,6 ya kadar karbon içeren çeliklerde mevcuttur. Böyle bir tür martensit birbirine paralel olarak uzanmış ince plakalardan oluşmaktadır. Bir alaşımsız çelik için martensit başlama ve bitiş sıcaklığı Şekil 4.14' den de görüldüğü gibi karbon içeriğine bağlıdır.

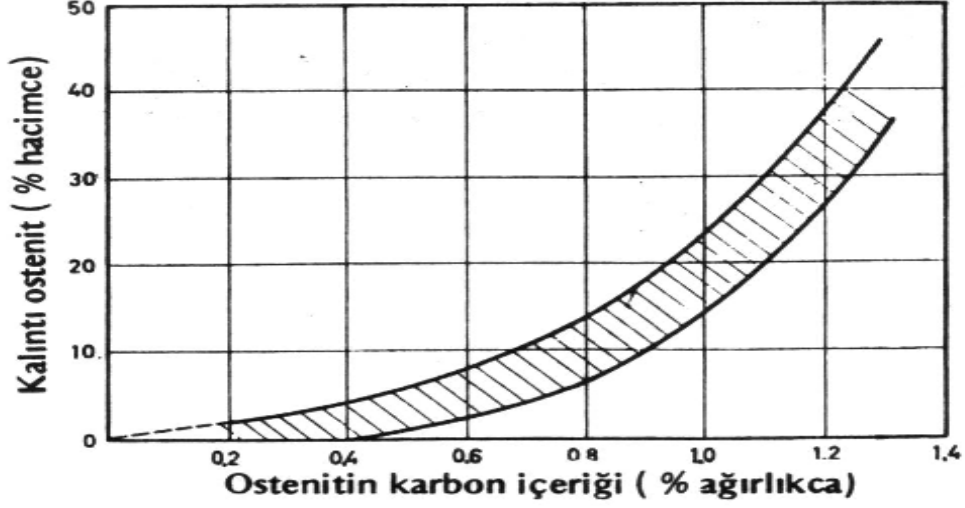


Şekil 4.14 Alaşımsız bir çelikte östenitik karbon (östenit içerisinde çözünmüş) miktarının Ms ve Mf sıcaklığına etkisi (Weissbach 1998).

c) Kalıntı Östenit

Bir otektoid çelikte östenitin büyük bir kısmı oda sıcaklığına yapılan soğutma sırasında martensite dönüşür. Soğutma sonunda östenitin dönüşmemiş olarak yapıda kalan kısmına kalıntı östenit adı verilmektedir. Şekil 4.15' de bir alaşımsız çelikte kalıntı

östenit miktarının karbon miktarı ile değişimi görülmektedir. Eğer sıcaklık oda sıcaklığının altına düşürülürse östenitten martensite dönüşüm devam eder (Weissbach 1998).



Şekil 4.15 Östenit içerisinde çözülmüş (erimiş) halde bulunan karbon miktarına bağlı olarak kalıntı östenitin değişimi (Weissbach 1998).

4.8 Menevişleme (Temperleme)

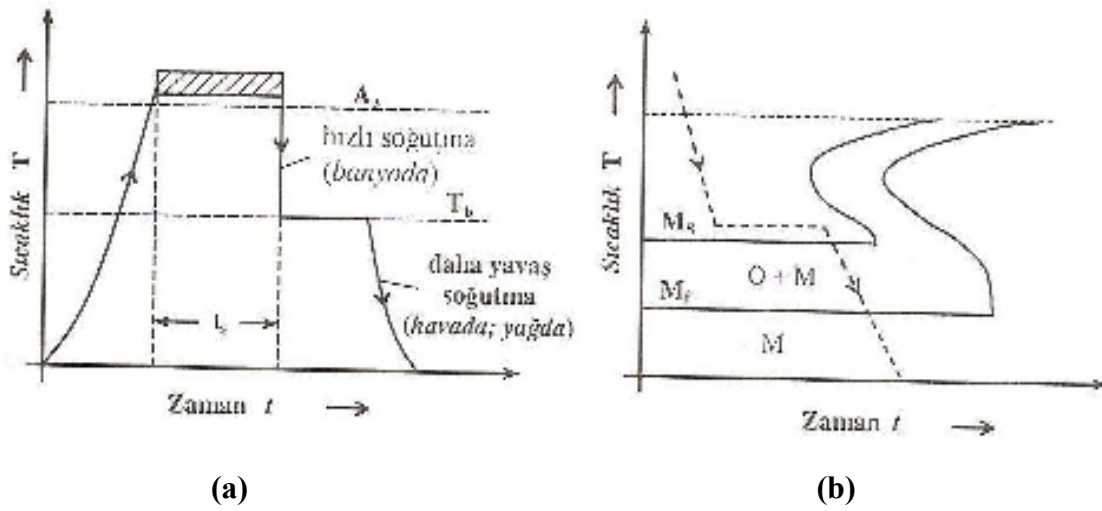
Menevişleme, sertleştirme işleminin hemen arkasından derhal yapılır. Çeliğin soğukluğu 40 °C ye düşünce hemen meneviş için ön ısıtma ile 150 – 400 °C ye ısıtılır. Yapı sementit ve ferrite dönüşür. Isıtmalar genelde homojen olsun diye tuz banyolarında yapılır. Burada 2 saat tutulur, sonra havada soğutulur. Sertlik, tokluk, mukavemet ve süneklik istediğimiz seviyede olur. Şekil 4.16’ da martenzitin, sementit ve ferrite dönüşümü gösterilmektedir (Ay 2008).



Şekil 4.16 Menevişleme’ de martenzitin, sementit ve ferrite dönüşümü (Ay 2008).

4.9 Martemperleme

Özellikle ısı gerilmeleri önlemek için öngörülür. İşlem parçası östenitleştirme sıcaklığından, M_s üzerindeki bir sıcaklığa ($T_{banyo} \geq M_s$, ama M_s ' e yakın tutulan bir tuz banyosunda) hızla soğutulur, parça bütününde homojen bir sıcaklığa ulaşınca ya kadar banyoda bekletilir. Müteakiben, beynitik dönüşüm sınırına varmadan, çıkarılan parça çok hızlı soğutmaya gerek kalmadan martenzit oluşacak şekilde yağda veya havada soğutulur. Şekil 4.17' de martemperleme için ısı işlem programı ve ZSD diyagramındaki yeri şematik olarak gösterilmektedir (Demirci 2004).



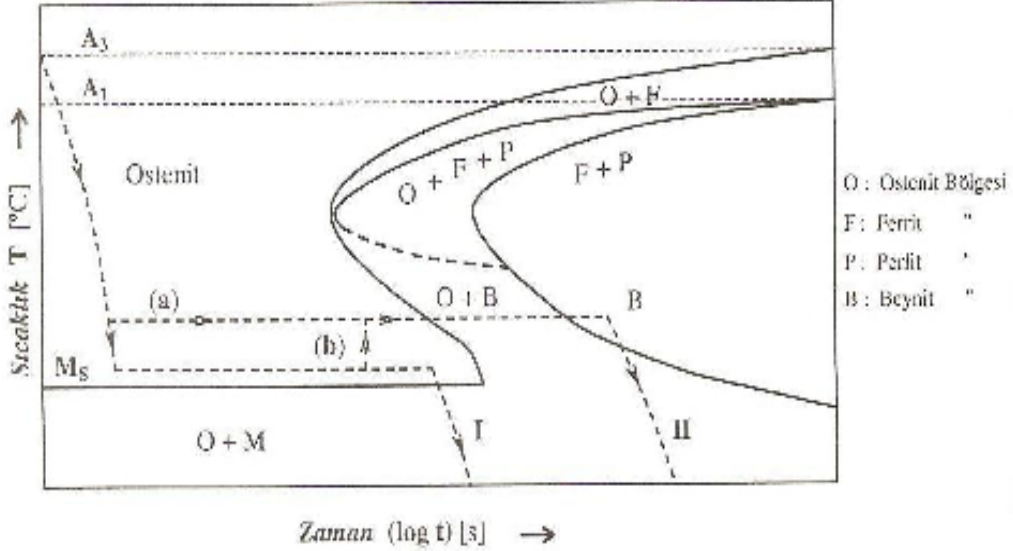
Şekil 4.17 (a) Martemperleme için ısı işlem programı ve (b) ZSD diyagramındaki yerinin şematik gösterimi (Demirci 2004).

Martemperleme sonunda, martenzitik yapıya gereken miktarda tokluk kazandırmak için yinede temperleme işlemi lüzum edecektir (Demirci 2004).

4.10 Östemperleme

Bu işlem için de martemperlemede zikredilen amaçlar geçerlidir. Nihai iç yapı ve sonuç itibari ile (temperleme süresi ve sıcaklığına göre farklı derecede nicelik farkı gösterebilir) temperlenmiş “martemperleme yapısı” na benzeyen bir ara yapıdır. Bu bakımdan östemperlemeden sonra, parçanın ayrıca temperlenmesine gerek kalmaz.

Östempereleme için parça yine östenitleştirme sıcaklığından, M_s 'in hemen üzerindeki bir banyo sıcaklığına ($T_{banyo} \geq M_s$) kadar hızla soğutulur. Şekil 4.18' de sıcak banyoda soğutma işleminin ZSD diyagramındaki yeri şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.18 Sıcak banyoda soğutma işlemlerinin ZSD diyagramındaki yerinin şematik gösterimi (Demirci 2004).

I) Martemperleme

II) Östempereleme a) Sabit sıcaklıkta bey nitik dönüşüm

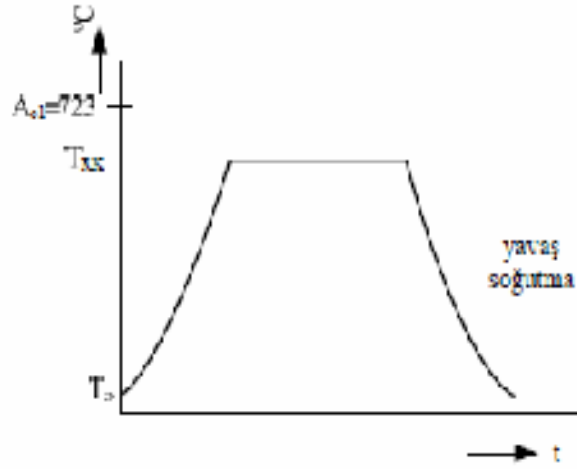
b) Değişik sıcaklıkta (kesikli) dönüşüm

Parça bu sıcaklıkta bütünüyle homojen bir sıcaklığa ulaşınca kadar γ - yapısında tutulmuş olur, çünkü parça malzemesinin ZSD diyagramına göre bey nitik yapıya kavuşması için seçilen banyo sıcaklığında belli bir süre bekletilmesi gerekir. Bey nitik dönüşüm sınırına ulaştıktan sonra çıkarılan parça çok hızlı soğutmaya gerek kalmadan oda sıcaklığına getirilir (Demirci 2004).

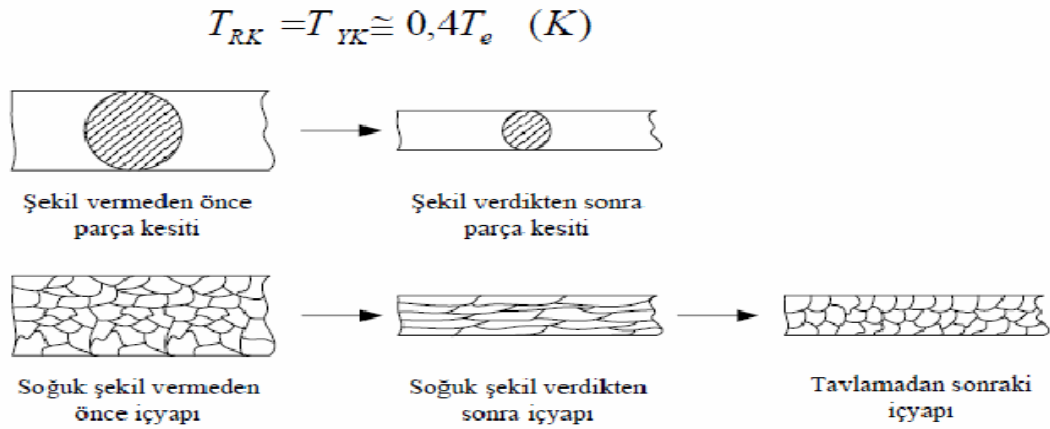
4.11 Yeniden Kristalleşme (Rekristalizasyon)

Böylece soğuk şekillendirme sonucunda oluşan pekleşme, sertleşme giderilerek malzemeye daha sonraki soğuk şekillendirme işlemleri için gerekli olan süneklik kazandırılır. Şekil 4.19' da teknik saflıktaki metallerdeki rekristalizasyon sıcaklığı ve

Şekil 4.20' de soğuk şekil verme ve tavlama sonrası içyapılar şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.19 Teknik saflıktaki metallerde rekristalizasyon sıcaklığı (Akdoğan Eker 2008).



Şekil 4.20 Soğuk şekil verme ve tavlama sonrası içyapıların şematik gösterimi (Akdoğan Eker 2008).

Çizelge 4.2 Soğuk şekil verme ve tavlama sonrası iç yapı özellikleri (Akdoğan Eker 2008).

Soğuk şekil verdikten sonra içyapı	Tavlamadan sonraki içyapı
Dislokasyon yoğunluğu yüksek	Dislokasyon yoğunluğu azalmış
Yapıda homojenlik yok	Yapıda homojenlik var
Taneler uzamış	Taneler küçük ve eş eksenli
İç gerilme yüksek	İç gerilme azalmış

Tavlama sonrasında oluşan tane boyutu, malzemeye uygulanan soğuk şekil değiştirme oranına bağlıdır. Soğuk şekil değiştirme oranı fazla ise ince taneli, az ise iri taneli içyapı oluşur. Tane büyüklüğünü, tav sıcaklığı da etkiler; rekristalizasyon sıcaklığı yüksek tutulursa kaba taneler oluşur. Yeniden kristalleşmede tav süresi, tavlama sıcaklığı ve şekil değiştirme oranına uygun olarak seçilir. Tavlama sonucunda, malzemenin dislokasyon yoğunluğu azaldığından, malzeme başlangıç sünekliğine kavuşur. Yüksek alaşımlı çelikler gibi dönüşüm göstermeyen çeliklerde tane boyutu küçültme işlemi rekristalizasyon tavlama ile yapılır (Akdoğan Eker 2008).

4.12 Tane Boyutunun Saptanması

Bazı çeliklerde tane sınırlarının net bir şekilde görülmesi zordur. Bunun için bazı özel yöntemler kullanılır. Bu yöntemler östenit tane sınırlarını tayin etmek için kullanılır (Geller 1983).

4.12.1 Sementasyon yöntemi

Sementasyon işlemine uğratılan düşük C' lu çelikler için sementasyon yöntemi kullanılır. Numuneler sızdırmaz demir kutularda karbon verici ortamda (%40 BaCO₃, %60 odun kömürü veya %30 Na₂CO₃, %70 odun kömürü) 930 ± 10 °C' de 8 saat bekletilir. Bu kutu ile birlikte 600 °C' ye kadar soğutulduktan sonra soğutma havada gerçekleştirilir. Daha sonra metalografik numuneler hazırlanır. Yüzeyden 2 mm derinlik taşlanır ve özel reaktiflerle dağlanır. Tane boyutu sementasyon tabakasının ötektik üstü bölgesinde sementit ağına göre tayin edilir. Sementit ağı ise östenit tane sınırlarında meydana gelir (Geller 1983).

4.12.2 Oksitleme yöntemi

Yapı ve alet çelikleri için kullanılır. Parlatılmış metalografik numuneler vakum veya inert atmosferli fırında su verme sıcaklığından 20–30 °C daha yüksek sıcaklıklarda ısıtılarak 3 saat bekletilir. Sonra fırına 30–60 saniye hava verilir ve numuneler suda

soğutulur. Bu işlemlerden sonra numuneler yeniden parlatılır ve %15 HCl, %85 etil alkol ile dağlanır. Tane sınırları oksit ağına göre tayin edilir (Geller 1983).

4.12.3 Su verilmiş çeliklerin ilk östenit tane sınırını tayin etme yöntemi

Martenzit ve Beynit elde etme amacıyla su verilmiş çeliklerin ilk östenit tane sınırlarını tayin etmek için bu yöntem kullanılır. Bu yöntemde de numuneler önceki iki yöntemdeki gibi ısıtılır. Yağda ve suda soğutulur. Sonra 15–30 dk içerisinde 225–250 °C’ de temperlemeye tabi tutulur. Metalografik olarak numune hazırlandıktan sonra taze pikrin [(NO₂)₃C₆H₂OH] asidiyle dağlanır. Dağlama süresi 5–30 dk’ dır (Geller 1983).

4.12.4 Ferrit veya sementit ağını tayin etme yöntemi

C miktarı % 0,6’ ya kadar olan çelikler için Ferit ağı yöntemi kullanılır. Bu yönetime göre önceki yöntemlerdeki gibi ısıtılır ve sonra soğutulur. Ancak % 0,3–0,5 C’ lu çelikler havada, % 0,5-0,6 C’ lu çelikler ise 50-100 °C/saat hız ile soğutulur. Sonra numuneler suda soğutulularak numune metalografik olarak hazırlanır. Tane sınırları sementasyon yönteminde kullanılmış olan dağlayıcı ile görünür hale gelmektedir (Geller 1983).

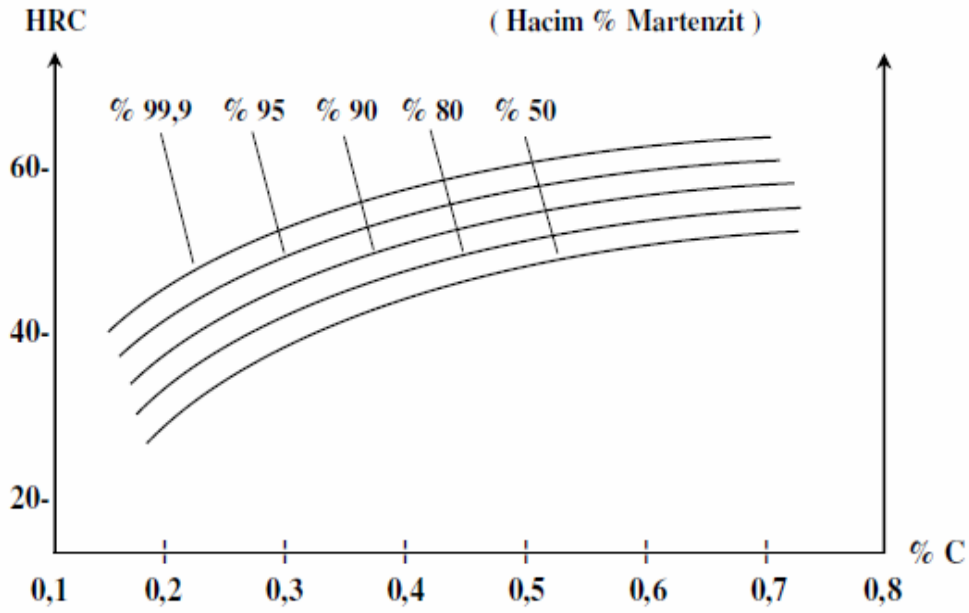
4.12.5 Troostit filesini elde etme yöntemi

Numuneler önceki yöntemlerdeki gibi (sementasyon yöntemi hariç) ısıtılır ve numunenin yarısı havada yarısı ise suda soğutulur. Bu durumda numunenin geçiş bölgesinde troostit filesiyle kuşatılmış olan martenzit yapı meydana gelir. Bu yapı N veya pikrin asidinin ispirtoda çözeltisinde dağlama ile elde edilir.

Bu çalışmada bütün çeliklere oksitleme yöntemi uygulanarak tane sınırları tespit edilmiştir (Geller 1983).

5. ÇELİKLERİN SERTLEŞEBİLİRLİĞİ

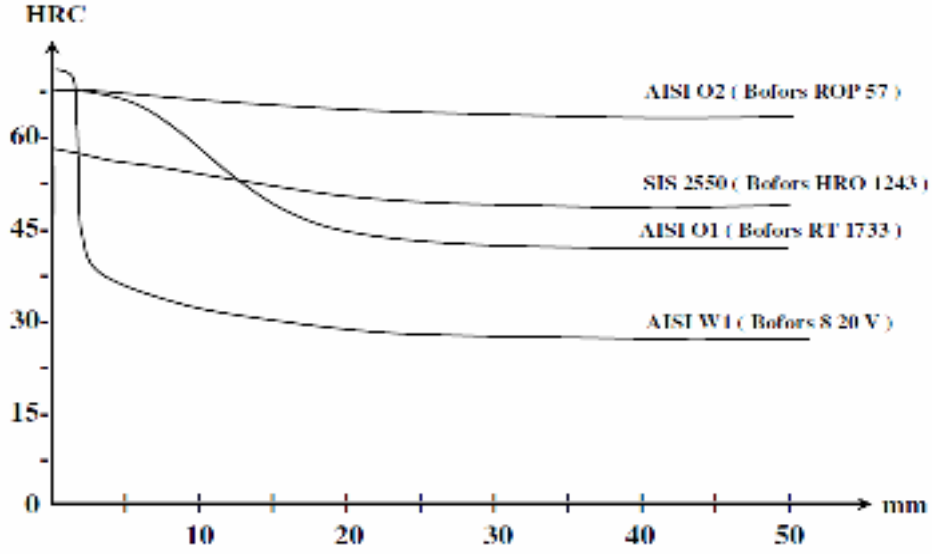
Soğuma hızı, kritik soğuma hızından daha yüksek tutularak (diğer bir ifadeyle perlit veya beynit dönüşümü tamamen engellenerek), su verme sonucu sağlanan sertlik, prensip olarak çeliğin karbon miktarına bağlıdır. Eğer soğuma hızı kritik soğuma hızından daha düşük ise, nihai yapıdaki martenzit miktarı ve buna bağlı olarak sertlik azalır. Bu tür etkilere neden olan, östenit içerisinde erimiş halde bulunan karbonun miktarıdır. Östenitleme işleminden sonra karbür olarak kalan karbon martenzit reaksiyonunda yer almadığı için martenzitin sertliğine hiç etki etmez. Sekil 5.1' de martenzit miktarı, sertlik ve karbon miktarı arasındaki ilişki görülmektedir (Gümüşboğa 2006).



Sekil 5.1 Martenzit miktarının, çeliğin sertlik ve karbon içeriği ile ilişkisi (Gümüşboğa 2006).

Sertleşebilirlik bir çeliğin su verme işlemiyle martenzite dönüşümü sonucu sertleşme kabiliyetidir. Sertleşebilirlik su vermeye elde edilen sertliğin derinliğini saptar. Bu derinlik, martenzitin yüzeyden itibaren yarı miktarına indiği veya daha kesin olarak, % 50 martenzit ve beynitin mevcut olduğu mesafe olarak belirtilir. Yüksek sertleşebilirliğe sahip bir çeliğin karakteristik özelliği onun büyük bir sertleşme derinliği göstermesi veya büyük parçalar halinde tam olarak sertleştirilebilmesidir. Martenzit ile beynitin

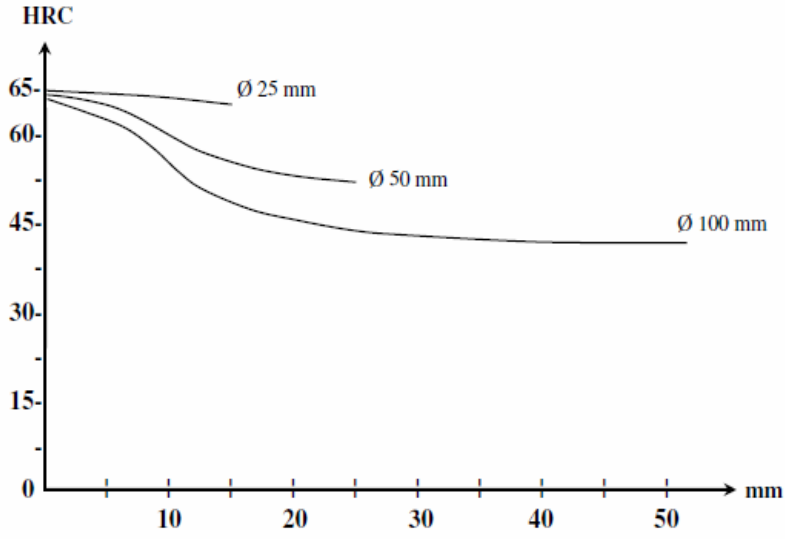
elektron mikroskobu olmaksızın ayırt edilebilmesi zor olabilir. Sertleşme derinliği takımlar ve yapı çelikleri için çok önemli olduğundan, bu özellik genellikle Sekil 5.2' de olduğu gibi diyagramlar sayesinde belirtilir (Gümüşboğa 2006).



Sekil 5.2 Çeşitli çelikler için sertleşme derinliği (100 mm çapında W1 çeliğinden yapılmış çubuklar) (Gümüşboğa 2006).

Sertleşme derinliği bu tarzda ölçüldüğü zaman, soğutma ortamının da mutlaka belirtilmesi gerekir. Sekil 5.2' deki örnekte sade karbonlu W1 çeliği suda, diğerleri ise yağda su verilmişlerdir. Sekil 5.3 verilecek parçaların boyutları ne kadar büyük ise, sertleşme derinliğinin ve çekirdekteki sertliğin o kadar az olacağını göstermektedir. Bir çeliğin yüzeyinin merkeze oranla neden daha sert olduğu, sürekli soğuma dönüşüm (CCT) eğrilerinden yararlanılarak açıklanabilir. Sekil 5.4' deki CCT diyagramından açık olarak görüldüğü gibi, çeliğin yüzeyi merkezinden daha hızlı soğuduğu için, yüzeyi temsil eden soğuma eğrisi, ferrit ve beynit eğrisinin burun kısmının önünden geçer ve sonuç olarak yalnız martenzit meydana gelir. Merkez daha yavaş soğuduğu için, merkezi temsil eden soğuma eğrisi beynit burnunu keserek geçer. Bu nedenle merkezde soğuma sonucu bir miktar beynit oluşması söz konusudur. Böyle bir durum çekirdekteki sertliğin düşük olmasına neden olur.

Çeliğin boyutları arttığı zaman, soğuma hızı düşer ve çekirdek sertliği ferrit ve perlit oluşumu yüzünden halen daha fazla azalma gösterir (Gümüşboğa 2006).

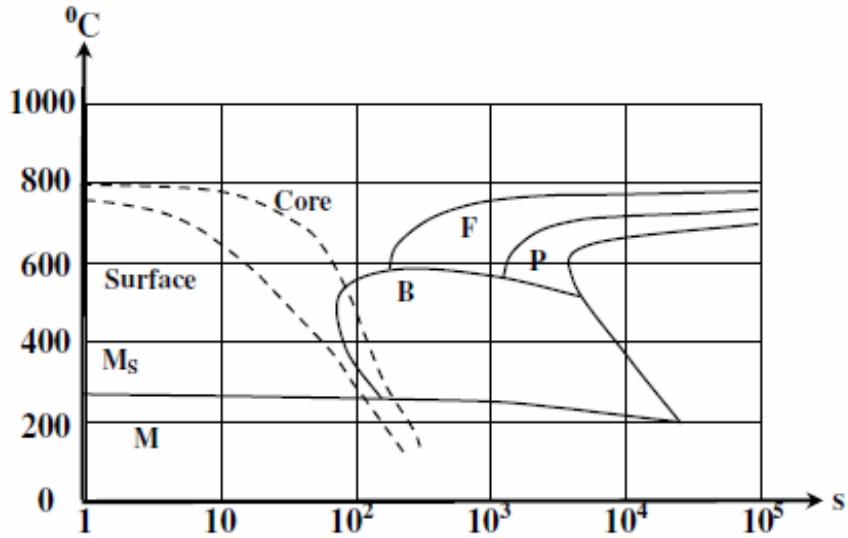


Sekil 5.3 AISI 01 çeliğinin yağda su verilmesinden sonra farklı boyutlardaki sertleşme derinliği.

Deney numunesi 25 mm çapında ve 850°C den yağda su verilmiştir.

Deney numunesi 50 mm çapında ve 820 °C den yağda su verilmiştir.

Deney numunesi 100 mm çapında ve 840°C den yağda su verilmiştir (Gümüşboğa 2006).



Sekil 5.4 95 mm. çapında yağda su verilmiş çelik bir çubuğun yüzeyi ve çekirdeği (merkezi) için soğuma eğrilerinin şematik gösterilisi (Gümüşboğa 2006).

Demir - karbon denge diyagramı, ısıl işlem proseslerinin zaman boyutunu dikkate almadığı için çoğu zaman yetersiz kalmaktadır. Bu yüzden ısıl işlem süreçlerini daha iyi

anlayabilmek için “ Zaman – Sıcaklık – Dönüşüm ” (TTT, Time – Temperature – Transformation) diyagramları geliştirilmiştir. TTT diyagramları sabit sıcaklıkta dönüşümün (izotermal dönüşümün) ilerleyişini gösterir. CCT şeklinde gösterilen sürekli soğuma dönüşüm eğrileri, ısıtma işlemle uğraşan kişilerin soğuma hızının değişimine bağlı olarak hangi fazın oluşacağını tahmin etmeleri için yapılmışlardır. Jominy numunesi üzerindeki noktaların her biri, bir soğuma hızına tekabül ettiğinden, jominy deneyinden sağlanan bilgiler kullanılarak farklı jominy mesafelerindeki soğuma hızlarına uygun soğuma eğrileri üzerlerine üst üste getirilmiş ve bu sayede CCT diyagramlarını oluşturmak mümkün olmuştur. Homojen bir östenitik yapının meydana gelmesinde ilk safha perlit içinde östenitin çekirdeklenmesi ve büyümesidir. Perlit tamamen ortadan kalktığına dahi bazı karbür parçaları ortada kalır ve bu nedenle karbon dağılımında heterojenlik meydana gelir. Bunları önlemek için sıcaklığı yükseltmeli ya da başlangıçtaki karbür parçalarını küçültmeliyiz. Su verme için seçilecek sıcaklık, ötektoid altı çeliklerde A_3 , ötektoid üstü çeliklerde A_1 eğrisinin 30 – 50 °C üzerindedir. Isıtma süresi ise ısıtılan parça kesitinin 25 mm’ si için 1 saattir. Su vermede östenitleme sıcaklığı alçak tutulur (Gümüşboğa 2006).

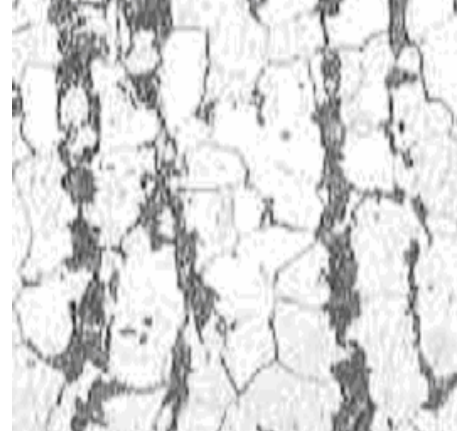
Böylece ;

- a) Çatlama ve distorsiyona
- b) Oksidasyona ve karbürüzasyona
- c) Tane büyümesine eğilim azaltılmış olur.

Çeliklerde östeniti A_1 ’ in çok altında olmayan sıcaklıklara soğutursak yüzey merkezli kübik yapı hacim merkezli kübik yapıya dönüşür. Ani soğutma yapılırsa ferrit çökelir. Karbon miktarı az olduğu için dışarı kaçamaz ve karbon birikimi artar. Karbonca zengin HMK kafes distorsiyona uğrayarak tetragonal yapıya dönüşür. Bu yapıya da **martenzit** adı verilir. Resim 5.1’ de gösterilmiştir.



Martenzit



Ferit / Perlit

Resim 5.1 Ferrit / Perlit ve Martenzit yapıların mikroskop altında görünümü.

Martenzit yarı kararlı bir faz olup sert, dayanıklı ve kırılgandır. Martenzitin sertliği C miktarı arttıkça artar ve martenzitin oluşumu zamana bağlı değildir. Martenzit miktarı, östenitleme şartlarına ve soğuma hızına bağlıdır.

Sertleşebilirlik, çeligin su vermede martenzit oluşumu ile sertleşme özelliğidir. Farklı çelik türlerinin sertleşebilirliğinin karşılaştırılması ise, ancak aynı çubuk çapı ve aynı su verme ortamı söz konusu olduğunda mümkün olabilir. Sertleşebilirlik için 2 tür deney yöntemi mevcuttur.

Bunlar ;

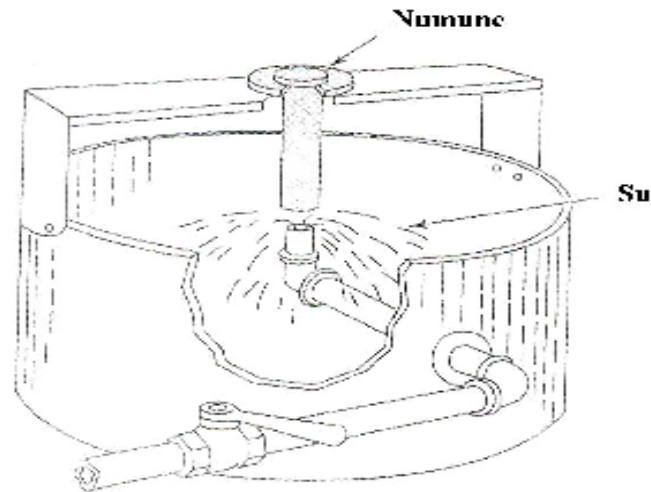
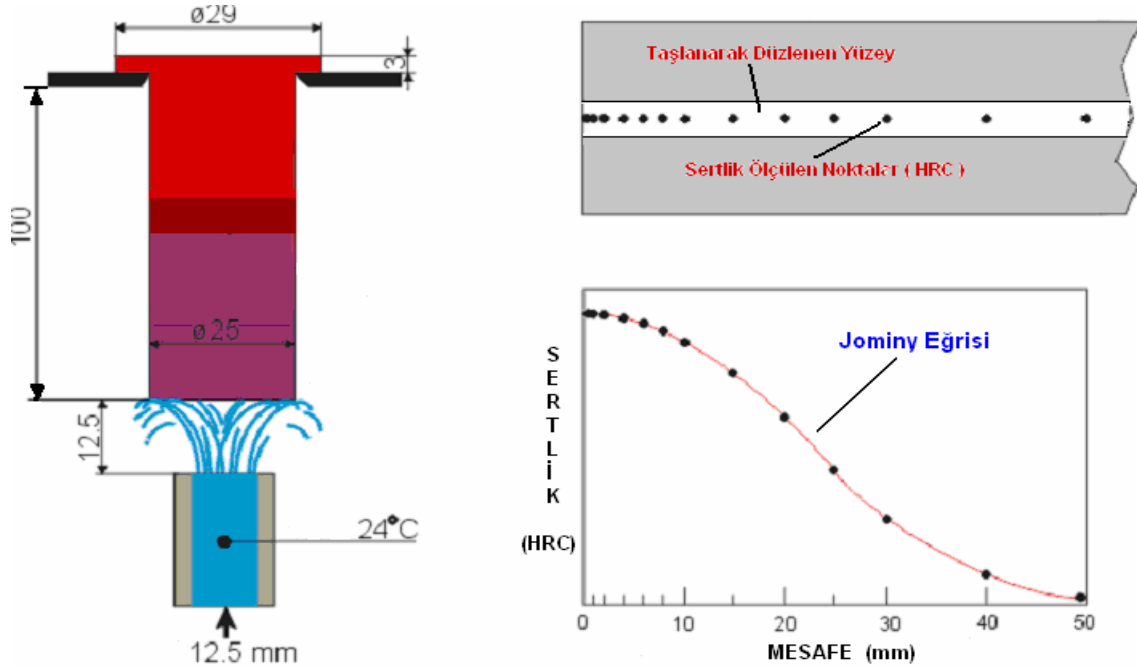
- a) Grossman sertleşebilirlik deneyi
- b) Jominy (Uç su verme) sertleşebilirlik deneyi

Grossman yöntemi en doğru sonucu veren bir yöntem olmasına rağmen yüksek maliyetinden dolayı günümüzde az kullanılan bir yöntem olarak literatürde yerini almıştır.

5.1 Jominy 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 verme

sıcaklığına ısıtılır, bu sıcaklıkta belirli bir süre bekletilir ve daha sonra bir ucundan su püskürtülerek numune soğutulur (Şekil 5.5). Su verilen uç, çok çabuk soğuduğundan karbon yüzdesine göre maksimum sertlikte olacak ve yine uçtan uzaklaştıkça soğuma hızı ve sertlik azalacaktır.



(b)

Şekil 5.5 (a) Jominy (Uç su verme) sertleşebilirlik deneyinin (b) Deney cihazının şematik gösterimi.

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 belirli aralıklarla sertlikleri ölçülür. Bu sertlik değerleri ve su verilmiş uçtan itibaren olan eşdeğer mesafeleri bir diyagram üzerinde belirtilir. Bu eğrilere **Jominy Eğrileri** adı verilir.

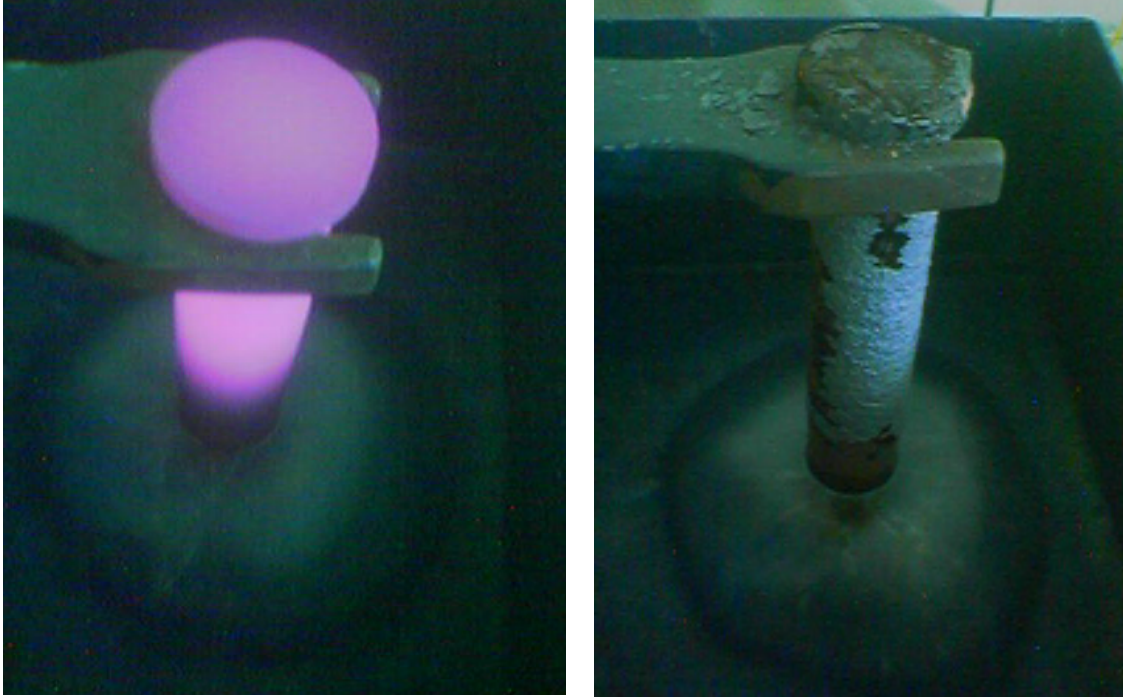
Jominy eğrileri, kalite kontrolün en kıymetli yöntemi olarak, aynı sınıf çeliklerin farklı sertleşebilirliklerini mukayese için kullanılacak ilk akla gelen ergiler olmasının yanında, çeşitli ortamlarda soğutularak sertleştirilmiş farklı boyutlardaki çelik çubuklarda elde edilen beklenen sertlik dağılımını tahmin etmede de kullanılabilirler. Jominy numunesinde farklı mesafelerdeki pratik soğuma hızları, çeşitli ortamlarda soğutulmuş farklı çaplardaki çubuklardaki pratik soğuma hızları ile mukayese edilebilir.

a) Isıtma İşlemi

Sertleşebilirliği tespit edilecek malzeme 100 mm boy ve 25 mm çapında hazırlandıktan sonra bu malzemenin sertleştirilmesi için tavsiye edilen sertleştirme sıcaklığa ısıtılır. Parçaların tamamen östenit yapıda olması için kritik sıcaklığın üzerinde ısıtılırlar. Isıtma işlemi, hücre fırında veya tuz banyosunda yapılabilir (Fırının sıcaklık ayarı, tavsiye edilen sıcaklık aralığının üst sınırında olmalı ve ısıtmada parça yüzeyinde konsantrasyon değişmesi olmamalıdır). Parçada homojen sıcaklık dağılımı sağlayabilmek için, parça yüzeyi işlem sıcaklığına ulaştıktan sonra, en az yarım saat beklenmelidir.

b) Ani Soğutma İşlemi

Isıtma işlemi tamamlanmış malzeme fırından alınarak, vakit geçirilmeden Jominy test cihazına yerleştirilir. Numune, yalnızca alt yüzeyinden soğutulacak ve parçanın kenarlarına su sıçramayacak şekilde, su ile soğutulur. Soğutma işlemi, numune parça el ile rahat tutulabilecek şekilde soğuyana kadar devam eder. Resim 5.2' de numunelerin soğutulması gösterilmektedir.



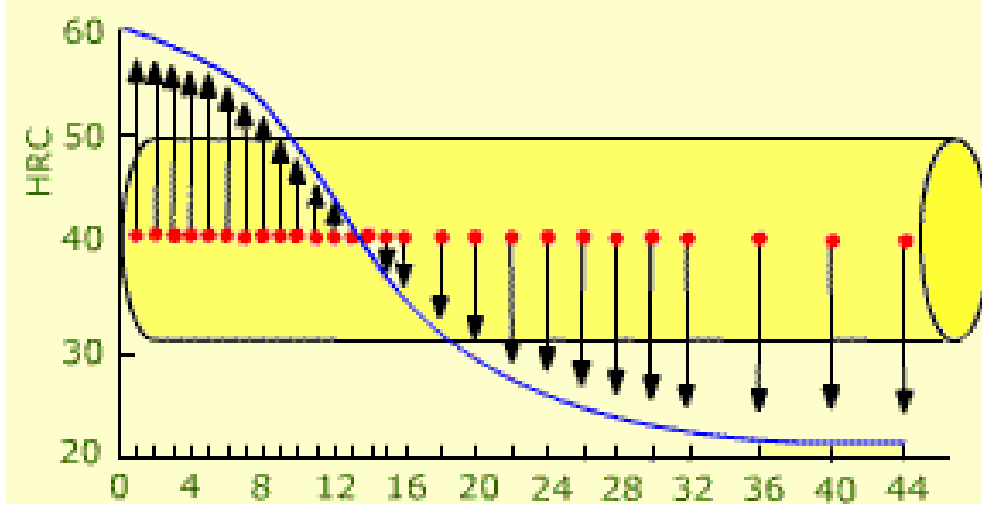
Resim 5.2 Numune parçaların soğutulması anı.

c) Ölçme İşlemleri

Parça soğutulduktan sonra silindirik yüzeyi boyunca, 3 mm genişliğinde (yaklaşık 0,4 mm derinliğinde) taslanır ve soğutulan alın yüzeyinden itibaren belirli aralıklarda (1,5, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 70 mm) sertlik değerleri, Rockwell C yöntemine göre ölçülür. Ölçümlerde 20 HRC' nin altında olan sertlik değerleri dikkate alınmamaktadır.

d) Jominy Eğrisinin Çizilmesi

Jominy alın yüzeyinden itibaren belirli aralıklarla ölçülerek bulunan HRC cinsinden sertlik değerleri ile bu mesafeler arasında, Sekil 5.6' e benzer bir diyagram çizilir.



Şekil 5.6 Sertlik ölçümleri sonucunda çizilen diyagrama bir örnek

Deney sonucu bulunan Jominy eğrisinden yararlanmak suretiyle; bu malzemedeki yapılan parçaların boyutlarına bağlı olarak sertleştirme sonrası kesitinde meydana gelen sertlik dağılımının ne olacağını tespiti ve çeliğin su verme kabiliyetinin tayini yapılabilmektedir.

Endüstride kullanılan parçalar, ani soğutma ile soğutulduktan sonra çok kırılkan olduğundan (martenzitik yapı), mutlaka menevişleme uygulanır. İstenilen meneviş uygulaması, aynı koşullarda Jominy numunelerine de tatbik edilerek, menevişleme sonrasında, kesitte sertlik dağılımının nasıl olacağı da tespit edilebilir.

5.2 Alaşım Elementlerinin Çeliklerin Sertleşme Kabiliyetine Etkisi

Yukarıda ifade edildiği gibi, sertleşebilirliğe etki eden elementlerin başında karbon gelmekte; diğer alaşım elementleri ise sertliğe ikinci derecede etki etmektedirler. Çeliğe katılan alaşım elementleri karbonun difüzyonunu etkilediğinden karbür oluşumu gecikir, bu gecikme sonunda sertleşme çekirdeğe kadar devam eder (Güventürk 1973).

Ancak alaşım elementlerinin sertleşebilirliğe etkilerini anlayabilmenin bir yolu onları tek tek ve çelik içinde belli yüzdeleri ile deneysel olarak incelemek olduğundan aşağıda R.A. Grange tarafından geliştirilen ve hesaplanmış değerleri önceden hesaplanmış

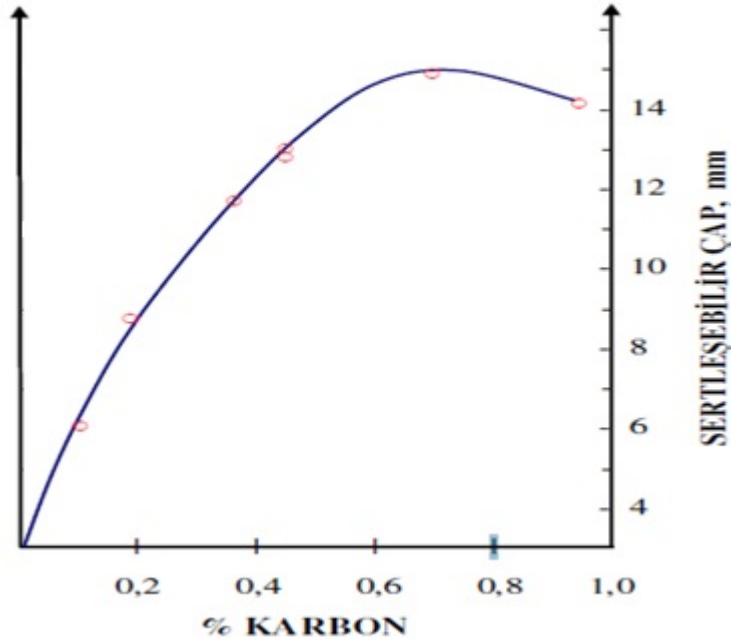
değerlerle çok büyük yaklaşım gösteren bir sertleşebilirlik deneyinin verileri elementlerin sertleşebilirliğe bağlı etkileri ile beraber açıklanmaya çalışılmıştır.

Karbonun Etkisi;

Karbon (C) direkt olarak sertleştirebilmeye etkili olduğundan, diğer elementler göz önüne alınmadan değerlendirilmelidir. Grange' nin deneylerde kullanmış olduğu yedi Fe – C alaşımının C içeriği % 0,1 ~ % 1,0 arasındadır. Eriyen % 99,9 saflıktaki Fe' e sadece grafit ilave edildiğinden sertleşebilme üzerine empüritelerin etkilerini kontrol etmek mümkündür (Grange 1973).

Sertleşebilir çaplar Şekil 5.7' de verilmiştir. Düşük C konsantrasyonlarında geniş bir sertleşebilirlik söz konusudur. Ötektoid bileşimde maksimum sertleşme vardır, ötektoid üstü çelikte bir miktar düşme gözükür.

Bu eğri, sertleşilmeyi anlamak için temeldir. Çünkü çelikler içerisinde empürite ve alaşım elementi bulunan Fe – C alaşımlarıdır (Grange 1973).

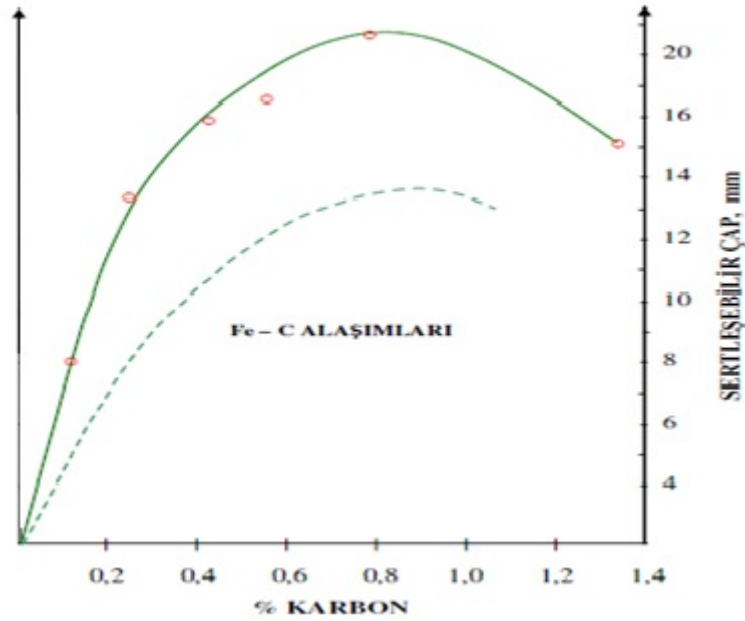


Şekil 5.7 Saf Fe – C alaşımlarının sertleşebilirliği (% 90 Martenzit, suda su verilmiş, ASTM No. 4) (Grange 1973).

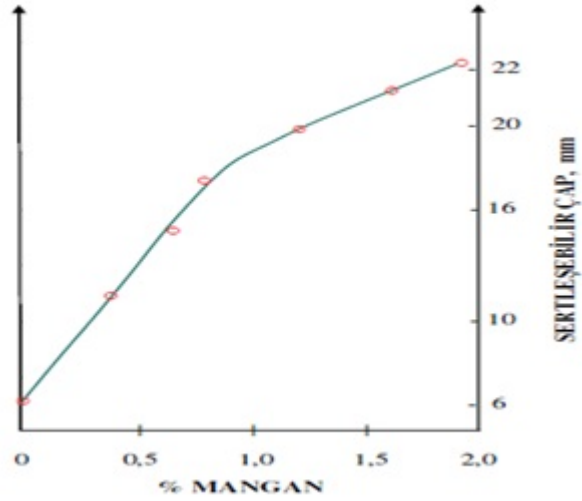
Manganın Etkisi

Grange tarafından iki seri alaşımda incelenmiştir. İlk seride C oranı % 0,07' den % 1,34' e kadar değişirken, Mn % 0,5' dir. İkinci seride ise, C oranı % 0,2 iken Mn % 0,35 ~ % 1,93 arasındadır. Tane boyutu ASTM No 4' tür. 870 °C' de yapılan östenitleme ısı işleminden sonra sertleşebilirlik deney sonuçları Şekil 5.8' de gösterilmiştir. Bu eğri şekil itibariyle Fe – C alaşımına benzer, yalnız % 0,5 Mn' in sertleşebilirlik etkisi eğriyi yukarıya kaydırmıştır (Grange 1973).

Mn' in sertleştirilebilirlik etkisi, az C' lu çeliklerde çok daha büyüktür. İkinci seri alaşımlar, ince ve iri taneli yapı elde edilmek için östenitlenmiştir. Bu işlem farklı östenit tane boyutuna sahip çeliklerde Mn' in sertleşebilirlik etkisine sahip olmadığını belirlemek için yapılır. Mn' in tüm tane boyutlarında aynı kantitatif sertleşebilirlik etkisine sahip olduğu Şekil 5.9' da ortaya konmuştur (Grange 1973).



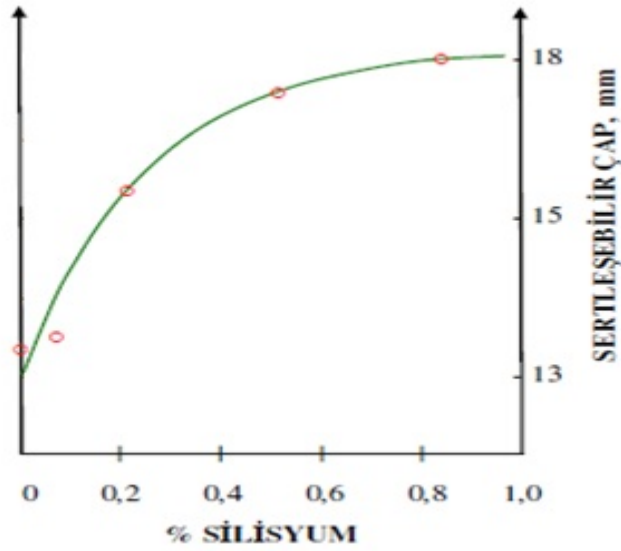
Şekil 5.8 % 0,5 Mn' li çelikte C miktarının sertleşebilirliğe etkisi (% 90 Martenzit, suda su verilmiş, ASTM No. 4) (Saf Fe – C alaşımları karşılaştırılarak) (Grange 1973).



Şekil 5.9 Çelikte Mn miktarının sertleşebilen çap üzerine etkisi (% 90 Martenzit, suda su verilmiş, ASTM No. 4, C içeriği % 0,2) (Grange 1973).

Silisyumun Etkisi

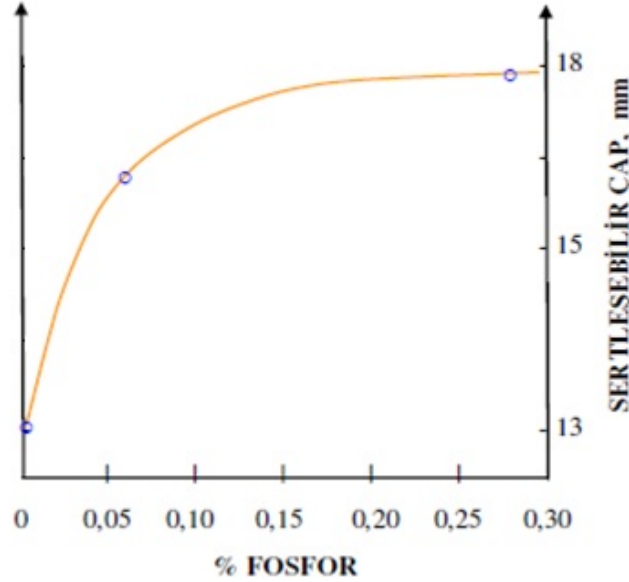
Silisyumun sertleştirilebilirlik etkisi % 0,09 - % 0,30 - % 0,57 ve % 0,86 Si içeren Fe – C alaşımlarıyla belirlenmiştir. Yüksek silisyumlu Fe – C alaşımının östenitleme sıcaklığını nispeten yüksek tutmak gerekir. Şekil 5.10' da konsantrasyon artışından dolayı, sabit artan ilave başına Si' un daha az sertleşebilirlik etkisine sahip olduğu görülür (Grange 1973).



Şekil 5.10 Çelikteki Si miktarının sertleşebilen çap üzerine etkisi (% 0,2 C, % 0,5 Mn) (% 90 Martenzit, suda su verilmiş, ASTM No. 4) (Grange 1973).

Fosforun Etkisi

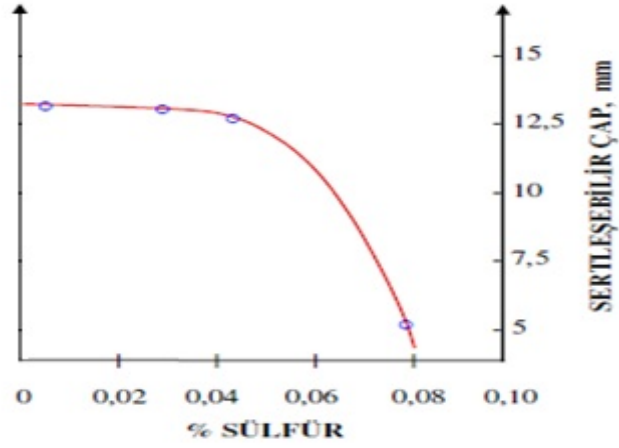
Şekil 5.11' de fosforun sertleşebilirlik üzerine etkisi özetlenmiştir. Fosforun (P) küçük yüzdelerle, nispeten güçlü bir etkisi vardır. Fakat % 0,1 P' un üzerindeki seviyede sabit olduğu görülmektedir (Grange, 1973).



Şekil 5.11 Çelikteki P miktarının sertleşebilen çap üzerine etkisi (% 0,2 C, % 0,5 Mn) (% 90 Martenzit, suda su verilmiş, ASTM No. 4) (Grange 1973).

Sülfürün Etkisi

Sülfürün (S) sertleşebilirlik üzerine etkisini değerlendirmek için çok sayıda numunenin östenitleme sıcaklığını değiştirmek gerekir. Çelikte Mn ile birleşen S inklüzyonları oluşturur. Bundan dolayı S' ün etkisi negatiftir. Çünkü östenitte çözülmüş olan S' ün küçük konsantrasyonları bile, pozitif sertleşebilirlik etkisi gösteren östenitte çözülmüş Mn' in kaybolmasına neden olduğundan sertleşebilirlikte de kayıp olur. Çelikte S' ün sertleştirme etkisini tahmin etmek oldukça güçtür. Şekil 5.12' de sülfürün sertleşebilen çap üzerine etkisi gösterilmiştir (Grange 1973).

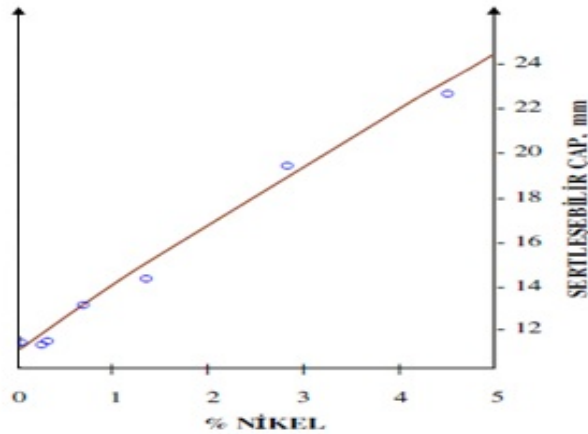


Şekil 5.12 Çelikteki S miktarının sertleşebilen çap üzerine etkisi (% 0,2 C, % 0,5 Mn) (% 90 Martenzit, suda su verilmiş, ASTM No. 4) (Grange 1973).

Nikelin Etkisi

% 0,2 C - % 0,3 Mn' lı Fe alaşımlarında esas bileşimdeki Mn, maksimum sertleşebilir çapı aşmaksızın ilave edilebilen alaşımın miktarını azaltmaktadır. Veriler, C çeliklerinde muhtemelen kalıntı bir element olarak görülen Ni' in ancak küçük bir sertleşebilirlik etkisi olduğunu göstermiştir (Grange 1973).

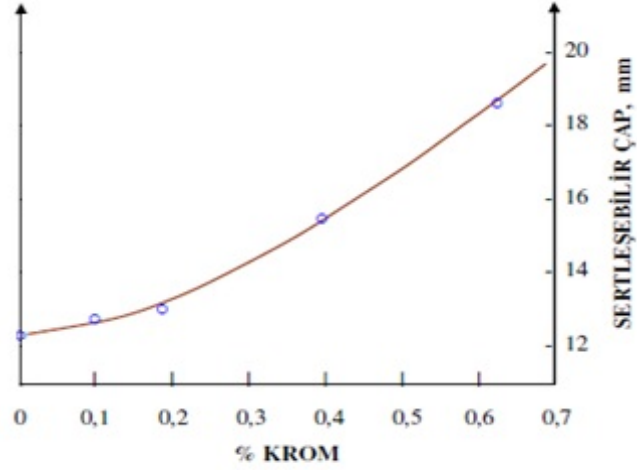
Grange' ın yaptığı deney sonunda elde edilen veriler Şekil 5.13' deki eğri ile gösterilmiştir.



Şekil 5.13 Çelikteki Ni miktarının sertleşebilen çap üzerine etkisi (% 0,2 C, % 0,3 Mn) (% 90 Martenzit, suda su verilmiş, ASTM No. 4) (Grange 1973).

Kromun Etkisi

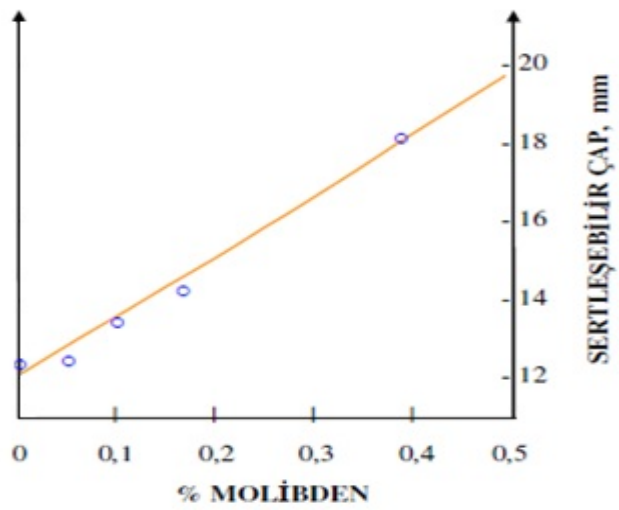
Şekil 5.14' de Cr' un % 1' in oldukça altındaki miktarlarda sertleşebilirliği önemli ölçüde arttırdığını gösteren veriler eğri ile belirtilmiştir (Grange, 1973).



Şekil 5.14 Çelikteki Cr miktarının sertleşebilen çap üzerine etkisi (% 0,2 C, % 0,3 Mn) (% 90 Martenzit, suda su verilmiş, ASTM No. 4) (Grange 1973).

Molibdenin Etkisi

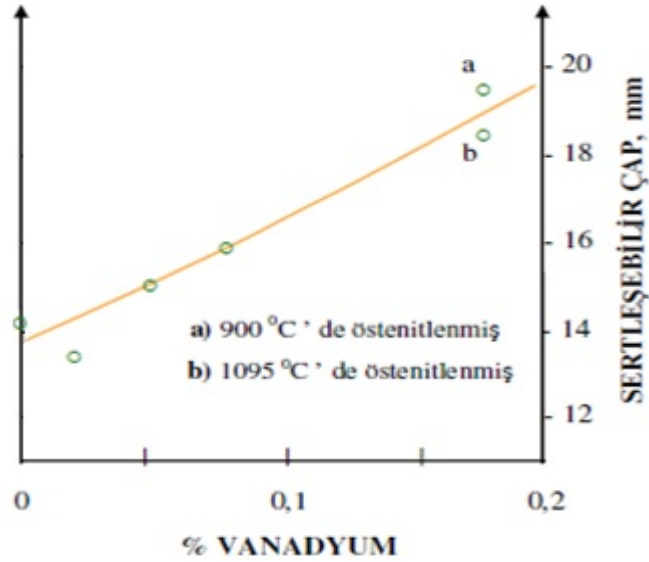
Şekil 5.15' de düşük konsantrasyonlarda nispeten geniş bir sertleşebilirlik etkisine sahip Mo' in verilerinin düz bir çizgi üzerinde olduğu gözlenmiştir (Grange 1973).



Şekil 5.15 Çelikteki Mo miktarının sertleşebilen çap üzerine etkisi (% 0,2 C, % 0,3 Mn) (% 90 martenzit, suda su verilmiş, ASTM No. 4) (Grange 1973).

Vanadyumun Etkisi

% 0,18 V içeren alaşımda tane boyutu ince olduğundan 900 °C' deki östenitleme tane boyutu açısından uygun değildir. Bu nedenle % 0,18 V' lu alaşım üniform iri tane geliştirmek için 1095 °C' de östenitlenmiştir. Östenit sıcaklığını artırma, 900 °C' de bir çözünme yoksa daha fazla V' un çözünmesini sağlayacaktır. Şekil 5.16' da % 0,18 V' da iki nokta vardır. Bunlardan biri çizginin üzerinde, diğeri ise altındadır. Bu sonuç normalden yüksek bir östenitleme sıcaklığının % 0,2 C' lu çelikte % 0,18 V esaslı tam çözelti için gerekmediğini göstermektedir. Nispeten küçük V yüzdeleri için sertleşebilirlikte önemli bir artış olduğu açıklanmıştır (Grange 1973).

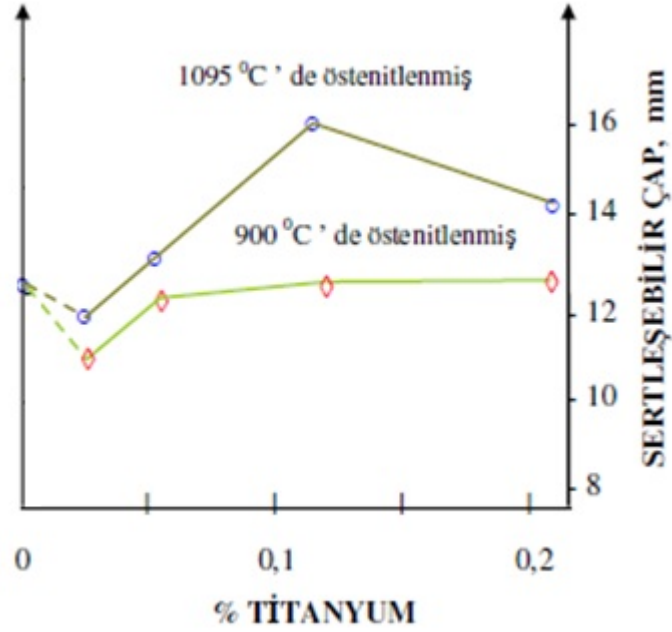


Şekil 5.16 Çelikteki V miktarının sertleşebilen çap üzerine etkisi (% 0,2 C, % 0,5 Mn)(% 90 Martenzit, suda su verilmiş, ASTM No. 4) (Grange 1973).

Titanyumun Etkisi

Ti' un sertleşebilirlik etkisini değerlendirmede bazı güçlükler vardır. Ti, çelikte C ve N ile kuvvetli olarak kombine olur ve daha yüksek östenitleme sıcaklıklarından dolayı azar azar çözünen tanecikleri oluşturur. Ti' un açık olarak negatif sertleşebilirlik etkisine sahip olduğu söylenebilir. Böylece Ti' un kantitatif sertleşebilirlik etkisinin, muhtemelen C ve N ile ve de östenitleme sıcaklığı ile değiştiği açıklanmıştır (Grange 1973).

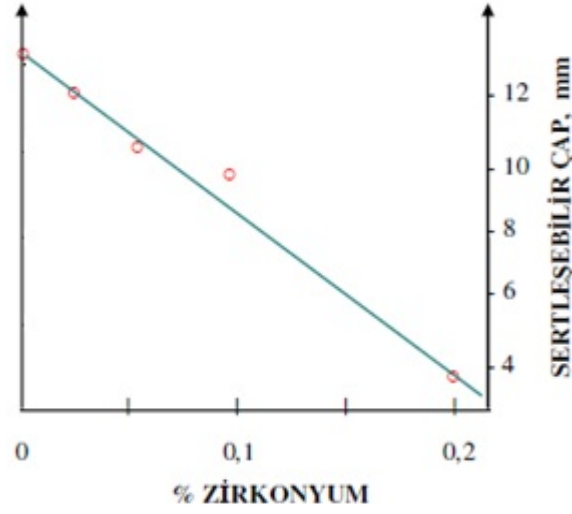
Grange'ın ince ve kaba taneli yapılarda ve farklı östenitleme sıcaklıklarında yaptığı deney sonucunda elde edilen veriler Şekil 5.17' de gösterilmiştir. Burada yüksek sıcaklıklarda Ti' un daha büyük sertleşebilirlik etkisinin olduğu görülmektedir. Her iki östenitleme sıcaklığında en küçük Ti ilavesiyle (% 0,026) sertleşebilirlikte bir azalma görülür (Grange 1973).



Şekil 5.17 Çelikteki Ti miktarının sertleşebilen çap üzerine etkisi (% 0,2 C, % 0,5 Mn) (% 90 Martenzit, suda su verilmiş, ASTM No. 4) (Grange 1973).

Zirkonyumun Etkisi

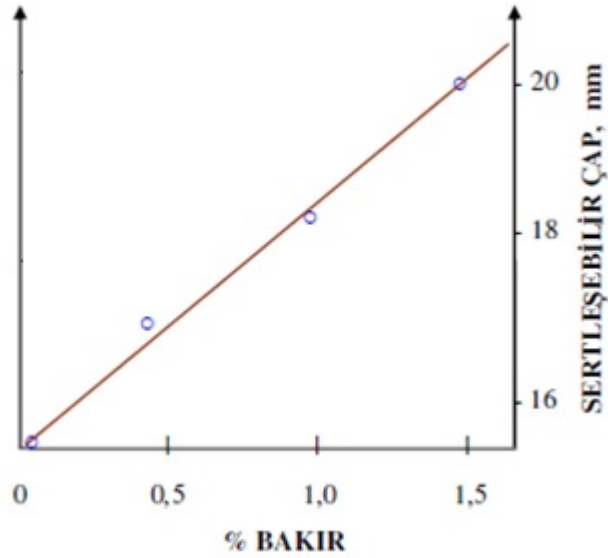
Şekil 5.18' den Zr' un kesin bir negatif sertleşebilirlik etkisi gösterdiği anlaşılmaktadır. Zr güç çözünen karbür ve nitrür teşkil etmede Ti' a benzer. Zr' un sertleşme etkisi C ve N' a bağlıdır. Zr' un küçük miktarlarının kantitatif sertleşebilirlik etkisi az olduğundan sertleşmeye etkisi ihmal edilebilir (Grange 1973).



Şekil 5.18 Çelikteki Zr miktarının sertleşebilen çap üzerine etkisi (% 0,2 C, % 0,5 Mn) (% 90 Martenzit, suda su verilmiş, ASTM No. 4) (Grange 1973).

Bakırın Etkisi

Ticari C çeliklerinde, küçük kalıntı yüzdelerinde bakırın (Cu) sertleşebilirlik etkisi küçüktür ve Şekil 5.19' da gösterilmiştir. Bununla beraber deneysel çalışmalarda bir empürite olarak Cu bulduran C çeliklerinin sertleşebilirliği tatmin edicidir (Grange 1973).



Şekil 5.19 AISI 1045 Çeliğinde Cu' ın sertleşebilir çap üzerine etkisi (% 90 Martenzit, tuzlu su çözeltisinde su verilmiş) (Grange 1973).

6. MATERYAL METOD

6.1 Çalışmada Kullanılan Çelikler ve Kimyasal Kompozisyonları

SAE/AISI 1030 Çeliği

SAE 1030 Çeliği, imalat (yapı) çeliği olarak da bilinen, piyasadan kolaylıkla temin edilebilen ve ısıt işlemler neticesinde büyük sertlik değerlerine ulaşabilen bir çelik türüdür.

Miller, makineler, dingiller, gemi şaftları, civata, somun vb. parçaların yapımında kullanılır. Makinelerin, civataların, somunların yapımında ısıt işlem uygulanabilir. Taşıyıcı dingil, uskur mili, dişli vs. indiksiyon ve alevle sertleştirilebilir. Transmisyon milleri, raylar, dişlileri vs. indiksiyon ve alevle sertleştirilebilir (İnt.Kyn.8).

Dişli çarklar, kancalar, çapa, kazma, kürek vs. yapımında kullanılır. Cer kancaları, dişliler, kazmalar, frezeli miller indiksiyon ve alevle sertleştirilebilir.

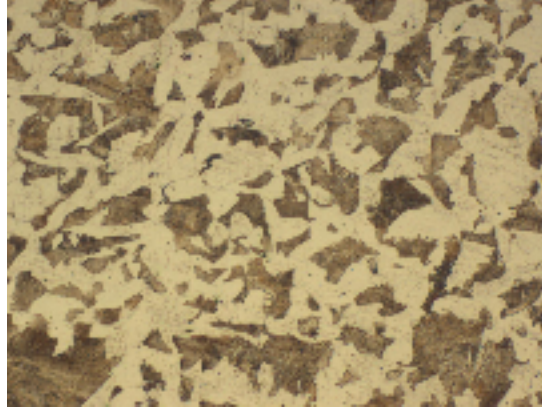
Bu çalışmada kullanılan çeliklerin Spektro Analizi, Sivas‘ da bulunan TÜDEMSAŞ’ da (Türkiye Demiryolları Sanayi Anonim Şirketi) yapılmıştır. SAE/AISI 1030 İmalat Çeliğinin analiz sonuçları Çizelge 6.1’ de görülmektedir.

Çizelge 6.1 SAE/AISI 1030 imalat (yapı) çeliğinin Spektro Analiz sonuçları (Sivas TÜDEMSAŞ)

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Al
SAE/AISI 1030	0,348	0,274	0,650	0,0047	0,0023	0,163	0,138	0,0209	0,0263
	Co	Cu	Ti	V	Pb	Sn	Mg	Fe	
	0,0125	0,119	0,0015	0,0015	0,0019	0,0061	0,0015	98,23	

Yine aynı çeliğin ısıt işlemden önceki mikroyapısı ve sertliği Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümü Metalografi Laboratuvarında incelenmiştir.

SAE 1030 çeliğinin ısıtılma işlem öncesi sertliği 37 HRA(~8 HRC) olarak ölçülmüştür. Çeliğin ısıtılma işlem öncesi mikroyapısı resim 6.1’de gösterilmiştir.



Resim 6.1 SAE/AISI 1030 Çeliğinin ısıtılma işlem öncesi mikroyapısı (200x)

SAE/AISI 4130 Çeliği

SAE 4130 Çeliği, imalat (yapı) çeliği olarak da bilinen, piyasadan kolaylıkla temin edilebilen ve ısıtılma işlemler neticesinde büyük sertlik değerlerine ulaşabilen ıslah çelik türü olarak karşımıza çıkar.

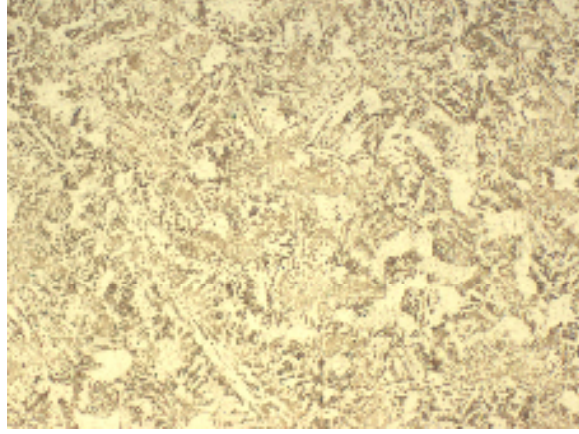
Çeşitli makine ve motor parçaları, dövme parçaları, çeşitli cıvata, somun ve saplamalarda, krank milleri, akslar, kumanda ve tahrik parçaları, piston kolları, çeşitli miller ve dişlilerin imalinde kullanılır (İnt.Kyn.8).

Bu çalışmada kullanılan çeliklerin Spektro Analizi, Sivas’da bulunan TÜDEMSAŞ’da (Türkiye Demiryolları Sanayi Anonim Şirketi) yapılmıştır. SAE/AISI 4130 İmalat Çeliğinin analiz sonuçları Çizelge 6.2’de görülmektedir.

Çizelge 6.2 SAE/AISI 4130 imalat (yapı) çeliğinin Spektro Analiz sonuçları (Sivas – TÜDEMSAŞ)

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Al
SAE/AISI 4130	0,279	0,242	0,684	0,0068	0,0044	0,980	0,101	0,226	0,0443
	Co	Cu	Ti	V	Pb	Sn	Mg	Fe	
	0,0125	0,135	0,0031	0,0042	0,0022	0,0067	0,0016	97,26	

Yine aynı çeliğin ısıtılma işleminden önceki mikroyapısı ve sertliği Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümü Metalografi Laboratuvarında incelenmiştir. SAE 4130 çeliğinin ısıtılma işlem öncesi sertliği 15,9 HRC olarak ölçülmüştür. Çeliğin ısıtılma işlem öncesi mikroyapısı resim 6.2’ de gösterilmiştir.



Resim 6.2 SAE/AISI 4130 Çeliğinin ısıtılma işlem öncesi mikroyapısı (200x)

6.2 Jominy Deneyi

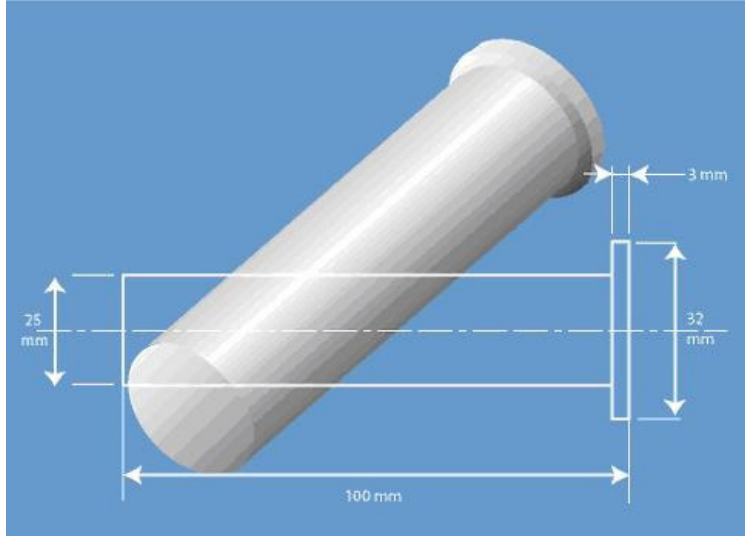
Jominy Deneyi için Gerekli Olan Malzeme ve Teçhizatlar

Jominy – uç su verme deneyinin yapılabilmesi için gerekli olan başlıca malzeme ve teçhizatlar şu şekilde sayılabilir;

- Deneyde kullanılacak numune parçalar,
- Isıtma fırını (Hücre fırın veya tuz banyosu),
- Jominy test cihazı,
- Satıl taşlama cihazı,
- Yardımcı malzemeler (Eldiven, Gözlük, Masa v.s.).

Bu çalışmada kullanılan malzeme ve teçhizatlar aşağıda gösterilmiştir;

Jominy (Alın su verme) deneyinde kullanılan numunelerin standart ölçüleri Sekil 6.1’ de verilmiştir. Bu çalışmada kullanılacak olan numuneler Resim 6.3’ de görülmektedir.



Sekil 6.1 Jominy deneyinde kullanılan numune parçalarının ölçüleri



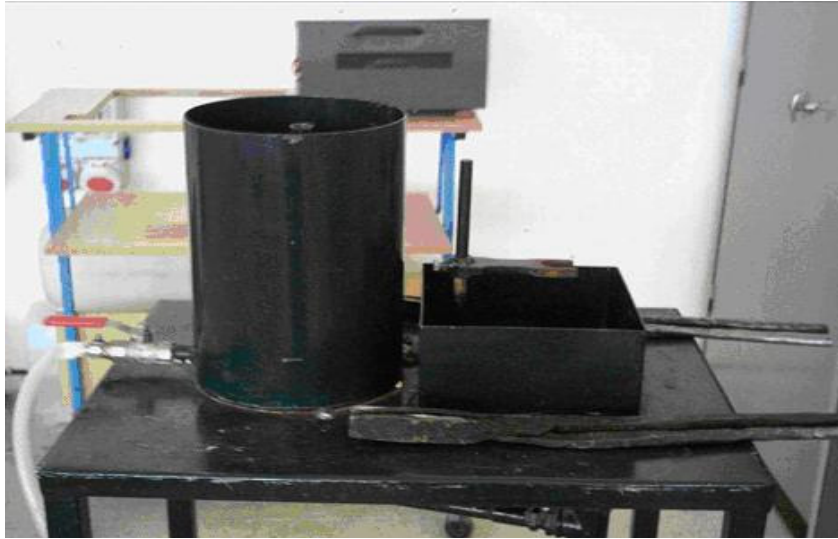
Resim 6.3 Deneyde kullanılacak olan numuneler.

Deney de kullanılan fırın A.K.Ü Mühendislik Fakültesi Malzeme Bilimi Mühendisliğinde bulunan 1250 °C ye kadar çıkabilen rezistanslı ısı kontrollü bir fırındır. Resim 6.4' de çalışmada kullanılan fırın gösterilmiştir.



Resim 6.4 Denejde kullanılan ısıtma fırını.

Denejde kullanılan Jominy test cihazı Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümünde bulunmaktadır. Resim 6.5’ de çalışmada kullanılan cihaz gösterilmiştir.



Resim 6.5 Denejde kullanılan jominy test cihazı.

Jominy deney numuneleri Birlik Otomat (Küçük Sanayi Sitesi-Afyonkarahisar) tesviye atölyesinde taşlanmıştır. Resim 6.6’ da numunelerin taşlandığı tezgah gösterilmiştir.



Resim 6.6 Numune parçaların taslandığı tezgah.

6.3 Metalografi

Tez çalışmasında mikroyapı görüntüleri jominy numuneleri ile birlikte fırına konulan ısıtılma işlem numuneleri üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Mikro Yapı Analizleri

Numunelerin zımparalama ve parlatma işlemleri devir hızı ayarlanabilen hareketli iki disk üzerinde gerçekleştirilmiştir. Numuneler 120 den başlanarak 1200' e kadar olan kademelerde grid SiC zımpara ile zımparalanmıştır. Cihaz, Resim 6.7' de görülmektedir.



Resim 6.7 Metalografik numune zımparalama ve parlatma cihazı.

Parlatma alümina süspansiyon ile gerçekleştirilmiştir. Dağlama işleminde ise dağlayıcı olarak 20–60 sn bekleme süreleriyle % 2–4’ lük nital ve tane boyutu analizinde tane sınırlarının ortaya çıkarılması için (% 15 HCl, % 85 etil alkol) kullanılmıştır.

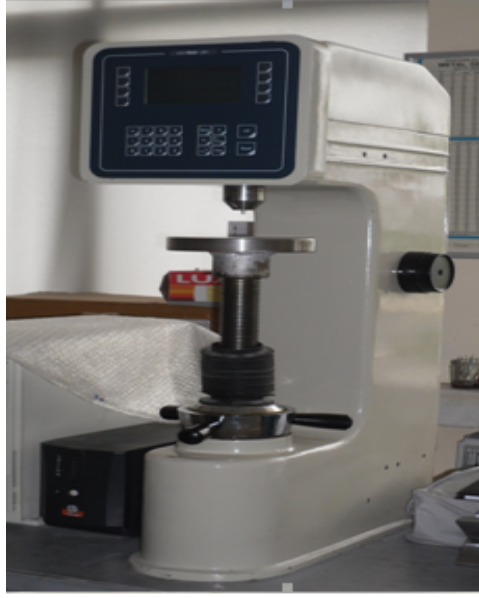
Dağlama işlemi sonrası mikroyapı görüntülerinin alınmasında Olympus marka Bx60 Model alttan ve üstten aydınlatmalı 3,3 mega piksellik kamera ve bilgisayar destekli cihaz kullanılmıştır. Bu mikroskoptaki çekimler X50, X100, X200, X500, X1000 büyütmeleerde yapılabilmektedir. Cihaz, Resim 6.8’ de görülmektedir.



Resim 6.8 Optik mikroskop.

6.4 Sertlik Testi

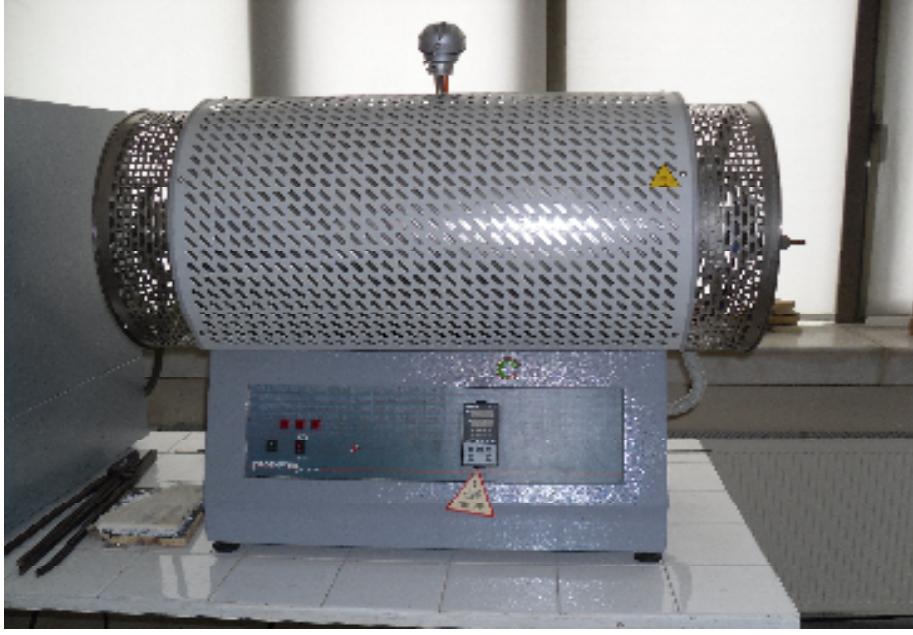
Jominy deneyinden sonra standartlarda belirlenmiş ölçülere göre yüzeyi taşlanan numunelerin yine standartlarda belirlenmiş mesafe aralıklarında sertlik ölçümleri yapılmıştır. Sertlik testi için A.K.Ü T.E.F Metal Eğitimi bölümünde bulunan cihaz kullanılmıştır ve Resim 6.9’ da gösterilmiştir. Sertlik ölçümü için Rockwell C yöntemi uygulanmıştır.



Resim 6.9 Numune sertliklerinin ölçüldüğü cihaz.

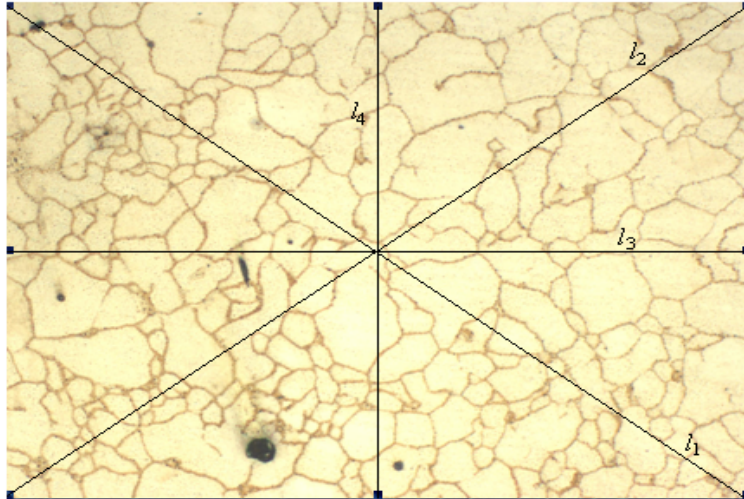
6.5 Tane Boyutu Analizi

Ortalama tane boyutunu hesaplamak için çalışmamıza en uygun olan, tane boyutunu tayin etme yöntemlerinden oksitleme yöntemi kullanılmıştır. Oksitleme yöntemi için gerekli olan ısıtma A.K.Ü T.E.F Metalografi laboratuvarın da bulunan tüp fırında gerçekleştirilmiştir. Resim 6.10’ da oksitleme yönteminin uygulandığı tüp fırın gösterilmiştir.



Resim 6.10 Oksitleme yönteminin yapıldığı fırın.

Ortalama tane boyutunu tayin etmek için Resim 6.11’ de gösterildiği gibi 200X büyütmede çekilmiş olan fotoğraf üzerine dört adet çizgi çizilmiştir. Bu çizgilerin kesmiş olduğu tane sınırları sayılarak hesaplanmıştır. Burada örnek olarak 1000 °C ye ısıtılmış ve havada soğutulmuş olan 4130 çeliği gösterilmiştir.



Resim 6.11 1000 °C ye ısıtılmış ve havada soğutulmuş 4130 çeliğinin mikro yapısından tane çapının belirlenmesi (200X)

Bu çizilen çizgilerin toplam uzunlukları ve çizgilerin kesmiş olduğu tane sınırının toplam sayısı hesaplanır ve aşağıdaki formülde yerine yazılır.

$$d_{ort} = \frac{l_1 + l_2 + l_3 + l_4}{(N_1 + N_2 + N_3 + N_4)Q}$$

Burada ;

Q ___ fotoğrafların büyütme oranı

$l_{1,2,3,4}$ ___ doğruların uzunlukları

$N_{1,2,3,4}$ ___ doğru üzerine düşen tane sınırı sayısı

Bu yöntemi uygulayabilmek için $N > 10$ olmak zorundadır.

7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

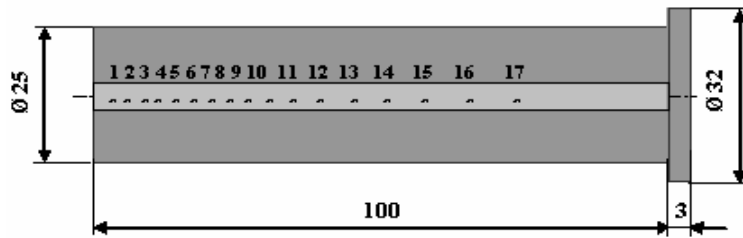
Çalışmada, SAE/AISI 1030, SAE/AISI 4130 çeliklerinin her birinden dört adet Jominy deney numunesi ve tane boyutunun analizi için metalografik numuneler hazırlanmıştır. Bu numuneler 900 °C, 1000 °C, 1100 °C, 1200 °C sıcaklığa kadar ısıtılmış ve bu sıcaklıkta sırası ile 30 dk, 28 dk, 26 dk, 25 dk bekletilmiştir. İşlemi takiben Jominy deney numuneleri alından su verme işlemine tabi tutulurken, metalografik inceleme numuneleride fırından alınarak havada soğutulmuştur.

Su verme işleminden sonra her bir numunenin sertliği ölçülmüş ve metalografik inceleme numunelerinde içyapı analizleri yapılmıştır. Ortalama tane boyutunun hesaplanması için metalografik numunelere oksitleme yöntemi uygulanmış ve tane boyutu hesaplanmıştır. Ayrıca sonuçlar çizilen grafiklerle irdelenmeye çalışılmıştır.

İç yapı analizinde ise optik mikroskop dan yararlanılmıştır. Elde edilen deney verileri ile ısıl işlem rejimleri yorumlanmaya çalışılmıştır.

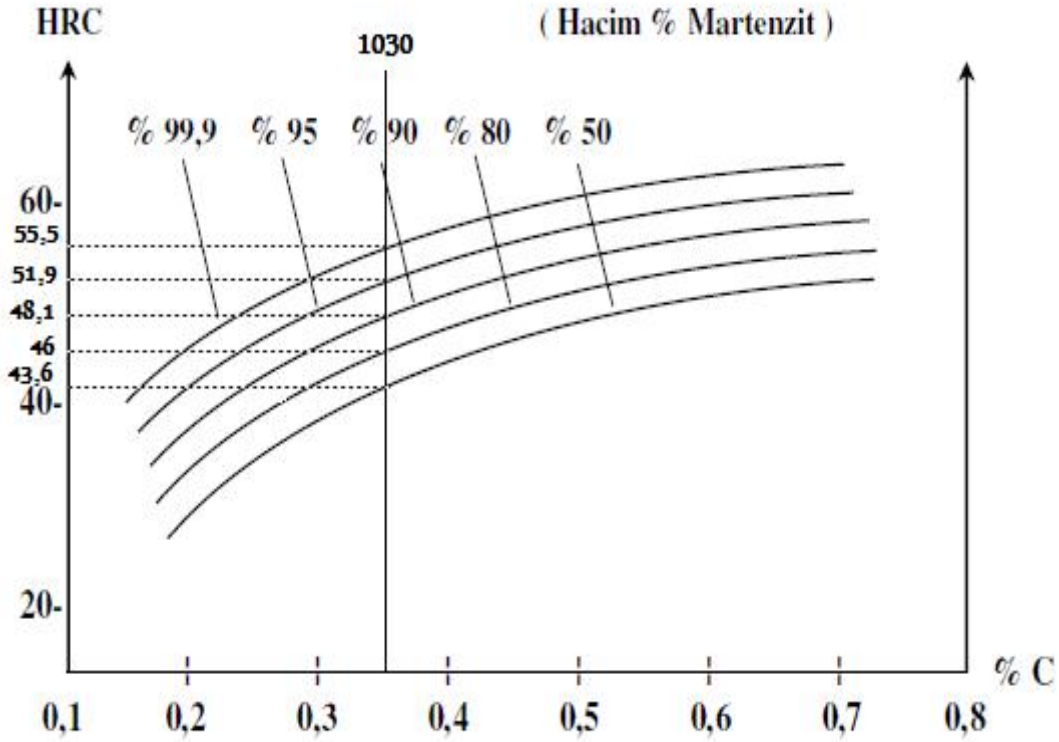
7.1 SAE/AISI 1030 Çeliği İçin Deney Sonuçları

AISI/SAE 1030 çeliğinden hazırlanmış Jominy deney çubukları ısıl işlem fırınında 900 °C, 1000 °C, 1100 °C, 1200 °C sıcaklığa ısıtılmış ve bu sıcaklıklarda sırası ile 30 dk, 28 dk, 26 dk, 25 dk bekletildikten sonra alınarak hızlı bir şekilde Jominy test cihazına yerleştirilmiş ve alından su verilmiştir. Deney sonrası numune taşlama cihazına bağlanmış, silindirik yüzeyi boydan boya taşlanmış ve taşlanarak düzeltilmiş yüzey boyunca belirli noktalardan Rockwell C (HRC) sertlik ölçümleri alınmıştır.



Şekil 7.1 Sertlik değerlerinin numunenin taşlanmış yüzeyinden alınmasının şematik gösterimi.

Aşağıda martenzit yapının çeşitli miktarı için çelik sertliği diyagramı görülmektedir. Bu diyagramda çeliklerin kimyasal analizlerinden elde edilen karbon değeri yerine konularak martenzit hacimlerini kesen noktalar yatay olarak sertlik eksenine aktarılır ve Şekil 7.2 de gösterildiği gibi çeliğin karbon miktarına göre sertlik değerleri bulunur.



Şekil 7.2 Farklı sıcaklıklara ısıtılmış ve farklı sürelerde bekletilmiş 1030 çeliğinin karbon miktarına göre sertlik değerine dönüştürülmesi.

Bu diyagramdan elde edilen sertlik değerleri sertlik (HRC) su verilen alından uzaklık x (mm) diyagramında yerine konularak x (mm) yatay eksenine dik indirilir ve x (mm) mesafesini kestiği uzunluk birimi su verme derinliği olarak tayin edilir.

Su verilerek sertleştirilen çeliklerin sertlik düzeyi karbon oranına bağlıdır. Bileşimindeki % C miktarı arttıkça sertleştirilmiş çeliğin sertlik oranı da artar. Ancak sertleştirilmiş çeliğe sertliği kazandıran, çeliğin mikroyapısında hızlı soğuma sonucunda oluşan martenzittir. Martenzit, çeliğin mikroyapısında karbür ve nitrürlerden sonra en sert dokudur. Martenzit dokusu aşırı doymuş bir katı çözeltili olduğundan sertliği, içinde

bulundurduğu karbon oranına bağlıdır. Karbon arttıkça martenzitin sertliği de artar (Flinn ve Trojan 1986).

Bir sürekli soğuma diyagramı belirli bir çelikte farklı soğuma hızları boyunca meydana gelen fazları gösterdiğinden, jominy deneyinden elde edilen bilgilerle bu tip diyagramlar arasında bir bağlantı kurmanın mümkün olması gerekir. Jominy çubuğu üzerindeki her noktanın soğuma hızı karakteristikleri bilinir, böylece seçilmiş noktalarla ilişkili eğrileri bir sürekli soğuma diyagramı üzerine çakıştırılabilir.

Sonuç olarak bir jominy deney çubuğu boyunca belli noktalarda beklenen fazları tanımlayabiliriz. Üstüne basılarak söylenmelidir ki, Jominy deney çubuğu üzerindeki belli noktaların soğuma hızları çeliğin bileşimi değişikçe daha geniş alanlarda çeşitlenecektir. Çünkü değişimler ısıl iletkenlikle olur. Fakat düşük alaşımli çelikler için durum bu kadar önemli değildir (Honeycombe ve Hancock 1981).

7.1.1 Jominy Deneyi Sonrasında SAE/AISI 1030 Çeliğinin Durumu

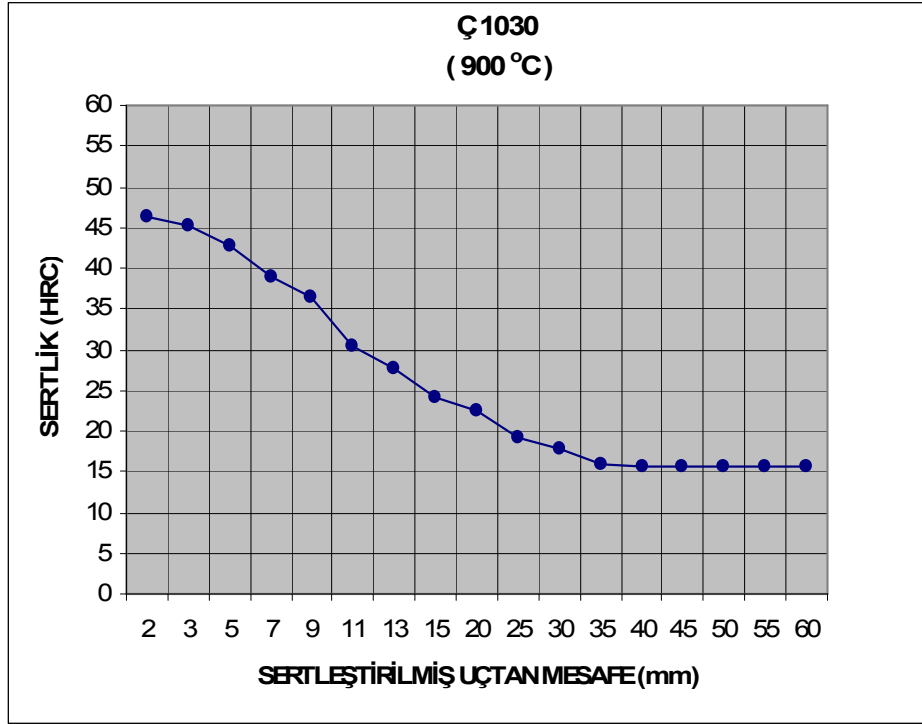
900 °C’ de 30 dk bekleme;

Çizelge 7.1’ de SAE/AISI 1030 çeliği için 900 °C’ den yapılan Jominy deneyi sonrası elde edilen sertlik değerleri gösterilmektedir.

Çizelge 7.1 900 °C’ ye ısıtılmış ve 30 dk beklemiş deney numunesinde elde edilen sertlik değerleri tablosu.

No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
mm	2	3	5	7	9	11	13	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
HRC	46,2	45,3	42,8	38,9	36,4	30,5	27,8	24,1	22,4	19,3	17,9	15,8	15,6	15,6	15,1	14,9	14,7

Şekil 7.3’ de çizelge 7.1’ deki verilerin grafiksel gösterimi sunulmaktadır.



Şekil 7.3 900 °C' ye ısıtılmış ve 30 dk beklemiş numunede deney sonunda oluşan sertlik (HRC) – mesafe (mm) diyagramı.

SAE/AISI 1030 çeliğinin Jominy uç su verme deneyine tabi tutulmadan önce ölçüldüğünde sertliği 37 HRA olarak bulunmuştu; su verme işleminden sonra ölçüldüğünde ise su verilen uçtan 2 mm mesafede 46,2 HRC sertlik olduğu görülmüştür.

SAE/AISI 1030 çeliğinin 900 °C' den yapılan Jominy deneyine göre sertlik değerine dönüşüm diyagramından (Şekil 7.2) elde edilen sertlik değerleri sertlik - mesafe diyagramında yerine konulacak olunursa bu çelik malzemede yaklaşık şu değerlere ulaşılabilir;

2 mm derinlikte % 80 Martenzit

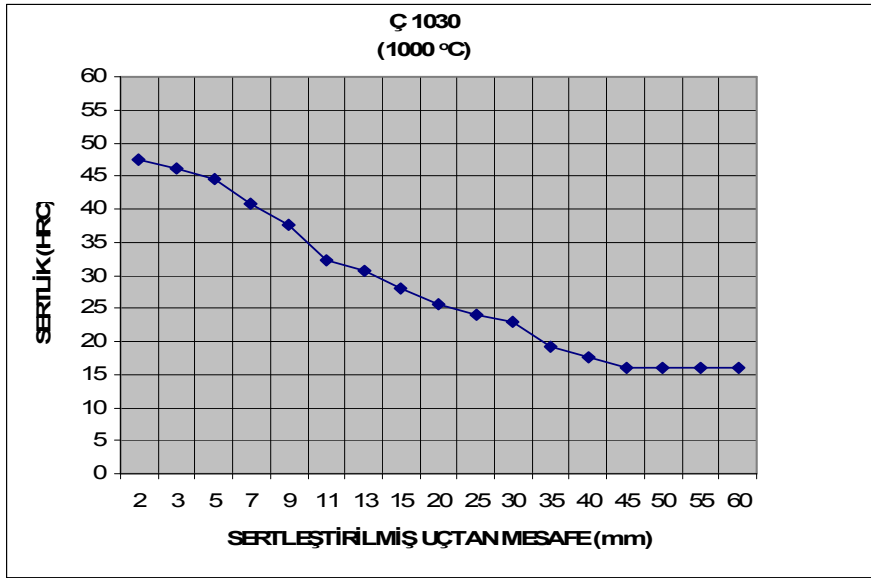
4,5 mm derinlikte % 50 Martenzit

1000 °C' de 28 dk bekleme;

Çizelge 7.2' de SAE/AISI 1030 çeliği için 1000 °C' den yapılan Jominy deneyi sonrası elde edilen sertlik değerleri gösterilmektedir. Şekil 7.4' de çizelge 7.2' deki verilerin grafiksel gösterimi sunulmaktadır.

Çizelge 7.2 1000 °C' ye ısıtılmış ve 28 dk beklemiş deney numunesinde elde edilen sertlik değerleri tablosu.

No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
mm	2	3	5	7	9	11	13	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
HRC	47,6	46,1	44,5	40,8	37,6	32,3	30,8	28,1	25,6	24,1	22,9	19,2	17,5	15,9	15,3	15,0	14,9



Şekil 7.4 1000 °C' ye ısıtılmış ve 28 dk beklemiş numunede deney sonunda oluşan sertlik (HRC) – mesafe (mm) diyagramı.

SAE/AISI 1030 çeliğinin 1000 °C' den yapılan Jominy deneyine göre sertlik değerine dönüşüm diyagramından elde edilen sertlik değerleri sertlik – mesafe diyagramında yerine konulacak olunursa bu çelik malzemede yaklaşık şu değerlere ulaşılabilir;

3 mm derinlikte % 80 Martenzit

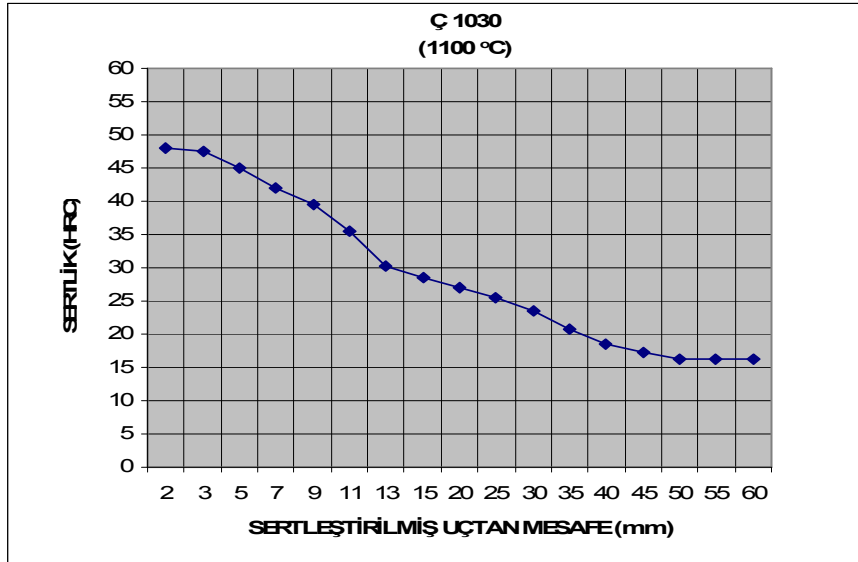
5,5 mm derinlikte % 50 Martenzit

1100 °C' de 26 dk bekleme;

Çizelge 7.3' de SAE/AISI 1030 çeliği için 1100 °C' den yapılan Jominy deneyi sonrası elde edilen sertlik değerleri gösterilmektedir. Şekil 7.5' de çizelge 7.3' deki verilerin grafiksel gösterimi sunulmaktadır.

Çizelge 7.3 1100 °C' ye ısıtılmış ve 26 dk beklemiş deney numunesinde elde edilen sertlik değerleri tablosu.

No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
mm	2	3	5	7	9	11	13	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
HRC	48,1	47,5	44,9	42,1	39,6	35,4	30,3	28,6	27,1	25,4	23,6	20,8	18,6	17,2	16,3	16,0	15,7



Şekil 7.5 1100 °C' ye ısıtılmış ve 26 dk beklemiş numunede deney sonunda oluşan sertlik (HRC) – mesafe (mm) diyagramı

SAE/AISI 1030 çeliğinin 1100 °C' den yapılan Jominy deneyine göre sertlik değerine dönüşüm diyagramından elde edilen sertlik değerleri sertlik – mesafe diyagramında yerine konulacak olunursa bu çelik malzemede yaklaşık şu değerlere ulaşılabilir;

2 mm derinlikte % 90 Martenzit

4 mm derinlikte % 80 Martenzit

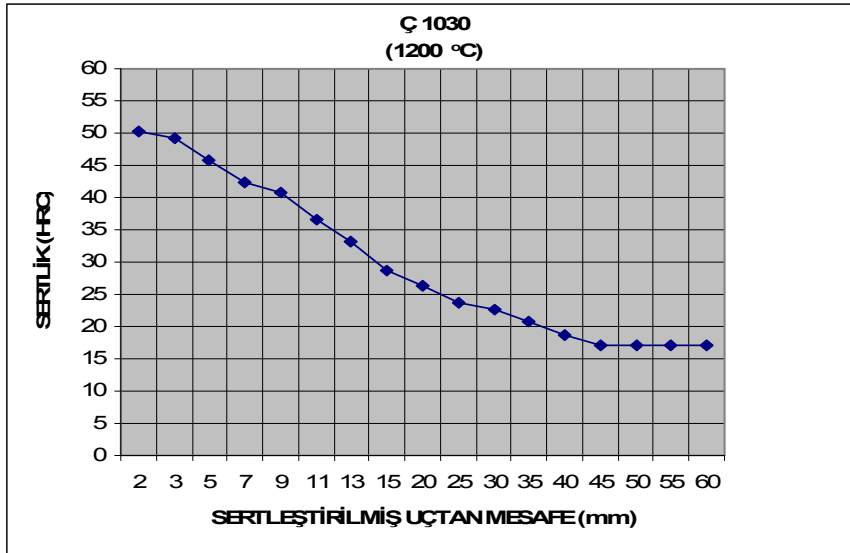
6 mm derinlikte % 50 Martenzit

1200 °C' de 25 dk bekleme;

Çizelge 7.4' de SAE/AISI 1030 çeliği için 1200 °C' den yapılan Jominy deneyi sonrası elde edilen sertlik değerleri gösterilmektedir. Şekil 7.6' da çizelge 7.4' deki verilerin grafiksel gösterimi sunulmaktadır.

Çizelge 7.4 1200 °C' ye ısıtılmış ve 25 dk beklemiş deney numunesinde elde edilen sertlik değerleri tablosu.

No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
mm	2	3	5	7	9	11	13	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
HRC	50,3	49,1	45,7	42,3	40,8	36,6	33,2	28,7	26,3	23,8	22,6	20,9	18,7	17,2	17,0	16,7	16,4



Şekil 7.6 1200 °C' ye ısıtılmış ve 25 dk beklemiş numunede deney sonunda oluşan sertlik (HRC) – mesafe (mm) diyagramı

SAE/AISI 1030 çeliğinin 1200 °C' den yapılan Jominy deneyine göre sertlik değerine dönüşüm diyagramından elde edilen sertlik değerleri sertlik – mesafe diyagramında yerine konulacak olunursa bu çelik malzemede yaklaşık şu değerlere ulaşılabilir;

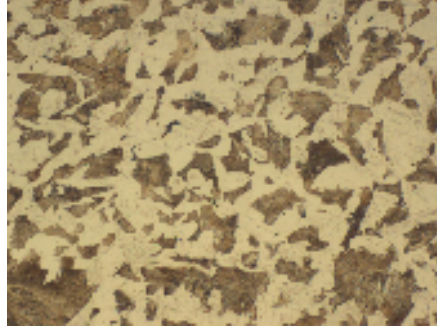
3,5 mm derinlikte % 90 Martenzit

5 mm derinlikte % 80 Martenzit

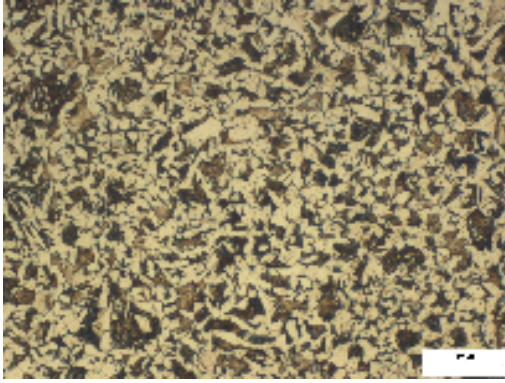
6 mm derinlikte % 50 Martenzit

7.1.2 İç Yapı Analizleri

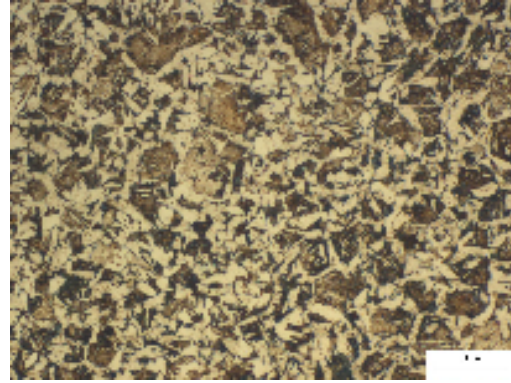
SAE/AISI 1030 çeliği metalografi numunelerinin ısıtım işlem rejimlerinden sonra oluşan iç yapı görüntüleri Resim 7.1 ve 7.2' de görüldüğü gibidir.



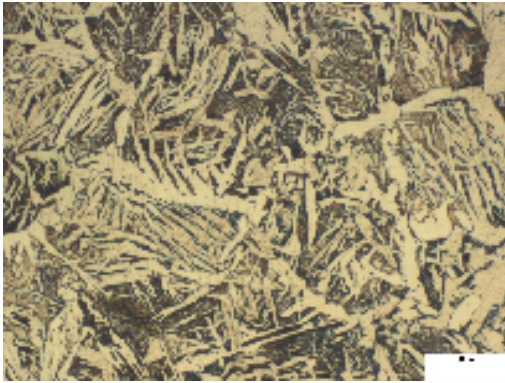
Resim 7.1 SAE/AISI 1030 çeliğinin ısıtım işlem görmemiş iç yapısı (200x).



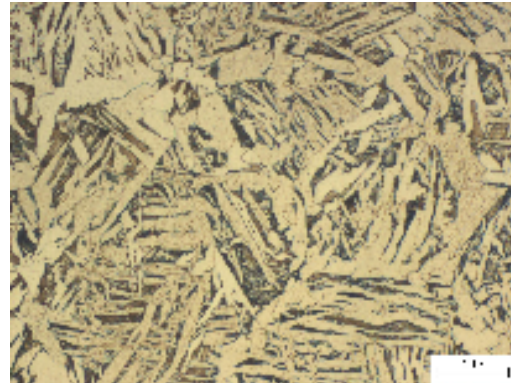
(a)



(b)



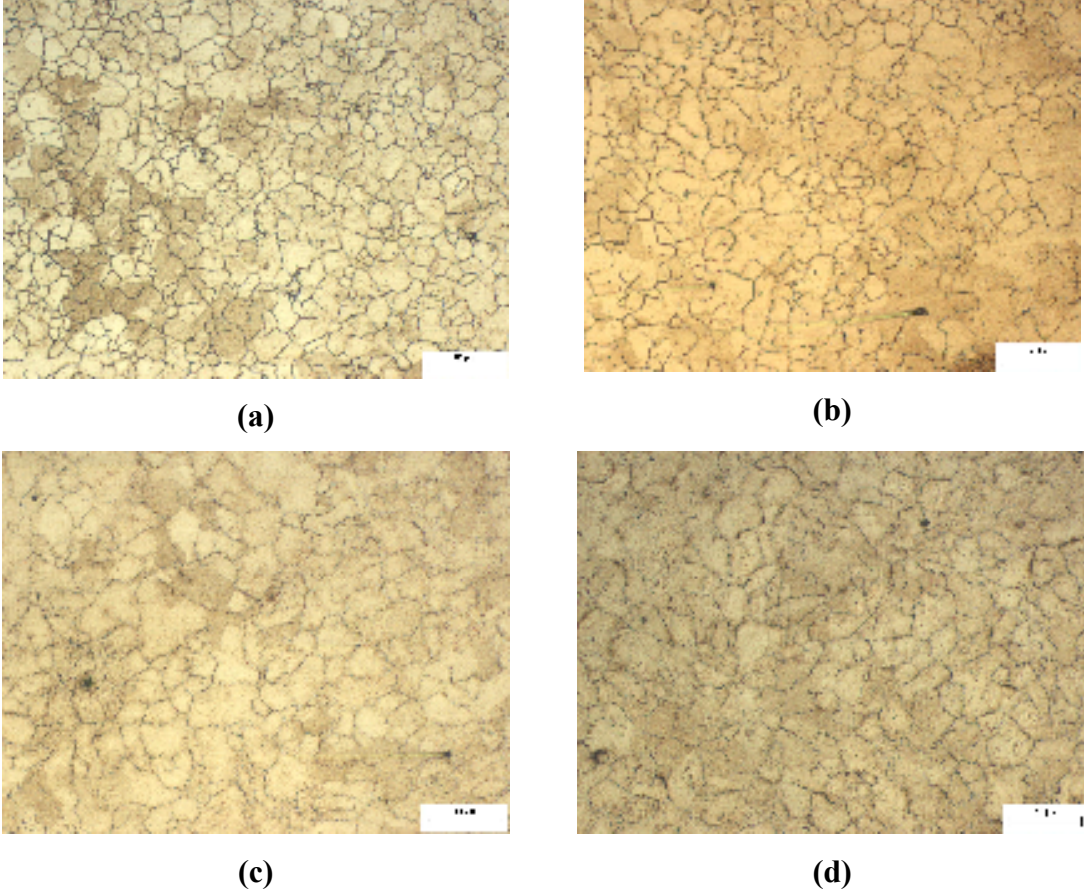
(c)



(d)

Resim 7.2 SAE/AISI 1030 çeliğinin (a) 900 °C 30 dk bekleme (b) 1000 °C 28 dk bekleme (c) 1100 °C 26 dk bekleme (d) 1200 °C 25 dk bekleme sürelerinde meydana gelen iç yapılar (200x)

Fakat ısıtılardan hemen sonraki mikro yapılarından tane boyutunun hesaplanamayacağı anlaşıldığından aynı numunelere oksitleme yöntemi uygulanmış ve elde edilen mikroyapı resimleri ve ortalama tane boyutunun hesabı elde edilmiştir. Resim 7.3’ de mikroyapı resimleri gösterilmiştir.



Resim 7.3 SAE/AISI 1030 çeliğinin (a) 900 °C 30 dk bekleme (b) 1000 °C 28 dk bekleme (c) 1100 °C 26 dk bekleme (d) 1200 °C 25 dk bekleme ve oksitleme yöntemi kullanılarak ortaya çıkarılmış tane boyutları.

900 °C’ de 30 dk bekleme;

Ortalama tane boyutu $d_{ort} = 12,9 \mu\text{m}$

1000 °C’ de 28 dk bekleme;

Ortalama tane boyutu $d_{ort} = 14,1 \mu\text{m}$

1100 °C’ de 26 dk bekleme;

Ortalama tane boyutu $d_{ort} = 18,5 \mu\text{m}$

1200 °C’ de 25 dk bekleme;

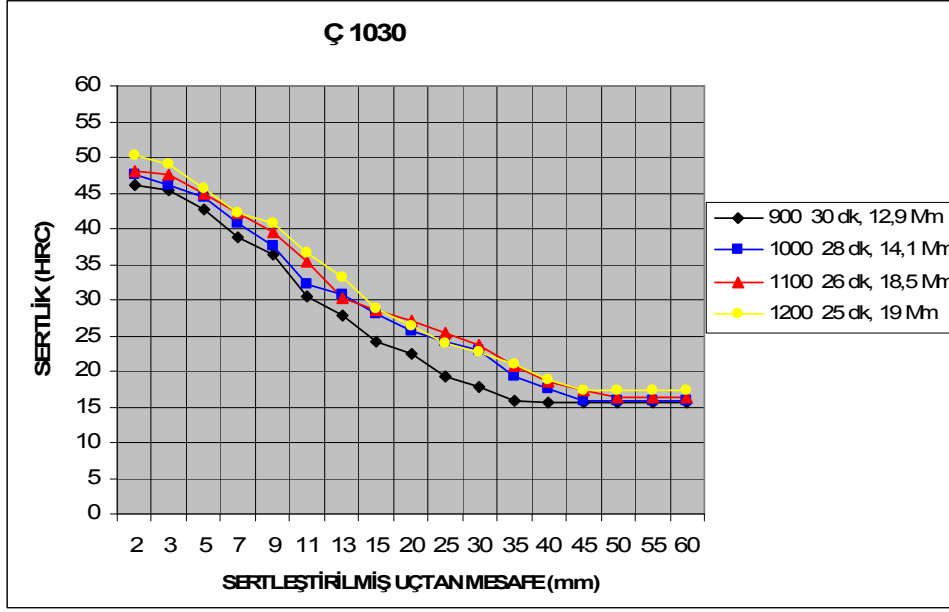
Ortalama tane boyutu $d_{ort} = 19,0 \mu\text{m}$

Çıkan sonuçlardan da anlaşılacağı gibi genel olarak sıcaklık arttıkça ortalama tane boyutu da artmıştır. Fakat sıcaklıkla ters orantılı olarak bekleme süreleri de azaldığından tane boyutu farkı çok fazla değildir.

Çizelge 7.5 de SAE/AISI 1030 çeliği için dört farklı deney parametresinin sonuçları bir arada verilmektedir. Şekil 7.7’ de SAE/AISI 1030 çeliği için dört farklı sertlik değerleri bir arada verilmektedir.

Çizelge 7.5 SAE/AISI 1030 çeliği için dört farklı deney parametresinin bir arada verilmesi.

No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	Deney parametresi SAE/AISI 1030
mm	2	3	5	7	9	11	13	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	
HRC	46,2	45,3	42,8	38,9	36,4	30,5	27,8	24,1	22,4	19,3	17,9	15,8	15,6	15,6	15,1	14,9	14,7	900 °C 30 dk
HRC	47,6	46,1	44,5	40,8	37,6	32,3	30,8	28,1	25,6	24,1	22,9	19,2	17,5	15,9	15,3	15,0	14,9	1000 °C 28 dk
HRC	48,1	47,5	44,9	42,1	39,6	35,4	30,3	28,6	27,1	25,4	23,6	20,8	18,6	17,2	16,3	16,0	15,7	1100 °C 26 dk
HRC	50,3	49,1	45,7	42,3	40,8	36,6	33,2	28,7	26,3	23,8	22,6	20,9	18,7	17,2	17,0	16,7	16,4	1200 °C 25 dk



Şekil 7.7 SAE/AISI 1030 çeliği için dört farklı sertlik değerlerinin bir arada verilmesi.

SAE/AISI 1030 çeliğinde, deney sıcaklıkları arttıkça numune yüzeyinden alınan sertlik değerlerinde de değişimler meydana gelmiştir. SAE/AISI 1030 çeliğinde çizelge 7.1, 7.2, 7.3 ve 7.4' den görüldüğü gibi deney sıcaklığı arttıkça sertleşebilirlik derinliğinin de diğer rejimlere göre azda olsa arttığı söylenebilmektedir. Tane boyutunun büyümesinin bu duruma etki ettiği farz edilse de deney sıcaklığının da etkisinin olduğu söylenebilir. Deney sıcaklığı arttıkça, numune kesiti boyunca etkili soğutmanın da artacağı düşünülmektedir.

Numunelerin deney sıcaklığı arttıkça tane boyutlarında farklılıklar meydana gelmiştir. SAE/AISI 1030 çeliğinde 900 °C' den yapılan deney rejimi sonrası 12,9 μm, 1000 °C' den yapılan deney rejimi sonrası 14,1 μm, 1100 °C' den yapılan deney rejimi sonrası 18,5 μm ve 1200 °C' den yapılan deney rejimi sonrası 19 μm boyutunda ortalama tane boyutları elde edilmiştir. Tane boyutlarındaki değişimin az olması, deney sıcaklıklarındaki bekleme sürelerinin kısa tutulmasına bağlanmaktadır.

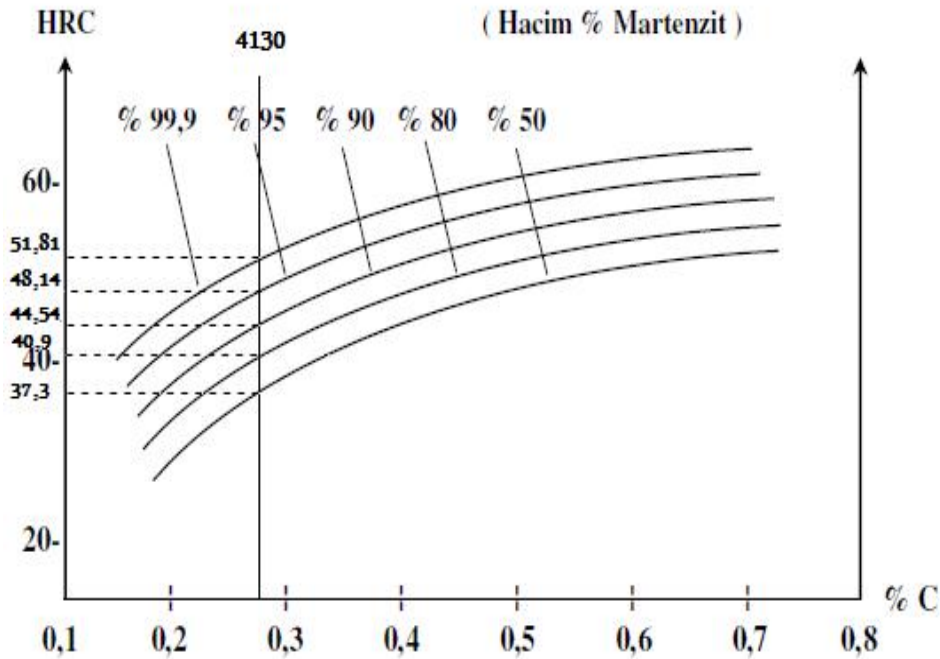
Resim 7.2' deki mikroyapı görüntülerinden deney sıcaklığı arttıkça difüzyonun etkisiyle tanelerde büyüme fark edilmektedir. Ancak Resim 7.2 (c) ve (d) deki mikroyapılar, tane boyutunun hesaplanmasını zorlaştıracığından, oksitleme yönteminden faydalanarak numunelerin tane boyutları Resim 7.3' deki mikroyapılardan faydalanılarak

hesaplanmıştır. Resim 7.2 (a) ve (b) de mikroyapı ferrit + perlit iken, (c) ve (d) de kısmen martenzit plakaları ile değişik morfolojide yerleşmiş ferrit ve perlit taneleri fark edilmektedir.

7.2 SAE/AISI 4130 Çeliği İçin Deney Sonuçları

AISI/SAE 4130 çeliğinden hazırlanmış jominy deney çubukları ısıtılma fırınında 900 °C, 1000 °C, 1100 °C, 1200 °C sıcaklığa ısıtılmış ve bu sıcaklıklarda sırası ile 30 dk, 28 dk, 26 dk, 25 dk bekletildikten sonra alınarak hızlı bir şekilde jominy test cihazına yerleştirilmiş ve alından su verilmiştir. Deney sonrası numune taşlama cihazına bağlanmış, silindirik yüzeyi boydan boya taşlanmış ve taşlanarak düzeltilmiş yüzey boyunca belirli noktalardan Rockwell C (HRC) sertlik ölçümleri alınmıştır.

Aşağıda martenzit yapının çeşitli miktarı için çelik sertliği diyagramı görülmektedir. Bu diyagramda çeliklerin kimyasal analizlerinden elde edilen karbon değeri yerine konularak martenzit hacimlerini kesen noktalar yatay olarak sertlik eksenine aktarılır ve çeliğin karbon miktarına göre sertlik değerleri bulunur.



Şekil 7.8 Farklı sıcaklıklara ısıtılmış ve farklı sürelerde bekletilmiş 4130 çeliğinin karbon miktarına göre sertlik değerine dönüştürülmesi.

Bu diyagramdan elde edilen sertlik değerleri sertlik (HRC) su verilen alından uzaklık x (mm) diyagramında yerine konularak x (mm) yatay eksenine dik indirilir ve x (mm) mesafesini kestiği uzunluk birimi su verme derinliği olarak tayin edilir.

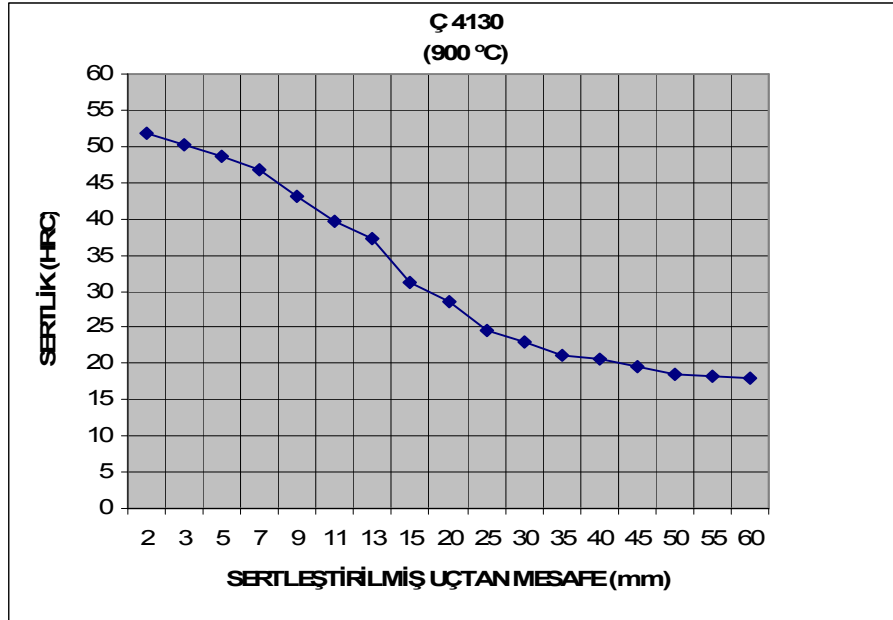
7.2.1 Jominy Deneyi Sonrasında SAE/AISI 4130 Çeliğinin Durumu

900 °C' de 30 dk bekleme;

Çizelge 7.6' da SAE/AISI 4130 çeliği için 900 °C' den yapılan Jominy deneyi sonrası elde edilen sertlik değerleri gösterilmektedir. Şekil 7.9' da çizelge 7.6' daki verilerin grafiksel gösterimi sunulmaktadır.

Çizelge 7.6 900 °C' ye ısıtılmış ve 30 dk beklemiş deney numunesinde elde edilen sertlik değerleri tablosu.

No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
mm	2	3	5	7	9	11	13	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
HRC	51,7	50,2	48,6	46,9	43,2	39,6	37,3	31,2	28,5	24,6	22,9	21,2	20,6	19,5	18,4	18,3	18,1



Şekil 7.9 900 °C' ye ısıtılmış ve 30 dk beklemiş numunede deney sonunda oluşan sertlik (HRC) – mesafe (mm) diyagramı.

SAE/AISI 4130 çeliğinin Jominy uç su verme deneyine tabi tutulmadan önce ölçüldüğünde sertliği 15,9 HRC olarak bulunmuştu; su verme işleminden sonra ölçüldüğünde ise su verilen uçtan 2 mm mesafede 51,7 HRC sertlik olduğu görülmüştür.

SAE/AISI 4130 çeliğinin 900 °C’ den yapılan Jominy deneyine göre sertlik değerine dönüşüm diyagramından (Şekil 7.8) elde edilen sertlik değerleri sertlik – mesafe diyagramında yerine konulacak olunursa bu çelik malzemede yaklaşık şu değerlere ulaşılabilir;

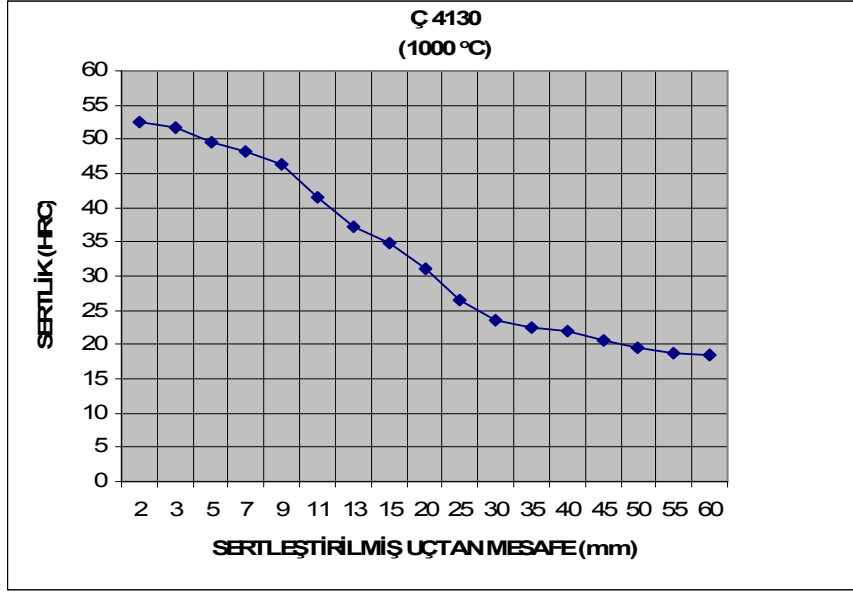
- 2 mm derinlikte % 99,9 Martenzit
- 5,5 mm derinlikte % 95 Martenzit
- 8,5 mm derinlikte % 90 Martenzit
- 10,5 mm derinlikte % 80 Martenzit
- 13 mm derinlikte % 50 Martenzit

1000 °C’ de 28 dk bekleme;

Çizelge 7.7’ de SAE/AISI 4130 çeliği için 1000 °C’ den yapılan Jominy deneyi sonrası elde edilen sertlik değerleri gösterilmektedir. Şekil 7.10’ da çizelge 7.7’ deki verilerin grafiksel gösterimi sunulmaktadır.

Çizelge 7.7 1000 °C’ ye ısıtılmış ve 28 dk beklemiş deney numunesinde elde edilen sertlik değerleri tablosu.

No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
mm	2	3	5	7	9	11	13	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
HRC	52,4	51,8	49,6	48,3	46,4	41,6	37,2	34,9	31,2	26,5	23,7	22,6	21,9	20,7	19,6	18,7	18,5



Sekil 7.10 1000 °C' ye ısıtılmış ve 28 dk beklemiş numunede deney sonunda oluşan sertlik (HRC) – mesafe (mm) diyagramı.

SAE/AISI 4130 çeliğinin 1000 °C' den yapılan Jominy deneyine göre sertlik değerine dönüşüm diyagramından elde edilen sertlik değerleri sertlik – mesafe diyagramında yerine konulacak olunursa bu çelik malzemede yaklaşık şu değerlere ulaşılabilir;

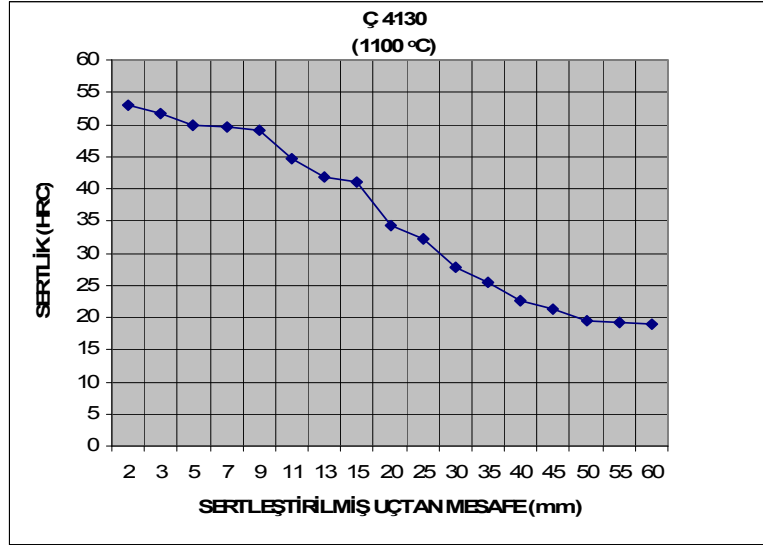
- 3 mm derinlikte % 99,9 Martenzit
- 7,2 mm derinlikte % 95 Martenzit
- 9,8 mm derinlikte % 90 Martenzit
- 11,8 mm derinlikte % 80 Martenzit
- 13 mm derinlikte % 50 Martenzit

1100 C' de 26 dk bekleme;

Çizelge 7.8' de SAE/AISI 4130 çeliği için 1100 °C' den yapılan Jominy deneyi sonrası elde edilen sertlik değerleri gösterilmektedir. Şekil 7.11' de çizelge 7.8' deki verilerin grafiksel gösterimi sunulmaktadır.

Çizelge 7.8 1100 °C' ye ısıtılmış ve 26 dk beklemiş deney numunesinde elde edilen sertlik değerleri tablosu.

No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
mm	2	3	5	7	9	11	13	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
HRC	53,1	51,6	50,0	49,6	49,1	44,6	41,8	41,1	34,4	32,1	27,8	25,4	22,5	21,2	19,6	19,3	19,0



Şekil 7.11 1100 °C' ye ısıtılmış ve 26 dk beklemiş numunede deney sonunda oluşan sertlik (HRC) – mesafe (mm) diyagramı

SAE/AISI 4130 çeliğinin 1100 °C' den yapılan Jominy deneyine göre sertlik değerine dönüşüm diyagramından elde edilen sertlik değerleri sertlik – mesafe diyagramında yerine konulacak olunursa bu çelik malzemede yaklaşık şu değerlere ulaşılabilir;

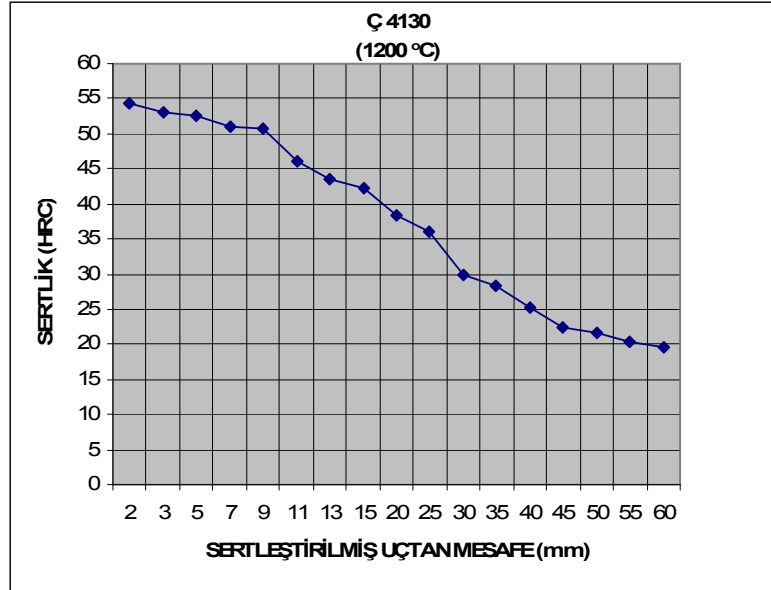
- 4,5 mm derinlikte % 99,9 Martenzit
- 10 mm derinlikte % 95 Martenzit
- 11 mm derinlikte % 90 Martenzit
- 16 mm derinlikte % 80 Martenzit
- 18 mm derinlikte % 50 Martenzit

1200 C' de 25 dk bekleme;

Çizelge 7.9' da SAE/AISI 4130 çeliği için 1200 °C' den yapılan Jominy deneyi sonrası elde edilen sertlik değerleri gösterilmektedir. Şekil 7.12' de çizelge 7.9' daki verilerin grafiksel gösterimi sunulmaktadır.

Çizelge 7.9 1200 °C' ye ısıtılmış ve 25 dk beklemiş deney numunesinde elde edilen sertlik değerleri tablosu.

No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
mm	2	3	5	7	9	11	13	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
HRC	54,4	53,1	52,6	51,0	50,7	46,2	43,5	42,2	38,3	36,1	30,0	28,4	25,3	22,4	21,7	20,3	19,5



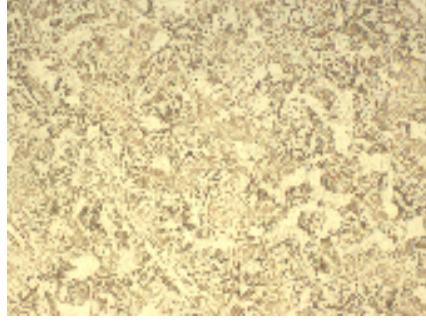
Sekil 7.12 1200 °C' ye ısıtılmış ve 25 dk beklemiş numunede deney sonunda oluşan sertlik (HRC) – mesafe (mm) diyagramı.

SAE/AISI 4130 çeliğinin 1200 °C' den yapılan Jominy deneyine göre sertlik değerine dönüşüm diyagramından elde edilen sertlik değerleri sertlik – mesafe diyagramında yerine konulacak olunursa bu çelik malzemede yaklaşık şu değerlere ulaşılabilir;

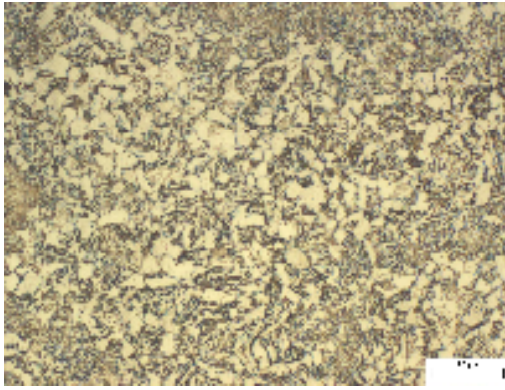
- 6 mm derinlikte % 99,9 Martenzit
- 10 mm derinlikte % 95 Martenzit
- 12 mm derinlikte % 90 Martenzit
- 17,3 mm derinlikte % 80 Martenzit
- 22,5 mm derinlikte % 50 Martenzit

7.2.2 İç Yapı Analizleri

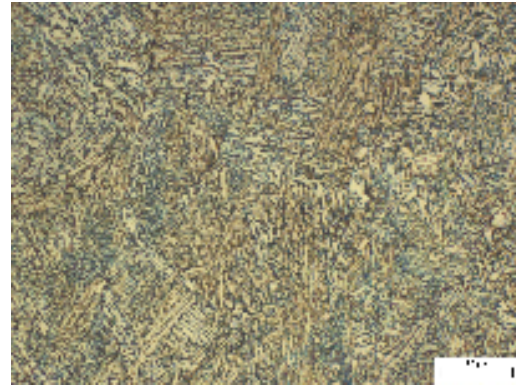
SAE/AISI 4130 çeliği metalografi numunelerinin ısıtım işlem rejimlerinden sonra oluşan iç yapı görüntüleri Resim 7.4 ve 7.5' de görüldüğü gibidir.



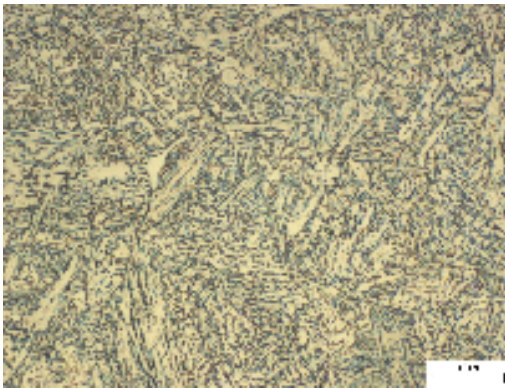
Resim 7.4 SAE/AISI 4130 çeliğinin ısıtım işlem görmemiş iç yapısı (200x).



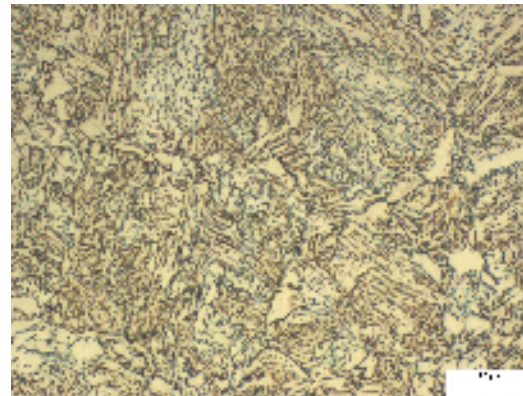
(a)



(b)



(c)

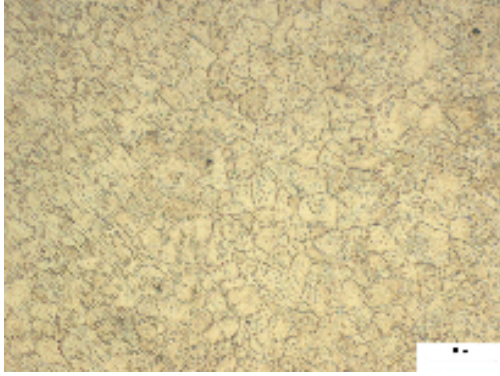


(d)

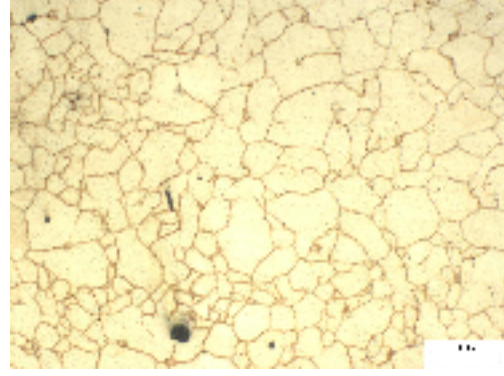
Resim 7.5 SAE/AISI 4130 çeliğinin (a) 900 °C 30 dk bekleme (b) 1000 °C 28 dk bekleme (c) 1100 °C 26 dk bekleme (d) 1200 °C 25 dk bekleme sürelerinde meydana gelen iç yapılar (200x)

Resim 7.4 ve 7.5 (a) da ferrit ve perlit fazları mikro yapıda baskınken Resim 7.5 (b), (c) ve (d) de mikroyapıda martenzit, kısmen karbürler ve beynit fazları fark edilmektedir (Metals Handbook Vol. 7).

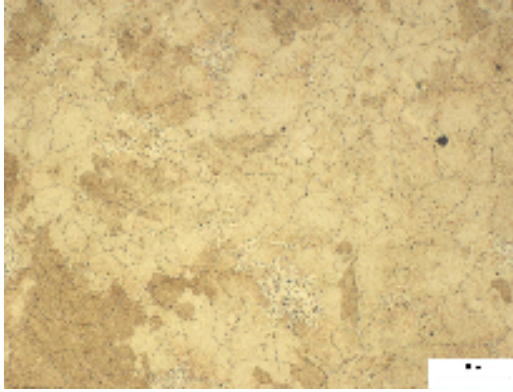
Resim 7.6' da oksitleme yöntemi uygulanmış SAE/AISI 4130 çeliğinin mikroyapıları gösterilmektedir.



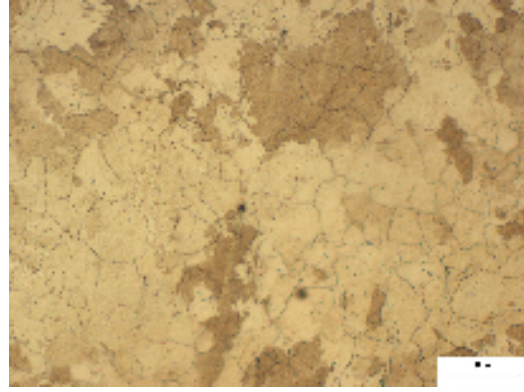
(a)



(b)



(c)



(d)

Resim 7.6 SAE/AISI 4130 çeliğinin (a) 900 °C 30 dk bekleme (b) 1000 °C 28 dk bekleme (c) 1100 °C 26 dk bekleme (d) 1200 °C 25 dk bekleme ve oksitleme yöntemi kullanılarak ortaya çıkarılmış tane boyutları.

900 °C' de 30 dk bekleme;

Ortalama tane boyutu

$$d_{\text{ort}} = 12,3\mu\text{m}$$

1000 °C’ de 28 dk bekleme;

Ortalama tane boyutu $d_{ort} = 15,8 \mu\text{m}$

1100 °C’ de 26 dk bekleme;

Ortalama tane boyutu $d_{ort} = 17,2 \mu\text{m}$

1200 °C’ de 25 dk bekleme;

Ortalama tane boyutu $d_{ort} = 18,3 \mu\text{m}$

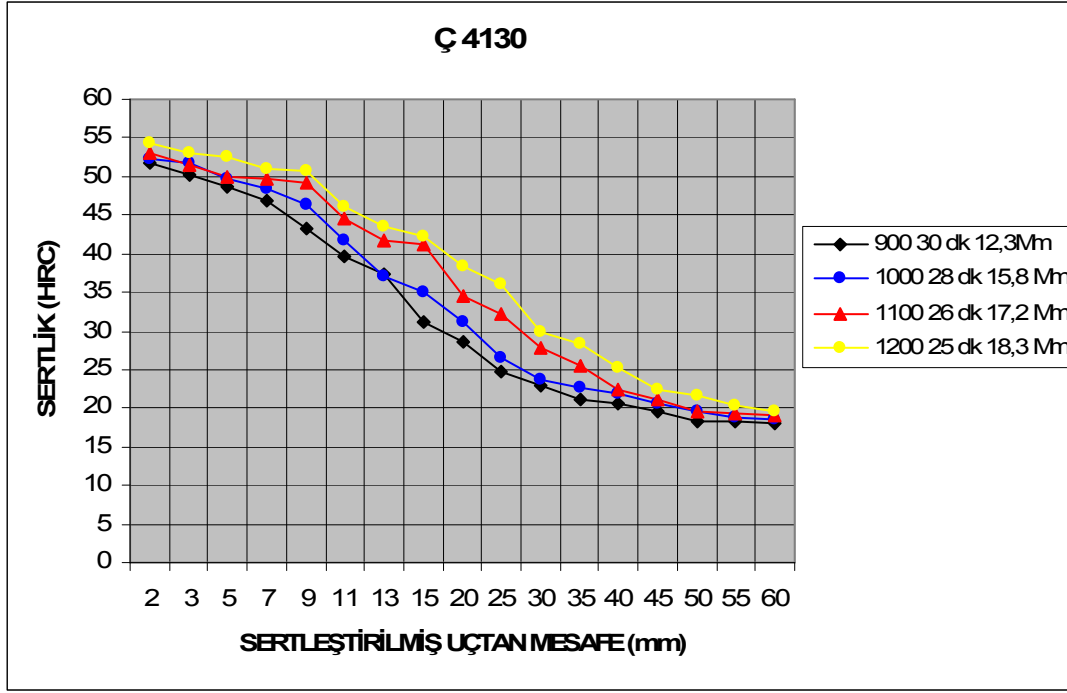
Çıkan sonuçlardanda anlaşılacağı gibi genel olarak sıcaklık arttıkça ortalama tane boyutu da artmıştır. Fakat sıcaklıkla ters orantılı olarak bekleme süreleride azaldığından tane boyutu farkı çok fazla değildir.

Çizelge 7.10 da SAE/AISI 4130 çeliği için dört farklı deney parametresinin sonuçları bir arada verilmektedir.

Çizelge 7.10 SAE/AISI 4130 çeliği için dört farklı deney parametresinin bir arada verilmesi.

No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	Deney parametresi SAE/AISI 4130
mm	2	3	5	7	9	11	13	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	
HRC	51,7	50,2	48,6	46,9	43,2	39,6	37,3	31,2	28,5	24,6	22,9	21,2	20,6	19,5	18,4	18,3	18,1	900 °C 30 dk
HRC	52,4	51,8	49,6	48,3	46,4	41,6	37,2	34,9	31,2	26,5	23,7	22,6	21,9	20,7	19,6	18,7	18,5	1000 °C 28 dk
HRC	53,1	51,6	50,0	49,6	49,1	44,6	41,8	41,1	34,4	32,1	27,8	25,4	22,5	21,2	19,6	19,3	19,0	1100 °C 26 dk
HRC	54,4	53,1	52,6	51,0	50,7	46,2	43,5	42,2	38,3	36,1	30,0	28,4	25,3	22,4	21,7	20,3	19,5	1200 °C 25 dk

Şekil 7.13’ de SAE/AISI 4130 çeliği için dört farklı sertlik değerleri bir arada verilmektedir.



Şekil 7.13 SAE/AISI 4130 çeliği için dört farklı sertlik değerlerinin bir arada verilmesi.

SAE/AISI 4130 çeliğinde de deney sıcaklıkları arttıkça numune yüzeyinden alınan sertlik değerlerinde değişimler meydana gelmiştir. SAE/AISI 1030 çeliğinde olduğu gibi sertleşebilirlik derinliğinin de (Çizelge 7.6, 7.7, 7.8, 7.9) arttığı gözlenmektedir.

Numunelerin deney sıcaklığı arttıkça tane boyutlarında da artış meydana gelmiştir. SAE/AISI 4130 çeliğinin 900 °C den yapılan Jominy deneyinde ortalama 12,3μm 1000 °C de 15,8 μm, 1100 °C de 17,2 μm ve 1200 °C deki deney rejimi sonrası 18,3 μm tane boyutuna sahip numuneler elde edilmiştir. SAE/AISI 1030 çeliğinde olduğu gibi bu çelikte de tane boyutundaki değişim azdır. Bu durum yine deney sıcaklığındaki bekleme süreleriyle ilgilidir. Bekleme süreleri kısa olduğundan SAE/AISI 1030 çeliğiyle tane boyutları açısından farklılık gözlenmemiştir. Esasen alaşımlı çeliklerde tanelerin büyümesi, alaşımsız çeliklere göre daha geç ve uzun sürelerde gerçekleşmektedir (G. Said Isıl İşlem Ders Notları).

SAE/AISI 4130 çeliğinin Resim 7.5' deki mikroyapı görüntülerinde deney rejimleri sonrası ortalama tane boyutunu hesaplamasını zorlaştıran, martenzit ve karbürlerin

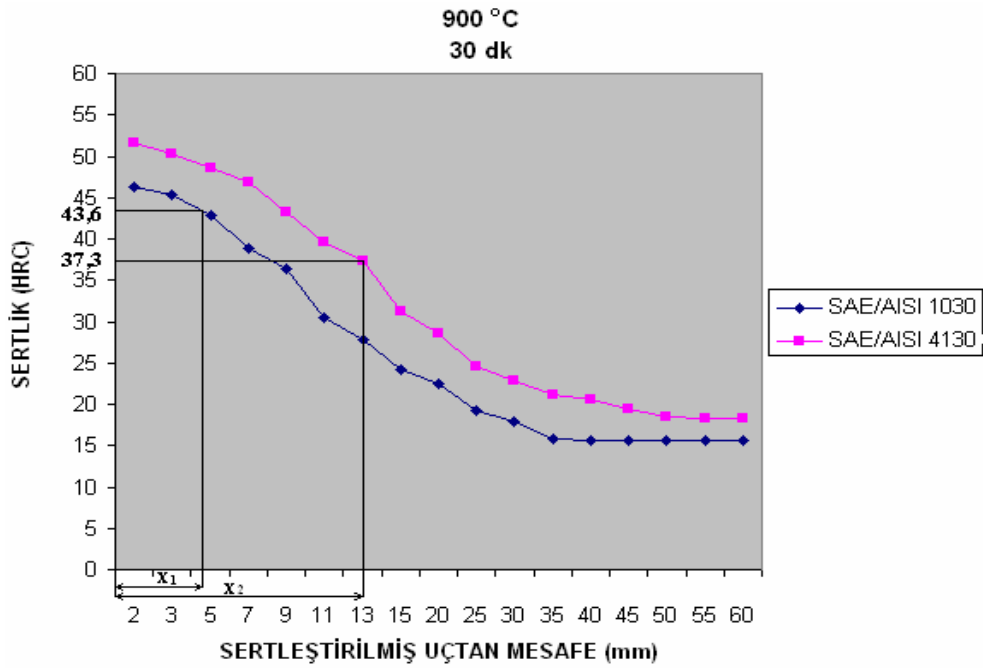
hakim olduğu mikroyapılar elde edilmiştir. Tane boyutunu hesaplamak için bu çeliğe de oksitleme yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntem sonrası Resim 7.6’ daki gibi tane sınırları belirgin bir şekilde ortaya çıkartılmıştır.

Çizelge 7.11’ de SAE/AISI 1030 ve 4130 çeliklerinin farklı sıcaklık ve bekleme sürelerinde ki tane boyutlarının bir arada gösterimi.

Çizelge 7.11 Çeliklerin ısıtma sıcaklığı ve bekleme sürelerine göre tane boyutlarının gösterimi.

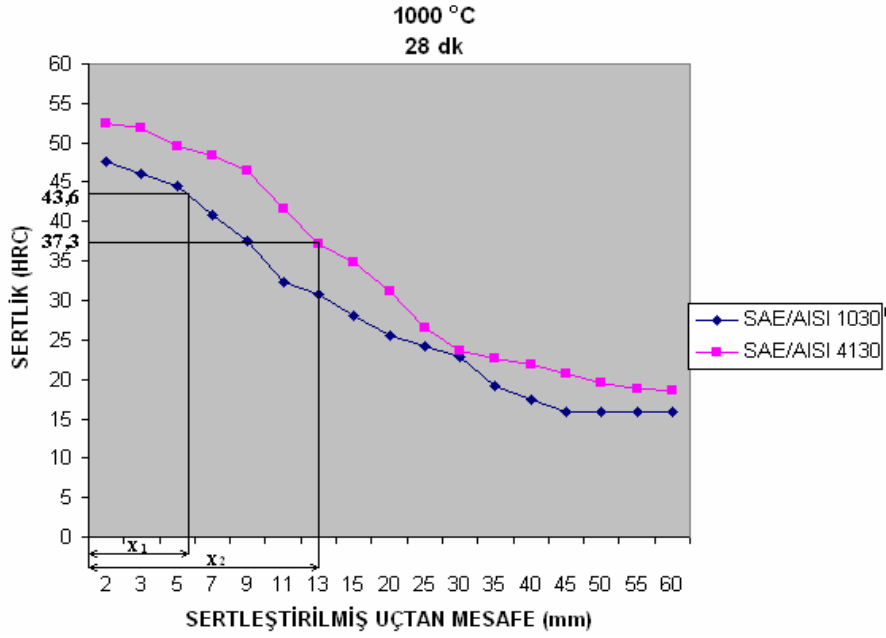
No	Sıcaklık °C Çelik	900 °C	1000 °C	1100 °C	1200 °C
		30 dk	28 dk	26 dk	25 dk
1	SAE/AISI 1030	12,9 µm	14,1 µm	18,5 µm	19,0 µm
2	SAE/AISI 4130	12,3 µm	15,8 µm	17,2 µm	18,3 µm

Şekil 7.14’ de 900 °C’ de 30 dk beklemiş çeliklerin karbon miktarına göre % 50 martenzit, %50 troostit hacminde sertlikleri ve su verme derinlikleri kıyaslanmıştır.



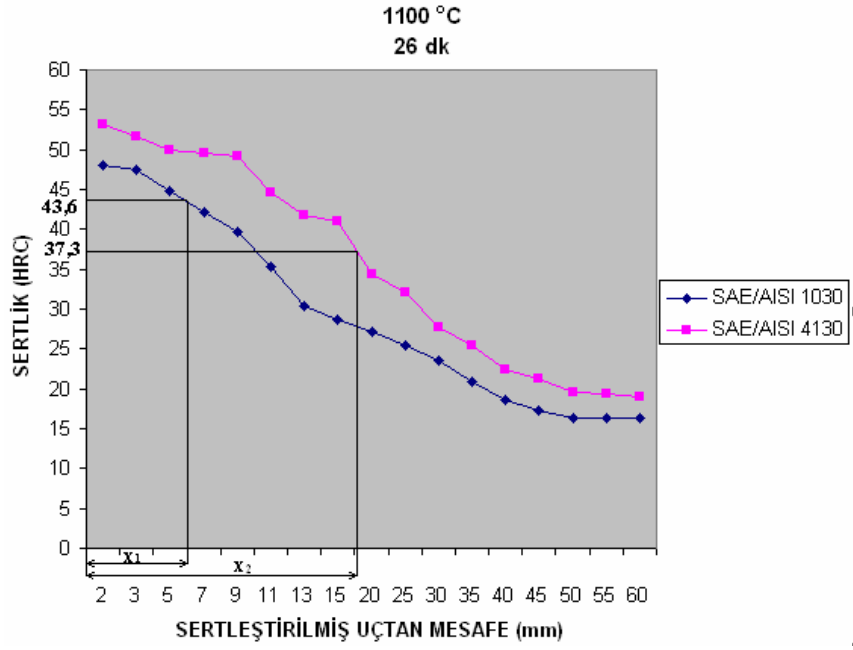
Şekil 7.14 900 °C de 30 dk beklemiş çeliklerin karbon miktarına göre (%50 martenzit, % 50 troostit) sertlik değerlerinin ve su verme derinliğinin kıyaslanması.

Şekil 7.15’ de 1000 °C’ de 28 dk beklemiş çeliklerin karbon miktarına göre % 50 martenzit, %50 troostit hacminde sertlikleri ve su verme derinlikleri kıyaslanmıştır.



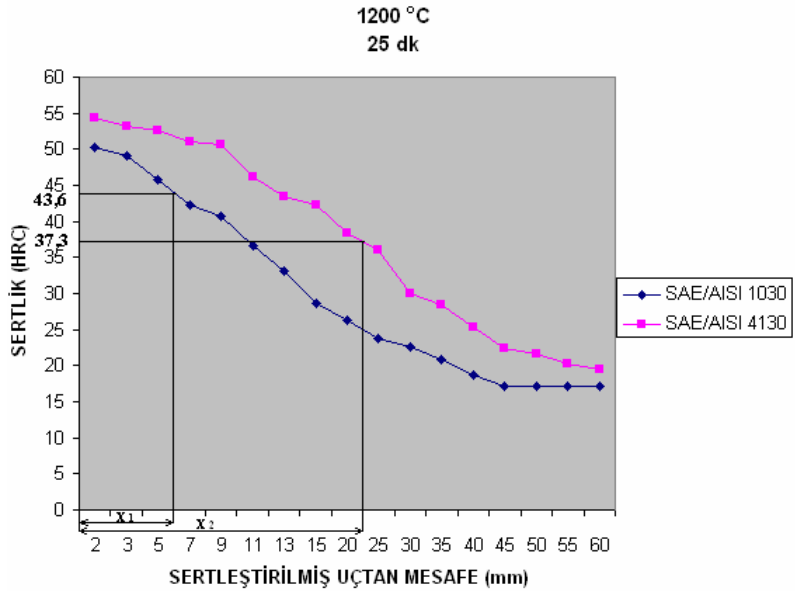
Şekil 7.15 1000 °C de 28 dk beklemiş çeliklerin karbon miktarına göre (%50 martenzit, % 50 troostit) sertlik değerlerinin ve su verme derinliğinin kıyaslanması.

Şekil 7.16’ da 1100 °C’ de 26 dk beklemiş çeliklerin karbon miktarına göre % 50 martenzit, %50 troostit hacminde sertlikleri ve su verme derinlikleri kıyaslanmıştır.



Şekil 7.16 1100 °C de 26 dk beklemiş çeliklerin karbon miktarına göre (%50 martenzit, % 50 troostit) sertlik değerlerinin ve su verme derinliğinin kıyaslanması.

Şekil 7.17' de 1200 °C' de 25 dk beklemiş çeliklerin karbon miktarına göre % 50 martenzit, %50 troostit hacminde sertlikleri ve su verme derinlikleri kıyaslanmıştır.



Şekil 7.17 1200 °C de 25 dk beklemiş çeliklerin karbon miktarına göre (%50 martenzit, % 50 troostit) sertlik değerlerinin ve su verme derinliğinin kıyaslanması.

7.14, 7.15, 7.16, 7.17 deki grafikler incelendiğinde aynı koşullar için 4130 çeliğinin sertlik ve su verme derinliğinin 1030 çeliğine göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu duruma alaşım elementlerinin etkisi olduğu düşünülmektedir. Ayrıca grafiklerde sıcaklık arttıkça su verme derinlikleri iki çelik içinde artmaktadır. Ancak 4130 çeliği için hacimsel olarak % 50 martenzit elde ettiğimiz derinlik 1030 çeliğine oranla daha yüksektir. Bunun sebebi ise 4130 çeliğindeki alaşım elementlerinin su verme derinliğine etki etmesidir. Ayrıca ısıtma işlem sıcaklığı arttıkça tane boyutunun büyümesi su verme derinliğini artırıcı bir rol oynamıştır.

8.SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Makine ve elemanlarının imalatında en çok kullanılan ve bu alanda önemli bir yer tutan malzeme hiç şüphesiz ki çeliktir. Üretimi yapılacak makine elemanı için kullanılacak olan çelik gelişi güzel seçilemez. Kullanılacak olan çeliğin fiziki ve mekanik özellikleri bilinip, kullanılacağı yerde görevini yapıp yapamayacağı belirlenmelidir. Seçimi yapılan çeliğin mekanik ve fiziksel özelliklerinin ihtiyaçları karşılayabilmesinin yanında ekonomik olması da tabii ki istenen bir husus olarak karşımıza çıkmaktadır.

Ancak çelik seçiminde dikkat edilmesi ve bilinmesi gereken bir özellik vardır ki, o da çeliğin sertleşebilme özelliğidir. Çeliğin en önemli özelliklerinden olan sertleşebilme kabiliyeti bilinerek yapılan bir çelik seçimi daha isabetli olacaktır.

Çeliklerin sertleşebilme kabiliyetlerinin belirlenmesinde kullanılan metotlardan en önemlisi ve pratik olanı Jominy uç su verme deneyidir. Çeliklerin sertleşebilirlik deneylerinin yapıldığı Jominy deneyinin ve cihazlarının içeriği T.S. 1381 ' de ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

Tez çalışmasında elde edilen sertlik değerleri göz önünde bulundurularak, sertleştirilmiş alın yüzeyden itibaren sertlik değişim grafikleri oluşturulmuştur. Su verilen çeliğin yüzeyindeki elde edilen sertlik, çeliklerin sertleşebilme özelliklerini verir. En çok etkileyen faktörde çeliğin kimyasal bileşimi ve tane boyutudur. Çelik üzerinde en çok etkili olan alaşım elementi karbonun sertleşme üzerindeki etkisi açıktır.

Bu bilgiler dikkate alındığında şöyle bir sonuca varabiliriz. Alaşimsız 1030 ve alaşımlı 4130 çelikleri incelendiğinde karbon oranlarının aynı olmasına rağmen, 1030 çeliğinin sertleşebilirliği ve su verme derinliği 4130 çeliğinkine nazaran daha az olduğu görülmektedir. Bunun da en önemli nedenlerinden birisi çelik içerisindeki alaşım elementlerinin etkisidir. Çelik içindeki alaşım miktarı arttıkça, sertleşebilirlikleri ve sertlik derinliklerinin arttığı sonucuna varılmıştır.

Çelikler kendi aralarında sıcaklıkla kıyaslandığında sıcaklık arttıkça (900 °C, 1000 °C, 1100 °C, 1200 °C) sertleşebilirlik ve su verme derinliği de artmıştır. 4130 çeliğinin su verme derinliği en fazla 18 mm (% 50 martenzit), 1030 çeliğinin ki ise en fazla 6 mm (% 50 martenzit) dir ve 4130 çeliği 3 kat daha fazla sertleşebilirliğe sahip olduğu görülmüştür.

Çelikler tane boyutu ile ilişkilendirilecek olursa 1030 ve 4130 çeliklerinde sıcaklık arttıkça tane boyutu da artmaktadır. Tane boyutunun artması ise mekanik özellikleri önemli derecede etkilemektedir. Bu çalışmaya göre tane boyutu arttıkça su verme derinliği de artmıştır. Isıl işlem sıcaklığının artması, numunenin tüm kesit yüzeyi boyunca etkili soğutmanın da kısmen arttığını ortaya koymaktadır.

Üretimde kalite kontrol yapabilmek için sertleşebilirlik bantlarının bilinmesi gerekir. Bu nedenle çelik üretim kuruluşları ürettikleri çeliklerin sertleşebilirlik bantlarını belirlemeleri gerekmektedir. Sertleşebilirlik eğrisi tespit edilen çeliğin seçimi daha kolay olmaktadır.

KAYNAKLAR

Akdoğan Eker, A., 2008, “Çeliğin Isıl İşlemi”.

Ay, İ., Kapusuz, F., 2008-2009, “Malzeme Teknolojisi – 1 Ders Notları”, Balıkesir.

Crafts, W., Lamont, J.,L., 1971, “Çelik Seçimi ve Sertleşebilme”, TMMOB Yayını, Ankara.

Çelik, S., Otmanbölük, N., Fidan, L., 2006, “Çelikteki Alaşım Elementlerinin Sertleşebilirliğe Ve Sertleşme Derinliğine Etkisi”, TİMAK-Tasarım İmalat Analiz Kongresi, Balıkesir.

Demirci A.,H., 2004, “Mühendislik Malzemeleri”, Aktüel Basım, İstanbul.

Flinn, R.,A., Trojan, P.,K.,1986, “Engineering Materials and Their Applications”, Houghton Mifflin Company, Boston.

Geller, Yu. A., Rahshtadt,A. G., 1983, Malzeme Bilimi, Moskova, 384s.

Gökçe, B., 2004, “Çeliklere Uygulanan Isıl İşlemlerin Otomasyonu İçin Bir Mekatronik Sistem Tasarımı”, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 58 s., Afyon.

Grange, R.A. 1973. Estimating the Hardenability of Carbon Steels, Metallurgical Transactions, 4: 2231 – 2244

Gümüşboga, G., 2006, “SAE/AISI 1050, 4140, 2080, 3051 Çeliklerinin Jominy Yöntemi İle Sertleşebilirliklerinin Araştırılması”, Lisans tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon.

- Güventürk, F., 1973, “Çeliklerin Tavlanması ve Isıl İşlemi”, Kırıkkale.
- Gregory, E., 1958, “The Heat Treatment of Steel”, Pitman Publishing Company, London.
- Kara, R., 2005, “Tane Boyutunun HMK Kafesli Metallerin Temel Mekanik Özelliklerine Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 145 s., Afyon.
- Köse, S., 2008, “AISI/SAE 1040-2738-304 Çeliklerinin Sertleşme Kabiliyetlerinin Jominy Deneyi İle Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 86 s., Afyon.
- Kosgeb, 1992, Çelik Malzemelerin Seçimi ve Standartları, Çetin Ofset, İstanbul.
- MEB, 2001, “Mesleki ve Teknik Öğretim Okulları İçin Malzeme Bilgisi”.
- Metals Handbook, 1971, 8th Edition Vol. 7 Atlas of Microstructures of Industrial Alloys.
- Prabhudey K.,H., 1992, “Handbook of heat treatment of steels”, Tata McGraw- Hill Publishing Company Limited, New Delhi.
- Said,G., 2003, “Isıl İşlemler ve Laboratuvarı Ders Notları” Afyon.
- Savaşkan, T., 1999, “Malzeme Bilgisi ve Muayenesi”, Derya Kitabevi, Trabzon.
- Smith, F.,W., Çev. Erdoğan, M., 2000, ”Mühendislik Alaşımalarının Yapı ve Özellikleri”, Nobel Yayınları, Ankara.
- Tekin, A., 1984, “Çelik ve Isıl İşlemi” Bofors El Kitabı, Hakan Ofset, İstanbul.

Thelning, K., E., Çev. Tekin A., 1984, “Çelik ve ısıt işlemleri”, Hakan Ofset, İstanbul.

Topbaş, M., A., 1993, “Endüstri Malzemeleri 1.Cilt”, Prestij Basımevi, İstanbul.

Topbaş, M.,A., 1993, “Isıl işlemler”, Prestij Basın, İstanbul.

Türkiye Demir Çelik İşletmeleri Genel Müdürlüğü, 1997, Ürünler Kataloğu 1995,
s. 3-15, Ankara.

TS 1112 EN 10052,” Demir ve Çelikler Isıl İşlem”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS 1381, 1974, “Çeliğin Ucuna Su Vererek Sertleşebilme Deneyi (Jominy Deneyi)”.

Ulu, S., 2004, “Karbonlu ve Düşük Alaşımli Çeliklerin Temel Mekanik Özelliklerinin
Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen
Bilimleri Enstitüsü, 106 s., Afyon.

Weissbach W., Çev. Anık S, Anık E, Vural M, 1998, “Malzeme Bilgisi ve Muayenesi”,
Birsen Yayınevi, İstanbul.

İnternet Kaynakları

Erişim Tarihi

1- http://www.mert-celik.com/pdf/celikte_ulasim_elementleri.pdf	25.05.2010
2- http://kucuklercelik.com/dokumanlar4.htm	26.05.2010
3- http://doganyilmaz.com/islah-nedir.html	27.05.2010
4- http://www.frmevrensel.com/celik-cesitleri-celiklerin-siniflandirilmesi-uygulanan-isisli-islemler-t93874.html?s=04dc5f6a58bb1c75b6f853a9ac86fd8f&p=165094	26.05.2010

- 5- <http://www.nkfu.com/tag/genel-yapi-celikleri-ozellikleri/> 27.05.2010
- 6- <http://www.cemilsenocak.com/bitirmem/bolum3.htm> 31.05.2010
- 7- <http://www.azom.com/details.asp?ArticleID=313> 25.05.2010
- 8- http://www.inamlik.com/karbon_celikleri.asp 26.05.2010

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Mesut GÖK
Doğum Yeri : Sivas
Doğum Tarihi : 05.06.1984
Medeni Hali : Bekar
Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl):

Lise : Sivas T.L ve E.M.L.- Elektronik Bölümü - 2001
Lisans : A.K.Ü – Tek.Eğt.Fak - Metal Öğretmenliği -2008
Yüksek Lisans : A.K.Ü. Fen Bilimleri Enst. - Metal Eğitimi A.B.D. - 2010

Çalıştığı Kurum / Kurumlar ve Yıl

Yayımları (SCI ve Diğer)