T.C.
TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ALAŞIMLI ÇELİKLERİN SERTLEŞEBİLME KABİLİYETİNİN SAPTANMASI

BEKİR ÇAVDAR
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇORLU MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANA BİLİM DALI
YRD. DOÇ. DR. SEMİH ÜZE
2007
ÇORLU

T.C.

TRAKYA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ALAŞIMLI ÇELİKLERİN SERTLEŞEBİLME KABİLİYETİNİN SAPTANMASI

BEKİR ÇAVDAR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇORLU MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

Bu tez / / tarihinde Aşağıdaki Jüri Tarafından Kabul Edilmiştir.

Yrd.Doç. Dr. Semih ÜZE Yrd.Doç. Dr. Nurşen Öntürk ALTAY Yrd.Doç. Dr. Cem ÇETİNARSLAN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi
Alaşımlı Çeliklerin Sertleşebilme
Kabiliyetinin Saptanması

Trakya Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitisü

Çorlu Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Makine parçaları ve yapısal elemanların üretiminde kullanılan malzemelerin şeçiminde bulunan yeni malzemelerin ve özellikle kompozitlerin gelişmesiyle seçenekler artmıştır.

Buna rağmen çelikler, yüksek dayanım – tokluk ilişkisini en iyi kombinasyonda gösteren malzeme olduğu için tercih edilebilirler. Bu kombinasyonu çeliğe veren ısıl işlemlerdir.

Özellikle sertleştirme işlemiyle çeliklerin mekanik özellikleri iyileştirilir. Ancak bu artış çeliğin sertleşebilirlik özelliği göstermesine bağlıdır.

Bu çalışmada 5 farklı çelik numunesinin Jominy deneyi sonuçları incelenmiştir. Su verilen uçtan itibaren çelik numunelerindeki iç yapı değişimleri ölçülen sertlik değerleri ile karşılaştırılmıştır.

2007 , 53 sayfa

Anahtar Kelimeler : Grossmann, Martenzit, Sertleşebilirlik, Jominy Deneyi, TTT, CCT.

SUMMARY

Master of Science Thesis
Determining The Hardenability of Alloyed Steels

Trakya University
Institute of Science
Çorlu Mechanical Engineering Main Department

Alternative materials which can be used fort he production of machine parts and building elements, increase with the developmet of new materials especially composites.

Although steel is usually, preferred for its strength and toughness. This properties are given to steal by heat treatment.

Mechanical behaviour of the steel can be improved with hardening. İmprovement depends on the hardenability of steel.

In this report, Jominy test results of the five different steel samples were examined. Structural changes along the quanched edge were compared with the hardness valves measured.

2007 , 53 pages

Keywords : Grossmann, Martensit, Hardenabilitiy, Jominy Test, TTT, CCT.

ÖNSÖZ

Çelikler kullanım maksatlarına göre çeşitli işlemlere tabi tutulabilirler. Yüksek dayanım gerektiren çeliklerin ısıl işlemle sertleştirilmesi de bu işlemlerden biridir.

Tezin giriş bölümünde tezin hazırlanma amacı anlatılmıştır. Isıl işlem esnasında demir esaslı malzemelerin sıcaklıkla değişim süreci ve ısıtılan malzemenin soğutulması esnasında oluşan değişim süreci anlatılmılştır. Bunların yanında sıcaklık değişimi ile oluşan ferrit ,perlit,beynit ve martenzit yapıları da anlatılmıştır.

Tezin gelişme bölümünde deney numunelerinin hazırlanmasında kullanılan cihazlar ve deney esnasında kullanılan cihazlar hakkında bilgiler verilmiştir.Bu cihazların teknik özellikleri hakkında da bilgiler verilmiştir. 5 farklı deney numunesi Jominiy deneyine tabi tutulmuştur ve elde edilen sonuçlarda raporlanmıştır. Raporlama düzenlenirken somut veriler de yazıya aktarılmıştır.

Sonuç bölümünde 5 farklı numuneye ait deney bulguları irdelenmiştir. Tartışma ve öneriler bölümünde ise 5 farklı numuneye ait deney sonuçları kıyaslanarak hangi numunenin sertleşebilirliğinin daha iyi olduğu belirtilmiştir.

Tez çalışmamda her zaman maddi ve manevi desteklerini benden esirgemeyen eşim Seçil ÇAVDAR' a , tüm 43. Bakım Merkez Komutanlığı çalışanlarına ayrıca tezin yazımında ve kontrolünde bilgilerini benimle paylaşan Sayın Yrd.Doç.Dr. Semih ÜZE'ye teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER **Sayfa No**

ÖZET i
SUMMARY ii
ÖNSÖZ iii
İÇİNDEKİLER iv
SİMGELER vi
ŞEKİLLER DİZİNİ vii
TABLOLAR DİZİNİ viii
1. GİRİŞ 1
1.1. Dönüşümler Ve Demirin Kristal Yapısı 1
1.1.1. Demir – karbon denge diyagramı 3
1.1.2. Isıtma 5
1.1.3. Soğutma sırasında ostenitten dönüşüm 7
1.1.3.1. Ostenitten beynite dönüşüm 13
1.1.3.2. Ostenitten martenzite dönüşüm 14
1.1.3.3. Martenzitin kristalografik özellikleri 14
1.1.4. Sürekli soğutma dönüşüm eğrileri 18
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI 20
3. MATERYAL VE METOD 22
3.1. Çeliğin Sertleşebilirliği 22
3.1.1. Grossmann Sertleşebilirlik Testi 23
3.1.2. Jominy Sertleşebilirlik Deneyi 23
3.1.2.1. Sertleşme yeteneği hesabı 25
3.1.3. CCT Diyagramlarının Pratik Kullanışı 26
3.1.3.1. Amerikan Yöntemi 26
3.1.4. Su Verme 27
3.2. Jominy Deneyinde Kullanılan malzemeler 28
4. MUAYENE VE DENEYLER 30
4.1. Deneylerde Kullanılan Cihazlar 30
4.1.1. Jominy su verme düzeneği 30
4.1.2. Isıtma fırını 30
4.1.3. Görüntü analizörü 30

4.1.4. Sertlik ölçüm cihazı 30
4.1.5. Kesme cihazları 31
4.1.6. Zımparalama cihazı 31
4.1.7. Parlatma cihazı 31
4.2. Deneyin Yapılışı 31
5. DENEY SONUÇLARI 33
5.1. 1040 çeliği 33
5.2. 1050 çeliği 34
5.3. 3140 çeliği 35
5.4. 8620 çeliği 36
5.5. 8640 çeliği 37
6. TARTIŞMA VE ÖNERİLER 38
7. KAYNAKLAR 40
8. ÖZGEÇMİŞ 41
9. EKLER 42
EK - A Deney Raporları 42
EK – A.1 42
EK – A.2 43
EK – A.3 44
EK - B Deney Raporları 45
EK – B.1 45
EK – B.2 46
EK - C Deney Raporları 47
EK – C.1 47
EK – C.2 48
EK - D Deney Raporları 49
EK – D.1 49
EK – D.2 50
EK - E Deney Raporları 51
EK – E.1 51
EK – E.2 52
EK – E.3 53

SİMGELER

α	:	Ferrit, demirin oda sıcaklığı ile A1 sıcaklıkları arasındaki yapısı
γ	:	Ostenit, demirin A1 ile 1392 ° C sıcaklıkları arasındaki yapısı
δ	:	Ferrit, demirin 1392 ° C ile ergime sıcaklıkları arasındaki yapısı
A°	:	Angström (10^{-8} cm)
Fe	:	Demir
C	:	Karbon
Fe_3C	:	Demir Karbür (sementit)
P	:	Perlit
ΔT	:	Ostenitten soğuma hızı
S	:	İki levha arasındaki uzaklık
SAE	:	Amerikan Normu
YMK	:	Yüzey Merkezli Kübik Yapı
HMK	:	Hacim Merkezli Kübik Yapı
TTT	:	İzotermal dönüşüm eğrisi
Ms	:	Martenzit başlangıç sıcaklığı
Mf	:	Martenzit bitiş sıcaklığı
CCT	:	Sürekli soğutma dönüşüm eğrisi
Di	:	İdeal kritik çap
Rc	:	Rockwell sertlik
Mn	:	Mangan
Si	:	Silisyum
P	:	Fosfor
S	:	Kükürt
Cr	:	Krom
Ni	:	Nikel

ŞEKİLLER DİZİNİ

		Sayfa No
1.1	Saf demir için ısıtma soğutma eğrileri (1).....	2
1.2	Ferrit ve ostenitin kristal yapıları (1).....	3
1.3	Farklı karbon içeriklerine sahip karbonlu çeliklerin mikro yapıları (1).....	4
1.4	Fe – C denge diyagramının sol alt kısmı (1).....	4
1.5	Fe – C denge diyagramı (1).....	5
1.6	Çeşitli karbon çeliklerinde ısıtma sırasındaki yapısal dönüşümlerin şematik görünüşleri(a/b)(1).....	6
1.7	Ostenitin perlite dönüşümü (2).....	8
1.8	Şematik olarak perlit oluşumu ve büyümesi (1).....	9
1.9	Ötektoid çelik için kesik su verme (2).....	11
1.10	Ötektoid çeliğin izotermal dönüşüm eğrisi (2).....	12
1.11	SAE 1045 çeliğinin izotermal dönüşme diyagramı (2).....	12
1.12	Alaşım elementlerinin dönüşüm başlangıcı zamanını geciktirmesi (2).....	13
1.13	Tavlanmış demir karbon alaşımı ve martenzitin, değişen karbon oranlarına göre sertlik değişimi (2).....	15
1.14	Ostenitteki karbon miktarının, alaşımsız çeliklerde Ms – Mf sıcaklıklarına etkisi (1).....	17
1.15	Sertleştirme işleminde, kalıcı ostenit miktarının, ostenitte çözünmemiş karbon miktarı ile değişimi (1).....	18
1.16	Ötektoid çelik için sürekli soğuma dönüşüm eğrisi (2).....	19
3.1	Sertlik, karbon oranı ve % martenzit arasındaki bağıntı (5).....	22
3.2	Jominy numunesinin su verilerek sertleştirilmesi (1).....	23
3.3	Jominy kesit su verme deneyi (3).....	24
3.4	Soğuma hızı ve su verilmiş uçtan mesafe diyagramı (2).....	25
3.5	CCT eğrileri ve jominy mesafesi ilişkisi(1).....	26
3.6	Martenzit oluşturmak amacıyla direk su verme (1).....	27
3.7	Jominy çubuğu (1).....	28
4.1	Jominy numunesinin su verme düzeneği (1).....	30
5.1	1040 çeliğinin sertlik eğrisi.....	33
5.2	1050 çeliğinin sertlik eğrisi.....	34
5.3	3140 çeliğinin sertlik eğrisi.....	35
5.4	8620 çeliğinin sertlik eğrisi.....	36
5.5.	8640 çeliğinin sertlik eğrisi.....	37

TABLOLAR DİZİNİ

Sayfa No

1.1 Uzaklığa bağlı sertlik değişimleri (1) 10

1.2 $M_s - M_f$ sıcaklıklarının karbon miktarı ile değişimi (1) 16

3.1 Deney numunelerinin kimyasal analizleri 28

5.1 1040 çeliğinin soğutma ucundan uzaklık ve sertlik değerleri 33

5.2 1050 çeliğinin soğutma ucundan uzaklık ve sertlik değerleri 34

5.3 3140 çeliğinin soğutma ucundan uzaklık ve sertlik değerleri 35

5.4 8620 çeliğinin soğutma ucundan uzaklık ve sertlik değerleri 36

5.5 8640 çeliğinin soğutma ucundan uzaklık ve sertlik değerleri 37

1. GİRİŞ

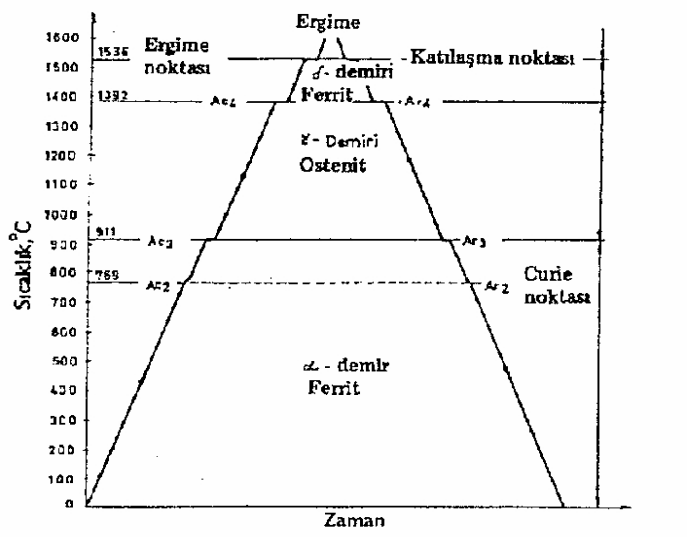
Isıl işlem kavram olarak metal malzemelerinin iç yapılarını, malzemenin özelliklerini iyileştirmek veya değiştirmek için yapılan ısıl temelli işlemlerin tümünü kapsayan bir deyimdir.

Bir metal parçanın ısıl işlemi; o metalin faz diyagramı göz önüne alınarak belli sıcaklıklar arasında malzemenin ısıtılması, bu sıcaklıklarda tutulması ve ardından ortam sıcaklığına belli soğutma hızlarıyla soğutulması anlamlarını bir arada içerir.

1.1. Dönüşümler Ve Demirin Kristal Yapısı

Bir saf demir parçası oda sıcaklığından ergime sıcaklığına kadar ısıtıldığında, çok sayıda kristalografik dönüşümlere uğrar ve iki farklı allotropik dönüşüm gösterir. Demirin allotropik dönüşüm olayına karışan ısıya dönüşüm gizli ısısı adı verilir. Eğer bir demir numune kararlı bir hızla ısıtılırsa, sıcaklıktaki artış dönüşümün başlamasıyla kesilir ve sıcaklık dönüşüm tamamlanmasına kadar sabit olarak kalır. Ergimiş demirin oda sıcaklığına soğutulması sırasında, dönüşümler ısıtmadakine yakın bir sıcaklıkta ters olarak meydana gelir. Bu dönüşümler sırasında ısı serbest hale geçer ve soğuma hızının azalmasına neden olur. Soğuma hızındaki bu değişiklik dönüşüm devam ettiği sürece devam eder.

Ferrit ve ostenit adı verilen demire ait iki faz ile bunların ısıtma ve soğutma sırasındaki dönüşüm sıcaklıkları ve kararlılık bölgeleri, şekil 1.1‘de gösterilmektedir.

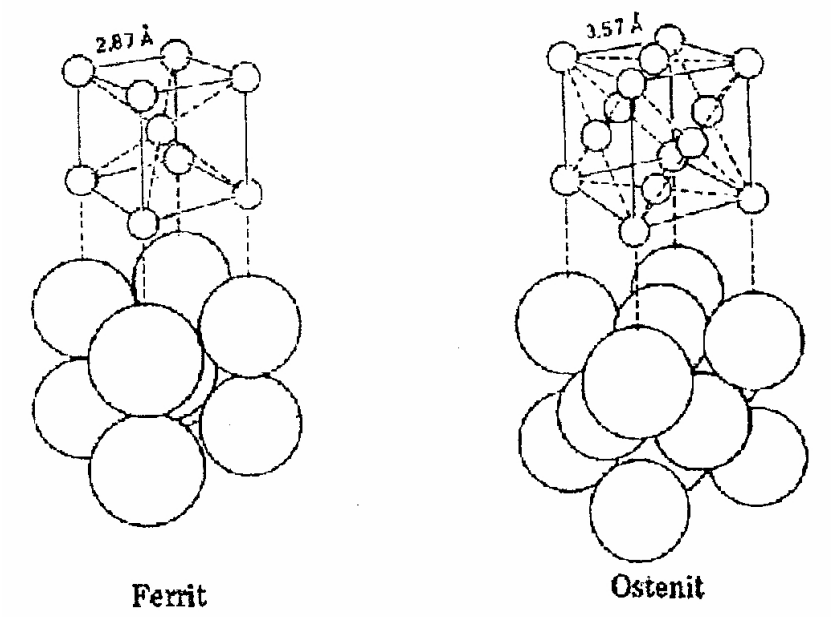


Şekil 1.1: Saf demir için ısıtma soğutma eğrileri. (1)

Bu şekilde A harfi gecikme, C harfi ısıtma, R harfi ise soğutma anlamlarını ifade eder. Ferrit 1392°C ile ergime sıcaklıkları ve 911°C'nin altında karalıdır. Ferritin kararlı yapıda olduğu bu iki halinden birincisine δ demiri, sonrakine α demiri adı verilir. Ostenit adı verilen γ demiri 911°C ile 1392°C arasında kararlıdır.

Atomların metaller içersinde oluşturdukları düzenli yapıya kristal yapı adı verilir. Bu kristal yapı demir için küplerin yan yana veya üst üste dizilmeleri şeklindedir. Her bir küpün köşesinde yer alan 8 atom, 8 adet birim hücre tarafından paylaşılmaktadır. Köşe atomlarının yanı sıra, birim hücrede demirin allotropik durumuna bağlı olarak ilave atomlarda kullanılabilir.

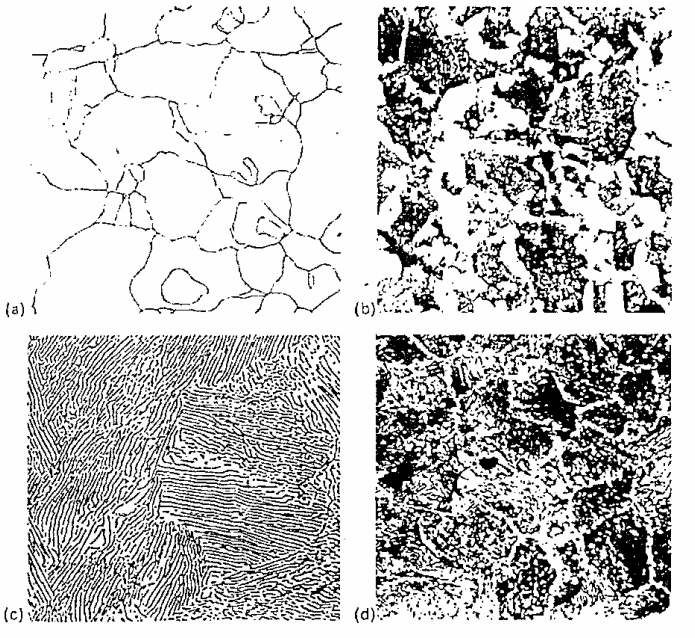
Hacim merkezli kübik yapıda (HMK) olan ferritin birim hücresinin köşelerinde birer atom ve köşegenlerinin kesim noktasında (yani merkezde) bir atom mevcuttur. Birim hücrenin kenar uzunluğu veya latis parametresi oda sıcaklığında (20°C) 2,87 ° A'dır (angström = 10^{-8} cm). ostenit yüzey merkezli kübik yapıya sahip olup latis parametresi 3,57° A'dır. α demiri ile γ demirinin birim hücreleri şekil 1.2'de gösterilmiştir. γ demirinin birim hücresinin latis parametresi, α demirine oranla daha yüksek yoğunluğa sahiptir.



Şekil 1.2 : Ferrit ve ostenitin kristal yapıları. (1)

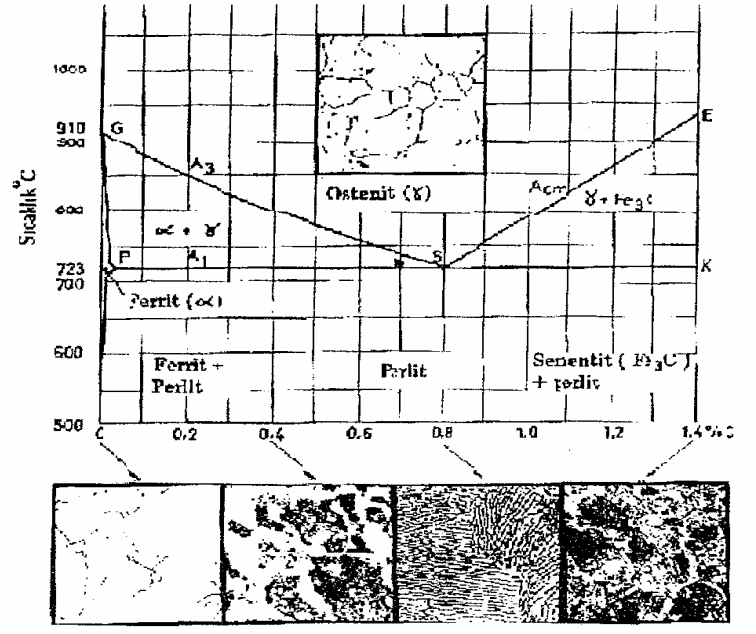
1.1.1. Demir –karbon denge diyagramı

Çelikteki alaşım elementlerinden en önemlisi karbondur. Karbonun varlığı, çeliği günlük yaşantının en önemli bir unsuru yapar. Elde edilebilir çok sayıda özelliklerden de büyük ölçüde sorumludur. Oda sıcaklığında karbonun α demiri içersindeki çözünürlüğü çok düşüktür ve bu nedenle karbon atomları tek tek demir atomları arasında çok seyrek olarak bulunurlar. Ferritte çözünmüş karbon miktarının düşük olması karbonun demir karbür bileşiğini oluşturduğunu gösterir. Karbonun demir ile oluşturduğu yapıya sementit adı verilir. Demir karbür ferrit ile beraber lamel şeklinde mevcut olabilir. Perlit adı verilen bu yapı %0,8 C içerir. Yapıdaki perlit oranı karbon miktarının %0,8 değerine kadar artış gösterir. Bu miktardan daha fazla karbon tane sınırları karbürü olarak ayrılır. %0,8C'lu bu çeliğe ötektoit adı verilir. Şekil 1.3 a-d 'de bu yapılar şematik olarak verilmiştir.



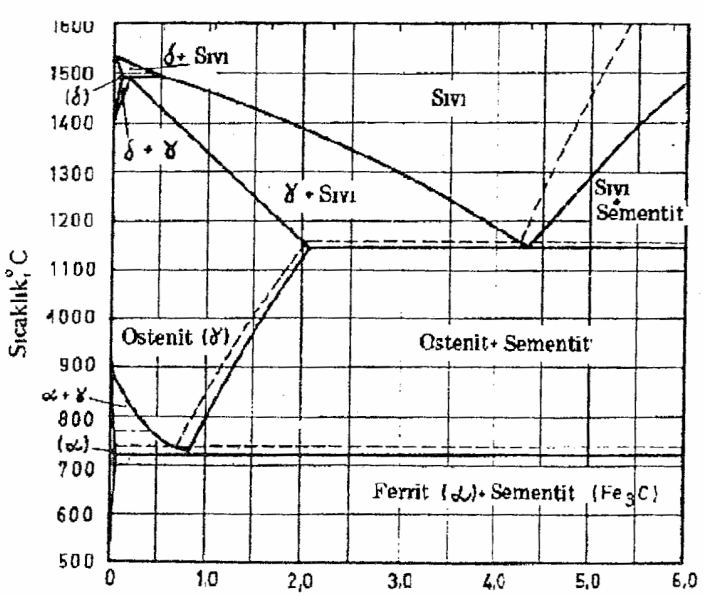
Şekil 1.3 : Farklı karbon içeriklerine sahip karbonlu çeliklerin mikro yapıları. (1)

Demir karbon ile alaşımlandığında, dönüşüm Fe-C denge diyagramında gösterildiği gibi, karbon miktarına bağlı olarak belli bir sıcaklık aralığında meydana gelir. Şekil 1.4'de Fe-C denge diyagramının çeliğin ısıl işlemi için kullanılan kısmına ait çeşitli mikro yapıları gösterilmektedir.



Şekil 1.4: Fe-Sementit denge diyagramının sol alt kısmı. (1)

Bu denge diyagramını %0,6C içeriğine kadar tamamlanmış olarak verildiği şekil 1.5'den açıkça görüldüğü gibi, karbonun ostenitteki erirliği ferrittekinden daha fazladır.



Şekil 1.5: Fe-C denge diyagramı,-------: kararlı Fe-C sistemi,_____:yarı kararlı Fe-Fe_3C sistemi. (1)

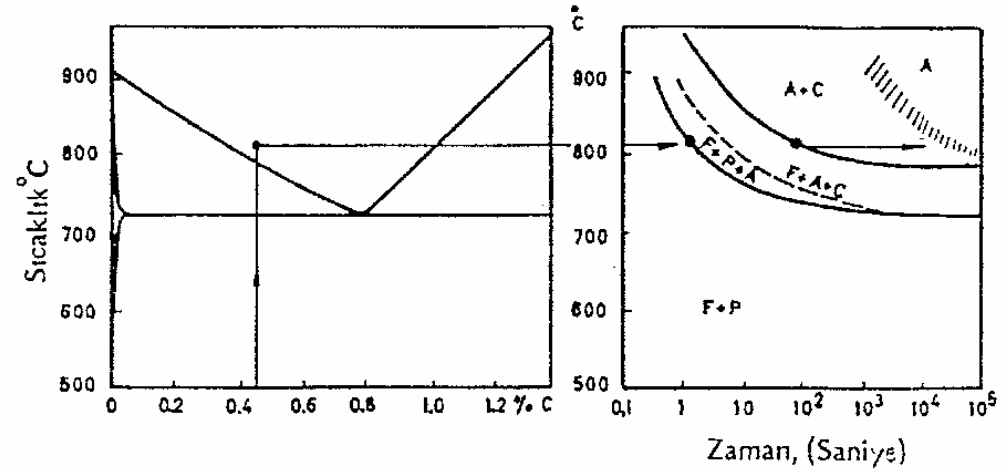
1.1.2. Isıtma

Zamanın etkisini şekil 6'daki diyagramlarda görebiliriz. Şekil 1.6(a-b). Bu diyagram sıcaklığa bağlı olarak dönüşümün ne kadar süreceğinden başka bir bilgi vermez. %0,8 C'lu çelik 730°C' ye ısıtıldığında dönüşümün 30 saniyede başlayacağı tahmin edilebilir. Eğer çelik 730°C yerine 750°C' ye ısıtılırsa dönüşüm 10 saniye içinde, 810°C' ye ısıtıldığında ise 1 saniyenin çok az üzerinde yani pratik olarak bu sıcaklıkta aniden başlar. P =γ+sementit dönüşümü 810 °C' de yaklaşık 6 saniyede tamamlanır. Eğer çelik tamamen ostenit olacak ise bu sıcaklıkta yaklaşık 4-5 saat tutmak gerekir.

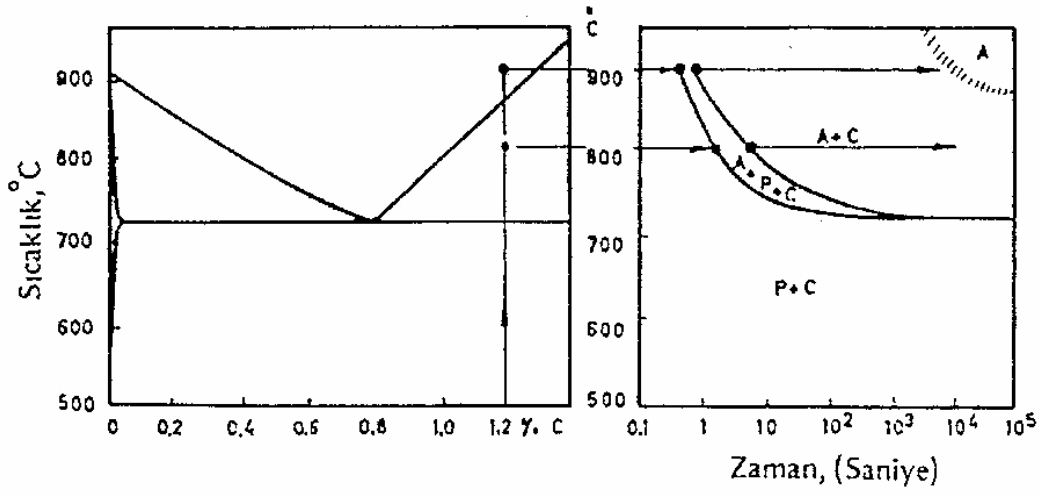
Homojen bir ostenitik yapının meydana gelmesinde ilk safha perlit içinde ostenitin çekirdeklenmesi ve büyümesidir. Perlit tamamen yapıdan kaybolduktan sonra dahi bazı karbür parçacıkları ostenitte kalır ve hatta karbürlerin tamamen erimesinden sonra dahi bir müddet sonra daha ostenit içindeki karbon yoğunluğundaki homojensizlik devam eder.

Homojen ostenit teşekkülünde her safha ;

a. Sıcaklığın yükseltilmesi
b. Başlangıçtaki mevcut karbür parçacıklarının küçültülmesiyle hızlandırılabilir.



6-a



6-b

Şekil 1.6: Çeşitli karbon çeliklerinde ısıtma sırasındaki yapısal dönüşümlerin şematik görünüşleri. (1)

Pratikte %100 γ elde edebilmek için bu faktörlerin her ikisi de göz önüne alınırsa da bunların içinde en önemlisi sıcaklıktır. Ötektoit altı çelikler ve ötektoit çelikler içinde Fe-C denge diyagramından seçilebilecek sıcaklığın yaklaşık 50-60°C üzerinde ; zaman

ise, ısıtılan çubuk kesitinin her 25 mm'si için 1 saattir. Bu zamanın çoğu, ostenitin olacağı sıcaklığa kadar fırının ısınması için geçer. Su vermede ostenizasyon sıcaklığı mümkün olduğu kadar alçak seçilir. Bu sayede;

a) Çatlamaya
b) Dekarbürizasyona
c) Tane büyümesine meyil azaltılmış olur.

Ayrıca, sıcaklığın yüksek tutulması ve ısıl işlem zamanının uzun seçilmesi işlem masraflarını arttırır.

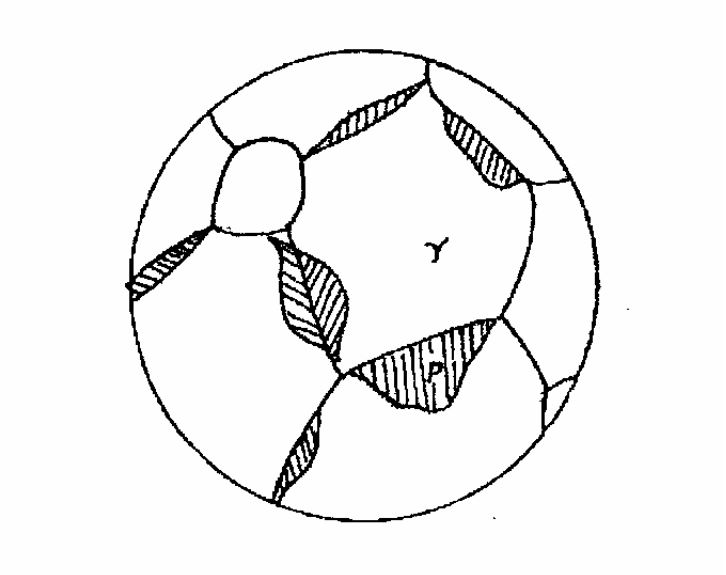
Ötektoit üstü çeliklerde ise %100 γ elde etmek için gerekli zaman genellikle uzundur. Fakat su verme işlemi için elverişli ostenit bu çeliklerde 780°C civarında elde edilebilmektedir. Bu sıcaklıklarda ostenitle denge halinde bulunan ve ostenit içinde dağılmış olan az miktardaki karbür parçacıklarının su verilmiş parçanın mekanik özellikleri üzerinde çok az etkisi vardır, hatta aşınmaya karşı dayanımı arttırırlar.

Her ne kadar ostenizasyon sıcaklığını,%100 γ elde edilmesi için gerekli sıcaklığı düşürmek pratikte mahsurlu ise de , bu sıcaklığın çeliğe Mn ve Ni gibi elementlerin ilavesi ile düşürülmesi mümkündür. Bu elemanlar A_1 sıcaklığını düşürür ve ötektoit noktasını da daha düşük karbon yüzdelerine indirirler.

1.1.3. Soğutma sırasında ostenitten dönüşüm

Soğutma süresince oluşan yapının genel görünümü dönüşüm sıcaklığına ve dönüşümün başlaması için geçen süreye bağlıdır. Isıtma durumunda olduğu gibi Fe-C denge diyagramı bize bu konuda dengeli soğutma haricinde fazla bir şey vermez. Çeliğin belirli bir sıcaklıktaki dönüşümü; çeliğin ostenit halden ilgili sıcaklığa kadar soğutulduktan sonra dönüşümüne ve dönüşümü takiben oda sıcaklığında su verilmesine izin verilerek incelenebilir. Bu işlem sonucu elde edilen yapı mikroskopta gözlenir. Gerek ötektoid altı ve gerekse ötektoid üstü çeliklerde dengeli soğutma halinde ötektoid reaksiyon sonucu ostenit A_1 sıcaklığı altında perlite dönüşür. Ostenitin, ferrit ve

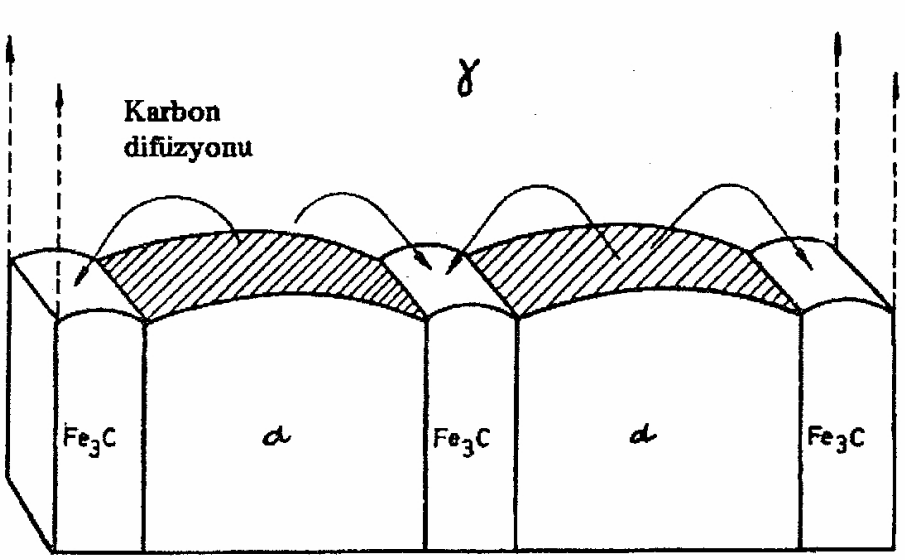
sementitten oluşan perlite dönüşü katılar içindeki reaksiyonun tipik bir örneğidir. Dönüşme tane sınırlarında başlar ve önceki tane içine doğru ilerler. (Şekil 1.7)



Şekil 1.7: Ostenitin perlite dönüşümü. (2)

Dönüşümün tane sınırlarında başlamasının nedeni, sınırlardaki atomların enerjisinin tane içindekinden yüksek olmasıdır. Dolayısıyla tane sınırlarındaki daha az bir enerji ilavesi ile komşularından kendini koparır ve yeni kristal yapısını oluşturur.

Ötektoit reaksiyonda dönüşüm fazları; dönüşen fazdan ayrı bileşimlerde olduğundan yayınma şarttır. Ostenitten ince sementit plakalarının kenarlarına karbon iletimi, aynı zamanda ferrit plakalarının kenarlarının karbonca fakirleşmesine neden olduğundan sementit ve ferrit plakaları yan yana pozisyonda büyürler. Perlitin bu modele göre büyümesi şekil 1.8 ‘de gösterilmiştir.



Şekil 1.8 : Şematik olarak perlit oluşumu ve büyümesi. (1)

Şekil 1.8'den de görülebileceği gibi levhalı ferrit ve sementit düzeni perlitin karakteristik yapı özelliğidir. İki levha arasındaki uzaklık, ostenitin soğuma hızına (ΔT) bağlı olup genellikle

S= 15/ ΔT ile ifade edilir. (1)

ΔT büyüdükçe S uzaklığı küçülür ve o kadar küçük değerlere ulaşılır ki, optik mikroskop altında artık bu levhalı yapı görülmez. Bunun için bu tür yapılara ayrı isimler (Sorbit ve Trösit) verilmiştir. Ancak daha büyük büyütmeli elektron mikroskobu ile bakıldığında bu trösit yapısının başka bir yapı olmayıp levhalar arasındaki uzaklıkları çok küçük olan çok ince perlitten ibaret olduğu anlaşılır. Doğal olarak S uzaklığı küçüldükçe yapının sertliği artmaktadır.

	S (μm)	Sertlik (HB)
Perlit	0,6-0,7	180
Sorbit	0,25	250
Trosit	0,1	400

Tablo – 1.1 : Uzaklığa bağlı sertlik değişimleri. (1)

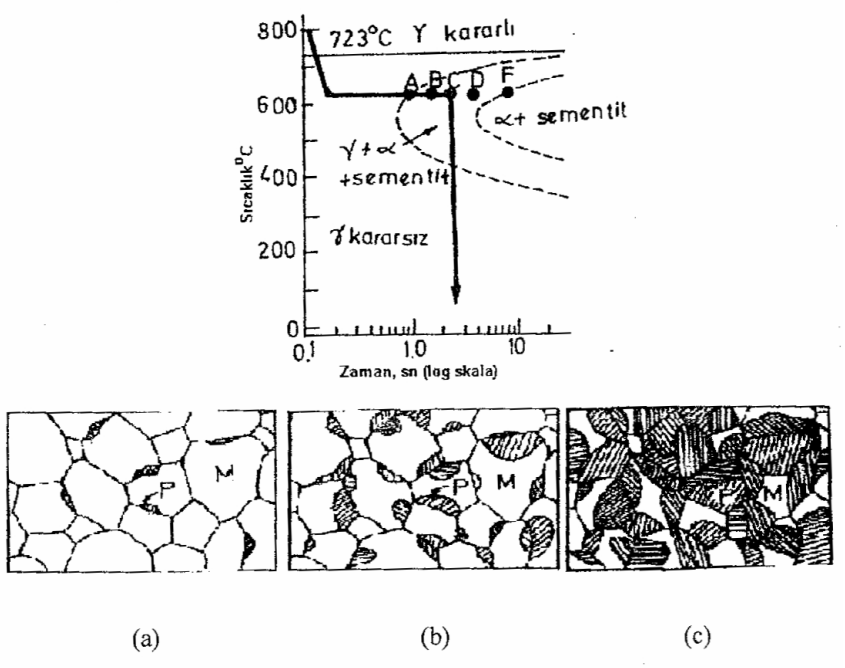
Buraya kadar söylenen ostenitin dengeli olarak A_1 sıcaklığının altına soğutulmasında geçerlidir. Ancak soğutma hızlı olursa bu dönüşüm engellenir ve daha düşük sıcaklığa ininceye kadar olmaz. Soğutma hızı arttıkça dönüşümün olduğu sıcaklık daha da aşağıya iner. Ayrıca, ostenit dönüştüğü zaman oluşan ferrit – karbür karışımının özelliklerinde bu dönüşüm sıcaklığına bağlı olarak değişir. Bu nedenle ısıl işlem ostenitin kontrollü soğutulmasından ibaret olan bir işlem görünümünü kazanmaktadır ve dönüşümün izin verdiği geniş yapı ve özelliklerden tam olarak faydalanabilmek için ostenitin dönüşüm özellikleri ile elde edilen özelliklerin iyi bilinmesi gerekmektedir.

Ostenitin soğuma sırasında farklı yapısal fazlara dönüşme, dönüşümün başladığı sıcaklığa ve dönüşümün başlaması için gerekli süreye bağlıdır. Fe-C denge diyagramı bu dönüşüm hakkında bize hiçbir bilgi vermez. Bu nedenle sıcaklık – zaman – dönüşüm(T-T-T) diyagramlarını kullanmamız gerekmektedir.

T-T-T diyagramları şu şekilde elde edilmektedir:

Küçük çelik örnekleri ostenit sıcaklığına ısıtılır ve ostenite dönüşmenin tam olduğuna emin oluncaya kadar orada tutulur. Bu örneklere, örneğin 620 °C' deki bir banyoda su verilir ve değişik zamanlarda bu banyoda tutulduktan sonra oda sıcaklığına

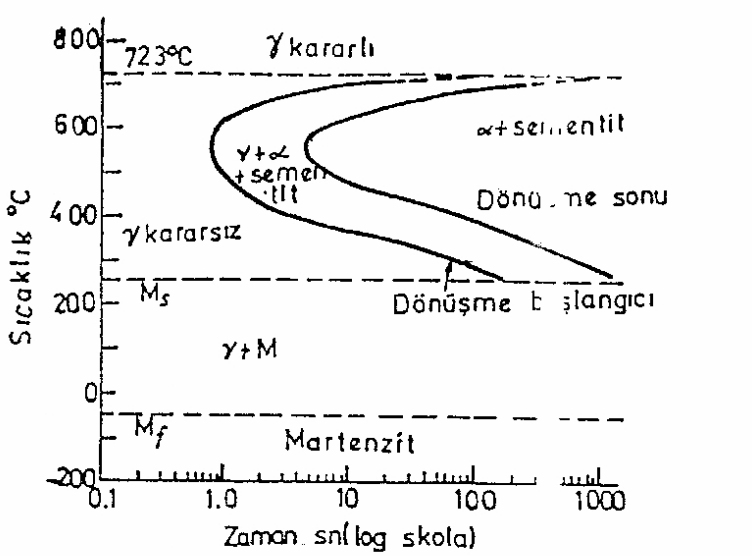
inecek şekilde ikinci defa su verilir (Şekil 1.9). Deneyde, 620 °C' de 1 sn'den az banyoda tutulan örnekte oda sıcaklığına soğutmada $\gamma \rightarrow \alpha$ + sementit dönüşümü görülmemiş ve ancak 10 sn. geçtikten sonra tam dönüşme görülmüştür. Bunlar şekil 1.9'da gösterilmiştir.



Şekil 1.9 : Ötektoid çelik için kesik su verme. (2)

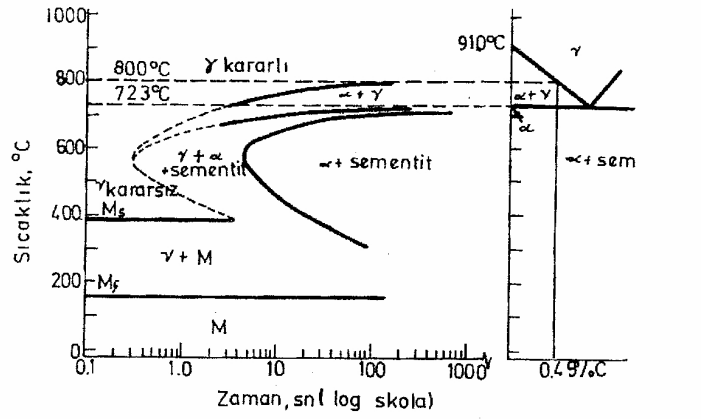
a) $\gamma \rightarrow \alpha$ + sementit dönüşmesinin 620°C'de başlaması(A noktası)
b) 620°C'de dönüşme %25 ilerlemiş (B noktası)
c) 620°C'de dönüşme %75 tamamlanmış(D noktası)

Diğer sıcaklıklar için de deneyler yapılmış ve toplanan bilgilere ötektoid çelik için şekil 1.10 'da gösterilen $\gamma \rightarrow \alpha$ + sementit izotermal dönüşüm eğrisi çizilmiştir.



Şekil 1.10 : Ötektoit çeliğin izotermal dönüşüm eğrisi. (2)

İzotermal dönüşüm eğrileri gösteriyor ki, düşük sıcaklık ve dönüşme sıcaklığına yakın yüksek sıcaklıkların her ikisinde de reaksiyon yavaştır. Çok çabuk su verme ile dönüşme başlangıç eğrisinin burnunu atlatmak ve çeliği (α + sementit) 'e dönüşmeden oda sıcaklığına indirmek mümkündür. Çeliğe normal su verme işleminin esas amacı da budur.



Şekil 1.11: SAE 1045 çeliğinin izotermal dönüşme diyagramı. (2)

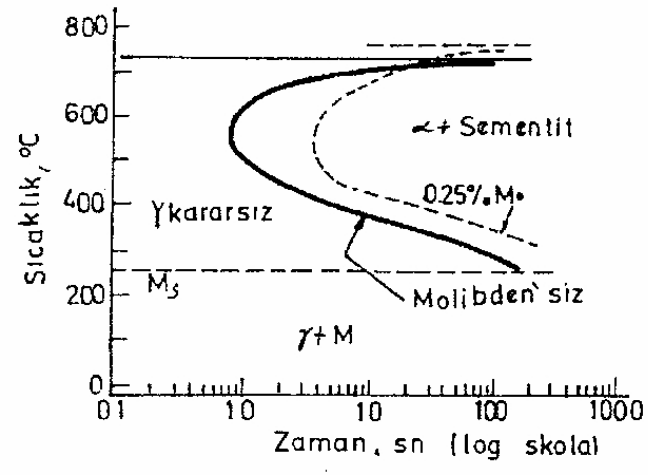
Sekil 1.11'de gösterilen TTT diyagramı (SAE 1045 için) iki açıdan ötektoit çeliğin TTT diyagramından ayrılır.

a) Ötektoit sıcaklık üstünde ostenitten bir miktar ferrit ayrılabilir. Şeklin sağ tarafındaki faz diyagramından bunu görmek mümkündür.

b) %0,45 C'lu çeliğin izotermal dönüşümü ötektoit çeliğinkinden biraz daha hızlıdır. İki eğrinin burunları kıyaslanırsa bu fark görülebilir.

Çeliğe alaşım elementi ilavesinin en önemli etkisi, karbon atomunun reaksiyon yerine gitme hızını kısıtlayarak $\gamma \rightarrow \alpha$ + sementit reaksiyonu hızını yavaşlatmaktadır.

Şekil 1.12'de benzer iki çelikte bu etki görülmektedir. Genelde, çeliğe katılan alaşım elementleri dönüşme eğrisini sağa kaydırır, dönüşme başlangıcı için daha çok zamana ihtiyaç olur. Bunun faydası, çeliğe su vermenin amacı onu çabuk soğutarak $\gamma \rightarrow$ α + sementit reaksiyonunu önlemek olduğundan çeliklere su vermede görülebilir.



Şekil 1.12: Alaşım elementlerinin dönüşüm başlangıcı zamanını geciktirmesi. (2)

1.1.3.1.Ostenitten beynite dönüşüm

Yaklaşık 550°C'nin altındaki sıcaklıklarda perlitle beraber beynit adı verilen başka bir yapı elemanı oluşturmaya başlar. Ancak eş sıcaklık şartlarında oluşması nedeniyle pratik ısıl işlemlerde tamamen beynitik yapı çok seyrek gözükür. Osmenevişleme, tamamen beynit oluşturabilen tek ısıl işlemdir. Beynit, sertleştirilmiş parçaların yapısında diğer yapı elemanları ile birlikte çok sık görülür. Beynitin diğer

yapı elemanlarından ayırt edilmesi çok güçtür. Bu nedenle elektro mikroskobu kullanmak gerekir.

1.1.3.2.Ostenitten martenzite dönüşüm

Her ne kadar ötektoit bir çelikte ostenit A_1 sıcaklığının altındaki bütün sıcaklıklarda kararsız ise de A_1 sıcaklığının çok altında olmayan sıcaklıklara soğutulduğunda YMK ostenit derhal HMK' e değişmektedir. Bu sıcaklıklarda ayrışma denge fazlarının çekirdeklenme ve büyümesiyle olur ve bu reaksiyonların gerektirdiği yayınma uzun zaman alır. Yeter derecede düşük sıcaklıklarda yüzey merkezli demirden hacim merkezli demire dönüşmeye sebep olan reaksiyon kuvvetleri o kadar büyür ki, değişme karbon yayınması başlamadan olur. Mevcut karbon miktarı katı eriyik halinde muhafaza edilebileceği miktardan yaklaşık 100 defa daha fazla olduğundan HMK kafes distorsiyona uğrayarak tetragonal bir hal alır ve bu yapıya martenzit denir.

Martenzit oluşumunu şu şekilde açıklamak mümkündür. TTT diyagramlarını düşünürsek,eğer soğuma burun noktasının solunda kalacak şekilde yapılırsa, ostenit, M hattına ulaşıldığında ferrite dönüşmeye başlayacaktır. Eğer soğumaya M_s 'nin altında devam edilirse ostenitin dönüşümü sırasında çok az karbon hareketi olacak böylece karbon atomları α – demiri kafesinde bir genişleme söz konusu olacak ve böyle bir gerilmeli hal ise çeliğin sertleşmesine yol açacaktır. Sertleşme sonrası oluşan ve karbonun, α – demiri içerisinde aşırı doymuş bir eriyiği olan bu yeni faza martenzit adı verilir.

1.1.3.3.Martenzitin kristalografik özeklikleri

Martenzit ; tetragonal hacim merkezli bir kafese sahiptir. Kafes sabiteleri aşağıda verilmiştir.

a = 2,845 A°

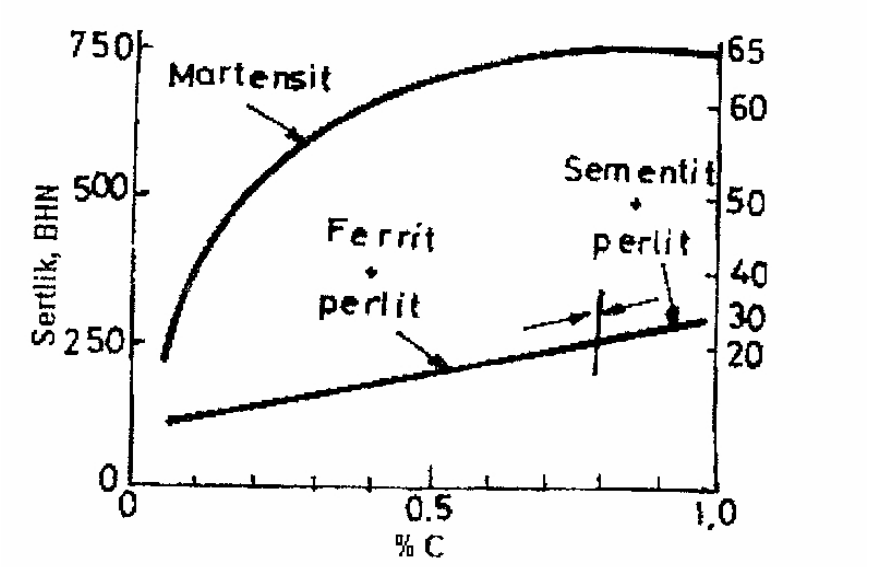
b = 2,845 A° % 0,9 C için

c = 2,974 A°

Karbon miktarının artması ile (a) parametresi küçülmektedir. %1,5 karbon miktarı için c = 3,014 $^{\circ}$, a = 2,84 $^{\circ}$ 'dır.

Dönüşüm diyagramlarında görüldüğü gibi, perlit ve beynit oluşması zamana bağlı olarak ilerlediği halde, martenzit oluşumunda böyle bir durum söz konusu değildir. M_s 'in altındaki her bir sıcaklık belirli bir martenzit oluşum yüzdesine tekabül eder. Ancak oluşan martenzit miktarı çeliğin cinsine, ostenitleşme işleminin koşullarına ve sertleştirme için uygulanacak soğuma hızına bağlıdır. Sıcaklık düştükçe meydana gelen martenzitik yapı artar.

Martenzitin kübik yapıda olmayışı ve karbonun kristal kafesi içinde oluşu nedeniyle plastik deformasyon kolay olmaz ve dolayısıyla martenzit sert, dayanıklı ve kırılgandır. Şekil 1.13'de yapısı martenzit ve perlit olan bir alaşımın karbon yüzdeleriyle değişen sertlik değerleri görülmektedir. Martenzitin bu sertliği teknikte çok önemlidir. Çünkü mekanik aşınma ve deformasyonlara karşı çok dayanıklı çelik oluşturmak amaçtır.



Şekil 1.13 : Tavlanmış demir karbon alaşımı ve martenzitin, değişen karbon oranlarına göre sertlik değişimi. (2)

Martenzitin oluşmaya başladığı en yüksek sıcaklığa martenzit M_s noktası denir. Ostenitin soğuması sırasında bu noktada yaklaşık %0,1 martenzit oluşur. Ostenit daha düşük sıcaklıklara soğutulduğunda martenzit miktarı artar ve nihayet hızlı bir soğutma neticesinde M_f noktasında yapı tamamen martenzit olur. Eğer ostenit hızla M_s ve M_f arasında bir sıcaklığa soğutulur ve burada tutulursa, soğutma sırasında martenzite dönüşmemiş olan kalıntı ostenit , bu reaksiyon sıcaklığında uzun süre tutulursa izotermik olarak beynite dönüşür.

Martenzit başlangıç sıcaklığına alaşım elementlerinin etkisi, bu elementlerin ostenitte tümü ile çözülmüş durumlarında;

(C) M_s =561-474 (%C) – 33(%Mn) – 17(%Ni) – 17(%Cr) – 21 (%Mo) (1)

eşitliği ile verilmektedir.

Yüksek ve orta alaşımlı çelikler için ise;

(C) M_s = 50-350 (%C) - 40 (%Mn) – 20 (%Cr) – 10 (%Mo) – 17 (%Ni) – 8 (%W) – 35(%V) -10 (%Cu) + 15(%Co) + 30 (%Al) (1)

%C	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6
M_s	410	330	280	230	180	160	130	100
M_f	300	160	40	-60	-100	-130	-160	-160

Tablo 1.2 : M_s - M_f sıcaklıklarının karbon miktarı ile değişimi. (1)

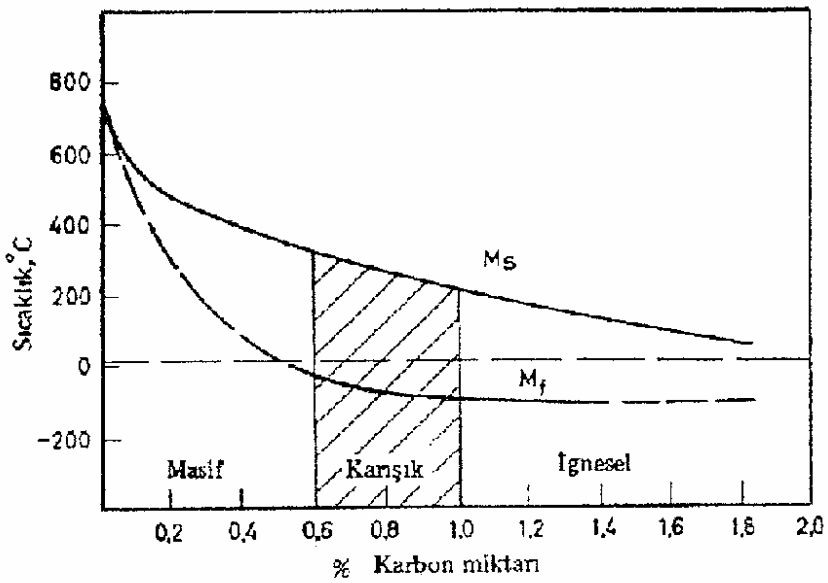
Karbon miktarı arttıkça M_s - M_f sıcaklık farkı yükselmektedir.

Marden ve Krauss, Fe-C alaşımlarında yaptıkları imcelemelerde karbon oranına bağlı olarak iki çeşit martenzit yapısının varlığını bulmuşlardır.

a) Masif martenzit : %0,6'ya kadar karbonlu çeliklerde görülür. Bu tür martenzit birbirine paralel olarak uzanmış ince plakalardan oluşur.

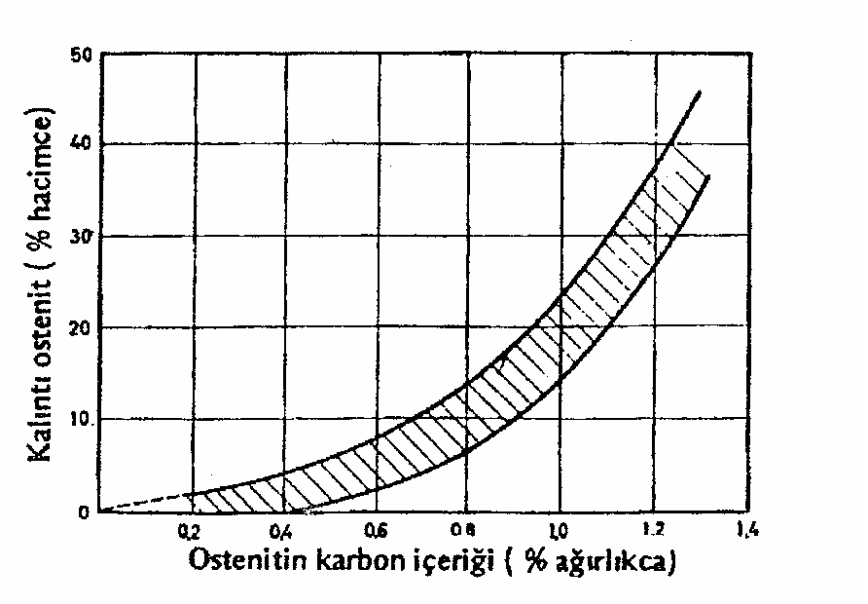
b) İğneli martenzit : % 1 ve daha fazla C içeren çeliklerde görülür. Bu yapı ostenit doku içinde düzensiz olarak yerleşmiş levhalardan oluşmaktadır.

% 0,6 – 1 C aralığında her iki yapı bir arada bulunur.(Şekil 1.14)



Şekil 1.14 : Ostenitteki karbon miktarının, alaşımsız çeliklerde M_s - M_f sıcaklıklarına etkisi. (1)

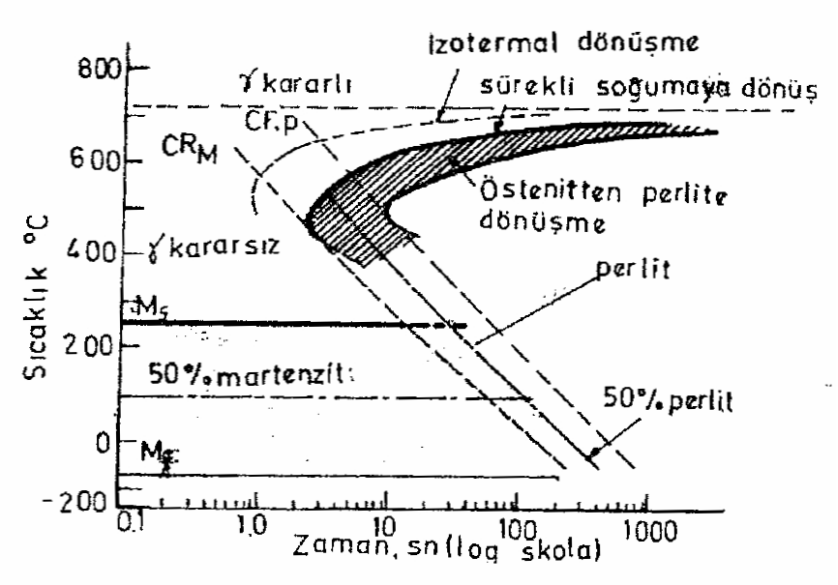
Şekil 1.14 'deki diyagramdan %0,6 C'lu çeliğin oda sıcaklığına soğutulmasında dönüşümün tamamlanmadığı görülmektedir. Yapının bir kısmı dönüşmeden kalmaktadır bu kalıntı ostenittir. Yumuşak bir yapı elemanı olan kalıcı ostenit sertleşmeden sonra sertliği düşürür ve bu nedenle özellikle büyük miktarda olması istenmez. Şekil 1.15 'de alaşımsız çeliklerde kalıcı ostenit miktarının C miktarı ile nasıl değiştiği görülmektedir.



Şekil 1.15 : Sertleştirme işleminde, kalıcı ostenit miktarının, ostenitte çözünmemiş karbon miktarı ile değişimi. (1)

1.1.4. Sürekli soğutma dönüşüm eğrileri

Çeliğin yüzeyinde ve merkezindeki soğuma hızı, eğrinin dirseğinde dönüşme yapmayacak kadar hızlı ise TTT diyagramları kullanılabilir. Sade karbonlu çeliklerin ancak küçük parçalarında soğuma o kadar hızlı olabilir. Pratikte bunu sağlamak her zaman mümkün olmayabilir. Bu nedenle çeliklere uygulanacak çeşitli ticari ısıl işlemlerde değişik soğuma hızlarında çelikte oluşabilecek değişiklikleri gösteren bir diyagram oluşturmak gerekir. Dönüşme reaksiyonunda zaman ve sıcaklık etkilerini ayrı ayrı görebilmek için dönüşme eğrisini değiştirmek gerekir. Bu durumu gösteren eğrilere sürekli soğuma dönüşüm eğrileri (CCT) adı verilir. Şekil 1.16'da ötektoit bir çelik için bu eğri gösterilmiştir. Bu eğri izotermal dönüşme eğrisine göre aşağı ve sağa doğru kaymıştır.



Şekil 1.16 : Ötektoit çelik için sürekli soğuma dönmüşüm eğrisi. (2)

Sürekli soğuma eğrisinde iki önemli soğuma hızı yine şekil 1.16'da gösterilmiştir. I. si yalnız martenzit oluşturan minimum soğuma hızıdır. II. si ise yalnız perlit oluşturan maksimum soğuma hızıdır. Alaşım elementi su verme sırasında çelikten ısı alma hızını değiştirmez. Fakat, martenzit oluşması için gereken soğuma hızını azaltır.

Eş sıcaklık TTT diyagramlarının eş sıcaklıklarda, yani sadece sabit sıcaklık çizgileri ile okunmasına karşılık, CTT diyagramları ancak belli bir soğuma eğrisi izlenerek okunmalıdır.

Sürekli soğumayı kapsayan bütün ısıl işlemler için CCT diyagramları kullanılabilir. CCT diyagramlarının ana amacı hangi yapı elemanlarının elde edileceği ve buna karşılık hangi sertliklerin elde edilebileceğinin soğuma eğrisinden faydalanarak önceden bilinmesidir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

TEKİN Adnan, Hakan Ofset, İstanbul 1984' te yayınlanan ' Çelik ve Isıl İşlemi' adlı kitabında Çelik esaslı malzemelere uygulanacak ısıl işlemler hakkında , hangi sıcaklıkta ne şekilde soğutma uygulanırsa nasıl bir yapının elde edilebileceği diğer bir değişle perlitin, ferritin, ostenitin, martenzit, beynitin hangi şartlarda elde edilebileceği hakkında bilgiler verilmiştir.

SAFOĞLU , Recep A. , Matbaa Teknisyenleri Basımevi , İstanbul 1997 ' Malzeme Bilimine Giriş ' adlı kitabında malzemelerin içyapısı ile özellikleri arasında ilişki kuran metalik ve metalik olamayan malzemeleri sınıflandırarak özellikleri hakkında bilgi vermektedir. Ayrıca malzemelerin fiziksel özellikleri hakkında bilgi vermektedir.

METALS HANDBOOK Vol.4, Heat Treating , American Society for Metals , 1981 ilgili kaynak ısıl işlem ve metal malzemeler için genel olarak uygulanan ısıl işlem prosesleri ve uygulama esasları hakkında bilgi verilmektedir.

İZGİ Savaş , 3. Fasikül , TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası , Ankara ' Çelik El Kitabı ' adlı kitapçıkta çelik malzemelerin özellikleri ve çeşitleri , çelik malzemelerinin dünya üzerinde kullanılan standartları ve yazılım şekilleri hakkında bilgiler verilmiştir.

GROSSMANN , M.A. , American Society for Metals , P. 50. 1955 'Principles of Heat Treatment ' adlı kitapta ısıl işlem ve sertleşebilirlik testi yöntemlerinden birisi olan Grossmann sertleşebilirlik testinin nasıl yapılacağı deneyde kullanılacak numunelerin standartları hakkında bilgi verilmiştir.

MAITREPIERRE , P. Et. Al. , Kirkaldy , K.s. and Doane , D.V. , eds , ALME , p.p. 421-47 , 1978 , ' Hardenability Concepts with Applications to Steel ' kitabında sertleşebilirlik hakkında bilgiler verilerek çeliklerin sertleşebilirliğinin tanımı, nasıl belirleneceği , yöntemleri ve uygulanan testler hakkında bilgiler verilmiştir.

GERGİNLİ , Emel. ‘ Metalografi ‘ kitabında malzemelerin iç yapısını inceleyerek , mevcut fazların miktarını ve dağılımını , tane boyutu , şekil ve dağılımı , genel olarak yapı kusurlarının cinsini ve miktarını belirleme yöntemleri hakkında bilgi verilmiştir.

www.matter.org.uk. , www.msm.com.ac.uk. , www.prm.ucl.ac.be. , www.engr.ku.edu. İnternet adreslerinden jominy sertleşebilirlik deneyinin amacı , yapılışı , kullanılan deney numunelerinin fiziksel ve teknik özellikleri ve deneyde kullanılan cihazlar hakkında bilgiler verilmiştir.

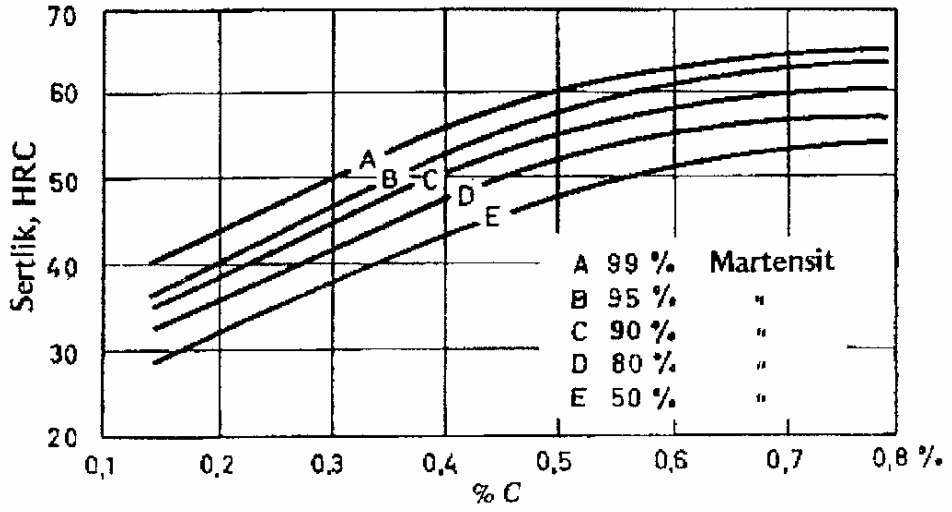
KAYALI , Sabri. E. , ‘ Metalik Malzemelerin Mekanik Deneyleri ‘ İ.T.Ü. Kimya Metalurji Fakültesi Ofset Atölyesi İSTANBUL 1996 , kitabında malzemelere uygulanacak sertlik , yorulma , gerilme gibi deneylerin standartları , uygulama şekilleri ve esasları , cihazların kullanılması hakkında bilgiler verilmiştir.

3. MATERYAL VE METOD

3.1. Çeliğin Sertleşebilirliği

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

Soğutma hızının kritik soğutma hızından daha büyük olması sağlandığında, su vermede elde edilecek maksimum sertlik şekil 3.1 'de görüldüğü gibi esas olarak çelikteki karbon miktarına bağlıdır. Bu nedenle düşük karbonlu çeliklerde elde edilebilecek en büyük sertlik değeri bile yüksek karbonlu çeliklerinkinden azdır. 60 HRC değeri üzerinde sertlik ancak karbon miktarı %0,5 ' den fazla olan çeliklerde görülebilir.



Şekil 3.1: Sertlik, karbon oranı ve %martenzit arasındaki bağıntı. (5)

Farklı çelik türlerinin sertleşebilirliğinin karşılaştırılması ancak aynı çubuk çapı ve aynı su verme ortamı söz konusu olunca doğru olur. Çünkü daha hızlı bir soğutma ortamı daha büyük sertleşme derinliği verir. Aynı sertleşebilirlikte kesit kalınlığının artması ile daha küçük sertleşme derinliği ve daha küçük merkez sertliği elde edilir.

Temel sertleşebilirlik datasının çelik tüketicileri ve ısıl işlemciler için önemli bir kullanımı olduğundan, sertleşebilirliğinin saptanabileceği çok sayıda basit yöntem geliştirilmiştir.

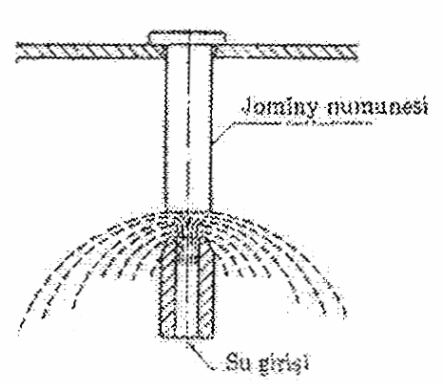
3.1.1. Grossmann Sertleşebilirlik Testi

Grossmann'a göre sertleşebilirliğin saptanması için farklı çaplarda olan çok sayıda silindirik çelik çubuk numuneler belli soğutma ortamında sertleştirilirler. Metalografik muayene sonucu merkezinde %50 martenzit oluşturan çubuk örnek seçilir ve bunun çapı genellikle kritik çap (Di) olarak gösterilir.

3.1.2. Jominy Sertleşebilirlik Deneyi

Grossmann sertleşebilirlik yöntemi sonuçları itibarı ile tatmin eden bir yöntem olmasına rağmen yüksek maliyeti nedeniyle çok az kullanılır. Günümüzde en yaygın olarak kullanılan sertleşebilirlik deneyi Jominy tarafından geliştirilmiştir.

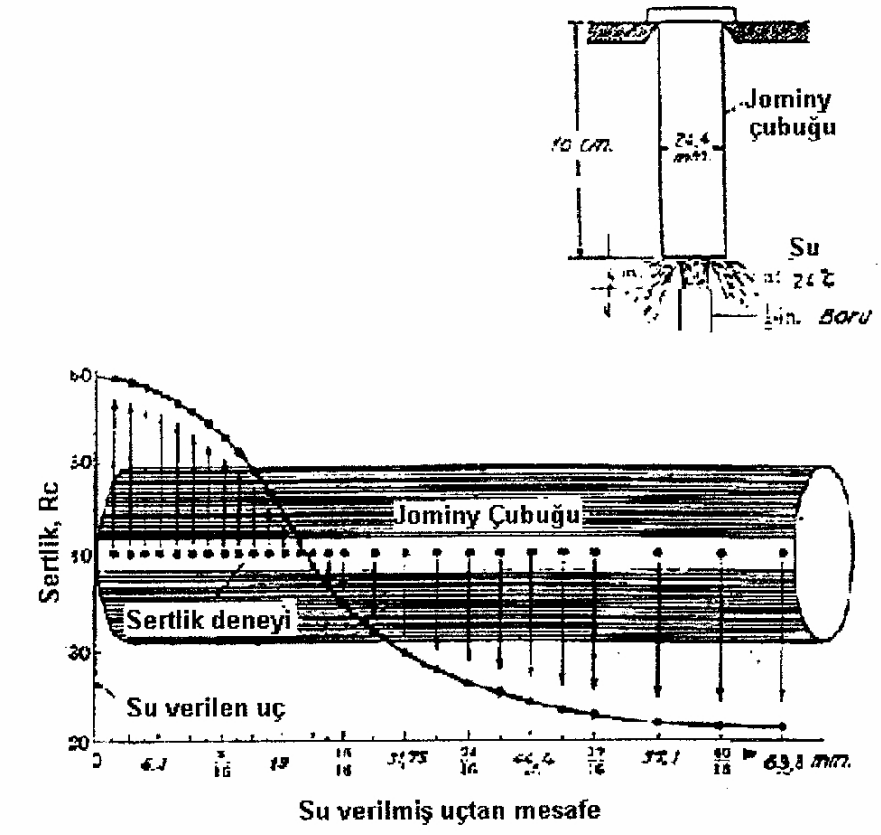
Bu deneyde kullanılan numune 25 mm çapında ve 100 mm uzunluğunda silindirik bir çubuktur. Numune dönüşüm sıcaklığına fırında ısıtılır ve bu sıcaklıkta numunenin kimyasal bileşimine göre dönüşüm tamamlanıncaya kadar bekletilir. Ve dönüşümü tamamlanan numune fırından çıkartılarak soğumasına imkan verilmeksizin şekil 3.2 'de görülen sistemde su verilerek soğutma yapılır.



Şekil 3.2 : Jominy numunesinin su verilerek sertleştirilmesi. (1)

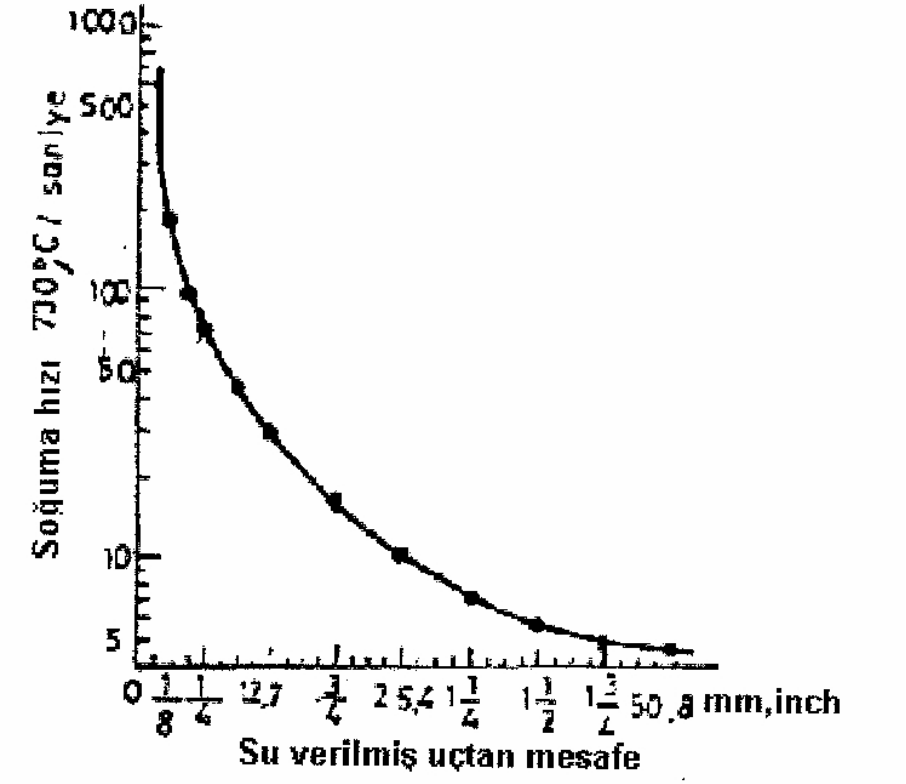
Bu nedenle çubuğun boyunca su verilmiş uçtan itibaren soğuma hızı kademeli olarak azalır (Şekil 3.3). Çubuk soğuduğunda çubuğun eksenine paralel ve ucundan itibaren 0,4 mm derinliğinde iki paralel yüzey elde edilir. Bu yüzeyler parlatıldıktan sonra yassı çubuk boyunca sertlik ölçülür. Bu sertlik değerleri ve su verilmiş uçtan itibaren olan eş değer mesafeleri bir diyagram üzerinde belirtilir. Bunlara jominy eğrileri adı verilir. Genellikle jominy eğrileri her çelik cinsi için iki adet çizilir. Bu eğrilerden üsteki çeliğin üst kimyasal bileşim sınırına, alttaki ise alt kimyasal bileşim sınırına uygundur. Bu eğriler bir arada düşünüldüğünde jominy veya sertleştirilebilirlik bandı olarak adlandırılırlar.

Su verilen uç çok çabuk soğuduğu için, karbon yüzdesine göre maksimum sertlikte olacaktır. Uçtan uzaklaştıkça soğuma hızı azalacağından sertlikte azalarak ilerleyecektir. Şekil 3.3 'de uçtan uzaklaştıkça soğuma hızının nasıl değiştiği görülmektedir. Bu eğri bütün karbon çeliklerini ve az alaşımlı çelikleri temsil eder.



Şekil 3.3 : Jominy kesit su verme deneyi. (1)

Soğuma hızını değiştiren çelik özellikleri, ısıl iletkenlik, özgül ısı ve yoğunluktur. Sade karbonlu ve az alaşımlı çeliklerde bu özelliklerin değişimi çok az olduğundan soğuma hızına olan etkileri çok azdır.



Şekil 3.4 : Soğuma hızı ve su verilmiş uçtan mesafe diyagramı. (1)

3.1.2.1. Sertleşme yeteneği hesabı

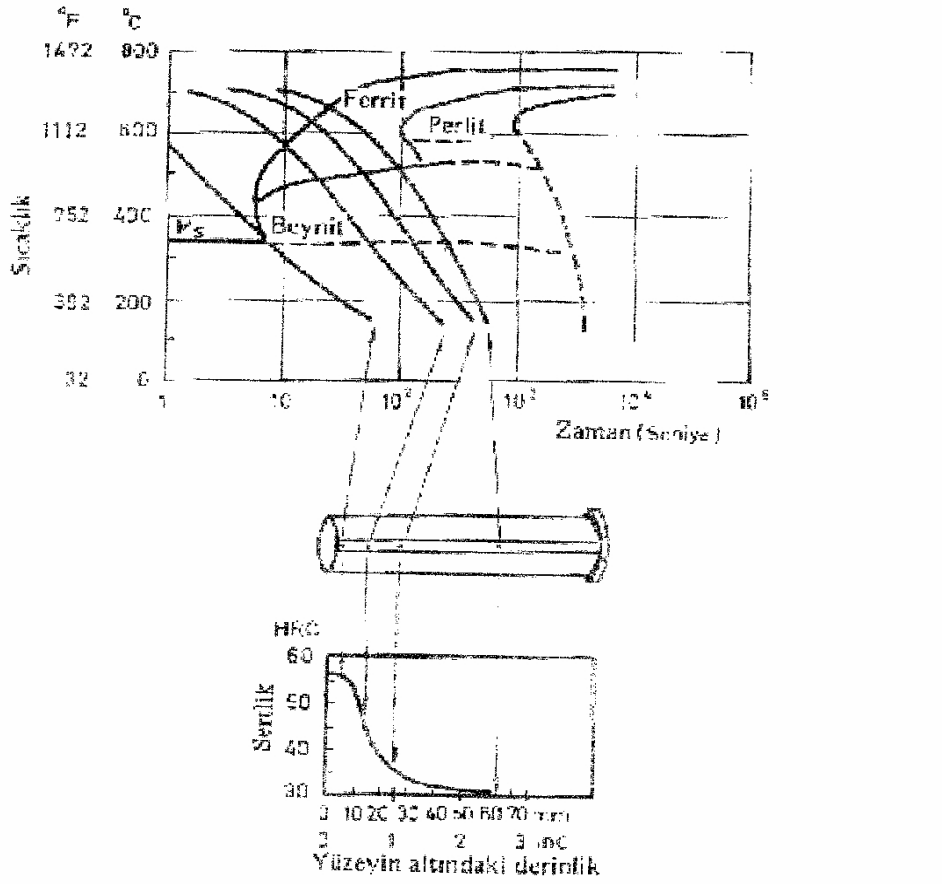
Çeliğin bir su vermedeki soğuma hızı bilinirse bu çeliğin sertleşme yeteneği eğrisinden direkt olarak sertliği okunabilir ve herhangi bir noktadaki sertliği ölçülebilirse, o çeliğin sertleşme yeteneği eğrisinden , o noktanın soğuma hızı görülebilir. Bu nedenlerden dolayı kesit su verme sertlik eğrileri pratik açıdan çok önemlidir.

3.1.3. CCT Diyagramlarının Pratik Kullanışı

Belirli bir çelik türü için CCT diyagramları bulunduktan sonra, bu çelik türünden yapılmış farklı kesitlerdeki parçaların sertleştirilmesinde esas sorun CCT diyagramı üzerinde parçaların farklı kesitleri için uygun soğutma eğrilerinin çıkarılmasıdır.

3.1.3.1. Amerikan Yöntemi

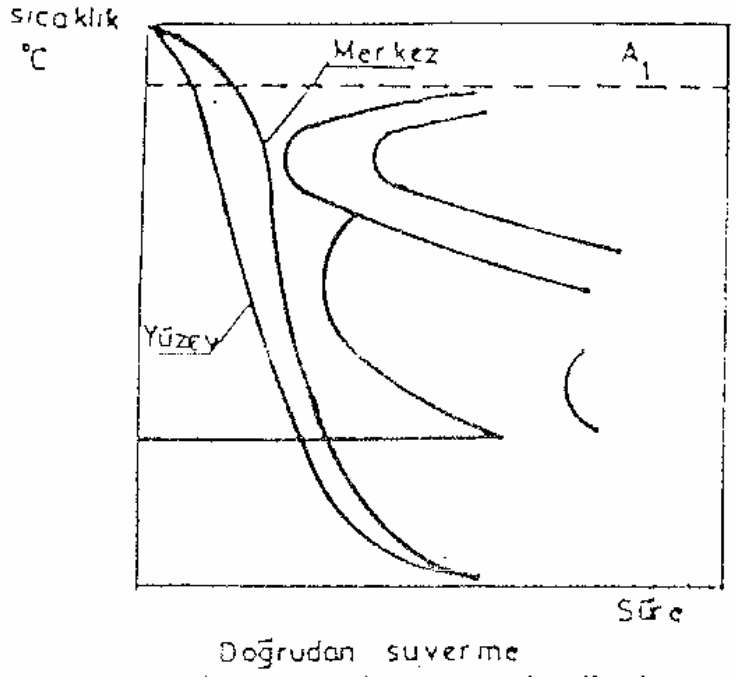
Bu yöntemde, jominy örneği üzerindeki her noktanın bilinen bir soğuma hızına karşılık gelmesinden faydalanılır. Böylece jominy deneyinden elde edilen değerlerden faydalanarak çeşitli jominy uzaklıklarında geçerli soğuma hızlarına karşılık gelen soğuma eğrilerinin eklendiği CCT diyagramlarının çıkarılması mümkün olmaktadır. Böyle bir diyagram şekil 3.5 ‘de gösterilmiştir.



Şekil 3.5 : CCT eğrileri ve jominy mesafeleri ilişkisi. (1)

3.1.4. Su Verme

Sertleştirme, ostenitleştirme işlemi tamamlandıktan sonra, çeliğin ostenitleştirme sıcaklığından, bu çelik için kritik soğuma hızından daha hızlı soğutulmasıdır. Amaç çoğunlukla martenzitten oluşmuş su verilmiş bir yapı elde etmektir.



Şekil 3.6 : Martenzit oluşturmak amacıyla direkt su verme. (1)

Şekil 3.6 ‘ de görülen CCT diyagramında gösterilen su verme yöntemi ilk su verme yöntemidir ve hala en çok kullanılan yöntemdir. Bu yöntemde parçalar sertleştirme sıcaklığından kullanılan su verme ortamının sıcaklığına hızla soğutulur.

Su verme işlemi birçok etkene bağlıdır. Bunları şöyle sıralayabiliriz:

1- Metalin kendisi ile ilgili etkenler
   - Sertleşebilirliği
   - Hacmi ve sekli
   - Yüzey durumu

2- Su verme ortamı ile ilgili faktörler
   - Su verme ortamının termofiziksel özellikleri (vizikozite, özgül ısı gibi)
   - Su verme ortamının sıcaklığı

3- Su verme donanımı ile ilgili etkenler
   - Su verme ortamının karıştırılma hızı
   - Akış yönü
   - Su verme ortamının basıncı

3.2. Jominy Deneyinde Kullanılan Malzemeler

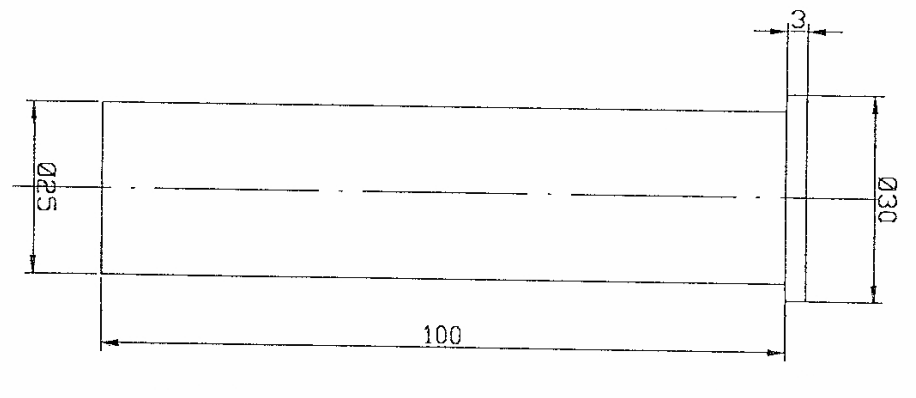
Jominy deneyinde kullanılan çubukların boyutları Şekil 3.7 'deki gibidir. Çubuklar su verme sonunda martenzit elde edilebilecek her çelik malzemeden yapılabilir.

Deneyde kullanılan çelik numuneler Asil Çelik Fabrikası ürünü olup, bileşimleri Tablo 3.1'de gösteilmiştir.

	SAE Normu	%C	%Mn	%Si	%P	%S	%Cr	%Ni	%Mo
Islah Çeliği	8640	0,4	0,8	0,25	0,3	0,3	0,5	0,55	0,20
Sementason Çeliği	8620	0,2	0,75	0,25	0,03	0,03	0,5	0,55	0,20
Alaşımlı Yapı Çeliği	3140	0,4	0,8	-	-	-	0,65	1,25	-
İmalat Çeliği	1050	0,5	0,75	0,20	0,03	0,04	-	-	-
İmalat Çeliği	1040	0,4	0,75	0,20	0,03	0,04	-	-	-

-

Tablo 3.1 : Deney numunelerinin kimyasal analizleri



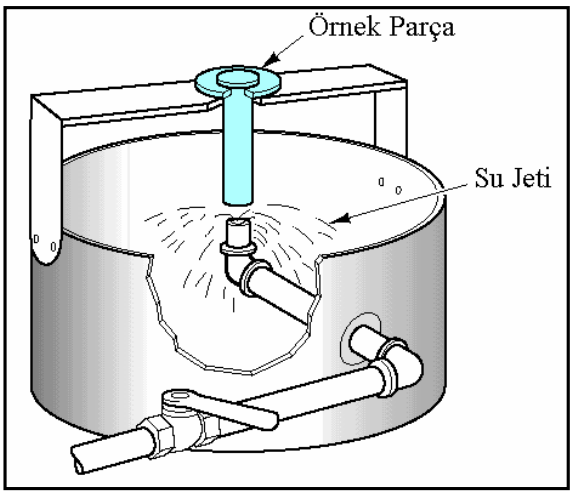
Şekil 3.7: Jominy çubuğu (mm) (1)

4. MUAYENE VE DENEYLER

4.1. Deneylerde Kullanılan Cihazlar

4.1.1. Jominy su verme düzeneği

Jominy deneyinde kullanılan düzenek numuneye uçtan su vermeyi sağlayan bir mekanizmadan oluşur(Şekil 4.1).



Şekil 4.1 : Jominy su verme düzeneği (1)

4.1.2. Isıtma fırını

Jominy çubuğunun dönüşümün sağlandığı sıcaklığa getirilmesi için, Herarus KS 120 marka ve model elektrikli ısıtma fırını kullanılmıştır.

4.1.3. Görüntü analizörü

Numunelerin, sertlik eğrilerinden belirlenen kritik noktalardaki mikro yapı incelemelerinde ve bunların görüntülenmesinde OLYMPUS PGM 3 marka ve model görüntü analizörü kullanılmıştır.

4.1.4. Sertlik ölçüm cihazı

Uçtan su verilen numunelerin dış yüzeyleri 0,4 mm taşlandıktan sonra ZWİCK marka sertlik ölçüm cihazı ile Rockwell sertlik değerleri ölçülmüştür.

4.1.5. Kesme cihazı

Jominy çubuklarında, kritik bölgelerin mikro yapılarını incelemek amacıyla numuneler Beuehler marka kesme cihazında soğutma sıvısı kullanılarak kesilmiştir.

4.1.6. Zımparalama cihazı

Kesilen numuneler parlatma öncesi, METASERV 2000 GRINDER / POLİSHER zımparalama cihazı ile sırasıyla 180, 400, 800 mesh'lik zımparalar kullanılarak yüzeyleri zımparalanmıştır.

4.1.7. Parlatma cihazı

STRUERS DAP – 2 parlatma cihazı ile 250 dev / dak' da dönen kadife çuha üzerine alümina süspansiyonu tatbik edilerek numuneler metalografik inceleme öncesi parlatılmıştır.

4.2. Deneyin Yapılışı

Standartlara göre hazırlanan jominy çubukları içerdikleri karbon oranına göre belirlenen dönüşüm sıcaklıklarına ısıtılmıştır. Bu sıcaklıkta dönüşüm tamamlanana kadar bekletilmiştir(ortalama 25 dakika).

Isıtma süresi bitimiyle numune fırından çıkartılmış ve havada soğumaya izin verilmeksizin Jominy düzeneğine yerleştirilmiştir. Düzenekte su verme işlemi (ortalama 15 dakika) tamamlandıktan sonra numune düzenekten alınmıştır.

Bundan sonra yüzeyin sertlik ölçümüne uygun hale gelebilmesi için yüzeyin birbirlerine göre 180 $^{\circ}$ farklı iki yüzeyinden 0,4 mm kalınlığında zımparalama işlemi yapılmıştır. Sertlik cihazında iki yüzeyinde sertlik değerleri uçtan itibaren 1,5 – 3 - 5 – 7 - 9 – 11 – 13 – 15 – 20 – 25 – 30 – 35 – 40 – 45 – 50 – 55 – 60 – 65 – 70 mm'lik mesafelerden herbir malzeme için ölçülmüş ve sonuçlar tablo ve diyagramlar halinde verilmiştir.

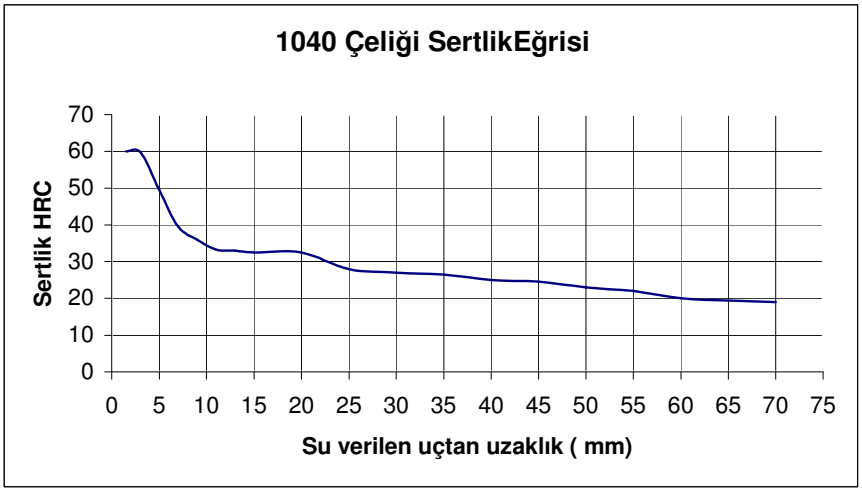
Elde edilen tablolardan sertlik değişimlerine göre kritik noktalar belirlenerek kesme cihazında kritik noktalardan kesme işlemi yapılmıştır. Kesilen parçalar yüzeylerden mikro yapı elde edilebilmesi için metalografik işlemlere tabi tutulmuştur(Zımparalama,parlatma, dağlama).

Hazırlanmış numunelerden görüntü analizörü cihazı kullanılarak mikro yapı görüntüleri alınmıştır.

5. SONUÇLAR

5.1.1040 çeliği

1040 çeliğinin sertlik değerleri Tablo 5.1' de ve su verilmiş uçtan mesafe ile sertlik değişimi eğrisi Şekil 5.1' de gösterilmiştir.



Şekil 5.1 :1040 çeliğinin sertlik eğrisi

Soğutma ucundan uzaklık (mm)	1,5	3	5	7	9	11	13	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
Sertlik (R_C)	60	60	50	40	36	33	33	33	33	28	27	27	25	25	23	22	20	20	19

Tablo 5.1 :1040 çeliğinin soğutma ucundan uzaklık ve sertlik değerleri

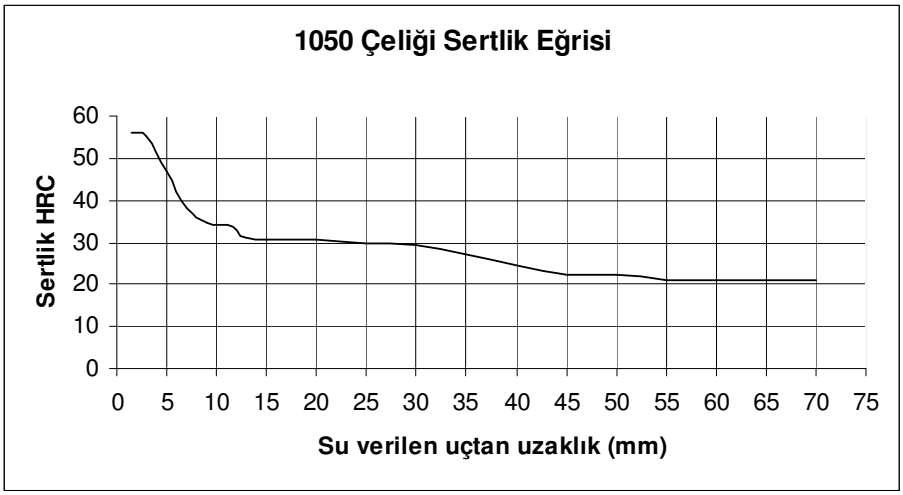
Sertlik eğrisine göre belirlenen kritik noktalardan mikroyapı incelemesi için kesilen parça uzunlukları :

1. Parça ; Uçtan itibaren mesafesi : 3,75 mm
2. Parça ; Uçtan itibaren mesafesi : 6,5 mm
3. Parça ; Uçtan itibaren mesafesi : 13,5 mm
4. Parça ; Uçtan itibaren mesafesi : 32 mm
5. Parça ; Uçtan itibaren mesafesi : 67 mm

Parçaların yüzeylerinin mikro yapıları, Ek – A 1, 2, 3 ' de gösterilmiştir.

5.2. 1050 çeliği

1050 çeliğinin sertlik değerleri Tablo 5.2 ’ da ve su verilmiş uçtan mesafe ile sertlik değişimi eğrisi Şekil 5.2’ de gösterilmiştir.



Şekil 5.2 :1050 çeliğinin sertlik eğrisi

Soğutulan uçtan uzaklık (mm)	1,5	3	5	7	9	11	13	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
Sertlik (RC)	56	55	47	38	35	34	31	31	31	30	30	27	25	23	23	21	21	21	21

Tablo 5.2 : 1050 çeliğinin soğutulan uçtan uzaklık ve sertlik değerleri

Sertlik eğrisine göre belirlenen kritik noktalardan mikroyapı incelemesi için kesilen parça uzunlukları:

1.Parça : Uçtan itibaren mesafe ; 6 mm

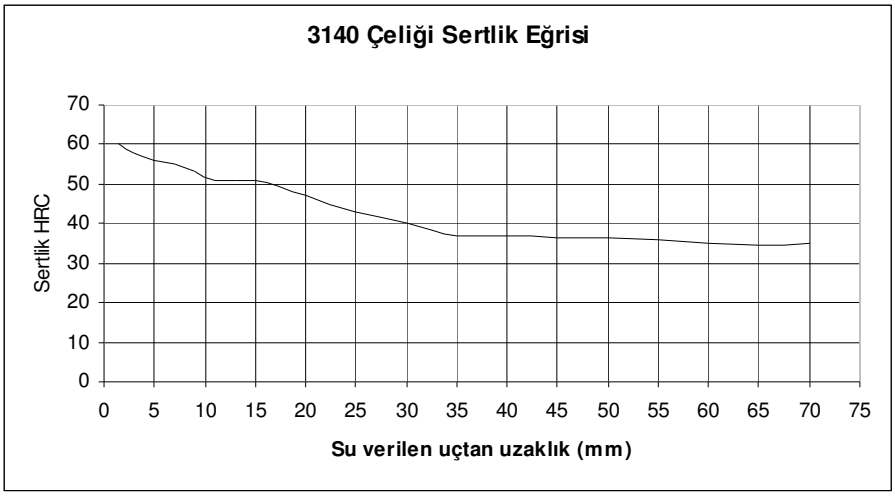
2. Parça :Uçtan itibaren mesafe ; 11mm

3. Parça : Uçtan itibaren mesafe ; 42,5 mm

Parçaların yüzeylerinin mikro yapıları, Ek – B 1, 2 ‘ de gösterilmiştir.

5.3. 3140 çeliği

3140 çeliğinin sertlik değerleri Tablo 5.3' te ve su verilmiş uçtan mesafe ile sertlik değişimi eğrisi Şekil 5.3'te gösterilmiştir.



Şekil 5.3: 3140 çeliğinin sertlik eğrisi

Soğutulan uçtan uzaklık(mm)	1,5	3	5	7	9	11	13	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
Sertlik (RC)	60	58	56	55	53	51	51	51	47	43	40	37	37	37	37	36	35	35	35

Tablo 5.3 : 3140 çeliğinin soğutulan uçtan uzaklık ve sertlik değerleri

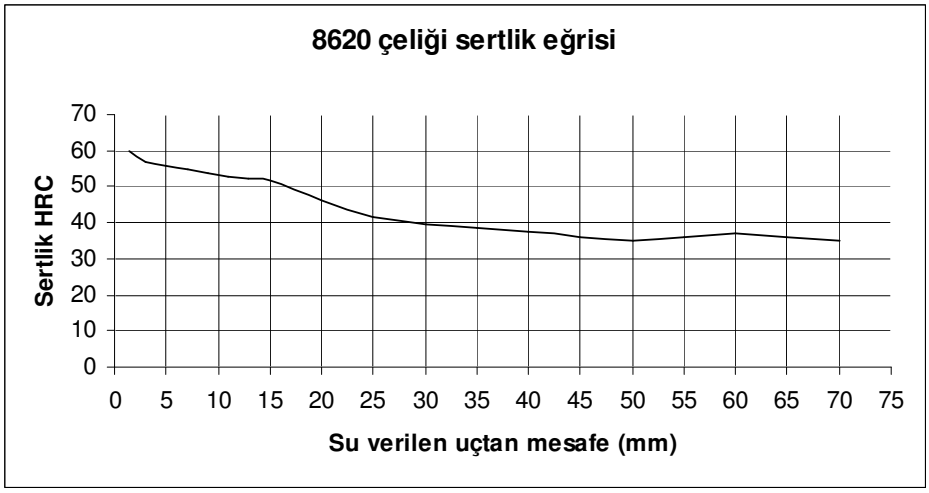
Sertlik eğrisine göre belirlenen kritik noktalardan mikroyapı incelemesi için kesilen parça uzunlukları :

1. Parça : Uçtan itibaren mesafe ; 15 mm
2. Parça :Uçtan itibaren mesafe ; 20 mm
3. Parça : Uçtan itibaren mesafe ; 60 mm

Parçaların yüzeylerinin mikro yapıları, Ek – C 1, 2 ' de gösterilmiştir.

5.4. 8620 çeliği

8620 çeliğinin sertlik değerleri Tablo 5.4 'te ve su verilmiş uçtan mesafe ile sertlik değişimi eğrisi Şekil 5.4 'te gösterilmiştir.



Şekil 5.4 : 8620 çeliğinin sertlik eğrisi

Soğutulan uçtan uzaklık (mm)	2	3	5	7	9	11	13	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
Sertlik (RC)	60	57	56	55	54	53	53	52	46	42	40	39	38	36	35	36	37	36	35

Tablo 5.4 : 8620 çeliğinin soğutulan uçtan uzaklık ve sertlik değerleri

Sertlik eğrisine göre belirlenen kritik noktalardan mikro yapı incelemesi için kesilen parça uzunlukları:

1. Parça : Uçtan itibaren mesafe ; 4 mm

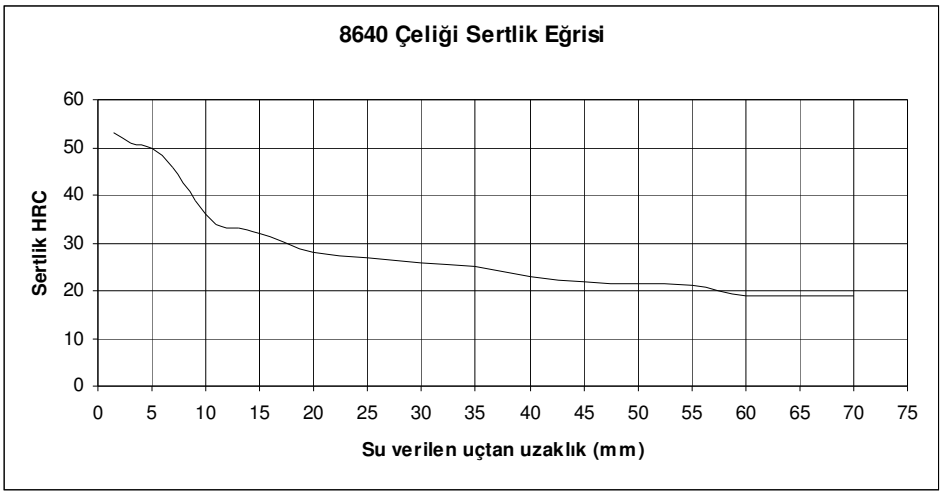
2. Parça :Uçtan itibaren mesafe ; 20 mm

3. Parça : Uçtan itibaren mesafe ; 45 mm

Parçaların yüzeylerinin mikro yapıları, Ek – D 1, 2' de gösterilmiştir.

5.5. 8640 çeliği

8640 çeliğinin sertlik değerleri Tablo 5.5 ' de ve su verilmiş uçtan mesafe ile sertlik değişimi eğrisi Şekil 5.5 'de gösterilmiştir.



Şekil 5.5: 8640 çeliğinin sertlik eğrisi

Soğutulan uçtan uzaklık (mm)	1,5	3	5	7	9	11	13	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
Sertlik (RC)	53	51	50	46	39	34	33	32	28	27	26	25	23	22	22	21	19	19	19

Tablo 5.5 : 8640 çeliğinin soğutulan uçtan uzaklık ve sertlik değerleri

Sertlik eğrisine göre belirlenen kritik noktalardan mikroyapı incelemesi için kesilen parça uzunlukları:

1. Parça : Uçtan itibaren mesafe ; 5 mm

2. Parça :Uçtan itibaren mesafe ; 8 mm

3. Parça : Uçtan itibaren mesafe ; 32,5 mm

4.Parça : Uçtan itibaren mesafe ; 63 mm

Parçaların yüzeylerinin mikro yapıları, Ek – E 1, 2, 3 ' de gösterilmiştir.

6. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Sertleştirme işlemi sonunda, bir çelik parçasının yüzeyinden çekirdeğine doğru değişen sertlik miktarları çeliğin sertleşebilirliğine bağlıdır. Eğer sertlik derinlemesine ilerlememişse sertleşebilirlik kabiliyeti kötüdür. Bunu iyileştirmek için kimyasal bileşimdeki alaşım elementleri miktarları arttırılır veya kimyasal bileşimi değiştirmeden sertleştirme ortamının soğutma şiddeti arttırılır. Burada tavsiye edilen alaşımlı çelik kullanılmasıdır. Şiddetli soğutma ortamında parçanın çarpılması ve çatlama tehlikesi söz konusudur.

Eğrilerde, sertliklerin net olarak değiştiği noktalar belirlenmiştir. Bu noktalardaki içyapı değişimleri incelendiğinde, soğutulan uçtaki martenzitik yapının sertliğe etkisinin fazla olduğu saptanmıştır. Soğutulan uçtan uzaklaştıkça, numunelerin bileşimlerine bağlı olarak oluşan mikro yapılardaki değişimler incelendiğinde, azalan martenzit miktarı sertliği de değiştirmektedir.

- 1040, 1050, 3140, 8620, 8640 çeliklerinin sertleşebilirliğini belirlemede, içerdikleri karbon ve alaşım miktarlarına göre her numune için farklı sertleşebilirlik eğrileri elde edilmiştir.
- En yüksek sertlik 1040 numunesinde bulunmuştur.
- Ancak, 1040 numunesinin sertlik değerleri su verilen uçtan uzaklaştıkça, çeliğin alaşımsız olmasından dolayı, hızlı bir düşüş gösterir.
- 1050 numunesinde de aynı durum gözlenmiştir.
- Bu nedenle 1040 ve 1050 çeliklerinin sertleşebilirlik kabiliyetleri iyi değildir.
- 8620 numunesini incelediğimizde ise; alaşımlı olmasına karşın sertleşebilirliği kötü çıkmıştır.
- Bu numunenin kimyasal bileşimi göz önüne alındığında 8620 numunesinden tek farkının P ve S oranlarının yüksek olmasıdır. Dolayısıyla bu deneysel çalışmalar içinde P ve S sertleşebilirliğe olumsuz etki yaptığı söylenebilir.
- Bileşiminde Cr – Ni elementleri bulunan 3140 ve bileşiminde Cr – Ni – Mo elementleri bulunan 8620 numunelerinin, su verilen uçtan uzaklaştıkça

yüksek sertlik değerlerini kaybetmediği ve dolayısıyla sertleşebilirlik kabiliyetlerinin diğer numunelere nazaran daha iyi olduğu tespit edilmiştir.

- 8620 ve 3140 numunelerinde bulunan özellikle Cr ve Ni elementlerinin bu deneysel çalışmalar içinde sertleşebilirliğe olumlu yönde etki yaptığı söylenebilir.
- Bütün bunlar göz önüne alındığında her elementin sertleşebilirliğe olumlu yönde etki yapmadığı gözlenmiştir.
- Sertleşebilirliğe olumlu yönde etkisi olan elementler beynit burnunu sağa kaydırmaktadır.Bu da bize daha uzun bir soğutma zamanı fırsatı vermektedir.Böylece daha düşük hızlardaki soğutmalar netincesinde de martenzit elde edilebilmektedir.Dolayısı ile sertlik artmaktadır.

7. KAYNAKLAR

1. TEKİN, Adnan, Çelik ve Isıl İşlemi, Hakan Ofset, İstanbul, 1984
2. SAFOĞLU, Recep, A., Malzeme Bilimine Giriş, Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul, 1997
3. METALS HANDBOOK, Vol.4, Heat Treating, American Society for Metals, 1981
4. İZGİZ, Savaş, Çelik El Kitabı, 3. Fasikül, TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası, Ankara
5. GROSSMANN, M.A., Principles of Heat Treatment, Americcan Society for Metals, p.50, (1955)
6. MAITREPIERRE, P., et. Al., In: Hardenability Concepts with Applications to steel, Kirkaldy,K.S. and Doane, D.V., ed.s, AIME, pp. 421-47, (1978)
7. GEÇGİNLİ , Emel , Metalografi , İ.T.Ü.
8. http://www.matter.org.uk
9. KAYALI , Sabri E. , Metalik Malzemelerin Mekanik Deneyleri, İ.T.Ü. Kimya Metalurji Fakültesi Ofset Atölyesi İSTANBUL 1996
10. http://www.msm.com.ac.uk
11. http://www.prm.ucl.ac.be
12. http://www.engr.ku.edu

8. ÖZGEÇMİŞ

Kimlik Bilgileri

Adı Soyadı	:	Bekir ÇAVDAR
Doğumu	:	KADIKÖY , 1980
Medeni Durumu	:	Evli
Yabancı Dili	:	İngilizce (orta)

Eğitim Bilgiler

Yüksek Öğrenim	:	Osmangazi Üniversitesi Mühendislik – Mimarlık Fakültesi Metalurji Mühendisliği Bölümü (2001) , Eskişehir
Orta Öğretim	:	Prof. Faik Somer Lisesi (1997), İstanbul
İlk Öğretim	:	Kanuni Sultan Süleyman İlk Öğretim Okulu , (1994) , İstanbul

Deneyim

Draeger Medical	:	Tek kullanımlık malzeme satış sorumlusu , 18 ay (İstanbul)
K.K.K. Hv.svn.Okl.	:	Astsb. Hazırlama okulu , 1 yıl (İstanbul)
5.Kor.Hv.Svn.Tb.	:	Rad.Oprt. , 4 yıl (devam etmekteyim) (Çorlu)

Adres : Bekir ÇAVDAR
Omurtak Kışlası Lojmanları
Aysun Apt. A Blok D : 1 ÇORLU / ULAŞ

9. EKLER

EK - A

EK - B

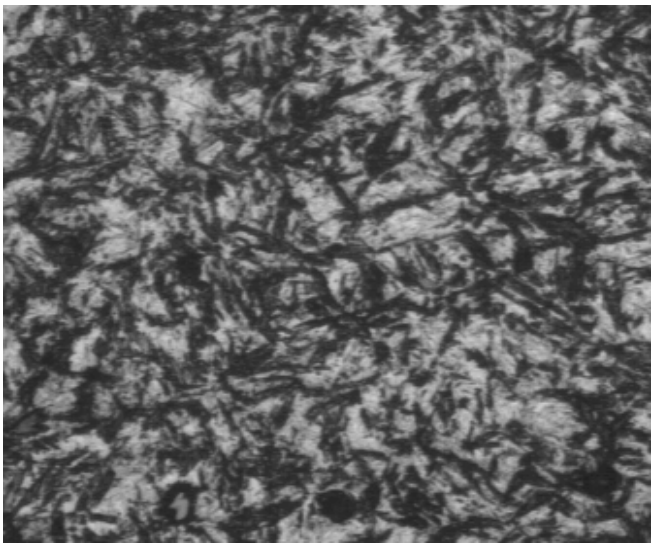
EK –C

EK – D

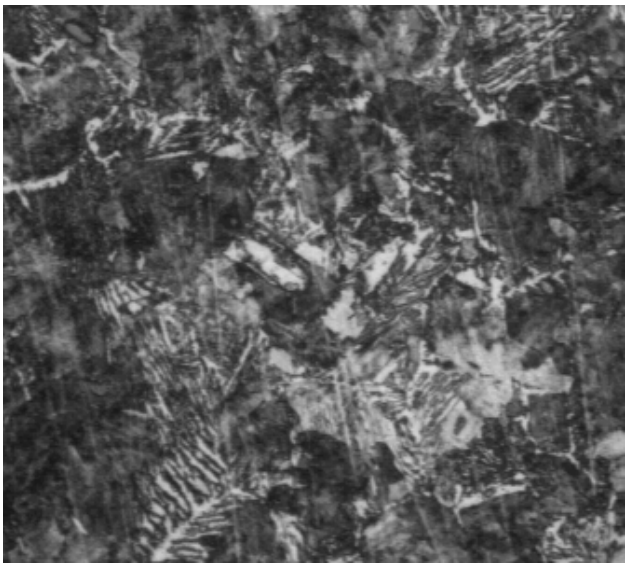
EK – E

EK – A

EK – A 1

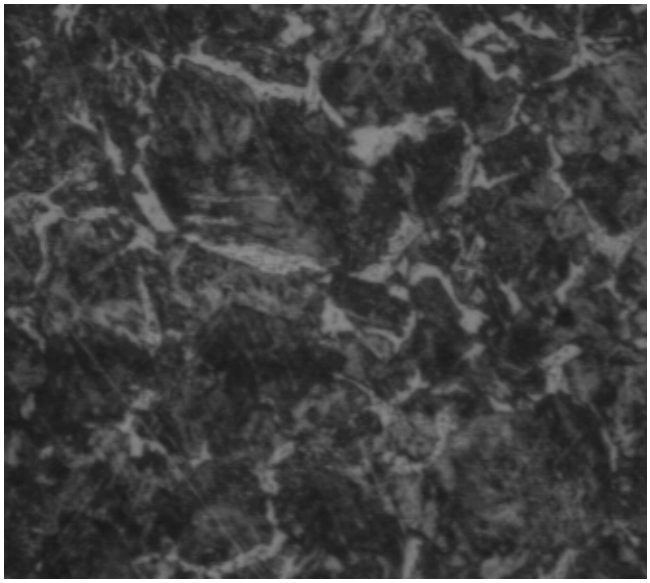


1040 numunesinin su verilen uçtaki mikro yapısı(martenzit, X500, %2 nital.)

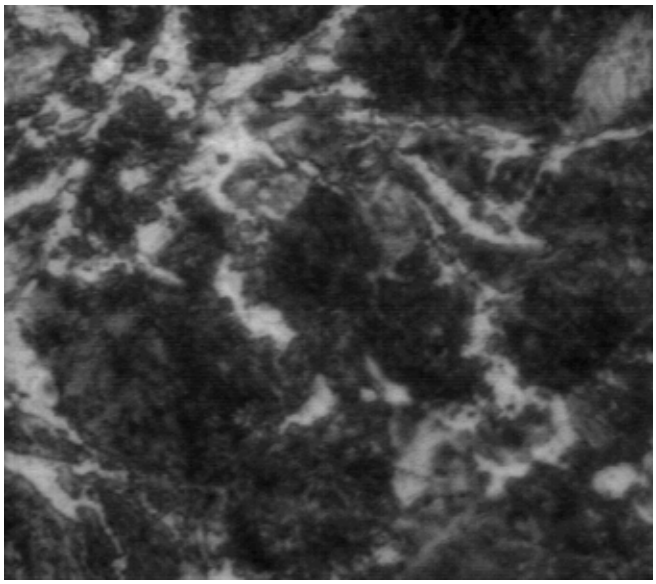


1040 numunesinin 3,75 mim'deki mikro yapısı (martenzit – perlit – ferrit X500 ,%2 nital.)

EK – A 2

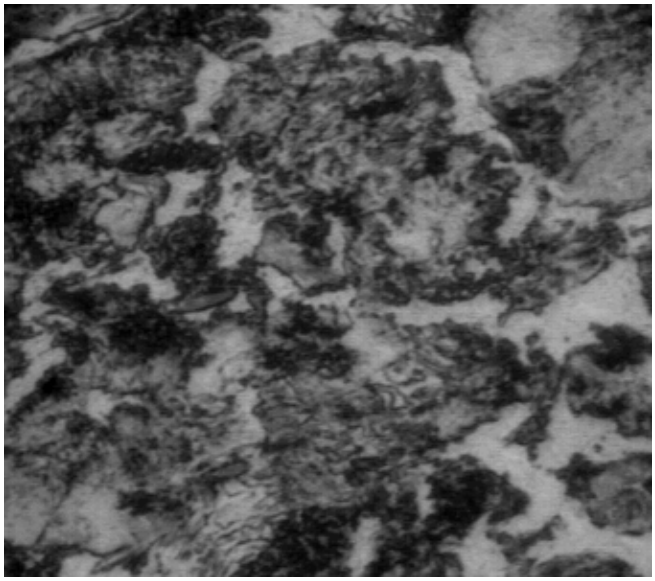


1040 numunesinin 6,5 mm'deki mikro yapısı (perlit – martenzit – ferrit, X500, %2 nital.)

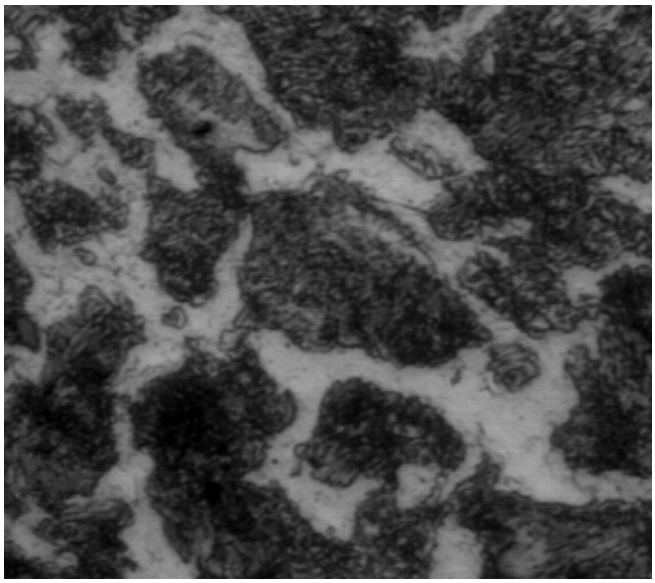


1040 numunesinin 13,5 mm'deki mikro yapısı (perlit – ferrit, X500, %2 nital.)

EK – A 3



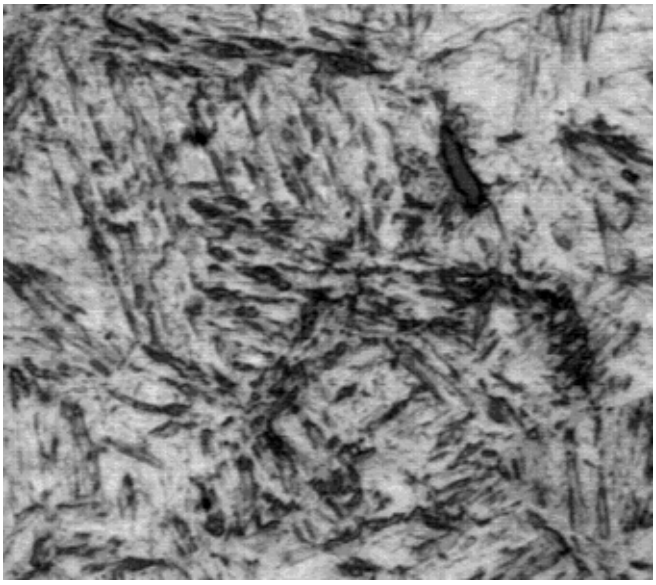
1040 numunesinin 32 mm'deki mikro yapısı (perlit – ferrit, X500, %2 nital.)



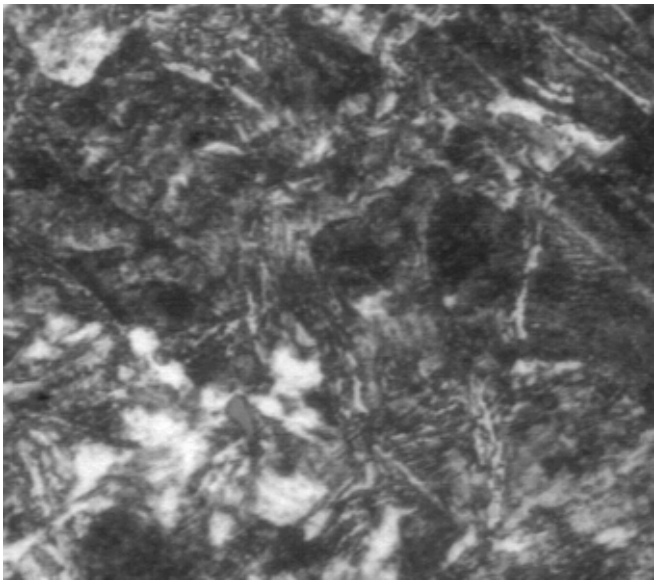
1040 numunesinin 67 mm'deki mikro yapısı (ferrit – perlit, X500, %2 nital.)

Ek – B

Ek – B 1

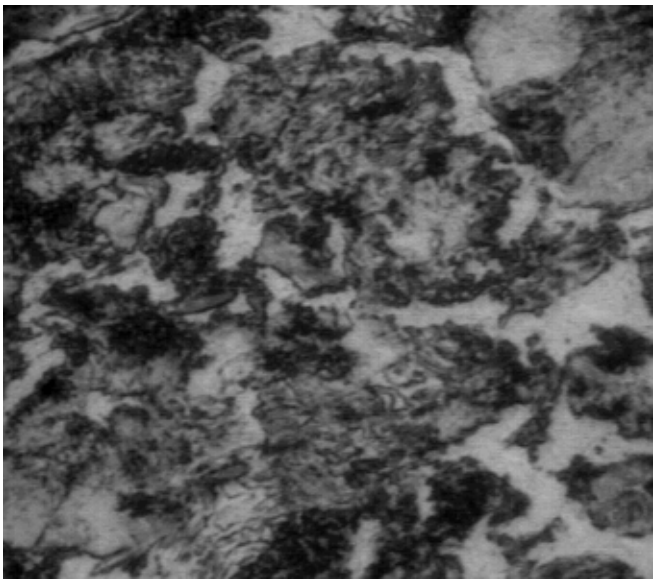


1050 numunesinin su verilen uçtaki mikro yapısı (martenzit, X500, %2 nital.)

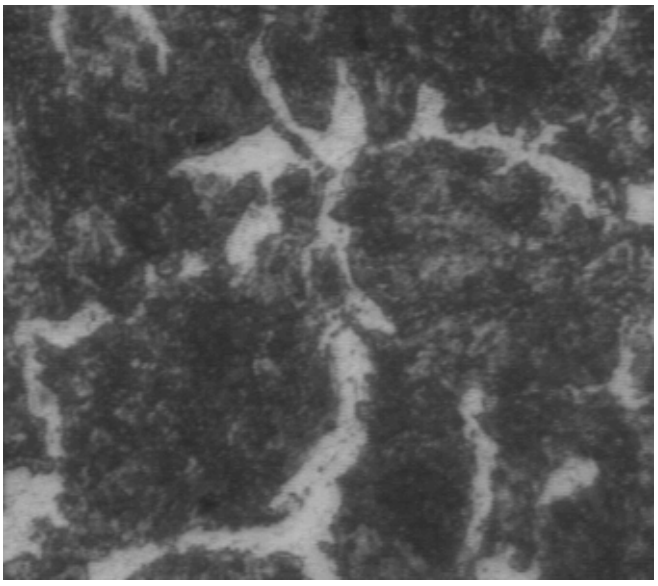


1050 numunesinin 6 mm'deki mikro yapısı (perlit – martenzit – ferrit, X500, %2 nital.)

Ek – B 2



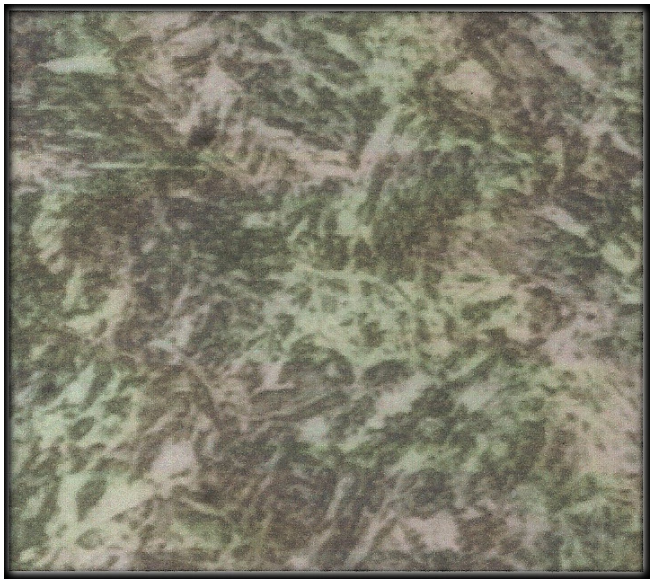
1050 numunesinin 11 mm'deki mikro yapısı (perlit – ferrit – martenzit, X500, %2 nital.)



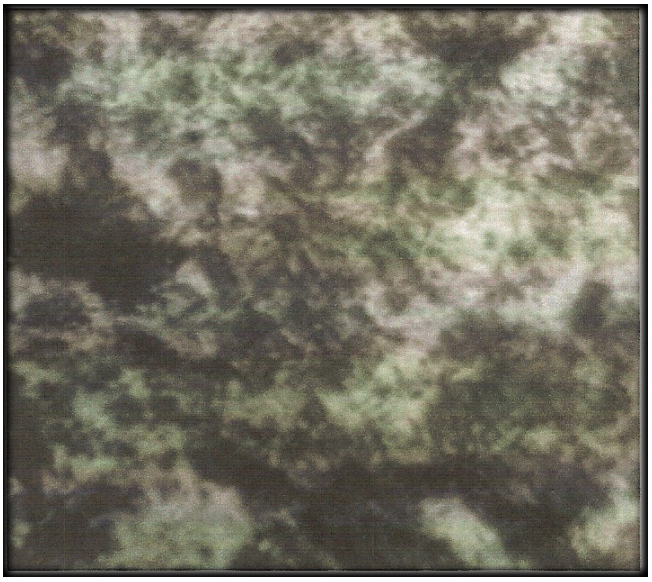
1050 numunesinin 42,5 mm'deki mikro yapısı (perlit – ferrit, X500, %2 nital.)

Ek – C

Ek – C 1

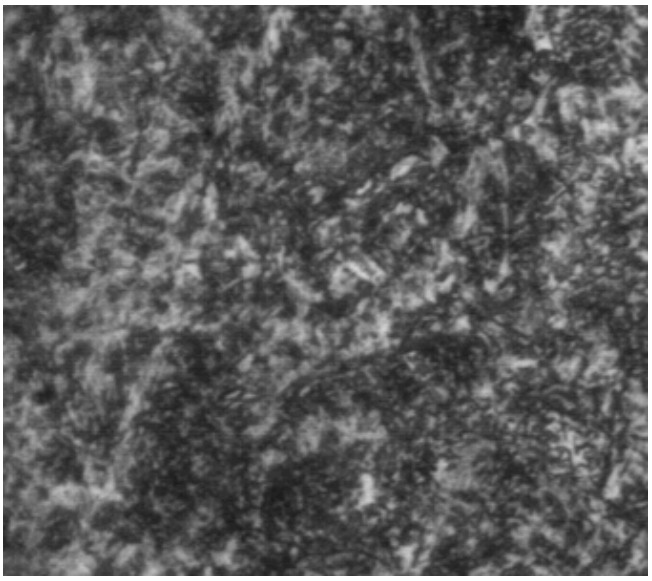


3140 numunesinin su verilen uçtaki mikro yapısı (martenzit, X500, %2 nital.)

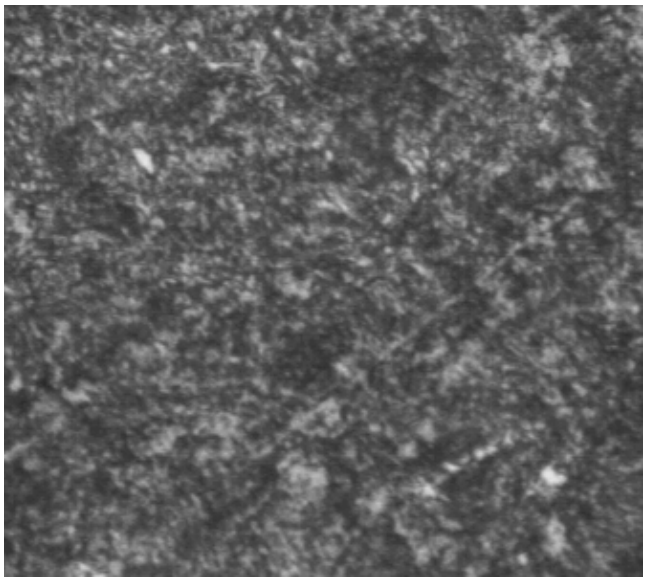


3140 numunesinin 15 mm'deki mikro yapısı (perlit – martenzit – ferrit, X500, %2 nital.)

Ek – C 2

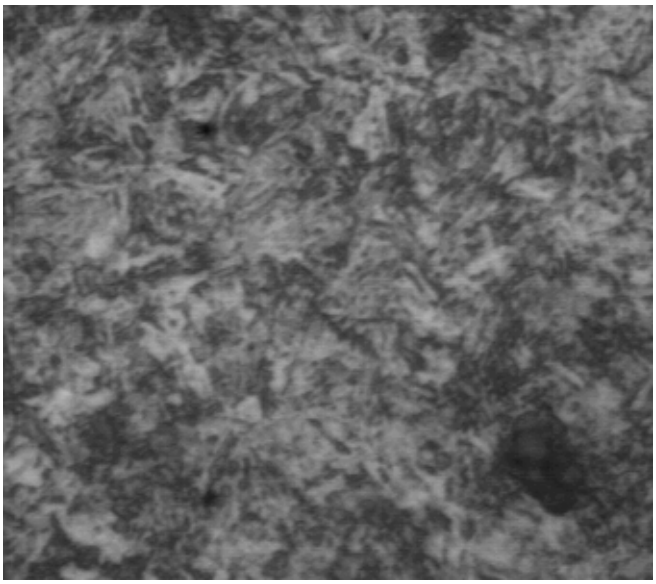


3140 numunesinin 20 mm'deki mikro yapısı (perlit – martenzit – ferrit, X500, %2 nital.)

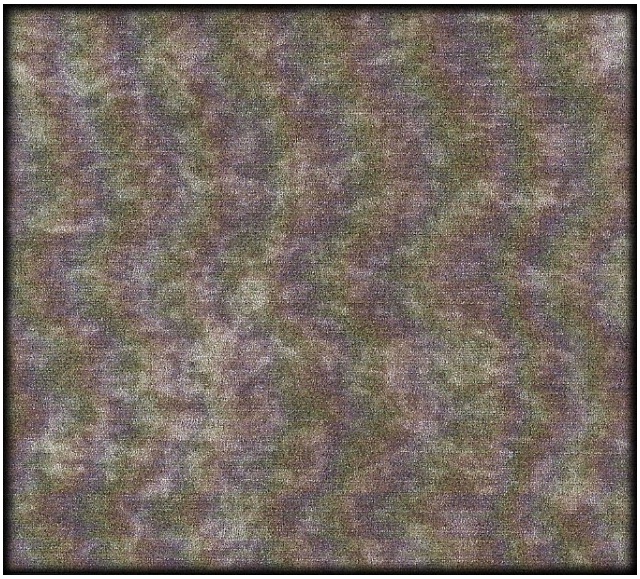


3140 numunesinin 60 mm'deki mikro yapısı (perlit – ferrit, X500, %2 nital.)

Ek – D
Ek – D 1

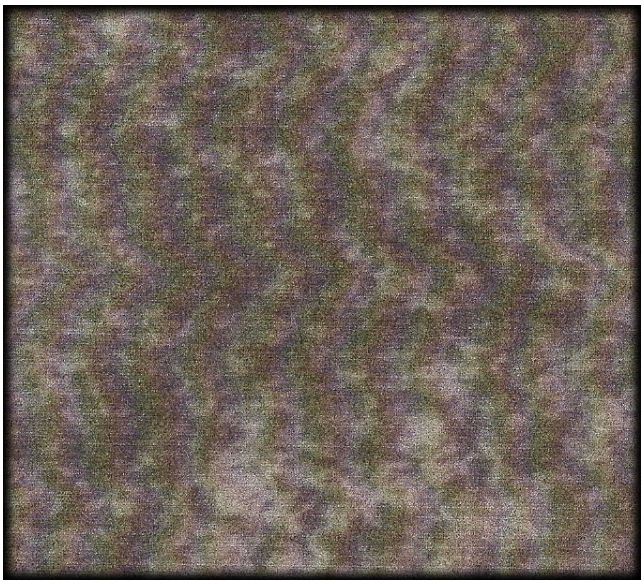


8620 numunesinin su verilen uçtaki mikro yapısı (martenzit, X500, %2 nital.)

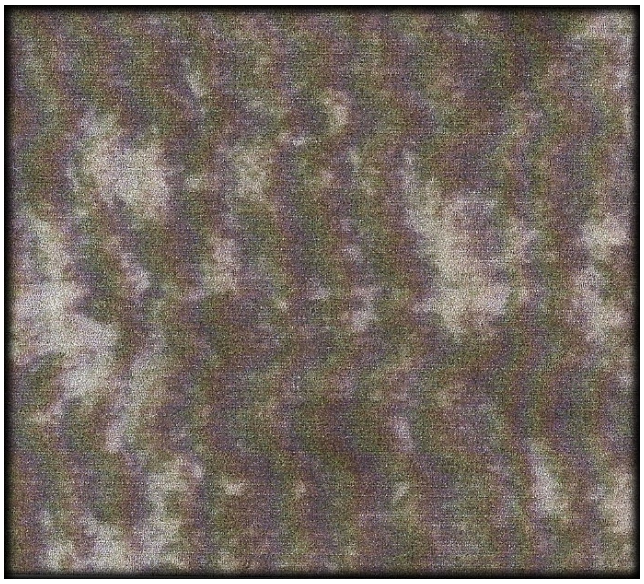


8620 numunesinin 4 mm'deki mikro yapısı (martenzit – perlit, X500, %2 nital.)

Ek – D 2



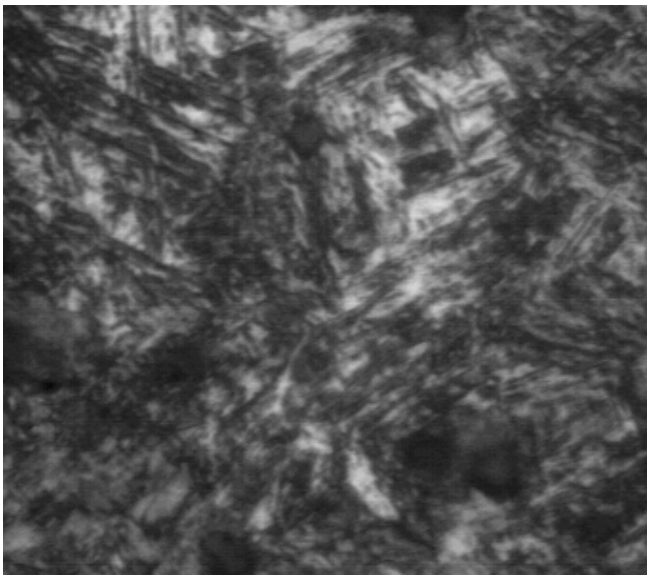
8620 numunesinin 20 mm.'deki mikro yapısı (ferrit – perlit, X500, %2 nital.)



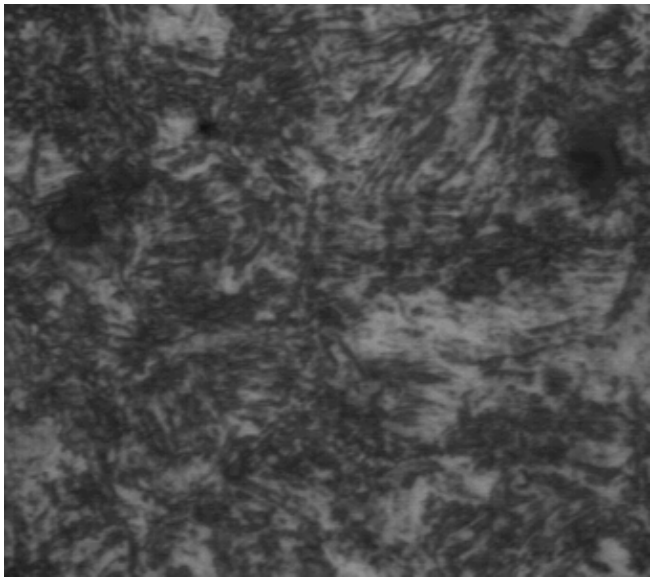
8620 numunesinin 45 mm'deki mikro yapısı (ferrit – perlit, X500, %2 nital.)

Ek – E

Ek – E 1

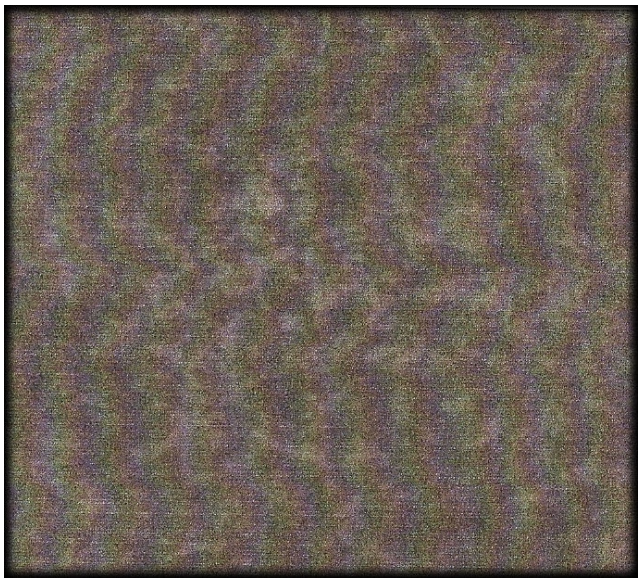


8640 numunesinin su verilen uçtaki mikro yapısı (martenzit, X500, %2 nital.)

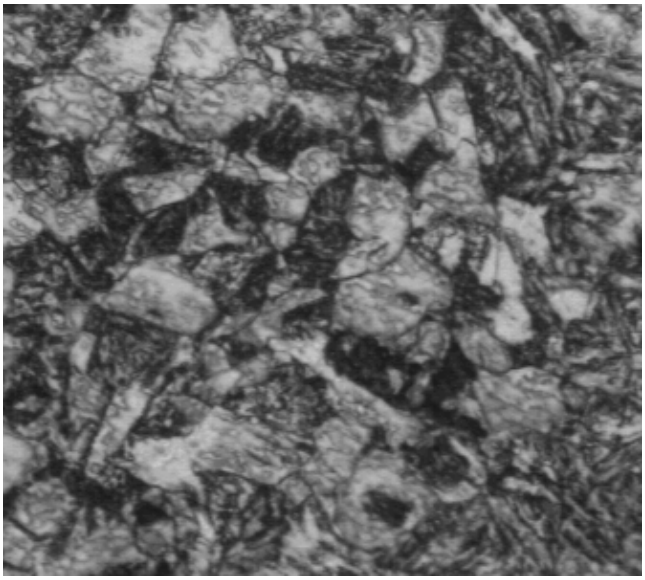


8640 numunesinin 5 mm'deki mikro yapısı (perlit – ferrit – martenzit, X500, %2nital.)

Ek – E 2

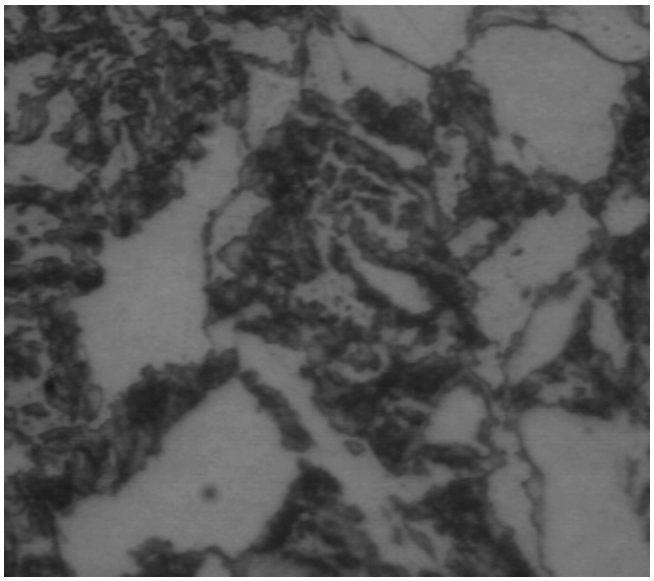


8640 numunesinin 8 mm'deki mikro yapısı (perlit –ferrit–martenzit, X500, %2 nital.)



8640 numunesinin 32,5 mm'deki mikro yapısı (ferrit – perlit, X500, %2 nital.)

Ek – E 3



8640 numunesinin 63 mm'deki mikro yapısı(ferrit – perlit, X500, %2 nital.)