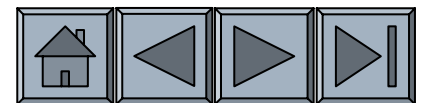




# MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ

---

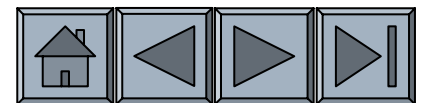
## Bölüm 12 – Demir Alaşımları





## Hedef

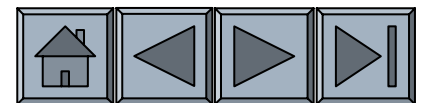
- Isıl işlem ve alaşımlama ile ötektoid reaksiyonun çeliğin yapı ve özelliklerini nasıl kontrol edileceğini öğrenmek
- İki özel demir alaşım grubunu incelemek: paslanmaz çelik ve dökme demir.





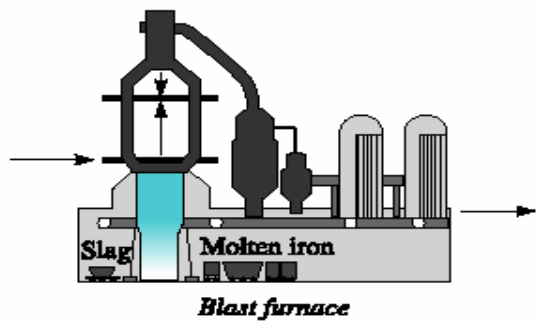
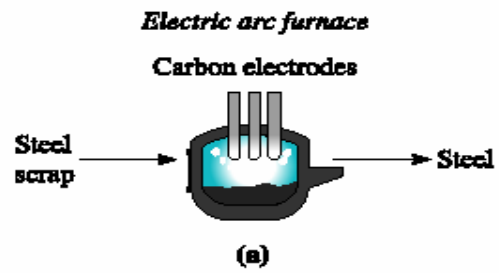
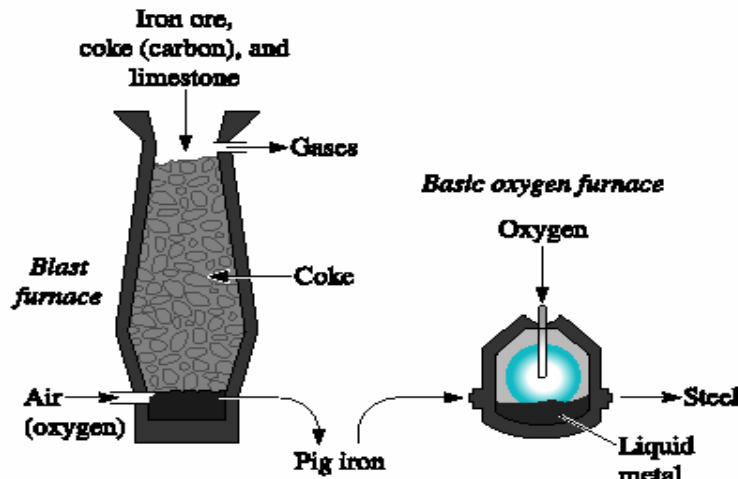
# İçerik

- Çeliklerin sınıflanması ve kodlanması
- Basit Isıl İşlemler
- İzotermal Isıl İşlemler
- Su verme ve Temperleme Isıl İşlemi
- Alaşım Elementlerinin Etkisi
- Sertleştirilebilirlik Uygulamaları



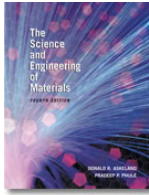
## İçerik (devam)

- Özel Çelikler
- Yüzey işlemleri
- Çeliğin kaynaklanabilirliği
- Paslanmaz Çelikler
- Dökme Demirler



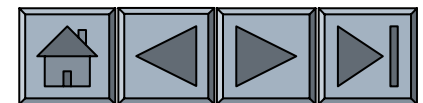
Produces molten pig iron from iron ore  
(b)

(a) Yüksek fırında, demir cevheri kok (karbon) ve hava kullanılarak indirgenir ve sıvı dökme demir elde edilir. Dökme demirde yüksek karbon içeriği bazik oksijen fırınına oksijen verilerek azaltılıp sıvı çelik üretilir. Elektrik ark fırını hurdaları eriterek sıvı çelik üretiminde kullanılır. (b) Yüksek fırın operasyonunun şematik gösterimi. (Source: [www.steel.org](http://www.steel.org). Used with permission of the American Iron and Steel Institute.)



## Bölüm 12.1. Çeliklerin Sınıflandırılması ve Kodlanması

- **Tanımlanması** - AISI (Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü) ve SAE (Otomotiv Mühendisleri Topluluğu) 4 veya 5 dijitten ibaret olan kodlama sistemi geliştirmişlerdir.
- **Sınıflandırma** - Çelikler kompozisyonlarına veya proses edilme yöntemlerine göre sınıflandırılır.



## Demir Alaşımları

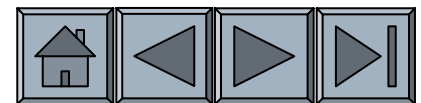
Demir-karbon esaslı olan sade karbonlu elik alaşımlarını,

- Takım eliklerini
- Paslanmaz eliklerini
- Dökme demirleri içerirler.



## Fe-Fe<sub>3</sub>C Faz Diyagramlarının Gözden Geçirilmesi

**Katı eriyikler:** Katı eriyikler, ferrit ( $\delta$ ), östenit ( $\gamma$ ), ferrit ( $\alpha$ ) ve bir intermetalik bileşik olan sementittir. Bunlara ilaveten dengesiz bir faz olan martensit hızlı soğutma ile oluşturulabilir.



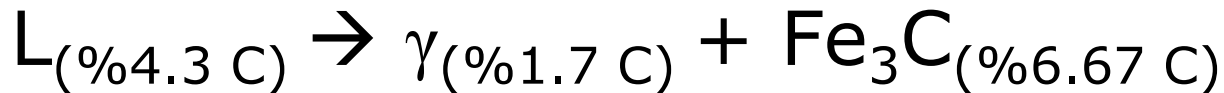


## 3 Faz Reaksiyonları

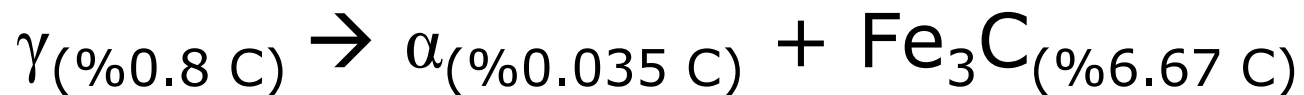
### Peritektik



### Ötektik



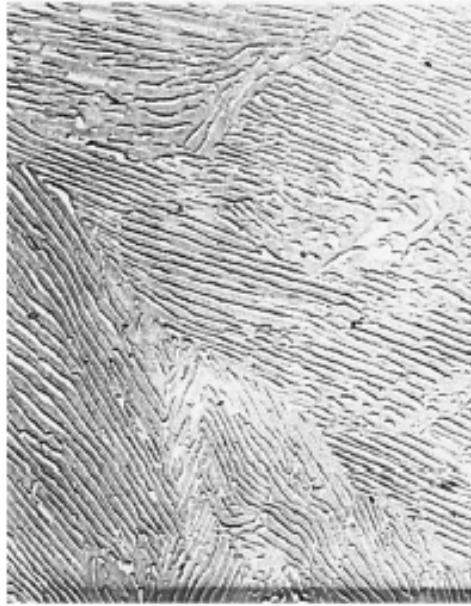
### Ötektoid



## Mikrooluşumlar

- Ötektoid reaksiyonun nasıl kontrol edildiğine bağlıdır.
- Perlit, ferrit ve sementitin lamelli karışımıdır.
- Beynit ise daha geniş bir altsöğümada, östenitin dönüşümü ile elde edilen ferrit ve sementitin lamelli olmayan karışımıdır.

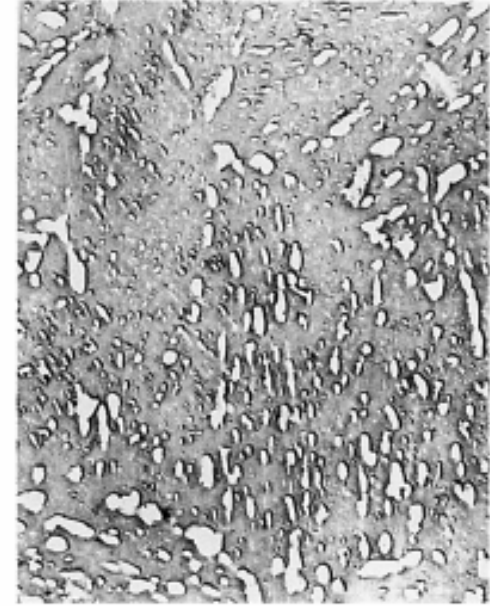




(a)



(b)



(c)

**Elektron mikroskobu görüntüleri (a) perlit (b) beynit (c) temperlenmiş martenzit, bu üç mikrooluşumdada sementit boyut ve şeklindeki farklar gösterilmiştir. ( $\times 7500$ ). (*From The Making, Shaping, and Treating of Steel, 10th Ed. Courtesy of the Association of Iron and Steel Engineers.*)**

# Çeliklerin Tanımlanması ve Tipik Yapıları

**TABLE 12-1** ■ *Compositions of selected AISI-SAE steels*

<b>AISI-SAE Number</b>	<b>% C</b>	<b>% Mn</b>	<b>% Si</b>	<b>% Ni</b>	<b>% Cr</b>	<b>Others</b>
1020	0.18–0.23	0.30–0.60				
1040	0.37–0.44	0.60–0.90				
1060	0.55–0.65	0.60–0.90				
1080	0.75–0.88	0.60–0.90				
1095	0.90–1.03	0.30–0.50				
1140	0.37–0.44	0.70–1.00				0.08–0.13% S
4140	0.38–0.43	0.75–1.00	0.15–0.30		0.80–1.10	0.15–0.25% Mo
4340	0.38–0.43	0.60–0.80	0.15–0.30	1.65–2.00	0.70–0.90	0.20–0.300% Mo
4620	0.17–0.22	0.45–0.65	0.15–0.30	1.65–2.00		0.20–0.30% Mo
52100	0.98–1.10	0.25–0.45	0.15–0.30		1.30–1.60	
8620	0.18–0.23	0.70–0.90	0.15–0.30	0.40–0.70	0.40–0.60	0.15–0.25% Y
9260	0.56–0.64	0.75–1.00	1.80–2.20			

## Örnek 12.1. AISI Sayısını Belirlemek için Bir Yöntem Tasarlayınız

Alaşım-sız çelik takımın alüminyum otomobil jant işlemede iyi bir performansla kullanıldığı görülmüş ancak satın alma kayıtlarında çeliğin kompozisyonu ile ilgili bir bilgiye rastlanmamıştır.

Mikroyapı incelendiğinde çeliğin temperlenmiş martenzit olduğu görülmüştür. Çeliğin kompozisyonunu yapısından çıkarmak mümkün olmadığına göre çeliğin karbon içeriğini belirlemeye yardımcı işlemleri tasarlayınız?



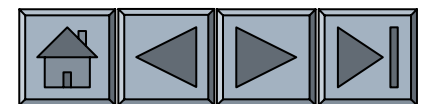
## ÇÖZÜM

İlk yol A1 sıcaklığının altına çeliği ısıtıp uzun süre tutarak ferrit matristen büyük  $\text{Fe}_3\text{C}$  kürelerinin çıkmasını sağlamaktır. Sonrasında ferrit ve sementit miktarlarını tahmin ederek karbon içeriği için manivela kuralını uygulamaktır. Bu yöntemle %16  $\text{Fe}_3\text{C}$  ölçülmüşse karbon içeriği:

$$\% \text{Fe}_3\text{C} = \left[ \frac{(x - 0.0218)}{(6.67 - 0.0218)} \right] \times 100 = 16 \text{ or } x = 1.086\%$$

Daha iyi bir yaklaşım,  $A_{\text{cm}}$  sıcaklığı üstüne çeliği çıkarıp tümünü östenite çevirmektir. Bu durumdan çelik yavaşça soğutulursa perlit ve primer mikro oluşumlara dönüşür. Bunu yaptıktan sonra yapının %95 perlit ve %5 primer  $\text{Fe}_3\text{C}$ 'den oluştuğu tahmin edilirse:

$$\% \text{Pearlite} = \left[ \frac{6.67 - x}{6.67 - 0.77} \right] \times 100 = 95 \text{ or } x = 1.065\%$$



## Bölüm 12.2. Temel Isıl İşlemler

- Gerilim Giderme Tavı
  - Soğuk deformasyon etkisinin giderilmesi.
- Tavlama ve Normalize Etme Tavı:
  - Dağılım mukavemetlenmesinin kontrolü
- Küreselleştirme:
  - İşlenebilirliği iyileştirme

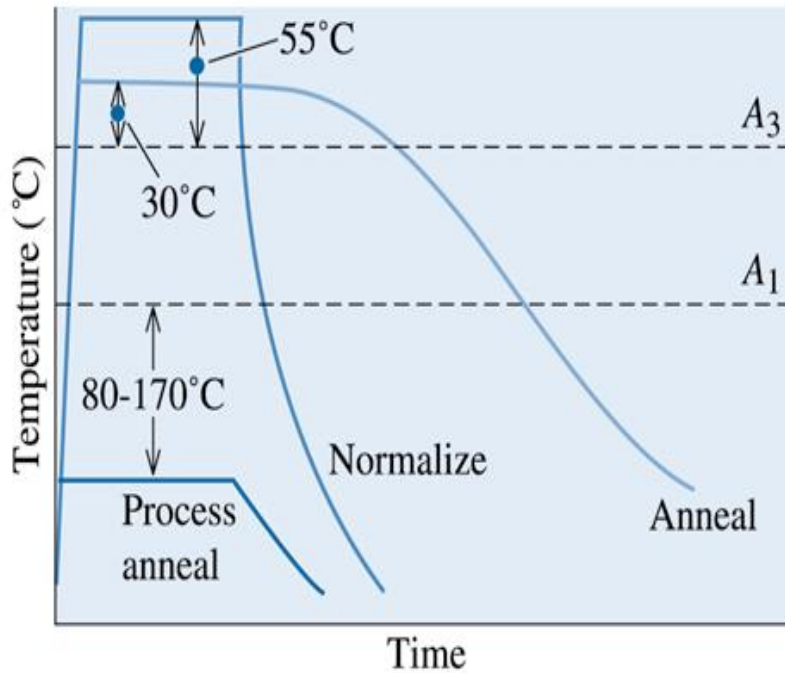


## Bölüm 12.2. Temel Isıl İşlemler

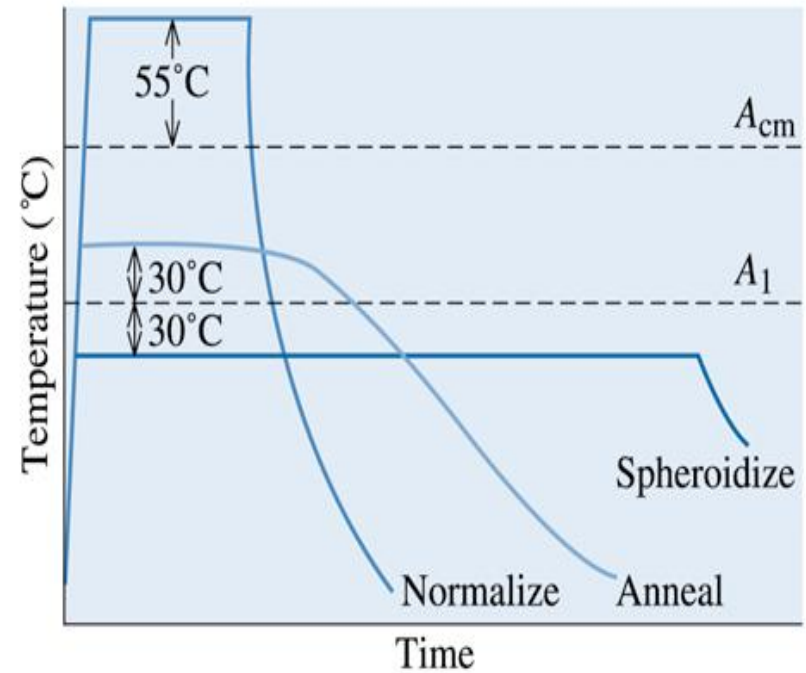
- Gerilim Giderme Tavlama
  - Çeliklerde soğuk işlemin etkisini tamamen veya kısmen ortadan kaldırmak için kullanılan düşük sıcaklık ısıtma işlemidir.
  - %0,25 C'dan daha az karbona sahip çeliklerde, ferrit soğuk deformasyonla pekleşir. Pekişme etkisini gidermek için kullanılan yeniden kristalleşme ısıtma işlemi, gerilim giderme tavlama olarak adlandırılır.

## Bölüm 12.2. Temel Isıl İşlemler

- **Tavlama ve Normalize Etme Tavı:**
  - Östenit perlite dönüşürken soğuma hızı kontrol edilerek  $Fe_3C$  inceltilebilir.
  - Çok yavaş soğutma sağlanırsa kaba perlit oluşur.
  - Bu operasyon işlem tavlaması veya tam tavlama olarak adlandırılır.
  - Hızlı soğutma ile ince perlit oluşturma ısıl işlemi ise normalize olarak adlandırılır.
- **Küreselleştirme:**
  - A1 sıcaklığının yaklaşık  $30^{\circ}C$  altında uzun süre tavlamayı gerektirir.
  - Bu işlem sırasında sementit küresel parçacıklara dönüşür ve böylece sınır bölgesi azaltılmış olur.
  - Küresel olarak bilinen mikro yapı, kesintisiz yumuşak ve işlenebilen ferritik matrise sahiptir.



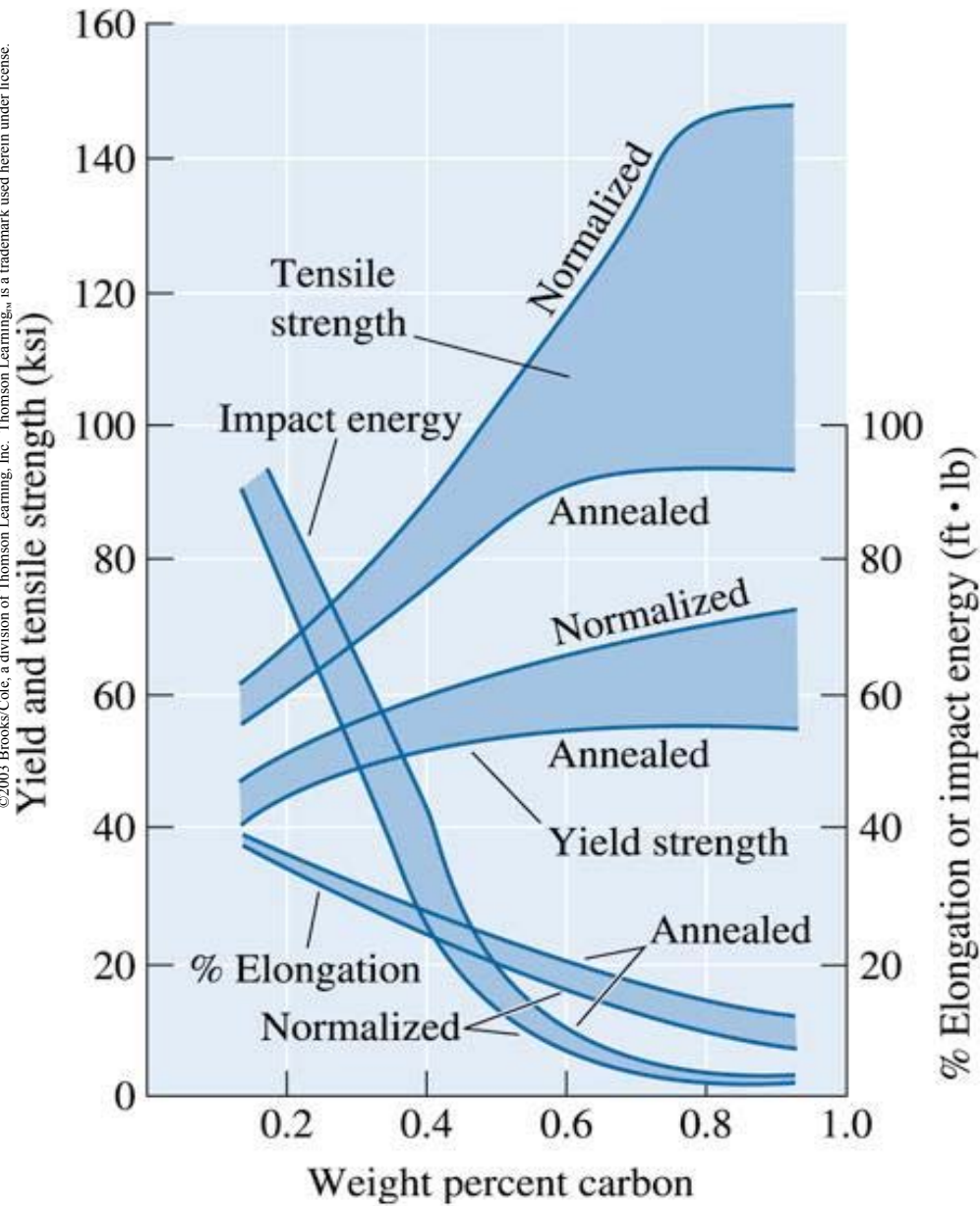
(a) Hypoeutectoid



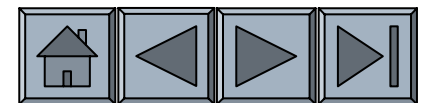
(b) Hypereutectoid

©2003 Brooks/Cole, a division of Thomson Learning, Inc. Thomson Learning, is a trademark used herein under license.

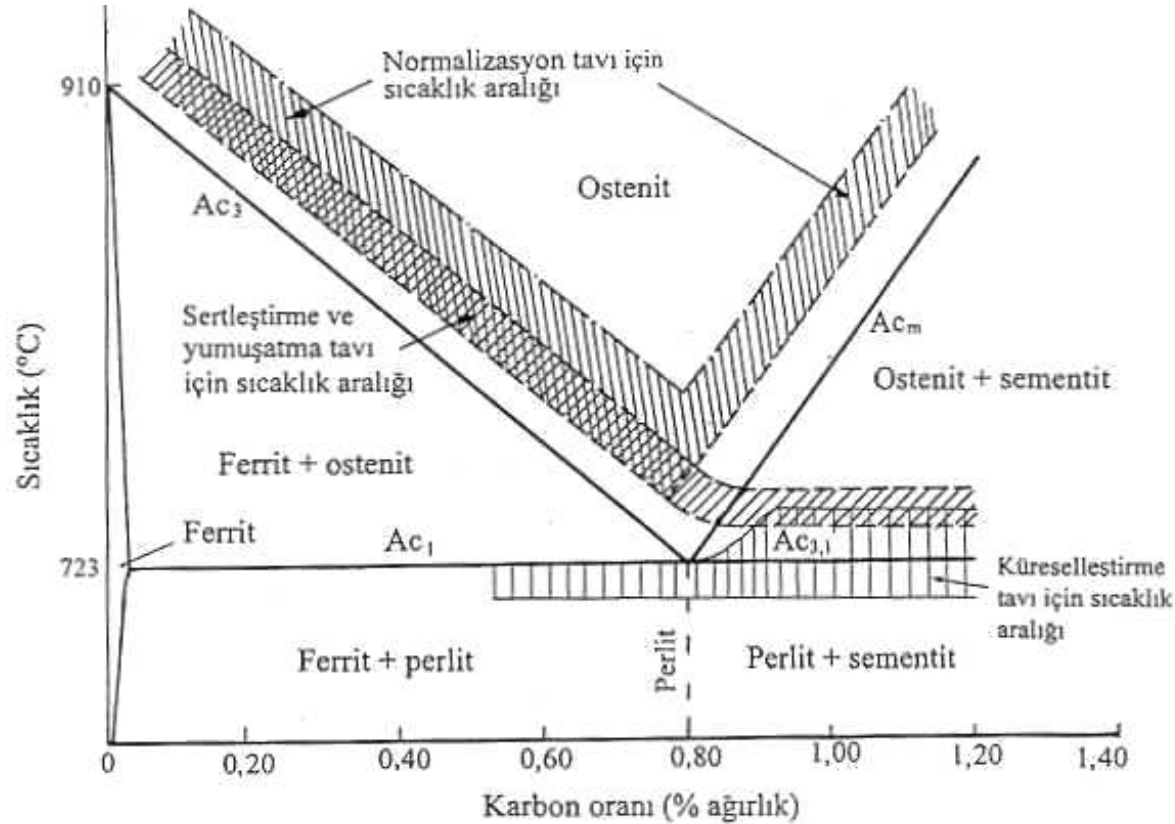
**Temel Isıl İşlemlerin şematik özeti. (a) hipoötektoid çelikler ve (b) hiperötektoid çelikler.**

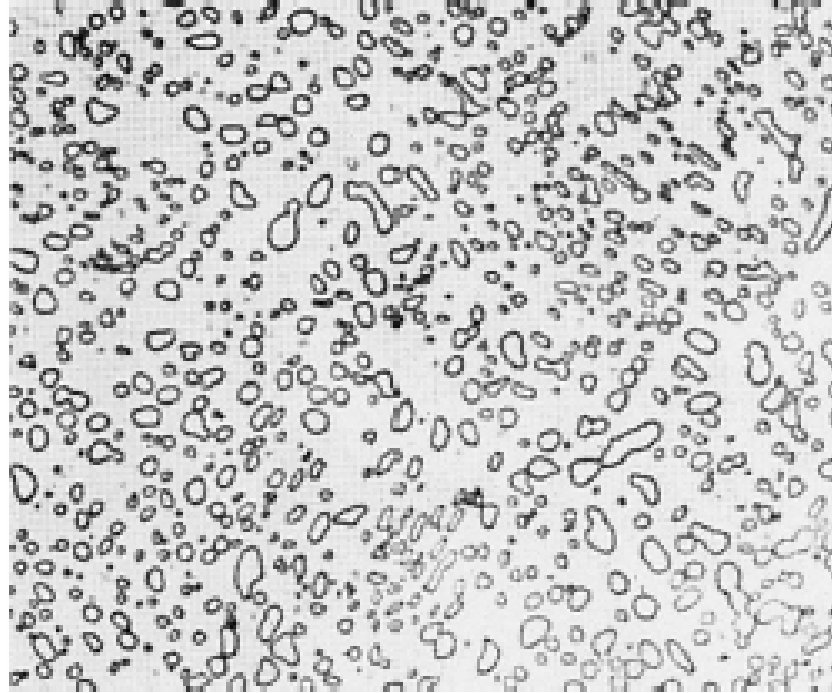


**Sade karbonlu çeliklerin özellikleri üzerine karbon ve ısıl işlemin etkisi.**



# Alaşımsız çeliklere uygulanan yumuşatma, normalizasyon, küreselleştirme ve sertleştirme işlemleri için tavlama sıcaklık aralıkları



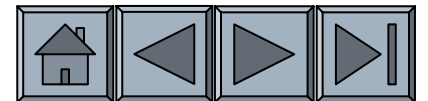


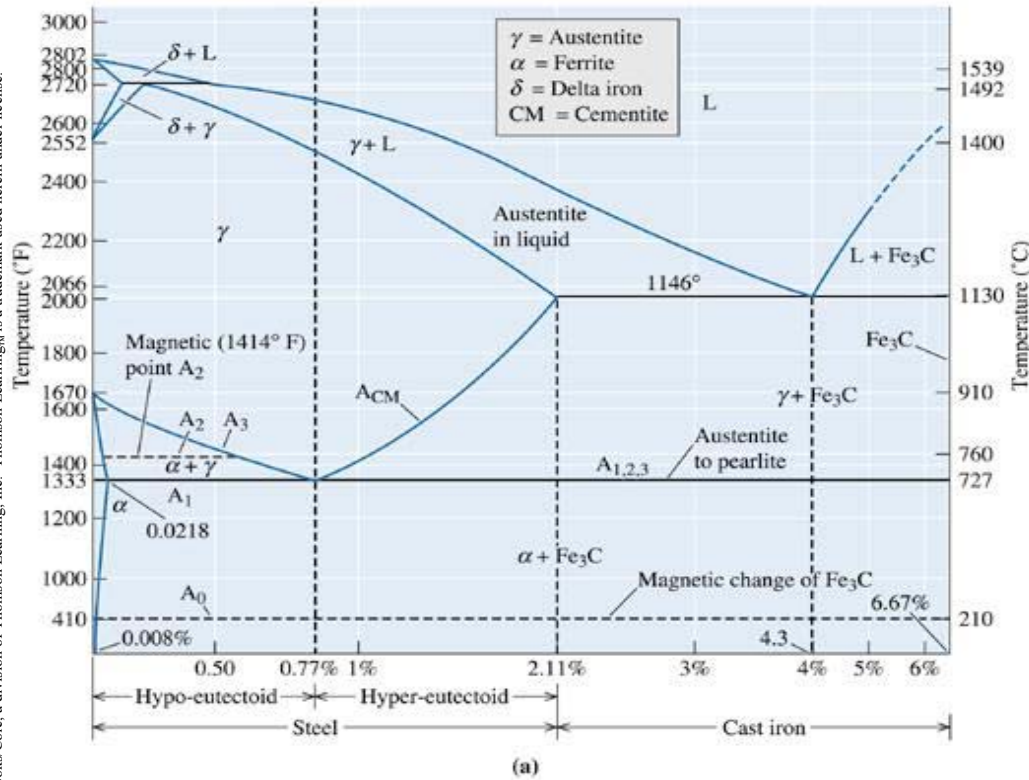
**Küresel dökme demirin mikroyapısı. Fe<sub>3</sub>C partikülleri ferrit matris içine dağılmış. (× 850). (From ASM Handbook, Vol. 7, (1972), ASM International, Materials Park, OH 44073.)**



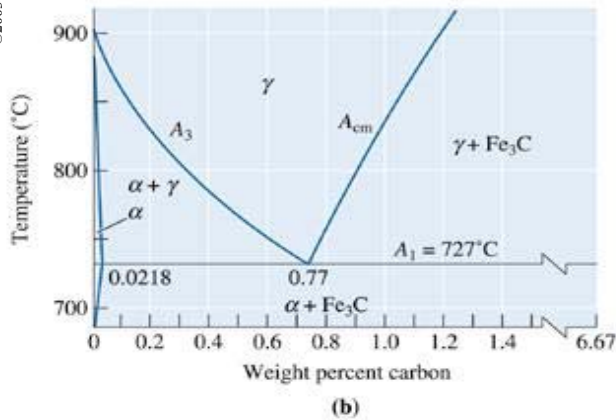
## Örnek 12.2. Isıl İşlem Sıcaklıklarının Belirlenmesi

1020, 1077 ve 10120 çeliklerinin gerilim giderme tavı, tavlama, normalize etme ve kürselleştirme için uygun görülen sıcaklıklarını belirtiniz?





**(a) Fe-Fe<sub>3</sub>C faz diyagramının ötektoid kısmı (b) Fe-C diyagramının genişletilmiş versiyonu.**





## ÇÖZÜM

Önceki şekil bulunarak her bir çelik için kritik  $A_1$ ,  $A_3$ , or  $A_{cm}$  sıcaklıkları bulunmuştur. Bu sıcaklıklara göre ısıl işlemler özelleştirebiliriz.

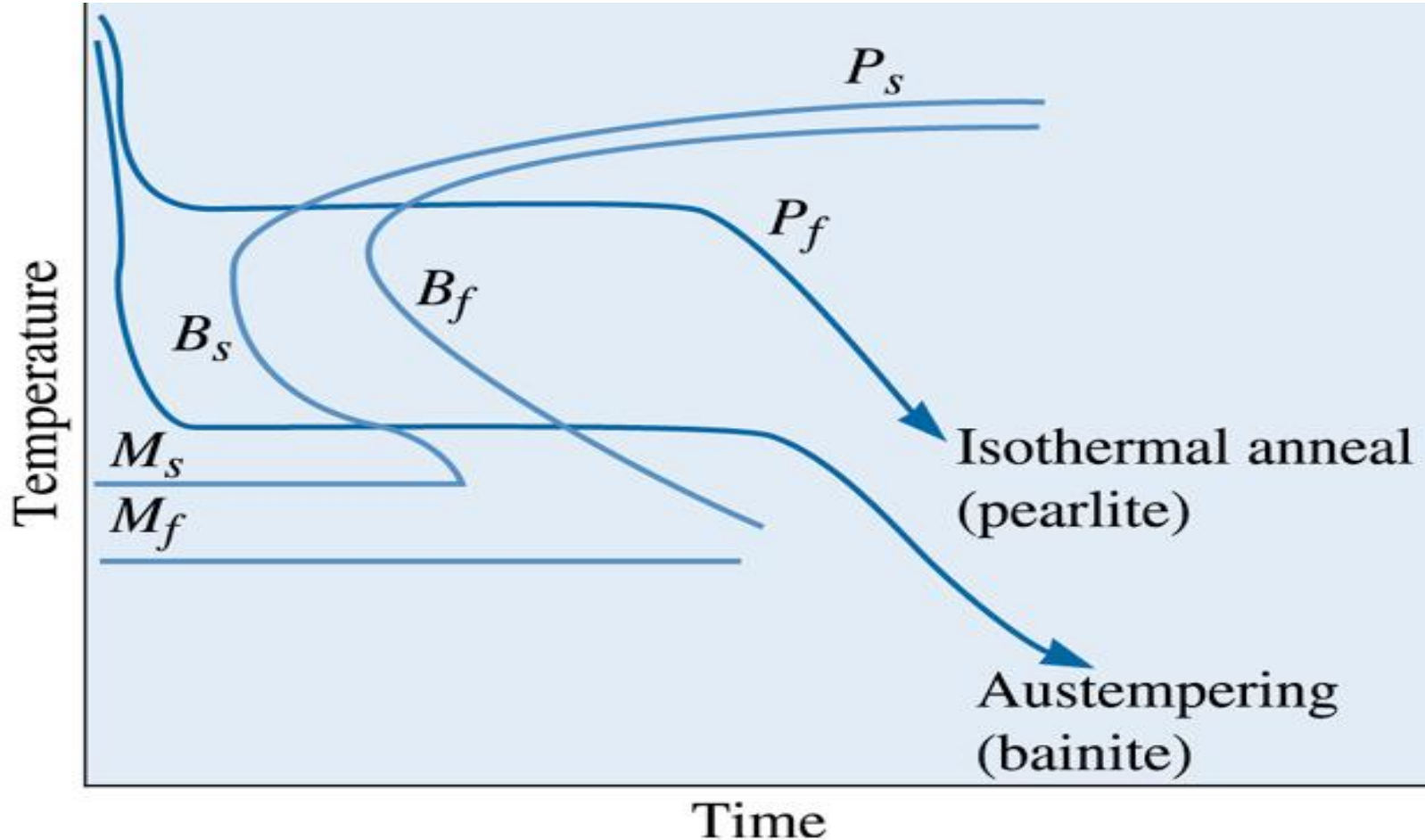
Steel Type	1020	1077	10120
Critical temperatures	$A_1 = 727^\circ\text{C}$ $A_3 = 830^\circ\text{C}$	$A_1 = 727^\circ\text{C}$	$A_1 = 727^\circ\text{C}$ $A_{cm} = 895^\circ\text{C}$
Process annealing	727 – (80 to 170) = 557°C to 647°C	Not done	Not done
Annealing	$830 + 30 = 860^\circ\text{C}$	$727 + 30 = 757^\circ\text{C}$	$727 + 30 = 757^\circ\text{C}$
Normalizing	$830 + 55 = 885^\circ\text{C}$	$727 + 55 = 782^\circ\text{C}$	$895 + 55 = 950^\circ\text{C}$
Spheroidizing	Not done	$727 - 30 = 697^\circ\text{C}$	$727 - 30 = 697^\circ\text{C}$

## Bölüm 12.3. İzotermal Isıl İşlemler

- **Östemperleme** – Östenitin beynite dönüştüğü izotermal ısıtma işlemidir.
- **İzotermal tavlama** – Çeliklerin östenitleme ile başlayıp  $A_1$  ve TTT eğrisinin burnu arasına aniden soğutulup östenit perlitte dönüşümüne kadar tutulduğu ısıtma işlemidir.

# Ötektoid Altı ve Üstü Çeliklerde İzotermal Dönüşüm

□ Ötektoid altı ve üstü çeliklerin her ikisinde de izotermal dönüşüm diyagramı, oluşacak ilk fazı yansıtmak zorundadır.



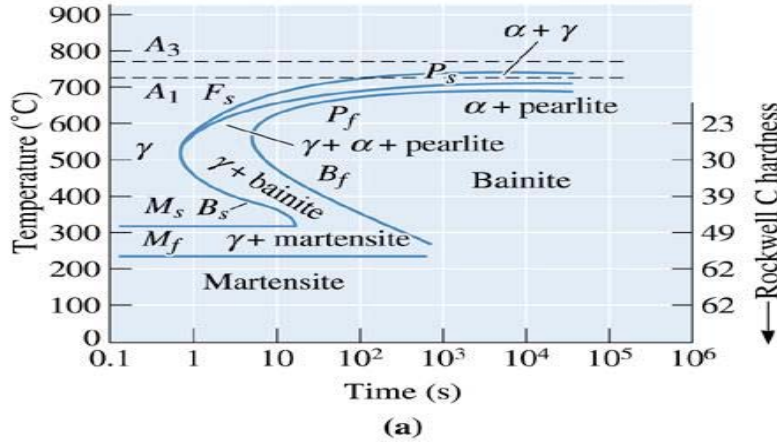
©2003 Brooks/Cole, a division of Thomson Learning, Inc. Thomson Learning, is a trademark used herein under license.

## 1080 çeliğinde östempereleme ve izotermal tavlama ısı işlemleri.

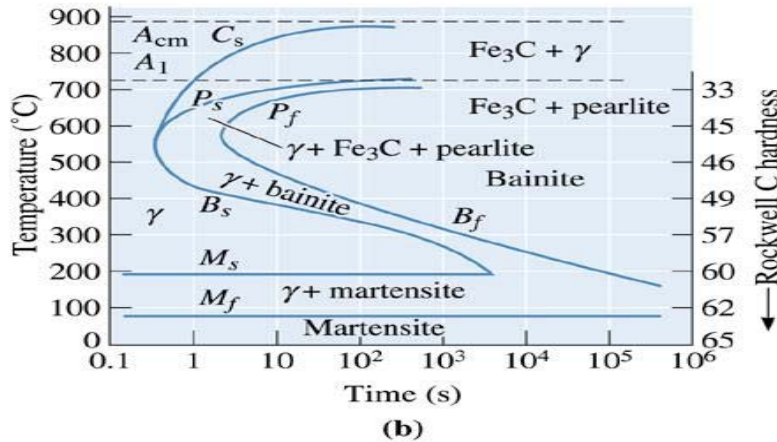
# Örnek 12.3. Keser Üretiminin Isıl İşlem Tasarımı

1050 çelik keserin HRC 23 sertlik ve homojen mikroyapı üretmek için gerekli ısıl işlemi tasarlayınız?

©2003 Brooks/Cole, a division of Thomson Learning, Inc. Thomson Learning, Inc. is a trademark used herein under license.



**TTT diyagramları (a) 1050 (b) 10110 çelikleri**



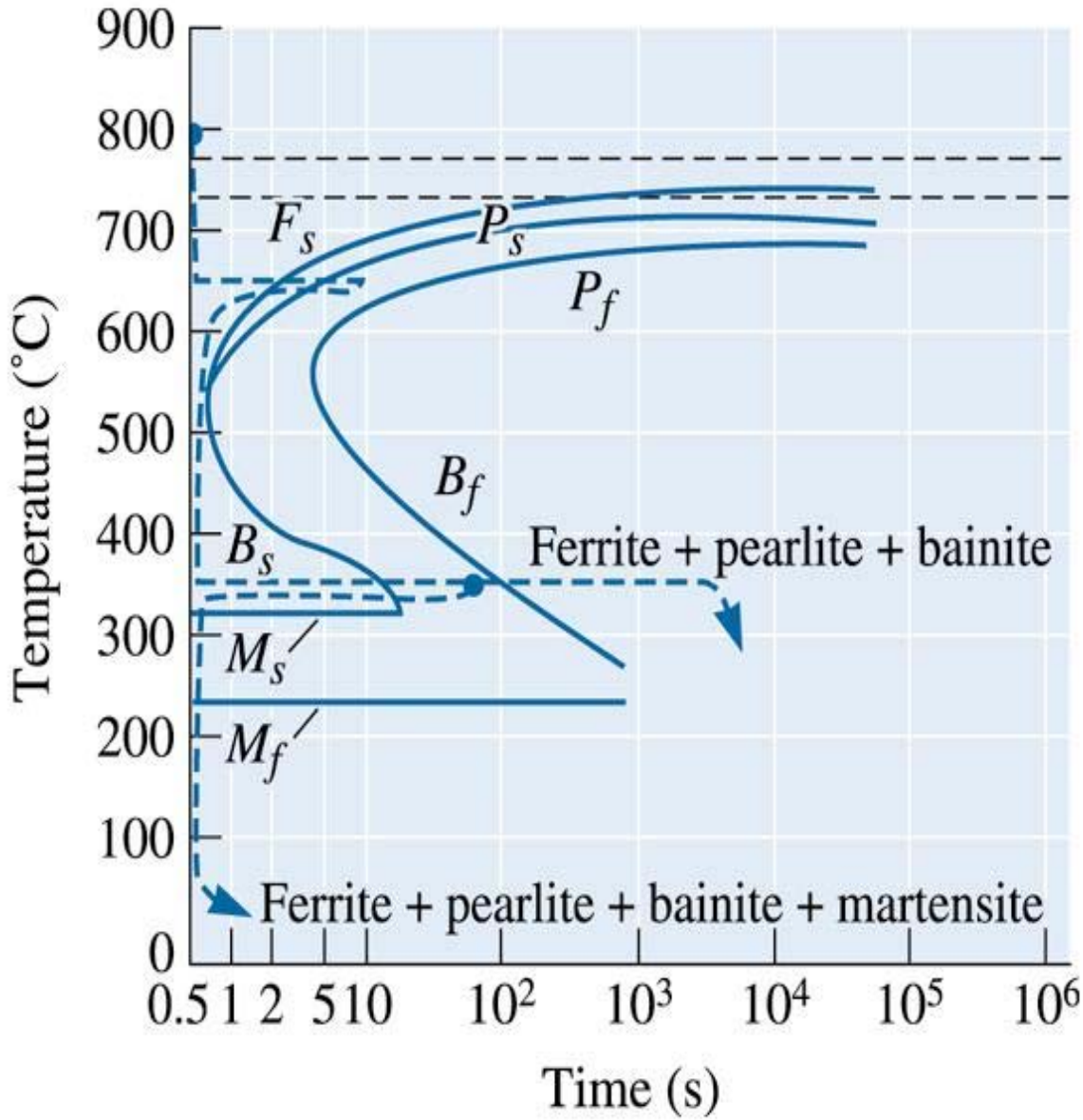
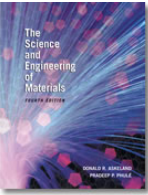
## ÇÖZÜM

1. Çeliği  $770 + (30 \text{ to } 55) = 805^{\circ}\text{C} - 825^{\circ}\text{C}$  östenit fazına al 1 saat beklet ve %100  $\gamma$  elde et.
2.  $600^{\circ}\text{C}$  ye soğut ve minimum 10 s tut. Primer ferrit 1 s sonra çökelmeye başlar. 1,5s sonra perlit büyür ve 10s sonra östenit tamamen ferrit ve perlite dönüşür. Bu işlem sonrasında, oluşan mikrooluşumlar:

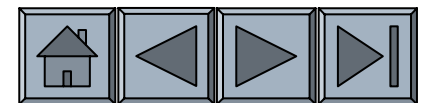
$$\text{Primary } \alpha = \left[ \frac{(0.77 - 0.5)}{(0.77 - 0.0218)} \right] \times 100 = 36\%$$

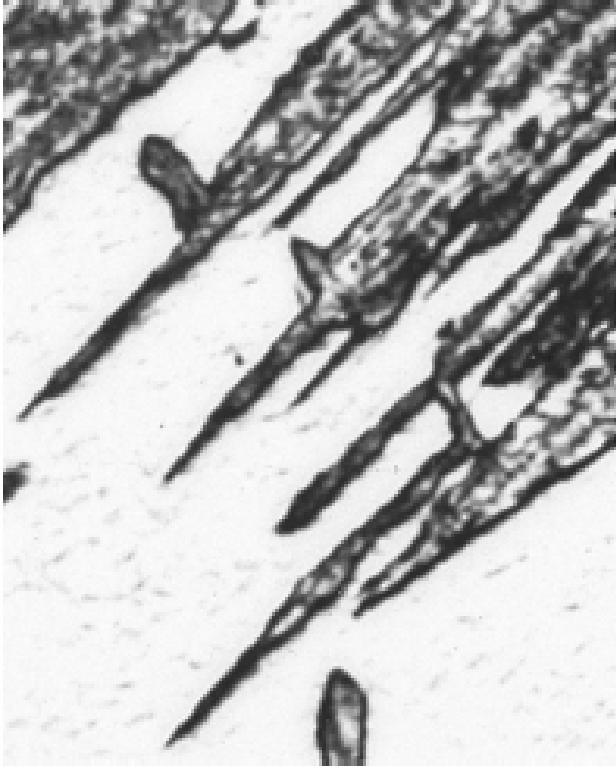
$$\text{Pearlite} = \left[ \frac{(0.5 - 0.0218)}{(0.77 - 0.0218)} \right] \times 100 = 64\%$$

3. Havada primer ferrit ve perlit denge miktarlarını koruyarak oda sıcaklığına soğut. İzotermal tavlama sonucu mikroyapı ve sertlik homojendir.



**1050 çelikte izotermal ısıt işlemler kesintiye uğratılarak komplike mikroyapıların üretilmesi.**





**İzotermal ısıt işlemin kesintiye uğratılarak dönüşümün sağlandığı koyu renkli beynitin açık renkli martenzite ile çevrilmiş yapı( $\times 1500$ ). (ASM Handbook, Vol. 9 Metallography and Microstructure (1985), ASM International, Materials Park, OH 44073.)**



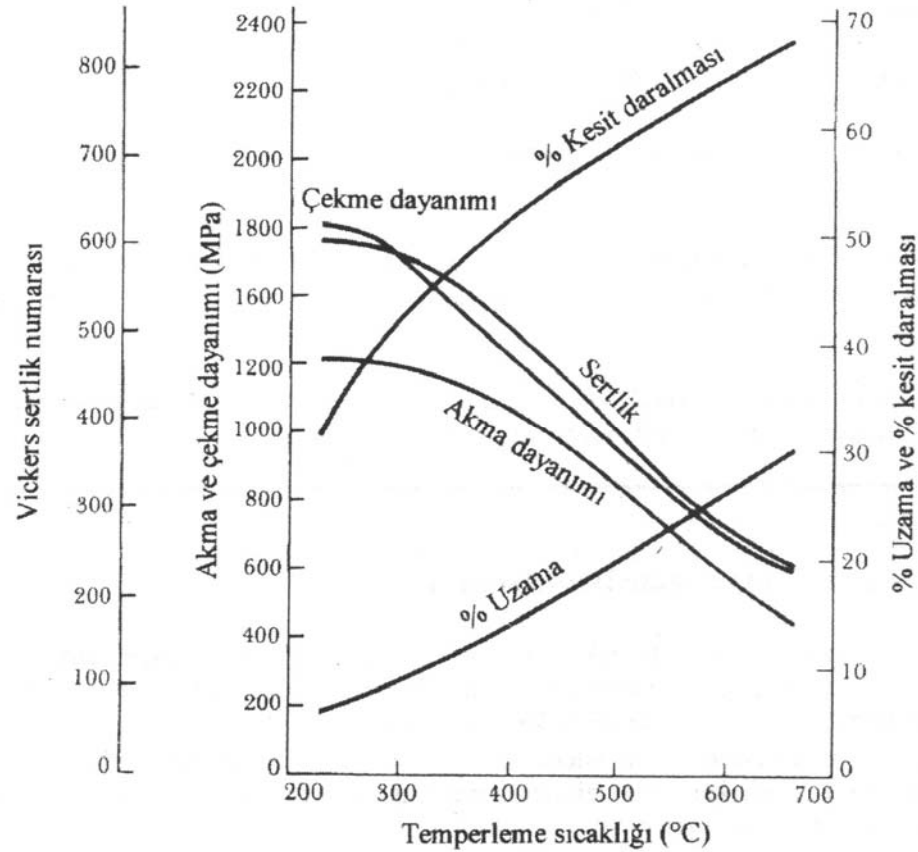
## Bölüm 12.4. Su verme ve Temper Isıl İşlemleri

- **Kalıntı östenit** – Soğutma sırasında hacimsel genişleme nedeniyle martenzite dönüşemeyen östenittir.
- **Temperlenmiş martenzit** – Martenzit temperlendiğinde ferrit ve sementit mikrouşumları oluşur.
- **Su verme çatlakları /soğutma çatlakları** – Östenitin martensite dönüşümü sırasında hacim değişiminden dolayı oluşan kalıntı çekme gerilmeleri nedeniyle çeliğin yüzeyinde oluşan çatlaklardır.
- **Marquenching** – Östeniti  $M_S$  e yakın üzerinde bir sıcaklığa getirip orada tüm çelik sıcaklığı eşitleninceye kadar daha fazla soğutup martenzit üretmeden bekletmektir.

## Su Verme ve Temperleme Isıl İşlemleri

- ❑ İlk olarak martensiti oluşturmak için su verilir, daha sonra da temperleme uygulanırsa  $Fe_3C$ 'nin daha da ince bir dağılım elde edilir.
- ❑ Su verme ve temperleme ısıl işlemi kontrol edilerek, çeliğin son özellikleri de kontrol edilebilir

# Temperleme Sıcaklığının Mekanik Özelliklere Etkisi



## Karbonun $M_s$ ve $M_f$ Sıcaklıklarına Etkisi

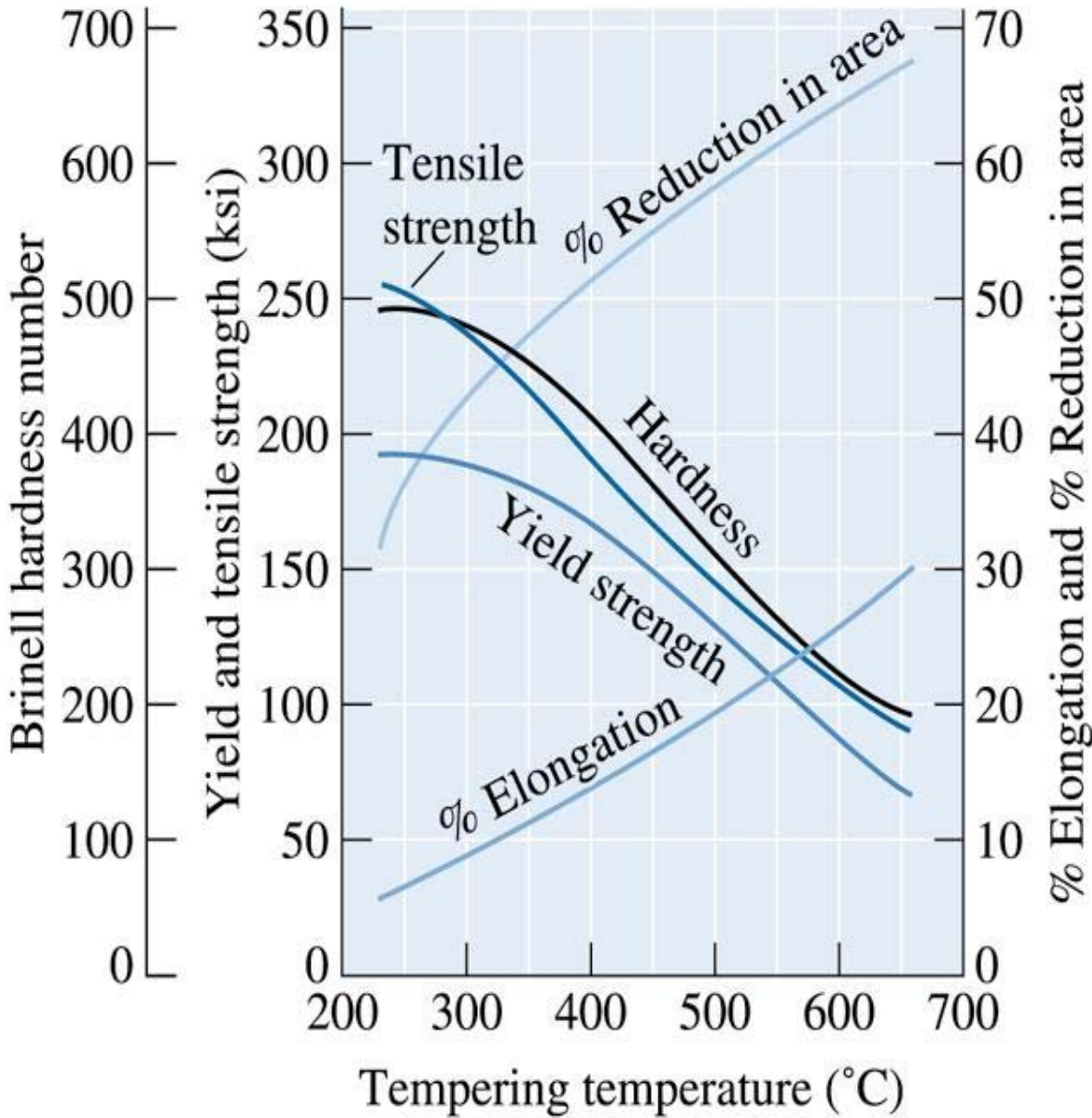
- ❑ Karbon içeriği yükseldiğinde  $M_s$  ve  $M_f$  sıcaklıkları düşer.
- ❑ Yüksek karbonlu çeliklerde tamamen martensitik yapı oluşturabilmek için sıfırın altındaki sıcaklıklara düşmek zorunludur.

# Kalıntı Östenit

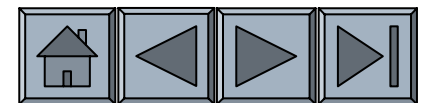
- ❑ Su verme sırasında martensit plakaları oluşurken martensit plakları küçük östenit havuzcuklarını kuşatarak izole eder.
- ❑ Östenitten martensite dönüşüm hacimce büyümeyi gerektirdiğinden, kalan östenitin dönüşmesi için kuşatan martensitin deforme edilmesi zorunludur. Fakat sağlam martensit dönüşüme direnç gösterir. Bu durumda mevcut martensit çatlak veya östenit dönüşmeden kalıntı östenit olarak yapıda kalır.

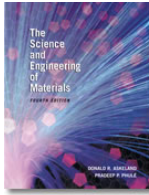
## Kalıntı Gerilmeler ve Çatlaklar

- ❑ Östenitten martensite dönüşüm sırasında hacim değişikliğinden dolayı kalıntı gerilmeler oluşur.
- ❑ Kalıntı gerilme yeterince yüksek ise, yüzeyde su verme çatlağı oluşur.



**1050 çeliğinin mekanik özelliklerine temperleme sıcaklığının etkisi.**



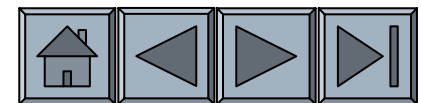


## Örnek 12.4. Soğutma ve Temperleme Prosesinin Tasarımı

Dönen şaft 1050 çelikten yapılan elektrik motorundan gücü alır ve sevk eder. Gerekli tokluğu sağlayabilmek için akma mukavemeti 145000 psi, uzaması % 15 olmalıdır. Bu parça için gerekli ısıl işlem prosesini tasarlayınız?

### ÇÖZÜM

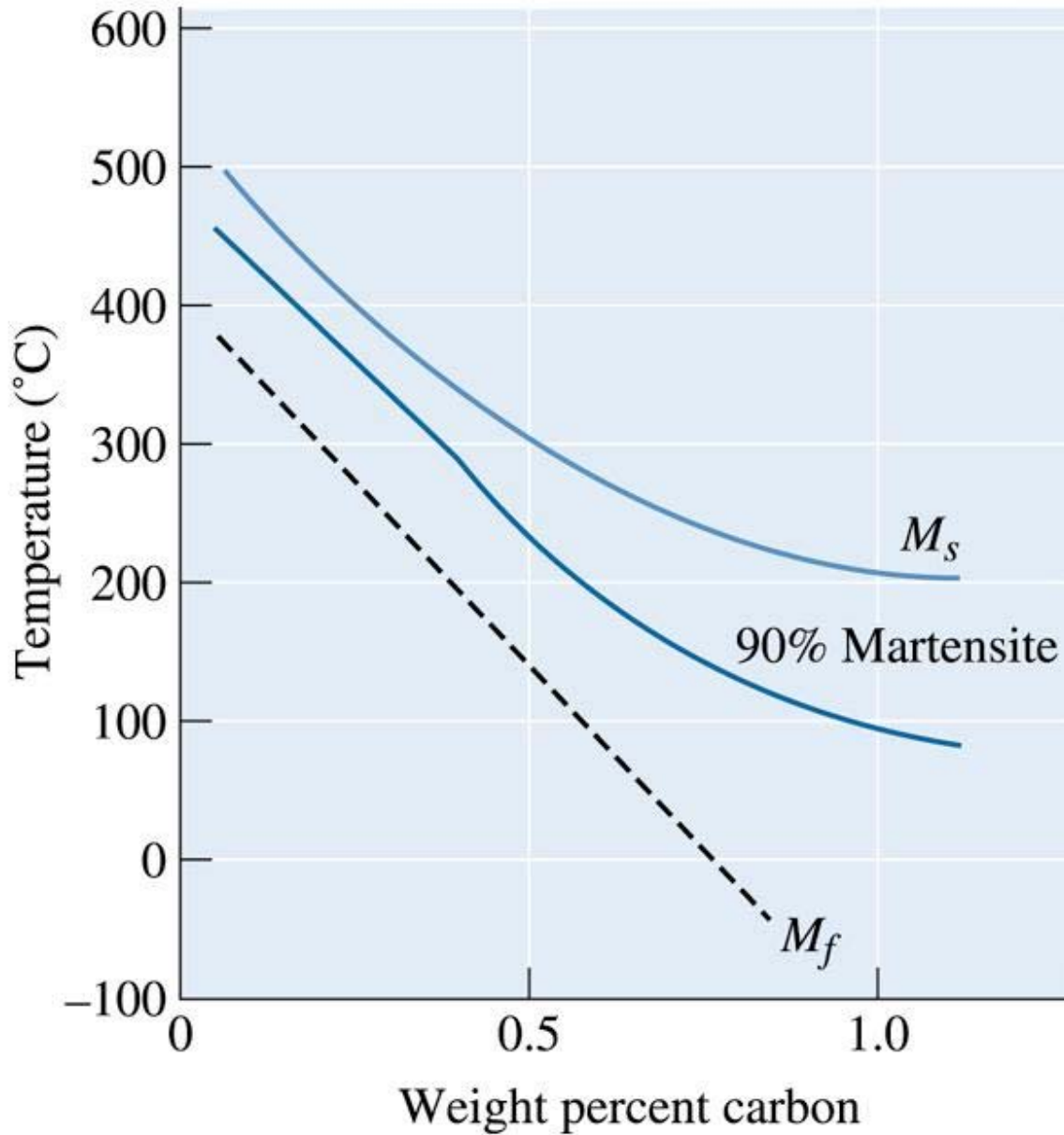
1.  $A_3$  sıcaklığının üzerinde  $770^{\circ}\text{C}$  de 1 saat östenit fazına al. Uygun sıcaklık:  $770 + 55 = 825^{\circ}\text{C}$ .
2. Hızlıca oda sıcaklığına su ver.  $M_f$   $250^{\circ}\text{C}$  olduğundan martenzit oluşacaktır.
3.  $440^{\circ}\text{C}$  ye ısıtarak temperle. Çelik çok kalın olmazsa 1 saat yeterli olacaktır.
4. Oda sıcaklığına soğut.



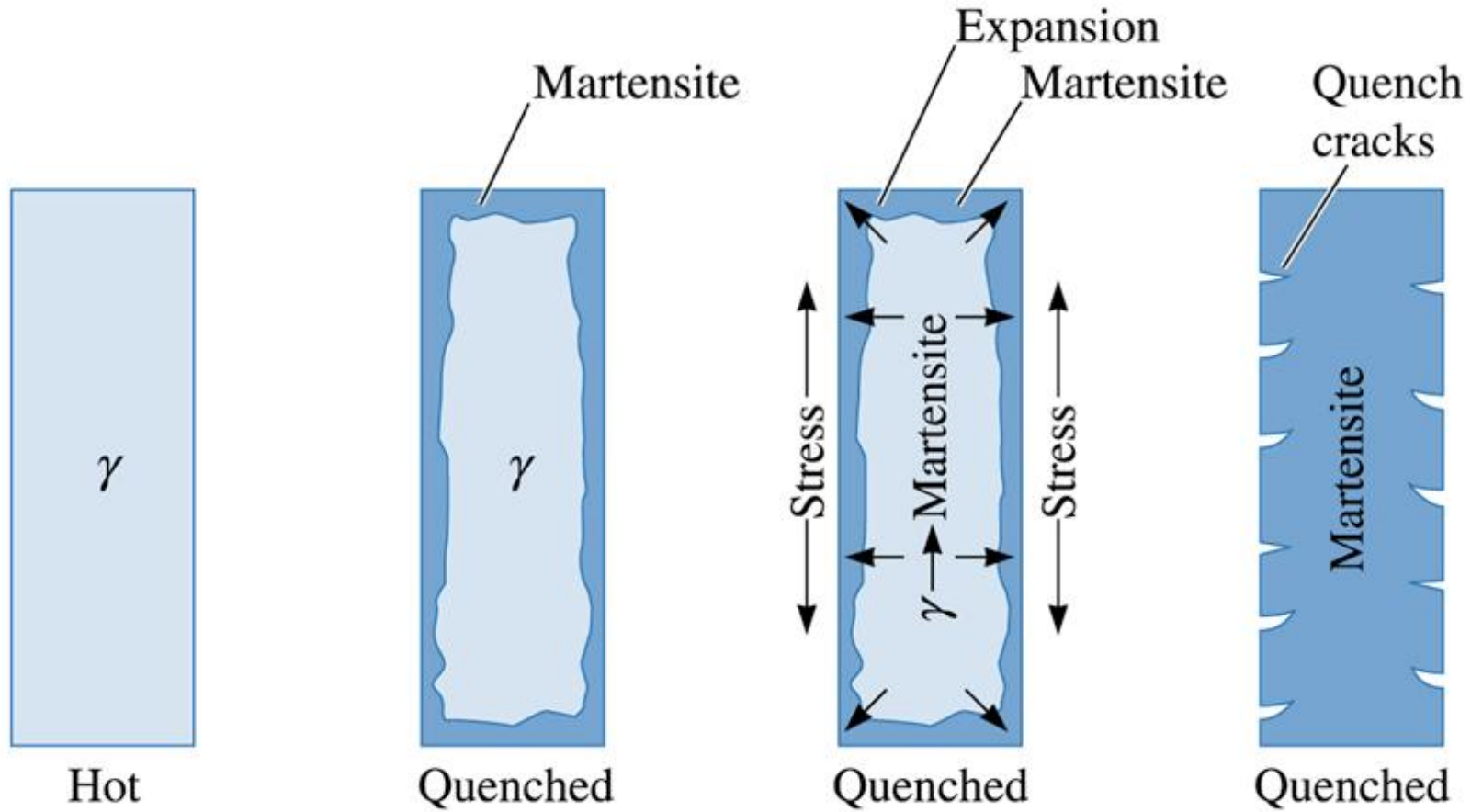




**Kalıntı östenit (white) martenzit iğneler arasına sıkışmıştır. (black) ( $\times 1000$ ). (From ASM Handbook, Vol. 8, (1973), ASM International, Materials Park, OH 44073.)**

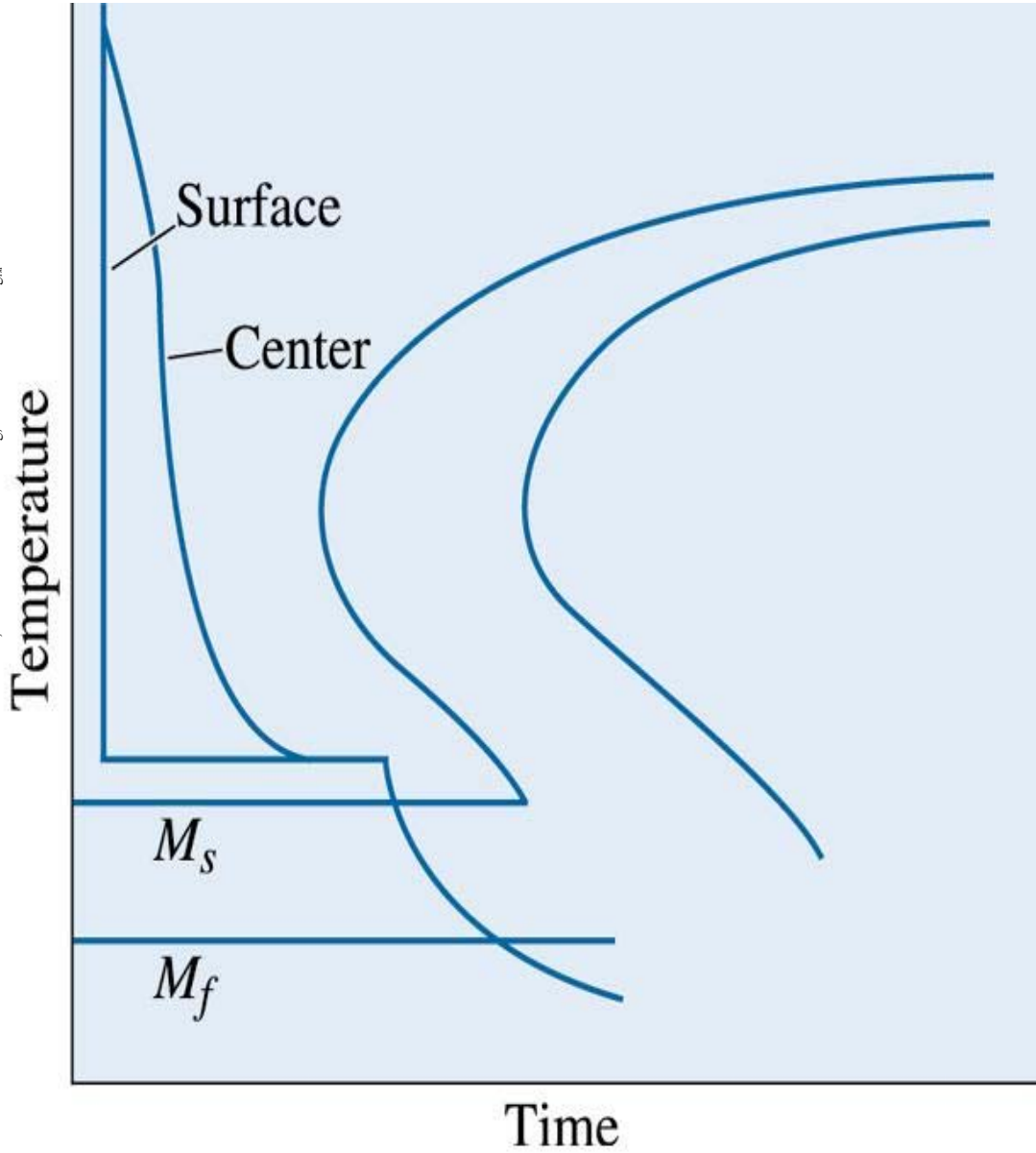


**Sade karbonlu  
çelikte karbon artışı  
 $M_s$  ve  $M_f$   
sıcaklıklarını  
düşürür.**

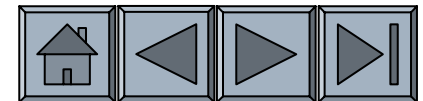


©2003 Brooks/Cole, a division of Thomson Learning, Inc. Thomson Learning, is a trademark used herein under license.

**Su verme aşamasında oluşan kalıntı gerilmelerin sebep olduğu çatlaklar. Şekilde soğuma sırasında östenitin martenzite dönüşmesi ile gelişen gerilimler.**



**Su verme çatlaklarını ve kalıntı gerilmeleri azaltmak için tasarlanmış marquenching ısıt işlemleri.**

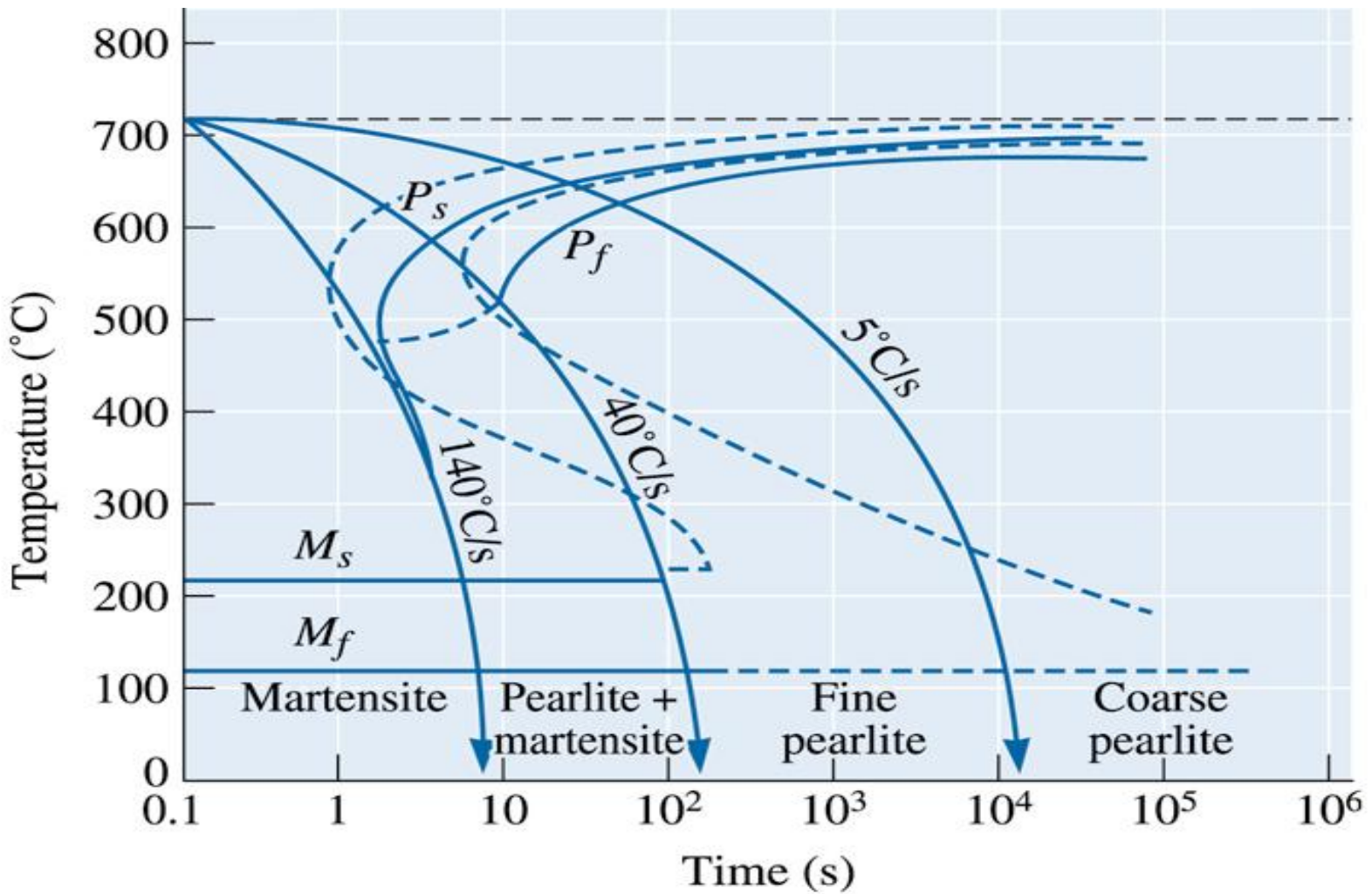


**TABLE 12-2** ■ *The H coefficient, or severity of the quench, for several quenching media*

Medium	H Coefficient	Cooling Rate at the Center of a 1-in. Bar (°C/s)
Oil (no agitation)	0.25	18
Oil (agitation)	1.0	45
H <sub>2</sub> O (no agitation)	1.0	45
H <sub>2</sub> O (agitation)	4.0	190
Brine (no agitation)	2.0	90
Brine (agitation)	5.0	230

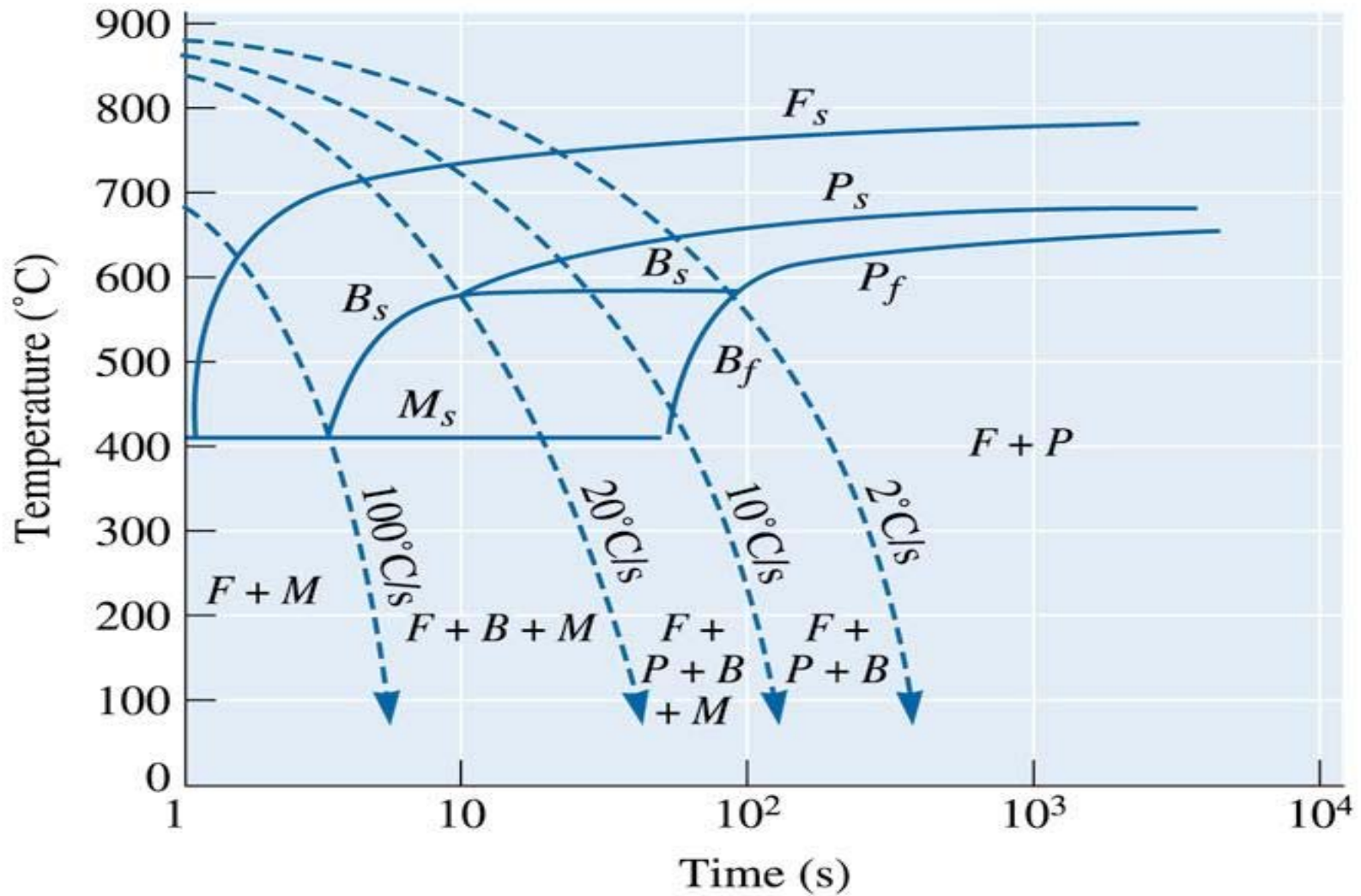
## Sürekli Soğuma Dönüşüm (CCT) Diyagramları

- ❑ Bir çelikte farklı soğutma hızlarında oluşturulan mikroyapılar belirlenerek sürekli soğuma dönüşüm CCT diyagramı ortaya çıkartılabilir.



©2003 Brooks/Cole, a division of Thomson Learning, Inc. Thomson Learning, is a trademark used herein under license.

**1080 çeliği için CCT diyagramları (kalın çizgiler) ve TTT diyagramları (kesikli çizgiler).**



©2003 Brooks/Cole, a division of Thomson Learning, Inc. Thomson Learning,™ is a trademark used herein under license.

## Düşük alaşımlı %0,2C lu çelik için CCT diyagramı.



## Bölüm 12.5. Alaşım Elementlerinin Etkisi

- **Sertleşebilirlik** – Alaşımli çelikler yüksek sertleşebilirlik özelliğine sahiptirler.
- **Faz kararlılığına etkisi** – Çeliğe alaşım elementi ilave edildiğinde ikili Fe-Fe<sub>3</sub>C kararlılığı etkilenir ve faz diyagramı değişebilir.
- **TTT Diyagramının şekli** - **Ausforming** östenitin A1 sıcaklığı altına plastik olarak deforme olması ve sonrasında beynit veya martenzite dönüşmesi ile oluşan termomekanik bir ısıl işlemdir.
- **Temperleme** – Sade karbonlu çelik karşılaştırıldığında alaşım elementleri temperleme hızını düşürür.

# Çeliklerde Alaşım Elementlerinin Amacı

## Alaşım elementlerinin çeliğe katılış amaçları;

- ❑ Ferritin katı eriyik mukavemetlenmesini sağlamak
- ❑  $Fe_3C$ 'den daha fazla alaşım karbür çökmesini sağlamak
- ❑ Çeliğin korozyon direncini ve diğer özelliklerini iyileştirmek
- ❑ Sertleşebilirliği iyileştirmek

## IT ve CCT Diyagramları Üzerine Alaşım Elementlerinin Etkisi

- ❑ Sade karbonlu çeliklerde izotermal dönüşüm IT ve CCT eğrilerinin burnu çok kısa zamanlarda oluşur.
- ❑ Bundan dolayı tamamen martensit oluşturmak için çok yüksek soğutma hızı gereklidir.

## Sertleşebilirlik

- ❑ Sertleşebilirlik, martensitin kolaylıkla oluşmasına işaret eder.
- ❑ Sade karbonlu çelikler düşük sertleşebilirliğe sahiptir.
- ❑ Alaşımli çelikler ise yüksek sertleşebilirliğe sahiptir.

## Faz Diyagramları Üzerine Etki

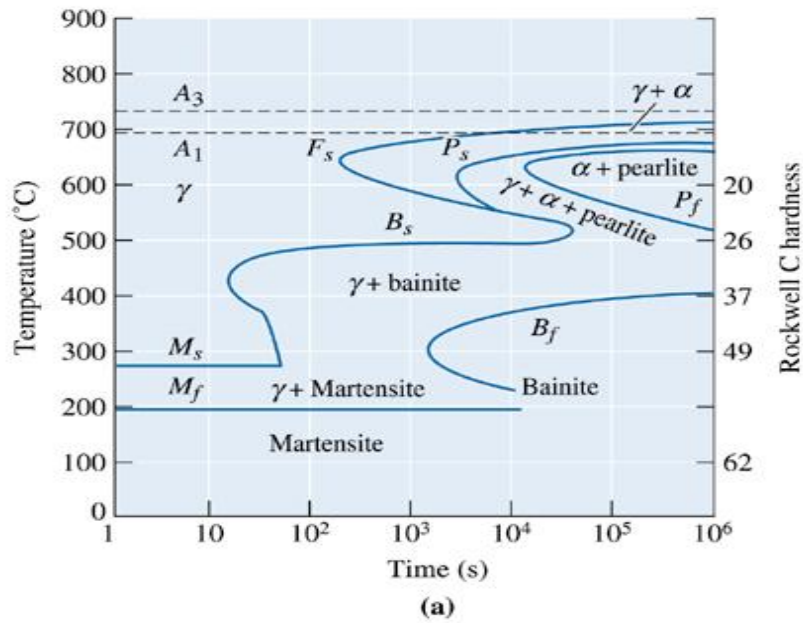
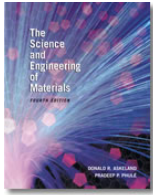
- ❑ Alaşım elementleri çeliğe katıldığında ikili Fe-Fe<sub>3</sub>C diyagramı değişir.
- ❑ İlk olarak alaşım elementleri ötektoid reaksiyonun olduğu karbon içeriğini düşürür. Bu nedenle %0.6 C içeren sade karbonlu çelik ötektoid altı iken %0.6 C-%2 Mo'li alaşımlı çelik ötektoid üstüdür.

## Martensit Başlangıç ( $M_s$ ) ve Bitiř Sıcaklıkları ( $M_f$ )

- ❑ Alaşım elementleri  $M_s$  ve  $M_f$  sıcaklıklarını dūřürür.
- ❑ Bu nedenle alaşımlı çelikler de martensit oluşturmak için normal sıcaklıklardan daha dūřük sıcaklıklara soğutma gerekebilir.

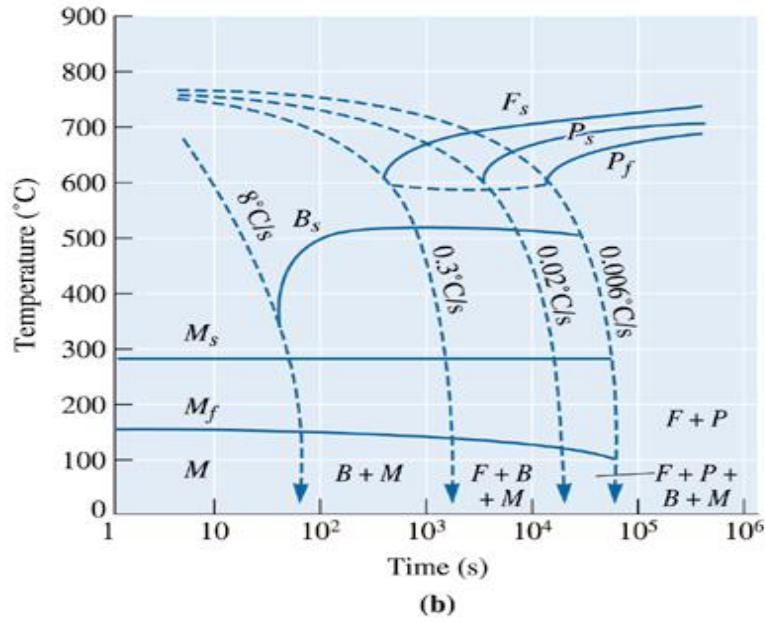
## Temperleme

- ❑ Alaşım elementleri, sade karbonlu çelikle karşılaştırıldığında temperleme hızını dūřurebilir.
- ❑ Bu etki alaşımlı çeliklerin sade karbonlu çeliklerden daha yūksek sıcaklıklarda başarılı bir Őekilde kullanılması imkanını sağlar.

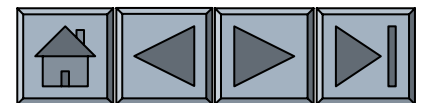


(a)

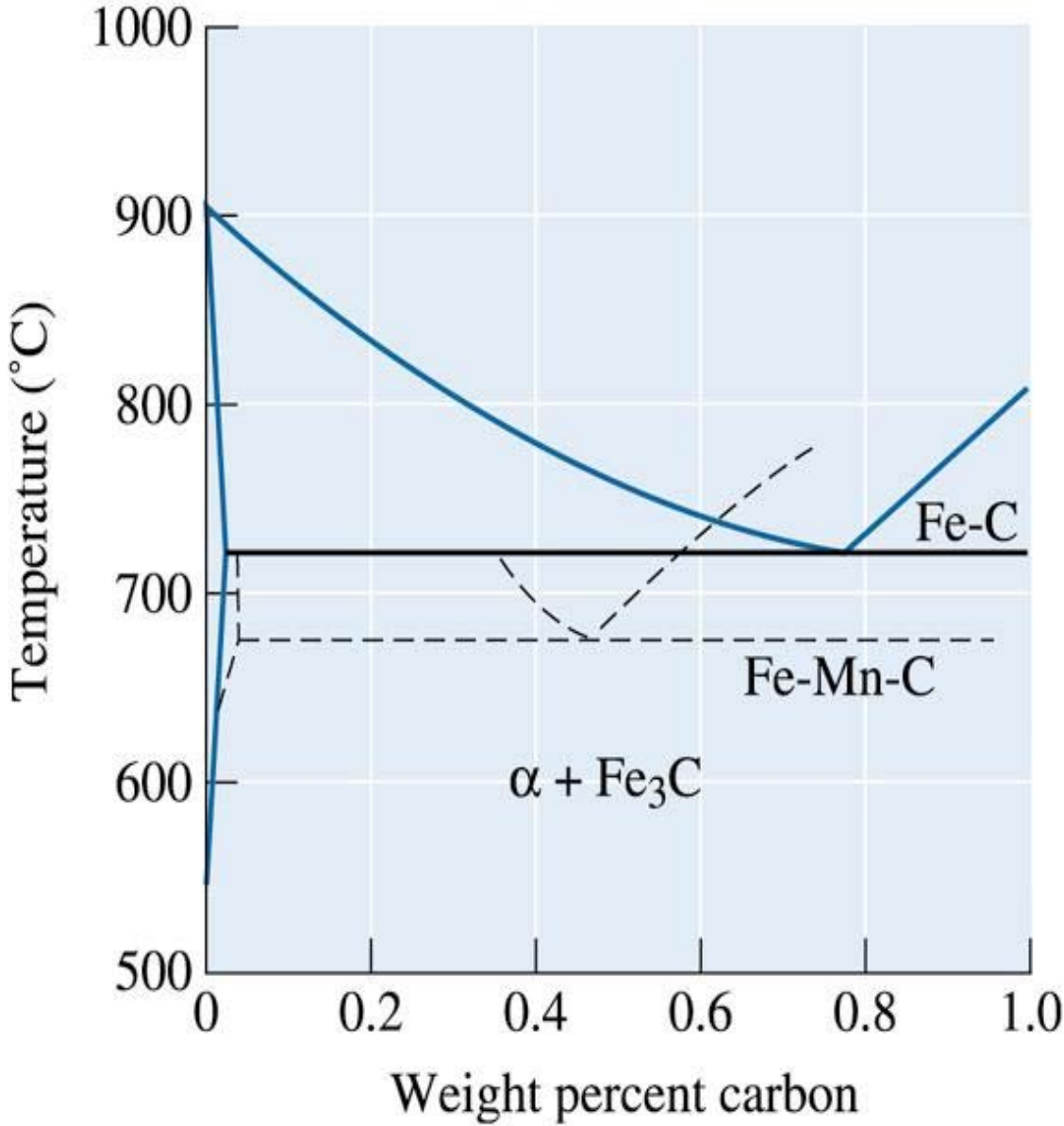
**4340 çeliğinde (a) TTT ve (b) CCT eğrileri.**



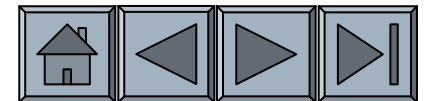
(b)

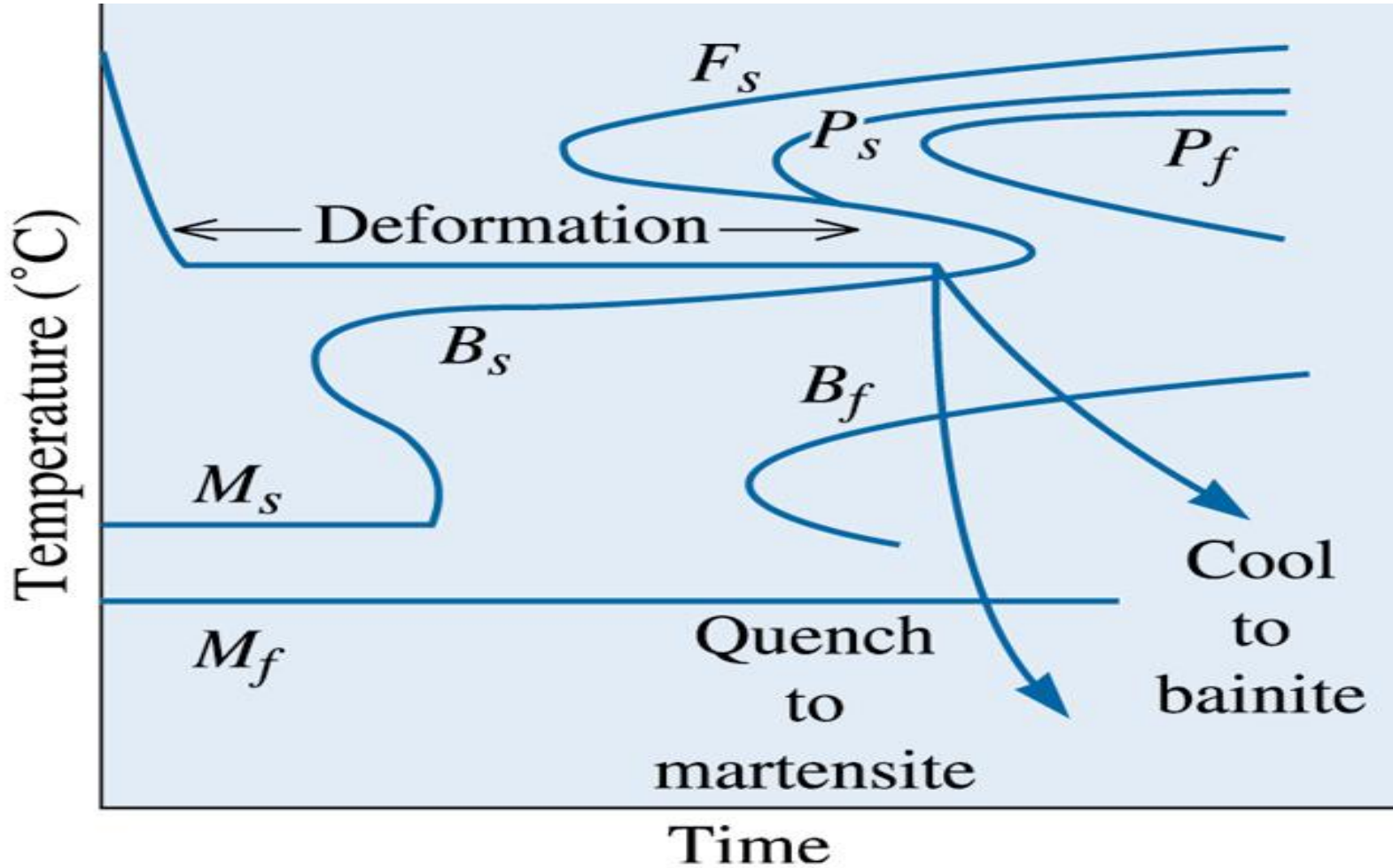






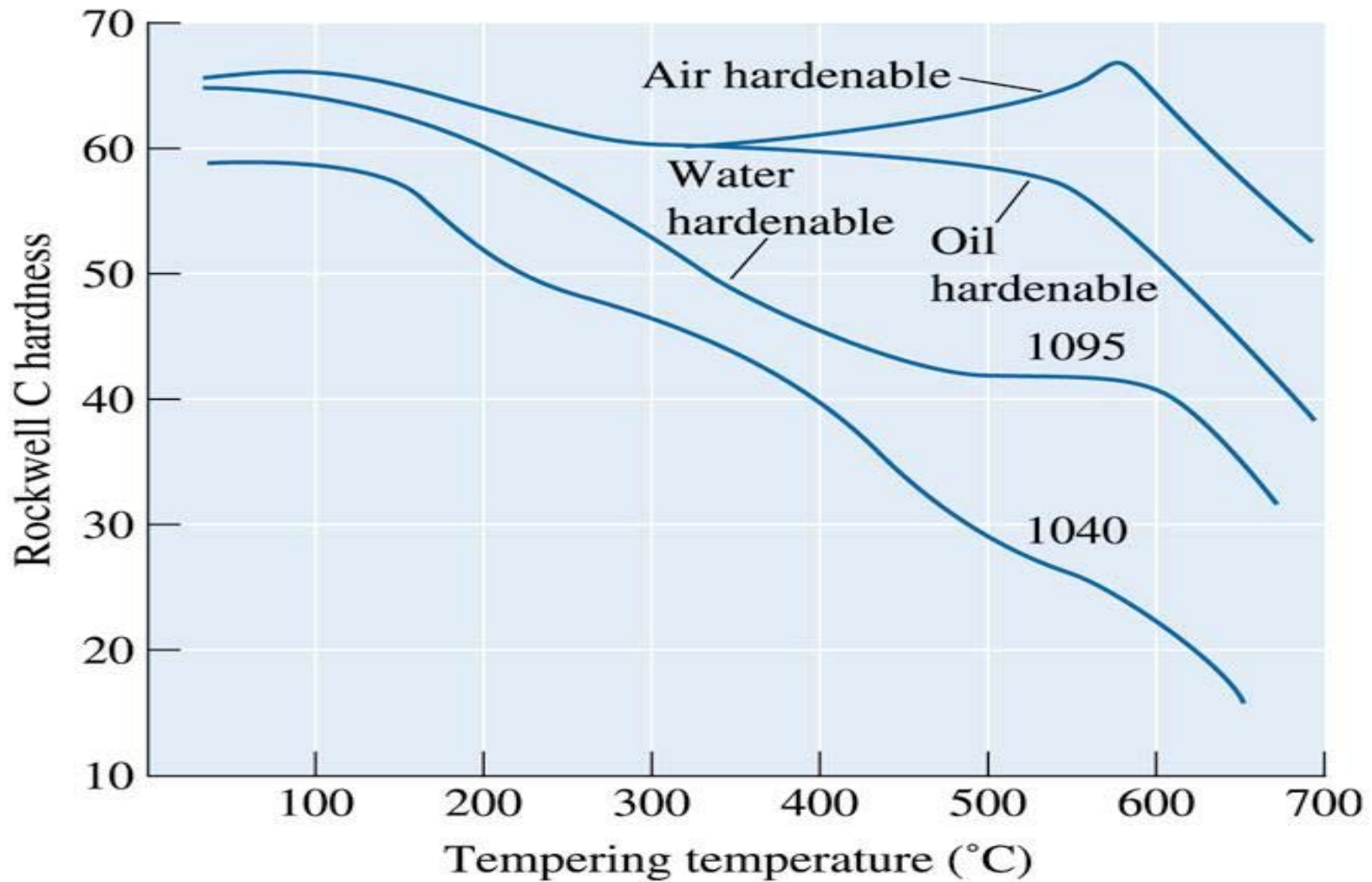
**Fe-Fe<sub>3</sub>C faz diyagramının ötektoid kısmında fazların kararlılığı üzerine %6Mn'nin etkisi.**





©2003 Brooks/Cole, a division of Thomson Learning, Inc. Thomson Learning<sub>™</sub> is a trademark used herein under license.

**Alaşım elementleri burun kısmını TTT diyagramı içerisine ilerlettiğinde çelik ausform olur.**

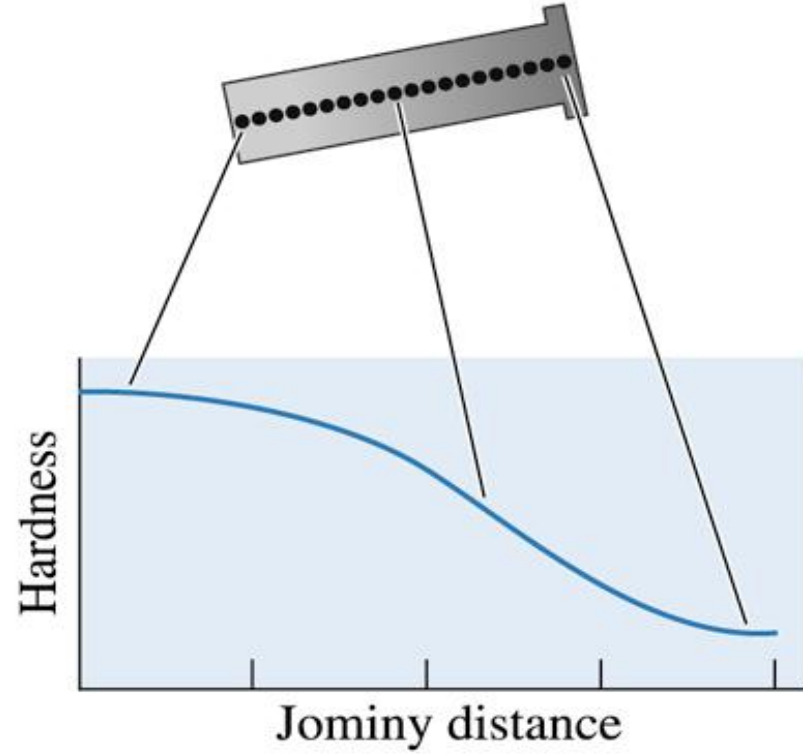
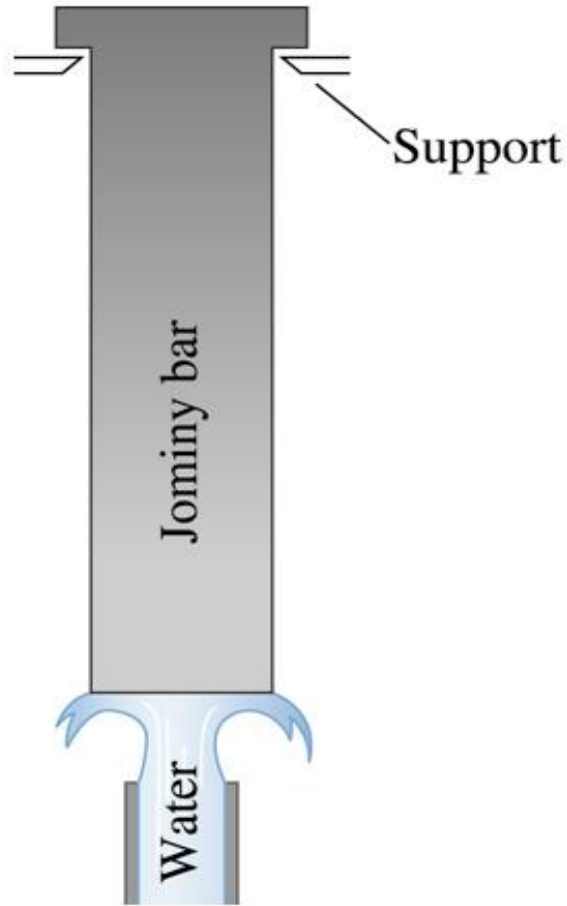


©2003 Brooks/Cole, a division of Thomson Learning, Inc. Thomson Learning<sup>™</sup> is a trademark used herein under license.

**Çeliklerin temperlenmesi sırasında alaşım elementlerinin oluşan fazlar üzerine etkileri. Havada sertleşen çelikler ikinci sertleşme pikleri gösterirler.**

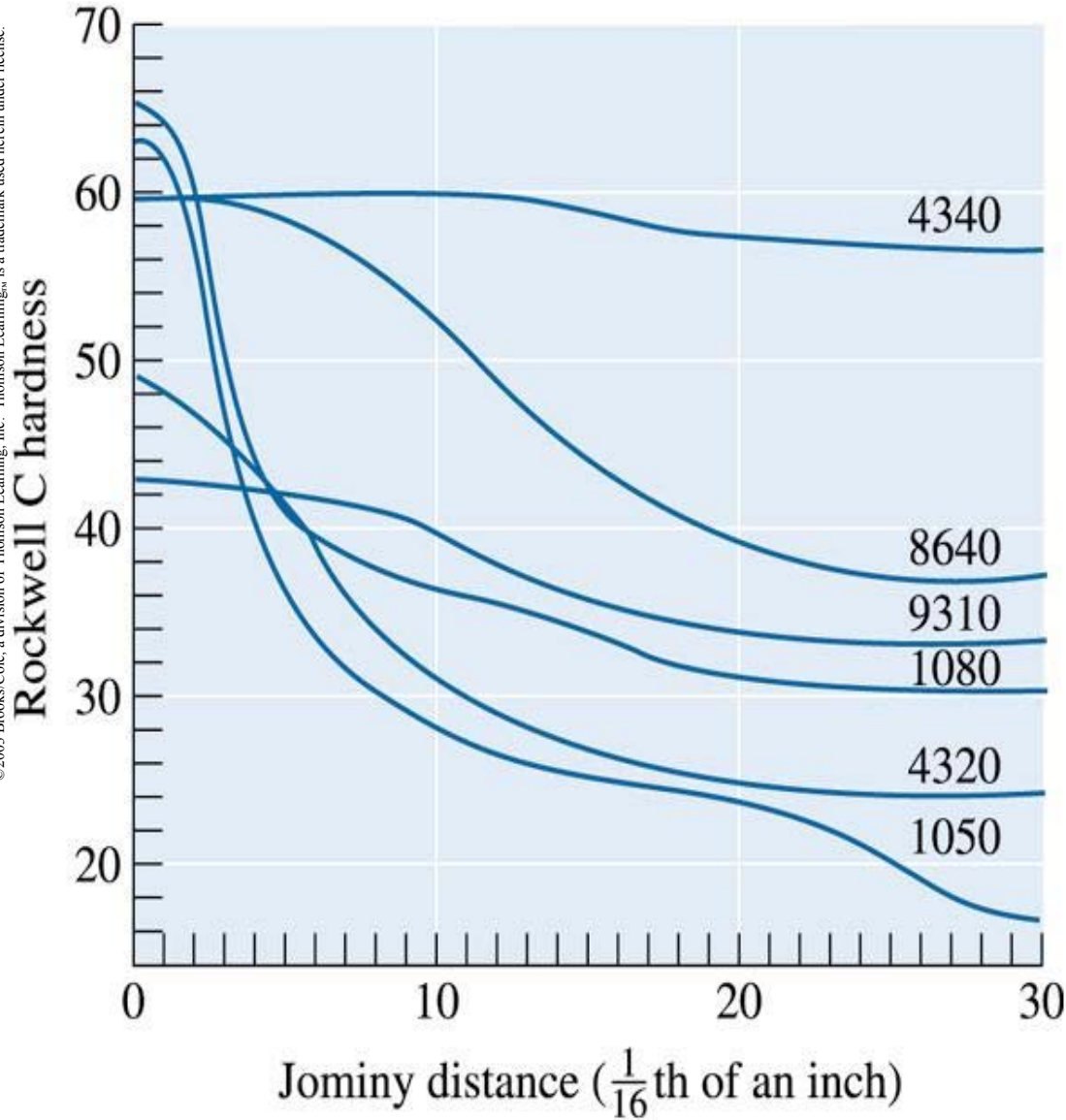
## Bölüm 12.6. Sertleşebilirlik Uygulamaları

- **Jominy test** – Sertleşebilirliği değerlendirmek için kullanılan testtir. Östenit fazına alınmış çelik çubuk sadece bir tarafından su verilerek çelik çubuk boyunca soğuma hızlarının farklı olduğu aralıklar ortaya çıkarılır. Doğru soğuma hızına karar verebilmek zordur. Bu yüzden Jominy testi CCT diyagramlarının yerine çeliklerin sertleşebilirliklerini belirlemek için kullanılır.
- **Sertleştirilebilirlik eğrileri**- Su verilmiş çeliğin sertliği üzerine soğuma hızlarının etkisini gösteren grafikdir.
- **Jominy mesafesi** – Jominy çubuğun su verilmiş ucundan uzaklıktır. Bu uzaklık soğuma hızı ile ilişkilidir.



©2003 Brooks/Cole, a division of Thomson Learning, Inc. Thomson Learning,™ is a trademark used herein under license.

**Çeliğin sertleşebilirliğini belirlemek için kullanılan Jominy test düzeneği.**

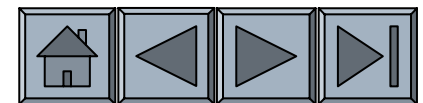


**Değişik çelikler için sertleşebilirlik eğrileri.**



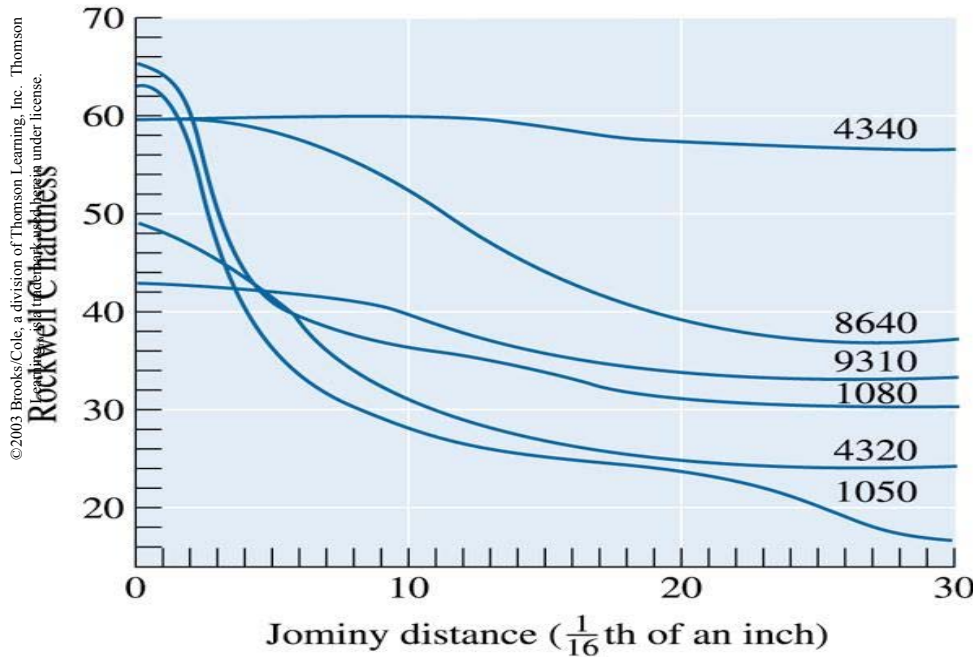
**TABLE 12-3** ■ *The relationship between cooling rate and Jominy distance*

Jominy Distance (in.)	Cooling Rate (°C/s)
$\frac{1}{16}$	315
$\frac{2}{16}$	110
$\frac{3}{16}$	50
$\frac{4}{16}$	36
$\frac{5}{16}$	28
$\frac{6}{16}$	22
$\frac{7}{16}$	17
$\frac{8}{16}$	15
$\frac{10}{16}$	10
$\frac{12}{16}$	8
$\frac{16}{16}$	5
$\frac{20}{16}$	3
$\frac{24}{16}$	2.8
$\frac{28}{16}$	2.5
$\frac{36}{16}$	2.2



## Örnek 12.5. Aşınma Dayanımlı Dişli Tasarımı

9310 çeliğinden imal edilmiş bir dişliniz var ve kritik bölgelerindeki sertliği HRC 40. Bu bölgelerde dişli oldukça çabuk aşınmaktadır. Testler su verilmiş çelikte kritik bölgelerde sertlik HRC 50 olduğunda aşınmanın minimum düzeyde olduğunu göstermiştir. Uygun çeliği tasarlayınız?



**Değişik çeliklerin sertleştirilebilirlik eğrileri.**



**TABLE 12-1 ■ Compositions of selected AISI-SAE steels**

<b>AISI-SAE Number</b>	<b>% C</b>	<b>% Mn</b>	<b>% Si</b>	<b>% Ni</b>	<b>% Cr</b>	<b>Others</b>
1020	0.18–0.23	0.30–0.60				
1040	0.37–0.44	0.60–0.90				
1060	0.55–0.65	0.60–0.90				
1080	0.75–0.88	0.60–0.90				
1095	0.90–1.03	0.30–0.50				
1140	0.37–0.44	0.70–1.00				0.08–0.13% S
4140	0.38–0.43	0.75–1.00	0.15–0.30		0.80–1.10	0.15–0.25% Mo
4340	0.38–0.43	0.60–0.80	0.15–0.30	1.65–2.00	0.70–0.90	0.20–0.300% Mo
4620	0.17–0.22	0.45–0.65	0.15–0.30	1.65–2.00		0.20–0.30% Mo
52100	0.98–1.10	0.25–0.45	0.15–0.30		1.30–1.60	
8620	0.18–0.23	0.70–0.90	0.15–0.30	0.40–0.70	0.40–0.60	0.15–0.25% Y
9260	0.56–0.64	0.75–1.00	1.80–2.20			

## ÇÖZÜM

Önceki Şekilden , 9310 çeliğinin HRC 40 sertliği 10/16 in. (10°C/s) denk gelmektedir. Aynı mesafeyi korursak diğer çeliklerde kritik lokasyonda aşağıdaki sertlikleri vermektedir:

1050 HRC 28

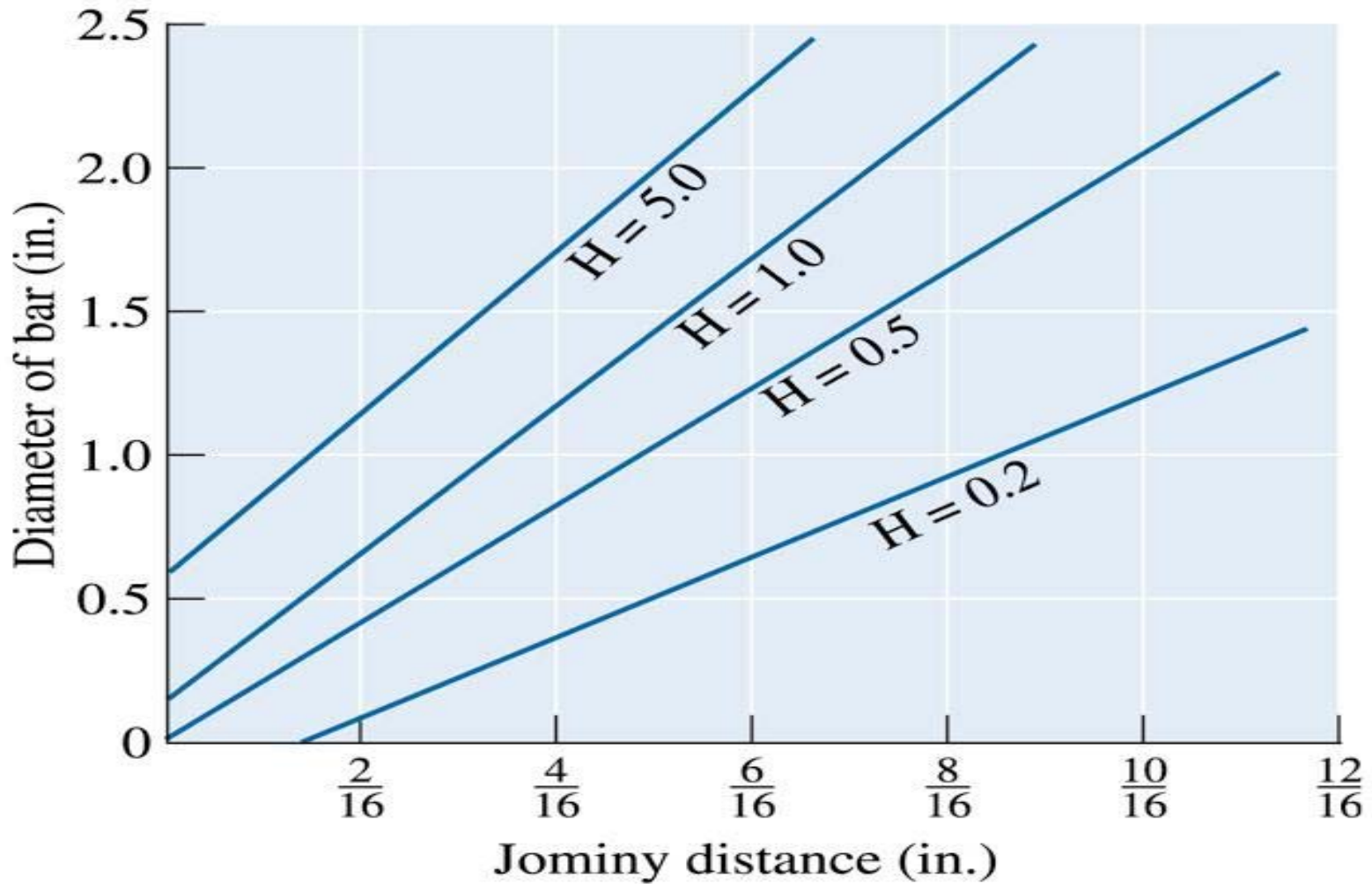
1080 HRC 36

4320 HRC 31

8640 HRC 52

4340 HRC 60

Önceki Tablodan 86xx çeliğinin 43xx çeliğinden daha az alaşım elementi içerdiği görülmektedir. Bu daha ucuz olacağına göstergesidir. Bu yüzden 8640 çeliği en iyi çözüm olacaktır.



©2003 Brooks/Cole, a division of Thomson Learning, Inc. Thomson Learning<sup>®</sup> is a trademark used herein under license.

**Grossman grafiği, değişik su verme ortamlarında elik çubuğun merkezinde sertleşebilirliği belirleyen grafikdir.**

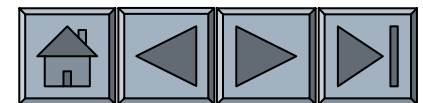


## Örnek 12.6. Su verme prosesinin tasarımı

1,5 in. 4320 çelik çubuğun merkezinde minimum sertliğin HRC 40 olduğu su verme prosesini tasarlayınız?.

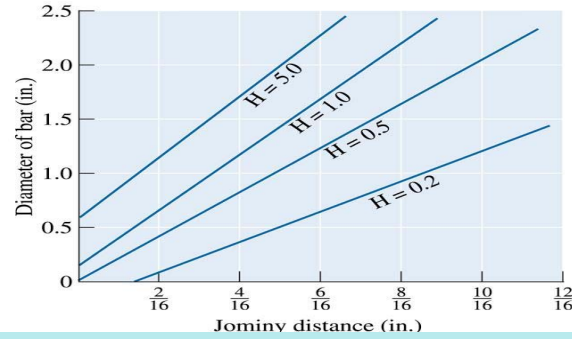
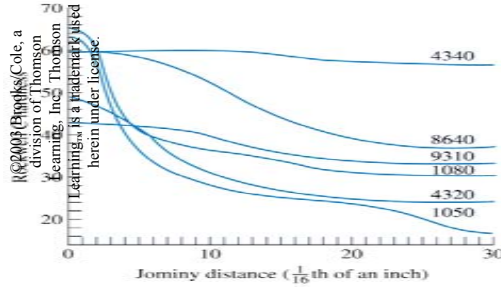
**TABLE 12-2** ■ *The H coefficient, or severity of the quench, for several quenching media*

Medium	H Coefficient	Cooling Rate at the Center of a 1-in. Bar (°C/s)
Oil (no agitation)	0.25	18
Oil (agitation)	1.0	45
H <sub>2</sub> O (no agitation)	1.0	45
H <sub>2</sub> O (agitation)	4.0	190
Brine (no agitation)	2.0	90
Brine (agitation)	5.0	230



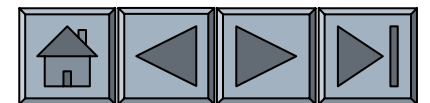
# ÇÖZÜM

Tabloda değişik su verme ortamları sıralanmıştır. Her bir su verme ortamı ile ilgili uygun H katsayısını bulabiliriz ve sonrasında Jominy mesafelerini gösteren grafiği kullanarak 1,5 in. için Jominy mesafesini tahmin edebiliriz. Son olarak sertleştirilebilirlik eğrisini kullanarak 4320 çeliğindeki sertliğe ulaşabiliriz.



	H Coefficient	Jominy Distance	HRC
Oil (no agitation)	0.25	11/16	30
Oil (agitation)	1.00	6/16	39
H <sub>2</sub> O (no agitation)	1.00	6/16	39
H <sub>2</sub> O (agitation)	4.00	4/16	44
Brine (no agitation)	2.00	5/16	42
Brine (agitation)	5.00	3/16	46

En son üç metod oldukça uygun. Ajite edilmemiş brine diğerine göre daha ucuz ama su da brine'dan daha az koroziftir.

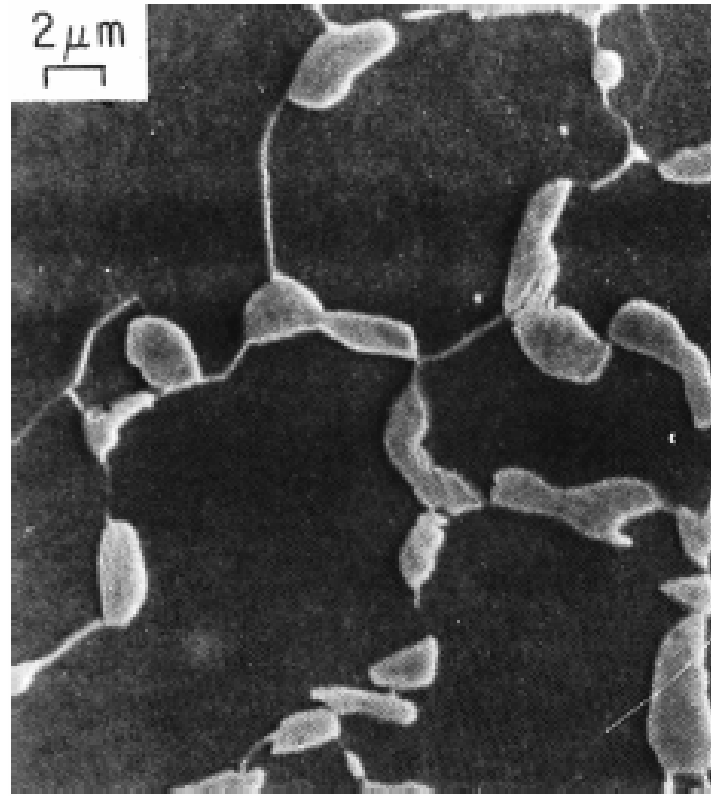


## Bölüm 12.7. Özel Çelikler

- **Takım çelikleri** – Yüksek sertlik, tokluk ve yüksek sıcaklık direncine sahip yüksek karbonlu çelikleridir.
  - Takım çeliklerinin pek çoğu su verme ve temper ısı işlemi ile yüksek sertlik elde edilebilen yüksek karbonlu çeliklerdir.
  - Kullanım alanları, talaş kaldırma işlemleri için kesme takımlarını, döküm kalıplarını, şekillendirme kalıplarını ve yüksek dayanım, sertlik, tokluk veya yüksek sıcaklık direnci gibi özellik kombinasyonları gerektiren diğer uygulamaları içerir.
- **İkinci sertleştirme piki** – Temperlenmiş çeliklerde alaşım karbürler çökelmeleri nedeniyle yüksek sıcaklıklarda beklenmeyen yüksek sertlik değerleridir.

## Bölüm 12.7. Özel Çelikler

- **Çift fazlı çelikler** – Ferrit matris içinde martensit dağılmasını sağlayacak şekilde işlem görmüş özel çeliklerdir.
- **Maryaşlandırma(maraging) çelikleri** – Martenzit ve yaşlanma reaksiyonları ile yüksek mukavemet kazanan özel grup alaşımlı çeliklerdir.
  - Yüksek dayanımlı-az alaşımlı çelikler ve maryaşlandırma çelikleri olmak üzere pek çok özel
  - sınıf çelik bulunmaktadır.



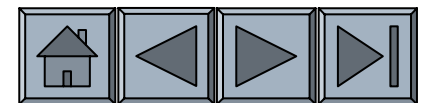
**Ferrit matris içinde martenzit adacıklarının görüldüğü çift fazlı çelik mikroyapısı ( $\times 2500$ ). (From G. Speich, "Physical Metallurgy of Dual-Phase Steels," Fundamentals of Dual-Phase Steels, The Metallurgical Society of AIME, 1981.)**



## Bölüm 12.8. Yüzey İşlemleri



- **Seçilmiş Yüzey Isıtma** – Orta karbonlu çeliğin yüzeyini hızlıca  $A_3$  sıcaklığı üzerine ısıtarak daha sonra su verilmesidir.
- **Derinlik** – Yüzey sertleştirme ve karbürleme prosesleri ile çeliğin sertleşmiş yüzey derinliğidir.
- **Karbürleme** – Çeliğin içine karbon difüzyonu ile ilgili yüzey sertleştirme teknikleridir.
- **Siyanatlama** – Sıvı siyanad solüsyonundan elde edilen karbon ve nitrür ile çeliğin yüzeyinin sertleştirilmesidir.
- **Karbonitrürleme** – Özel gaz atmosferinden elde edilen karbon ve nitrojen ile çeliklerin yüzeylerinin sertleştirilmesidir.

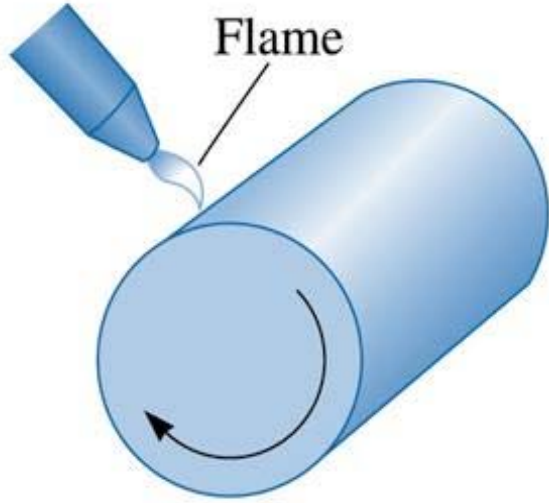


## Yüzey Sertleştirme İşlemleri

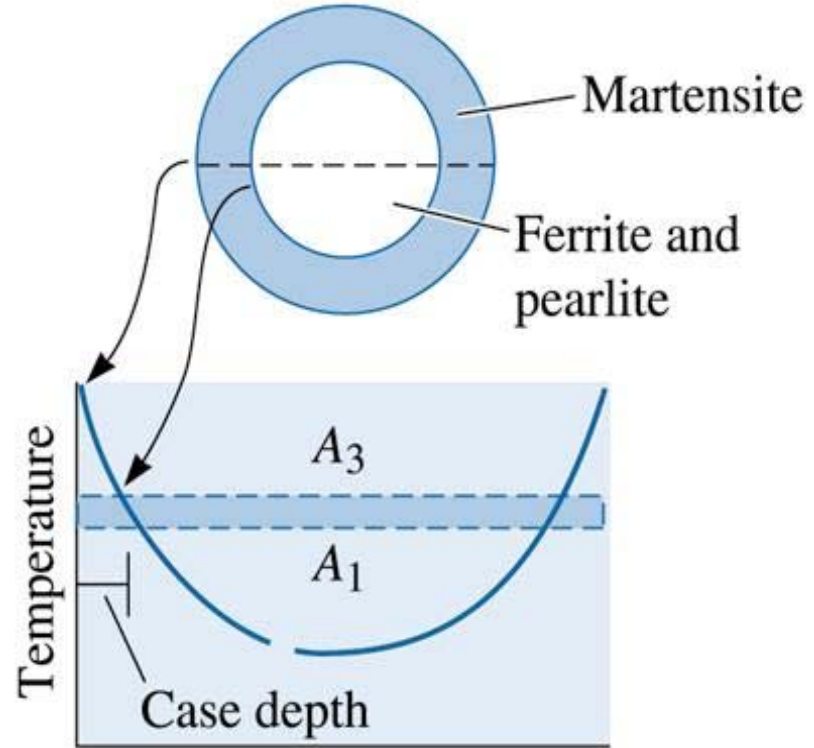
- ❑ Az karbonlu çeliklerin dayanım ve sertliği düşüktür, fakat süneklik ve toklukları iyidir.
- ❑ Yüksek karbonlu çelikler ise zıt davranış gösterir.

## Karbürleme ve Nitrürleme

- ❑ Daha iyi tokluk elde etmek ve iyi bir sertleşebilirlik için, alaşım elementlerini içeren düşük karbonlu çelikle başlanır.
- ❑ Karbürize edilmiş çeliklerde sertleştirme yüzey derinliği alevle veya indüksiyonla sertleştirilmiş çeliklerden daha azdır.



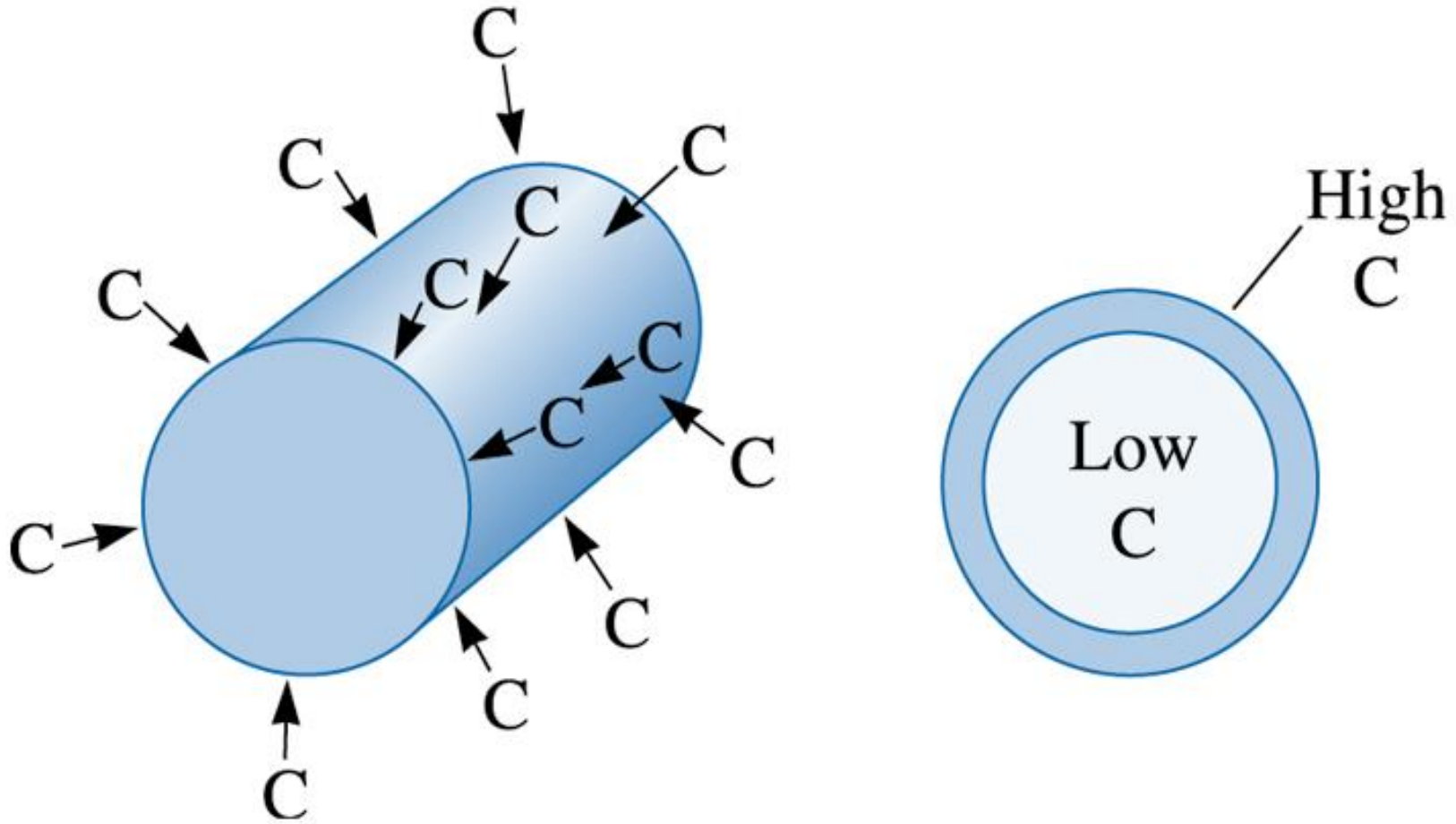
(a)



(b)

©2003 Brooks/Cole, a division of Thomson Learning, Inc. Thomson Learning, Inc. is a trademark used herein under license.

**(a) Lokalize ısıtma ile yüzey sertleştirme. (b) Sadece yüzey  $A_1$  sıcaklığı üstüne çıkarılır ve su verilerek martenzite dönüştürülür.**

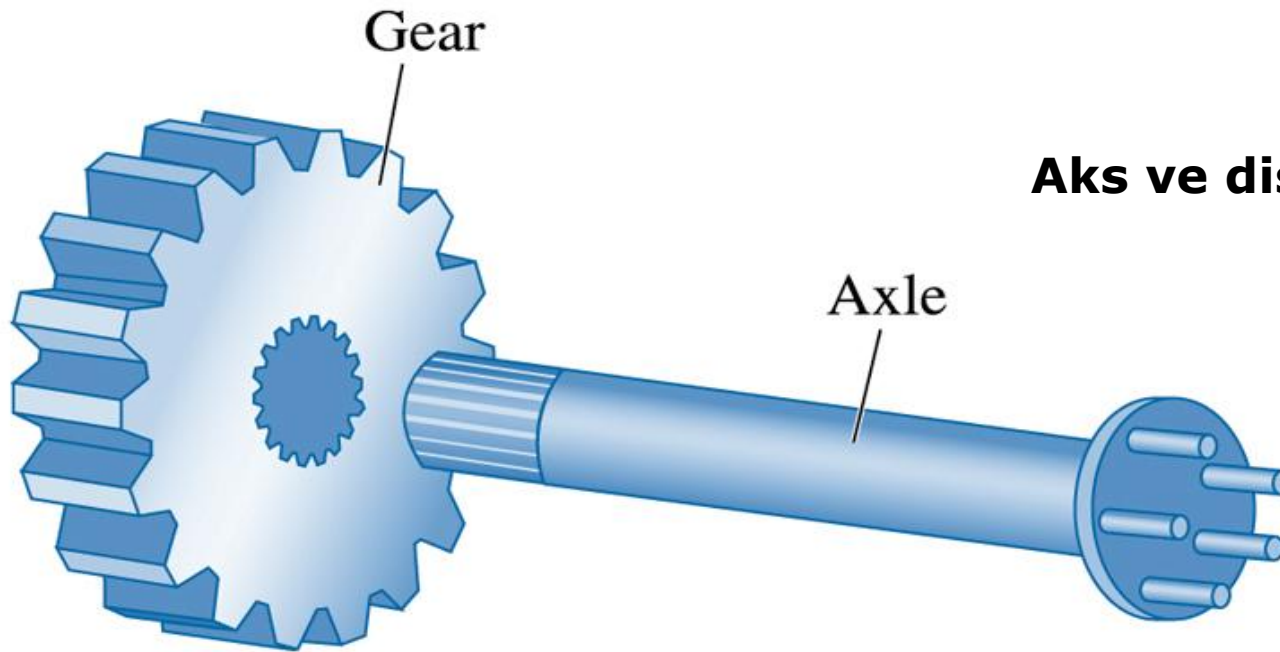


©2003 Brooks/Cole, a division of Thomson Learning, Inc. Thomson Learning<sup>sm</sup> is a trademark used herein under license.

**Düşük karbonlu çeliğin yüksek karbonlu aşınma direncini yükseltmek için karbürlenmesi.**

# Yüzey Sertleştirme Proses Tasarımı

Otomobil aksı ve yürütücü aksamı için malzeme seçimi yapıp gerekli ısıl işlemleri tasarlayınız?



**Aks ve dişli grubu.**

©2003 Brooks/Cole, a division of Thomson Learning, Inc. Thomson Learning, is a trademark used herein under license.

## ÇÖZÜM

Aks dövme 1050 çeliğinden üretilir. Bu çelik yapısında ferrit ve perlit fazını bulundurur. Aks yüzey sertleştirmesi bir bobin içinden geçirilerek ve geçerken de sıcaklığı  $A_3$  üzerine çıkararak yapılabilir (yaklaşık  $770^{\circ}\text{C}$ ). Bundan sonra soğuk olan iç kısım üst kısmı da soğutacak ve martensite dönüştürecektir. Martensit oluşumundan sonra yapılacak temperleme sünekliği artıracaktır.

Dişli için 1010 çeliği karbürlenir.  $A_3$  sıcaklığı üstünde (yaklaşık  $860^{\circ}\text{C}$ ) de gaz karbürleme ile yaklaşık %1 C sadece dişlilerin yüzeyine gelecek şekilde verilir. Soğutulup sonrada temperlenirse istenen sertliğe ulaşılabilir.

## Bölüm 12.9 Çeliklerin Kaynaklanabilirliği

- ❑ Kaynak esnasında kaynağa çok yakın metal A1 sıcaklığının üzerine ısınır ve östenit oluşur.
- ❑ Soğuma esnasında bu ısıdan etkilenmiş bölgedeki östenit, çelik için CCT diyagramına ve soğuma hızına bağımlı olarak yeni bir yapıya dönüşür.







## Örnek 12.8. Isıdan Etkilenmiş Bölgenin Yapısı

1080 ve 4340 çeliklerin ısıdan etkilenmiş bölgelerinde soğuma hızlarının  $5^{\circ}\text{C}/\text{s}$  olduğunu varsayarak yapılarını karşılatırınız.

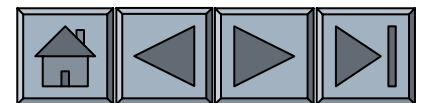
### ÇÖZÜM

Soğuma hızına bağlı yapılar:

1080: 100% perlit

4340: beynit ve martenzit

Yüksek sertleşebilirlik kaynaklanabilirliği martenzit kırılğan kaynak oluşturacağından düşürmektedir.



## Bölüm 12.10. Paslanmaz Çelikler

- **Paslanmaz Çelikler** - %11 Cr içeren ve olağan üstü korozyon direnci sağlayan bir grup demir alaşımıdır.
- **Paslanmaz Çelik Kategorileri:**
  - Ferritik Paslanmaz Çelikler
  - Martenzitik Paslanmaz Çelikler
  - Östenitik Paslanmaz Çelikler
  - Çökelme Sertleşmesi (PH) Paslanmaz Çelikler
  - Çift fazlı (dubleks) Paslanmaz Çelikler

## Ferritik Paslanmaz Çelikler

- ❑ Ferritik paslanmaz çelikler %30 kadar krom ve %12'den az karbon içerir.
- ❑ Ferritik paslanmaz çelikler, HMK yapılı olmalarından dolayı, katı eriyik mukavemetlenmesi ve şekillendirilirken pekleşmeden meydana gelen iyi dayanım ve orta seviyede sünekliğe sahiptir.

## Martensitik Paslanmaz Çelikler

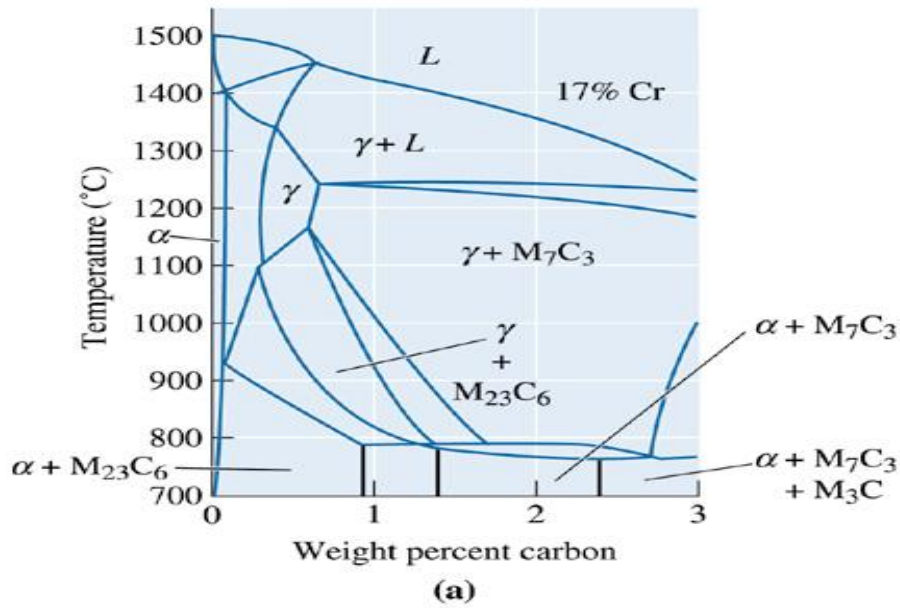
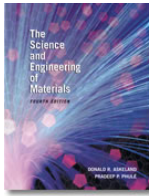
□ Düşük krom içeriği farklı sertlikte karbon içeriği %0.1'den %0.1'e kadar değişen martensitlerin oluşmasını sağlar.

## Östenitik Paslanmaz Çelikler

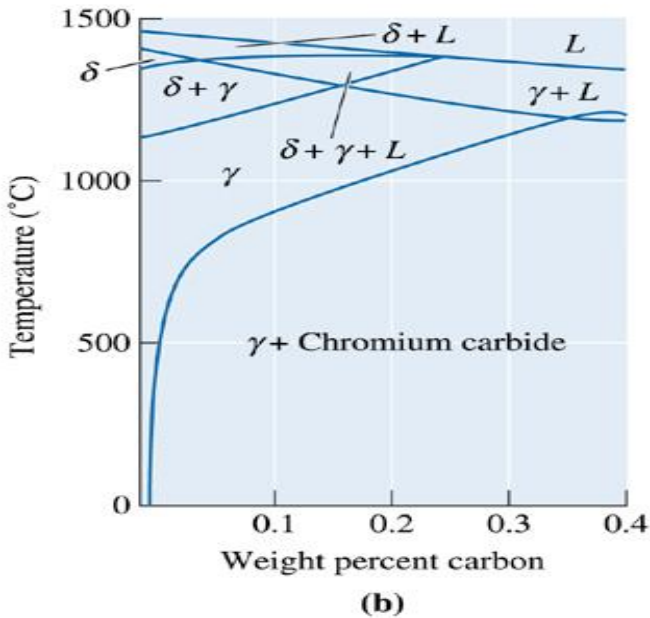
- ❑ Östenit dengeleyici element nikel, demir-krom-karbon alaşımlarından ferriti yok ederken östenit alanını genişletir.
- ❑ Karbon miktarı %0.03'den az ise karbür oluşmaz ve çelik oda sıcaklığında tamamen östenitik olarak kalır.

## Çökelti Sertleştirilmiş (PH) Paslanmaz Çelikler

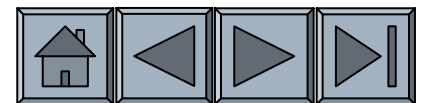
- ❑ Çökelti sertleştirilmiş paslanmaz çeliklerin kompozisyonu alüminyum, niobyum veya tantal içeriklerinin dışında östenitik paslanmaz çeliklere benzerler.
- ❑ PH paslanmaz çeliklerin özellikleri katı eriyik mukavemetlenmesi, pekleşme, yaşlandırma mukavemetlenmesi ve martensitik reaksiyonlardan kaynaklanır.



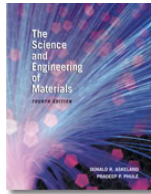
**(a) Fe-C faz diyagramına %17 Cr'nin etkisi.**



**Düşük karbon içeriklerinde tüm sıcaklıklarda ferrit kararlıdır. (b) Fe-Cr-Ni-C faz diyagramının bir bölümü (%18 Cr-%8 Ni sabit). Düşük karbon içeriklerinde östenit oda sıcaklığında kararlıdır.**

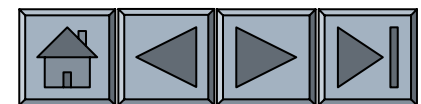


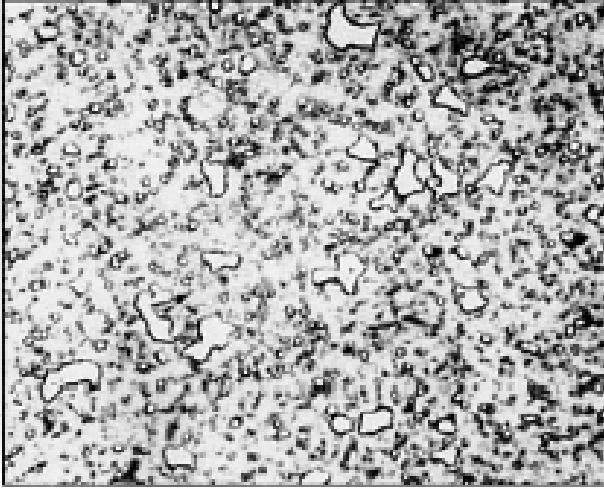




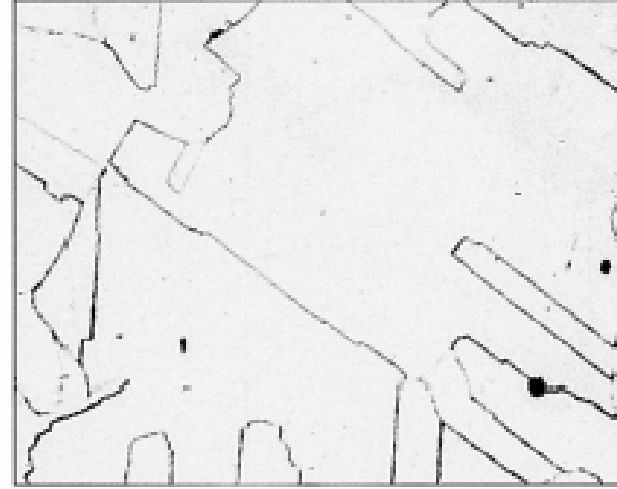
**TABLE 12-4** ■ *Typical compositions and properties of stainless steels*

Steel	% C	% Cr	% Ni	Others	Tensile Strength (psi)	Yield Strength (psi)	% Elongation	Condition
Austenitic:								
201	0.15	17	5	6.5% Mn	95,000	45,000	40	Annealed
304	0.08	19	10		75,000	30,000	30	Annealed
					185,000	140,000	9	Cold-worked
304L	0.03	19	10		75,000	30,000	30	Annealed
316	0.08	17	12	2.5% Mo	75,000	30,000	30	Annealed
321	0.08	18	10	0.4% Ti	85,000	35,000	55	Annealed
347	0.08	18	11	0.8% Nb	90,000	35,000	50	Annealed
Ferritic:								
430	0.12	17			65,000	30,000	22	Annealed
442	0.12	20			75,000	40,000	20	Annealed
Martensitic:								
416	0.15	13		0.6% Mo	180,000	140,000	18	Quenched and tempered
431	0.20	16	2		200,000	150,000	16	Quenched and tempered
440C	1.10	17		0.7% Mo	285,000	275,000	2	Quenched and tempered
Precipitation hardening:								
17-4	0.07	17	4	0.4% Nb	190,000	170,000	10	Age-hardened
17-7	0.09	17	7	1.0% Al	240,000	230,000	6	Age-hardened





(a)



(b)

**(a) Büyük primer karbürler ve küçük temperleme sırasında oluşmuş küçük karbürlerden oluşan martenzitik paslanmaz çelik. ( $\times 350$ ). (b) Austenitic stainless steel ( $\times 500$ ). (From ASM Handbook, Vols. 7 and 8, (1972, 1973), ASM International, Materials Park, OH 44073.)**



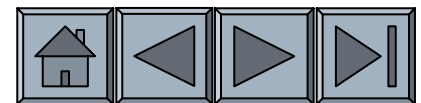
## Örnek 12.9. Paslanmaz Çelikleri Ayırmak İçin Test Tasarımı

Paslanmaz çeliklerin etkin olarak dönüşümünü sağlamak için yüksel nikelli paslanmaz çelikleri düşük nikel içerikli paslanmaz çeliklerden ayırmak istiyoruz. Bunun için bir metod tanımlayınız?

### ÇÖZÜM

Kimyasal analiz yapmak oldukça pahalı ve zor olacaktır. Sertliklerine göre ayırmakta pahalı ve her bir hurdanın değişik ısıl işlem ve soğuk işleminden prosedüründen geçtiği düşünülürse faydasız olacaktır

Yüksek nikelli paslanmaz çelikler genelde östenitik yapıdadır. Buna karşın düşük nikelli alaşımlar ise ferritik veya martenzitiktir. Basit bir mıknatıs ile düşük nikelli paslanmaz çelikler yüksek nikelli olanlardan ayrılacak ve mıknatısa tutunacaktır.



## Bölüm 12.11. Dökme Demirler

- **Dökme demir** – Katılaşıma esnasında ötektik reaksiyonun oluşmasına olanak verecek kadar karbon içeren demir alaşımlarıdır.

### Dökme demirlerde ötektik ve ötektoid reaksiyonlar

- **Dökme demir çeşitleri**
  - Gri dökme demir
  - Beyaz dökme demir
  - Temper/Dövülebilir dökme demir
  - Sünek veya nodüler dökme demir
  - Kompaklanmış grafit dökme demir

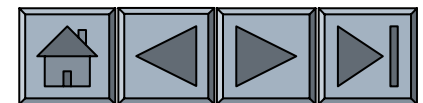
## Dökme Demirlerde Matris Yapısı

- ❑ Her tür dökme demirin özellikleri ve matris yapısı, ötektik reaksiyon sırasında östenitin dönüşme şekli ile belirlenir.
- ❑ Denge şartları altında östenit, grafit ve ferrite dönüşür.



## Dökme Demirlerin Üretimi ve Özellikleri

Beş önemli dökme demirin her birini üretmek için, uygun ötektik büyümeyi teşvik eden modifiye edici ilaveler ile ötektik katılaşma ve ötektoid dönüşüm veya dökme demirin ısıl işlemi, çok dikkatli kontrol edilmelidir.



## Gri Dökme Demir

- ❑ Gri dökme demir, dökme demirlerin en yaygın olanıdır.
- ❑ Gri dökme demir her hücrenin çekirdeklenmesini temsil eden birçok grafit lamel kümelerini, veya ötektik hücrelerini içerir.

## Beyaz Dökme Demir

- ❑ %2,5 C ve %1.5 Si düşük karbon eşdeğeri içeren beyaz dökme demirler, temper dökme demir üretiminde bir ara ürettir.
- ❑ Yüksek miktarda alaşımlandırılmış beyaz dökme demirler, sertlikleri ve aşınma dirençleri için kullanılırlar.



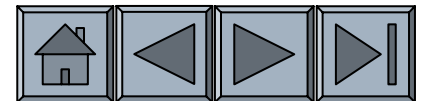
## Temper Dökme Demir

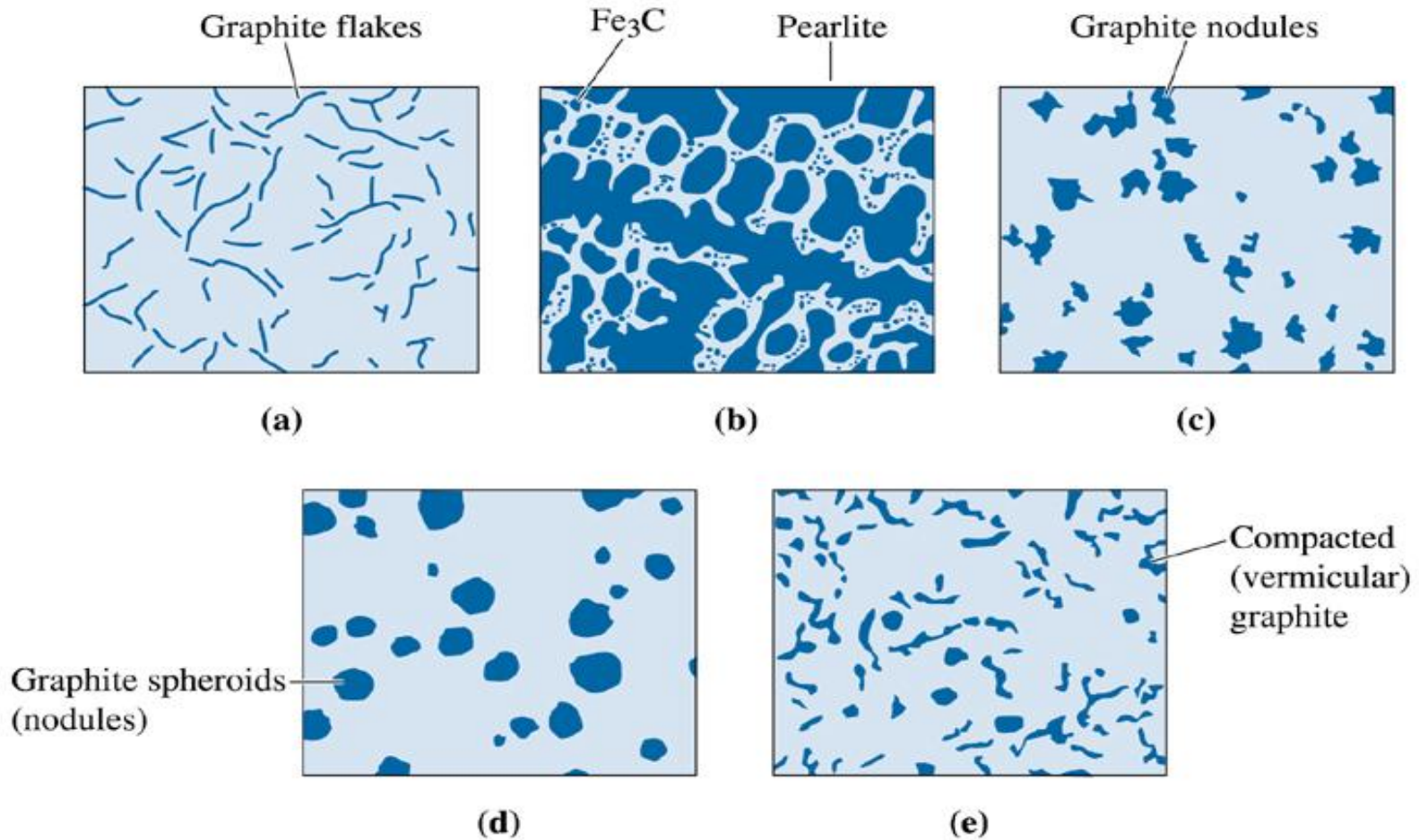
- ❑ Temper dökme demir, alaşımsız beyaz dökme demirin ısıtılması için üretilir.
- ❑ Temperleme ısıtılması sırasında, katılaşma esnasında oluşmuş sementit bozularak, grafit yığınları veya nodüller üretilir.



## Sünek veya Nodüler Dökme Demir

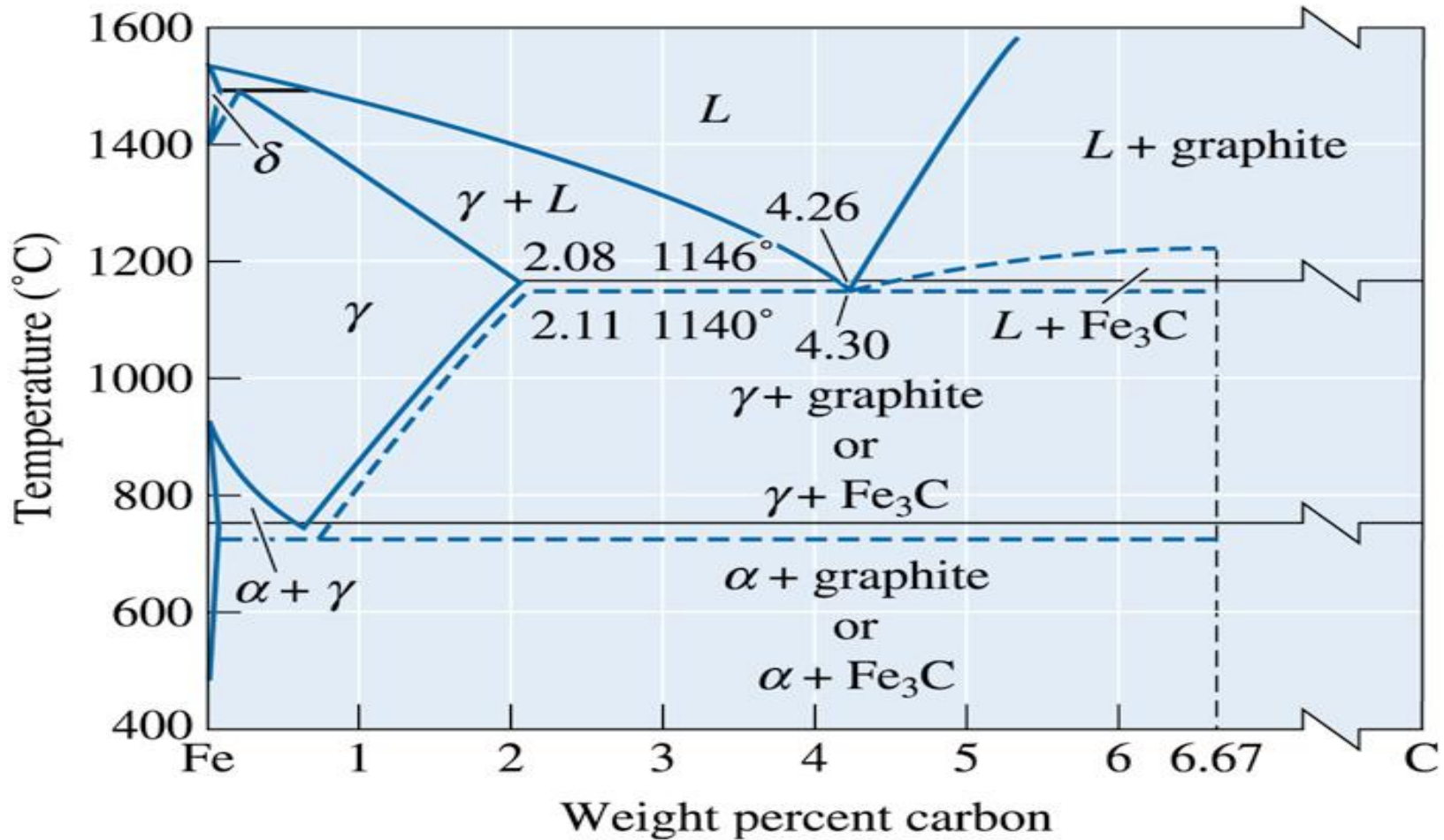
Sünek dökme demir katılaşma esnasında küresel grafitin büyümesine neden olan magnezyum veya seryumlu ve nispeten yüksek karbon eşdeğerli, sıvı dökme demirin işlem görmesiyle üretilir.





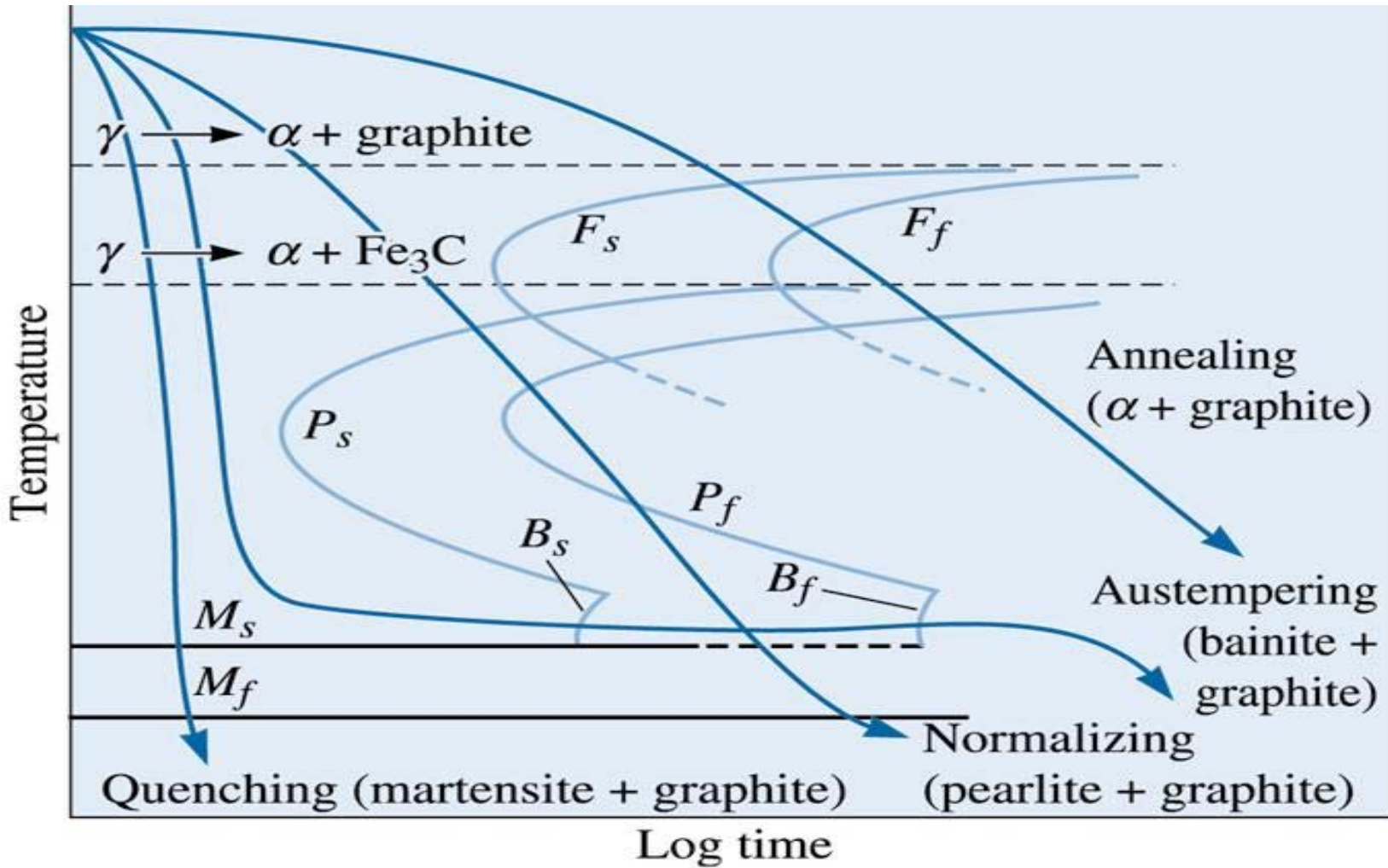
©2003 Brooks/Cole, a division of Thomson Learning, Inc. Thomson Learning is a trademark used herein under license.

**Beş tür dökme demirin şematik gösterimi. (a) gri dökme demir, (b) beyaz dökme demir (c) temperlenmiş dökme demir, (d) sünek dökme demir, and (e) kompaktlanmış grafit demir.**



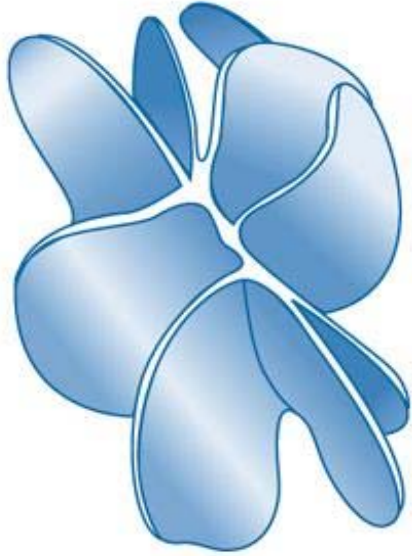
©2003 Brooks/Cole, a division of Thomson Learning, Inc. Thomson Learning, Inc. is a trademark used herein under license.

**Fe-C faz diyagramı. Kararlı demir-grafit denge diyagramı (kalın çizgi) ve yarı kararlı demir sementit reaksiyonları (kesik çizgi) arasındaki ilişkiyi gösterir.**



©2003 Brooks/Cole, a division of Thomson Learning, Inc. Thomson Learning<sup>™</sup> is a trademark used herein under license.

## Dökme demirde östenitin dönüşüm diyagramı.



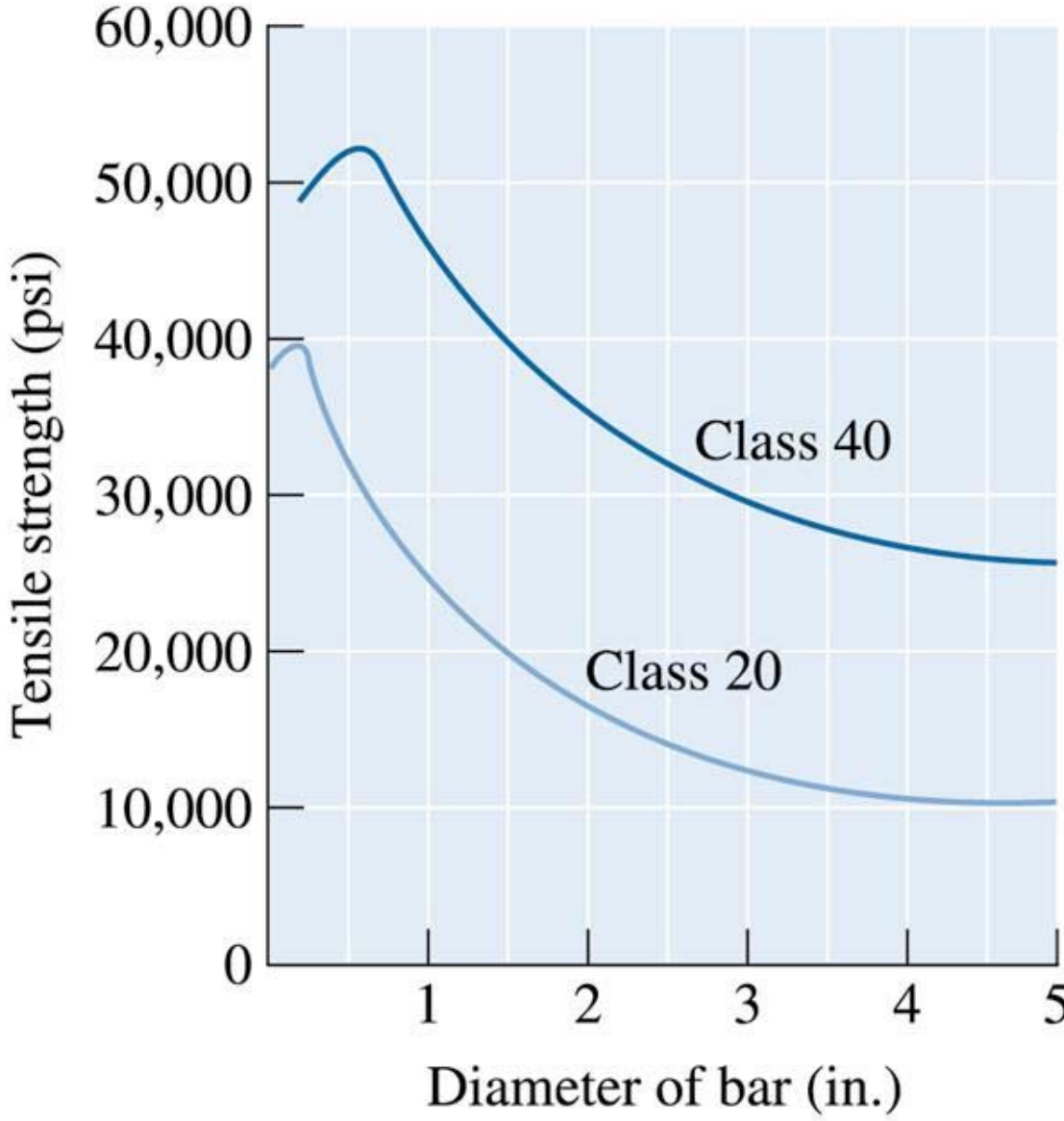
(a)



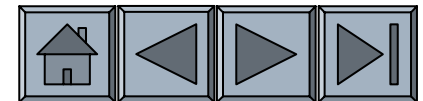
(b)

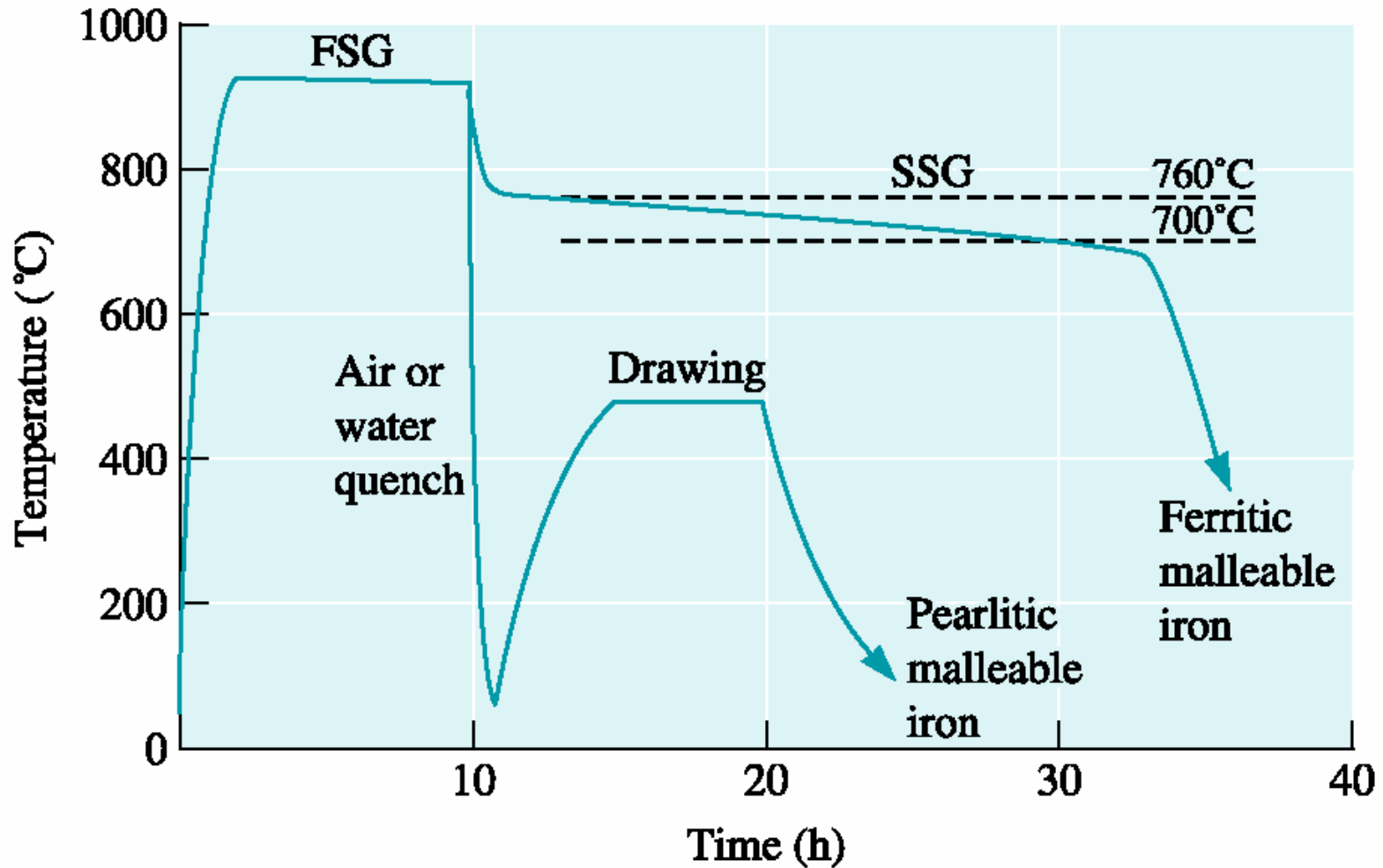
©2003 Brooks/Cole, a division of Thomson Learning, Inc. Thomson Learning<sup>®</sup> is a trademark used herein under license.

**(a) Çizim ve (b) gri dökme demirde yaprak grafitlerin mikroyapı fotoğrafı. (x 100).**



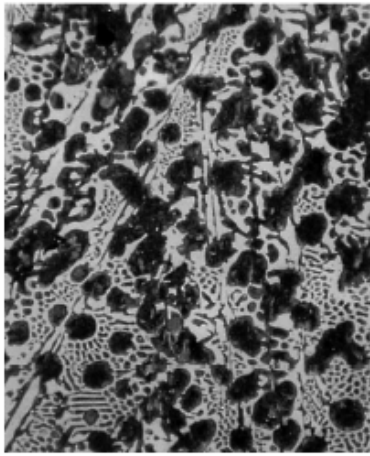
**İki ayrı dökme demirde soğuma hızı veya döküm boyutunun çekme mukavemeti üzerine etkisi.**



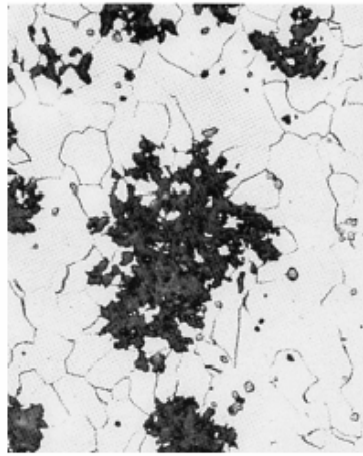


**Ferritik ve perlitik temperlenmiş demirin ısııl işlemleri.**

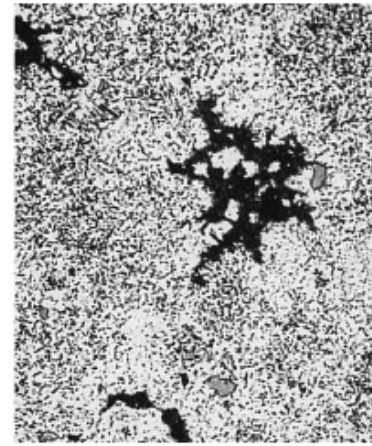




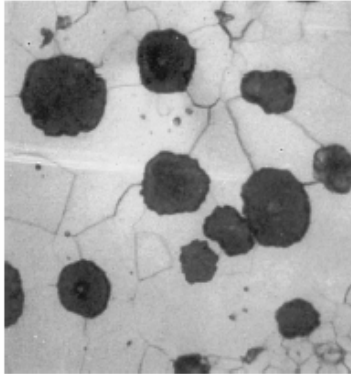
(a)



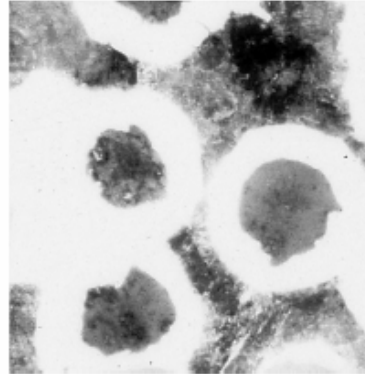
(b)



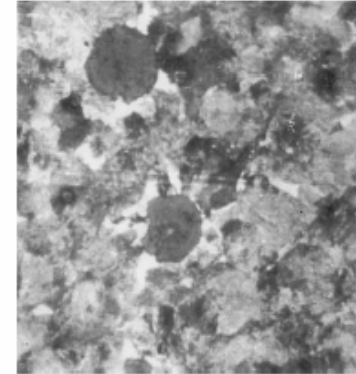
(c)



(d)



(e)



(f)

**(a) Isıl işlem öncesi beyaz dökme demir ( $\times 100$ ). (b) Ferritik temperlenmiş demir grafit nodülleri ve ferrit matriste küçük MnS inklüzyonları ( $\times 200$ ). (c) Perlitik dövülebilir/temperlenmiş demir temperlenmiş martenziti matrise çeker ( $\times 500$ ). (b) ve (c) are from Metals Handbook, Vols. 7 and 8, (1972, 1973), ASM International, Materials Park, OH 44073.) (d) Ferritik matrisli tavlanmış sünek dökme demir. ( $\times 250$ ). (e) Matrisinde ferrit (beyaz) ve perlit bulunan sünek dökme demir. (f) Perlit matrisinde normalize sünek dökme demir ( $\times 250$ ).**

**TABLE 12-5** ■ *Typical properties of cast irons*

	<b>Tensile Strength (psi)</b>	<b>Yield Strength (psi)</b>	<b>% E</b>	<b>Notes</b>
Gray irons:				
Class 20	12,000–40,000	—	—	
Class 40	28,000–54,000	—	—	
Class 60	44,00–66,000	—	—	
Malleable irons:				
32510	50,000	32,500	10	Ferritic
35018	53,000	35,000	18	Ferritic
50005	70,000	50,000	5	Pearlitic
70003	85,000	70,000	3	Pearlitic
90001	105,000	90,000	1	Pearlitic
Ductile irons:				
60–40–18	60,000	40,000	18	Annealed
65–45–12	65,000	45,000	12	As-cast ferritic
80–55–06	80,000	55,000	6	As-cast pearlitic
100–70–03	10,000	70,000	3	Normalized
120–90–02	120,000	90,000	2	Quenched and tempered
Compacted graphite irons:				
Low strength	40,000	28,000	5	90% Ferritic
High strength	65,000	55,000	1	80% Pearlitic