FAZ DİYAGRAMLARI

DERS NOTLARI



Prof. Dr. Sultan ÖZTÜRK

KTÜ, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü

Denge Dışı Reaksiyonlar ve Oluşan Yapılar (Martenzitik ve Beynitik Yapı)

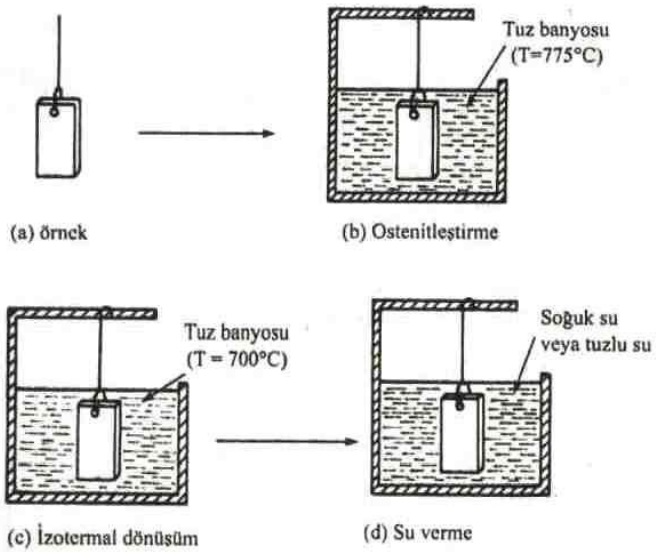
- Bu güne kadar işlenen konularda denge veya yarı denge durumunda gerçekleşebilen faz dönüşümleri incelenmiştir. Bu konu kapsamında işlenecek olan **martenzitik ve beynitik dönüşüm reaksiyonları ise denge dışı soğuma koşulları altında gerçekleşmektedir.** Her iki dönüşümün gerçekleşebilmesi için alaşım yüksek soğuma hızlarına çıkarılıp düşük sıcaklıklara çok hızlı bir şekilde soğutulması ile gerçekleşmektedir.
- **Demir-karbon faz diyagramında matenzitik ve beynit dönüşüm alaşımın sertleşme mekanizmasında çok önemli bir yere sahiptir.**

Dengesiz Soğuma Koşulları

- Denge koşulları daha önceki derslerden de bilindiği üzere çok yavaş soğuma şartlarını ifade etmektedir. **Ancak endüstriyel çelik üretiminde proses koşullarından dolayı soğuma hızları denge koşullarına göre oldukça yüksektir.**
- **Soğuma hızın artması ile birlikte (örneğin, östenitleştirilmiş bir çeliğin soğuk su içerisine daldırılması) faz dönüşümlerinin belirlenmesinde kullanılan demir-karbon faz diyagramı kullanılmaz.** Bunun en önemli nedeni söz konusu diyagramın çok yavaş soğuma koşullarında oluşturulmasıdır.
- Bu nedenle yüksek soğuma hızlarında **TTT** (Time, Temperature, Trnasformation) adı verilen ve **faz dönüşümünün sıcaklığa ve zamana bağlı olarak değişimini gösteren** diyagramların kullanılması gerekmektedir.

TTT Diyagramlarının Oluşturulması

İzotermal dönüşüm sabit sıcaklıkta meydana gelen faz dönüşümü demektir. Demir-sementit denge diyagramı, yalnız denge koşulları için geçerli olduğundan hızlı soğutulan çeliklerin incelenmesinde doğrudan kullanılmaz. Hızlı soğutulan çeliklerde ostenitin ne zaman dönüşüme başlayacağı, dönüşümün ne kadar süre sonunda tamamlanacağı ve sonuçta hangi ürünlerin oluşacağı hususları izotermal dönüşüm diyagramları yardımıyla belirlenir.



İzotermal dönüşüm diyagramlarının belirlenmesi:

a) Örnekler talaşlı imalat yöntemi ile hazırlanır

b) Hazırlanan örnekler fırın içerisinde veya tuz banyosunda yaklaşık 775 ^{o}C sıcaklıkta yeterli bir süre tutularak ostenitleştirilir.

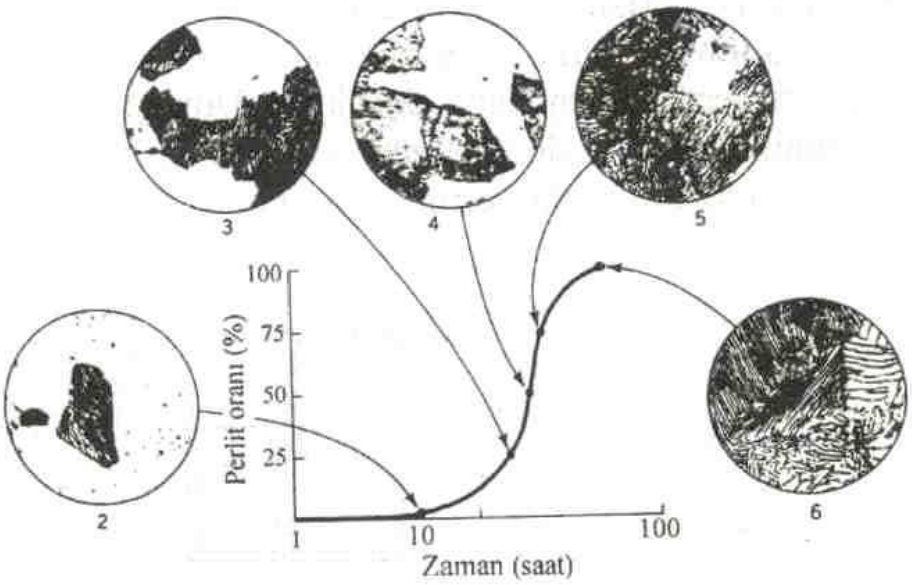
c) Ostenitleştirme işleminden sonra örnekler Ac_1 altında bir sıcaklıkta (700 ^{o}C) tutulan ergimiş tuz veya yağ banyosuna daldırılır.

d) Banyoda belirli süre (5, 10, 15, 20, 30, 40, 80, 100..) tutulan örneklere soğuk su veya tuzlu suda su verilir.

e) Su verilen örneklerin hem sertliği ölçülür hem de iç yapıları metalografik yöntemlerle incelenir.

Prof. Dr. Sultan ÖZTÜRK

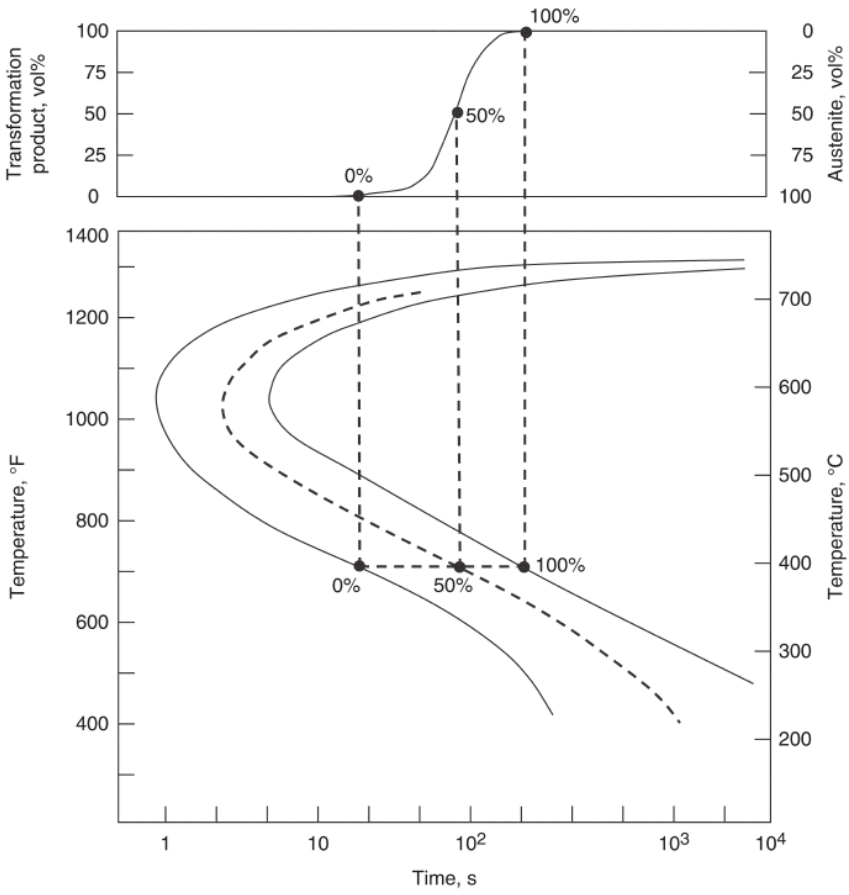
TTT Diyagramlarının Oluşturulması



Bu şekildeki eğri ostenitin perlite dönüşüm hızının doğrusal olmayıp, zamanla değiştiğini göstermektedir. Nitekim başlangıçta çok düşük olan dönüşüm hızı belirli bir süre sonunda aniden yükselip, dönüşüm sonuna doğru tekrar azalmaktadır.

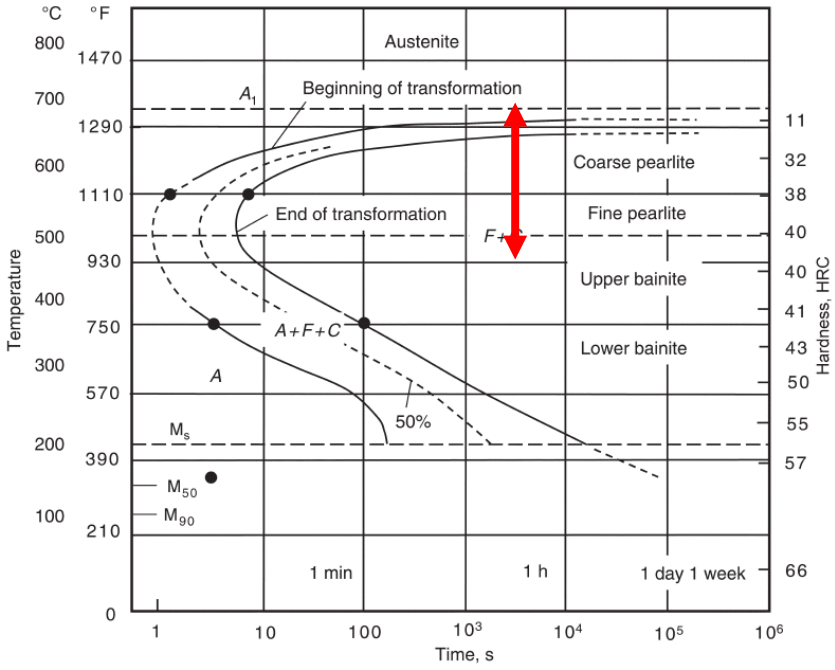
Dengesiz Soğuma Koşulları

- Yandaki şekilde yalın karbonlu **1080 (Ötektoid) çeliğine ait TTT diyagramı** görülmektedir.
- TTT diyagramları sıcaklığın ve zamanın fonksiyonu olarak alaşım içerisinde **aşırı soğuma koşullarında** bağlı olarak oluşacak **faz dönüşümlerinin belirlenmesinde** tercih edilmektedir.
- Örneğin tamamen östenitleştirilmiş ötektoid çelik **600 dereceye hızlı soğutulup 2-3 saniye kadar bekletildiğinde östenit fazının bir kısmı perlit** fazına dönüşecektir.
- **Aynı sıcaklıkta yaklaşık 10 saniye tutulduğunda yapının tamamı perlit fazına dönüşmektedir.**



Dengesiz Soğuma Koşulları

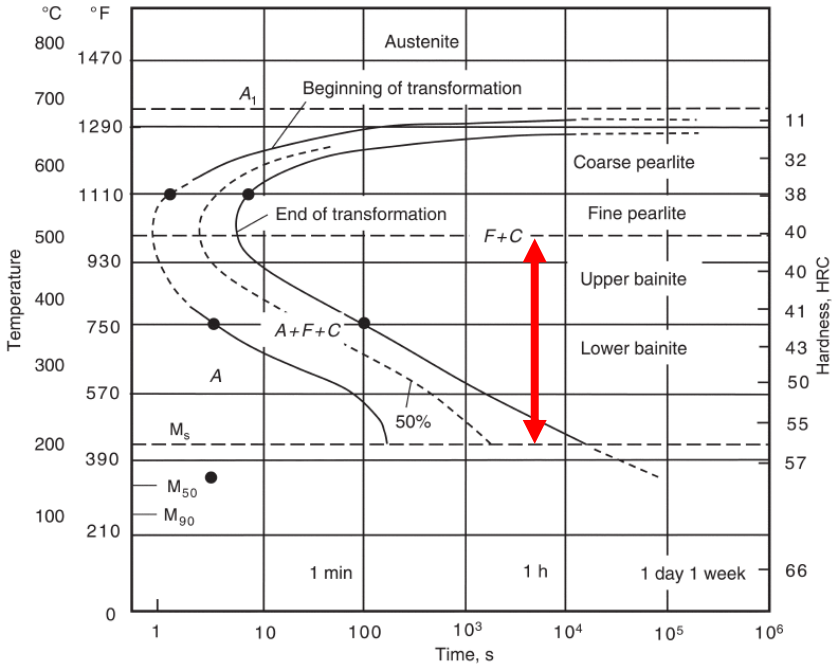
Endüstriyel olarak kullanılan tüm çeliklerde **perlit yapısı oluşumu TTT diyagramında A1 çizgisinde başlayıp (725 derece) diyagramında burun olarak ifade edilen 540 dereceye kadar devam eder.** **Yüksek sıcaklıklarda difüzyon hızı daha yüksek olmasından dolayı perlit yapısı içerisinde bulunan lameller arası mesafe, düşük sıcaklıklara göre daha yüksektir. Bu nedenle yüksek sıcaklıklarda kaba perlit olarak ifade edilen yapı oluşurken düşük sıcaklıklarda ince perlit yapısı oluşmaktadır.** **Oluşan bu yapı çeliğin mukavemetini etkilemektedir. Perlit yapısı içerisindeki lameller arası mesafe azaldıkça çeliğin mukavemeti artmaktadır. Bunun en önemli sebebi dislokasyonların tane içerisindeki hareketine karşı koyan engel sayısının artmasıdır.**



İzotermal faz dönüşüm diyagramı

Dengesiz Soğuma Koşulları

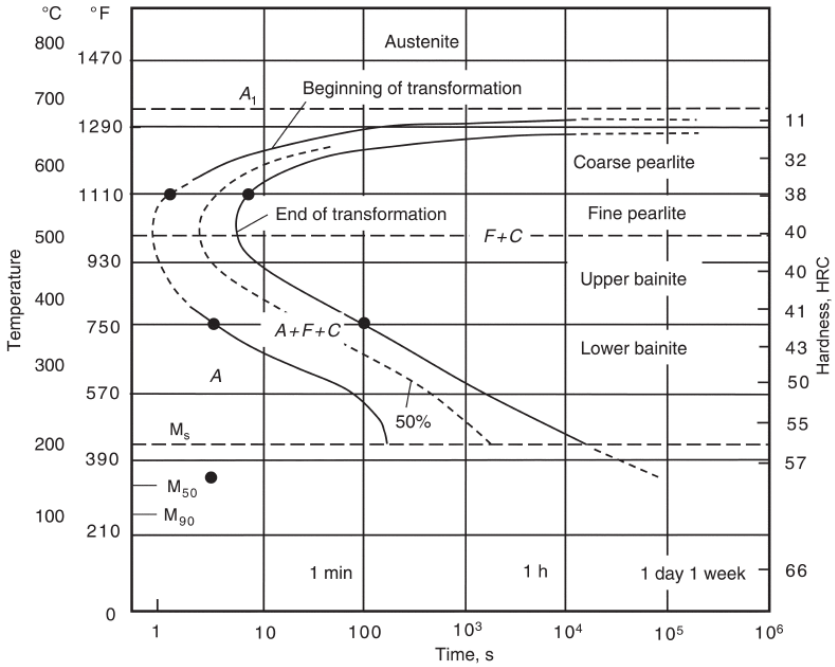
- Eğer ötektik bileşime sahip çelik (% 0,8 C, ağırlıkça) 400 dereceye hızlı soğutulup (quenching) **bu sıcaklıkta farklı sürelerde bekletildiğinde perlit yapısı yerine bu yapıya benzeyen, morfolojik olarak aralarında farklar bulunan ferrit ve sementit fazlarından oluşan beynit yapısı oluşmaktadır.**
- **Diyagramdan da görüldüğü gibi iki farklı beynit yapısı oluşmaktadır. Bunlardan birincisi yüksek sıcaklıklarda oluşan üst beynit yapısı, ikincisi ise düşük sıcaklıklarda oluşan alt beynit yapısıdır.**



İzotermal faz dönüşüm diyagramı

Dengesiz Soğuma Koşulları

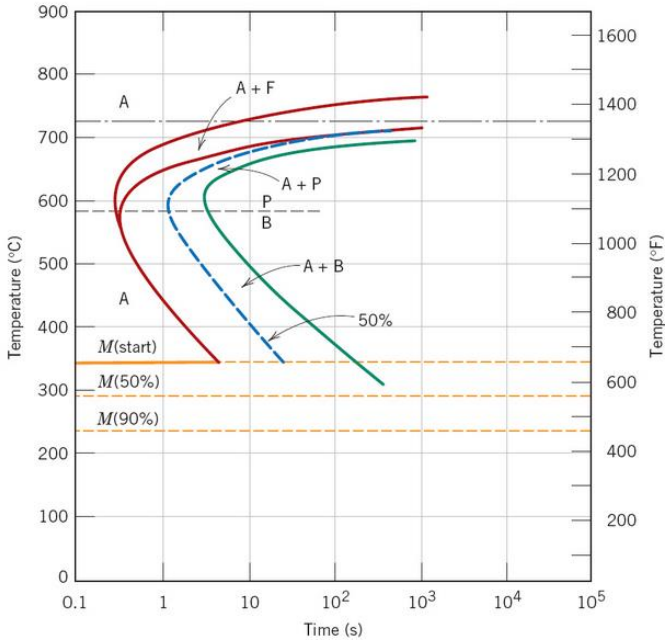
- Son olarak östenitleştirilmiş ötektoid çelik tuz banyosu içerisinde 150 dereceye kadar hızlı soğutulduğunda martenzit adı verilen farklı bir yapı oluşmaktadır. Oluşan bu yapı morfoloji olarak beynit ve perlit arasındadır.
- Bu faz, perlit fazında olduğu gibi ferrit ve sementit fazlarının tam anlamıyla bir karışımı değildir. martenzit fazı, karbon atomları ile aşırı doygun hale gelmiş ferrit fazından meydana gelmektedir.
- Yüksek soğuma hızından dolayı karbon atomları hacim merkezli kübik yapı içerisindeki yerlerine difüzyon süresinin yetersiz olmasından dolayı tam olarak yerleşemezler.



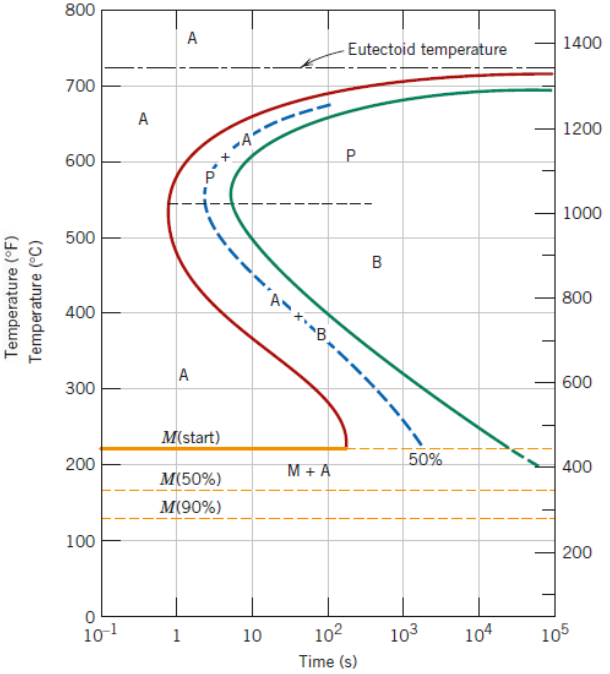
İzotermal faz dönüşüm diyagramı

Ötektoid çeliğe ait TTT diyagramı

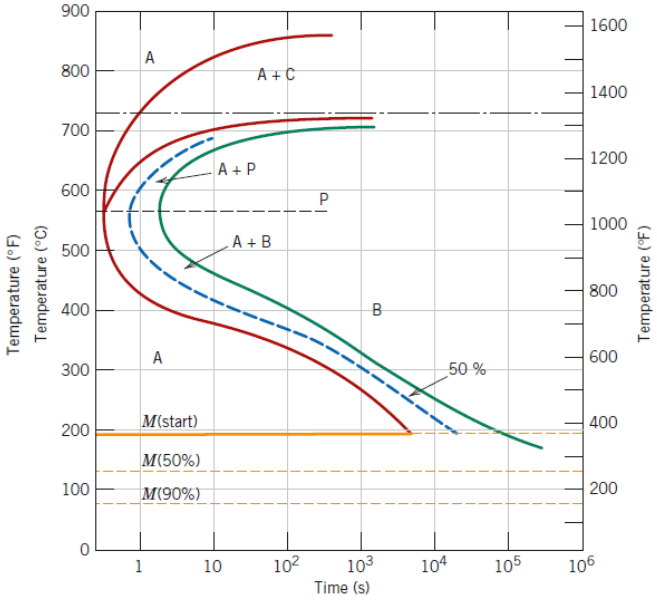
Farklı Bileşimlerdeki Çeliklerin TTT Diyagramları



%0,45 C içeren çeliğin TTT Diyagramı



%0,8 C içeren çeliğin TTT Diyagramı



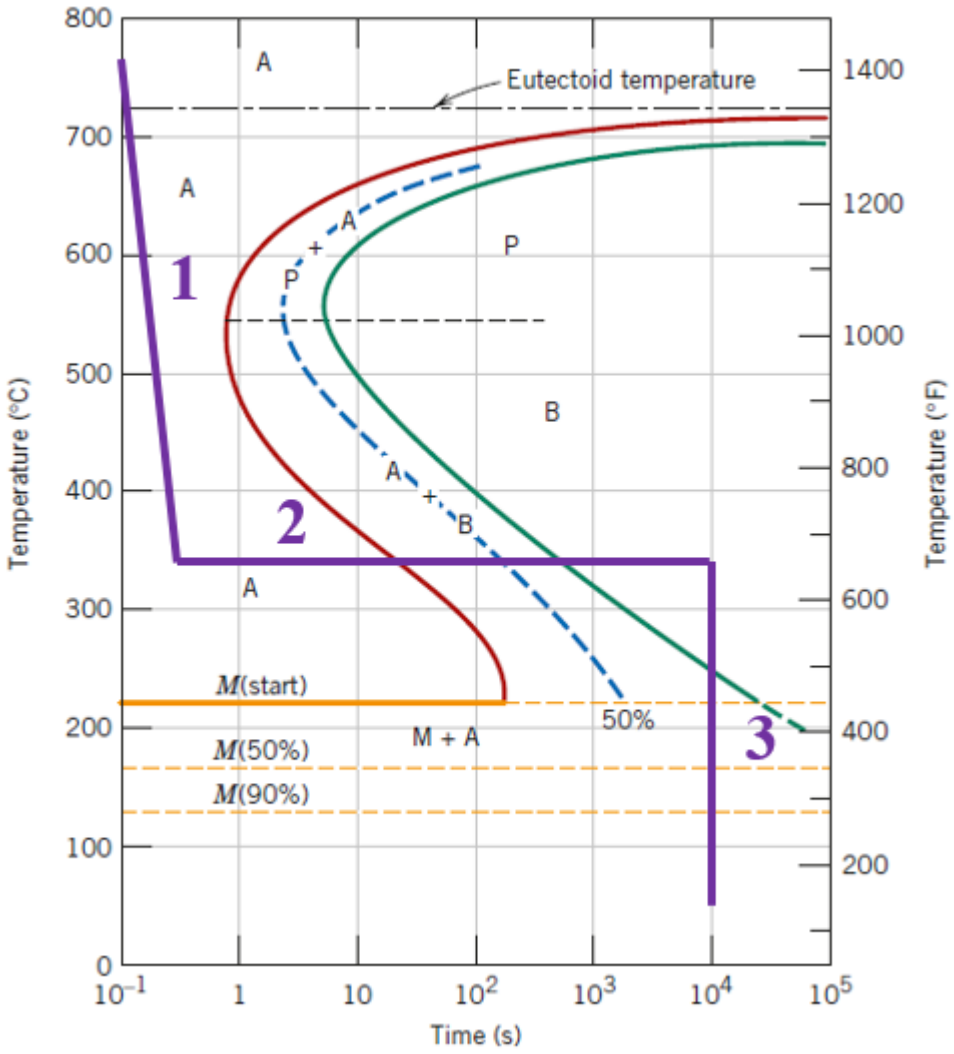
%1,13 C içeren çeliğin TTT Diyagramı

Örnek 1

Ötektik bileşime sahip çeliğin TTT diyagramı kullanılarak aşağıdaki işlemler sonucunda oluşan yapıları yazınız.

1) **350 dereceye hızlı soğutma 10^4 s bekletme, oda sıcaklığına hızlı soğutma**
2) **250 dereceye hızlı soğutma 100 s bekletme, oda sıcaklığına hızlı soğutma**
3) **650 dereceye hızlı soğutma 20 s bekletme, 400 dereceye hızlı soğutma 10^3 s bekletme oda sıcaklığına hızlı soğutma**

Örnek 1



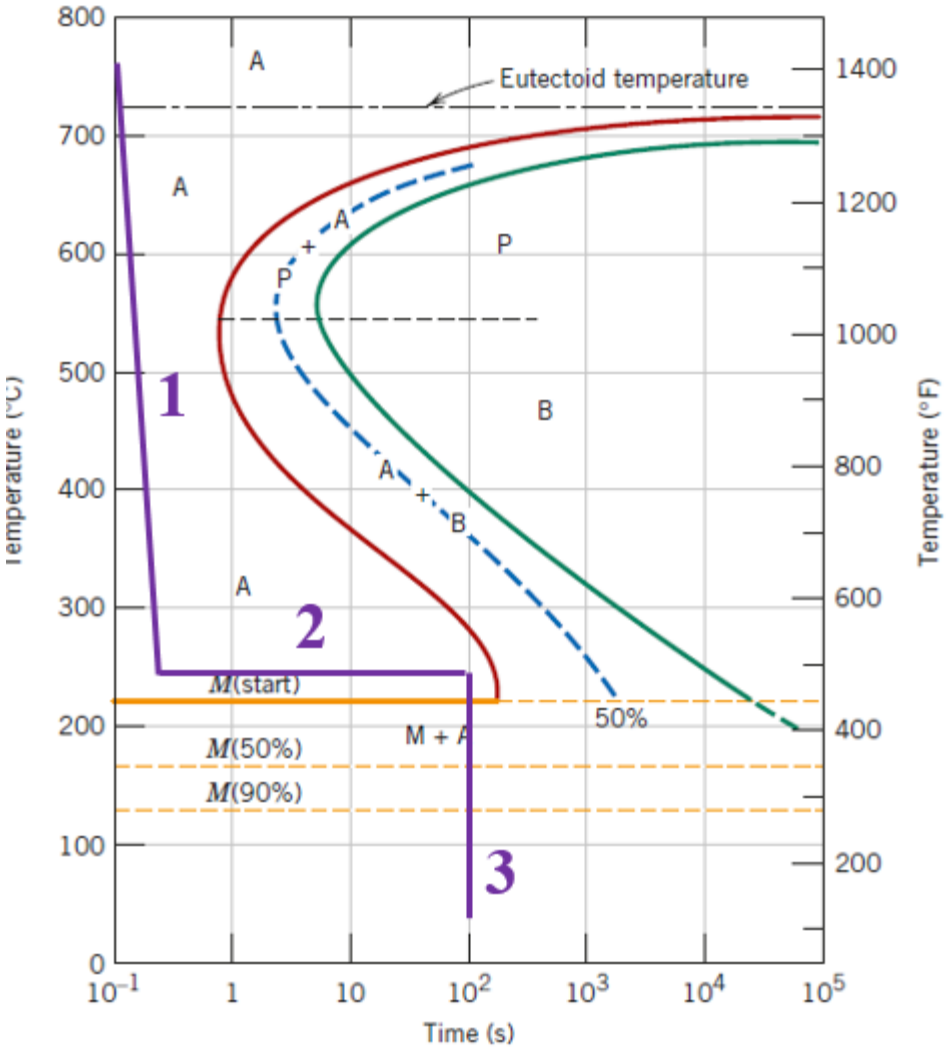
1- 350 dereceye hızlı soğutulduğunda yapı % 100 östenit haldedir.

2- Bu sıcaklıkta 10^4 saniye bekletildiğinde ilk olarak kırmızı çizgiye ulaşıldığında beynit fazı oluşmaya başlar. Yeşil çizgi geçildiğinde ise östenit yapı tamamen beynit yapısına dönüşür.

3- 10^4 saniye bekleme sonrası yapıda östenit fazı kalmadığından oda sıcaklığına hızlı soğutma işlemi sırasında herhangi bir faz dönüşümü görülmez ve yapı %100 beynit olarak kalır.



Örnek 1



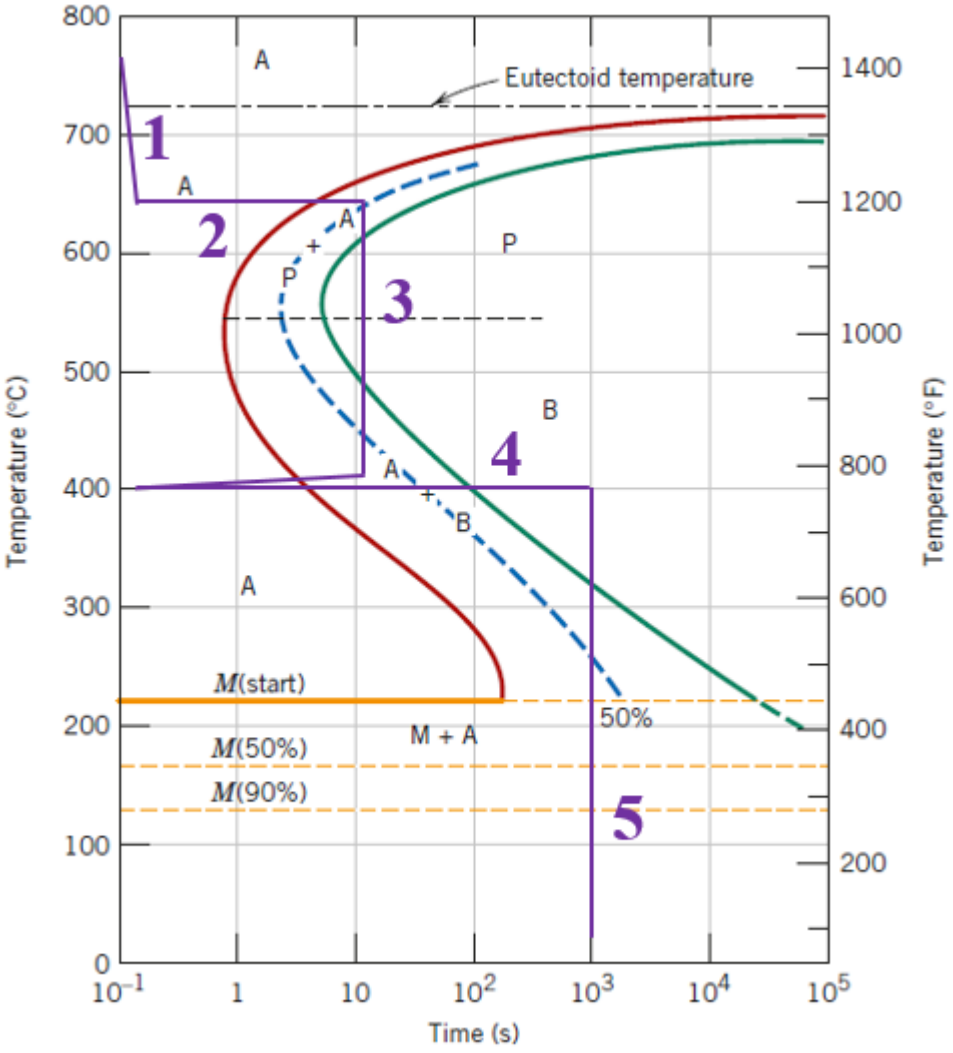
1- 250 dereceye hızlı soğutulduğunda yapı % 100 östenit haldedir.

2- Bu sıcaklıkta 100 saniye bekletildiğinde östenit fazında herhangi bir faz dönüşümü gerçekleşmez.

3- 100 saniye bekleme sonrası yapıda bulunan östenit fazı oda sıcaklığına su verme (Hızlı soğutma) işlemi sonrası %100 martenzitik yapı oluşur.



Örnek 1



1- 650 dereceye hızlı soğutulduğunda yapı % 100 östenit haldedir.

2- Bu sıcaklıkta 20 saniye bekletildiğinde bir miktar östenit fazı (%50) perlit fazına (%50) dönüşecektir.

3- 20 saniye bekleme sonrası yapıda bulunan %50 perlit ve %50 östenit fazı 400 dereceye hızlı soğutulduğunda herhangi bir faz dönüşümü gerçekleşmez.

4- 400 derece 10^3 saniye bekletildiğinde ise yapıda bulunan %50 östenit fazı, %50 beynit fazına dönüşür.

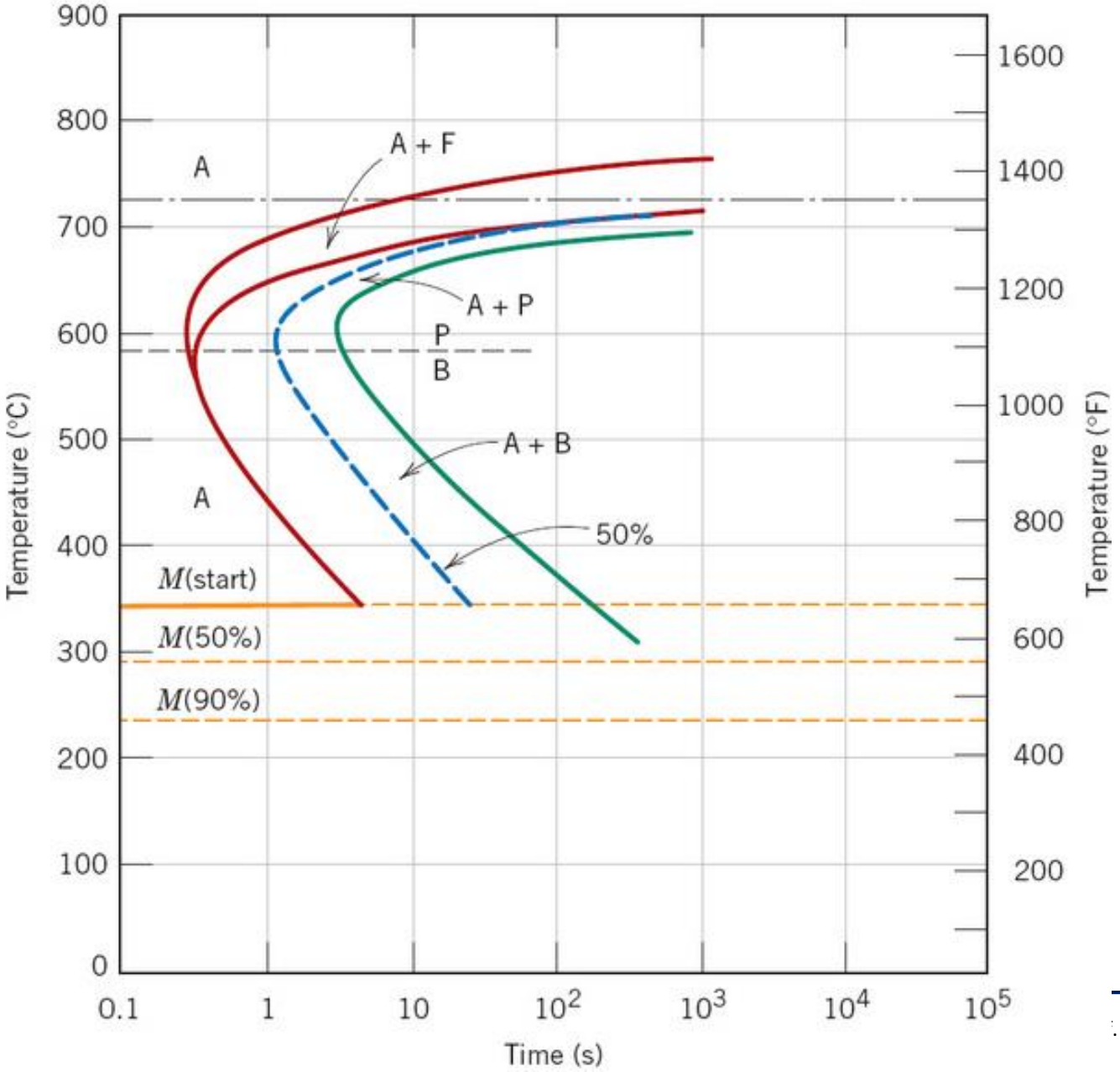
5- Oda sıcaklığına su verme işlemi sırasında ise yapıda östenit fazı bulunmadığından oda sıcaklığında çeliğin yapısında perlit ve beynit yapıları bulunur.

Örnek 2

%0,45 C içeren çelik malzeme 850 derece sıcaklıkta östenitleştirme ısıl işlemine tabi tutulmuştur. %100 östenit fazından oluşan çelik malzemeye aşağıda verilen ısıl işlemler uygulanmaktadır. Bu ısıl işlemler sonucunda oda sıcaklığındaki çeliğin yapısında bulunan fazları belirleyiniz.

1. **250 dereceye hızlı soğutma 103 saniye bekleme, oda sıcaklığına su verme**
2. **700 dereceye hızlı soğutma 30 saniye bekleme, oda sıcaklığına su verme**
3. **400 dereceye hızlı soğutma 500 saniye bekleme, oda sıcaklığına su verme**
4. **700 dereceye hızlı soğutma 105 saniye bekleme, oda sıcaklığına su verme**
5. **450 dereceye hızlı soğutma 10 saniye bekleme, oda sıcaklığına su verme**
6. **625 dereceye hızlı soğutma 1 saniye bekleme, oda sıcaklığına su verme**
7. **625 dereceye hızlı soğutma 10 saniye bekleme, 400 dereceye hızlı soğutma 5 saniye bekleme, oda sıcaklığına su verme**
8. **650 dereceye hızlı soğutma 3 saniye bekleme, 400 dereceye hızlı soğutma 10 saniye bekleme, oda sıcaklığına su verme**

Örnek 2

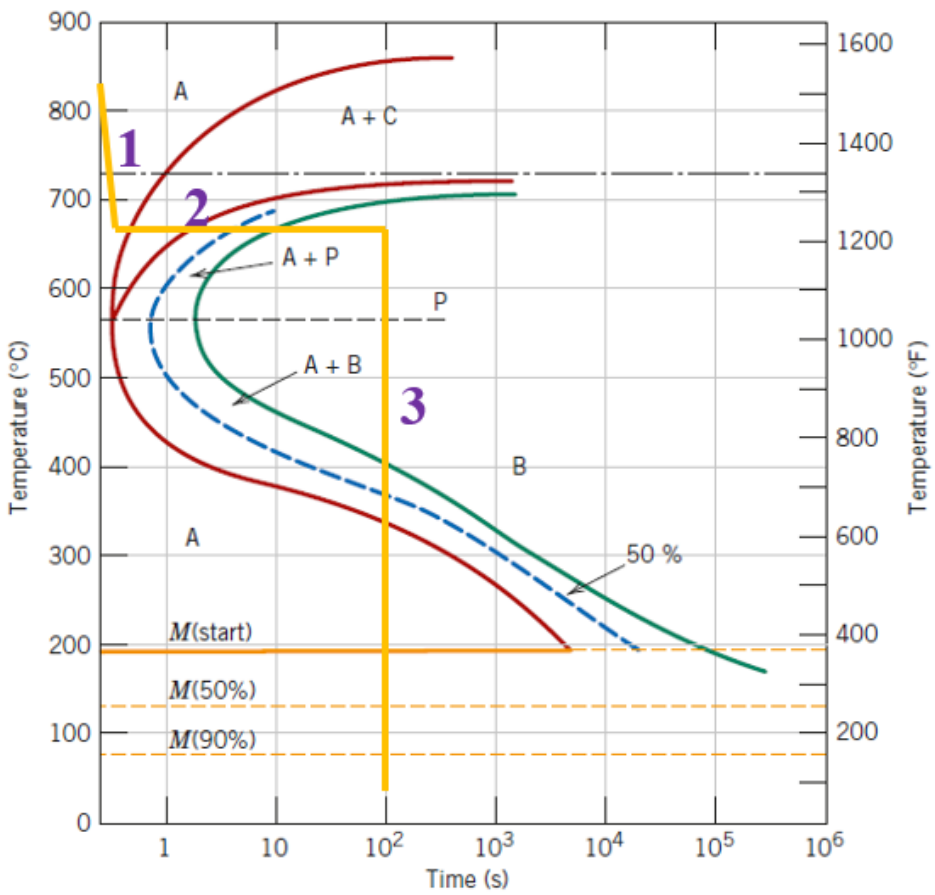

900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
1600
1400
1200
1000
800
600
400
200
A
A + F
A + P
P
B
A + B
A
50%
M(start)
M(50%)
M(90%)
Temperature (°C)
Temperature (°F)
0.1
1
10
10²
10³
10⁴
10⁵
Time (s)

Örnek 3

%1.13 C içeren ötektoid üstü çeliğe bazı ısıl işlemler uygulanıp aşağıda verilen mikroyapıya sahip çelikler üretilmek istenmektedir. Uygun ısıl işlemleri TTT diyagramını kullanarak tasarlayınız.

1. **Ötektoid öncesi sementit ve kaba perlit**
2. **%50 ince perlit ve % 50 beynit**
3. **%100 martenzit**
4. **%100 temperlenmiş martenzit**

Örnek 3



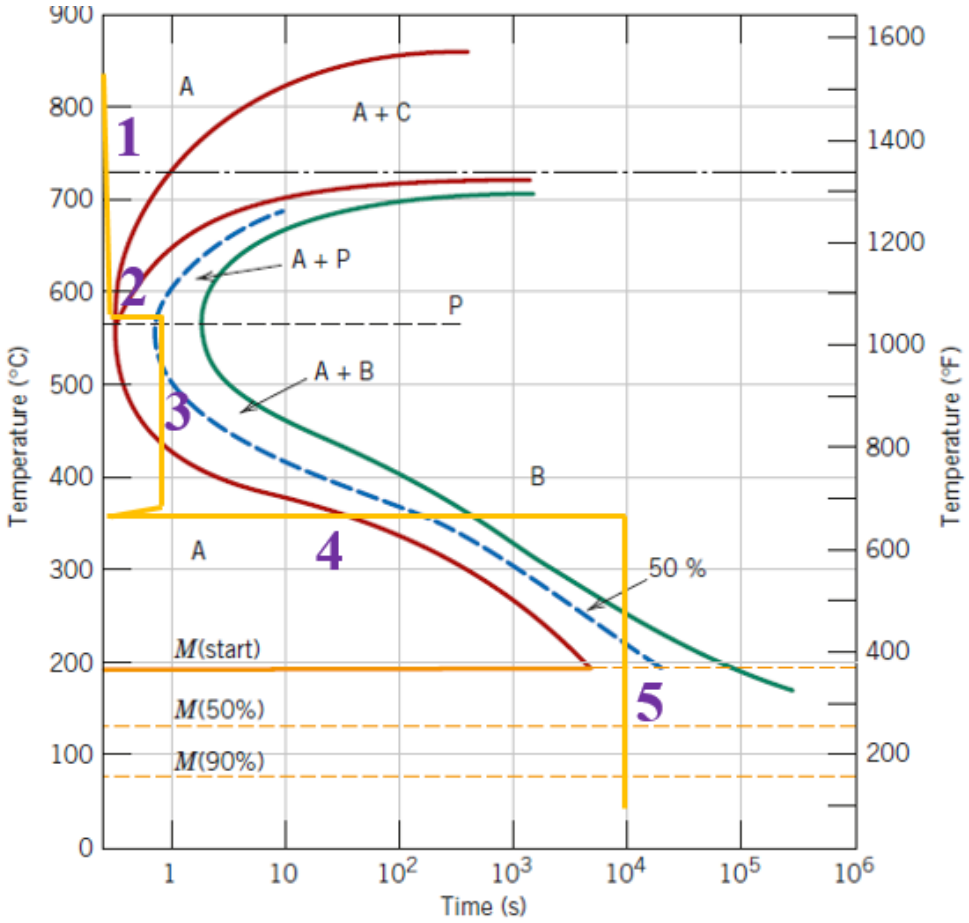
İlk olarak yaklaşık olarak 850 derecede östenitleştirme ısıl işlemi yapılır.

1- 670 dereceye hızlı soğutma

2- bu sıcaklıkta 10^2 saniye bekletme

3-Oda sıcaklığına su verme

Örnek 3



İlk olarak yaklaşık olarak 850 derecede östenitleştirme ısıl işlemi yapılır.

1- 570 dereceye hızlı soğutma

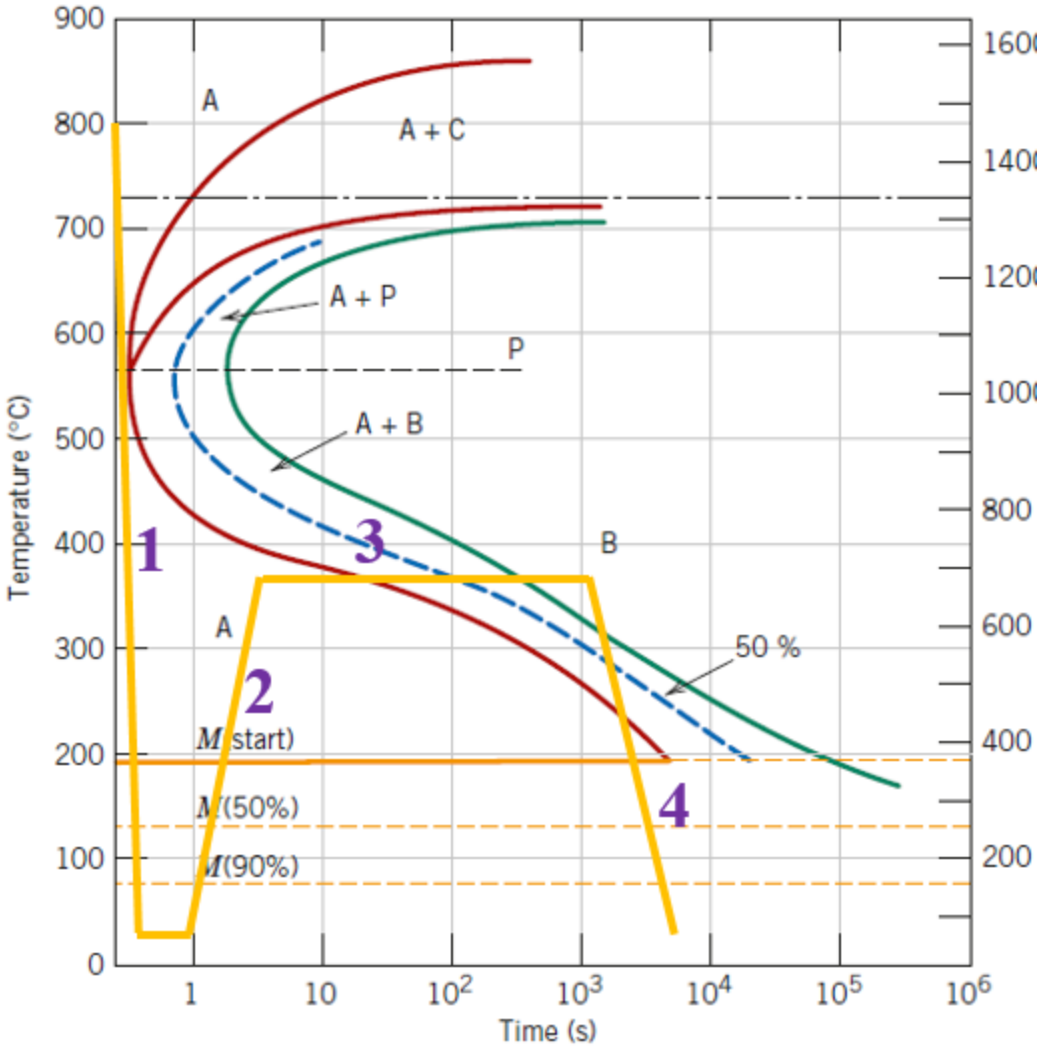
2-Bu sıcaklıkta 1 saniye bekletme

3-350 derece sıcaklığa su verme

4- bu sıcaklıkta 10^4 saniye bekletme

5-Oda sıcaklığına su verme

Örnek 3



%100 martenzit yapı elde etmekiçin İlk olarak yaklaşık olarak 850 derecede östenitleştirme ısıl işlemi yapılır.

1- oda sıcaklığına su verme işlemi yapılarak %100 martenzit yapı elde edilir.

%100 temperlenmiş yapı elde etmek için;

2- 250-525 derece arasındaki bir sıcaklıkta ostemperleme işlemi için ısıtma işlemi yapılır.

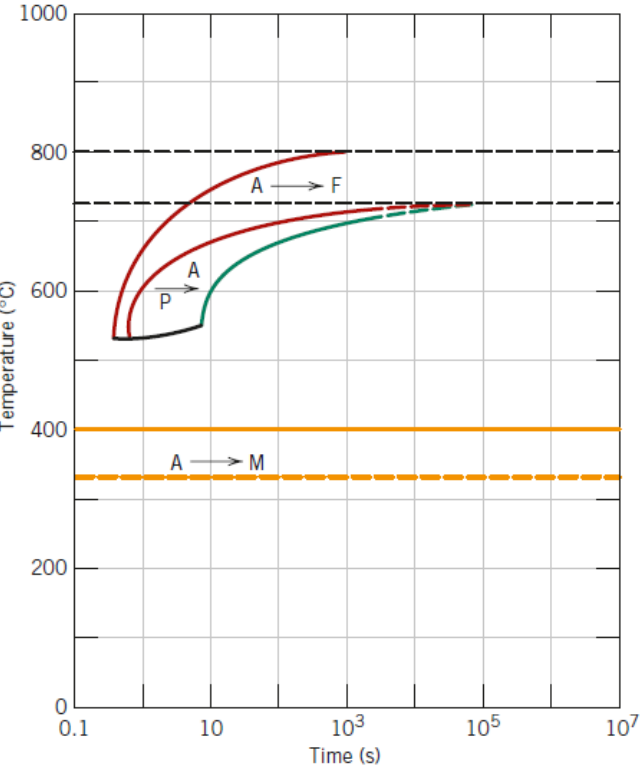
3-İzotermal dönüşüm tamamlanıncaya kadar fırında bekletilir.

4- Son olarak oda sıcaklığına soğutma işlemi uygulanır.

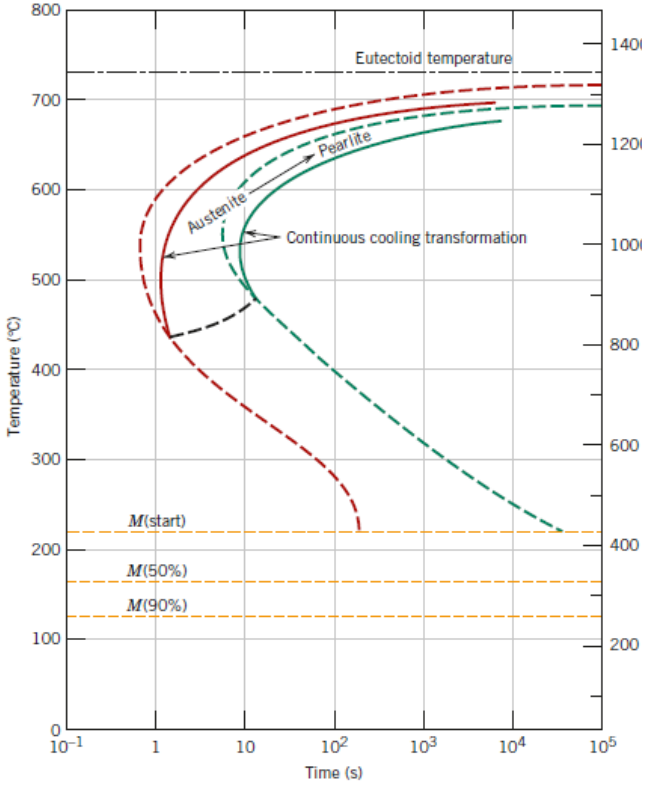
Sürekli Soğuma Diyagramları (CCT)

- 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, Continous Cooling Transformation) adı verilir.
- 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.

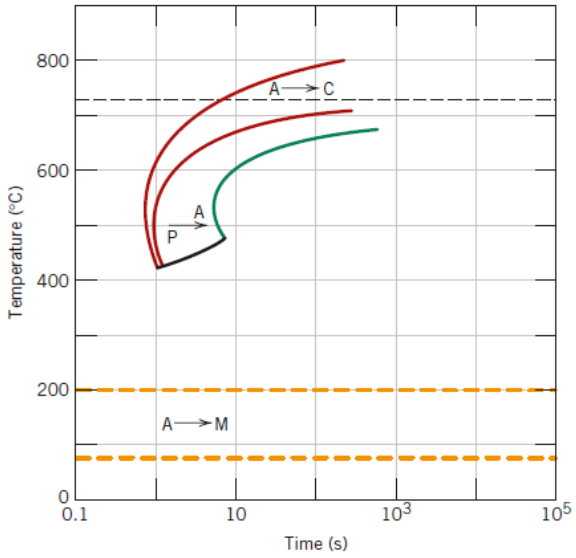
Sürekli Soğuma Diyagramları (CCT)



%0,35 C içeren çeliğin TTT Diyagramı



%0,8 C içeren çeliğin TTT Diyagramı



%1,13 C içeren çeliğin TTT Diyagramı

Örnek 4

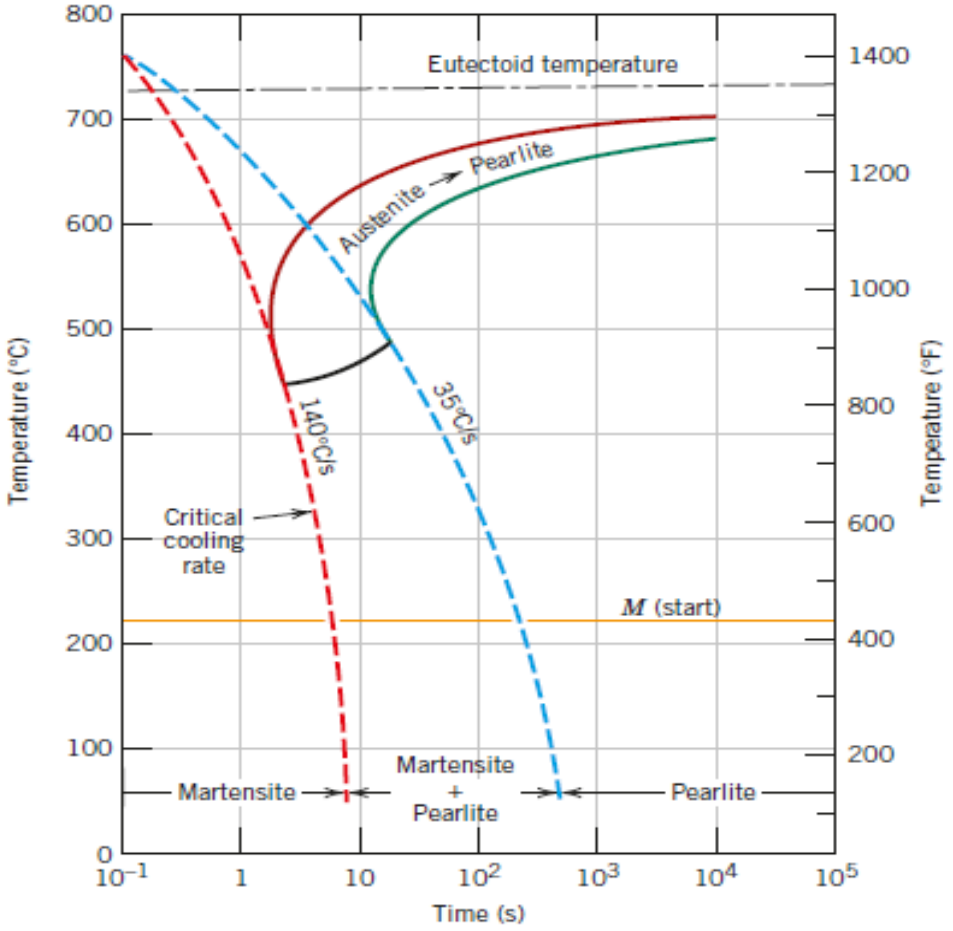
%0,8 C içeren çeliğin CCT diyagramını kullanarak aşağıda verilen soğuma hızlarında oluşacak mikropları belirleyiniz.

a) 1 ^{0}C/s

b) 20 ^{0}C/s

c) 50 ^{0}C/s

d) 175 ^{0}C/s



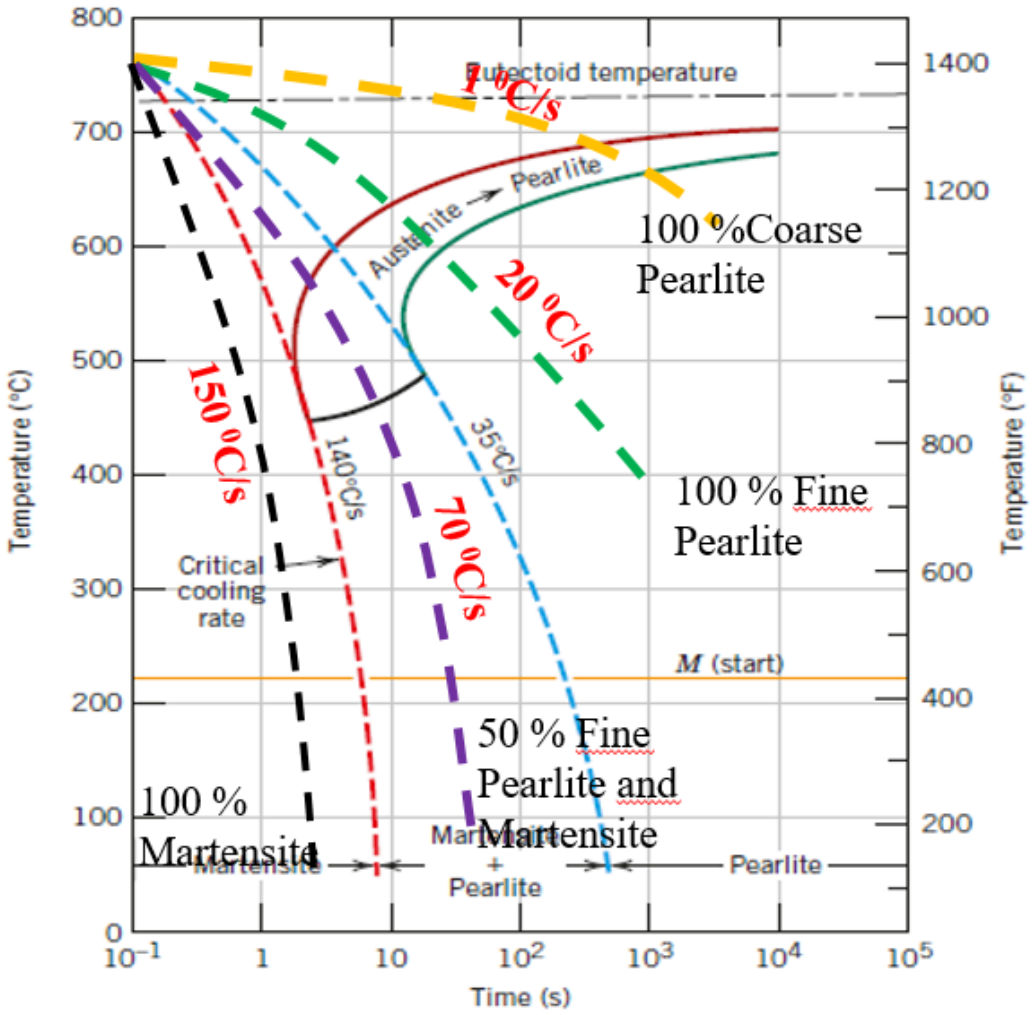
Örnek 4

a) 1 °C/s

b) 20 °C/s

c) 70 °C/s

d) 150 °C/s



Örnek 5

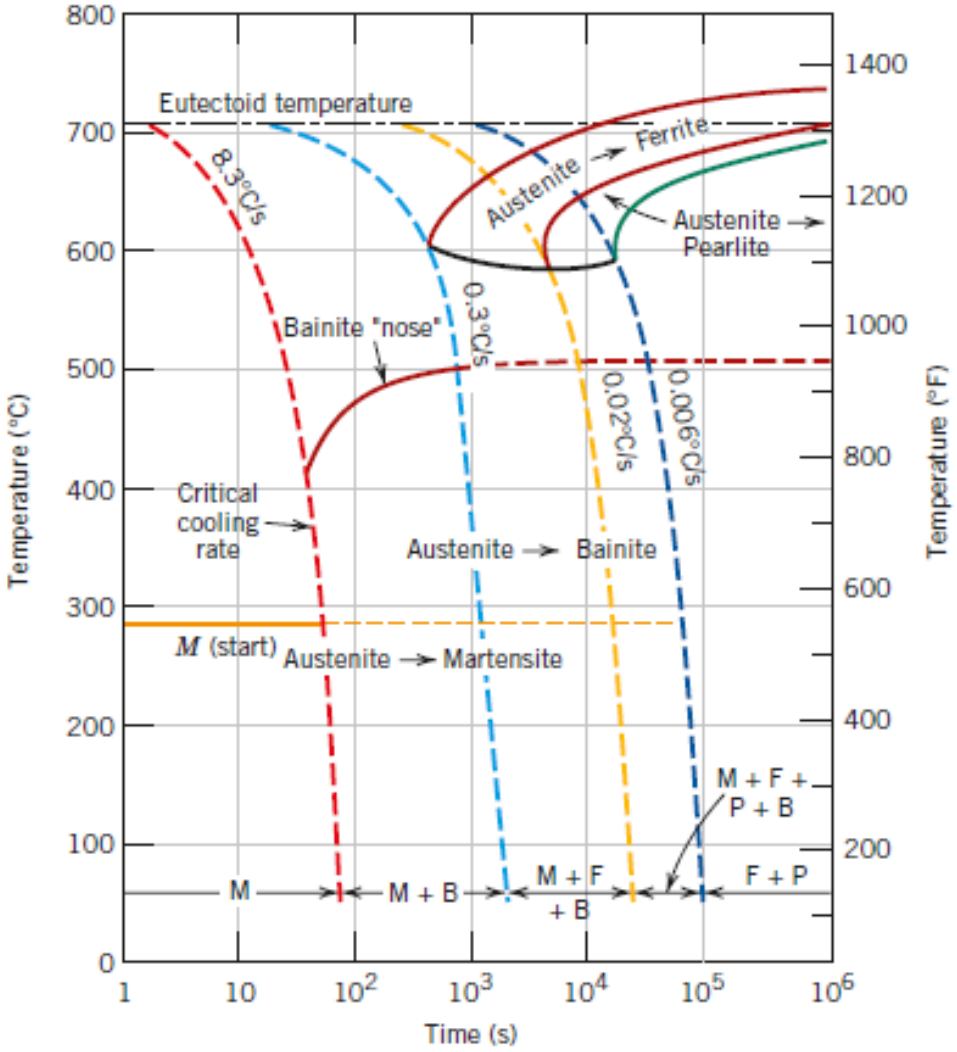
AISI 4340 içeren çeliğin CCT diyagramını kullanarak aşağıda verilen soğuma hızlarında oluşacak mikropları belirleyiniz.

a) 10 ^{0}C/s

b) 1 ^{0}C/s

c) 0.1 ^{0}C/s

d) 0.01 ^{0}C/s



RK

Örnek 6

0.35 C içeren çeliğin CCT diyagramını kullanarak aşağıda verilen mikroyapıları elde etmek için uygun soğuma eğrilerini bu diyagram üzerinde gösteriniz.

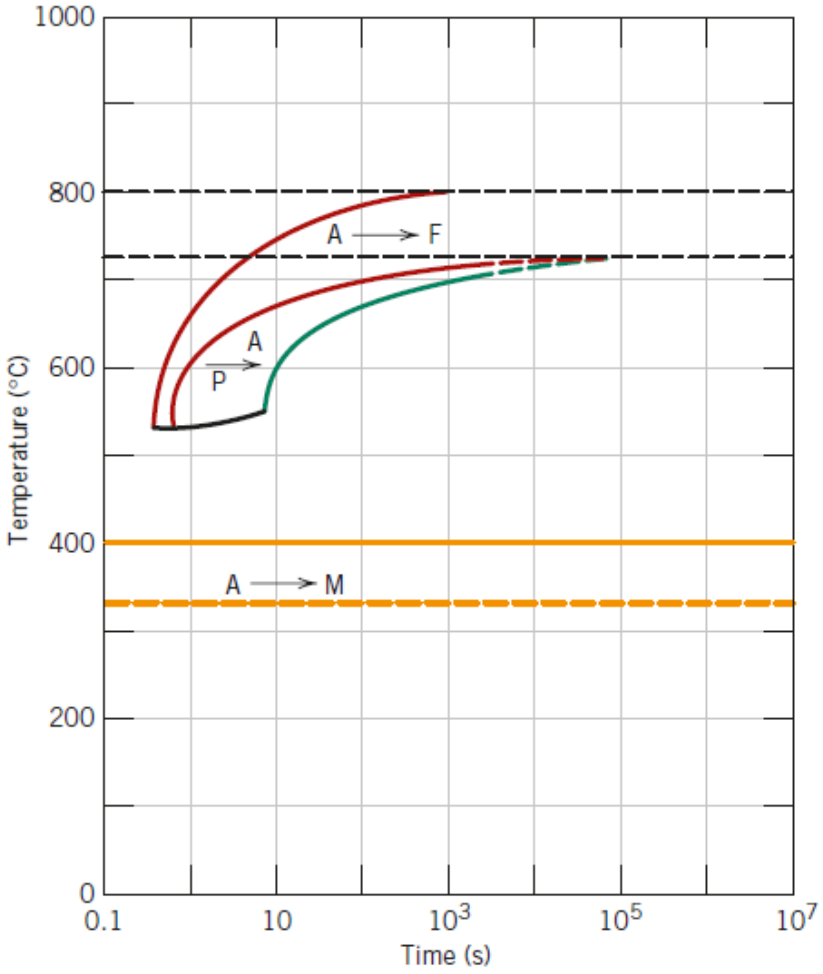
a) Perlit – ötektoid öncesi ferrit

b) Martenzit

c) Martenzit ve ötektoid öncesi ferrit

d) Perlit ve ötektoid öncesi ferrit

e) Martenzit-perlit-ötektoid öncesi ferrit



Örnek 6

a) Perlit – ötektoid öncesi ferrit

b) Martenzit

c) Martenzit ve ötektoid öncesi ferrit

d) Perlit ve ötektoid öncesi ferrit

e) Martenzit-perlit-ötektoid öncesi ferrit

