

BMM 205

Malzeme Biliminin Temelleri

Faz Dönüşümleri



**BİYONANOTASARIM
LABORATUVARI**

Dr. Ersin Emre Ören

**Biyomedikal Mühendisliği Bölümü
Malzeme Bilimi ve Nanoteknoloji Mühendisliği Bölümü**

**TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi
Ankara - TÜRKİYE**

eeoren@etu.edu.tr
<http://eeoren.etu.edu.tr>

Ayrışık Çekirdeklenme (Heterogeneous Nucleation)

ΔT : Alt soğuma (undercooling/supercooling)

Table 10.1 Degree of Supercooling (ΔT) Values (Homogeneous Nucleation) for Several Metals

<i>Metal</i>	ΔT (°C)
Antimony	135
Germanium	227
Silver	227
Gold	230
Copper	236
Iron	295
Nickel	319
Cobalt	330
Palladium	332

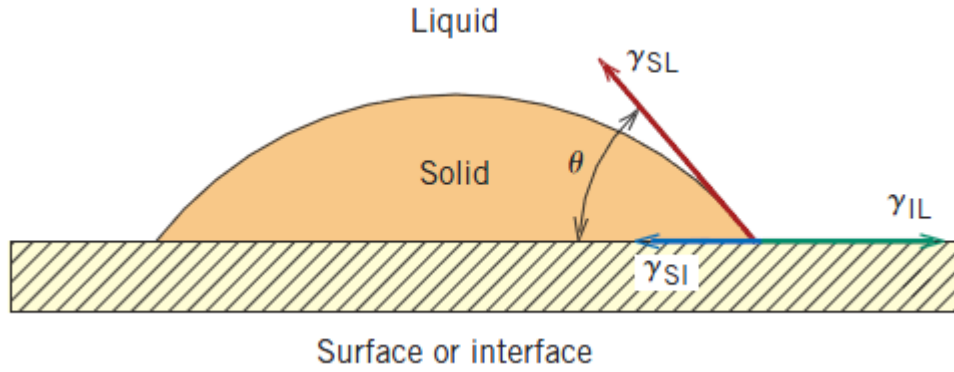
Gerçekte katılma birkaç derecelik alt soğutma değerlerinde gözlenir.

Neden?

Çekirdeklenme için gereken aktivasyon enerjisi ΔG^* çekirdeklenmenin varolan yüzey ve arayüzeylerde başlaması durumunda çok daha küçük değerler alır.

Yani çekirdeklenme yüzey ve arayüzeylerde çok daha kolay gerçekleşir. Bu tip çekirdeklenmeler **Ayrışık Çekirdeklenme (Heterogeneous Nucleation)** olarak adlandırılır.

Ayrışık Çekirdeklenme (Heterogeneous Nucleation)

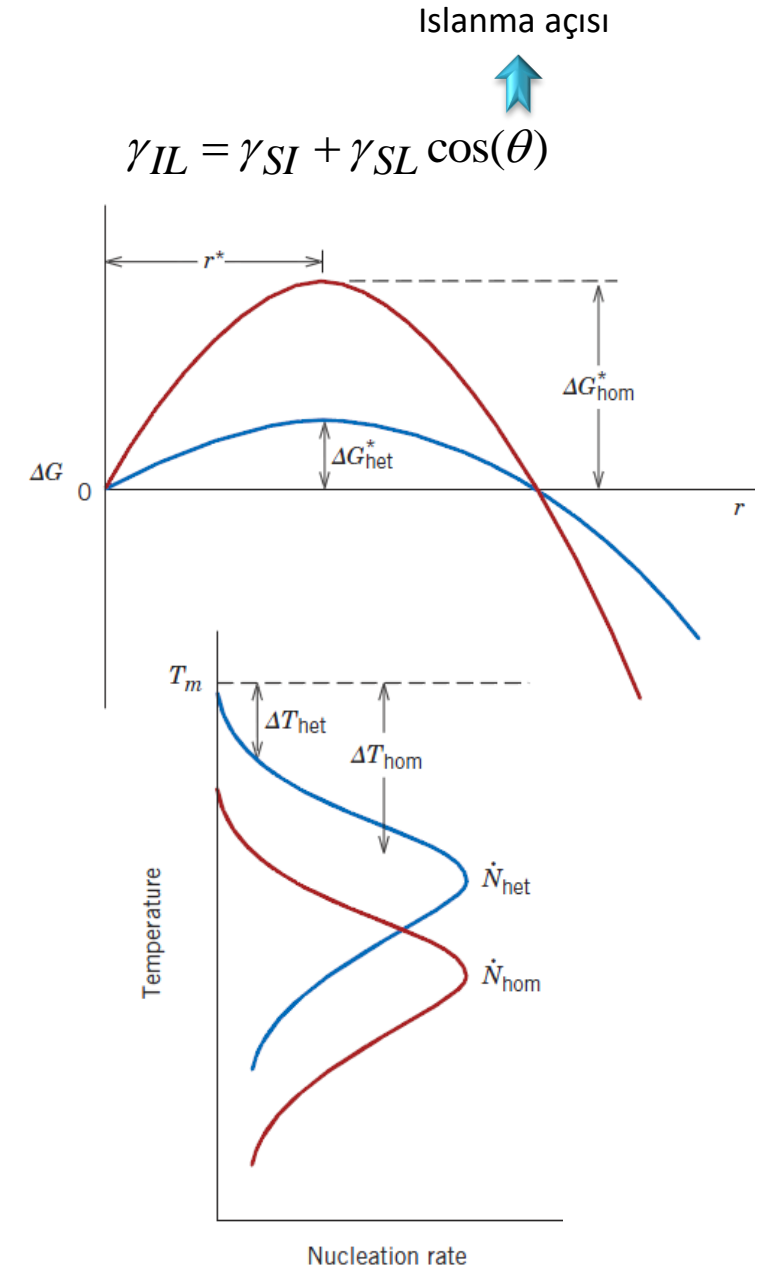


Ayrışık çekirdeklenme için:

Kritik çekirdek boyutu: $r^* = -\frac{2\gamma_{SL}}{\Delta G_v}$

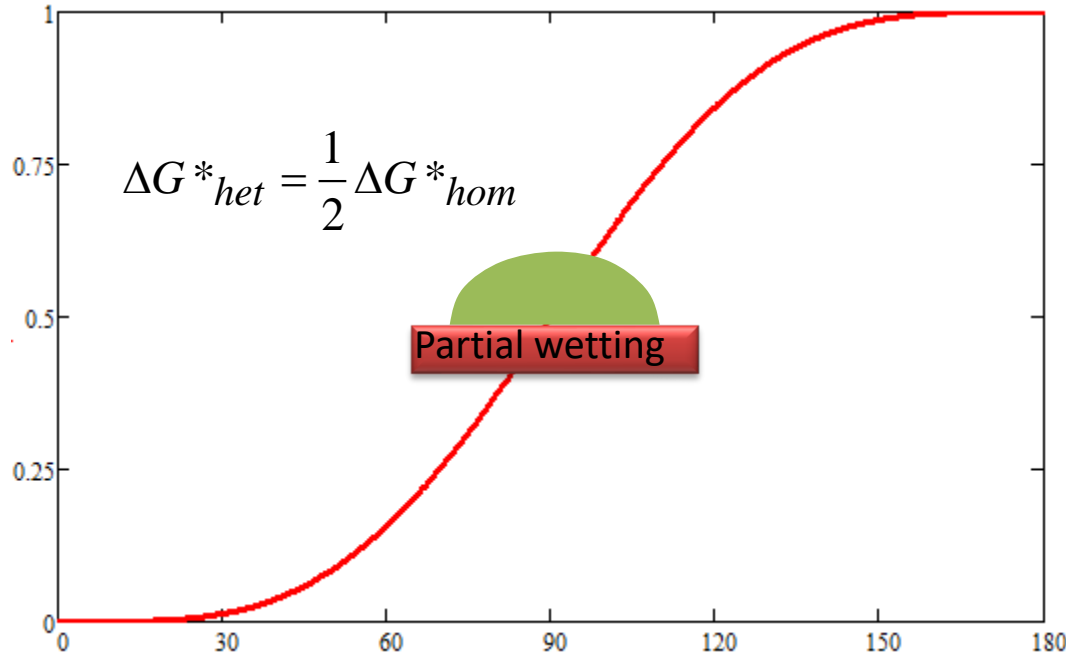
Aktivasyon serbest enerjisi: $\Delta G^*_{het} = -\frac{16\pi\gamma_{SL}^3}{3(\Delta G_v)^2} S(\theta)$

$\Rightarrow \Delta G^*_{het} = \Delta G^*_{hom} S(\theta)$



Ayrışik Çekirdeklenme

$$S(\theta) = \frac{\Delta G^*_{het}}{\Delta G^*_{hom}} = \frac{1}{4} \left(2 - 3 \cos(\theta) + \cos^3(\theta) \right)$$



$$\Delta G^*_{het} = \Delta G^*_{hom}$$



Küçük bir θ değeri nasıl elde edilir?

$$\cos(\theta) = \frac{\gamma_{IL} - \gamma_{SI}}{\gamma_{SL}}$$

$$\Delta G^*_{het} = 0$$



Düşük γ_{SI} değerli bir çekirdekleştirici madde seçmek

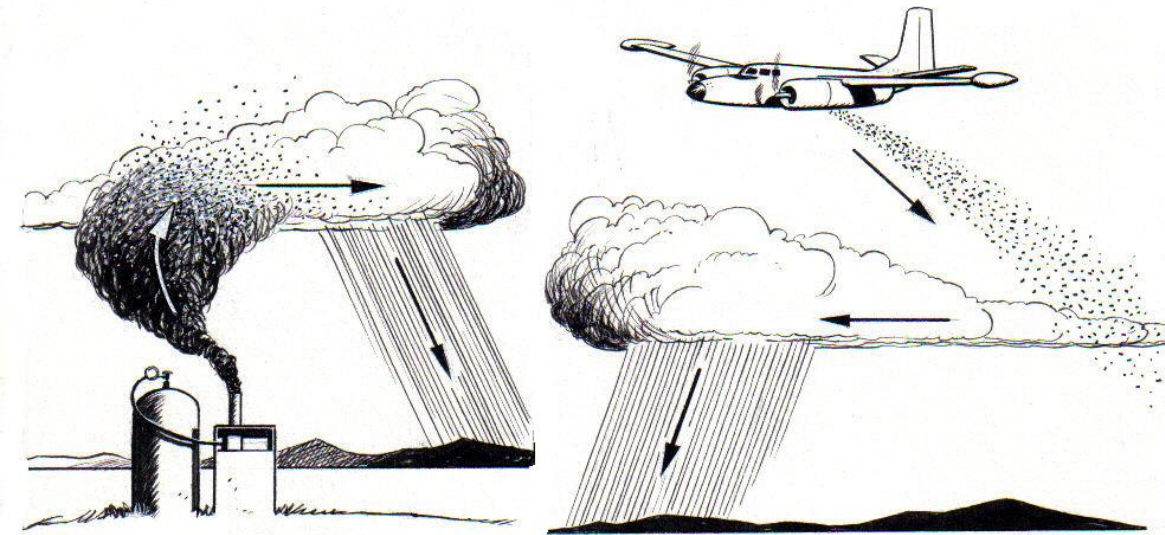
- (i) Altlık ile damlacığın kristal yapıları aynı/benzer olmalı
- (ii) kafes parametreleri mümkün olduğu kadar yakın olmalı

FAZ DÖNÜŞÜMLERİ

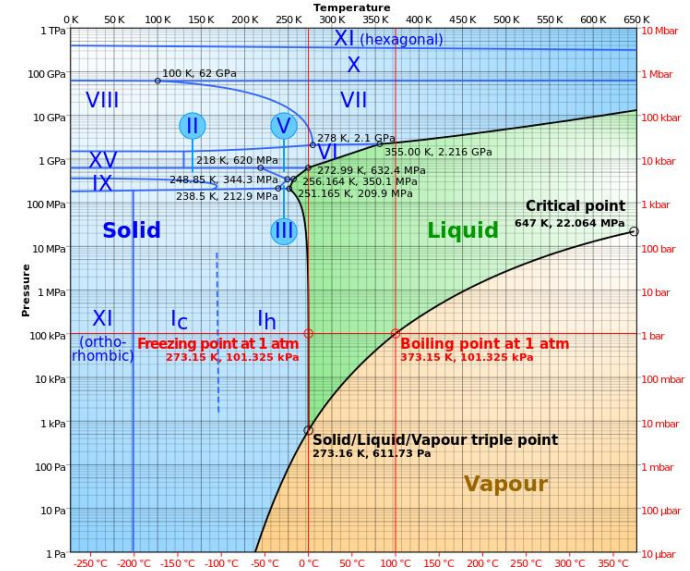
Soru:

Bir mühendis olarak, kuraklık koşullarına karşı mücadele etmek için bulut ekimi veya yapay yağmur için bir malzeme tasarlamamız / seçmeniz gerekiyor.

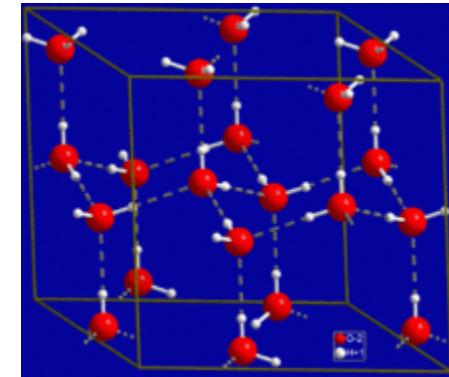
Şimdiye kadar öğrendiklerimize dayanarak tohum materyali seçim kriterleri hakkında konuşalım....



En yaygın kullanılan bulut tohumlama malzemeleri: gümüş iyodür, potasyum iyodür ve kuru buz (carbon dioxide).



P-T faz diyagramı H₂O



Normal altıgen kristalli buzun kristal yapısı

Büyüme (Growth)

Sistemdeki embriyolar kritik büyüklüğe ulaşıp kararlı çekirdeklere dönüştüğü zaman büyüme aşamasına başlar.

Çekirdeklenme ve büyüme sistem içerisinde eşzamanlı olmaya devam eder. Yeni faza dönüşmüş bölgelerde çekirdeklenme olmaz. Büyüme ise yeni faza dönüşmüş parçacıklar büyüyerek birbirleri ile karşılaştıklarında durur.

Aktivasyon enerjisi

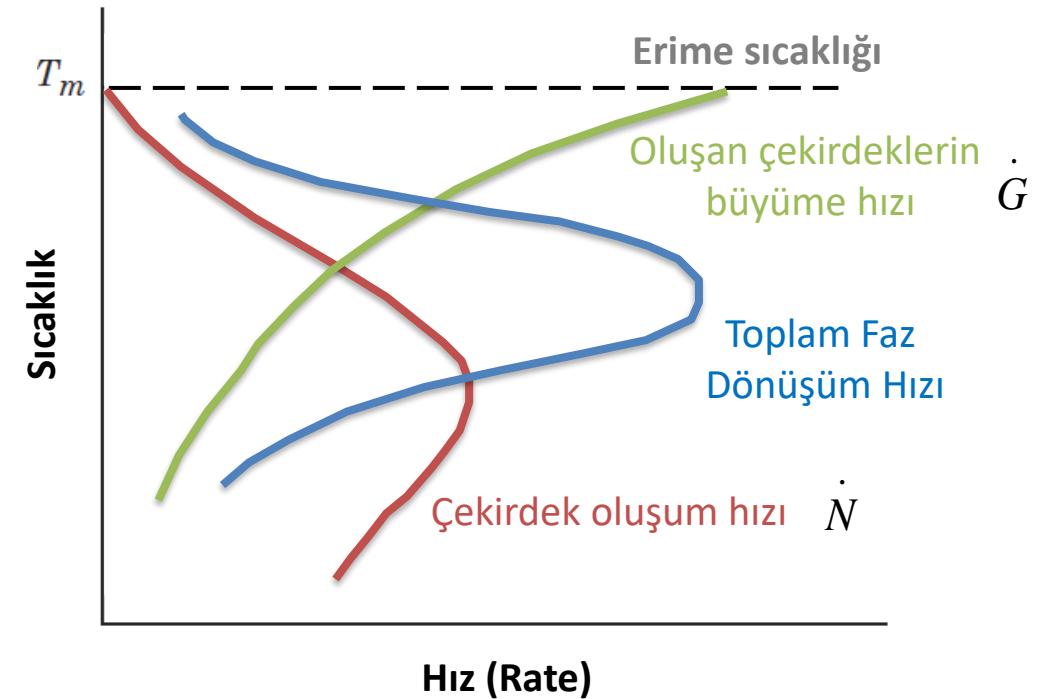
Büyüme Hızı: $\dot{G} = C \exp\left(-\frac{Q}{kT}\right)$

Yüksek sıcaklık (erime sıcaklığına yakın):

- düşük çekirdeklenme yüksek büyüme hızı
- büyük taneli kaba mikroyapı

Düşük sıcaklık (güçlü altsoğuma):

- yüksek çekirdeklenme düşük büyüme hızı
- küçük taneli ince mikroyapı



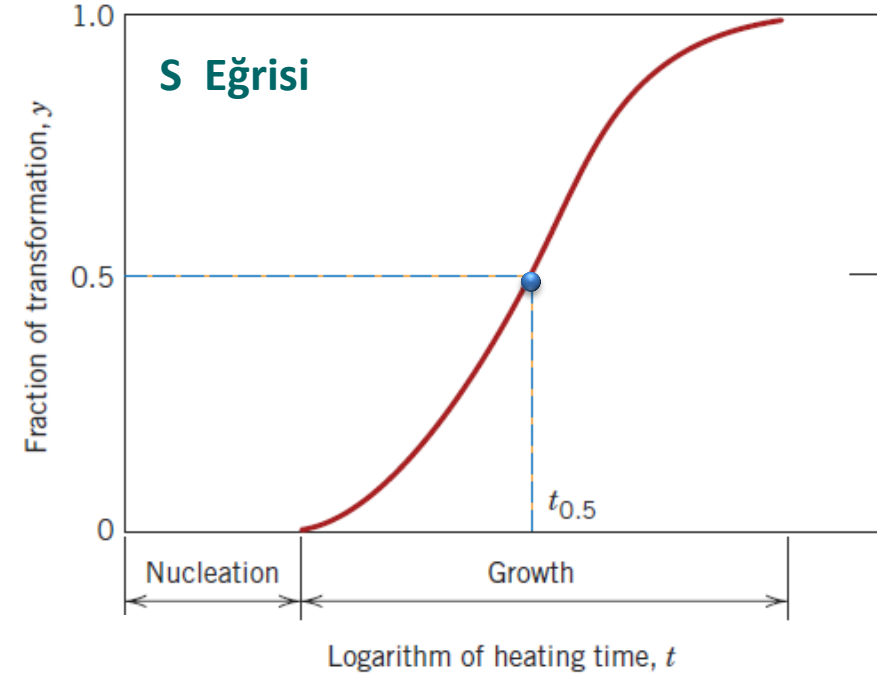
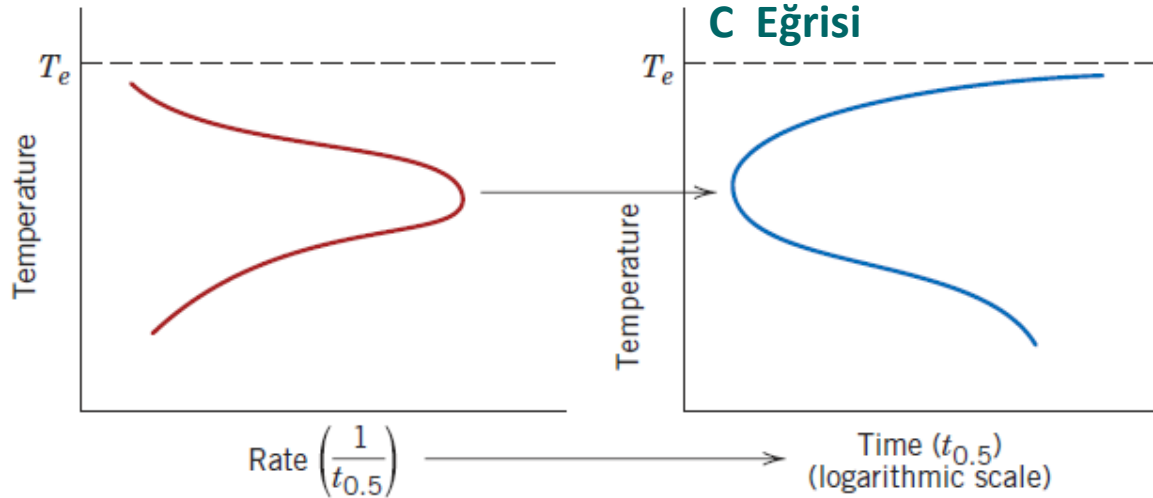
Faz Dönüşümlerinin Kinetiği

Faz dönüşümlerinin kinetiği incelenirken sabit sıcaklıkta reaksiyonun tamamlanma yüzdesi ölçülür.

Nasıl?

- Mikroskop ile gözlenir,
- Elektrik iletkenliği ölçülür.

Toplam Faz Dönüşüm Hızı: $\frac{1}{t_{0.5}}$



Avrami equation

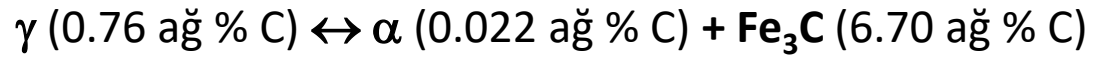
$$y = 1 - \exp(-kt^n)$$

Demir – Karbon alaşımlarında mikroyapı ve özellik değişimleri

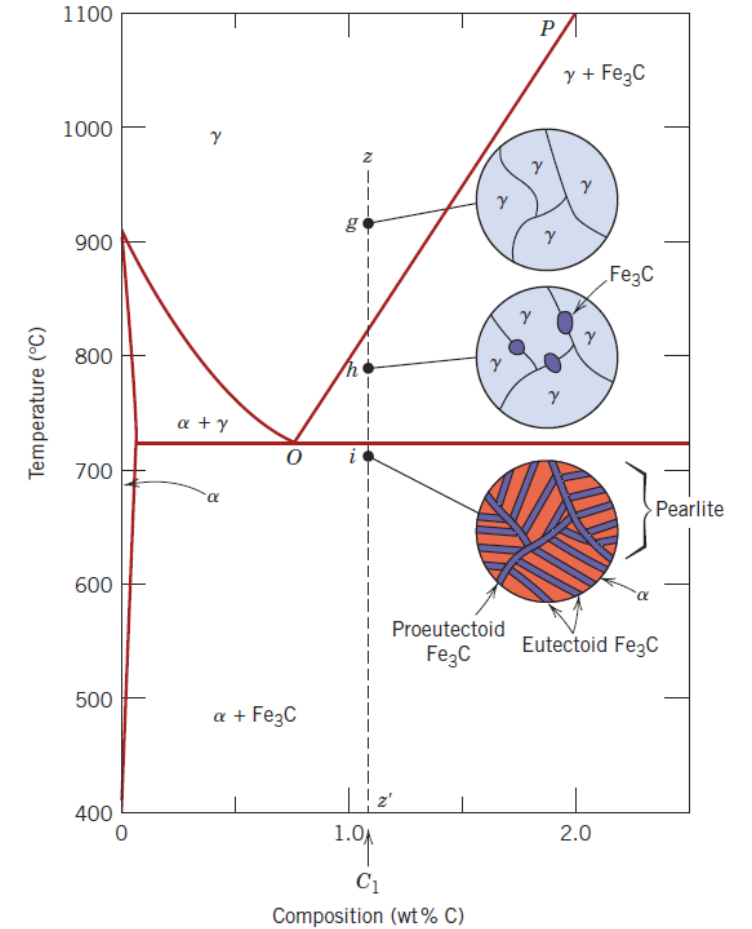
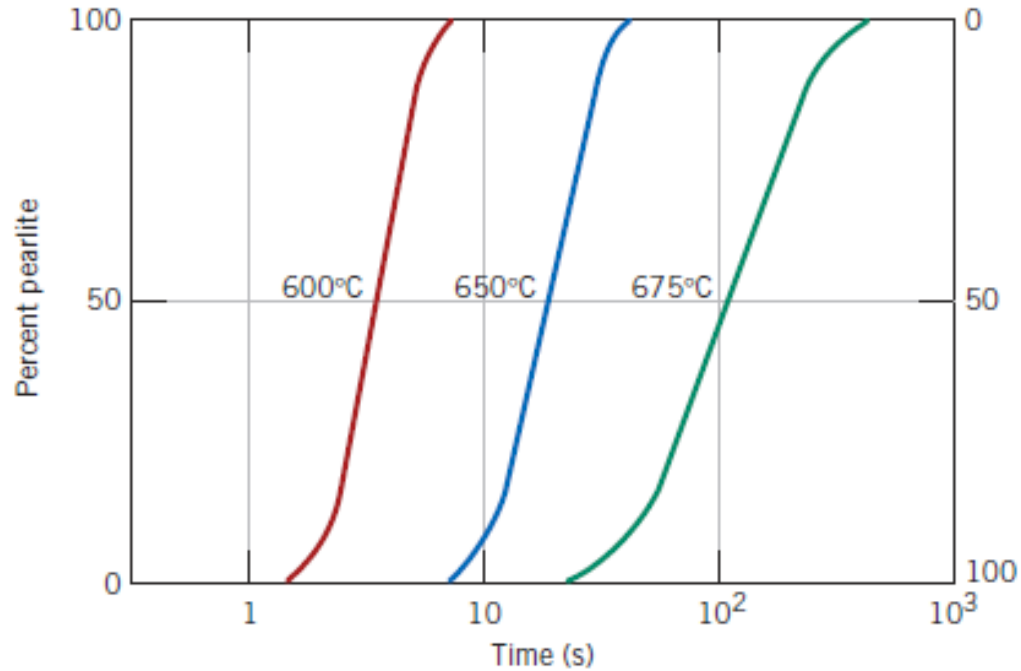
- Eşsıcaklık Dönüşüm Diyagramları (Isothermal Transformation Diagrams)
- Sürekli Soğuma Dönüşüm Diyagramları (Continuous Cooling Transformation Diagrams)

Eşsıcaklık Dönüşüm Diyagramları (Isothermal Transformation Diagrams)

Perlite (perlit):

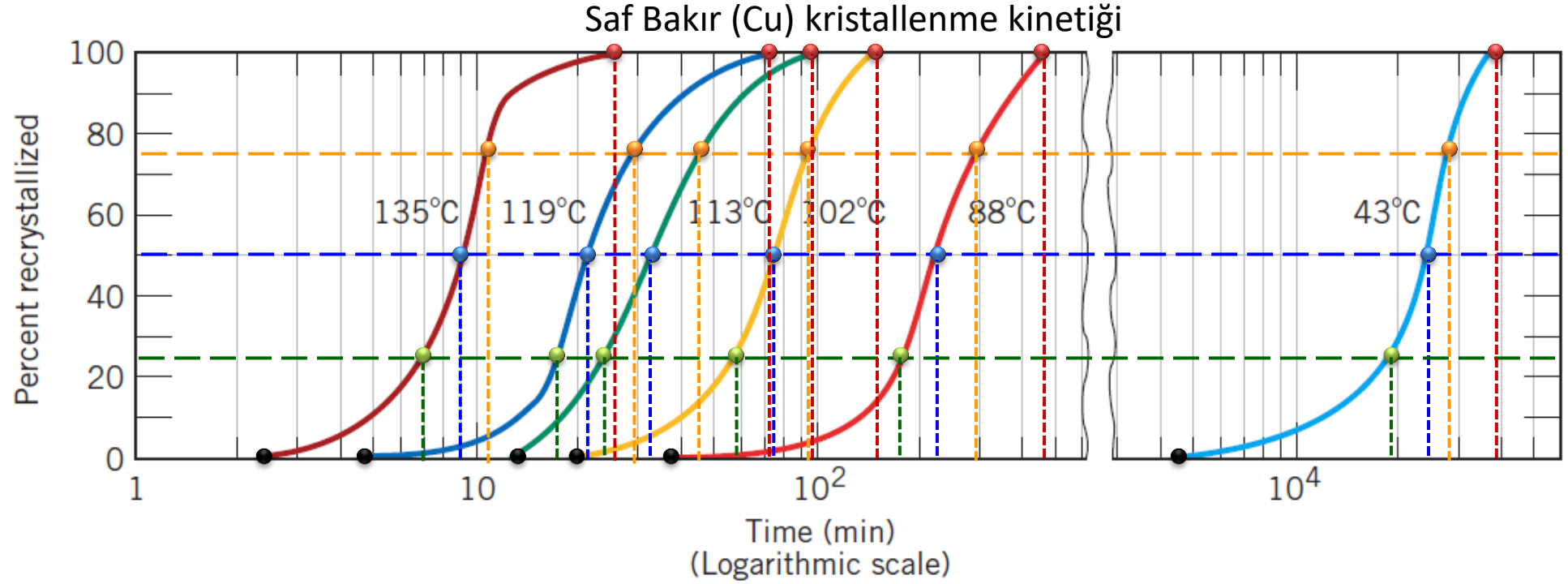


Sıcaklık östenit-perlit dönüşüm hızında önemli bir rol oynar:



Faz Dönüşümlerinin Kinetiği

Sıcaklığın faz dönüşüm kinetiği üzerinde çok büyük etkisi vardır.



Üst ısıtma / Alt soğutma (Superheating / supercooling):

Üst ısıtma ve alt soğutma dereceleri ısıtma ve soğutma hızı ile artar.

Yarı kararlı (metastable) fazlar çok hızlı sıcaklık değişiklikleri ile elde edilebilir.

Mikroyapı soğutma hızına bağlı olarak büyük değişiklikler gösterebilir.

FAZ DÖNÜŞÜMLERİ

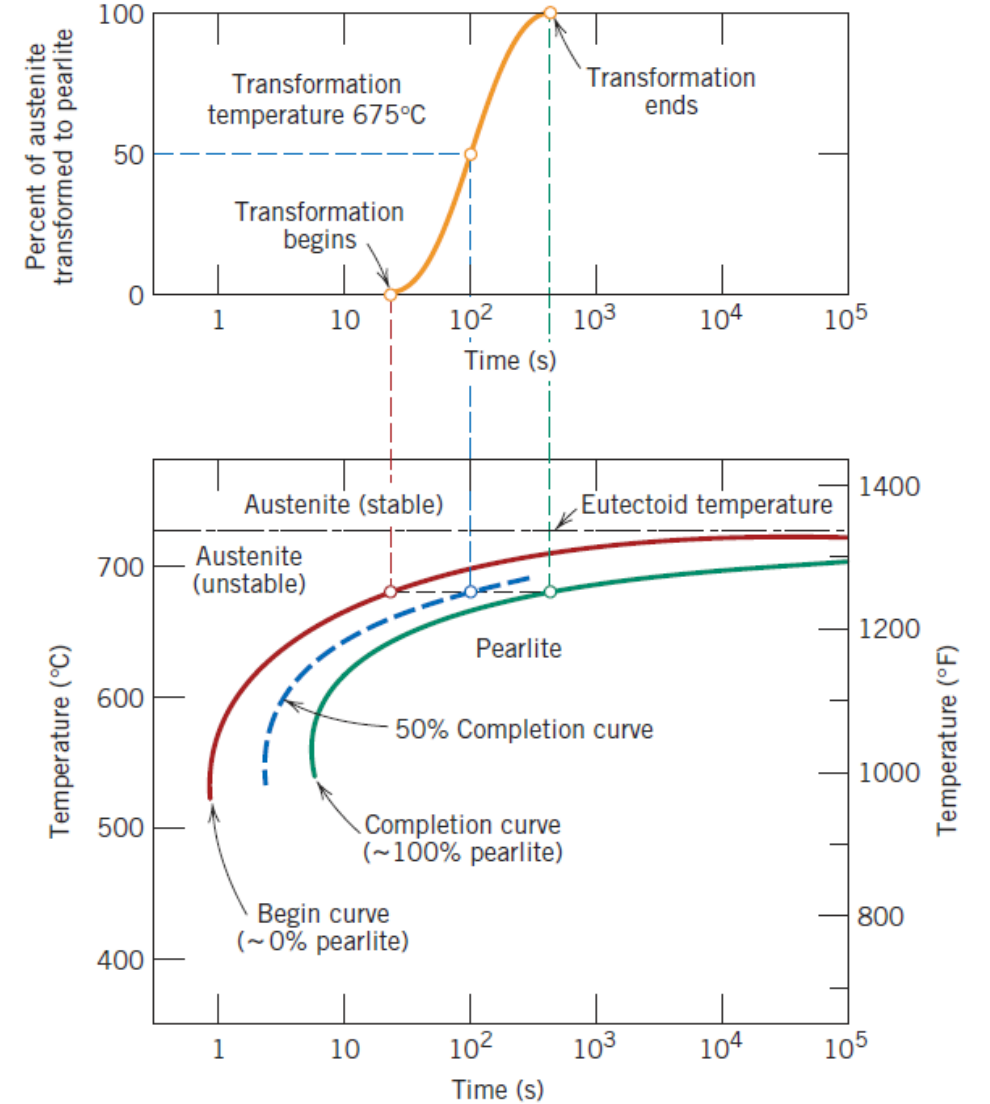
Eşsıcaklık Dönüşüm Diyagramları (Isothermal Transformation Diagrams)

TTT Diyagramları:
time–temperature–transformation

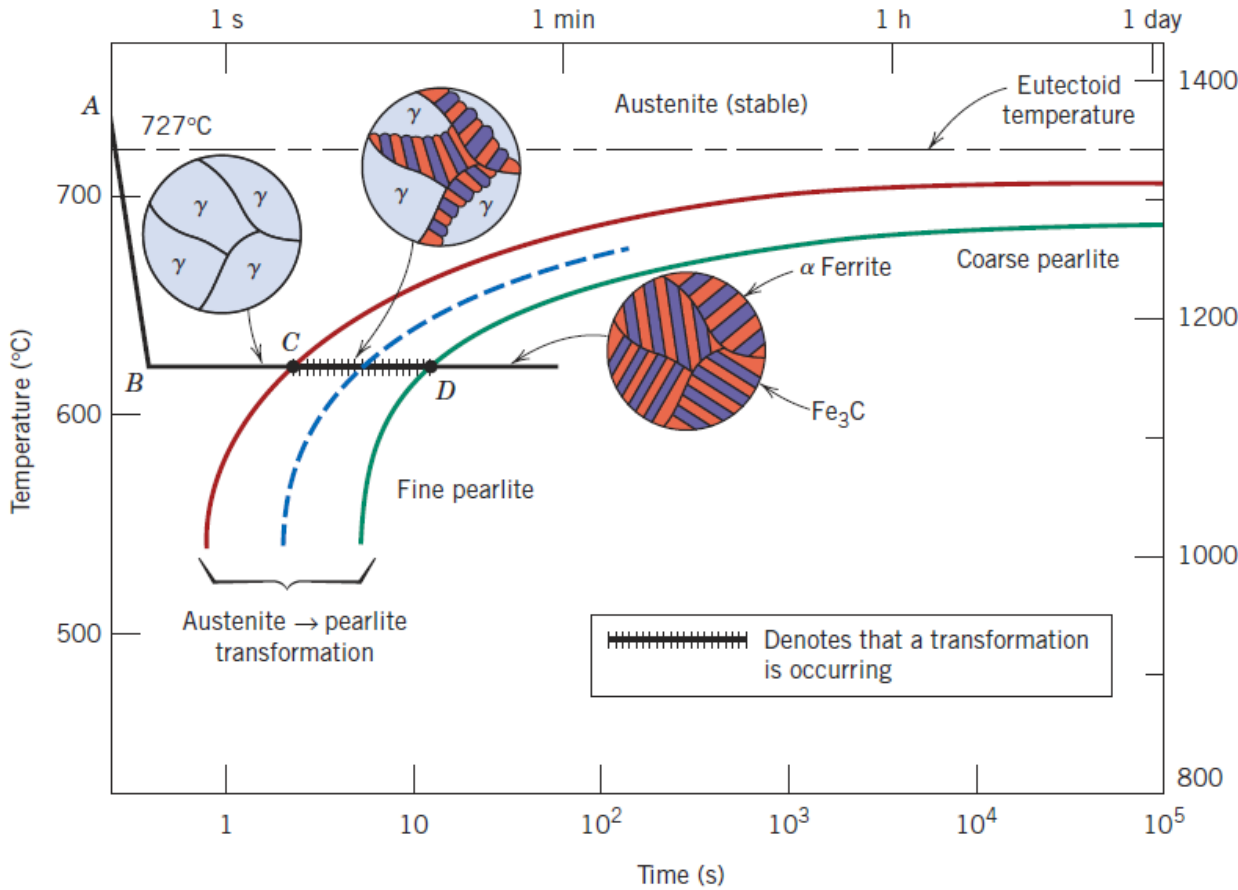
Toplam Faz Dönüşüm Hızı: $\frac{1}{t_{0.5}}$

Bu diyagram sadece ötektoid yapısına sahip bir demir-karbon alaşımı için geçerlidir. Diğer kompozisyonlar için TTT eğrileri farklıdır.

Bu diyagram sadece sıcaklık belirtilen dönüşüm sıcaklığında sabit tutulduğu takdirde yani eşsıcaklık dönüşümleri için geçerlidir.

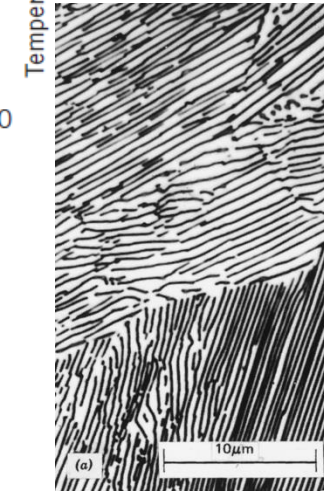


Ötektoid Demir – Karbon Alaşımlarında TTT Diyagramı



Perlit için denge soğutmasında ferrit sementit kalınlık oranı 8/1 .

Bu oran aslında eşdönüşüm sıcaklığına bağlıdır.



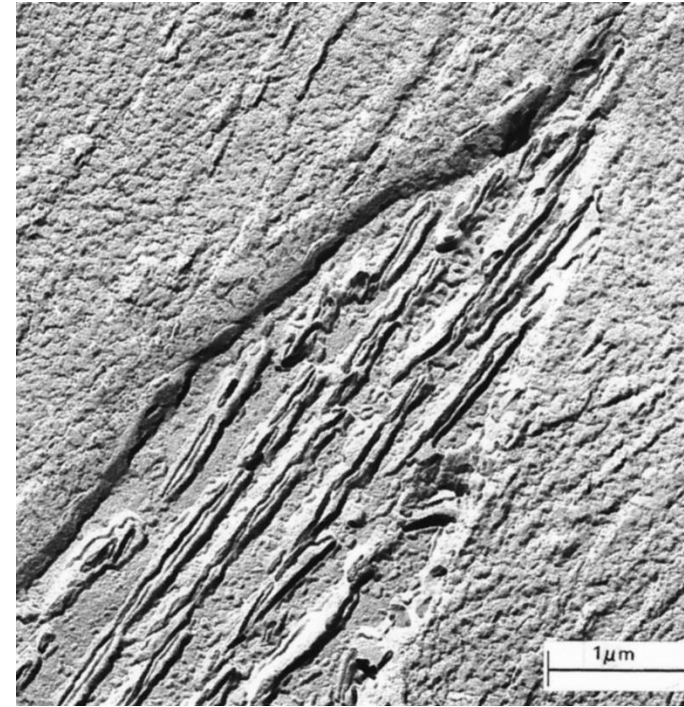
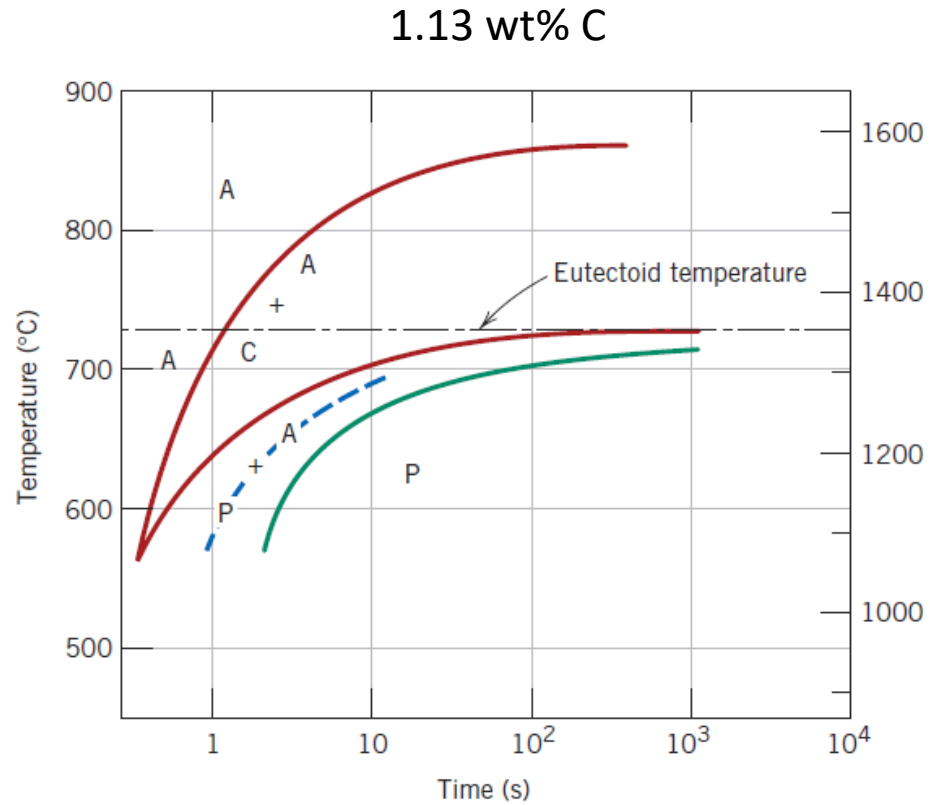
Kaba perlit



İnce perlit

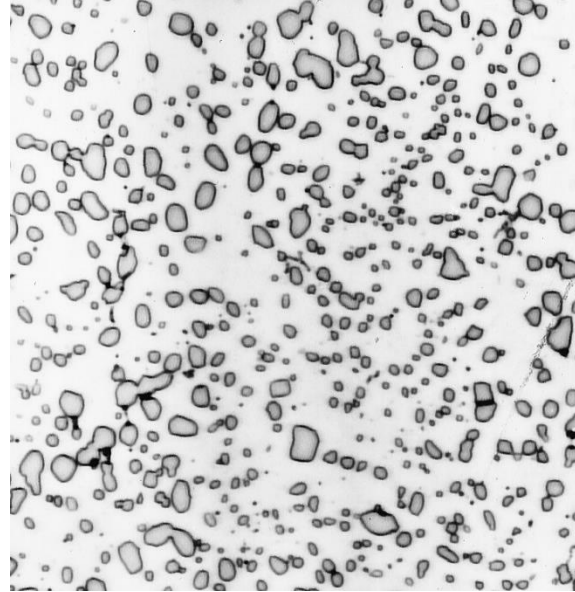
Ötektoid Olmayan Demir – Karbon Alaşımlarında TTT Diyagramı

Beynit (Bainite):

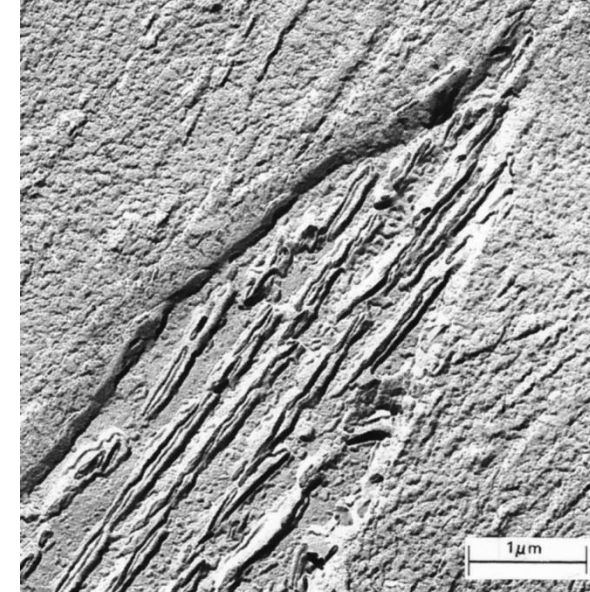




Martenzit (Martensite)

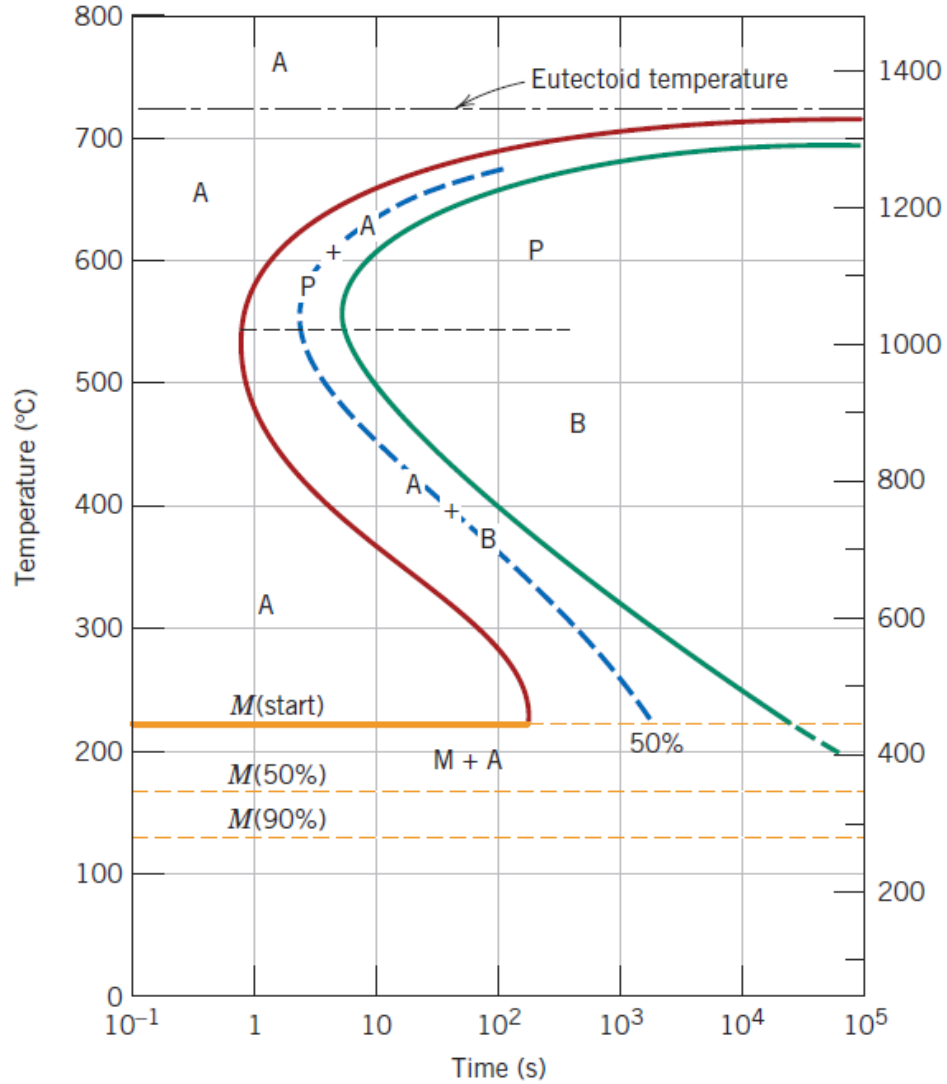


Küresel (Spheroidite)



Beynit (Bainite)

Ötektoid Fe – C Alaşımı



Ötektoid Olmayan Fe – C Alaşımı

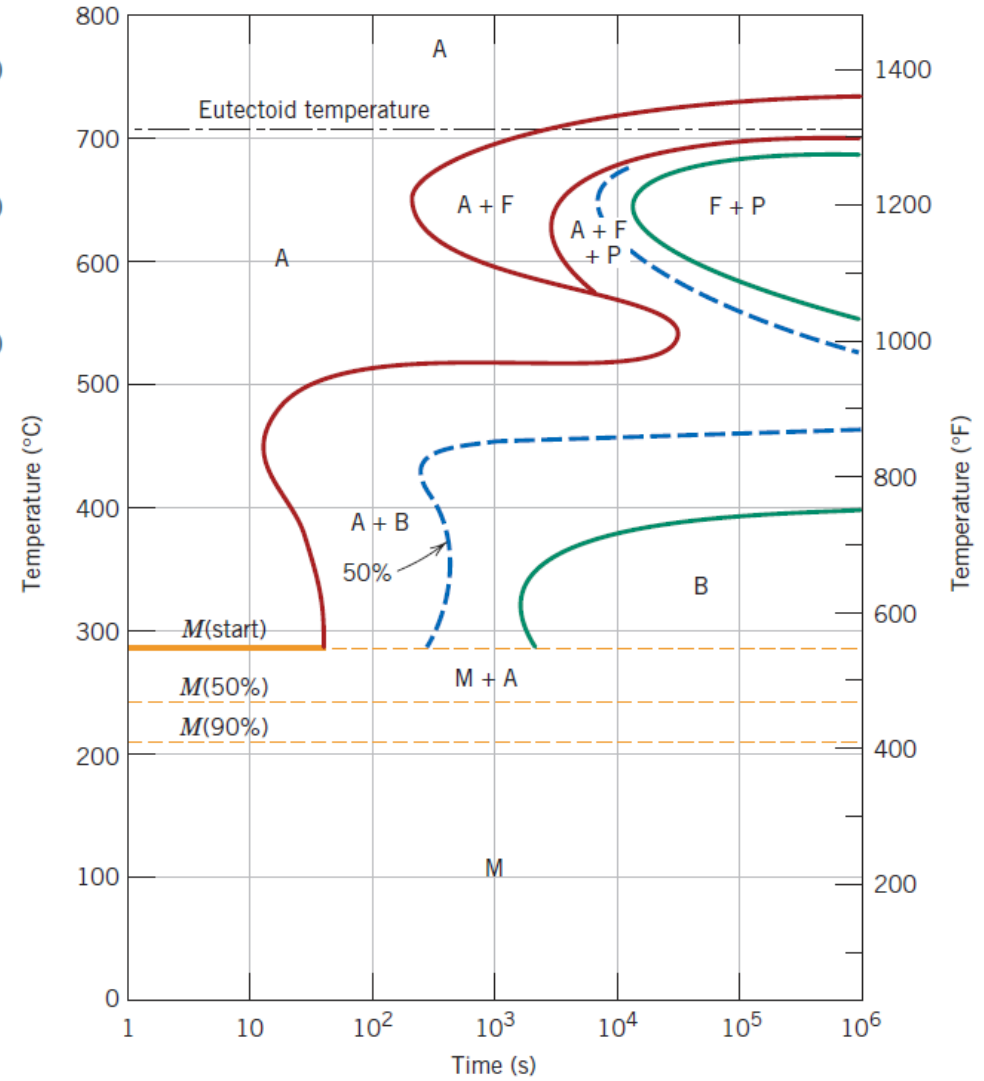


Table 10.2 Summary of Microstructures and Mechanical Properties for Iron–Carbon Alloys

<i>Microconstituent</i>	<i>Phases Present</i>	<i>Arrangement of Phases</i>	<i>Mechanical Properties (Relative)</i>
Spheroidite	α Ferrite + Fe ₃ C	Relatively small Fe ₃ C sphere-like particles in an α -ferrite matrix	Soft and ductile
Coarse pearlite	α Ferrite + Fe ₃ C	Alternating layers of α ferrite and Fe ₃ C that are relatively thick	Harder and stronger than spheroidite, but not as ductile as spheroidite
Fine pearlite	α Ferrite + Fe ₃ C	Alternating layers of α ferrite and Fe ₃ C that are relatively thin	Harder and stronger than coarse pearlite, but not as ductile as coarse pearlite
Bainite	α Ferrite + Fe ₃ C	Very fine and elongated particles of Fe ₃ C in an α -ferrite matrix	Hardness and strength greater than fine pearlite; hardness less than martensite; ductility greater than martensite
Tempered martensite	α Ferrite + Fe ₃ C	Very small Fe ₃ C sphere-like particles in an α -ferrite matrix	Strong; not as hard as martensite, but much more ductile than martensite
Martensite	Body-centered tetragonal, single phase	Needle-shaped grains	Very hard and very brittle

FAZ DÖNÜŞÜMLERİ

Soru

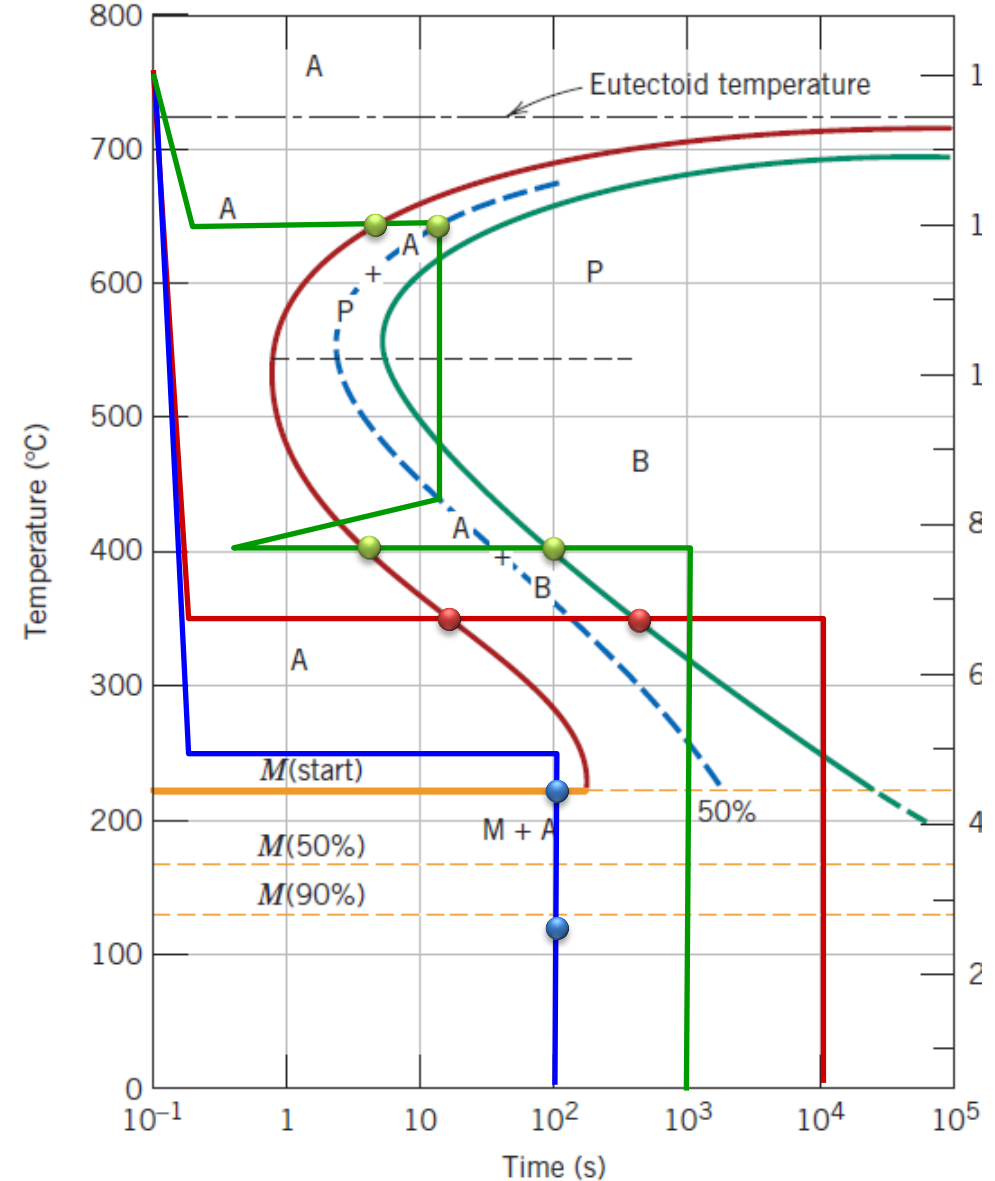
Aşağıdaki TTT Diyagramını kullanarak 760°C uzun süre bekletildikten sonra

- 350°C'ye hızla soğutulan ve 10^4 saniye bekletildikten sonra oda sıcaklığına aniden soğutulan,
- 250°C'ye hızla soğutulan ve 100 saniye bekletildikten sonra oda sıcaklığına aniden soğutulan,
- 650°C'ye hızla soğutulup 20 saniye bekletildikten sonra 400°C'ye hızla soğutulan ve 1000 saniye bekletilip oda sıcaklığına aniden soğutulan,

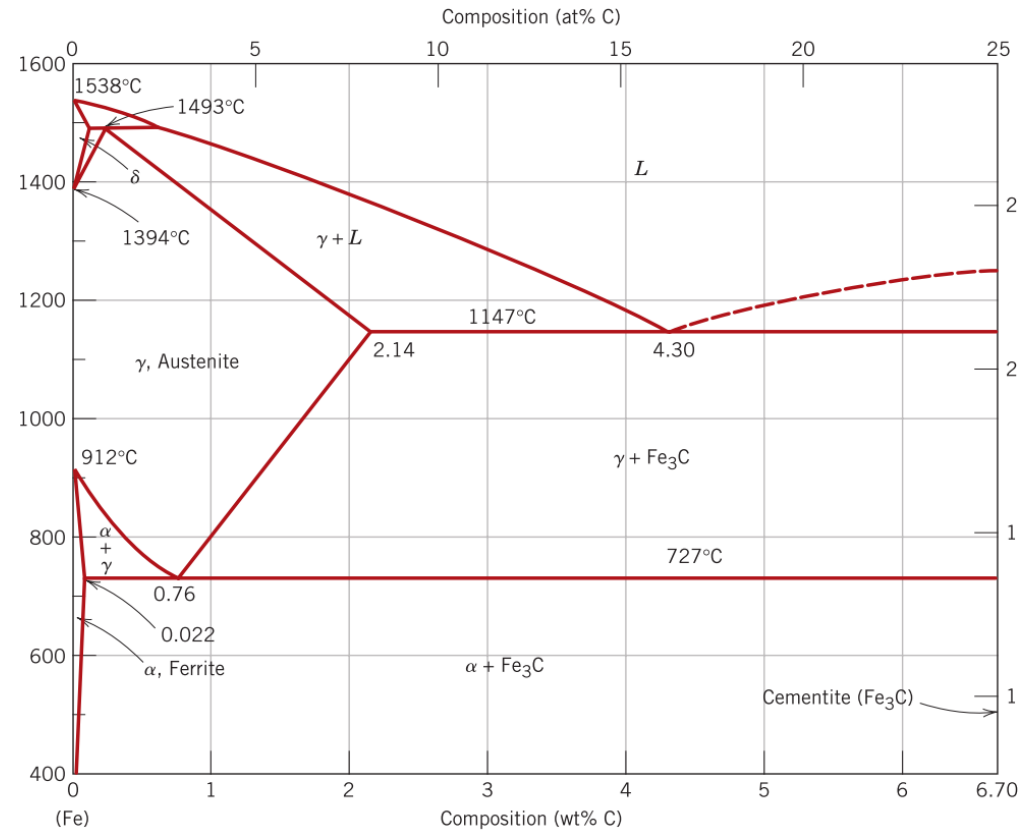
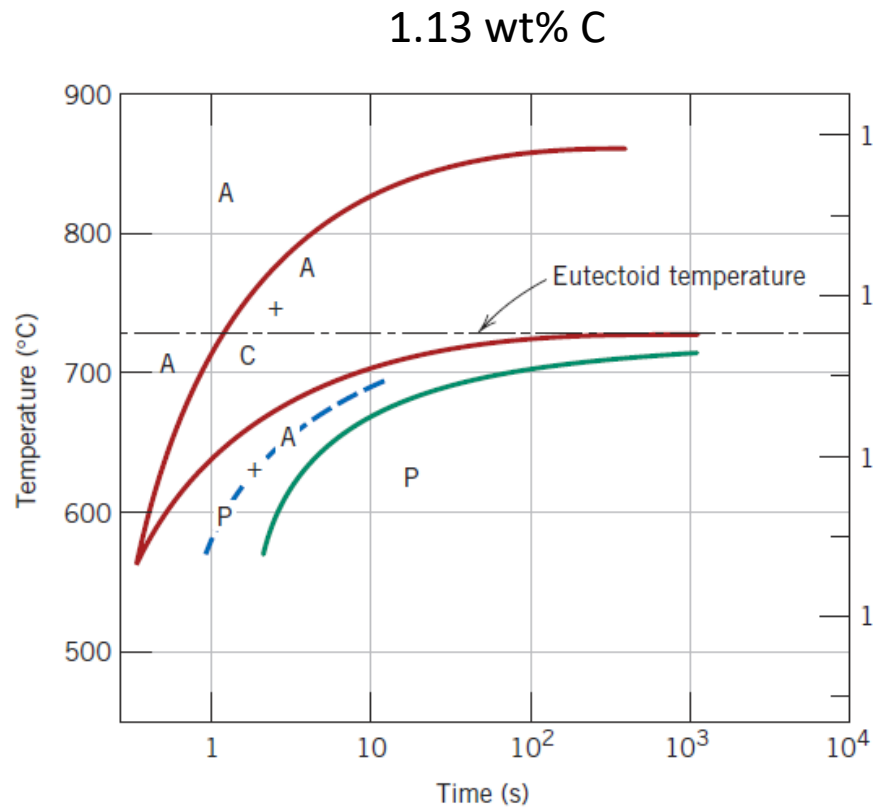
ötektoid çelik için hangi yapılar olduğunu ve bu yapıların yaklaşık yüzdelerini bulunuz.

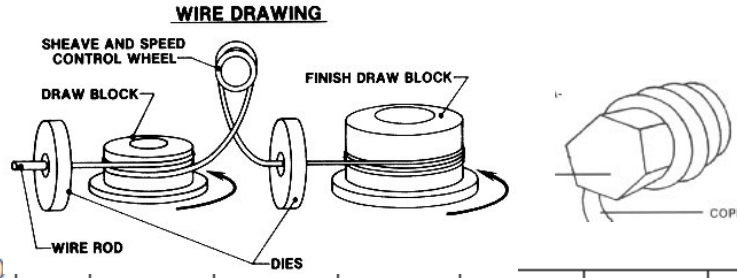
Cevap

- 100 % beyrit
- 100 % martenzit
- 50 % perlit + 50 % beyrit

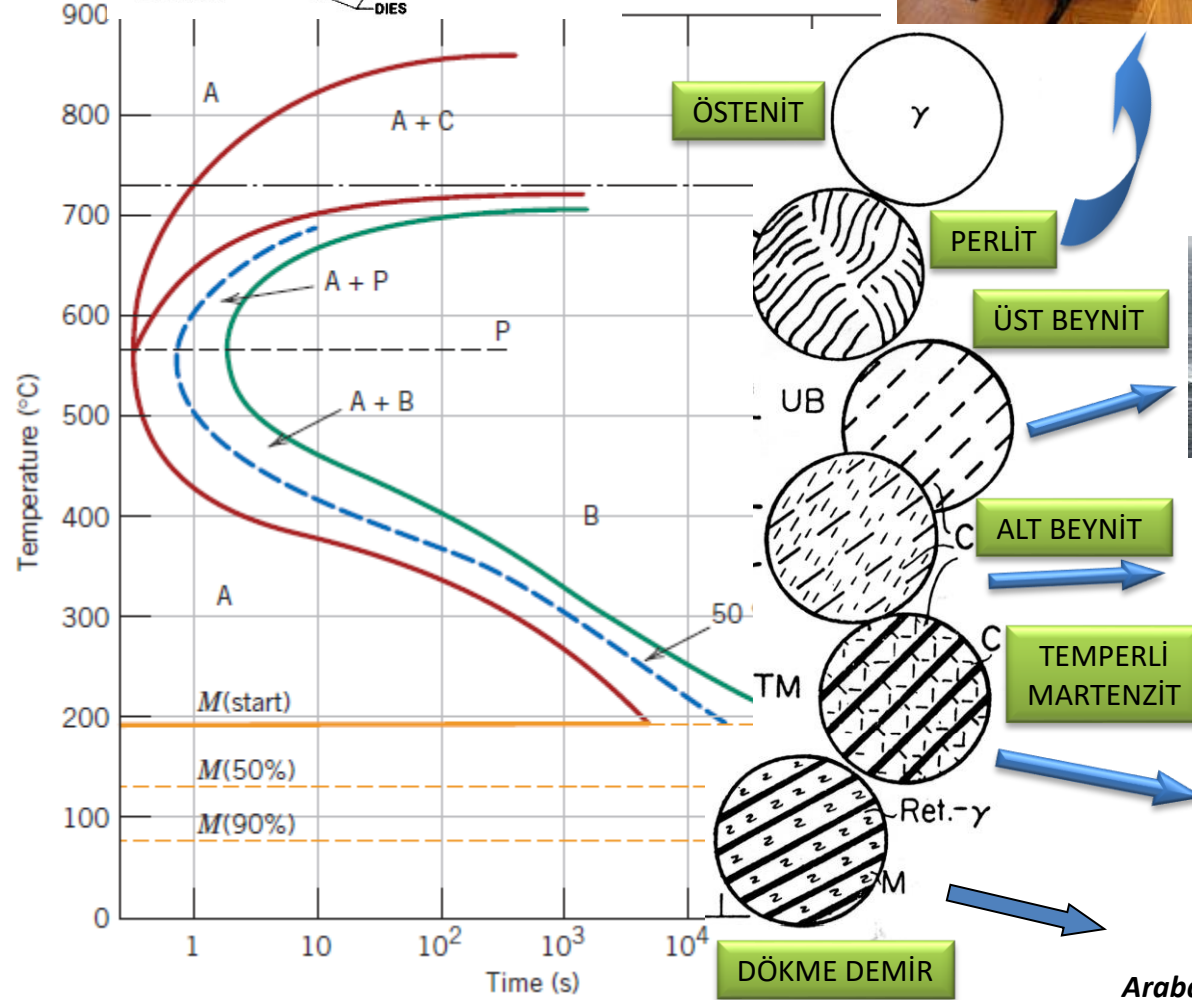
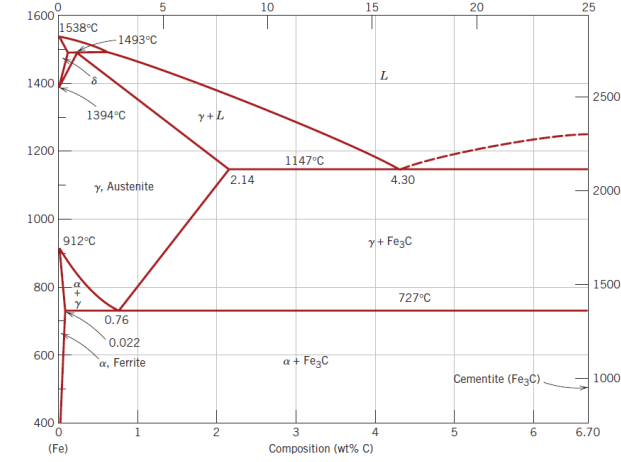


Ötektoid Olmayan Demir – Karbon Alaşımlarında TTT Diyagramı





Demir-Karbon Faz Diyagramı



Bina Yapımı



Köprüler



Araba Şase ve Motoru



Demir – Karbon alaşımlarında mikroyapı ve özellik değişimleri

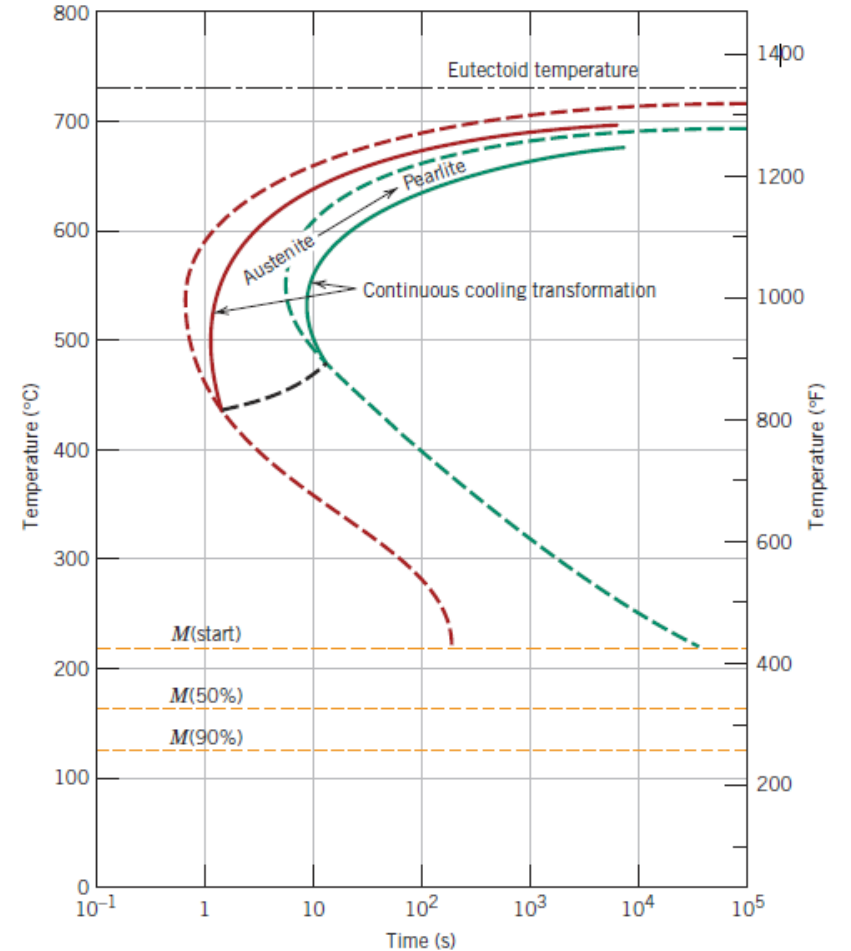
- Eşsıcaklık Dönüşüm Diyagramları (Isothermal Transformation Diagrams)
- Sürekli Soğuma Dönüşüm Diyagramları (Continuous Cooling Transformation Diagrams)

Sürekli Soğuma Dönüşüm Diyagramları (Continuous Cooling Transformation Diagrams)

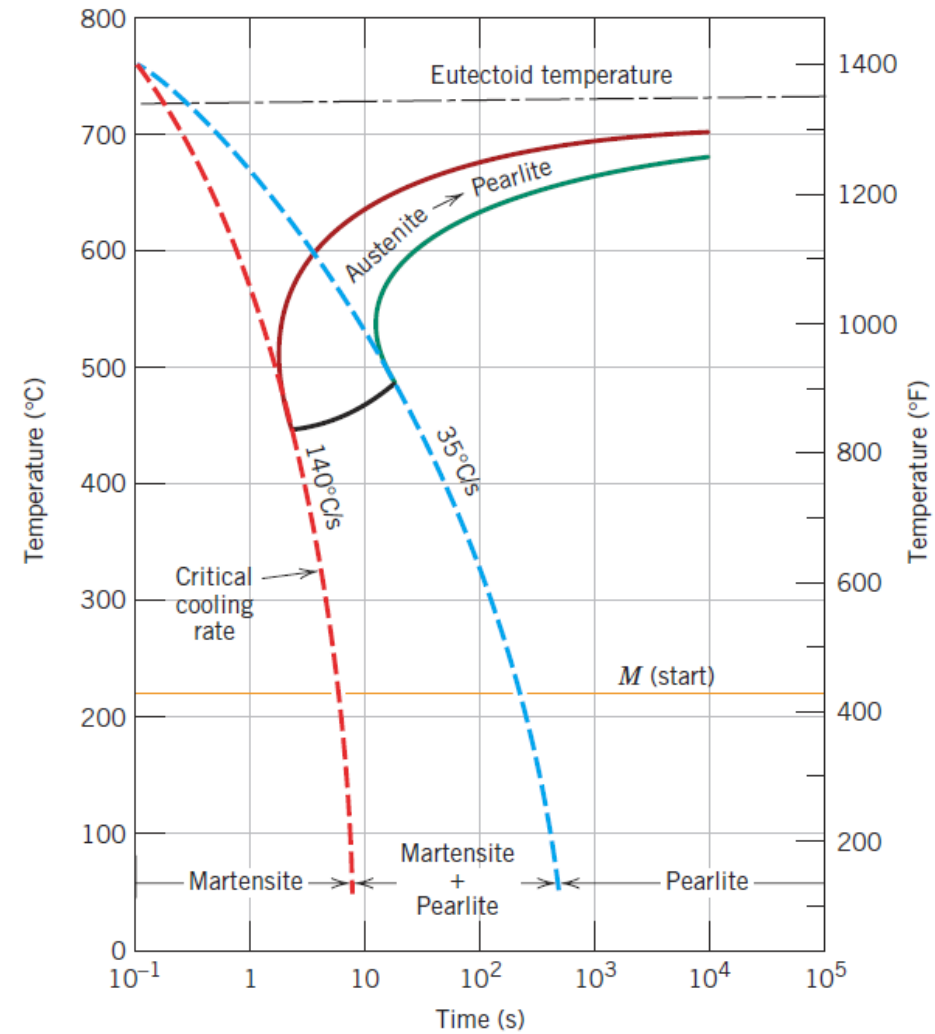
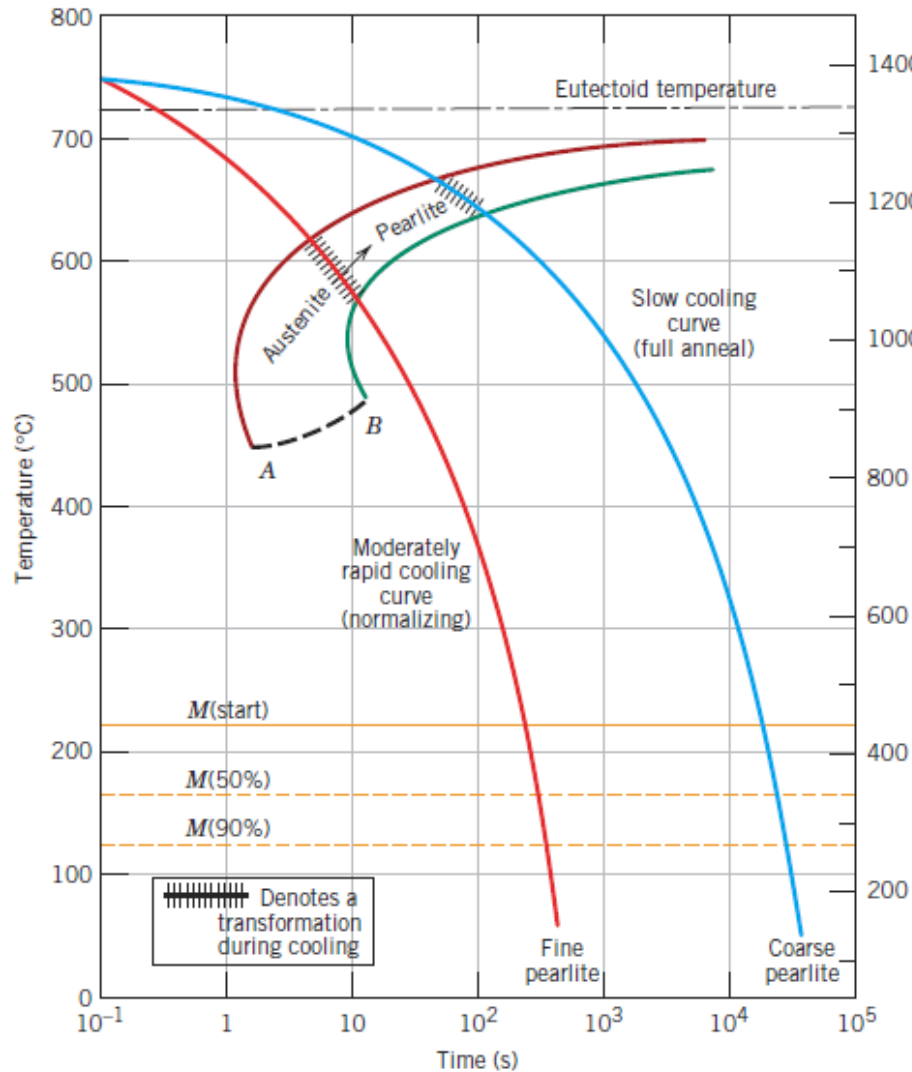
Eşsıcaklık ısıt işlemleri gerçekte çok pratik değildir. Sıcaklığın hızlı bir şekilde belirli bir sıcaklığa düşürülerek bu sıcaklıkta tutulması yerine, oda sıcaklığına kadar belirli bir hız ile düşürülmesi daha kolay ve pratik bir yöntemdir.

Sürekli soğuma dönüşümlerinde reaksiyonun başlama ve bitme süreleri daha geç olur.

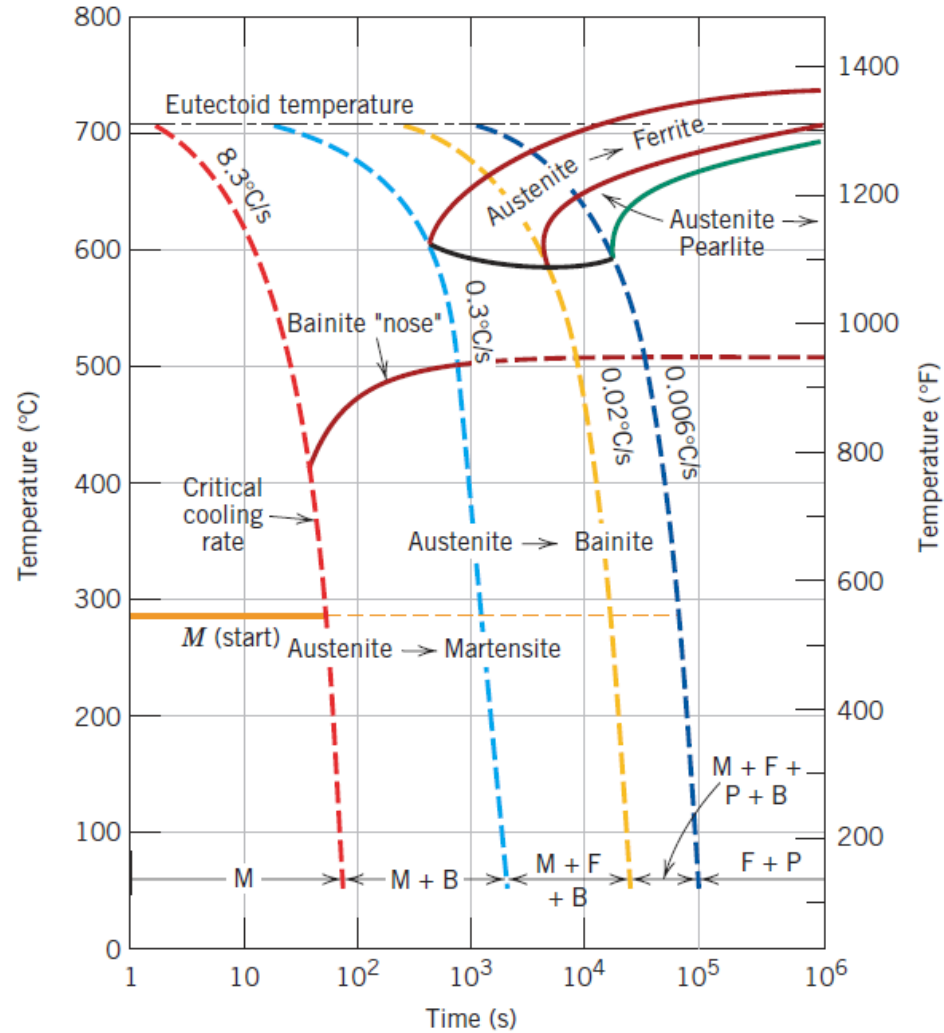
*CCT Diyagramları:
continuous-cooling-transformation*



CCT Diyagramları: continuous-cooling-transformation



Alaşım elementlerinin CCT Diyagramları üzerindeki etkisi:



C ve diğer alaşım elementleri perlit ve beyrit burunlarını daha uzun zamanlara doğru kaydırır.

C oranı % 0.25'den daha küçük olan alaşımlarda genellikle martenzit fazı elde edilmeye çalışılmaz. Çünkü bu işlem çok yüksek soğutma hızları gerektirir.

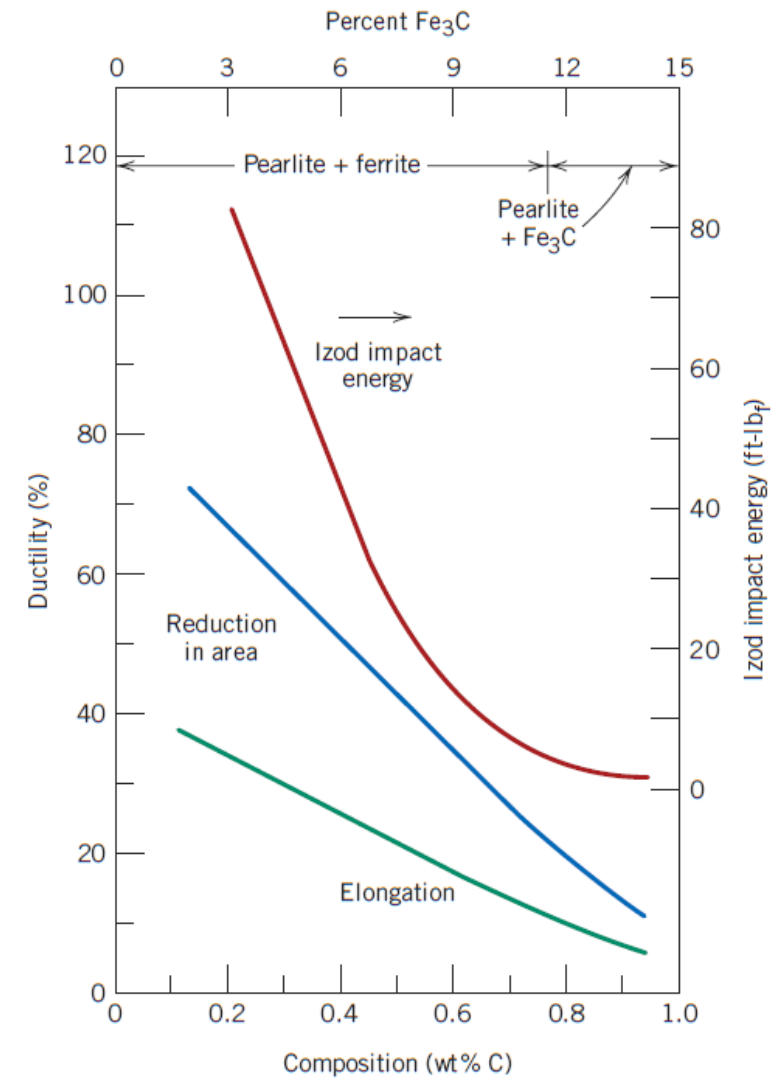
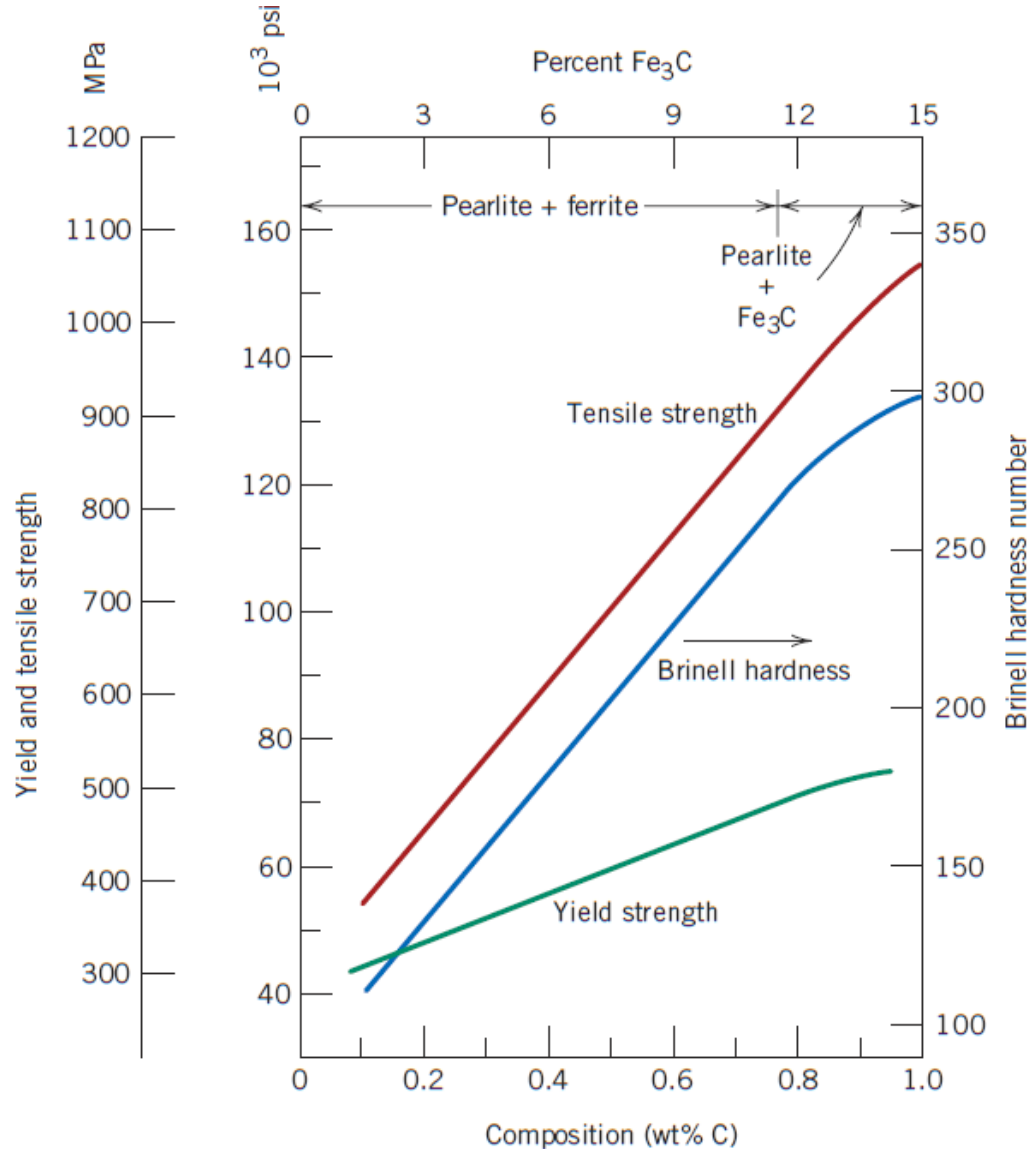
Kritik soğutma oranı düşer.

Martenzit fazı daha kalın parçalarda da elde edilebilir.

Sürekli soğutma ile de beyrit fazı elde edilmesi sağlanır.

Demir-Karbon Alaşımlarının Mekanik Özellikleri:

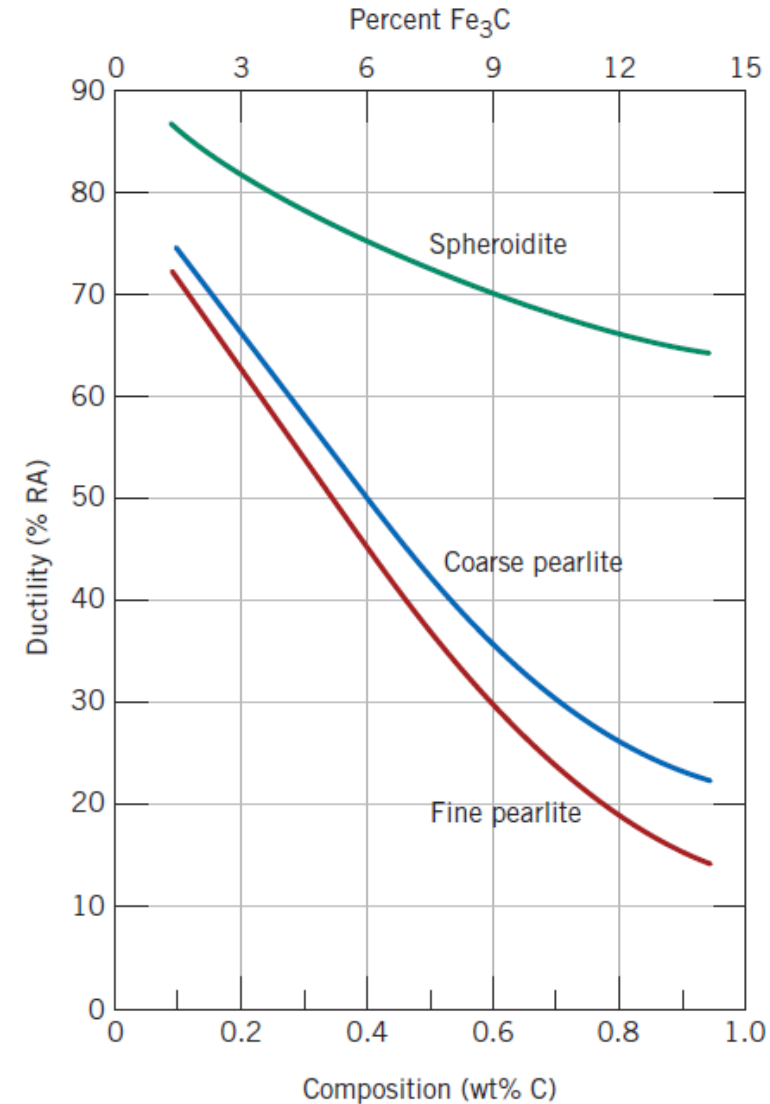
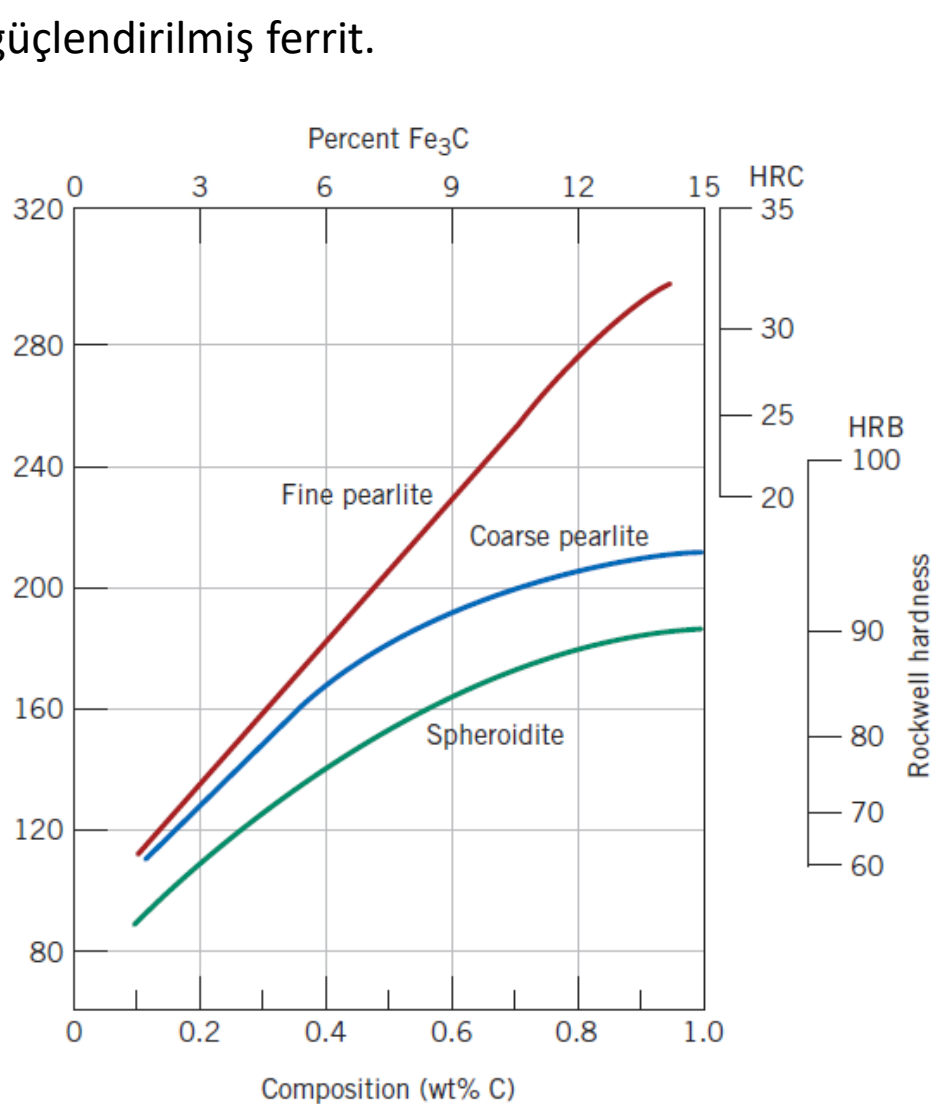
Sementit ferrite göre çok daha sert ve aynı zamanda gevrek (kırılgan) bir fazdır.



FAZ DÖNÜŞÜMLERİ

Sistemdeki C oranına ek olarak sementit ve ferrit fazlarının tabaka kalınlıklarında perlit fazının mekanik özelliklerini etkiler.

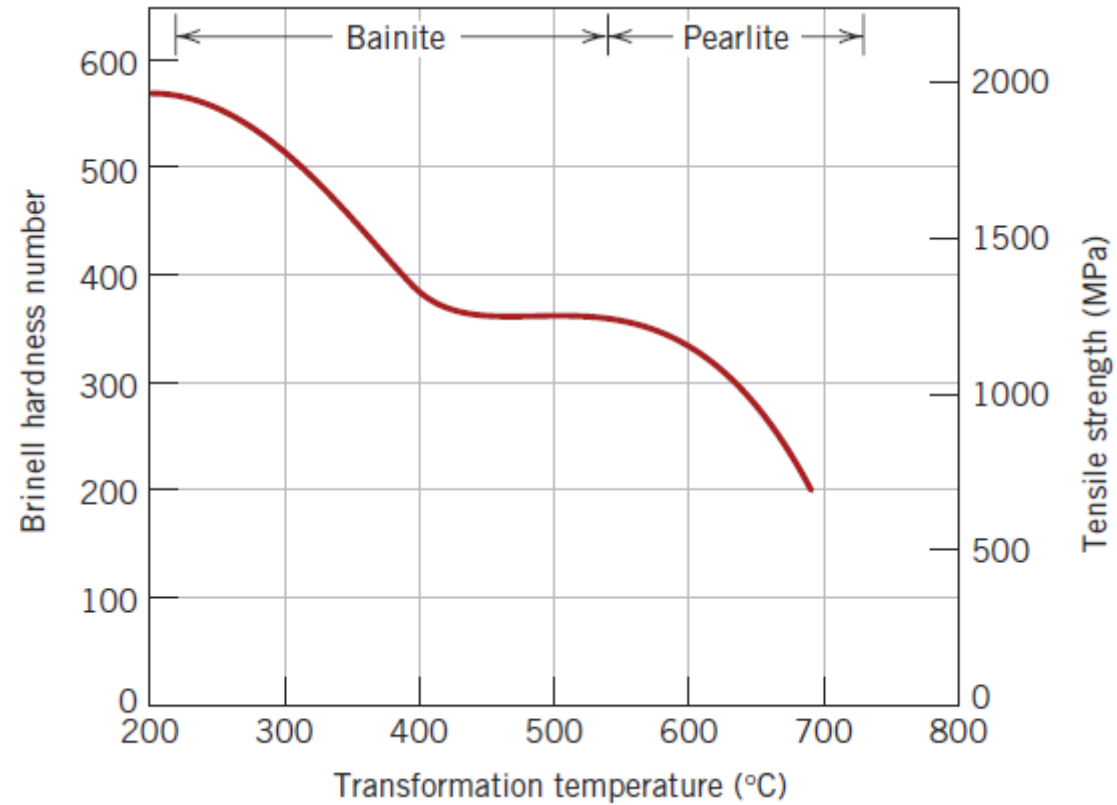
Sementit ile güçlendirilmiş ferrit.



FAZ DÖNÜŞÜMLERİ

Beynit fazı daha küçük/ince bir yapıya sahiptir. Bu nedenle perlit fazına göre daha dayanıklı ve serttir.

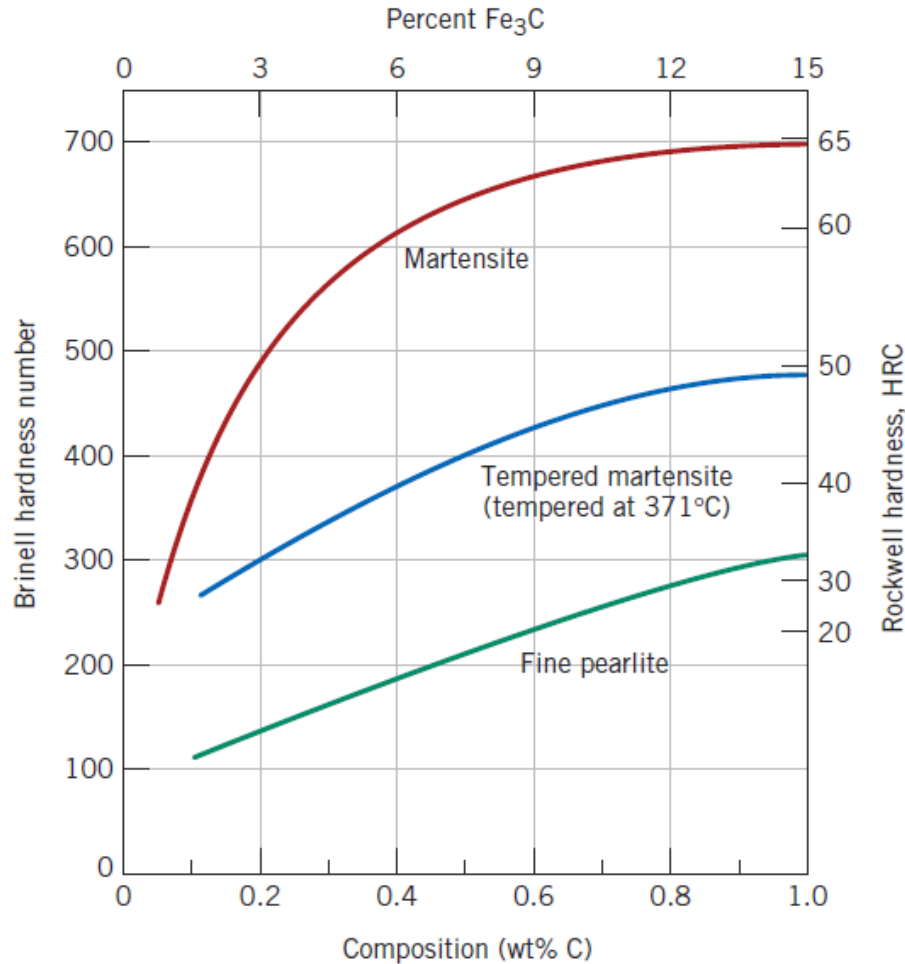
Genelde oldukça iyi dayanım ve süneklik kombinasyonu verir.



FAZ DÖNÜŞÜMLERİ

Çelik fazları içerisinde en sağlam en sert ve aynı zamanda sünekliği en az olan faz martenzit fazıdır.

Östenit fazına göre yoğunluğu biraz daha azdır.



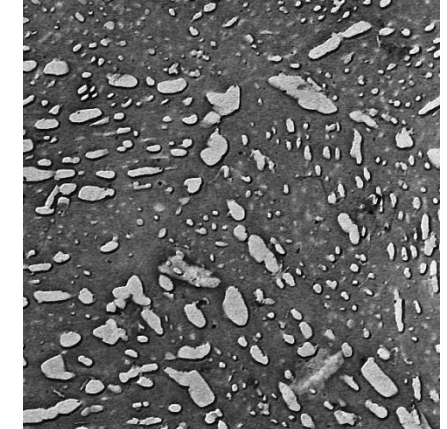
Menevişleme (Temperleme): Martenzitin süneklik ve tokluğunun içerisinde bulunan artık gerilimleri kaldıran bir ısıl işlem ile artırılmasına denir.

250°C – 650°C

Martenzit
BCT

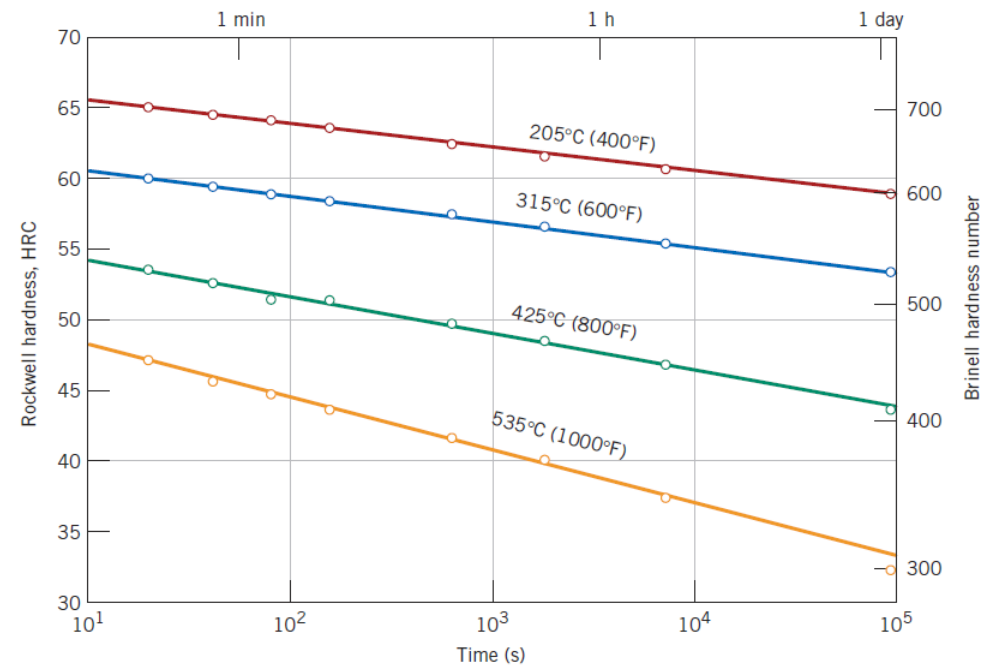
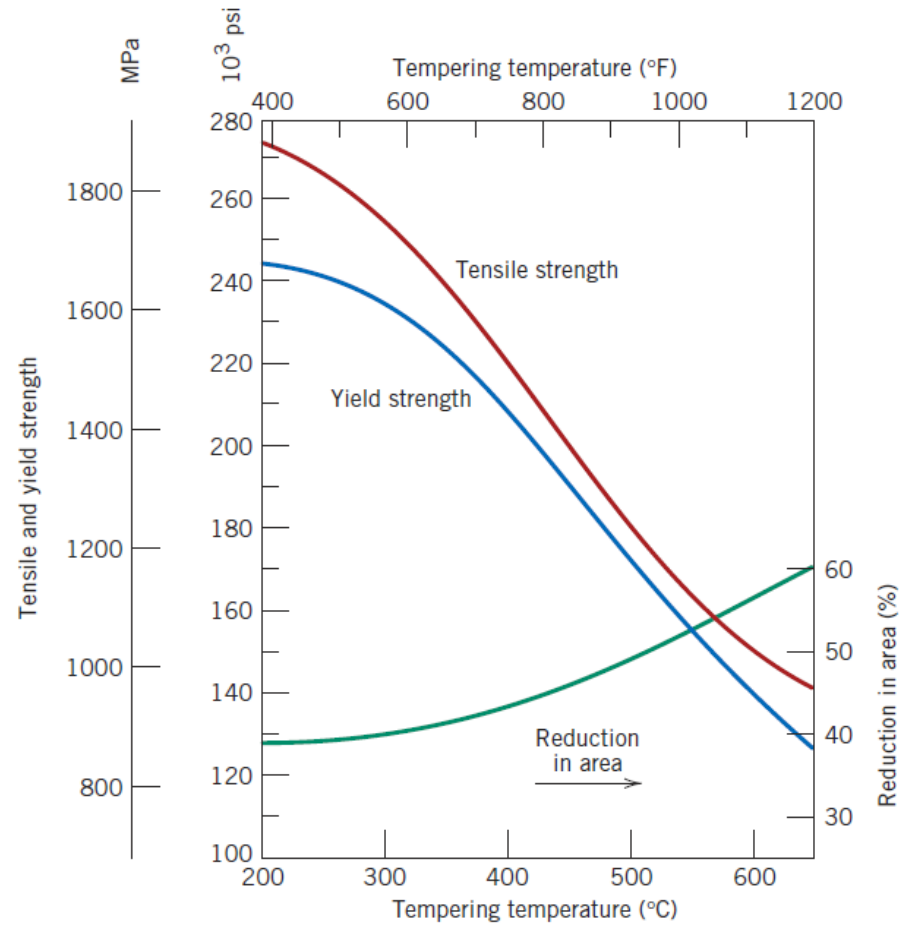


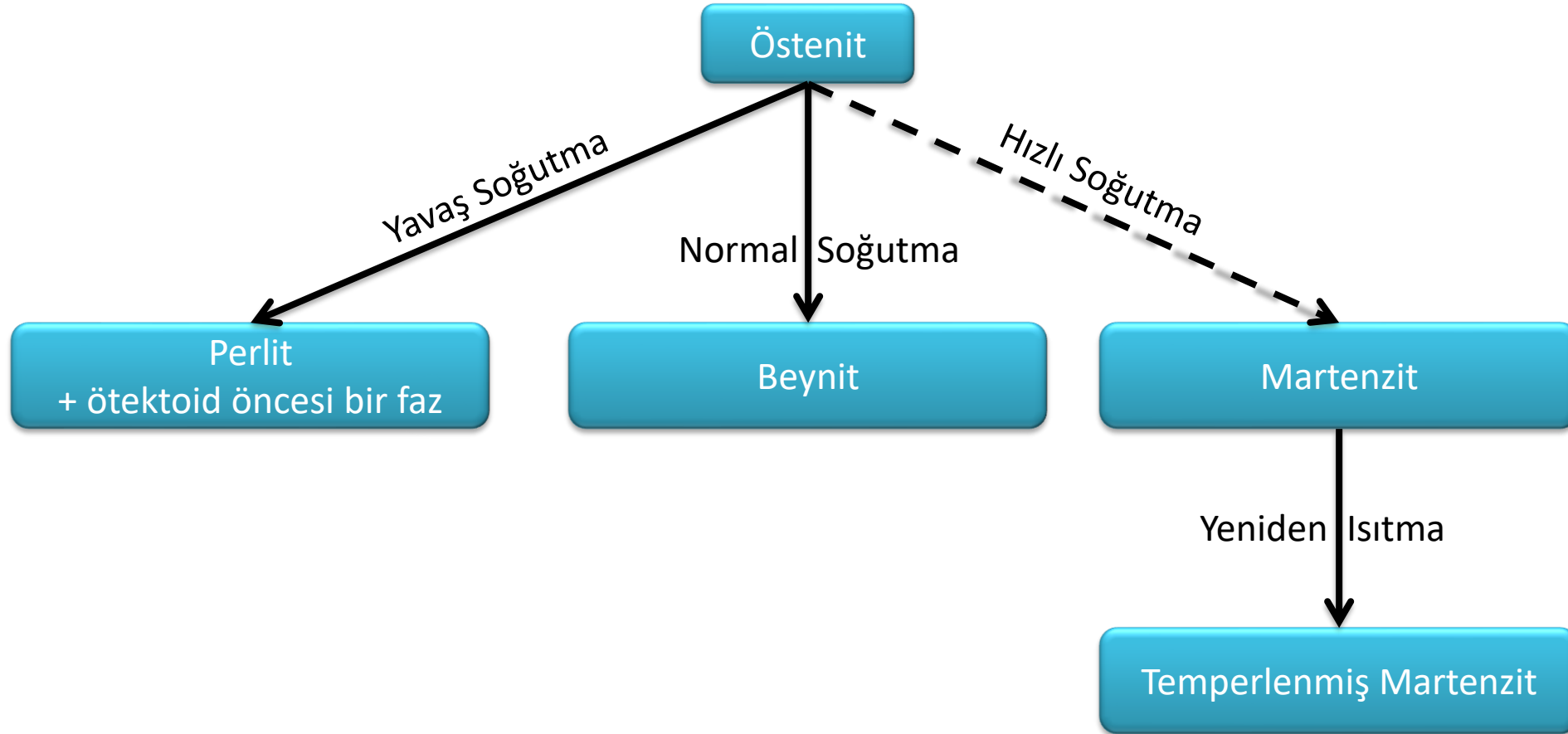
Temperlenmiş Martenzit
 $\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$



FAZ DÖNÜŞÜMLERİ

Temperleme sıcaklığı ve süresinin mekanik özellikler üzerindeki etkileri:





→ Difüzyon Bağımlı

- → Difüzyonsuz

Table 10.2 Summary of Microstructures and Mechanical Properties for Iron–Carbon Alloys

<i>Microconstituent</i>	<i>Phases Present</i>	<i>Arrangement of Phases</i>	<i>Mechanical Properties (Relative)</i>
Spheroidite	α Ferrite + Fe ₃ C	Relatively small Fe ₃ C sphere-like particles in an α -ferrite matrix	Soft and ductile
Coarse pearlite	α Ferrite + Fe ₃ C	Alternating layers of α ferrite and Fe ₃ C that are relatively thick	Harder and stronger than spheroidite, but not as ductile as spheroidite
Fine pearlite	α Ferrite + Fe ₃ C	Alternating layers of α ferrite and Fe ₃ C that are relatively thin	Harder and stronger than coarse pearlite, but not as ductile as coarse pearlite
Bainite	α Ferrite + Fe ₃ C	Very fine and elongated particles of Fe ₃ C in an α -ferrite matrix	Hardness and strength greater than fine pearlite; hardness less than martensite; ductility greater than martensite
Tempered martensite	α Ferrite + Fe ₃ C	Very small Fe ₃ C sphere-like particles in an α -ferrite matrix	Strong; not as hard as martensite, but much more ductile than martensite
Martensite	Body-centered tetragonal, single phase	Needle-shaped grains	Very hard and very brittle

Önümüzdeki Ders Saatinde
Ders Kitabımızın 10. Bölümündeki
MALZEMELERİN ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİ
adlı konuya başlayacağız!