



ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ



FAZ D YAGRAMLARI

Ders Notları

Doç. Dr. Sevim ALI İR

□ Dersin İçeriği ve Amacı

- ❖ Metal ve alaşım nedir? Katı haldeki düzenlenme nasıldır?
- ❖ Katılaşma süreci
- ❖ Faz ve faz diyagramı nedir?
- ❖ Faz diyagramları nasıl çizilir? Ne için kullanılır? Hangi bilgiler elde edilebilir?
- ❖ Gibbs Faz kuralı, bağ kuralı ve terazi kuralı (lever rule) nedir? Ne için kullanılır?
- ❖ Bir bileşenli sistemlerin faz diyagramları
- ❖ İkili alaşım sistemlerinin faz diyagramları
- ❖ Üç Faz reaksiyonlarına sahip diyagramlar
- ❖ Ötektik reaksiyon nedir? Faz diyagramındaki gösterimi
- ❖ Ötetik altı ve ötektik üstü alaşımlarda faz bileşimlerinin hesaplanması
- ❖ Peritektik ve monotektik reaksiyon nedir? Faz diyagramındaki gösterimi
- ❖ Ötektoid ve peritektoid dönüşümden farkı
- ❖ Ara faz ve metaller arası bileşiklere sahip faz diyagramları
- ❖ Fe-Fe₃C faz diyagramında oluşan fazlar
- ❖ Fe-Fe₃C faz diyagramında meydana gelen dönüşüm olayları
- ❖ Fe-Fe₃C faz diyagramında mikro yapı oluşumu

- Mühendislik uygulamalarında çok önemli bir yer tutan metaller ve alaşımlar kristal yapılı, anorganik katılardır.
- Metaller doğada çoğunlukla oksit, kükürt ve karbonatlı cevherler (bileşikler) halinde bulunur. Gerekli kimyasal süreçler sonunda metalik hale indirgenirler.



Pirit
 FeS_2



Magnetit
 Fe_3O_4

Genellikle mühendislik malzemesi olarak kullanılan metalik malzemeler ana metale ba ka bir element veya elementler eklenmesi ile elde edilen metalik ala ımlardır.

Özelliklerin iyile tirilmesi veya istenen özelliklerde malzeme elde etme amacıyla ala ımlar geli tirilmi tir.

Ala ımlar saf metallerden daha iyi mekanik özelliklere sahiptirler. Uygulamada ço unlukla mekanik özelliklerinin dü üklü ü nedeniyle saf metaller kullanılmaz.



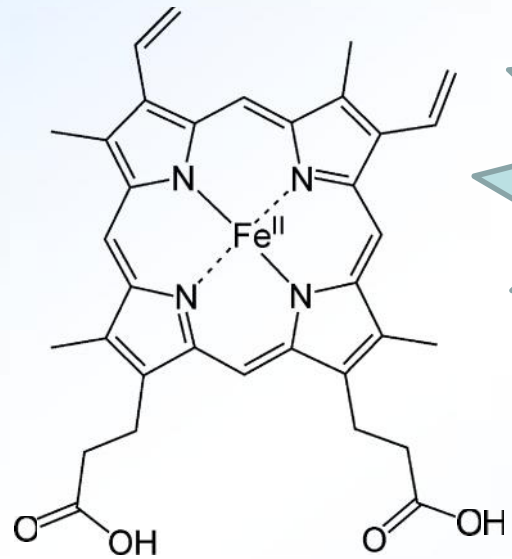
Pirit FeS_2



Hematit Fe_2O_3



FeO



te demir



*Metallerin özelliklerinde
iyileştirme nasıl yapılabilir?*



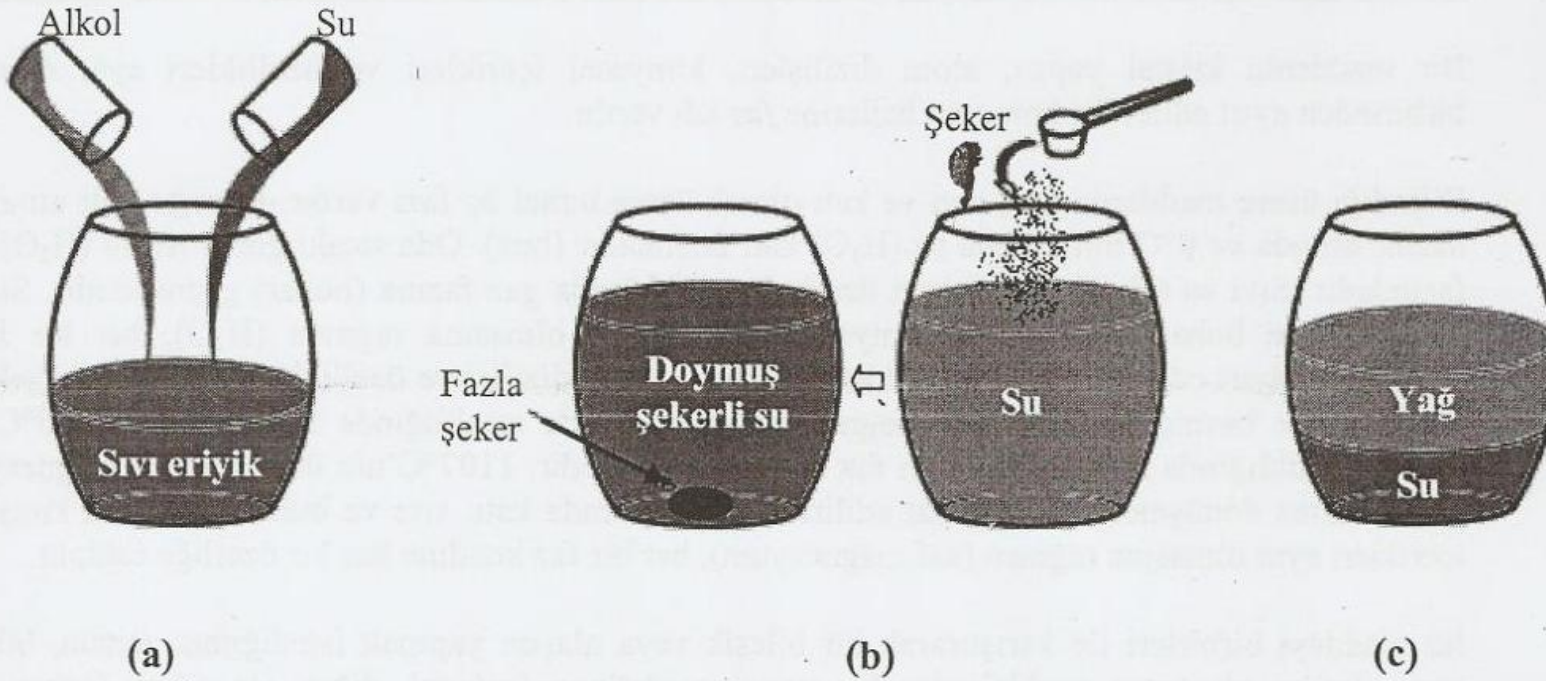
ALAŞIM

- ✓ **Ala ım**; bir metale belirli özellik sa lamak için en az bir ba ka elementin (metal veya ametal) kasıtlı olarak eklenmesi ile elde edilen metal karakterli bir malzemedir.
- ✓ Örne in, elik (demir ve karbon) metal olmayan bir elemanı içeren bir ala ımdır.
- ✓ lave edilen element, kristal içinde ya katı çözelti veya ara bile ikler halinde bulunur.
- ✓ Ala ımda fazla miktarda olan metale asıl metal adı verilir.
- ✓ Ala ımı elde etmek için bu metale karı tırılanlara da ala ım elemanları denir.

KATI ERİYİKLER

- ✓ Uygun sıcaklıklarda, gaz ve sıvı çözeltilerinde olduğu gibi, katı cisimler de homojen bir eriyik olan çözelti haline dönüşebilirler. Katı eriyikler sıcaklık ve içeriklerine göre de iki fazlarda bulunabilirler.
- ✓ Faz, üniform fiziksel ve kimyasal özellikler gösteren bir sistemin homojen bir parçasıdır. Aynı ortamda de iki fazlar bulunabilir.
- ✓ Çözülen element, kristal içinde ya katı çözelti veya ara bileşikler halinde bulunur.
- ✓ Genellikle çözücü bir cismin içinde ancak sınırlı bir miktar çözünen madde çözünebilir. Örneğin, bir bardak suda ancak belirli bir miktar tuz çözülebilir.
- ✓ Benzer şekilde metal eriyiklerinde de çözülebilirlik sınırları vardır.

- ✓ Örnek olarak su- tuz karışımını dikkate alınırsa; **sabit bir sıcaklıkta tuzun su içinde çözünebileceği maksimum miktar vardır. Buna “çözünürlük sınırı” denir.**
- ✓ Sıcaklık arttıkça bu sınır artar.
- ✓ Bu sınırdan daha fazla tuz konursa, fazla tuz su içinde çözünmez ve karışımın dibinde katı parçacıklar çöker.
- ✓ Bu durumda ortamda iki faz vardır:
 1. Çökelmiş tuz fazı
 2. Tuzlu su fazı (derbet)



Şekil 6.1 Bir madde diğer bir madde ile karıştırıldığı zaman karşılaşılan (a) sınırsız eriyebilirlik (çözünübilirlik), (b) sınırlı eriyebilirlik ve (c) birbiri içerisinde eriyemezlik özelliklerinin şematik gösterilmesi

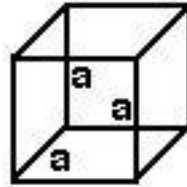
Kristal Yapı

Birim Hücre	Bir kristalin tüm özelliklerini gösteren en küçük yapıtaşı		
Koordinasyon sayısı	Bir atomun temas ettiği atom sayısı		
Basit birim hücre türleri	1	Kübik	
	2	Tetragonal	
	3	Orthorhombic	
	4	Monoclinic	
	5	Triclinic	
	6	Rhombohedral	
	7	Hekzagonal	

Kristal Örgüleri

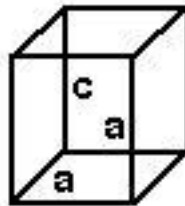
Cubic

$$a = b = c$$
$$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$$



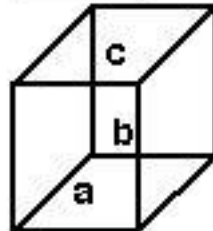
Tetragonal

$$a = b \neq c$$
$$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$$



Orthorhombic

$$a \neq b \neq c$$
$$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$$



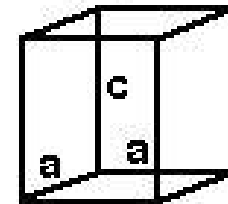
Rhombohedral

$$a = b = c$$
$$\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$$



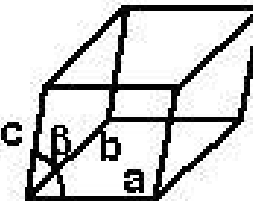
Hexagonal

$$a = b \neq c$$
$$\alpha = \beta = 90^\circ$$
$$\gamma = 120^\circ$$



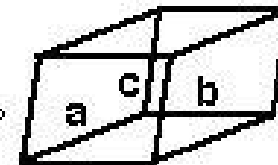
Monoclinic

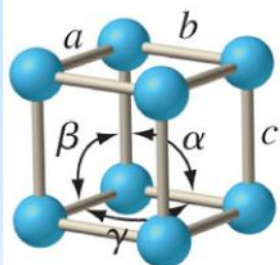
$$a \neq b \neq c$$
$$\alpha = \gamma = 90^\circ \neq \beta$$



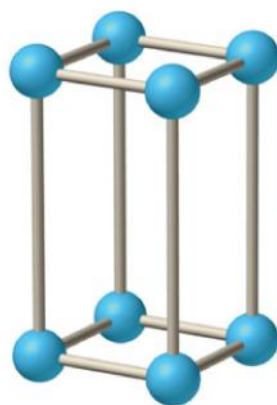
Triclinic

$$a \neq b \neq c$$
$$\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$$

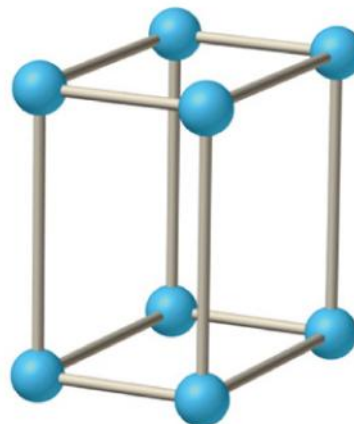




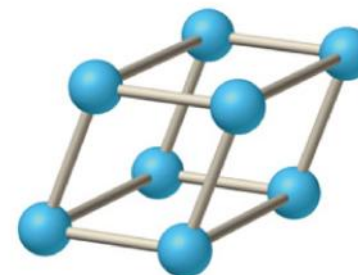
Simple cubic
 $a = b = c$
 $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$



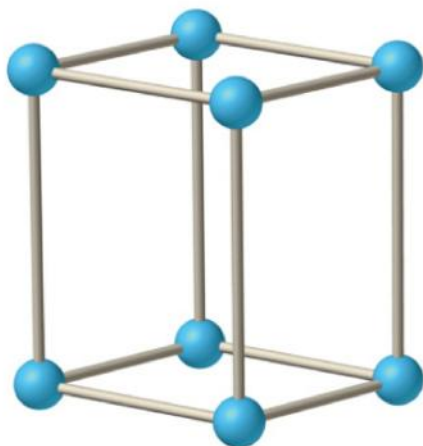
Tetragonal
 $a = b \neq c$
 $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$



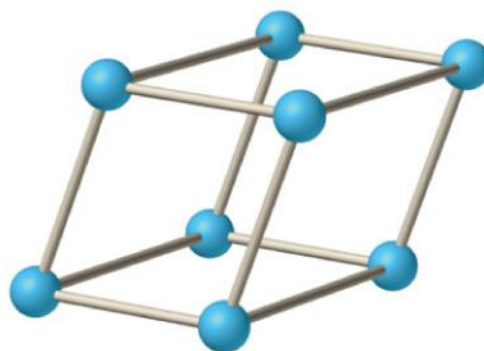
Orthorhombic
 $a \neq b \neq c$
 $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$



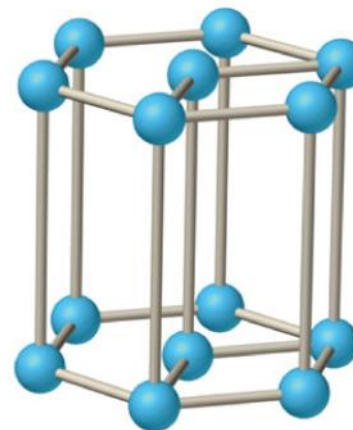
Rhombohedral
 $a = b = c$
 $\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$



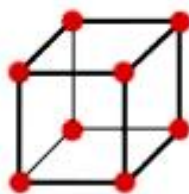
Monoclinic
 $a \neq b \neq c$
 $\gamma \neq \alpha = \beta = 90^\circ$



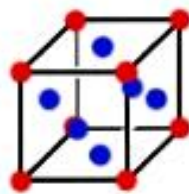
Triclinic
 $a \neq b \neq c$
 $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$



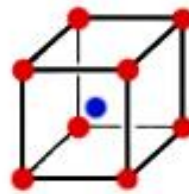
Hexagonal
 $a = b \neq c$
 $\alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$



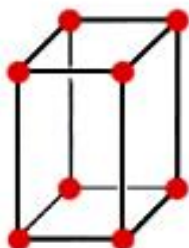
**Simple
cubic**



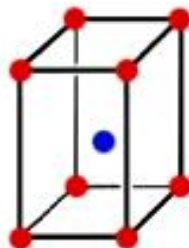
**Face-centered
cubic**



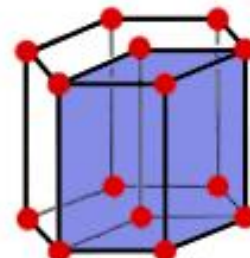
**Body-centered
cubic**



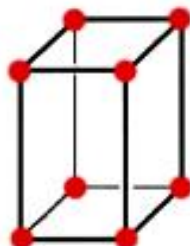
**Simple
tetragonal**



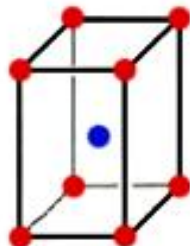
**Body-centered
tetragonal**



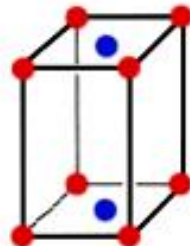
Hexagonal



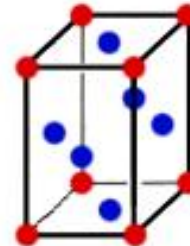
**Simple
orthorhombic**



**Body-centered
orthorhombic**



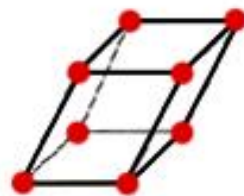
**Base-centered
orthorhombic**



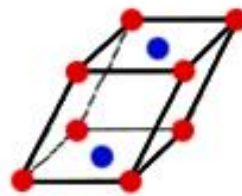
**Face-centered
orthorhombic**



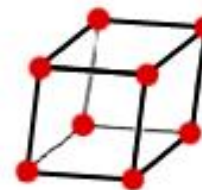
Rhombohedral



**Simple
Monoclinic**

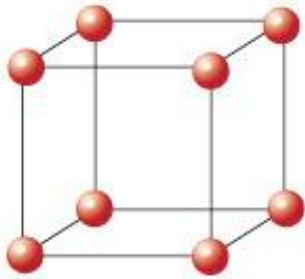


**Base-centered
monoclinic**

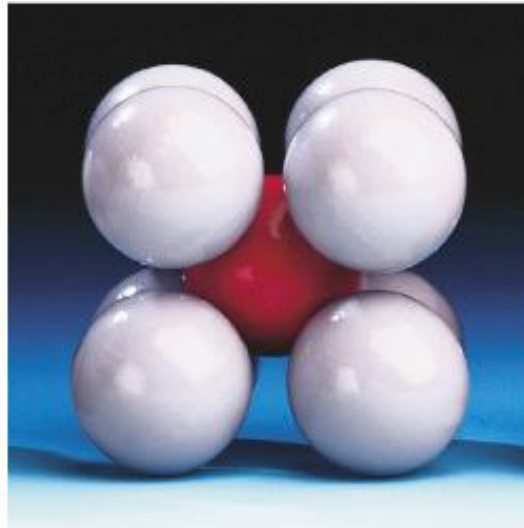
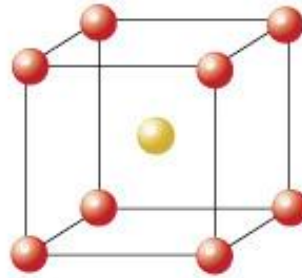


Triclinic

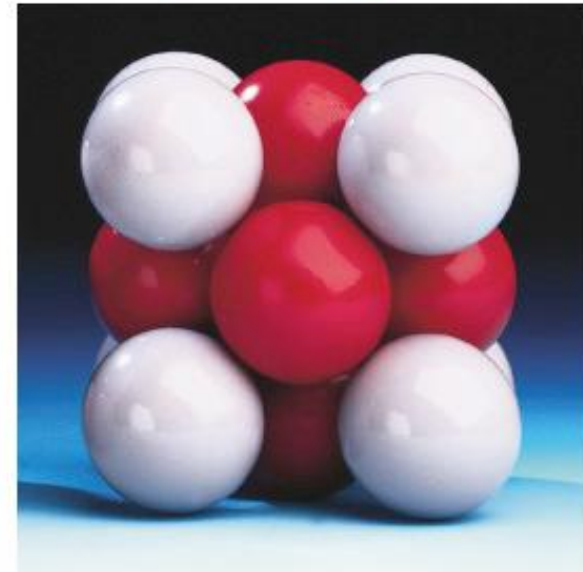
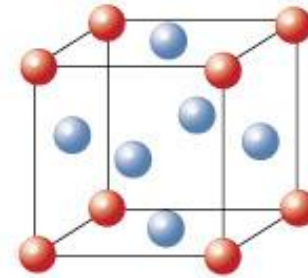
Kübik kristal sistemde birim hücreler



Simple cubic

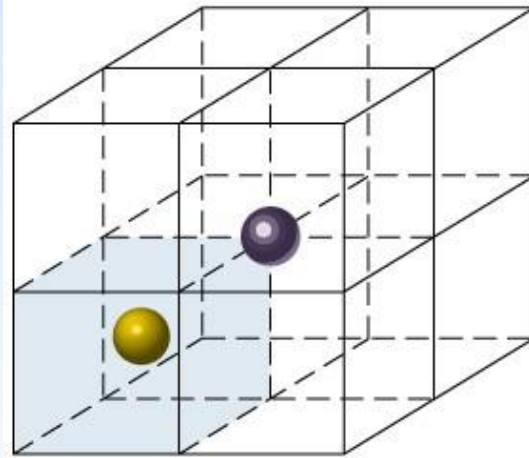


Body-centered cubic

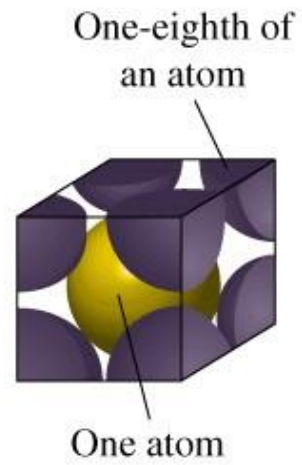


Face-centered cubic

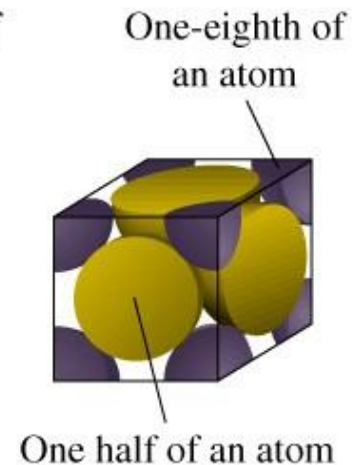
Atomların birim hücreler arasında paylaşılmaması



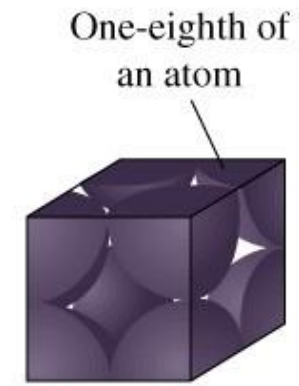
(a)



(b)
Body-centered
cubic

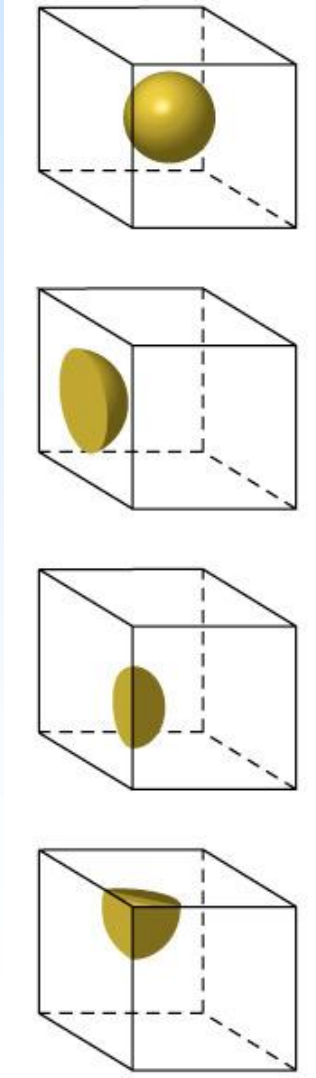


(c)
Face-centered
cubic



(d)
Simple
cubic

Atomların örgü noktasındaki yerinin birim hücreye katkısı



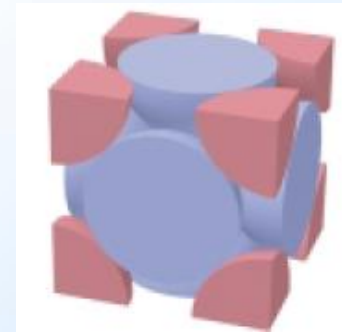
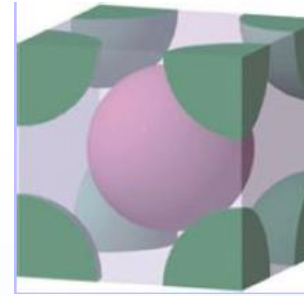
<u>Örgü Noktası Yeri</u>	<u>Hücreye katkısı</u>
Hücre içi	1
Yüz	$1/2$
Kenar	$1/4$
Köşe	$1/8$

Birim hücredeki atom sayısı

Basit kübik sistem (1 atom)

Hacim merkezli kübik sistem (2 atom)

Yüzey merkezli kübik sistem (4 atom)



Örnek: Ksenon (131.3 g/mol) yüzey merkezli kübik bir örgüde kristallenir. Birim hücrenin bir kenarı 620 pm oldu una göre kristal ksenonun yoğunluğu nedir?

1 pm = 1×10^{-10} cm oldu undan $620 \text{ pm} = 6.20 \times 10^{-8}$ cm olur.

Bir birim hücrenin hacmi, küp oldu undan , a^3 ekinde hesaplanır,

$$(6.20 \times 10^{-8} \text{ cm})^3 = 2.38 \times 10^{-22} \text{ cm}^3 \text{ olur.}$$

Birim hücre yüzey merkezli oldu undan, 4 atom içerir. 1 cm^3 hacimde kaç atom oldu unu bulalım.

4 atom $2.38 \times 10^{-22} \text{ cm}^3$ ise

? atom 1 cm^3 hacimde

$$x = 1.68 \times 10^{22} \text{ atom.}$$

6.02×10^{23} atom 131.3 g ise,

1.68×10^{22} atom ? gramdır

$$? = 3.66 \text{ g/cm}^3$$

Örnek: Demir Hacim merkezli kübik bir yapıda kristallenir. Bir birim hücrenin bir kenarı 287 pm olarak bulunmuştur. Demirin atom çapı nedir?

Küpün köşe uzaklığı 4r ye eşit olur

$$l^2 + (l\sqrt{2})^2 = (4r)^2$$

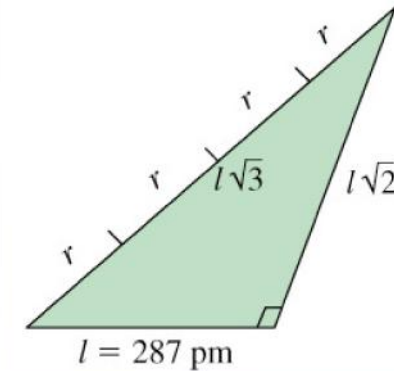
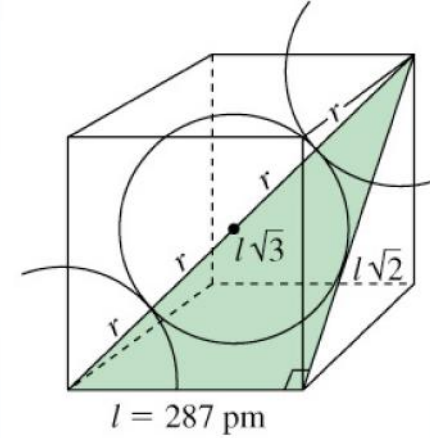
$$l^2 + 2l^2 = (4r)^2$$

$$3l^2 = (4r)^2$$

$$r = \frac{\sqrt{3}}{4} \cdot 287 \text{ pm} = \frac{1,732 \times 287 \text{ pm}}{4}$$

$$r = 124 \text{ pm}$$

Atom Çapı : 248 pm



Kristal kusurları :

Gerçek kristaller insanlar gibidir ve asla mükemmel değildir.

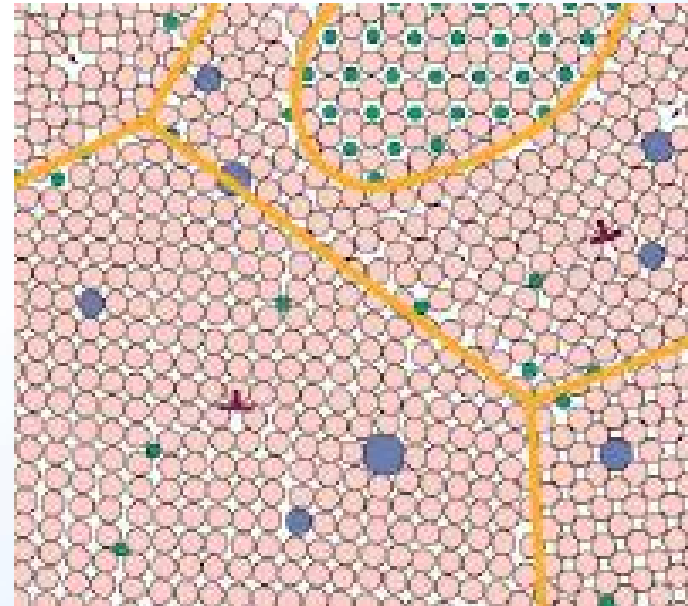
Daima kusurları vardır. Fakat bu kusurlar bazen, düşünülenin aksine bir katının çok faydalı işlevleri kazanmasına da neden olabilir.

KRİSTAL HATALARI

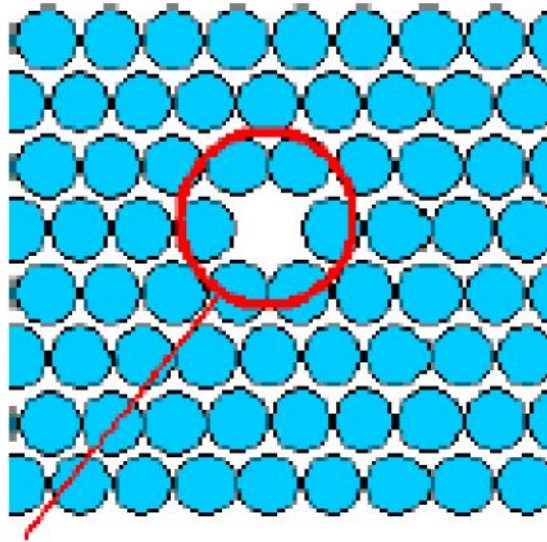
✓ Nokta Hataları

✓ Çizgi Hataları

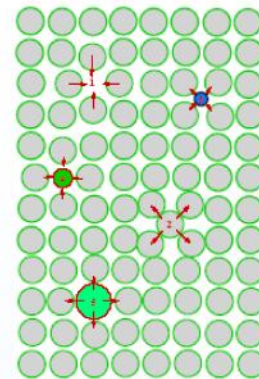
✓ Yüzeysel Hatalar



✓ Nokta Hataları



Boş yer



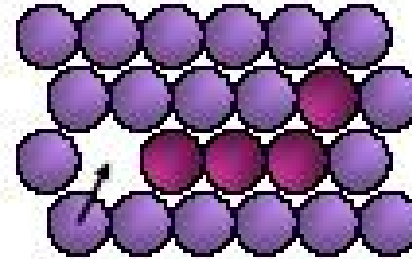
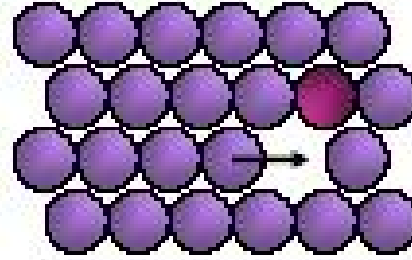
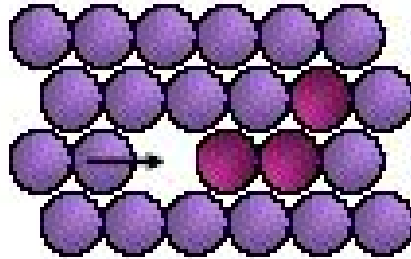
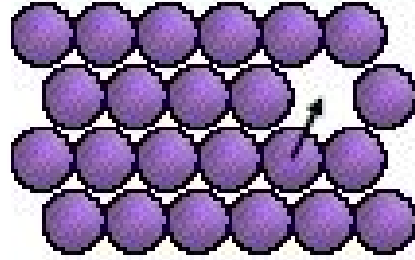
✓ Boş Yer

✓ Boş yer: (Porozite)

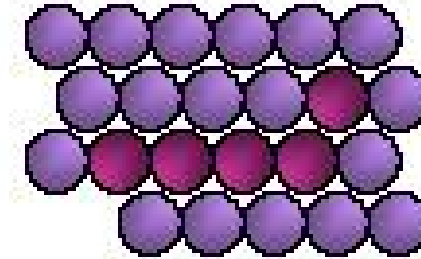
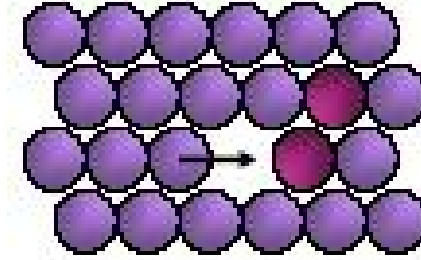
Katılaşma sırasında büzülme, yeterli sıvı olmaması veya içeride gaz hapsolması nedenleri ile oluşur.

- ✓ Süreksizlik
- ✓ Kesitte daralma
- ✓ Mukavemet kaybı nedenidir.

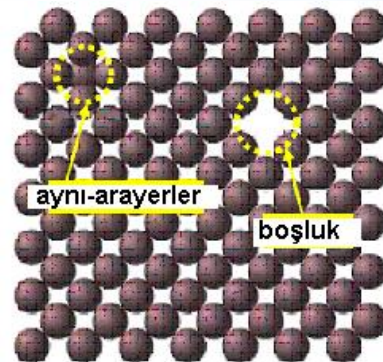
✓ Nokta Hataları



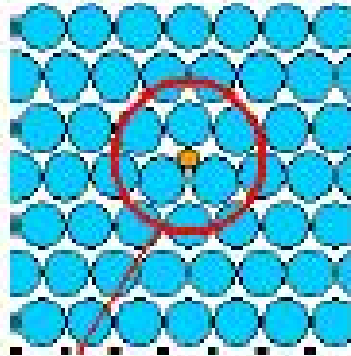
✓ Boş Yer



✓ Boşluklar atomların kristal içerisinde hareketlerini kolaylaştırır.



✓ Nokta Hataları

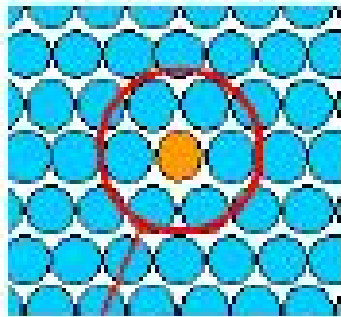


Ara yer

✓ Ara Yer hataları

✓ Ara yer:

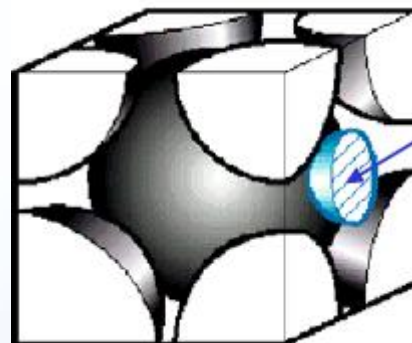
Her hangi bir kristalde esas atomların aralarındakilere daha küçük çaplı atomların yerleşmesi ile oluşur.



Yer alan

✓ Yer alan:

Her hangi bir kristalde esas atomların yerine başka atomların yerleşmesi ile oluşur.



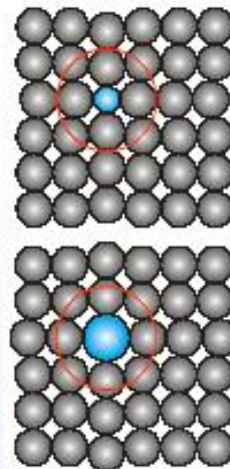
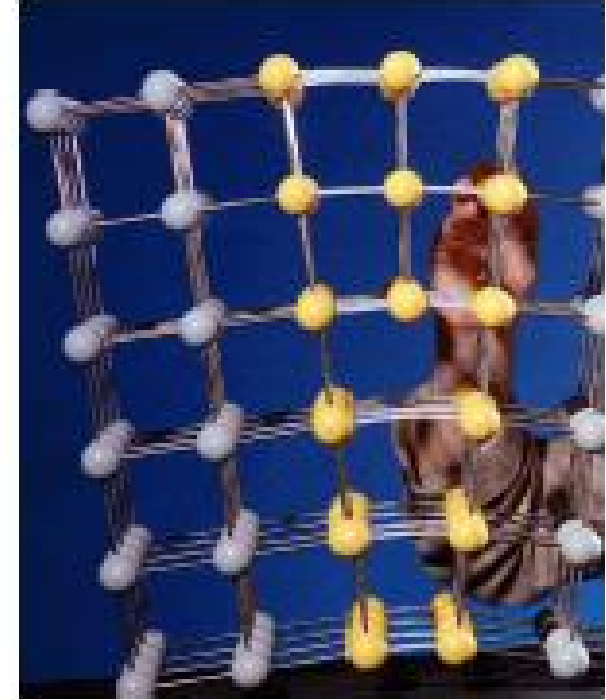
demirde
Karbon

✓ Çizgi Hataları

- ✓ Atomların hatalı dizilişleri bir çizgi boyunca devam ederse çizgi hatası oluşur.

Çizgi hataları

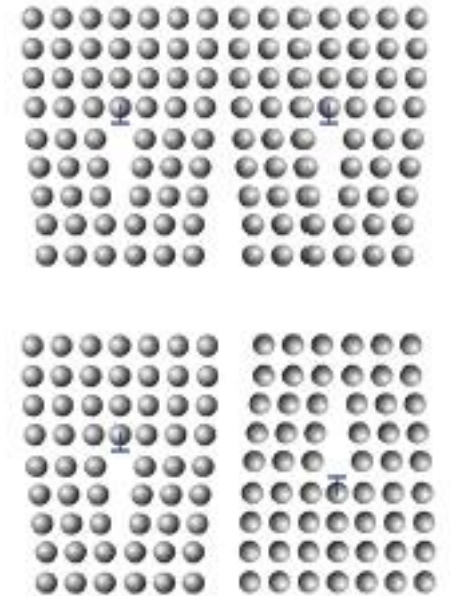
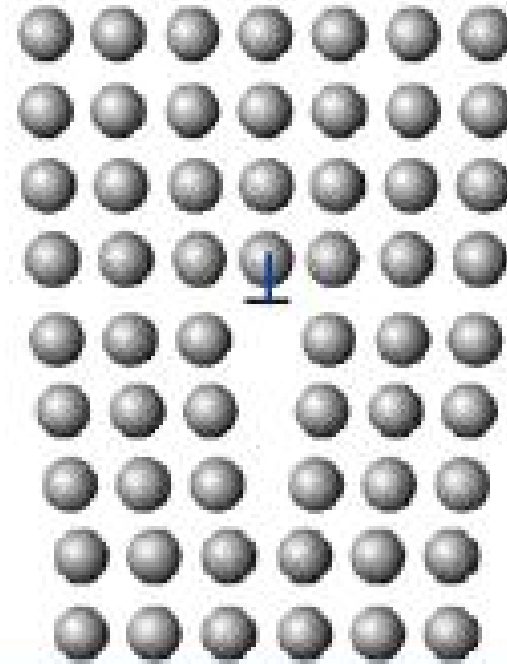
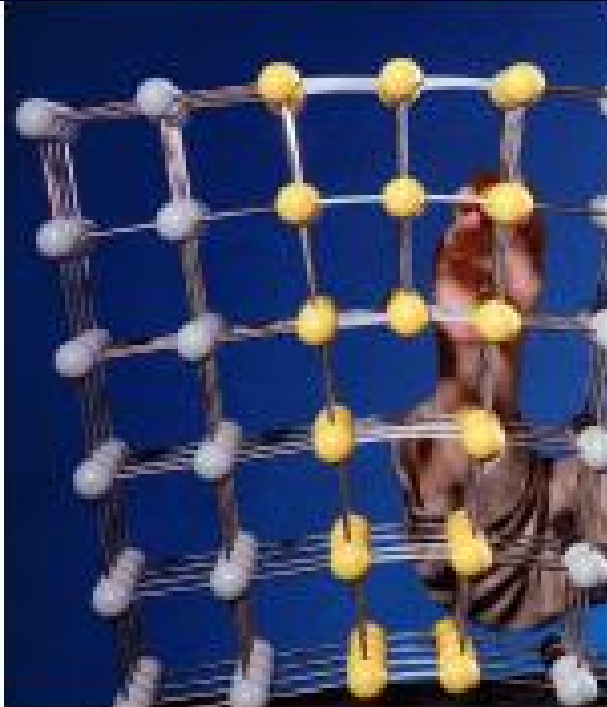
- ✓ **kenar dislokasyonu** ve
- ✓ **vida dislokasyonu** olarak bilinir.



✓ Çizgi Hataları

✓ Kenar Dislokasyonu

✓ Kenar dislokasyonu, kristal içinde sona eren bir düzlemin kenarıdır. İşareti \perp şeklindedir.

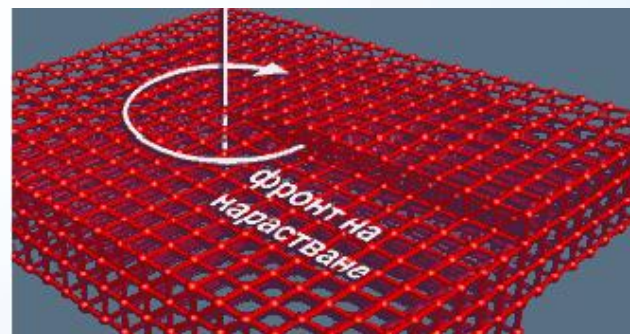
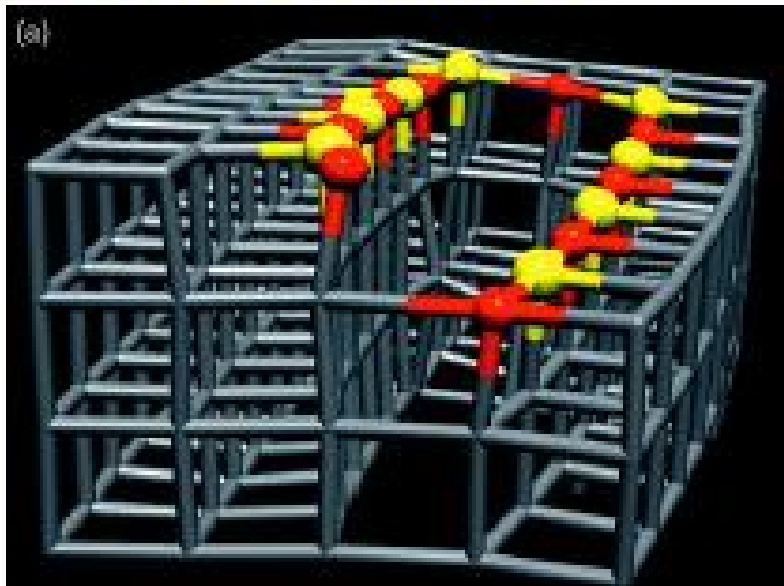


Eksik atom düzlemleri

✓ Çizgi Hataları

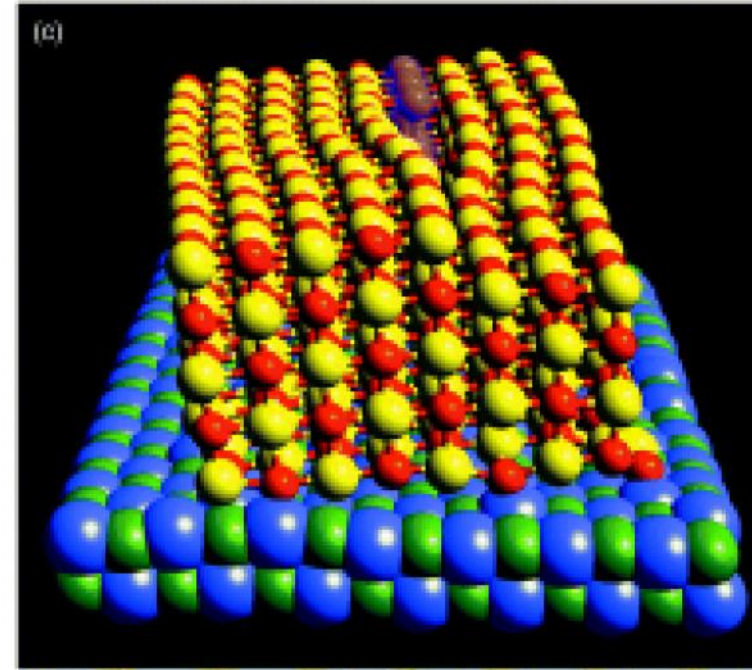
✓ Vida Dislokasyonu

- ✓ Vida dislokasyonunda ise, çizgi etrafındaki atomların dizilişi vidanın helisi gibidir.
- ✓ İşareti \curvearrowright şeklindedir.

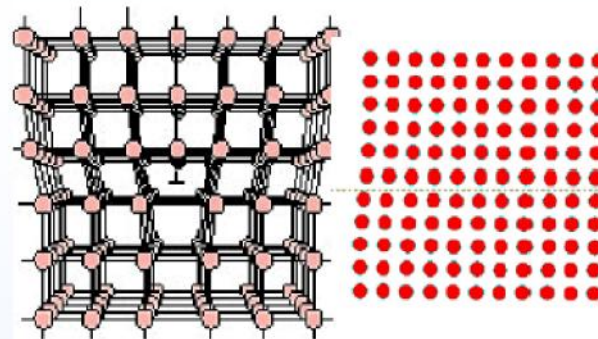


✓ Çizgi Hataları

- ✓ Kenar ve vida dislokasyonları çoğu zaman beraber bulunurlar ki; buna **karişik dislokasyon** denilir.



- ✓ Dislokasyonlar, atomların denge mesafesini bozduğu için kristalin enerjisini artırır.



✓ Yüzeysel hatalar

✓ Dış Yüzey:

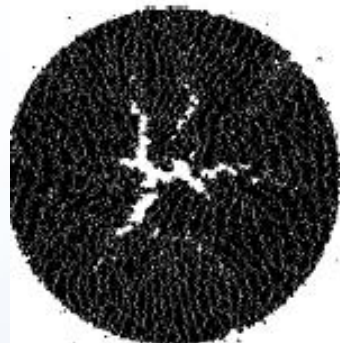
İç kısımdaki atomlar kendini çevreleyen atomlar ile denge durumunda olduğu halde, metalin dış yüzeye açılan atomlarında denge durumu bozulmuştur.

✓ Küçük Açılı Tane Sınırı:

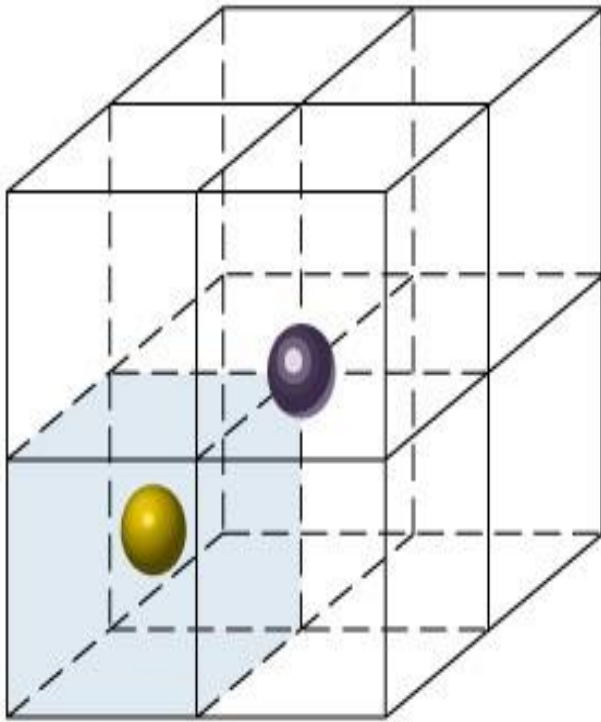
Kenar dislokasyonları biri birinin üzerine sıralanması ile küçük açılı tane sınırları oluşur. İki boyutlu olan bu sınırlarda atomlar düzensiz yerleşirler

✓ Tane Sınırları:

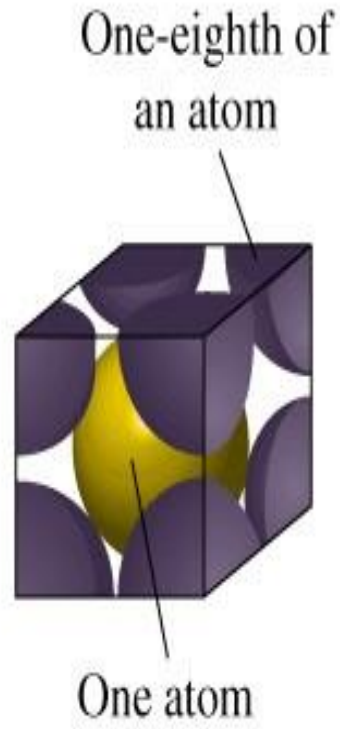
Metal sıvı halden katı hale geçerken genellikle çok sayıda kristal tanesi oluşur. Katılaşma tamamlandığında tanelerin birleştiği yerlerde 2-3 atom kalınlığında düzensiz yerleşme oluşur



ç yada hacim kusurları

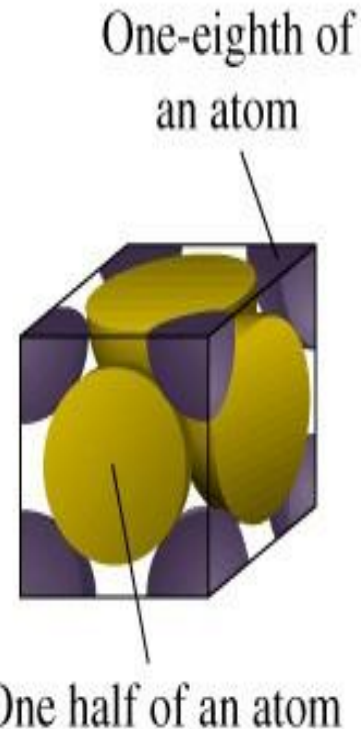


(a)



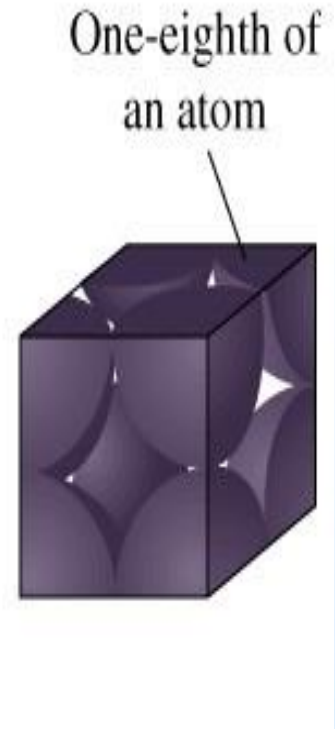
(b)

Body-centered
cubic



(c)

Face-centered
cubic



(d)

Simple
cubic

Koordinasyon sayısı

8

12

6

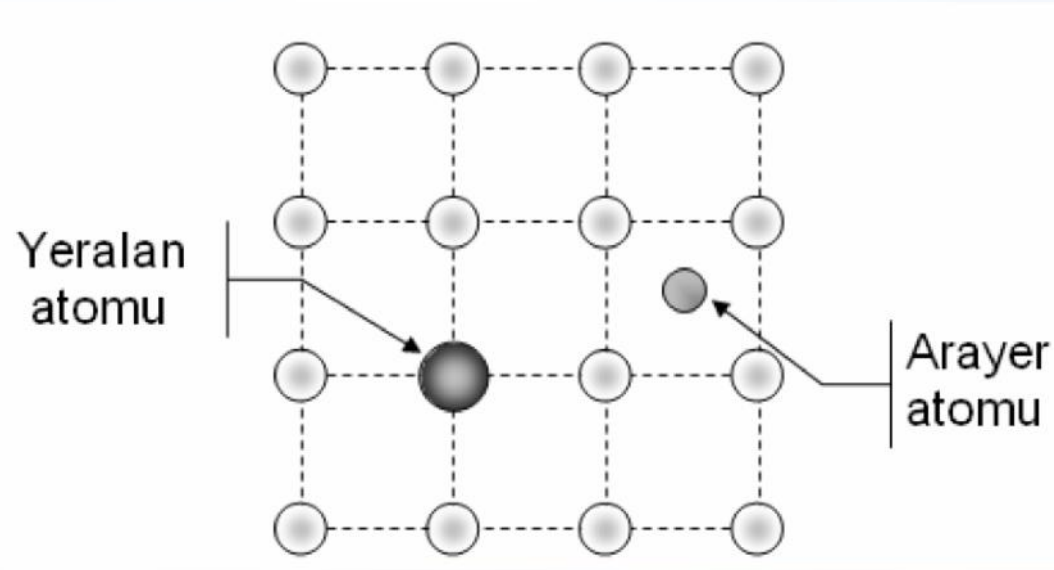
Birim hücre başına atom sayısı

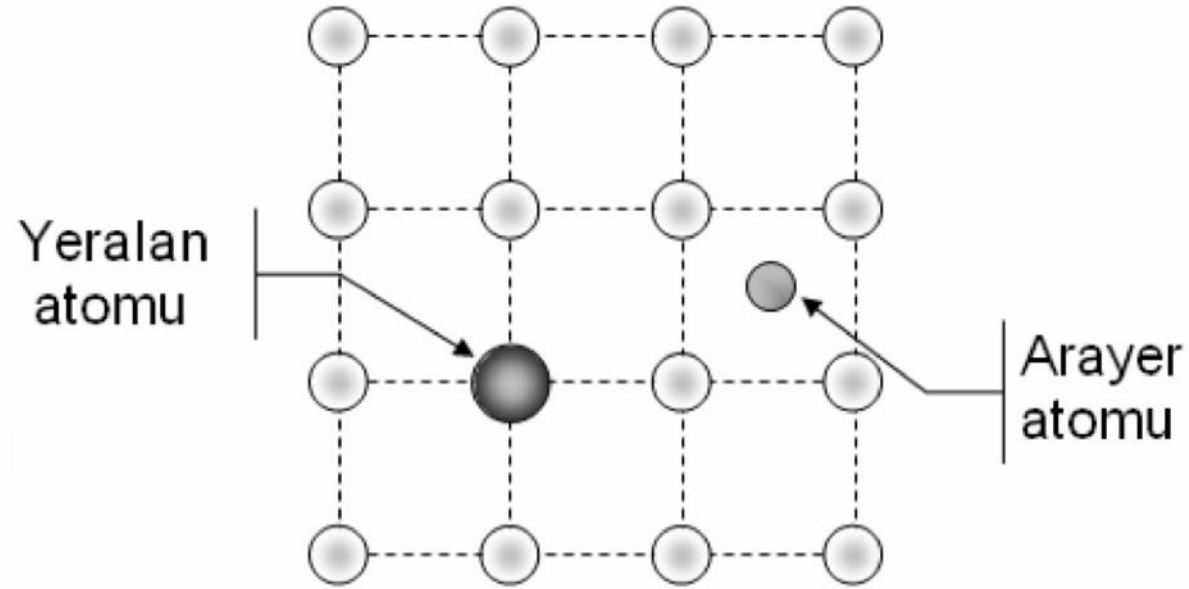
2

4

1

- ✓ Metallerin büyük ço unlu u kafes yapısı içinde belirli sayıda yabancı atom barındırabilirler.
- ✓ Yabancı atomların asıl metalin kafes sistemindeki yerle imlerine göre, metalik katı eriyiklerin iki türü vardır:
 1. Ara-yer Katı Eriyi i
 2. Yeralan Katı Eriyi i (Asal Yer Katı Eriyi i)





Yabancı atom:

- Esas metalin atomu yerine yerle iyor ise **Yeralan Katı Çözeltisi**,
- Kafes aralarındaki bo luklara yerle iyor ise **Arayer Katı Çözeltisi** meydana gelir.

ARAYER KATI ÇÖZELTİSİ

Bu türde atomik yarı çapı 10^{-8} cm' den küçük olan H, C, B ve N gibi çözünen metallerin atomları, çözücü metallerin atomlarının arasındaki boşluklara da sızabilirler.

YERELAN KATI ÇÖZELTİSİ

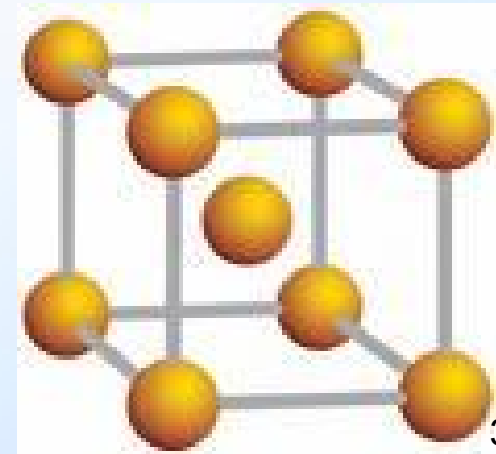
Bu türde çözünen metallerin atomları çözücü metallerin kristal atomlarının bazılarının yerini alabilirler.

- ❖ Eriyen elementin (yabancı elementin) atomlarının kafesteki dağılımı düzenli ya da düzensiz olabilir.
- ❖ Belli bir kritik sıcaklığın altında, eriyen atomlar tüm birim kafeslerde aynı pozisyonlara yerleşerek düzenli katı eriyik oluştururlar. Bu tür kafeslere “süper kafes” adı verilir.
- ❖ Ancak düzenli katı eriyikleri, sert ve kırılgan bir yapıya sahip olduklarından dolayı mühendislik malzemesi olarak uygun olmayan özelliklere sahiptir.
- ❖ Düzensiz katı eriyikleri ise tok ve duktıl olduklarından uygulamada daha çok tercih edilirler.

Hume-Rothery Kuralları

Yer alan katı eriyi inin olu abilmesi için bazı artların sa lanması gerekmektedir.

- a) Kristal yapı
- b) Atom boyut faktörü
- c) Elektronegatiflik
- d) Valans elektron sayısı



a) Kristal yapı:

Katı eriyik olacaktır her bir elementin aynı kristal yapısına sahip olması gerekir.

Örneğin, bakır-nikel katı eriyinde, bakır ve nikel YMK kristal yapısına sahiptir.

Li imk hsi	Be hsi												
Na imk hsi	Mg hsi											Al ymk	
K imk	Ca ymk imk	Sc hsi ymk	Ti hsi imk	V imk	Cr imk	Mn öy	Fe imk ymk	Co hsi ymk	Ni ymk	Cu ymk	Zn hsi	Ga öy	
Rb imk	Sr ymk hsi imk	Y hsi ymk	Zr hsi imk	Nb imk	Mo imk	Tc hsi	Ru hsi	Rh ymk	Pd ymk	Ag ymk	Cd hsi	In öy	Sn öy
Cs imk	Ba imk	La çhsi ymk	Hf hsi imk	Ta imk	W imk	Re hsi	Os hsi	Ir ymk	Pt ymk	Au ymk	Hg öy	Tl hsi imk	Pb ymk
Ce hsi ymk	Pr ymk çhsi	Nd ymk çhsi	Pm	Sm öy imk	Eu imk	Gd hsi	Tb hsi	Dy hsi	Ho hsi	Er hsi	Tm hsi		

Alloy Metals

Duralumin (Aluminium and Copper)

Uses:

- Aircraft parts – for its lightweight
- Airships
- Spirit Levels – For lightweight and strength properties

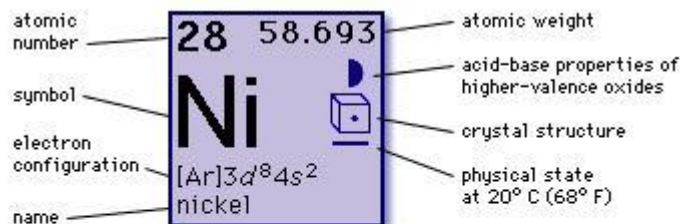
Properties:

- Strong
- Hard
- Lightweight
- Relatively soft
- Ductile
- Can be rolled
- Ductile



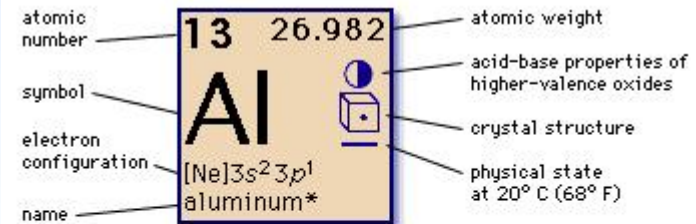
13 of 9

© Boardworks Ltd 2012



	weakly basic		solid
	cubic, face centred		transition metals

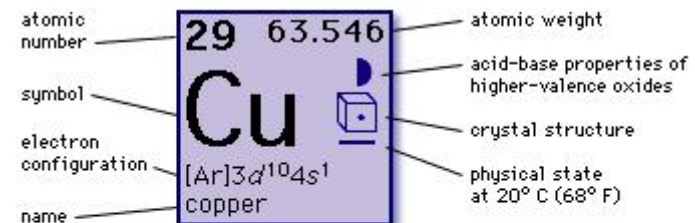
©1997 Encyclopaedia Britannica, Inc.



	equal relative strength		solid
	cubic, face centred		other metals

* also spelled aluminium

©1997 Encyclopaedia Britannica, Inc.



	weakly basic		solid
	cubic, face centred		transition metals

©1997 Encyclopaedia Britannica, Inc.

b) Atom boyut faktörü:

- Ala ıma giren atomların çapları birbirine ne kadar yakın ise bu elementlerin birbirini çözme olasılı ı o kadar yüksektir.
- Elementlerin atom yarıçaplarının farkı % 15 den küçük olmalıdır.
- Örne ğin, nikelin atom apı 1.243 Å°, bakırın ise 1.278 Å° oldu undan, bu iki metal her oranda birle ğip farklı karakterde ala ımlar olu turabilirler.

$$\left(\frac{r_{Ni} - r_{Cu}}{r_{Cu}} \times 100 = \frac{1.243 - 1.278}{1.278} \times 100 = \% - 2.7 \right)$$

c) Elektronegatiflik:

Katı eriyik olu turacak elementler, mümkün merteye yakla ık aynı elektronegatifli e sahip olmalıdırlar. Çünkü elektronegatiflikleri birbirinden çok farklı elementler, katı eriyik yerine, bile ik yapma e ilimine sahiptirler.

d) Valans elektron sayısı:

Katı eriyik olu turacak elementler aynı valans elektrona sahip olmalıdırlar. Çünkü farklı valans elektronlarına sahip elementler, katı eriyik yerine birbirleri ile bile ik yapma e iliminde olurlar.

Hume-Rothery tarafından belirlenen bu kurallara göre bakır grubu, gerek atom boyutu gerekse kimyasal bakımdan metallerin ortasında yer aldığından en iyi eritici olarak bilinir.

- ❑ Geçiş elementlerinden olan demir de birçok metali geniş oranda çözebilir (Al, Co, Cr, Cu, Mn, Mo, Ni, Pt, Sn, V, W, vb.).
- ❑ Periyodik tablonun aynı sırasında bulunan ve atom çapları birbirine uyan geçiş elementleri birbirini geniş oranlarda çözerler.
- ❑ Çok değerlikli, geçiş metalleri grubundan olmayan metallerin ise, gerek atom boyutlarının ve gerekse kimyasal duyarlılıklarının artması dolayısıyla çözünübilirlik sınırları daralır.

*Hume – Rothery kuralları
sağlanmazsa ne olur?*



ARA FAZ VEYA BİLEK

```
graph TD; A[ARA FAZ VEYA BİLEK] --> B[Metaller Arası Bileşikler (Valans Bileşikleri)]; A --> C[Ara Yer Bileşikleri]; A --> D[Elektron Bileşikleri];
```

Metaller Arası Bileşikler
(Valans Bileşikleri)

Ara Yer Bileşikleri

Elektron Bileşikleri

4.2.2.1 Metaller Arası Bileşikler veya Valans Bileşikleri

Bu bileşikler, genelde kimyasal bakımdan birbirine benzemeyen yani farklı metallerin kimyasal valans kanunlarına göre birleşmeleri sonucunda oluşur. Dolayısıyla metaller arası bileşik iki veya daha fazla metal tarafından oluşturulan bir ara faz olarak tanımlanabilir. Valans bileşiğinde atomlar birbirine iyonik ve kovalent gibi kuvvetli bağlarla bağlandıklarından bu gruba giren bileşikler metal olmayan malzemelere has özellikler sergilerler. Süneklik ve elektrik iletkenliği düşük olan bu bileşiklerin kafes yapıları oldukça karmaşıktır. Valans bileşiklerine örnek olarak CaSe , Mg_2Pb , Mg_2Sn ve Cu_2Se verilebilir.

ntermetalikler; «*Elektronegatiflikleri arasında farkın yüksek olduğu metaller arasında*»

meydana gelir

Periyodik Tablo

<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="background-color: #FFD700; padding: 2px;">Ga</div> <div style="background-color: #FF69B4; padding: 2px;">V</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="background-color: #00CED1; padding: 2px;">S</div> <div style="background-color: #4682B4; padding: 2px;">K</div> </div>																		Periyodik Tablo																		<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="background-color: #00CED1; padding: 2px;">S</div> <div style="background-color: #4682B4; padding: 2px;">K</div> </div>																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
1																	2																	3																	4																	5																	6																	7																	8																	9																	10																	11																	12																	13																	14																	15																	16																	17																	18																	19																	20																	21																	22																	23																	24																	25																	26																	27																	28																	29																	30																	31																	32																	33																	34																	35																	36																	37																	38																	39																	40																	41																	42																	43																	44																	45																	46																	47																	48																	49																	50																	51																	52																	53																	54																	55																	56																	57																	58																	59																	60																	61																	62																	63																	64																	65																	66																	67																	68																	69																	70																	71																	72																	73																	74																	75																	76																	77																	78																	79																	80																	81																	82																	83																	84																	85																	86																	87																	88																	89																	90																	91																	92																	93																	94																	95																	96																	97																	98																	99																	100																	101																	102																	103																	104																	105																	106																	107																	108																	109																	110																	111																	112																	113																	114																	115																	116																	117																	118																	119																	120																	121																	122																	123																	124																	125																	126																	127																	128																	129																	130																	131																	132																	133																	134																	135																	136																	137																	138																	139																	140																	141																	142																	143																	144																	145																	146																	147																	148																	149																	150																	151																	152																	153																	154																	155																	156																	157																	158																	159																	160																	161																	162																	163																	164																	165																	166																	167																	168																	169																	170																	171																	172																	173																	174																	175																	176																	177																	178																	179																	180																	181																	182																	183																	184																	185																	186																	187																	188																	189																	190																	191																	192																	193																	194																	195																	196																	197																	198																	199																	200																	201																	202																	203																	204																	205																	206																	207																	208																	209																	210																	211																	212																	213																	214																	215																	216																	217																	218																	219																	220																	221																	222																	223																	224																	225																	226																	227																	228																	229																	230																	231																	232																	233																	234																	235																	236																	237																	238																	239																	240																	241																	242																	243																	244																	245																	246																	247																	248																	249																	250																	251																	252																	253																	254																	255																	256																	257																	258																	259																	260																	261																	262																	263																	264																	265																	266																	267																	268																	269																	270																	271																	272																	273																	274																	275																	276																	277																	278																	279																	280																	281																	282																	283																	284																	285																	286																	287																	288																	289																	290																	291																	292																	293																	294																	295																	296																	297																	298																	299																	300																	301																	302																	303																	304																	305																	306																	307																	308																	309																	310																	311																	312																	313																	314																	315																	316																	317																	318																	319																	320																	321																	322																	323																	324																	325																	326																	327																	328																	329																	330																	331																	332																	333																	334																	335																	336																	337																	338																	339																	340																	341																	342																	343																	344																	345																	346																	347																	348																	349																	350																	351																	352																	353																	354																	355																	356																	357																	358																	359																	360																	361																	362																	363																	364																	365																	366																	367																	368																	369																	370																	371																	372																	373																	374																	375																	376																	377																	378																	379																	380																	381																	382																	383																	384																	385																	386																	387																	388																	389																	390																	391																	392																	393																	394																	395																	396																	397																	398																	399																	400																	401																	402																	403																	404																	405																	406																	407																	408																	409																	410																	411																	412																	413																	414																	415																	416																	417																	418																	419																	420																	421																	422																	423																	424																	425																	426																	427																	428																	429																	430																	431																	432																	433																	434																	435																	436																	437																	438																	439																	440																	441																	442																	443																	444																	445																	446																	447																	448																	449																	450																	451																	452																	453																	454																	455																	456																	457																	458																	459																	460																	461																	462																	463																	464																	465																	466																	467																	468																	469																	470																	471																	472																	473																	474																	475																	476																	477																	478																	479																	480																	481																	482																	483																	484																	485																	486																	487																	488																	489																	490																	491																	492																	493																	494																	495																	496																	497																	498																	499																	500																	501																	502																	503																	504																	505																	506																	507																	508																	509																	510																	511																	512																	513																	514																	515																	516																	517																	518																	519																	520																	521																	522																	523																	524																	525																	526																	527																	528																	529																	530																	531																	532																	533																	534																	535																	536																	537																	538																	539																	540																	541																	542																	543																	544																	545																	546																	547																	548																	549																	550																	551																	552																	553																	554																	555																	556																	557																	558																	559																	560																	561																	562																	563																	564																	565																	566																	567																	568																	569																	570																	571																	572																	573																	574																	575																	576																	577																	578																	579																	580																	581																	582																	583																	584																	585																	586																	587																	588																	589																	590																	591																	592																	593																	594																	595																	596																	597																	598																	599																	600																	601																	602																	603																	604																	605																	606																	607																	608																	609																	610																	611																	612																	613																	614																	615																	616																	617																	618																	619																	620																	621																	622																	623																	624																	625																	626																	627																	628																	629																	630																	631																	632																	633																	634																	635																	636																	637																	638																	639																	640																	641																	642																	643																	644																	645																	646																	647																	648																	649																	650																	651																	652																	653																	654																	655																	656																	657																	658																	659																	660																	661																	662																	663																	664																	665																	666																	667																	668																	669																	670																	671																	672																	673																	674																	675																	676																	677																	678																	679																	680																	681																	682																	683																	684																	685																	686																	687																	688																	689																	690																	691																	692																	693																	694																	695																	696																	697																	698																	699																	700																	701																	702																	703																	704																	705																	706																	707																	708																	709																	710																	711																	712																	713																	714																	715																	716																	717																	718																	719																	720																	721																	722																	723																	724																	725																	726																	727																	728																	729																	730																	731																	732																	733																	734																	735																	736																	737																	738																	739																	740																	741																	742																	743																	744																	745																	746																	747																	748																	749																	750																	751																	752																	753																	754																	755																	756																	757																	758																	759																	760																	761																	762

4.2.2.2 Ara Yer Bileşikleri

Bu bileşikler skandiyum (Sc), titan (Ti), tantal (Ta), tungsten veya wolfram (W) ve demir (Fe) gibi geçiş metalleri ile hidrojen (H), oksijen (O), karbon (C), bor (B) ve azot (N) elementleri tarafından oluşturulur. H, O, C, B ve N elementlerinin atomları oldukça küçük olup, bunlar yukarıda belirtilen geçiş metallerinin atomları arasındaki boşluklara yerleşebilirler. Ara yer bileşiklerinin oluşabilmesi için söz konusu elementlerin bileşim oranlarının belirli değerlerde olması gerekir. Bu elementler, daha sonra incelenecek olan ara yer katı çözeltilerini de oluştururlar. Ara yer bileşikleri metalik karakterde olup, bileşim aralıkları oldukça dardır. Ergime sıcaklıkları yüksek olan bu bileşikler aşırı ölçüde yüksek sertliğe sahiptirler. Bunlara örnek olarak TiC, TaC, Fe₄N, Fe₃C, W₂C, CrN ve TiH bileşikleri verilebilir. Bu bileşikler çeliklerin sertleştirilmesinde ve sementasyonlu karbür takımlarının yapımında kullanılır.

Büyük yarıçapa sahip metallerle / Küçük yarıçapa sahip ametaller arasında

Fe, Ta, Ti, W /

C, O, H, N

4.2.2.3 Elektron Bileşikleri

Alaşımların yapıları üzerine yaptığı çalışmalarla tanınan İngiliz bilim adamı Hume-Rothery'ye göre, elektron bileşikleri bir sistemdeki valans elektronu sayısı/atom sayısı oranının belirli değerleri alması durumunda oluşur. bulunduğundan elektron sayısı/atom sayısı oranı $3/2$ olur. Atom sayısı 13 olan Cu_9Al_4 bileşiğinde ise her bir bakır atomunun bir, her bir alüminyum atomunun da üç valans elektronuna sahip olmaları nedeniyle 21 valans elektron bulunur ve dolayısıyla bu bileşikteki elektron sayısının atom sayısına oranı $21/13$ olarak hesaplanır. Hesaplamalarda demir ve nikel atomlarının valans değerleri sıfır kabul edilir.

Yüksek erime noktasına sahip: Fe, Ni, Cu.. / Düşük erime noktasına sahip: Al, Mg, Zn, Sn..

Elektron bileşiklerinin pek çoğu katı çözeltilerin özelliklerine benzer özelliklere sahiptirler. Nitekim katı çözeltiler gibi oldukça geniş bileşim aralıklarına sahip olan elektron bileşikleri diğer bileşiklerden çok daha yumuşak olup, oldukça sünek davranış sergilerler. Elektron bileşiklerine ait örnekler Tablo 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4.1 Elektron Bileşikleri

Elektron/Atom Oranı:3/2 (HMK)	Elektron/Atom Oranı:21/13 (Karmaşık Kübik)	Elektron/Atom Oranı:7/4 (SDH)
AgCd AgZn Cu ₃ Al AuMg FeAl Cu ₅ Sn	Ag ₅ Cd ₈ Cu ₉ Al ₄ Cu ₃₁ Sn ₈ Au ₅ Zn ₈ Fe ₅ Zn ₂₁ Ni ₅ Zn ₂₁	AgCd ₃ Ag ₅ Al ₃ AuZn ₃ Cu ₃ Si FeZn ₇ Ag ₃ Sn

E/A	Kristal yapı	Simge	Örnek
3/2	HMK		Cu_5Sn
7/4	Karma ık kübik		AuZn_3
21/13	Hekzagonal		Cu_9Al_4

Metaller Arası Bileşikler ve Katı Eriyik Arasındaki Farklar

- a) Metaller arası bileşikler belirli kimyasal formüllerle gösterilir, katı çözeltiler ise formülle ifade edilemezler.
- b) Metaller arası bileşikler çok dar bir bileşim aralığında meydana gelir, katı çözeltiler ise çok daha geniş bileşim aralığında yer alırlar.
- c) Bileşikler içerdikleri elementlerin özelliklerinden farklı özelliklere sahiptir, katı çözeltiler ise kendilerini oluşturan elementlerin özelliklerine benzer özellikler sergilerler.
- d) Metaller arası bileşiklerin ergime ve katılaşma sıcaklıkları genelde sabittir, katı çözeltiler ise belirli sıcaklık aralıklarında ergir ve katılaşırlar.
- e) Metaller arası bileşikler genelde katı çözeltilerden çok daha sert ve gevrekler.

KATILAŞMA

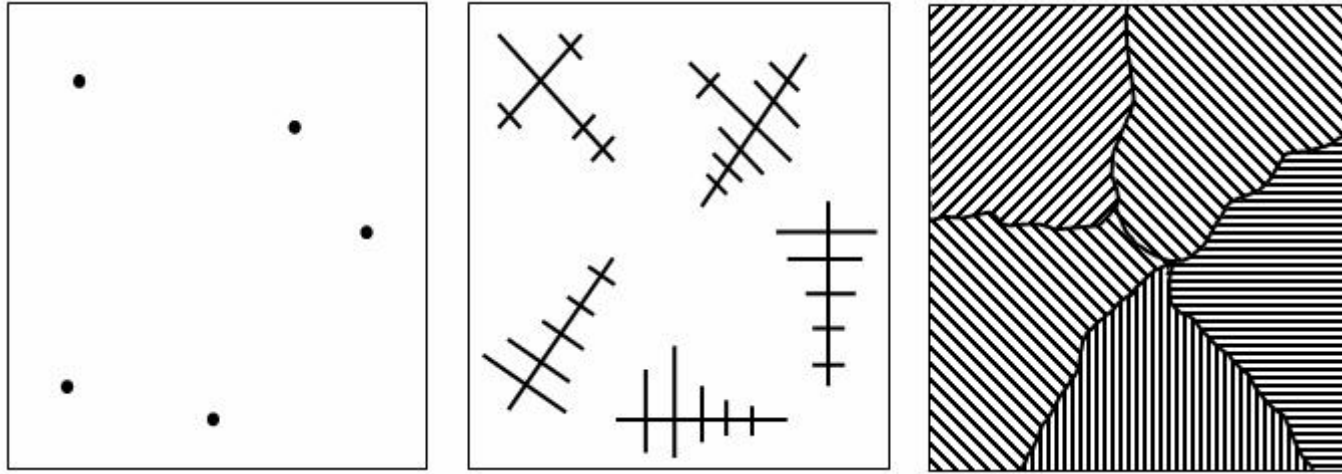
- ❑ Ala ımlandırma sıvı halde bir metale istenen element veya elementlerin eklenmesiyle yapılır.
- ❑ Ala ım kalıplara dökülerek ya mamül parça halinde ya da daha sonra ekillendirilmek üzere kütük haline getirilir.
- ❑ Bu safhalar saf metaller için de geçerlidir. Döküm sonrasında malzeme katıla ma veya ergime sıcaklı ında sıvı halden katı hale geçecektir.

2.1. Metallerde Katılaşma

Hemen hemen tüm metal ve alaşımlar, bazı seramik ve polimer malzemeler üretimlerinin bir aşamasında sıvıdır. Sıvı, katılaşma noktasının altına soğutulduğunda katılaşır. Malzeme; katılaşmış, mekanik işlem yada ısıtıl işlem uygulanmış durumda kullanılabilir. Katılaşma sürecinde ortaya çıkan yapı, mekanik özellikleri ve istenilen özelliklerin kazanılması için uygulanan işlemlerin türünü etkiler. Özellikle tane boyutu ve şekli katılaşma ile kontrol edilebilir. Genel olarak metallerin katılaşması, ergiyikten kararlı çekirdeklerin oluşması (çekirdeklenme), çekirdeklerin kristaller halinde büyümesi ve tane yapısının oluşması kademelerini kapsamaktadır.

KATILA MA OLAYI

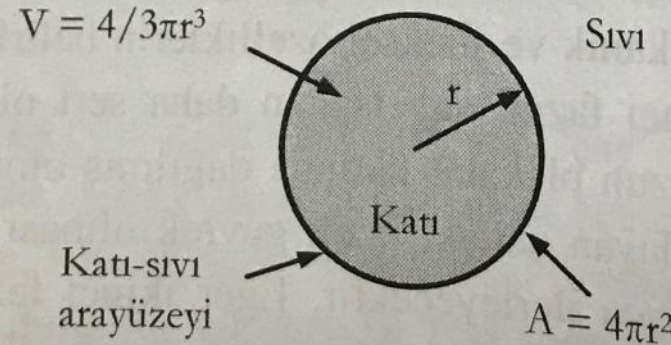
- Sıvı halde saf bir metal ya da ala ım so utulmaya bırakılsın. İlk sıcaklık yüksek oldu u için sistem sıvı fazdadır.
- Erime sıcaklı ında ilk katıla ma (çekirdek olu umu) meydana gelecektir. Bu anda ilk olarak katı tanecikler olu acaktır.



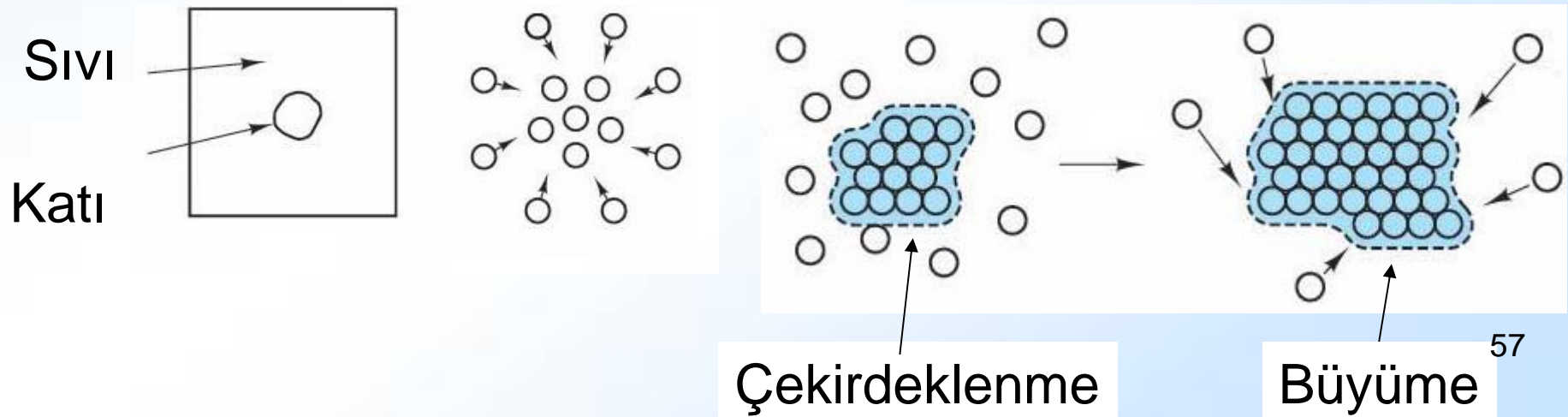


2.2. Çekirdeklenme

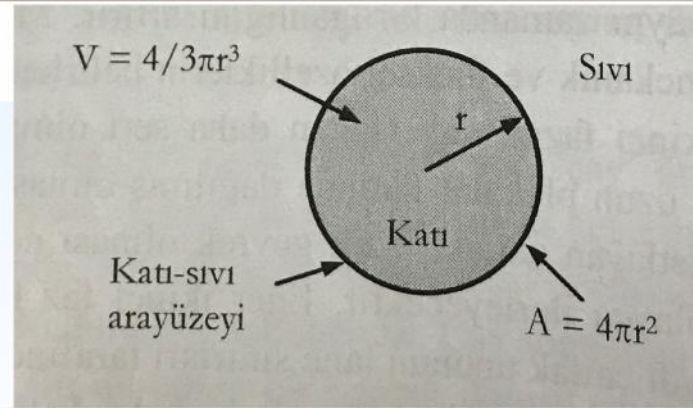
Kristalleşmeyi başlatan en küçük katı oluşumlara *çekirdek* denir. Bir metalin sıvı halden katı hale, yani ergiyikten kristalli duruma geçebilmesi için çekirdek oluşumu mutlaka gereklidir. Ergiyik haldeki metalin atomları çekirdek etrafında toplanmaya ve çekirdeği büyötmeye başlarlar. Başlangıcı çekirdekler tarafından yapılmış olan katılaşıma bölgeleri büyüyüp sıvı metalin tamamen katı hale geçmesini sağlayacaktır. Kristal veya tane adı verilen aynı yönde ve düzen içindeki katı metal adacıkları, ergiyiğin çeşitli noktalarından, yani çekirdeklerinden hareketle büyüyüp tüm metalin kristalleşmesini sağlar.



- Çekirdeklenme, küçük katı parçacıklarının sıvıdan embriyola ması ile gerçekleşir.
- Çekirdek kararlı olmadan önce minimum kritik çapa gelmelidir.
- Katının büyümesi, atomların sıvıdan oluşan çekirdeklere geçmeleri ile olur ve bu şekilde büyüme sıvı bitene kadar devam eder.



Sıvı, katılaşma sıcaklığının altına soğutulduğunda bir malzemenin katılaşması beklenir. Çünkü katının kristal yapısı ile ilgili enerjisi sıvının enerjisinden daha azdır. Katı ve sıvının arasındaki bu enerji farkı serbest hacim enerjisidir (ΔF_H) ve katı büyürken serbest hacim enerjisi artar. Katı, ergiyik sıvı içerisinde oluşmaya başladığında Şekil 2.1'de görüldüğü gibi oluşan

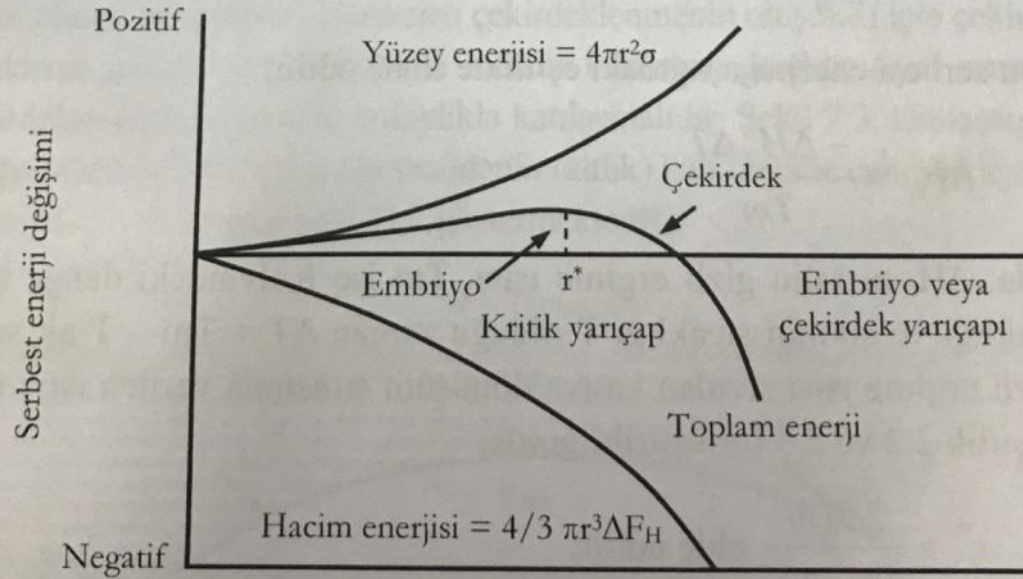


katı ile ergiyik sıvı arasında bir arayüzey meydana gelir. Yüzey serbest enerjisi, arayüzey enerjisi (σ) ile birleşmiştir ve katının büyümesi yüzey enerjisini artırmaktadır. Bu durumda toplam serbest enerji değişimi Eşitlik 2.1'deki gibi ifade edilir.

$$\Delta F = \frac{4}{3} \pi r^3 \Delta F_H + 4 \pi r^2 \sigma \quad (2.1)$$

Burada $\frac{4}{3} \pi r^3$ yarıçapı r olan küresel embriyonun hacmi, $4 \pi r^2$ küresel embriyonun yüzey alanı, σ serbest yüzey enerjisi ve ΔF_H negatif değişen serbest hacim enerjisidir.

Serbest enerjideki değişiklik, Şekil 2.2’de gösterilen embriyonun boyutuna bağlıdır. Eğer embriyonun yarıçapı kritik çekirdek yarıçapından (r^*) küçükse embriyonun ergimesiyle sistemin enerjisi azalacaktır. Dolayısıyla bu küçük embriyolar sıvı metalde yeniden çözünebilirler. Fakat embriyonun yarıçapı kritik çekirdek yarıçapından büyükse bu kez sistemin enerjisi çekirdeklerin büyümesi veya kristaller haline gelmesi ile azalacaktır. Embriyonun yarıçapının kritik çekirdek yarıçapına eşit olduğu durumda ise toplam serbest enerji değeri en yüksek değere ulaşacaktır. Çekirdeklenme, ancak yeterli sayıdaki atomun kendiliğinden katı üretmek için kümeleşmesi ve bu katının çapı kritik yarıçaptan büyük olması durumunda oluşur.



Şekil 2.2. Çekirdek oluşumu için gerekli serbest enerjinin kritik çekirdek yarıçapına (r^*) göre değişimi. (D.R. Askeland, *The Science and Engineering of Materials*, Third Edt., Chapman and Hall, 1996.)

NUCLEATION

➤ The volume free energy ΔG_v – *free energy difference between the liquid and solid*

$$\Delta G_v = \frac{4}{3}\pi r^3 \Delta G_v \quad (-ve)$$

➤ The surface energy ΔG_s – *the energy needed to create a surface for the spherical particles*

$$\Delta G_s = 4\pi r^2 \gamma \quad (+ve)$$

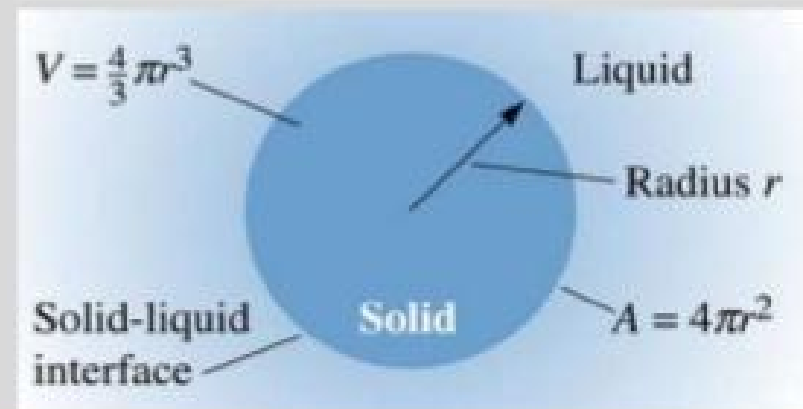
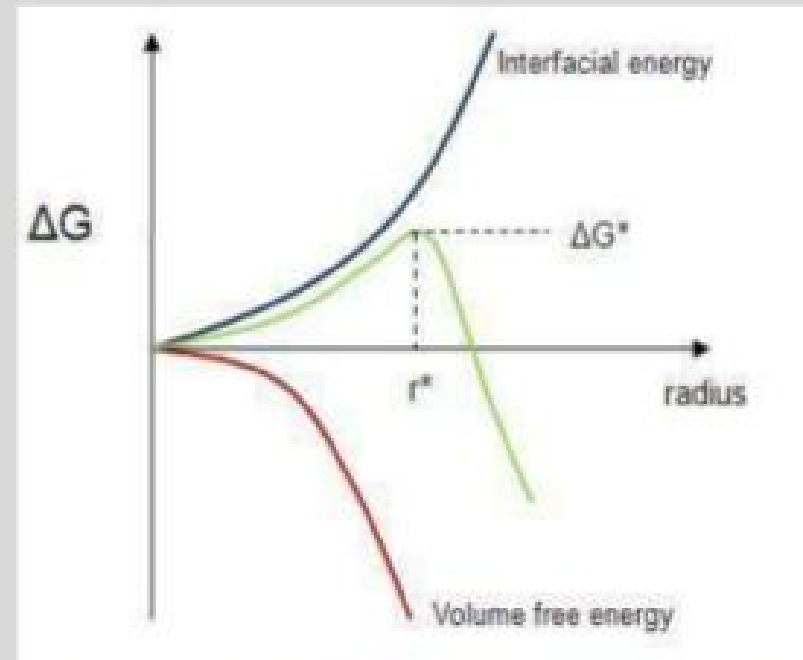
$\gamma \rightarrow$ specific surface energy of the particle

Total free energy Change, $\Delta G_T = \Delta G_v + \Delta G_s$

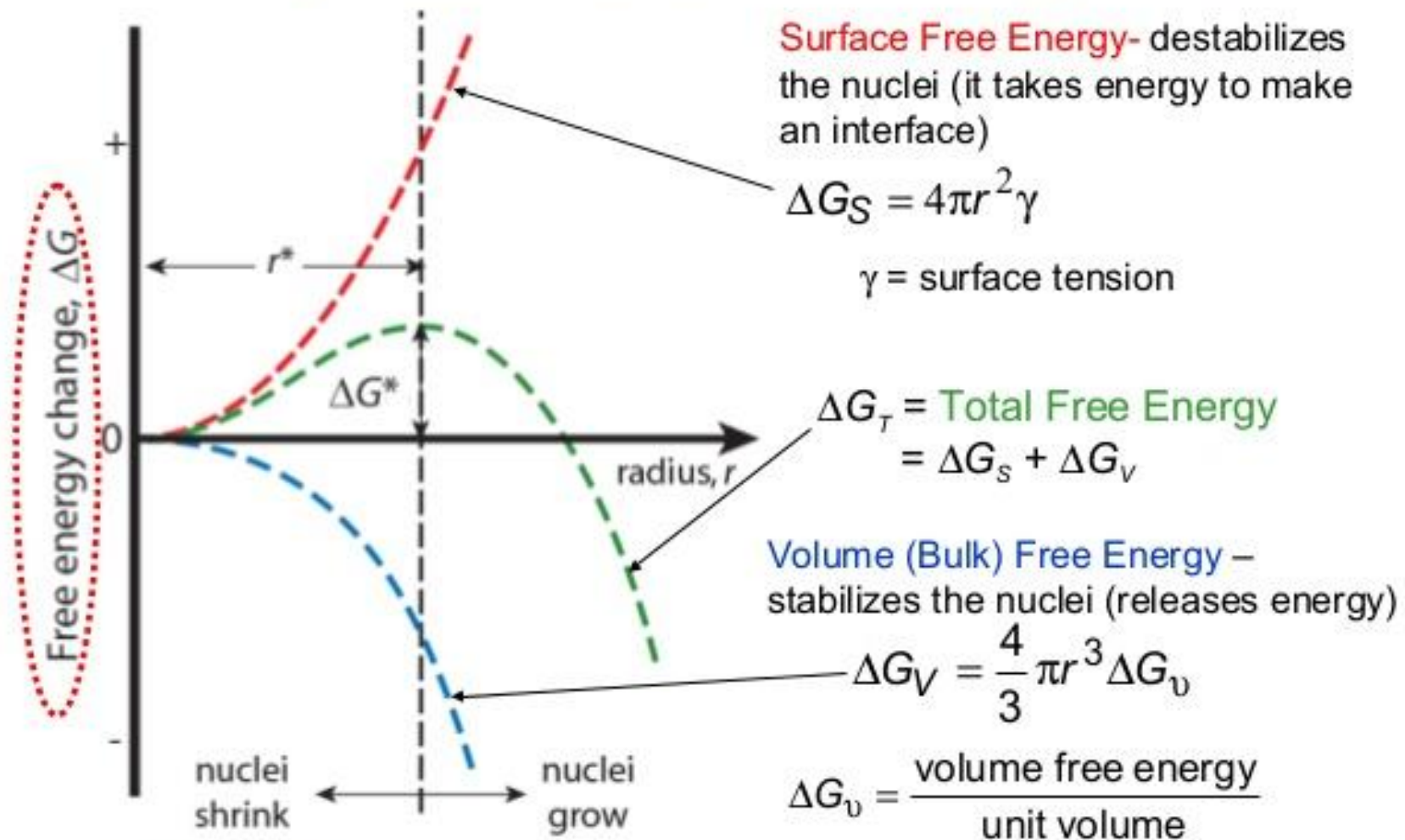
➤ At low temperatures atoms form small cluster or groups.

➤ Embryo's formed may either form into stable nuclei or may re-dissolve in the liquid.

➤ beyond the critical radius of the nuclei it will remain stable and growth occurs



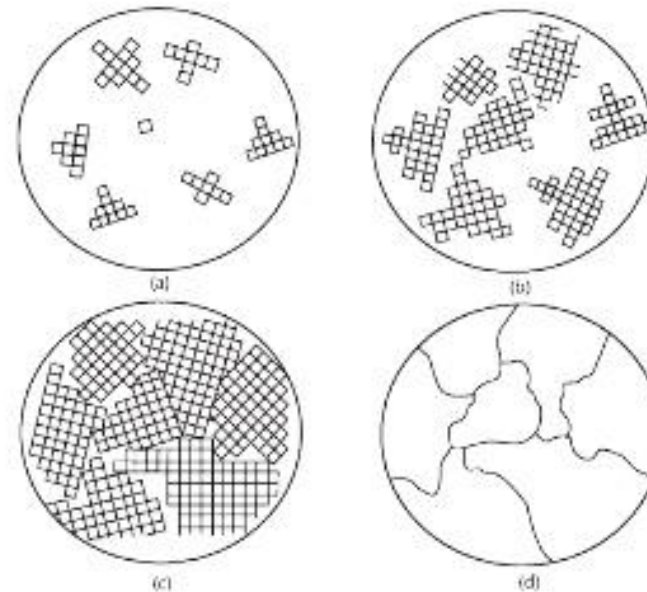
Homogeneous Nucleation & Energy Effects



r^* = **critical nucleus**: for $r < r^*$ nuclei shrink; for $r > r^*$ nuclei grow (to reduce energy)

Nucleation and Growth of Crystals

- At the solidification temperature, atoms from the liquid, such as molten metal, begin to bond together and start to form crystals.
- The moment a crystal begins to grow is known as nucleus and the point where it occurs is the nucleation point.
- When a metal begins to solidify, multiple crystals begin to grow in the liquid.
- The final sizes of the individual crystals depend on the number of nucleation points.
- The crystals increase in size by the progressive addition of atoms and grow until they impinge upon adjacent growing crystal.



a) Nucleation of crystals, b) crystal growth, c) irregular grains form as crystals grow together, d) grain boundaries as seen in a microscope.

Çekirdekler, ergiyik metalin kendi atomlarından oluşuyorsa bunlara öz çekirdek veya *homojen çekirdek* denir ve burada homojen çekirdek oluşumu söz konusudur. Çekirdekler yabancı katı parçacıklardan oluşuyorsa bunlara da *yabancı çekirdek* veya *heterojen çekirdek* denir ve burada da heterojen çekirdek oluşumu söz konusudur.

2.2.1. Homojen Çekirdeklenme

Sıvının sıcaklığı denge katılaşma sıcaklığının daha da altına soğutulduğunda, büyük bir ihtimalle atomlar kümeleşerek, kritik yarıçaptan (r^*) daha büyük bir embriyo oluşturacaktır. Buna ilaveten büyük alt soğuma (ΔT), embriyonun kritik boyutunu geçmesini sağlayacak kadar büyük olduğunda homojen çekirdeklenme olur.

Toplam serbest enerji eşitliğinin diferansiyeli alınırsa, kritik çekirdeklenme boyutu tahmin edilebilir. $r = r^*$ olduğunda serbest enerji eğrisinin maksimumda olmasından dolayı r 'ye göre diferansiyeli sıfırdır.

$$\frac{d}{dr}(\Delta F) = \frac{d}{dr} \left(\frac{4}{3} \pi r^3 \Delta F_H + 4 \pi r^2 \sigma \right) = 0$$

$$4 \pi r^{*2} \Delta F_H + 8 \pi r^* \sigma = 0$$

$$r^* = \frac{-2\sigma}{\Delta F_H}$$

(2.2)

Hacim serbest enerjisi aşağıdaki eşitlikte ifade edilir.

$$\Delta F_H = \frac{-\Delta H_f \Delta T}{T_m} \quad (2.3)$$

Burada; ΔH_f metalin gizli ergime ısısı, T_m ise Kelvindeki denge katılaşma sıcaklığı ve sıvının sıcaklığı T olduğu zaman $\Delta T = T_m - T$ alt soğumadır. Gizli ergime ısısı sıvıdan katıya dönüşüm sırasında verilen ısıyı temsil eder. Eşitlik 2.2 ve 2.3 birleştirildiğinde;

$$r^* = \frac{2\sigma T_m}{\Delta H_f \Delta T} \text{ elde edilir.} \quad (2.4)$$

Alt soğuma arttığında çekirdeklenme için gerekli olan kritik çekirdek yarıçapı düşer. Çizelge 2.1, çeşitli malzemelerin homojen çekirdeklenme için deneysel olarak elde edilen yüzey serbest enerjisi (σ), gizli ergime ısısı (ΔH_f) ve alt soğuma (ΔT) değerlerini göstermektedir.

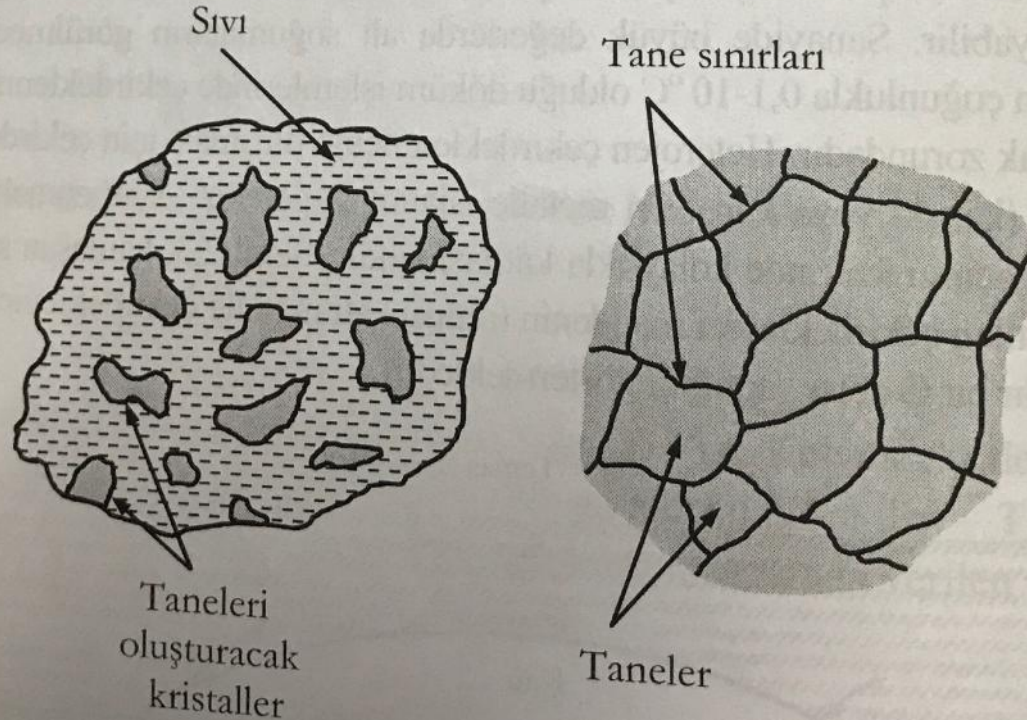
2.2.2. Heterojen Çekirdeklenme

Özel olarak yapılan laboratuvar deneyleri dışında, sıvı metal içinde homojen çekirdeklenme asla olmaz. Sıvı ile temas halinde bulunan kalıp duvarları, yabancı katı maddeler (impuritelere) veya katı parçacıkları çekirdeklenme için uygun yüzey sağlayabilir. Sanayide büyük değerlerde alt soğumaların görülmediği, alt soğumanın çoğunlukla $0,1-10^{\circ}\text{C}$ olduğu döküm işlemlerinde çekirdeklenme heterojen olmak zorundadır. Heterojen çekirdeklenmenin oluşması için çekirdekleyici maddenin (katışkı veya kap) sıvı metalle ıslanması gerekir. Aynı zamanda sıvı, çekirdekleyicinin üzerinde kolaylıkla katılaşmalıdır.

Heterojen çekirdeklenmenin çekirdekleyici madde üzerinde meydana gelmesinin nedeni, bu durumda kararlı bir çekirdek oluşturmak için gerekli yüzey enerjisinin, çekirdeğin saf sıvı içinde kendi kendine oluşmasından (homojen çekirdeklenme) daha düşük olmasıdır. Heterojen çekirdeklenmede yüzey enerjisi daha düşük olduğundan, kararlı bir çekirdek oluşturmak için gerekli toplam serbest enerji değişimi ve çekirdeğin kritik yarıçapı daha düşük olacaktır. Dolayısıyla, heterojen çekirdeklenmede kararlı bir çekirdek oluşturmak için çok daha küçük alt soğumalara ihtiyaç vardır.

2.3. Kristallerin Sıvı Metalde Büyümeleri ve Tane Yapısının Oluşması

Katılaşılan metalde katı çekirdekler oluştuğundan sonra bu çekirdek Şekil 2.4 a'da görüldüğü gibi büyüyerek bir kristal haline gelecektir. Her katılaşılan kristalde atomlar esas olarak düzenli bir kristal halinde dizilmekte, fakat her bir kristalin doğrultusu farklı olmaktadır. Metalin katılaşması bittikten sonra, farklı doğrultudaki kristaller yan yana gelerek yönelmenin birkaç atom boyunca değiştiği tane sınırlarını oluştururlar (Şekil 2.4 b). Çok sayıda kristali içeren metallere çok kristalli metaller denir. Katılaşmış metaldeki kristaller taneler, taneler arasındaki yüzeyler ise tane sınırlarıdır.



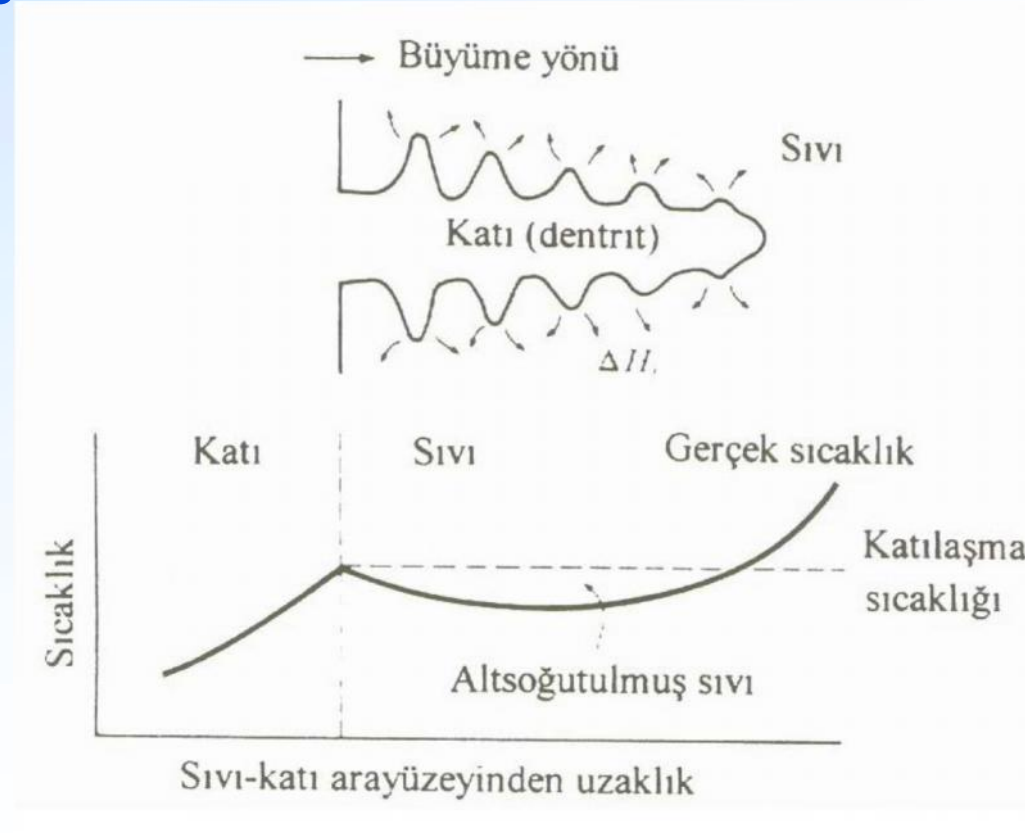
Hızlı so umada çok sayıda kritik tane olu ur. Büyüme hızı dü üktür. Yava so umada daha az tane olu ur, fakat büyüme hızı daha büyük olur.

Düzlemsel Büyüme



Sıvının sıcaklığı katılma sıcaklığından üzerinde olduğu anda katı-sıvı arayüzündeki ikinlik tekrar eriyerek düzlemsel arayüzün korunmasına neden olur. Ergime ısı sıvıya doğru arayüzden uzaklaştırılır. *Hiçbir anda soğuma mevcut olmaksızın katılma esnasında katı-sıvı arayüzünün pürüzsüz büyümesidir.*

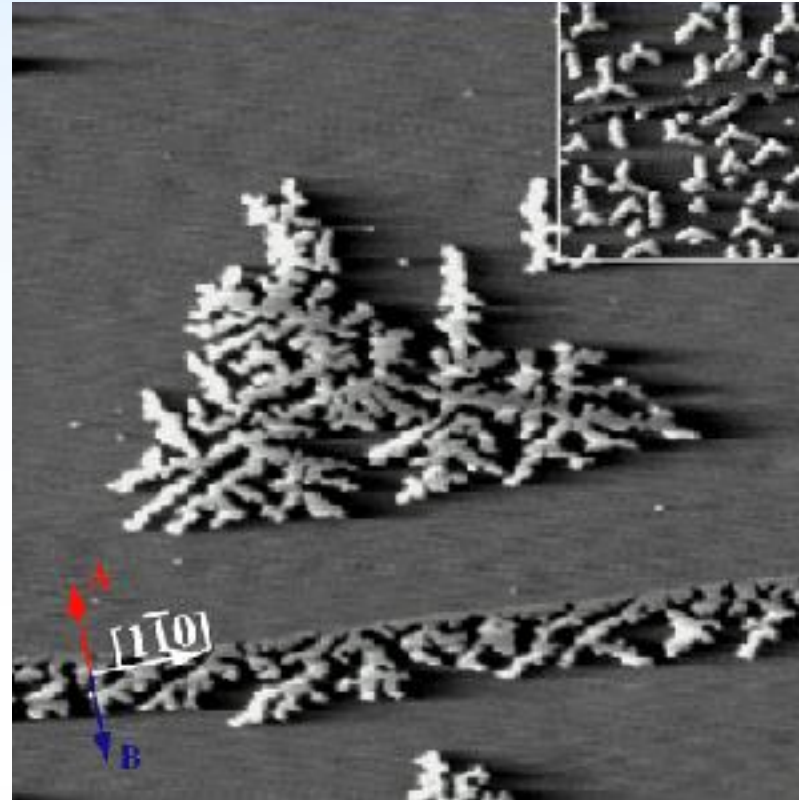
Dentritik Büyüme



Çekirdeklenme zayıf oldu unda, katı olu madan önce, sıvı katıla ma sıcaklı ının altında bir sıcaklı a so ur.

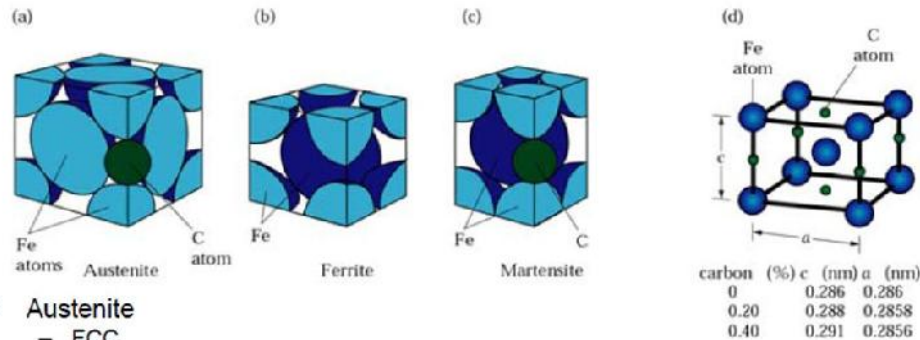
Dentritik büyüme alt so uyan sıvının katıla ma sıcaklı ına kadar devam eder.

Gümü ün Yapısındaki Dentritik Büyüme

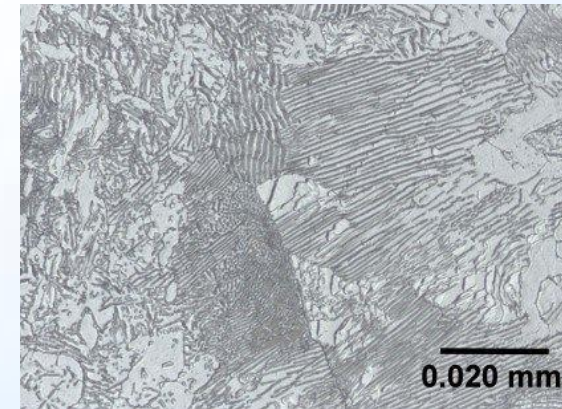


Bir maddenin kristal yapısı, atom dizilişleri, kimyasal içerikleri ve özellikleri aynı olan birbirinden ayırt edilebilir homojen hallerine «*faz*» adı verilir .

Austenite, Ferrite and Martensite



- Austenite
 - FCC
 - Structure of Fe/steel at elevated temperatures ($\sim >727\text{ }^{\circ}\text{C}$)
- Ferrite
 - BCC
 - Relatively soft and ductile
 - Steel structure at lower temperatures than Austenite
- Martensite
 - BCT
 - Hard and brittle

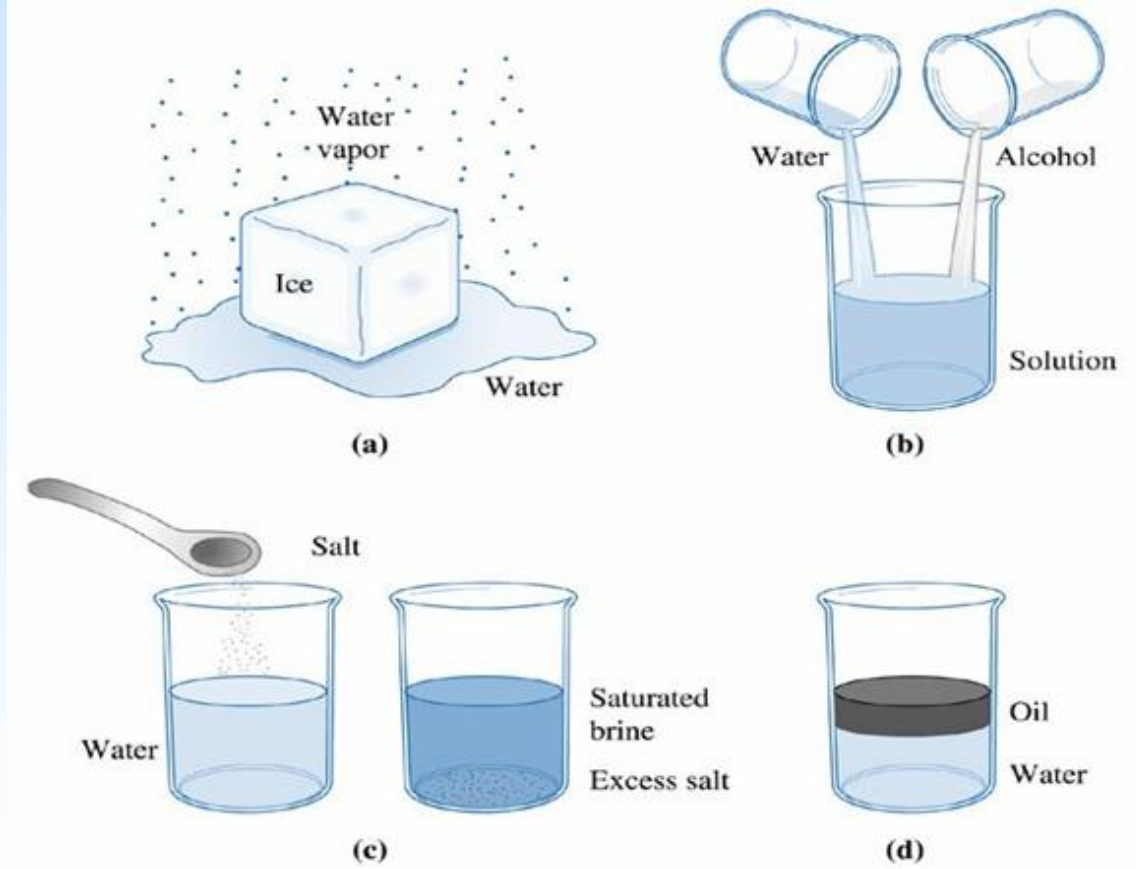


Bir fazda bulunması gereken özellikler



1. Bir fazın her yerinde yapı ve atomik dizilişi aynıdır.
2. Bir faz her yerinde aynı kimyasal bileşim ve özelliklere sahiptir.
3. Bitirilen veya civar fazlar arasında kesin bir ara yüzey vardır.

- ❑ Bir cisim, en düşük enerjili, denge konumunda bulunan atomlar grubundan oluşur.
- ❑ Koşullar değişirse enerji içeriği değişir, denge bozulur, atomlar daha düşük enerji gerektiren başka bir denge konumuna geçerek değişik biçimde dizilir ve sonuçta yeni bir faz oluşur.
- ❑ Fazların oluşumunda ve dönüşümünde ana etken enerji içeriğidir, bu içeriği değiştiren **üç ana etken sıcaklık, basınç ve bileşimdir.**

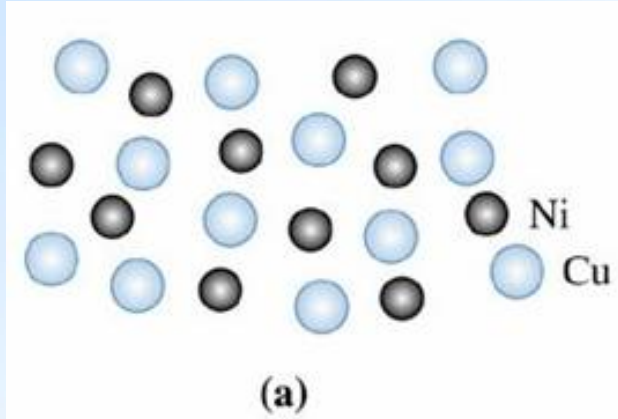


(a) Suyun 3 hali; gaz, sıvı, ve katı. Herbiri bir fazdır.

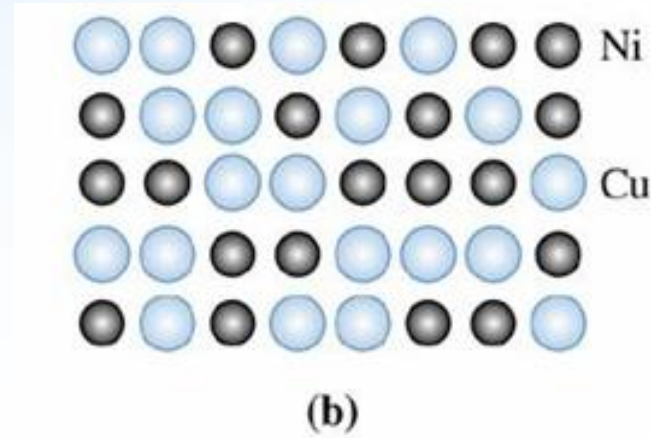
(b) Su ve alkol; tam çözünme.

(c) Tuz ve su; sınırlı çözünme.

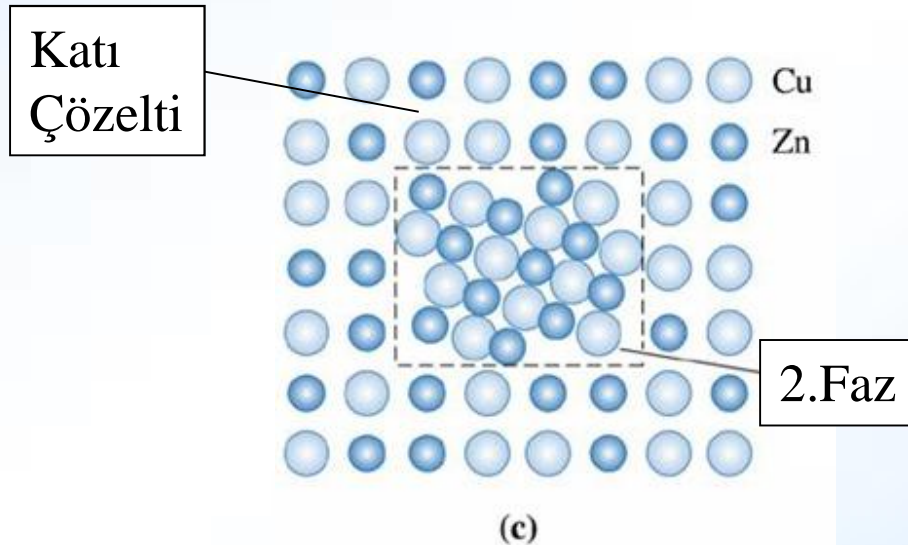
(d) Su ve ya ; Hiç çözünmeme.



(a) Sıvı Cu ve Ni, tam çözünür.



(b) Katı **Cu ve Ni** kristal yapıda rastgele yerlere yerle mek suretiyle **tam katı çözelti** olu turur.



(c) Cu ve Zn ala ımları **sınırlı** çözünmeden dolayı **% 30** dan fazla Zn çözemez, **ikinci faz bölgeleri** olu turur.

DENGE D YAGRAMLARI

Maddeler belirli çevre artlarında bir veya birden fazla faz içerebilirler.

Maddenin denge halindeki faz sayısı ve miktarı, maddenin;

- a) Kimyasal kompozisyonuna,
- b) Ortam sıcaklığına,
- c) Ortam basıncına bağlıdır.

Maddenin hangi çevre artlarında ve hangi kimyasal kompozisyonda ne gibi fazları (denge hali) içerdiği, sıcaklık, kompozisyon ve basıncın değişken alındığı diyagramlarda gösterilir.

Bu diyagramlara Faz Denge diyagramları veya dorudan denge diyagramları denir.

- Faz diyagramları yavaş soğutma artlarında belirlenir. Buna dengeli katılma hali denir.
- Birden fazla elementin bir araya gelerek oluşturdukları alaşımlar çok fazlıdır.
- Saf metallerin faz diyagramları genellikle sıcaklık ve basınçla bağılı olarak gösterilir. Alaşımların faz diyagramları, bileşim ve sıcaklıkla bağılı olarak (sabit basınçta) gösterilir.
- Faz diyagramları alaşımların mikro yapılarını belirlemede harita niteliindedir.

**BİR FAZ DENGİ DİYAGRAMINDAN
HANGİ BİLGİLER ELDE
EDİLEBİLİR?**



Denge diyagramları yardımı ile belirli bir malzeme sisteminde sıcaklık ve bileşime bağılı olarak oluşacak fazların türleri, fazların bileşimleri ve fazların miktarları tahmin edilebilir.

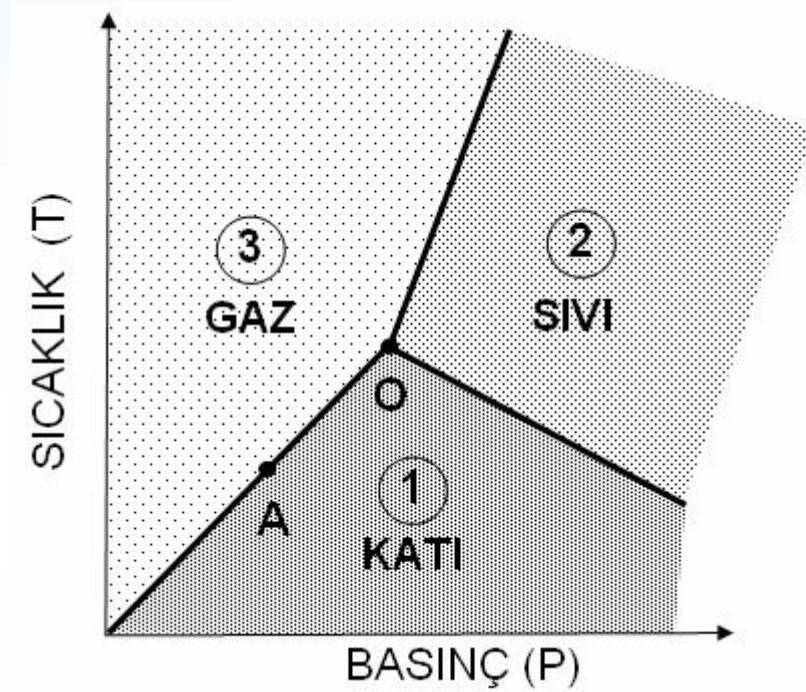
Mikroyapıda fazlar



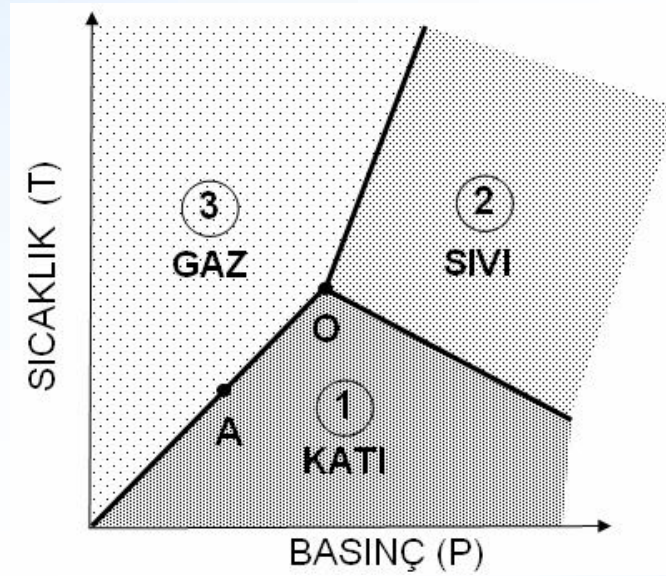
Bir malzemenin mekanik davranışları ve fiziksel özellikleri , o malzemenin mikro yapısına bağlı olarak değişir. Bir metal alaımının mikro yapısı ise mevcut fazların sayısına, bu fazların oranlarına ve fazların dağılımına bağlı olarak tanımlanır. Bir alaımın mikro yapısı, alaım elementlerinin kimyasal içeriğine, sıcaklık ve soğutma hızına bağlı olarak değiştirilebilir. Dolayısıyla bir malzemenin mikro yapısını tanımlamak mühendislik açısından önemlidir.

BİR BİLEŞENLİ DENGİ DİYAGRAMLARI

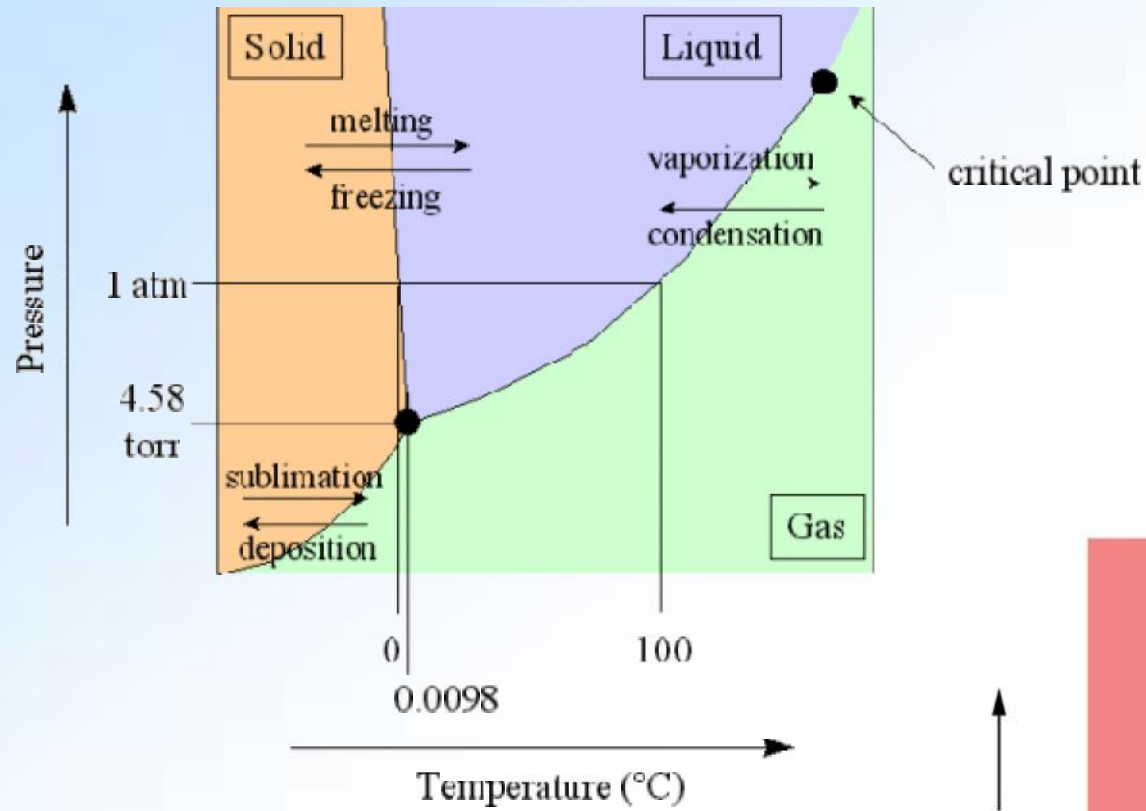
Bu tip diyagramlarda **de i ken sıcaklık ve basınçtır.**



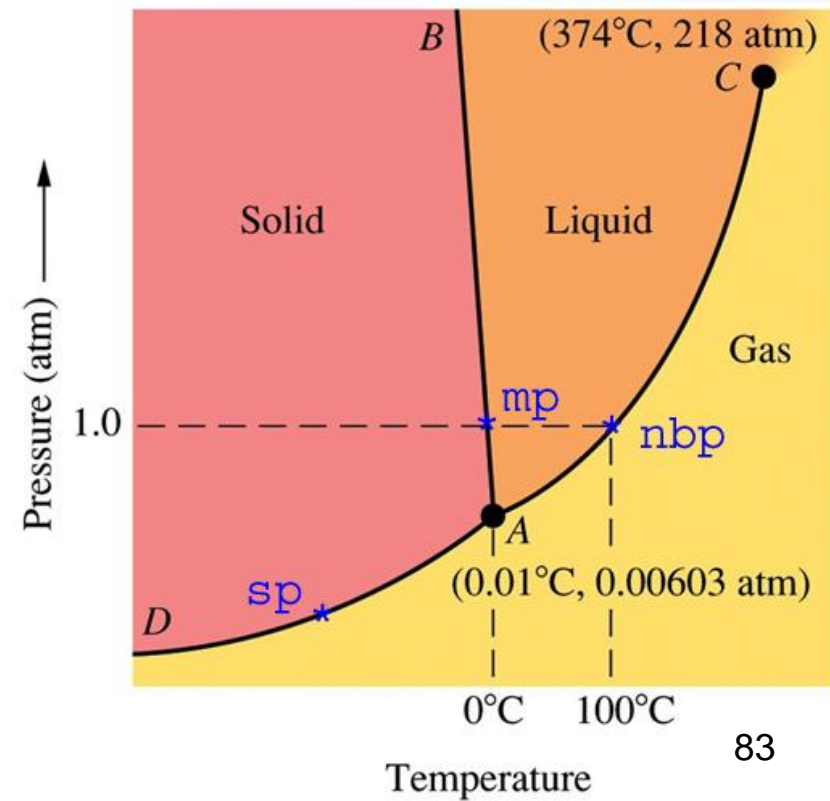
- 1 nolu bölge katı madde bölgesini gösterir.
- Diğer bölgeler sıvı ve gaz fazlarını gösteren bölgelerdir.



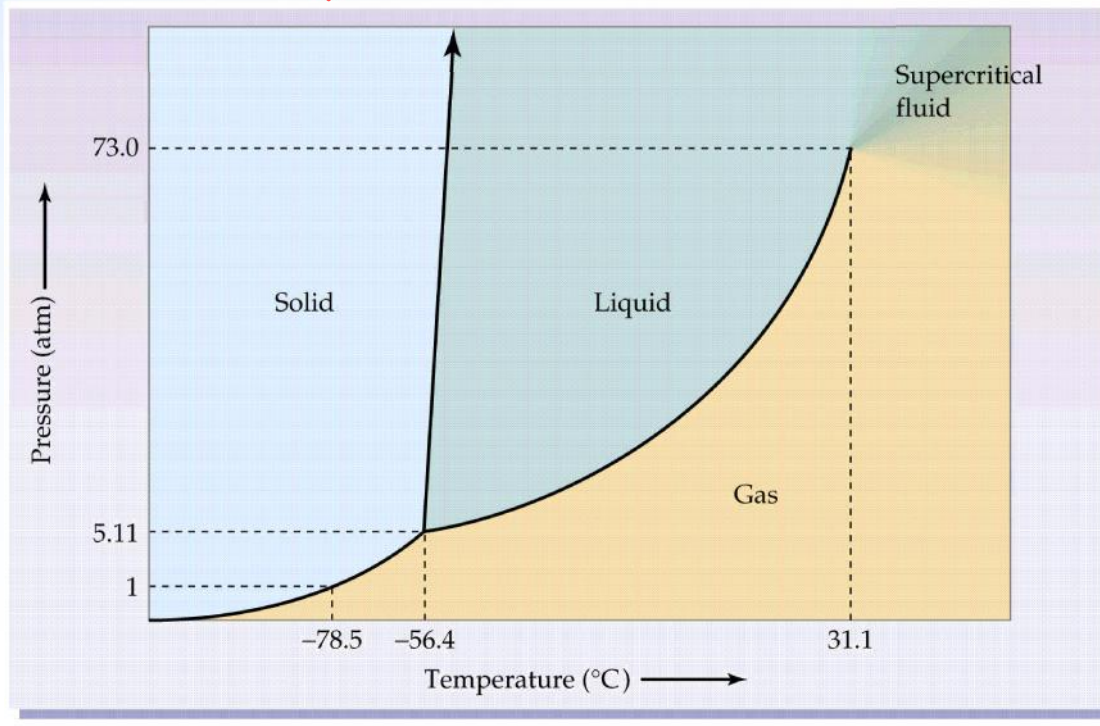
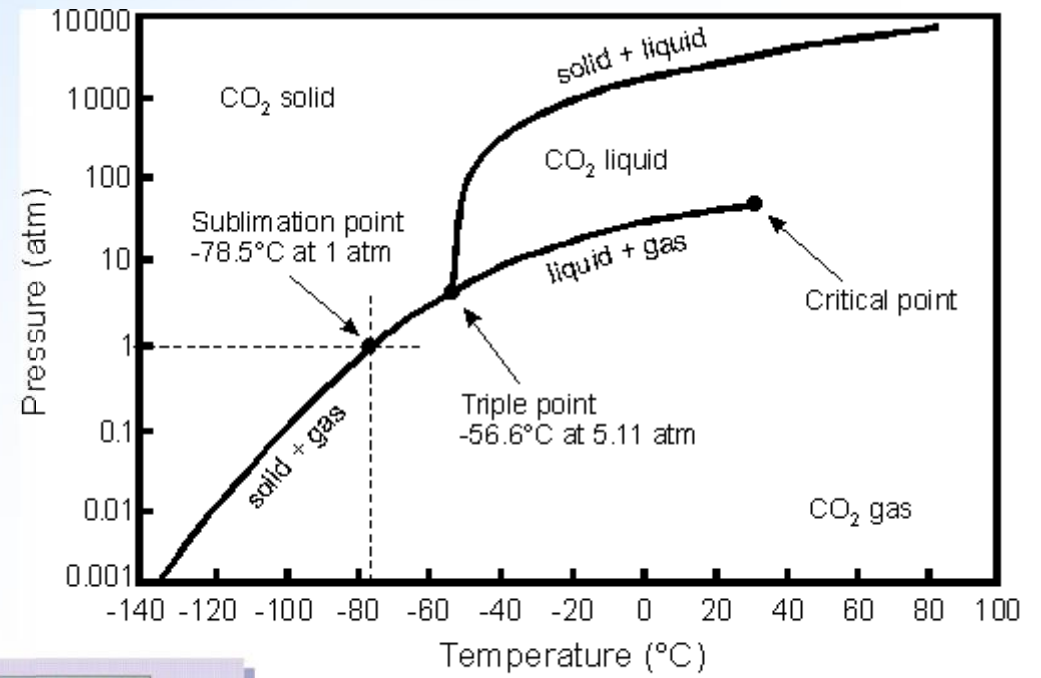
- Bölgeleri birbirinden ayıran P ve T değerlerindeki artlarda her iki bölge fazları beraberce denge halinde yer alır.
- O noktasında (üçlü nokta) ise her üç faz (katı+sıvı+gaz) beraberce denge halinde bulunurlar



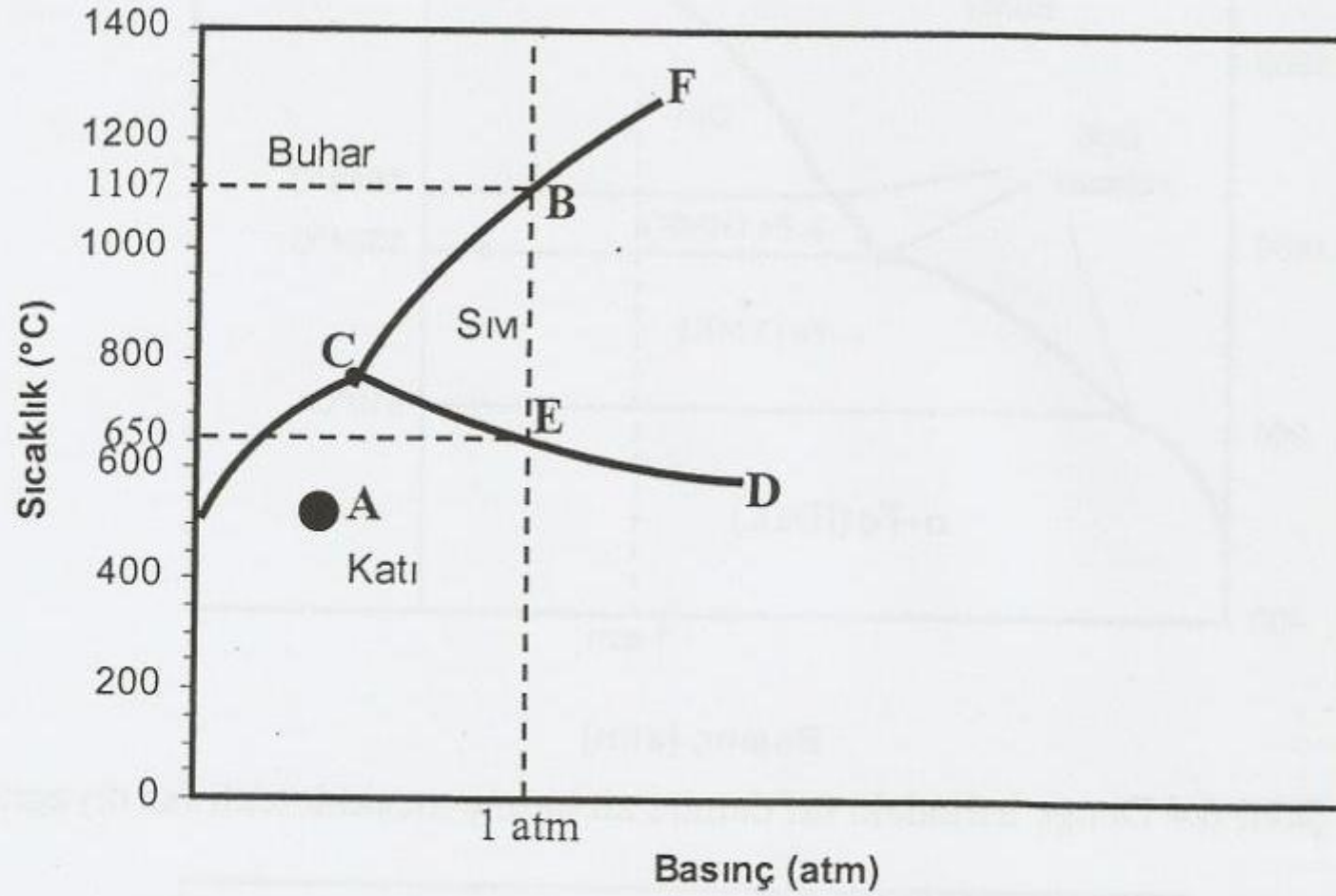
Suyun faz diyagramı



CO₂'nin (kuru buz) faz diyagramı

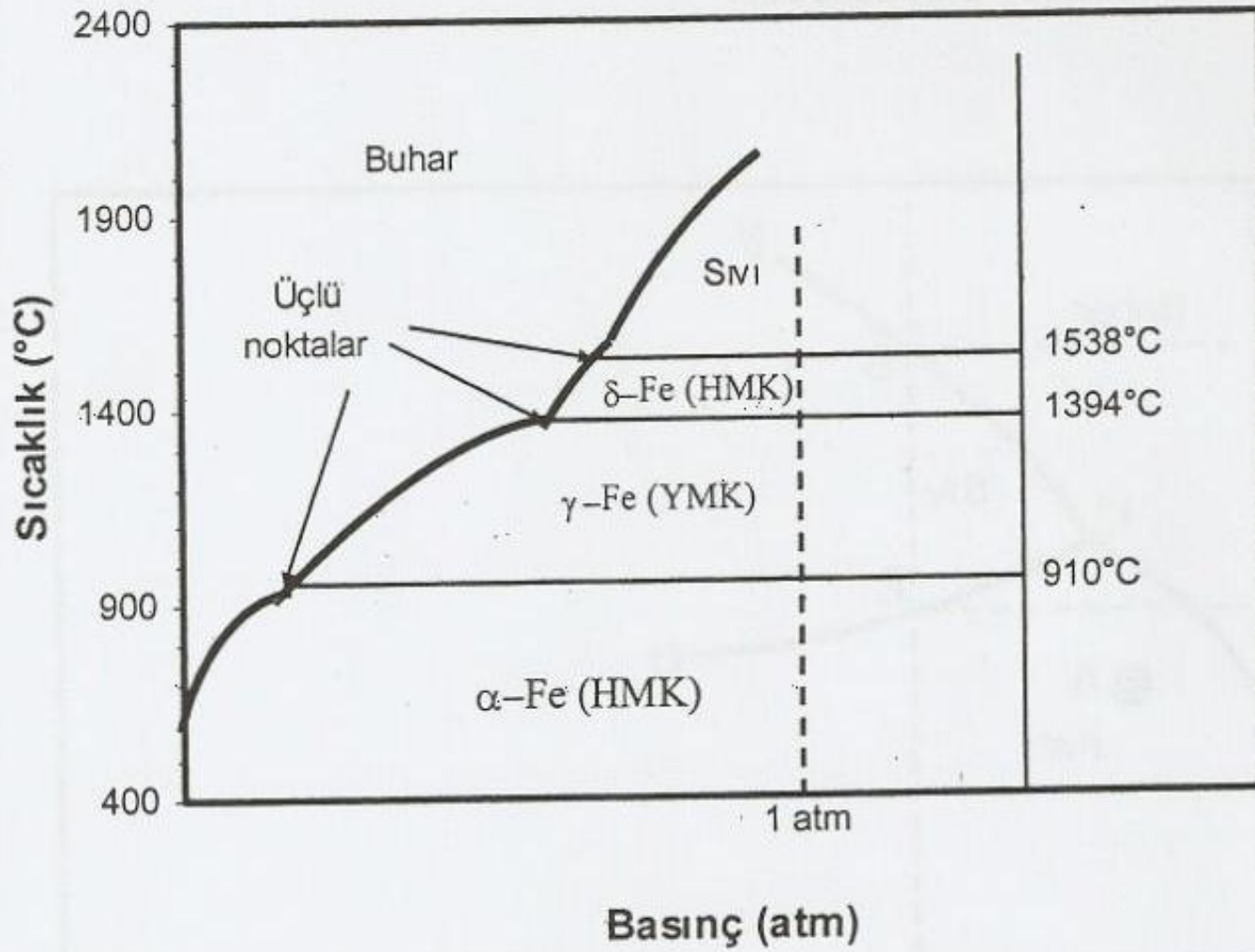


Pressure-Temperature phase diagram for CO₂.



Şekil 6.3 Denge halindeki saf magnezyuma ait basınç-sıcaklık tekli faz diyagramı

Basınç, yükseklikle azalır. Soğuk bölgelerdeki basınç azalması daha hızlıdır.⁸⁵



Şekil 6.4 Denge halindeki saf demire ait basınç-sıcaklık tekli faz diyagramı



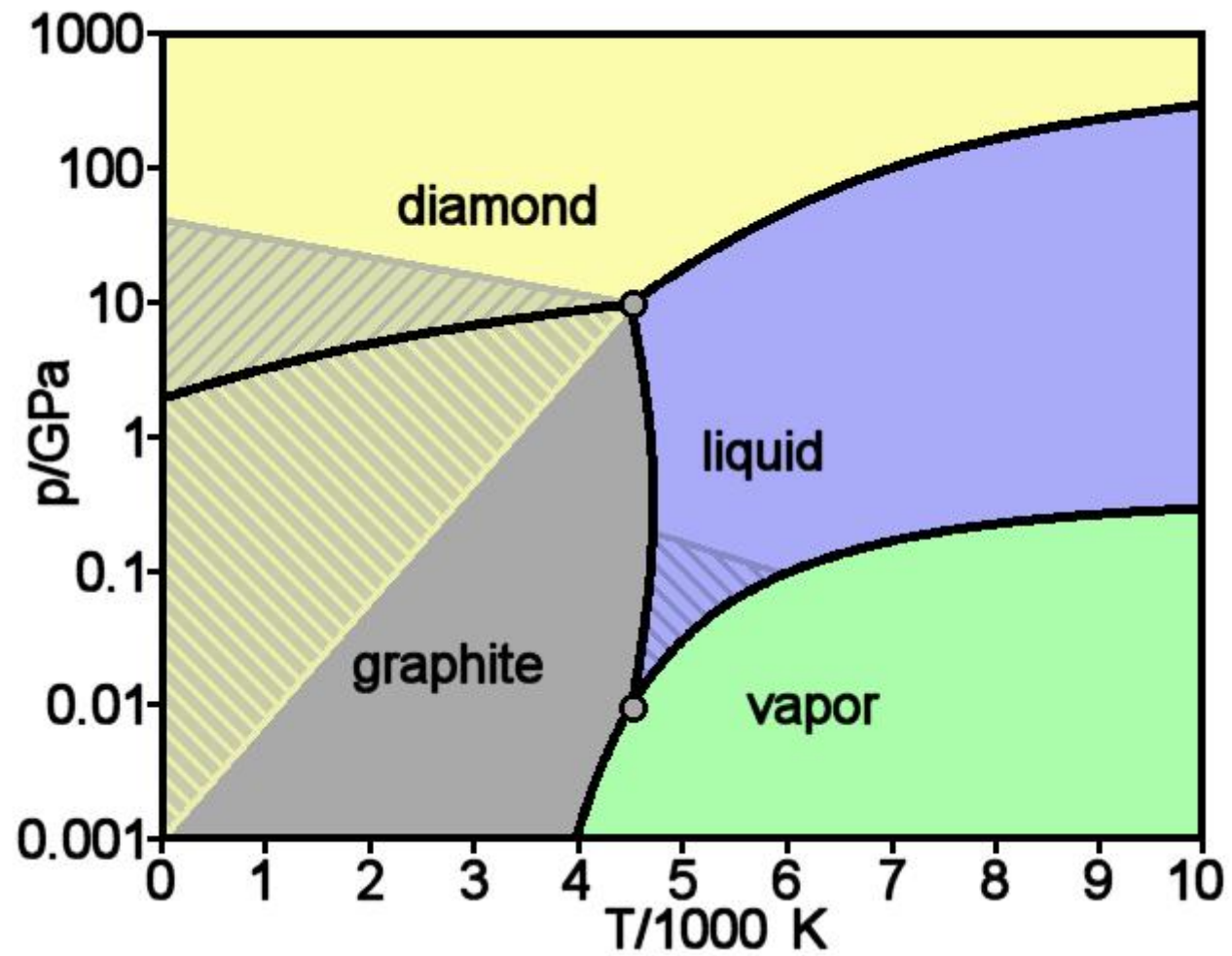
ALLOTROPI (polimorfizm)

Aynı elementin farklı sıcaklık ve basınçta, farklı ekilde dizilerek farklı geometrik ekilde kristal olu turmasıdır.

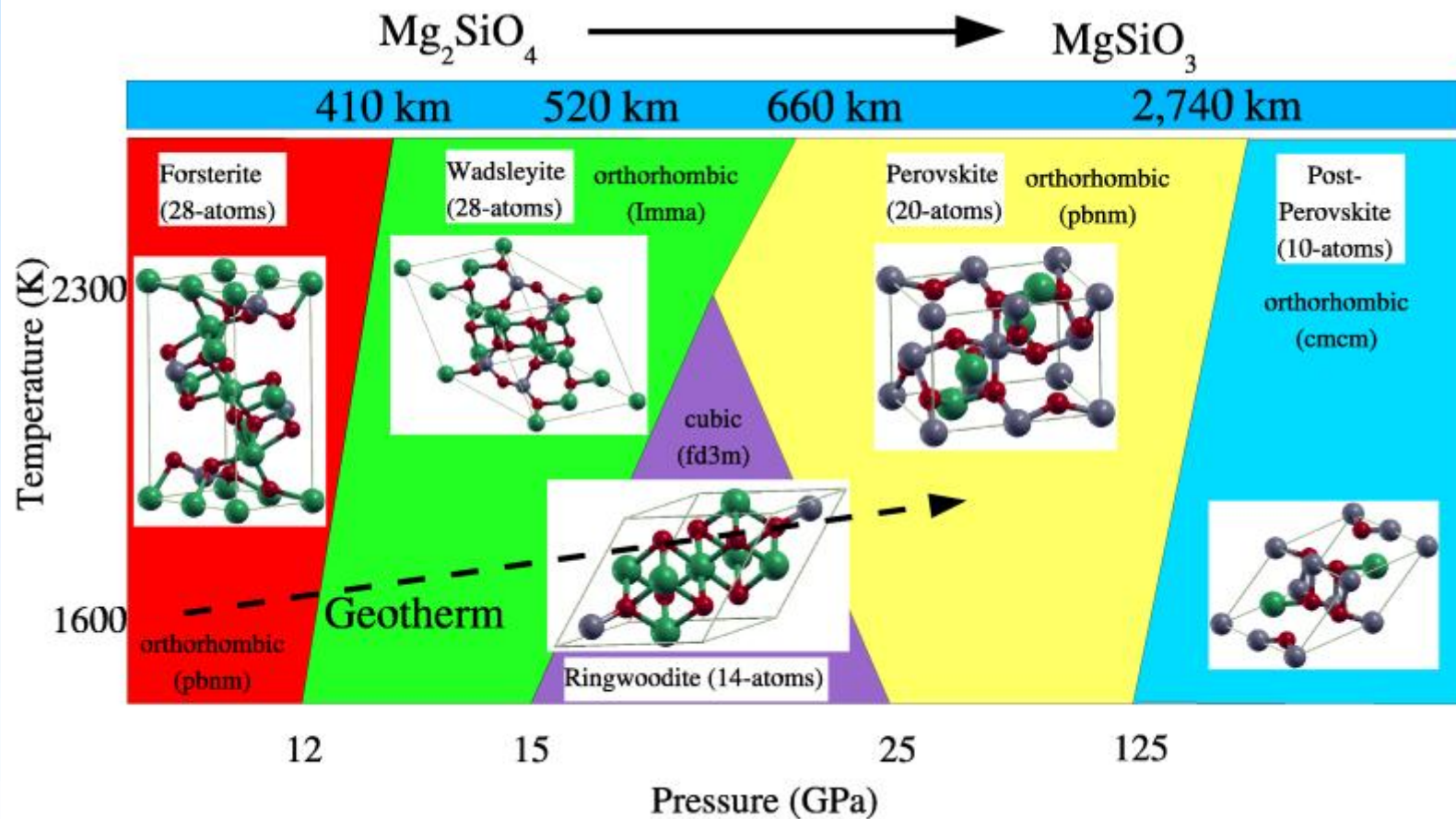
Örne in grafitle elmas, beyaz fosforla kırmızı fosfor, rombik kükürtle monoklinik kükürt birbirinin allotropudur.

Allotrop moleküllerin hem kimyasal özellikleri, hem de fiziksel özellikleri birbirinden farklıdır.

De i ik ko ullarda kararlı olan allotropların belirli basınç ve sıcaklıkta birbirine tersinir biçimde dönü türülebildi i allotropiye “*enantiotropi*” denir.



Karbonun faz diyagramı

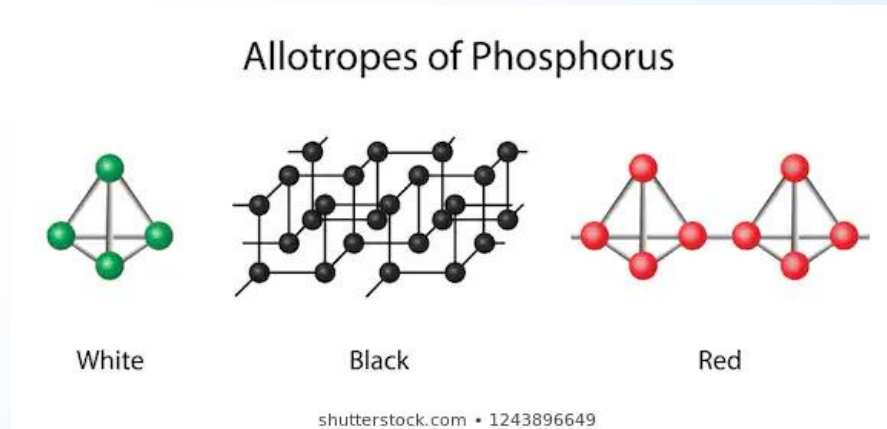


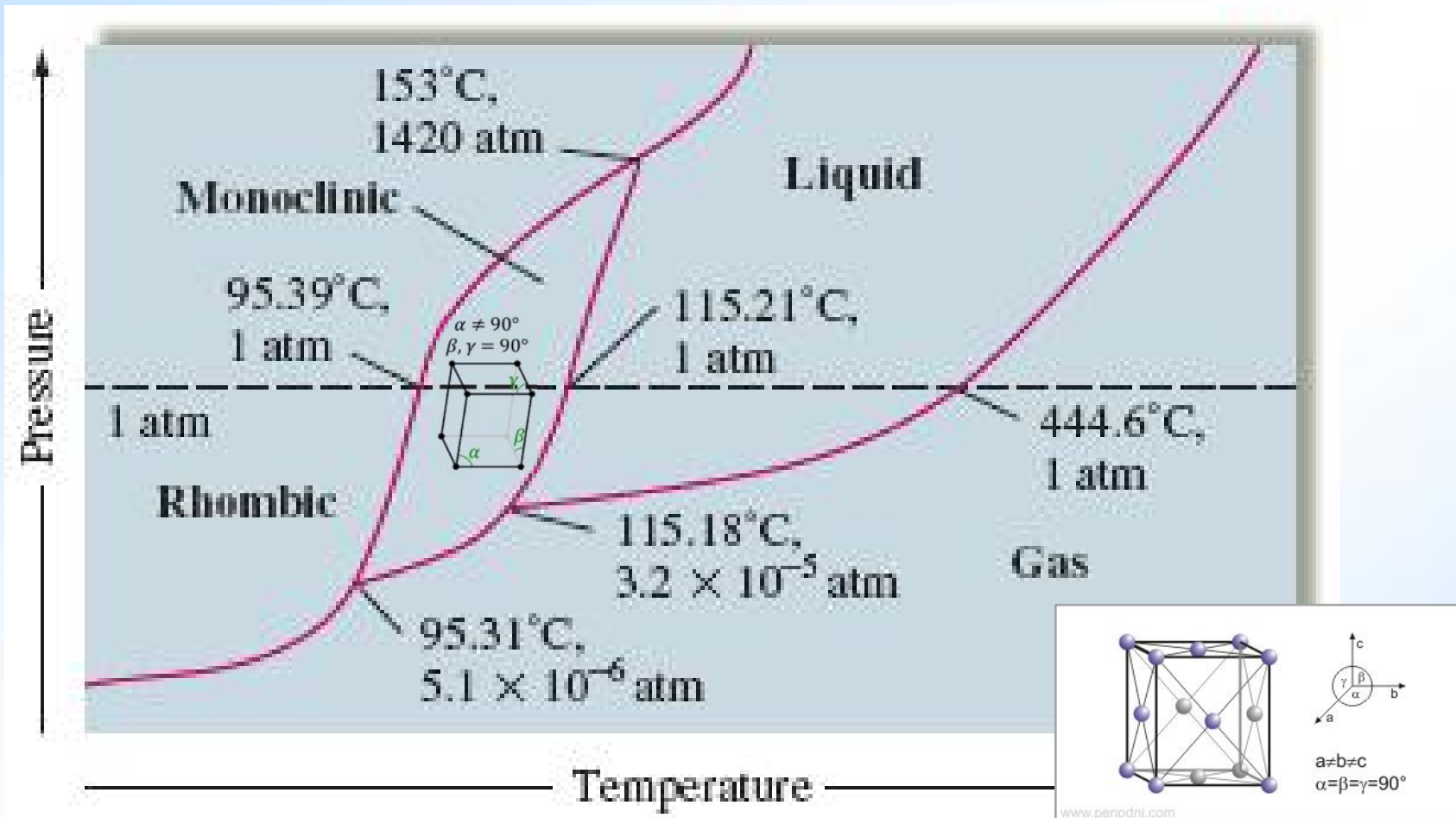
Doğada fosfor üç farklı formda bulunur. Bu değişik biçimlerine [allotrop](#) denir. Bunlar beyaz fosfor, kırmızı fosfor ve siyah fosfordur.

❑ **Beyaz fosfor** doğada en yaygın olan fosfor allotropudur. Kristal yapılıdır ve 44.25 °C'de erir. **En önemli özellikleri, karanlıkta ışıldaması ve çok zehirli** olmasıdır. Havayla temas ettiği halde tutuşur ve beyaz dumanlar çıkararak yanar. Bu yüzden su dolu şişe içinde tutulur. Beyaz fosfor, böcek ve fare zehiri, sis ve yangın bombaları için kullanılır.

❑ **Kırmızı fosfor** güneş ışığı ve ısı etkisiyle beyaz fosfordan oluşur. Beyaz fosforun aksine kolayca tutuşmaz, ışıldamaz ve zehirli değildir. Erime sıcaklığı ise çok daha yüksektir. **Kırmızı fosfor kibrit yapımında kullanılır.**

❑ **Siyah fosfor**, beyaz fosforun havasız ortamda ve basınç altında ısıtılmasıyla elde edilir. Siyah fosfor [yarı iletkenlerin](#) yapımı için gerekir.





Sulphur is a non-metal which exists in different crystal structures known as allotropes. The stable form at room temperature is called rhombic sulphur, and when this is heated slowly above about 95°C, it transforms into monoclinic sulphur. Both forms are crystals made of S₈ molecules like the one shown below. (Visualization by 'Hyperchem' software.)

Malzeme seçiminde basınç-sıcaklık faz diyagramları oldukça önemlidir.

Örneğin, bir uçak veya uzay mekiği gövdesinin imalatı için malzeme seçerken, belirli basınç ve sıcaklıktaki malzemelerin davranışını bilmek gerekir.

- Çünkü uzayda basınç düşüktür.
- Sürtünmeden dolayı ise gövde malzemesi ısınacaktır.

Bundan dolayı yüksek buharlaşma noktasına sahip, hafif bir malzeme tercih edilmelidir.

Aksi takdirde düşük basınçta buharlaşan bir metal, uçağın veya uzay mekiğinin düşmesine sebep olacaktır.

K B LE ENL DENGED YAGRAMLARI

kili denge diyagramları diyagramı olu turan elementlerin birbirinde çözünme durumuna göre üçe ayrılır.

a) Sıvı ve katı halde birbirinde hiç erimeyen elementlerin denge diyagramları

Örnek: Ag-Ni, Al-Pb, K-Mg, Fe-Pb.

Bu tür karışımların pratikte önemi yoktur

b) Sıvı ve katı halde birbirinde kısmen eriyen elementlerin denge diyagramları

Örnek: Pb-Zn

c) Sıvı halde birbirlerinde tamamen eriyen elementlerin denge diyagramları

Bunları da üçe ayırmak mümkündür.

c) Sıvı halde birbirlerinde tamamen karı abilen elementlerin denge diyagramları

c1) Katı halde birbiri içinde tamamen eriyen elementlerin denge diyagramları

Örnek: Cu-Ni, Fe-Ni

c2) Katı halde birbiri içinde kısmen eriyen elementlerin denge diyagramları

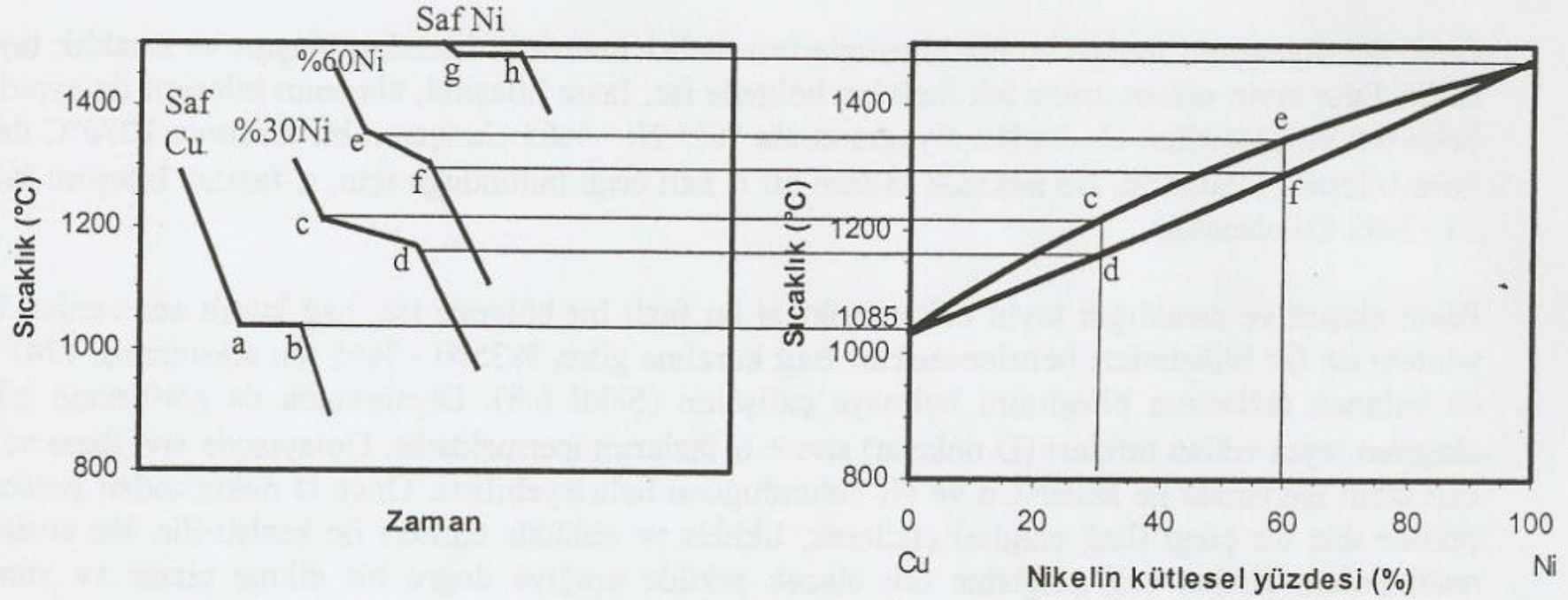
Örnek: Pb-Sb, Cu-Zn, Pb-Sn, Cr-Ni

c3) Katı halde birbiri içinde hiç erimeyen elementlerin denge diyagramları

Örnek: Bi-Cd, Sn-Zn, Al-Sn, Bi-C

DENGE D YAGRAMLARININ OLU TURULMASI

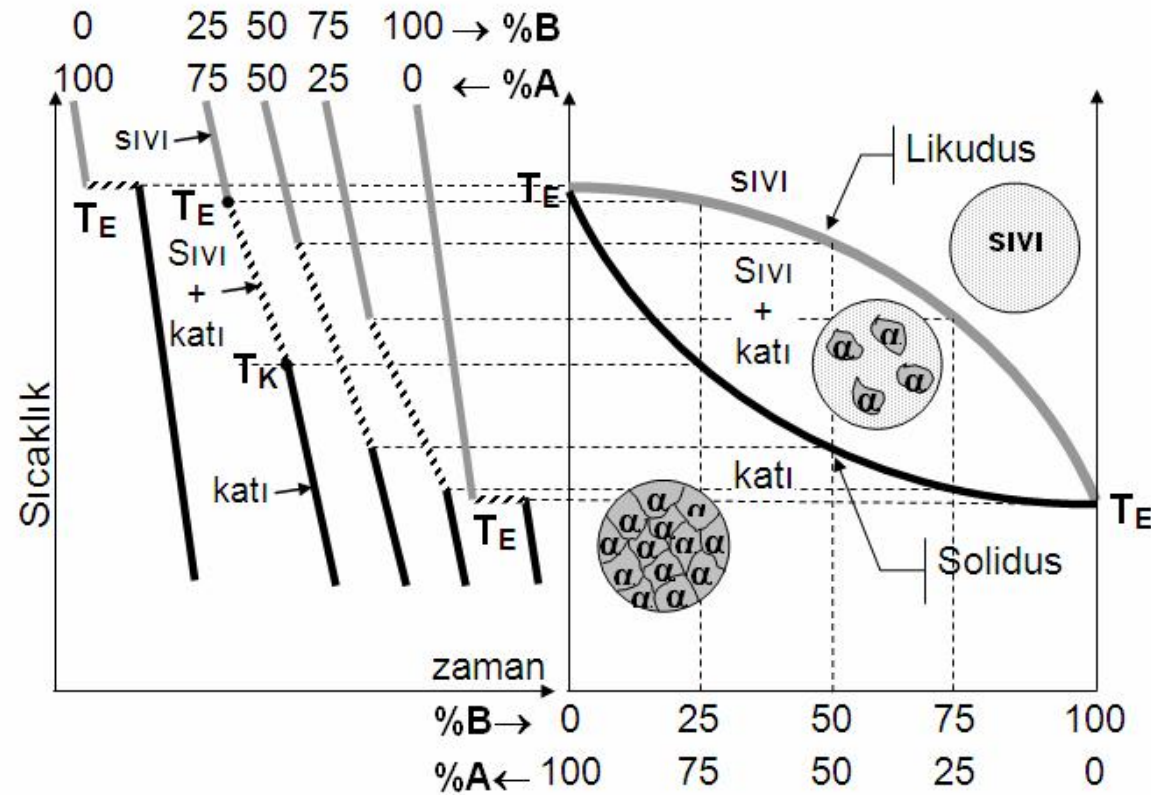
- ❑ Bir malzeme sisteminde fazların bile imine ve sıcaklı a ba lı olarak de i imini gösteren diyagramlara “denge diyagramları veya faz diyagramları” denir.
- ❑ Bu diyagramlar malzeme üretiminde, iç yapıları ve kararlılık bölgelerini saptamada ve ayrıca çe itli ısıl i lemlerde kullanılır.
- ❑ Faz diyagramları so uma diyagramları yardımı ile elde edilirler.



Şekil 6.7 Cu-Ni faz diyagramının sıvı-katı soğuma eğrileri vasıtasıyla elde edilşinin gösteriliş

T_{mCu} 1084 °C

T_{mNi} 1455 °C



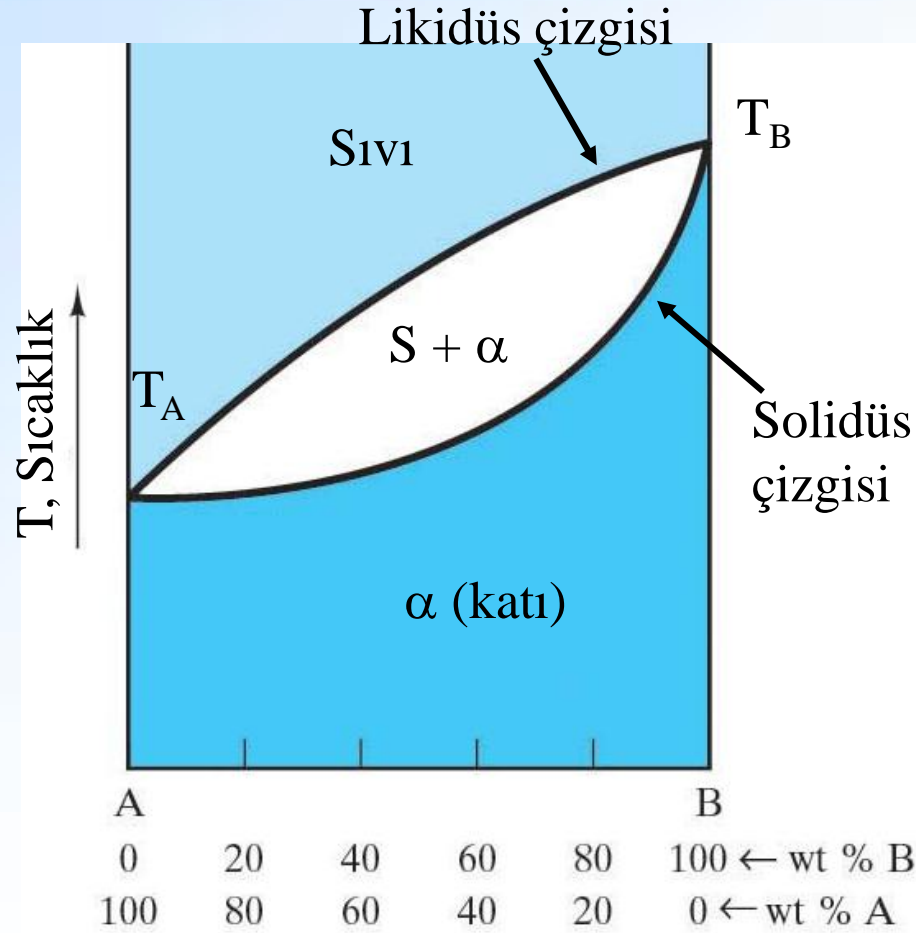
Birden fazla bileşenli sistemlerde de i ik bileşimde bir seri ala ım hazırlanarak ergitilir, sonra so uma süresinde sıcaklı ın zamanla de i imi ölçülür.

Bu denge diyagramında sıvı, katı, sıvı+katı fazlar ile bu fazlara ait sınırlar likudus ve solidus görülmektedir.

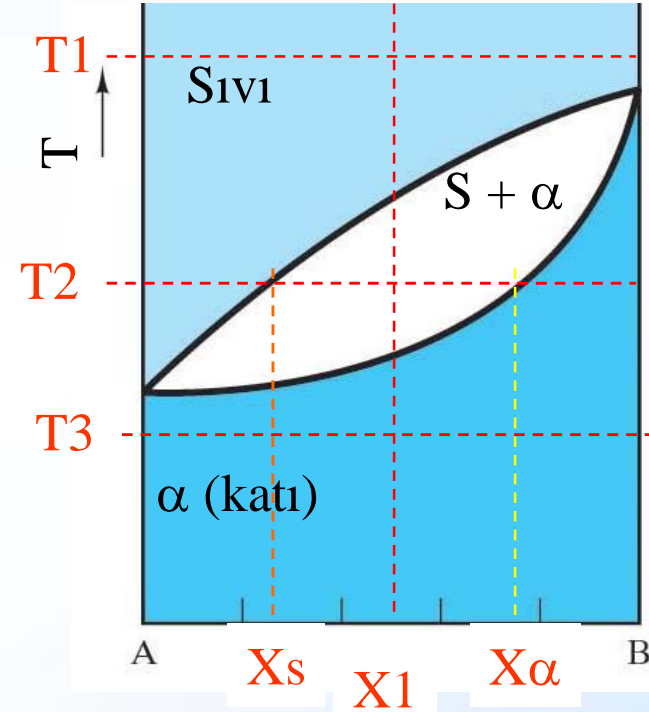
❖ Sıvı ve Katı Halde Tam Çözünürlük

- Ala ımı meydana getiren elementler sıvı ve katı halde birbirlerini tam olarak eritebiliyor ise bu tip denge diyagramları oluşur.
- Normal şartlar altında saf bir madde tek bir ergime sıcaklığında (T_E) erir veya katılır.
- Ancak birbiri içinde tamamen eriyebilen iki madde karıştırıldığında oluşan alalımda ergime ve katılma A elementinin ergime sıcaklığı (T_{EA}) ile B elementinin ergime sıcaklığı (T_{EB}) arasındaki sıcaklarda meydana gelir.
- Bu aralık karışımı oluşturan maddelerin konsantrasyonuna göre değişmektedir.
- Alalımların faz diyagramlarının belirlenmesi için de iki konsantrasyonda alalımlar hazırlanarak ergime ve katılma noktaları belirlenir.

Birbiri içinde tamamen çözünen maddeler için genel faz diyagramı



Kimyasal bileşim: Kompozisyon

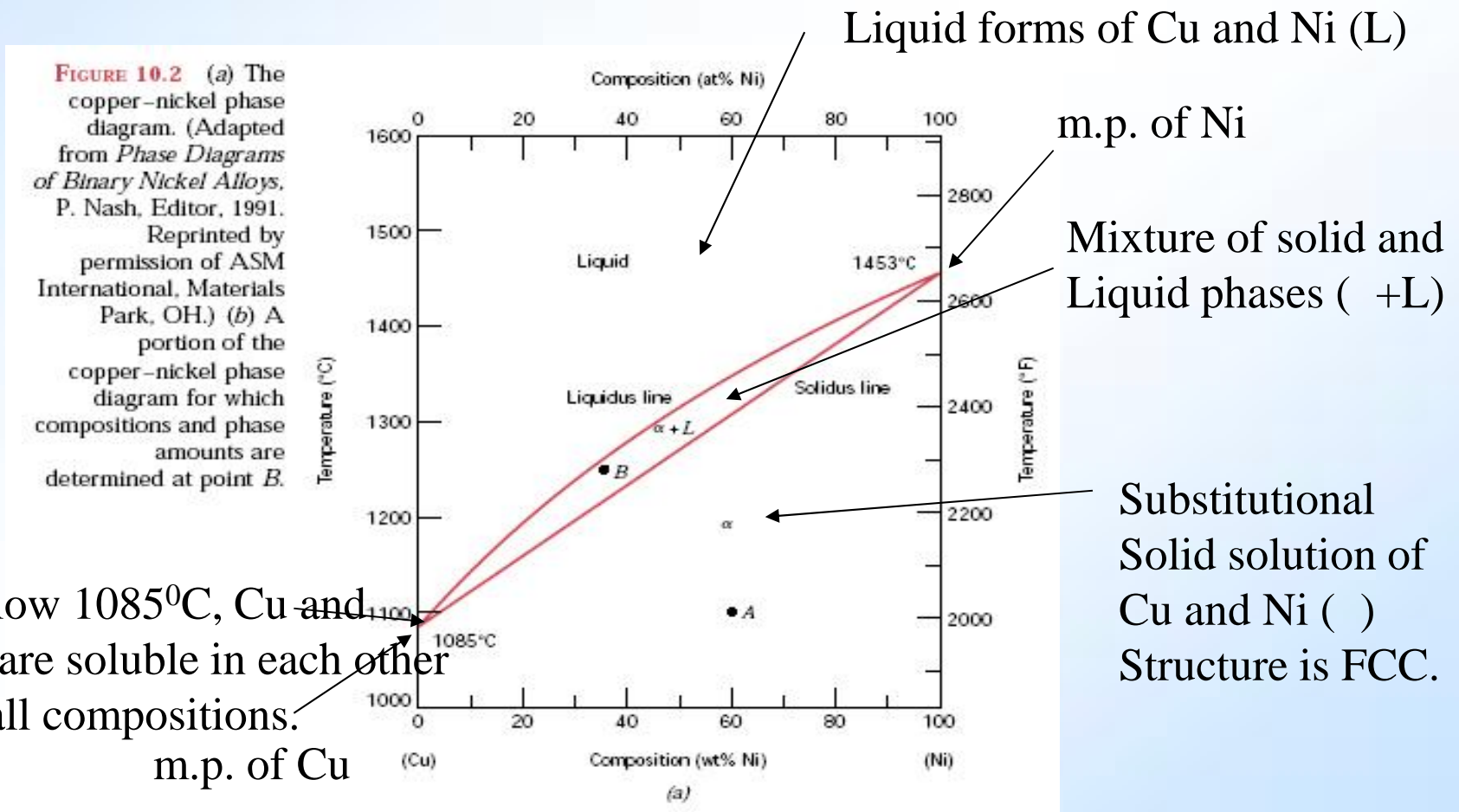


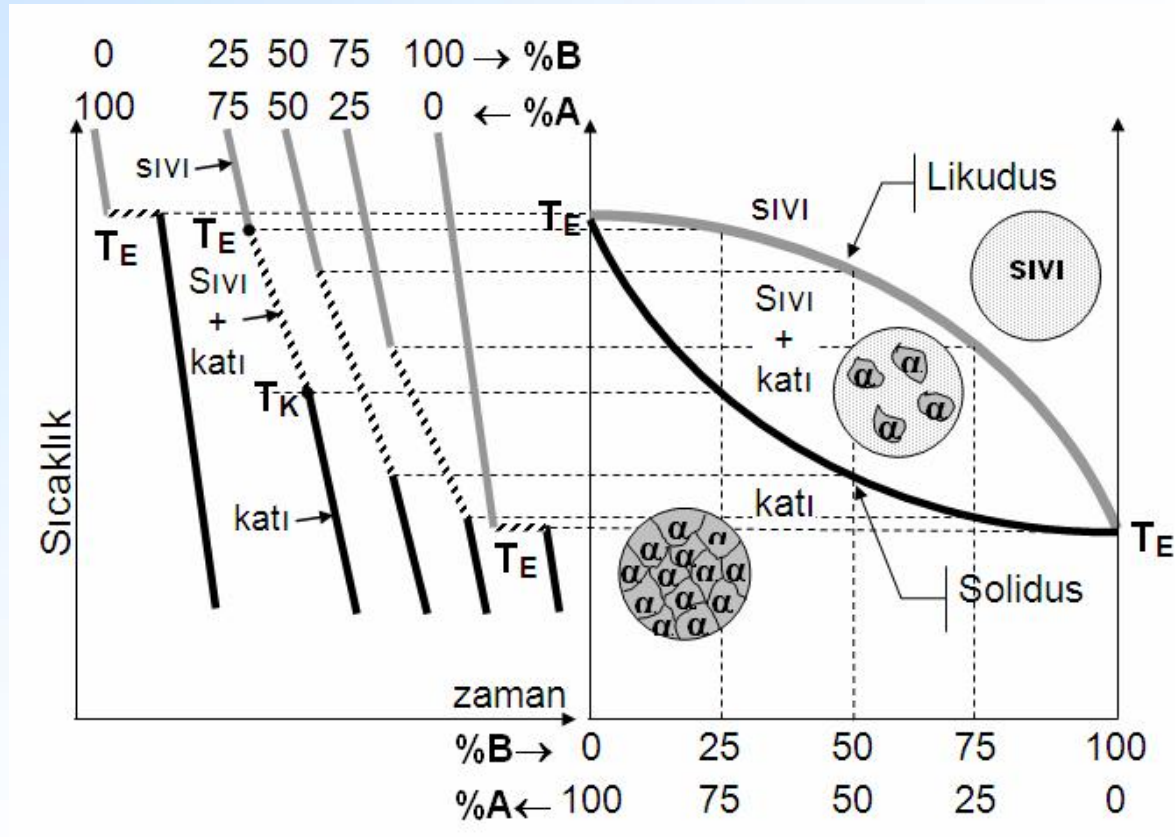
X₁ kompozisyonuna sahip alaım:
T₁ de: S
T₂ de: S+α
T₃ de: α
fazlarına sahiptir.

Isomorphous Binary Systems:

Binary systems are composed of two components and they are isomorphous since there is a complete solubility of liquids and solids.

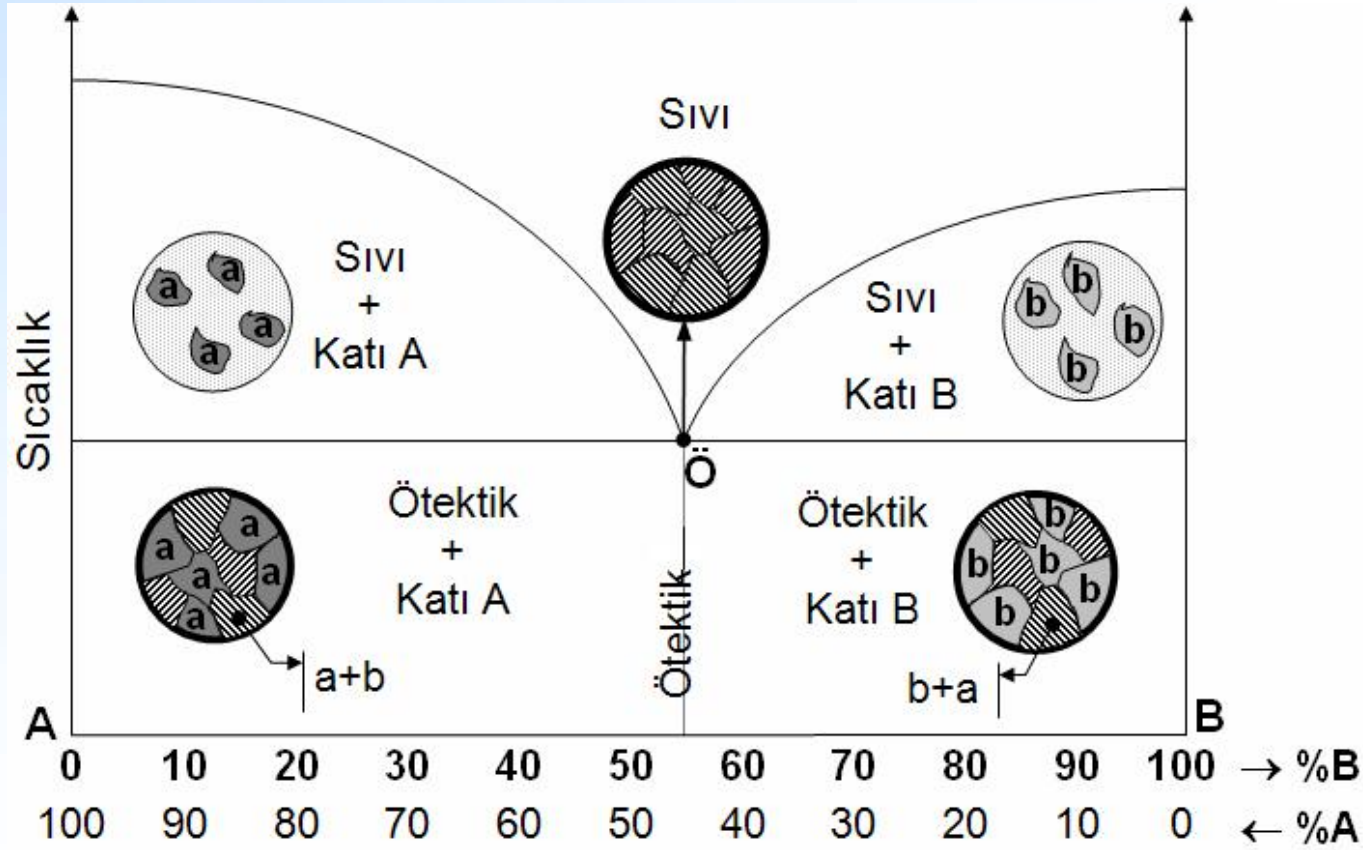
Example: Cu-Ni



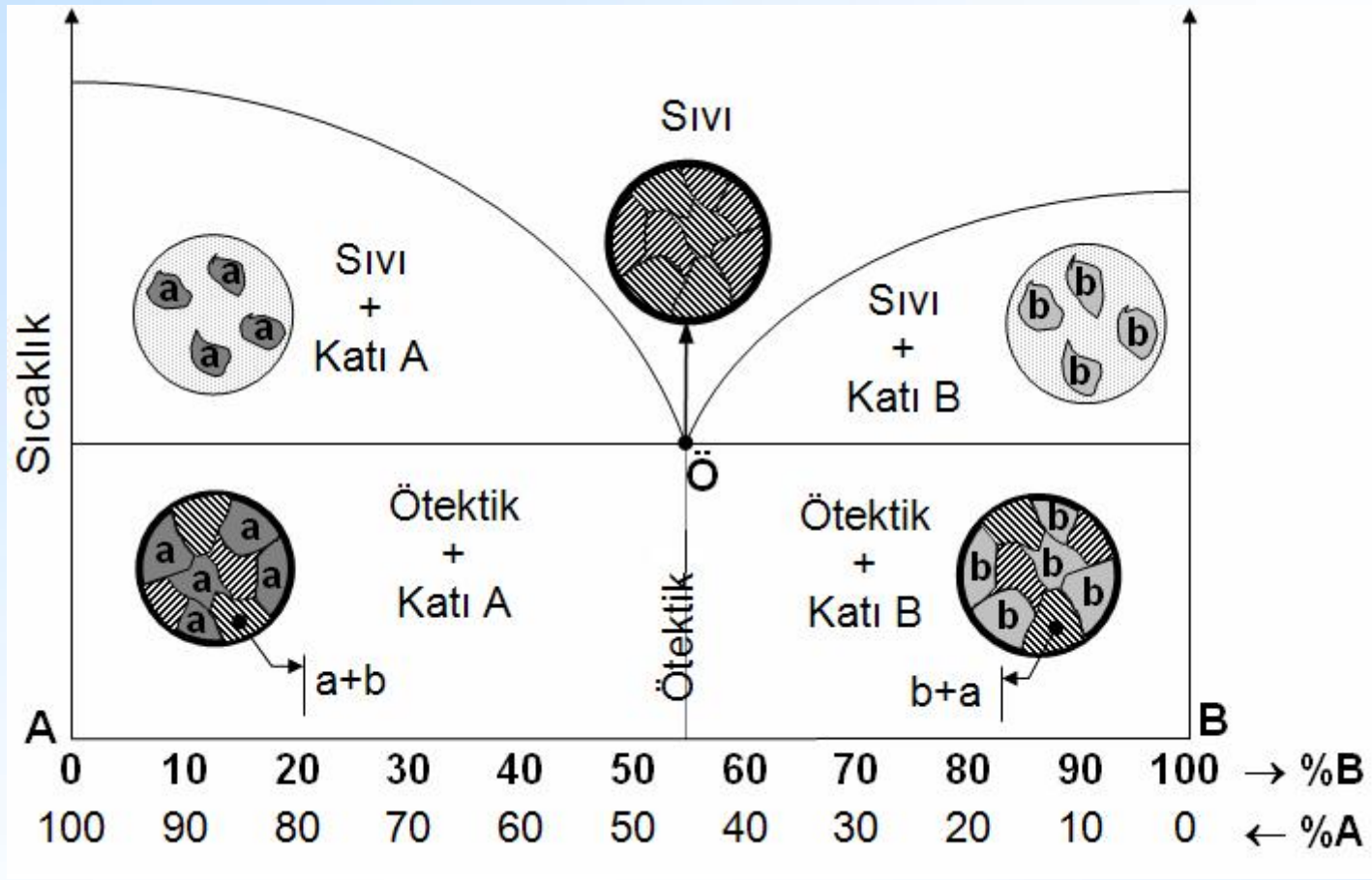


Birbiri içinde tamamen eriyen A ve B maddelerinin oluştuğu katı eriyikten katı fazı meydana gelmez. Maddeler birbiri içinde tamamen eridiğinden dolayı katı () tanelerinde sadece tane sınırları görülebilir.

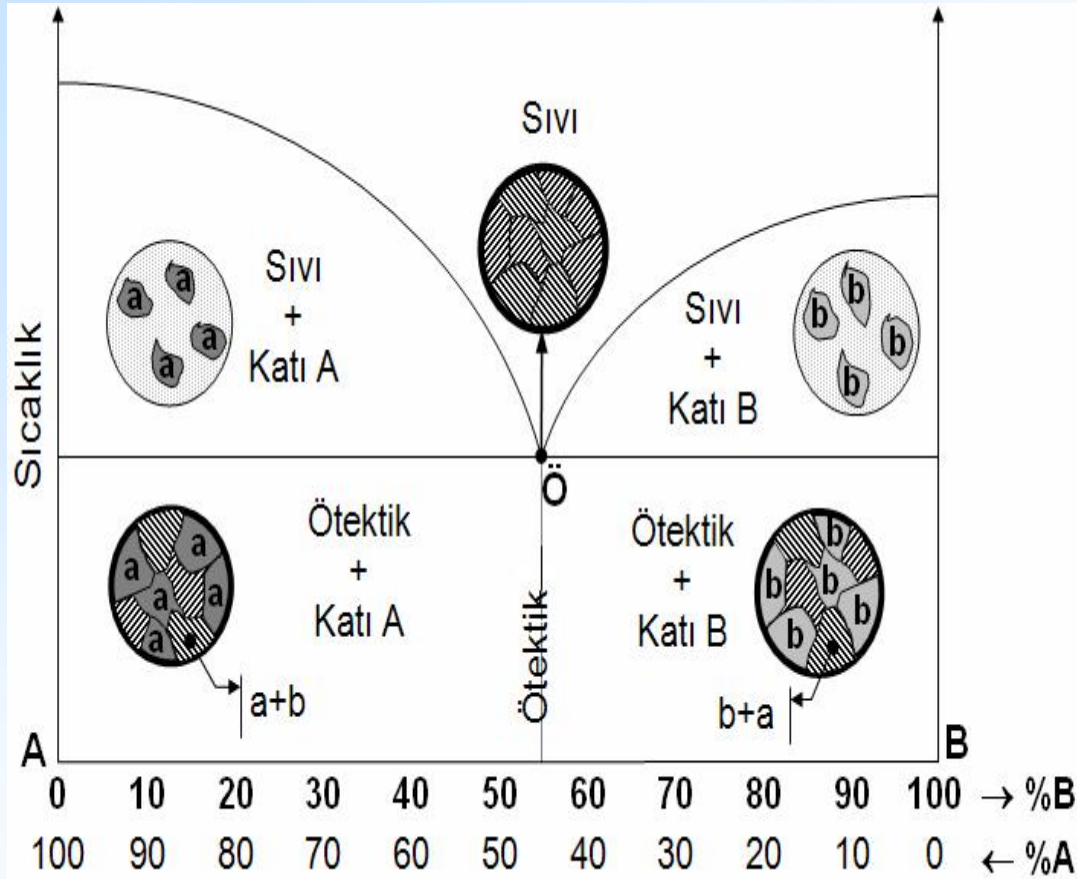
Sıvı Durumda Tam Çözünürlük, Katı Durumda Tam Çözünmezlik



A içindeki B veya B içindeki A miktarı arttıkça katılaşma sıcaklığı düşmektedir. Ötektik noktada Likidus eğrileri kesiilmektedir.



Bu noktada ala ım saf elementler gibi davranarak $T_{\text{ö}}$ sıcaklı ında katıla maktadır. Bu düzen genellikle katmanlı veya spiral biçiminde yan yana dizilme ekinde olur. Bu görünüm nedeniyle bu yapıya "güzel ekilli", "iyi yapılı" anlamında ötektik ismi verilmi tir. Bu ala ıma da **ötektik ala ım** denilir

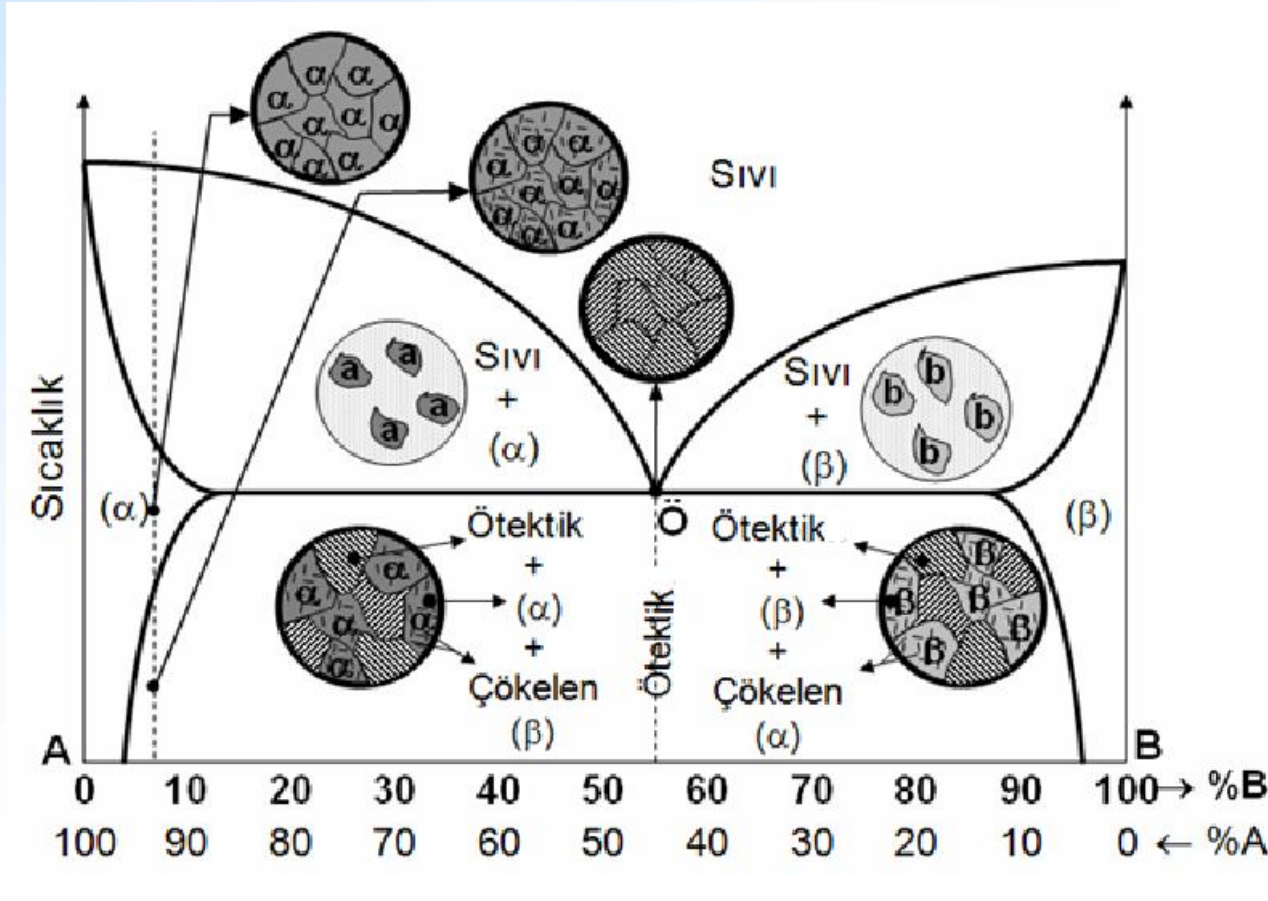


Katılaşma esnasında, ötektik alaımın solunda kalan alaımlarda ilk önce A, sağında kalan alaımlarda ise ilk önce B katılaşır.

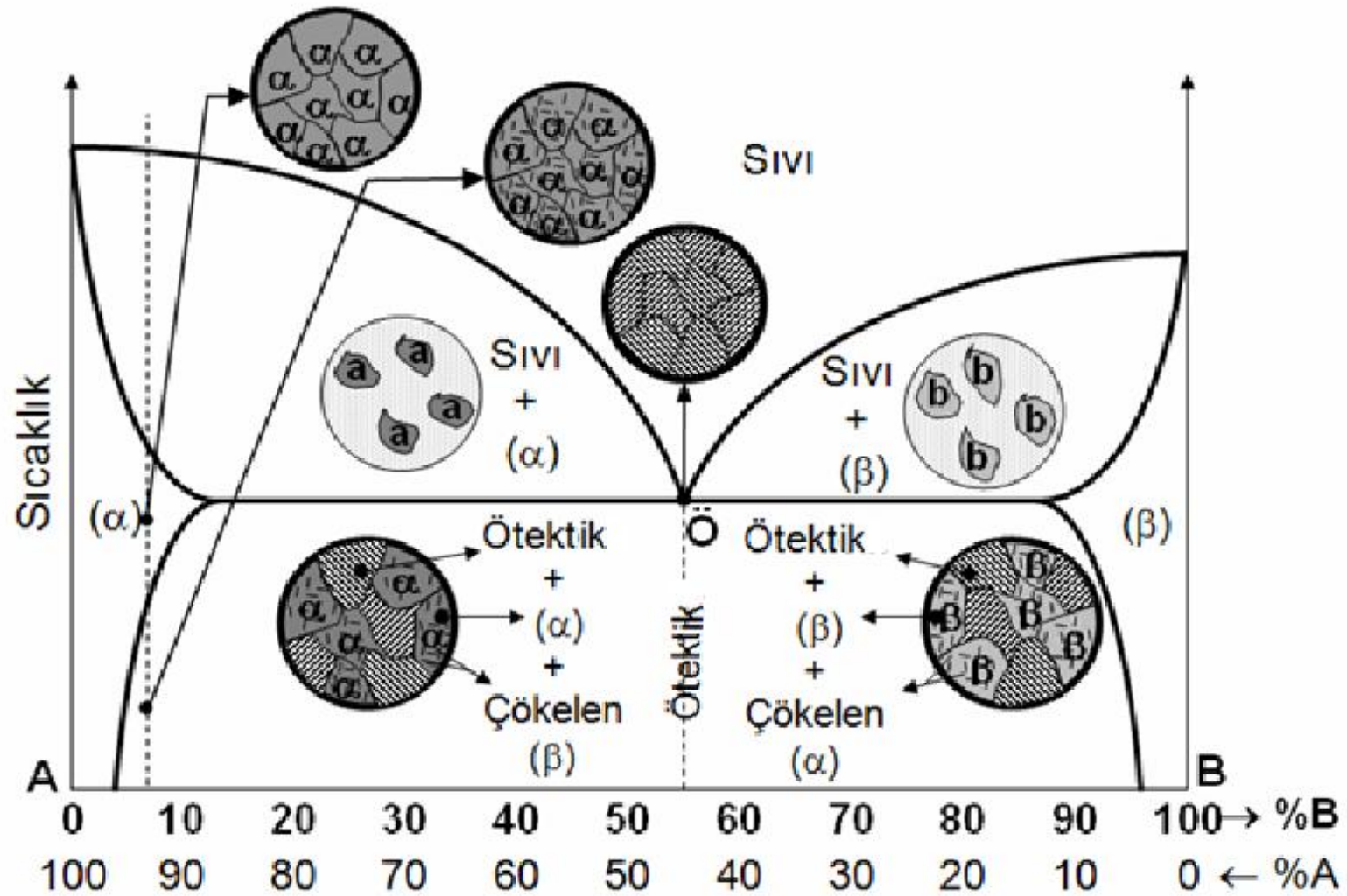
Sıvının içindeki sırasıyla B ve A miktarları da artar. Geriye kalan sıvı ötektik konsantrasyona gelince ötektik yapı oluşur.

Bu ötektik yapı, katılaşma sıcaklığı küçük olması nedeniyle çekirdeklenme hızı yüksektir. Bundan dolayı **ötektik alaım ince tanelidir**.

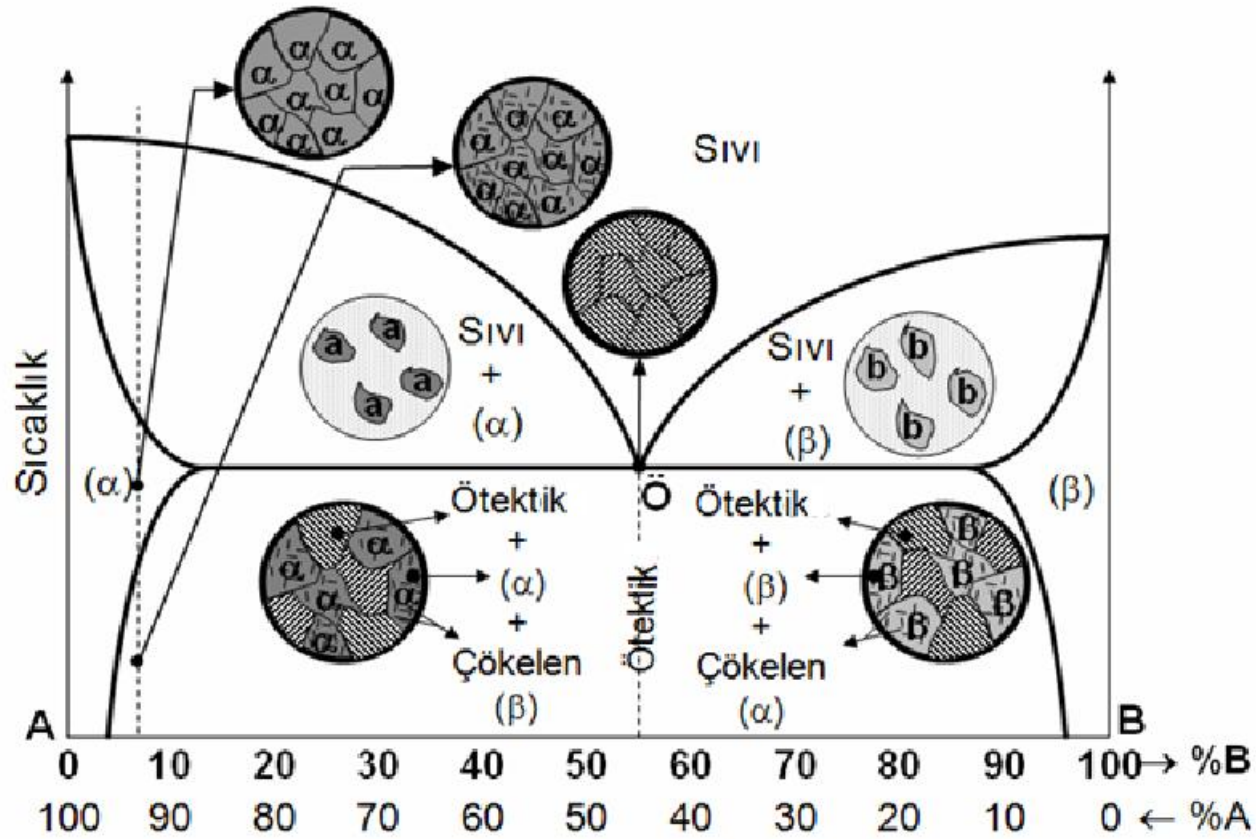
Sıvı Durumda Tam Çözünürlük, Katı Durumda Sınırlı Çözünürlük



Bu denge diyagramlarının ikinci tip denge diyagramlarından farkı, A bile enin belirli bir B çözebildi i, bölgesi ve B bile eninin belirli bir A çözebildi i, bölgesinin bulunmasıdır



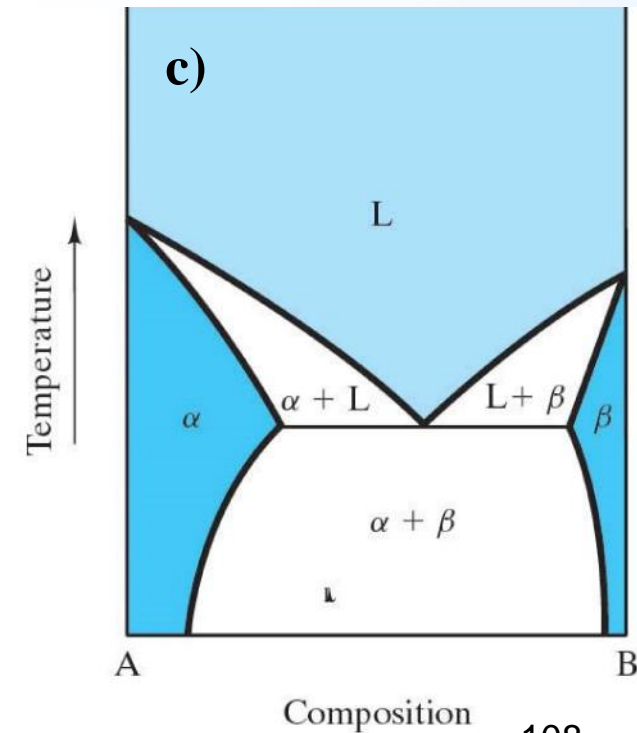
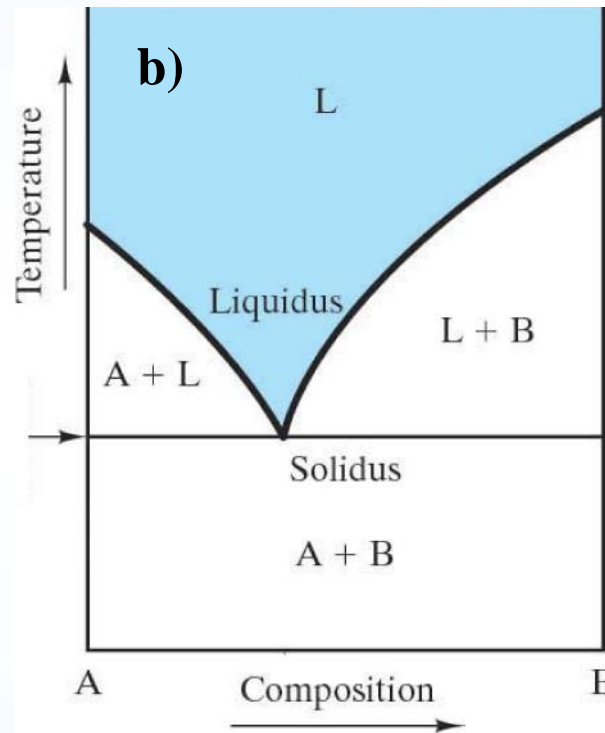
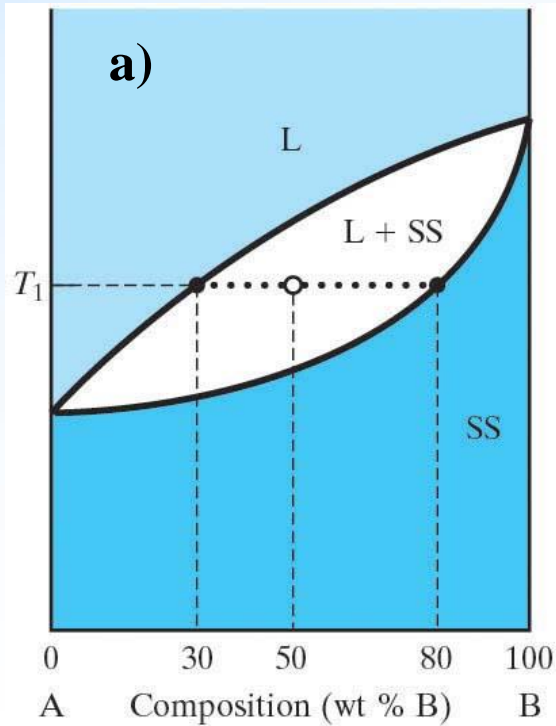
Çözünürlük, sıcaklığın artması ile arttırılır için, ötektik sıcaklıkta en büyüktür.



Oda sıcaklığındaki çözünürlük sınırının üstünde A ve B içeren ve fazları, oda sıcaklıklarına soğurken çözemedikleri A ve B'yi kristal dışına atarak B'ce zengin çök ve A'ca zengin fazları çökölür.

Çözünme durumuna göre

- **Tam çözünme**: Bir elementin di eri içerisinde sınırsız çözünebilmesi.
- **Hiç çözünmeme**: Bir elementin di eri içinde hiç çözünememesi.
- **Sınırlı çözünme**: Bir elementin di eri içerisinde kısıtlı çözünebilmesi.



Gibbs Faz kuralı

- Bir sistemde **bile en** ve **faz sayısı**nın **belirli** olması durumunda **serbestlik derecesi** **S**, denge halindeki bir sistemde fazların sayısını **değiştirmeden**, **bağımsız** olarak **değiştirilebilecek basınç, sıcaklık ve kimyasal bileşim** olmak üzere **üç değişkenin** sayısını gösterir.

Basıncın **değişken** bir parametre olması durumu

$$S = B - F + 2$$

Basıncın sabit olması durumu (en çok kullanılan **bağıntı**)

$$S = B - F + 1$$

Serbestlik derecesi

Bile en sayısı

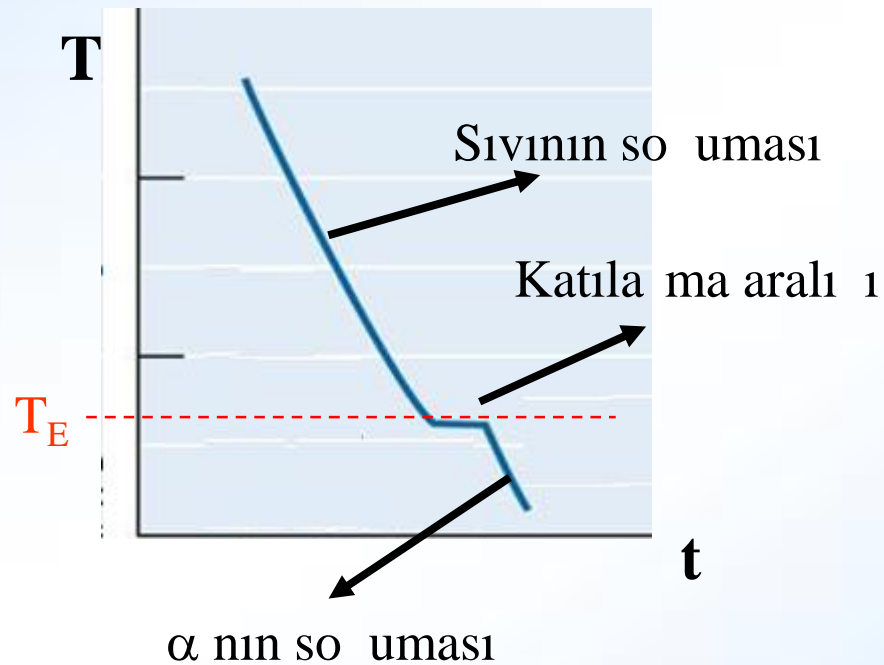
Faz sayısı

Erime noktasında Gibbs kuralı

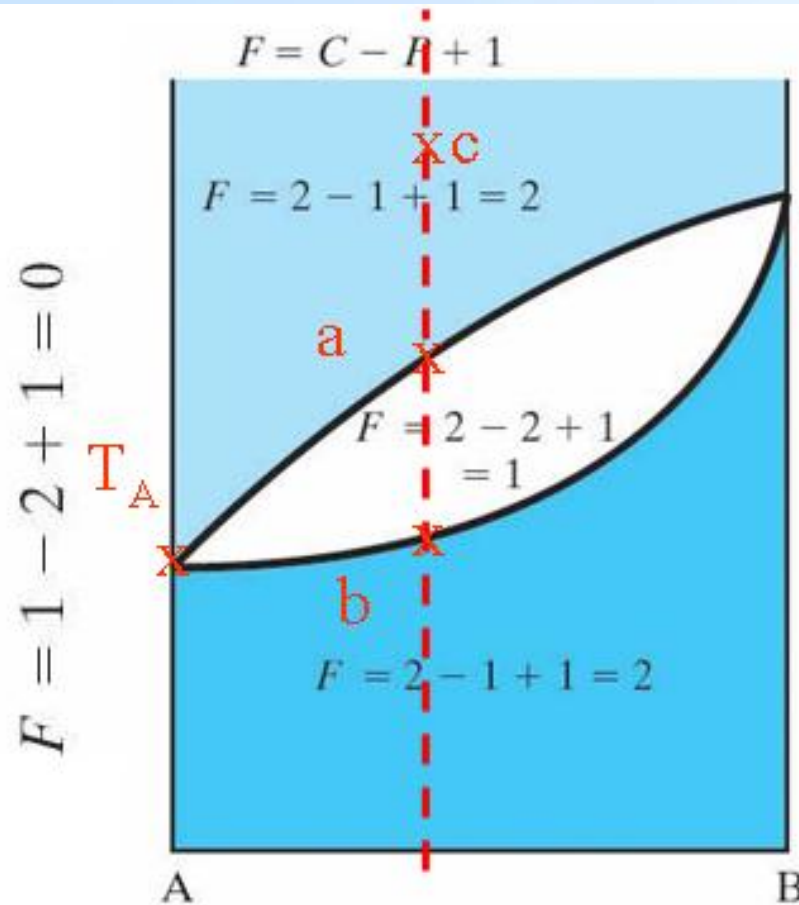
- Diagramda **saf element** için **erime noktasındaki** (T_A) durum:

- $F = 2$ (sıvı ve α olarak 2 faz)
- $B = 1$ (Tek bile en A)

$$S = 1 - 2 + 1 = 0$$



- Basınç sabit, kimyasal bile imde de i medi i için tek de i ken olan sıcaklıktır. Ancak buda erime/katıla ma boyunca **sıcaklık sabittir-serbest de i ken bulunmaz.**



a noktasında:

- $F=2$ (2 Faz: sıvı ve α)
- $B=2$ (Bile enler: A ve B)
- $S = 2 - 2 + 1 = 1$
- Tek de i ken: Sıcaklık

b noktasında:

- $F=2$ (2 Faz: sıvı ve α)
- $B=2$ (Bile enler: A ve B)
- $S = 2 - 2 + 1 = 1$
- Tek de i ken: Sıcaklık

c noktasında:

- $F=1$ (1 Faz: sıvı)
- $B=2$ (Bile enler: A ve B)
- $S = 2 - 1 + 1 = 2$
- De i kenler: Sıcaklık ve bile im.

Faz bile imlerinin belirlenmesi (Ba Kuralı)

Önce faz diyagramı üzerinde, faz bile imlerinin belirlenmesinin istedi i ala ım ve sıcaklık tayin edilir.

□ E er tayin edilen nokta tek fazlı bir bölgede ise,

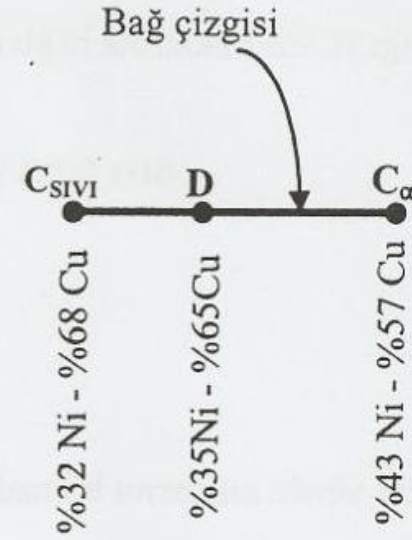
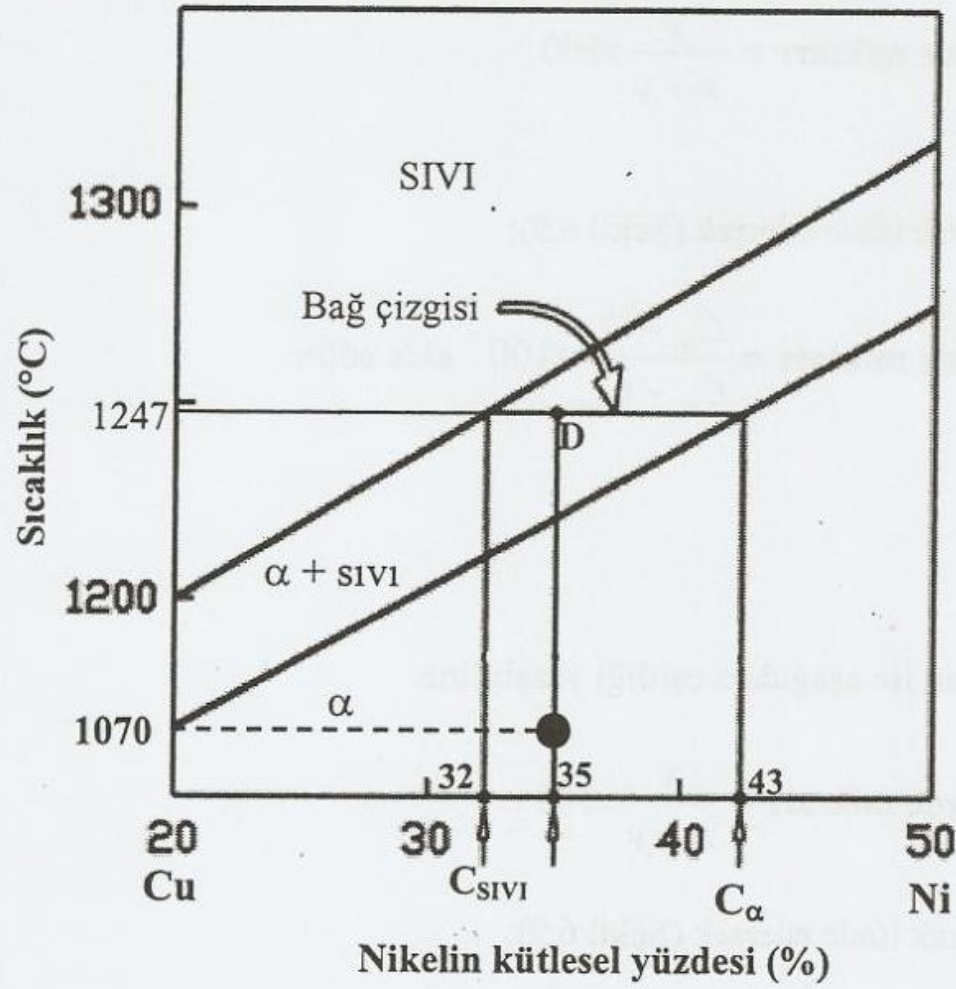
Fazın bile imi ile ala ımın bile imi aynıdır.

□ Nokta iki fazlı bölgede ise, ba kuralı ile faz bile imleri belirlenir.

Noktadan geçecek ekilde düz bir çizgi çizilerek, likidüs ve solidüs e rileri ile kesi tirilir. Bu kesi en noktalardan, çizilen ba çizgisine dik olacak ekilde a a ıya do ru bir dikme çizilir ve yüzde miktarın gösterildi i yatay eksenle çakı tırılır. Likidüs noktasından inen dikmenin çakı tı 1 nokta sıvı fazın bile imini verir. Solidüs noktasından inen dikmenin çakı tı 1 nokta katı fazın bile imini verir.

Fazların bileşimi :

- ki fazlı bölgede çizilen sabit sıcaklık yatayının sınır e rileri arasında kalan LS parçasına ba çizgisi denir.
- Ba çizgisinin sıvılık e risini kesti i noktanın bile imi sıvı fazın bile imini, katılık e risini kesti i noktanın bile imi de katı fazın bile imini verir.
- Bu yöntemle ba çizgisi kuralı denir.



%35 Ni - %65 Cu
alaşımına ait bağ
çizgisinin kesiştiği
noktalardaki faz
bileşimleri

Şekil 6.8 Cu-Ni ikili faz diyagramında faz bileşimlerinin belirlenmesi

Terazi kuralı

Faz diyagramları:

- Hangi sıcaklık ve bileimde hangi fazlar var?
- Bu fazların oranı nedir?

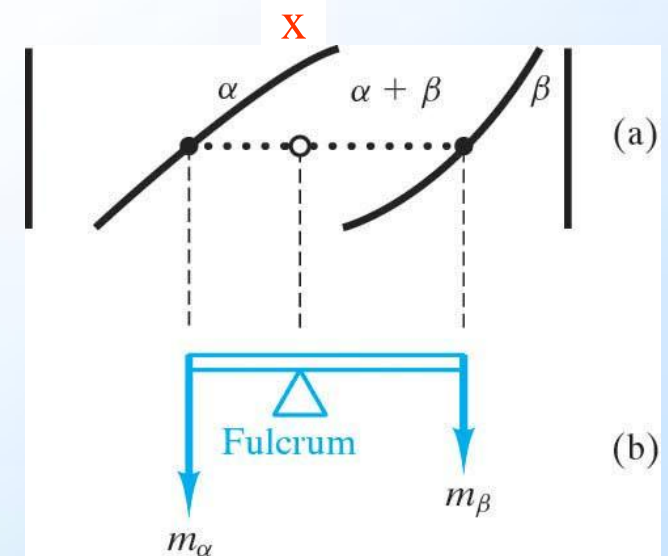
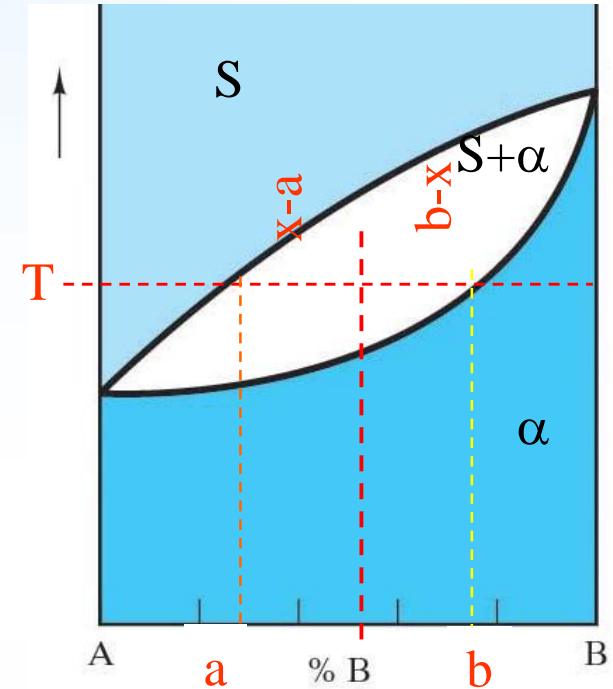
Faz diyagramında, **fazların oranlarını (miktarlarını)** **bulmak** için **terazi kuralı** (lever rule) kullanılır.

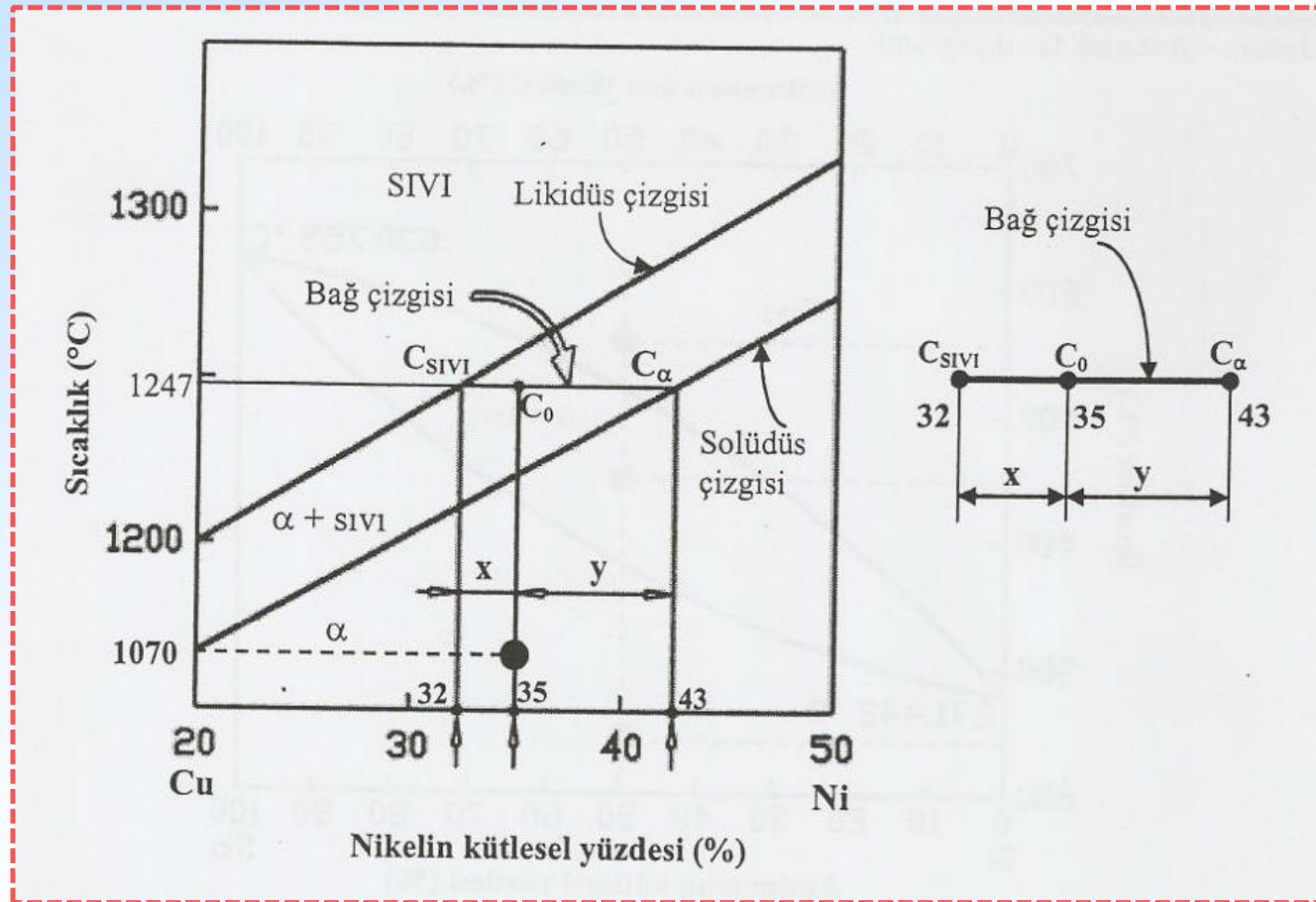
x bileiminin T sıcaklığında bileim oranları:

$$S\% = \frac{b - x}{b - a} \times 100$$

$$r\% = \frac{x - a}{b - a} \times 100$$

$$S\% + r\% = 100\%$$



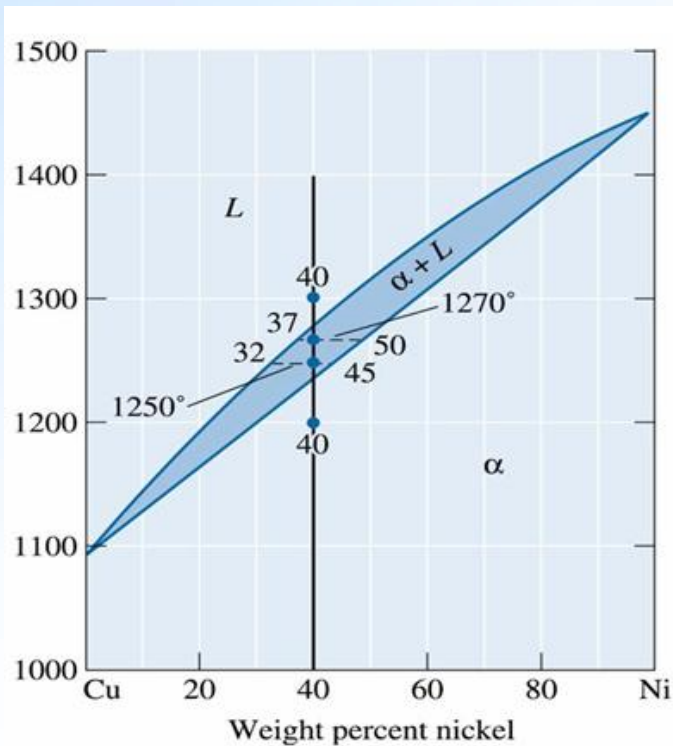


$$\text{Sıvı fazın yüzde miktarı} = \frac{y}{x+y} \times 100$$

$$\text{Katı fazın yüzde miktarı} = \frac{x}{x+y} \times 100$$

Örnek

Cu-40% Ni ala mı için a a ıdaki sıcaklıklarda serbestlik derecelerini bulunuz (a) 1300°C, (b) 1250°C, and (c) 1200°C.



Cu - Ni faz diyagramlarında

Basınç sabit olduğu için e itlik:

$(1 + C = F + P)$ olur.

(a) 1300°C,

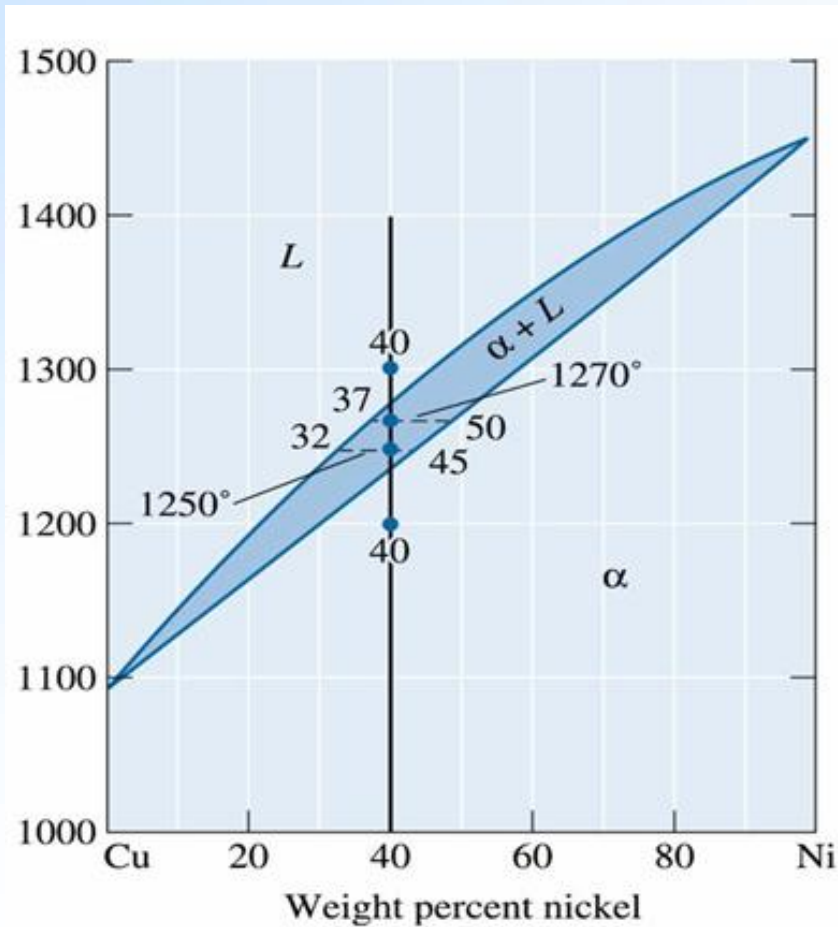
$P=1$ (Sadece sıvı faz),

$C=2$ (Cu ve Ni)

Böylece;

$$1 + C = F + P$$

$$1 + 2 = F + 1 \Rightarrow F = 2$$



(b) 1250°C,

ki faz mevcut; $P = 2$, (Sıvı ve katı)

Cu ve Ni den dolayı; $C = 2$:

$$1 + C = F + P$$

$$1 + 2 = F + 2 \Rightarrow F = 1$$

(c) 1200°C,

$P = 1$, sadece katı faz;

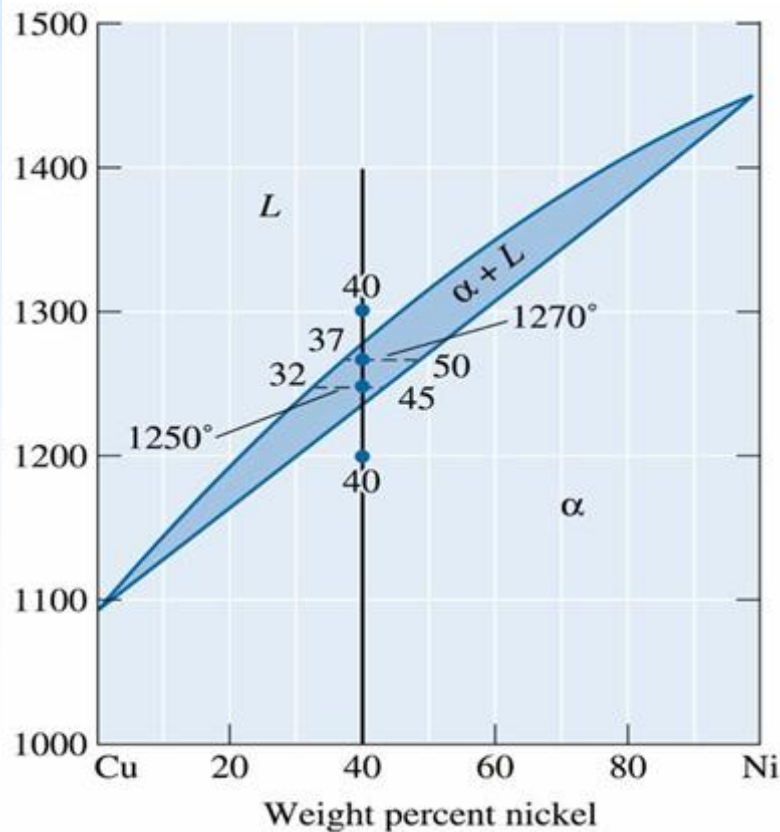
$C = 2$, (Cu ve Ni).

$$1 + C = F + P$$

$$1 + 2 = F + 1 \Rightarrow F = 2$$

Örnek

Cu-40% Ni faz diyagramında a a ıdaki sıcaklıklarda kompozisyonları bulunuz; (a) 1300°C , (b) 1270°C , (c) 1250°C , (d) 1200°C .



40% Ni kompozisyonunda dikey çizgi çizilir;

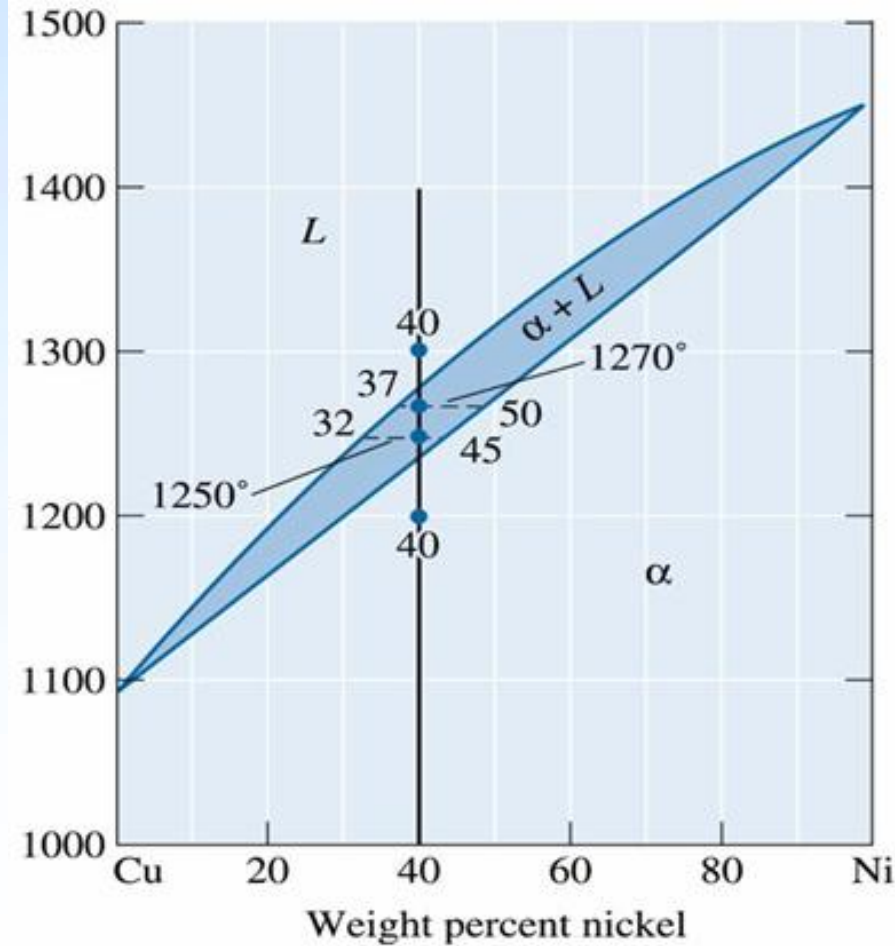
- 1300°C : Sadece sıvı faz mevcut.

- 1270°C : 2 Faz mevcut: Sıvı ve katı.

Sıvı (S) faz 37% Ni,

Katı (α) faz 50% Ni

konsantrasyonuna sahip.



-**1250°C**: ki faz mevcut.

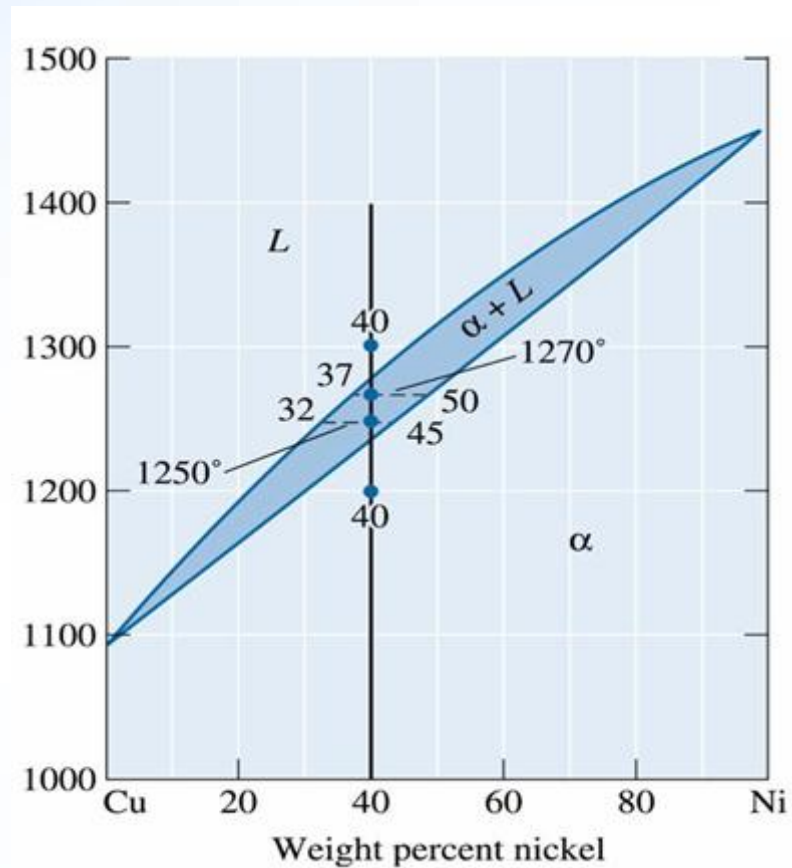
Sıvıda (L) **32% Ni**, katıda(α) **45% Ni** mevcut

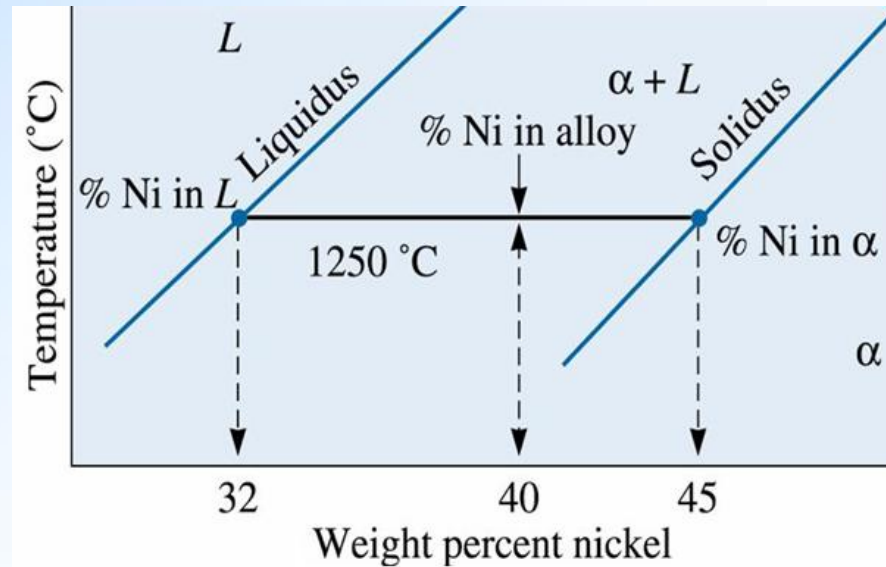
-**1200°C**: Sadece katı (α) mevcut; **40% Ni** konsantrasyonuna sahiptir.

100 gr a ırlı ına sahip Cu-40% Ni ala ımı, 1250°C de

(a) hangi fazlara sahiptir

(b) bu fazlarda a ırlı ı nedir ?





Sadece 2 faz mevcuttur: Sıvı faz (L) v katı faz (α).

x_r ; α nın oranı olacak olursa;

$x_L = 1 - x_\alpha$. Sıvının oranı

$$x_r = (40-32)/(45-32) = 8/13 = 0.62 = \% 62$$

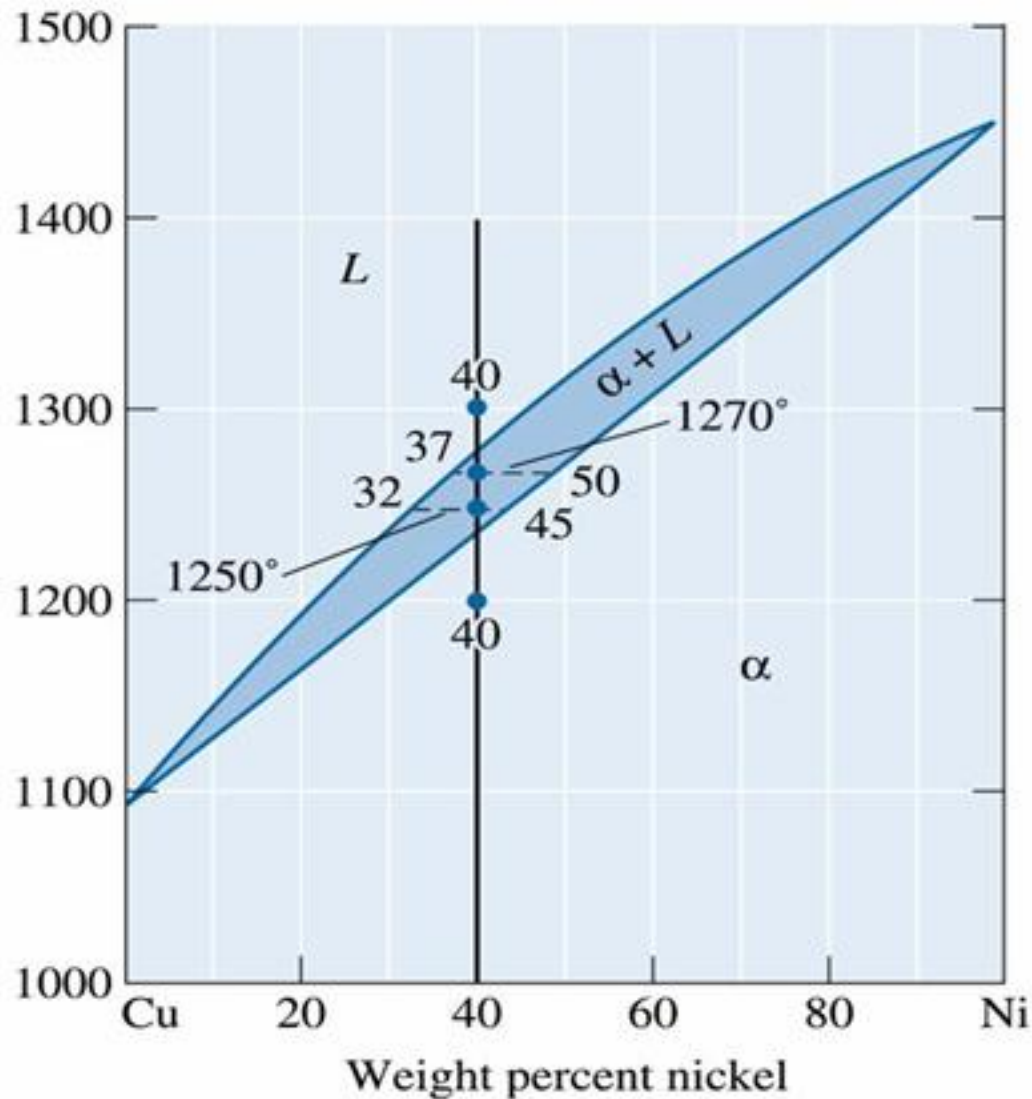
$$x_L = 1 - x_r = 1 - 0.62 = 0.38 = \% 38$$

α fazının a ırlı ı; $100 \text{ gr} \times 0.62 = 62 \text{ gr}$

Sıvının a ırlı ı; $100 \text{ gr} \times 0.38 = 38 \text{ gr}$.

Örnek

Cu-40% Ni ala ımı için a a ıdaki sıcaklıklarda faz oranlarını saptayınız (a) 1300°C, (b) 1270°C, (c) 1250°C, (d) 1200°C.



–1300° C:

100% L

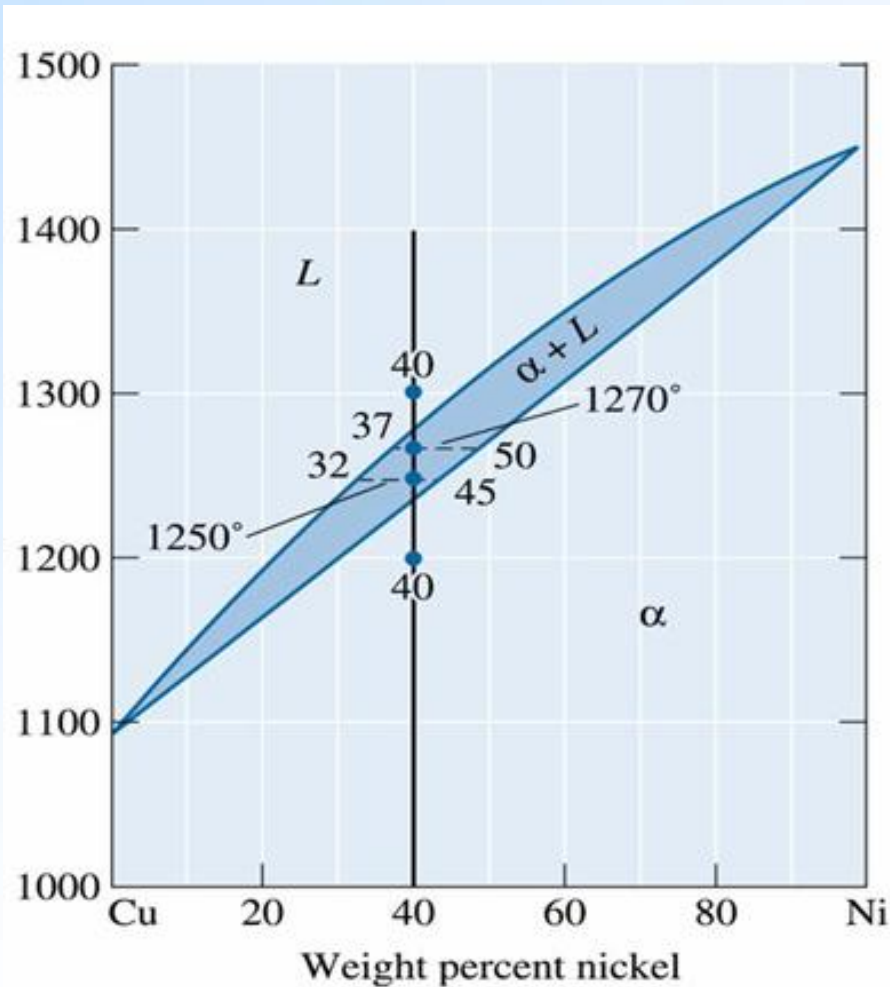
–1270° C:

$$\%L = \frac{50-40}{50-37} \times 100$$

=77%

$$\% \alpha = \frac{40-37}{50-37} \times 100$$

=23%



–1250 °C:

$$\% L = \frac{45 - 40}{45 - 32} \times 100$$

$$= 38 \%$$

$$\% \alpha = \frac{40 - 32}{45 - 32} \times 100$$

$$= 62 \%$$

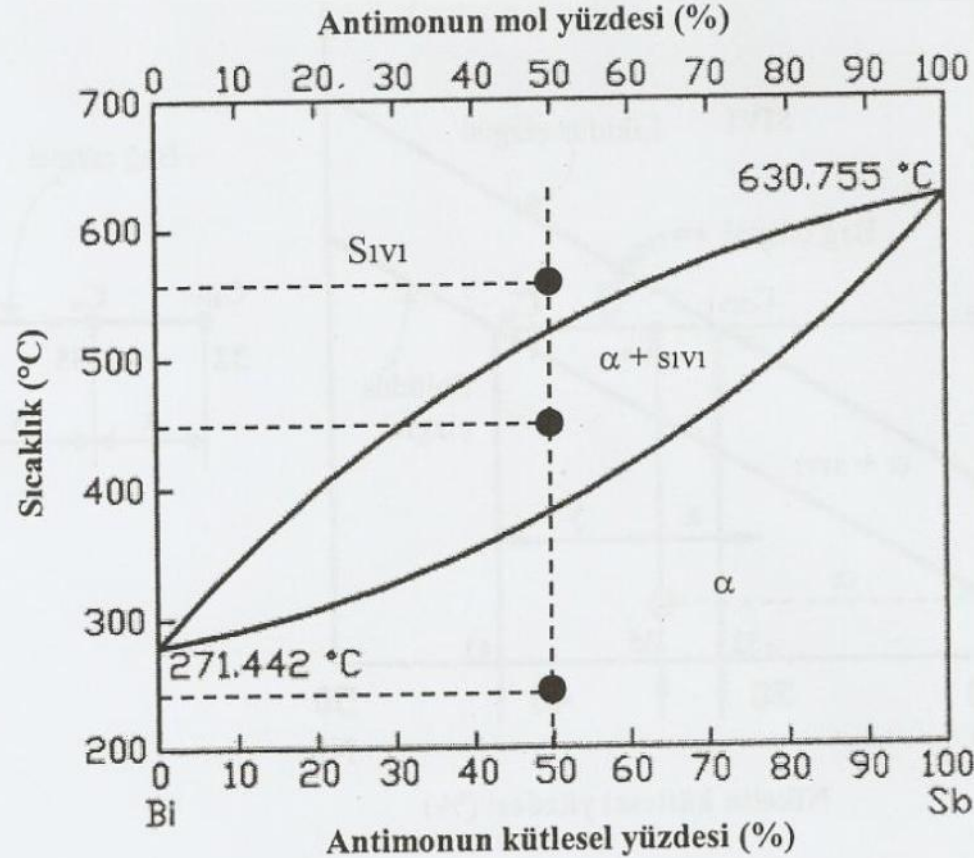
–1200 °C:

100 % α

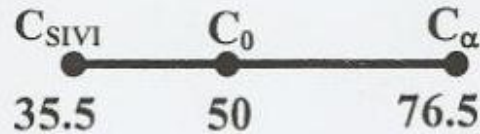
Aşağıdaki şekilde gösterilen Bi – Sb faz denge diyagramına bakarak, %50 Bi - %50 Sb içeren alaşımın 250 °C, 450°C ve 550°C lerdeki;

(a) her bir fazın bileşimini bulunuz.

(b) her bir fazın yüzde miktarlarını bulunuz.



Alaşımın 450°C de ise, sıvı + α fazları olmak üzere iki faz vardır. Dolayısıyla bu iki fazın yüzde miktarlarını bulabilmek için kaldıraç kuralını uygulayabiliriz. Bağ çizgisinin likidüs ve solüdüs kestiği noktalardaki C_{siv} ve C_{α} bileşimleri cevabın (a) şikkında bulunmuştu. Bulunan bu değerleri kaldıraç kuralındaki eşitliklere uygularsak;



$$\text{Sıvı fazın yüzde miktarı} = \frac{C_{\alpha} - C_0}{C_{\alpha} - C_{siv}} \times 100$$

$$\text{Sıvı fazın yüzde miktarı} = \frac{76.5 - 50}{76.5 - 35.5} \times 100 = \%57.6$$

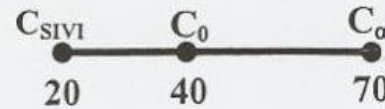
$$\text{Katı } (\alpha) \text{ fazın yüzde miktarı} = \frac{C_0 - C_{siv}}{C_{\alpha} - C_{siv}} \times 100$$

$$\text{Katı } (\alpha) \text{ fazın yüzde miktarı} = \frac{50 - 35.5}{76.5 - 35.5} \times 100 = \%42.4$$

1 kg ağırlığındaki % 60 Bi - % 40 Sb alaşımın, 360°C de bulunan fazlarının ağırlık miktarlarını hesaplayınız (Örnek 6.1'deki Bi-Sb-faz diyagramından yararlanınız).

Örnek 6.1'de gösterilen bizmut-antimon faz diyagramı üzerinde, bu alaşımın 360°C deki yeri tespit edilir. Kaldıraç kuralı uygulanarak çizilen bağ çizgisinin kesiştiği likidüs eğrisi üzerindeki C_{sivi} ve solüfus eğrisi üzerindeki C_{α} bileşimleri bulunur. Sonra kaldıraç kuralı eşitlikleri uygulanarak faz miktarları hesaplanır.

$$\begin{aligned} C_{sivi} &= \% 20 \text{ Sb} \\ C_{\alpha} &= \% 70 \text{ Sb} \\ C_0 &= \% 40 \text{ Sb} \end{aligned}$$



$$\text{Sıvı fazın miktarı} = \frac{C_{\alpha} - C_0}{C_{\alpha} - C_{sivi}} \times (\text{alaşımın ağırlığı})$$

$$= \frac{70 - 40}{70 - 20} \times (1 \text{ kg})$$

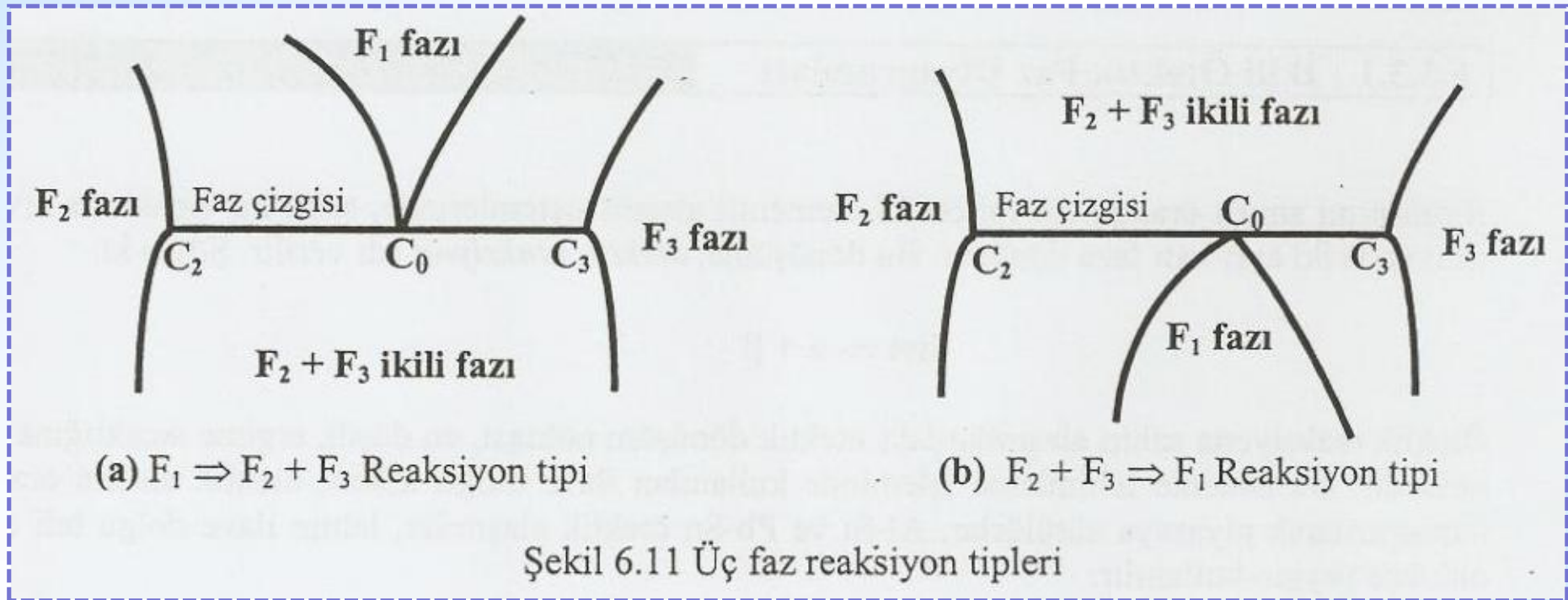
$$= 0.6 \text{ kg} = 600 \text{ gr}$$

$$\alpha \text{ fazının miktarı} = \frac{C_0 - C_{sivi}}{C_{\alpha} - C_{sivi}} \times (\text{alaşımın ağırlığı})$$

$$= \frac{40 - 20}{70 - 20} \times (1 \text{ kg})$$

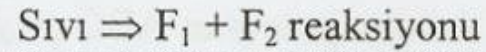
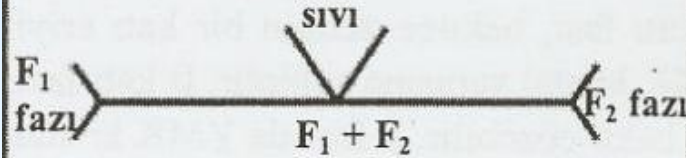
$$= 0.4 \text{ kg} = 400 \text{ gr}$$

Üç Faz Reaksiyonuna Sahip Faz Diyagramları

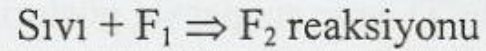
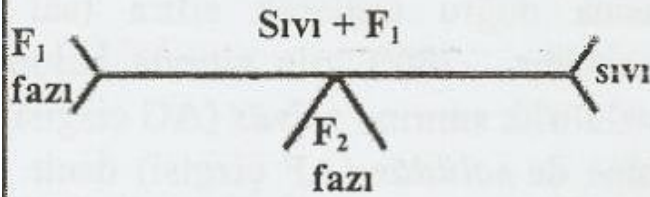


Sıvı ve katı fazlar arasında oluşan reaksiyon tipleri

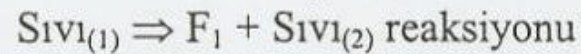
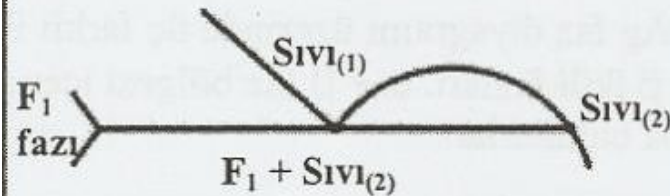
Ötektik



Peritektik

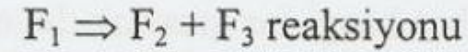
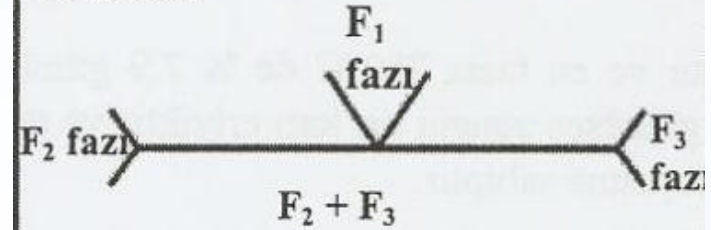


Monotektik

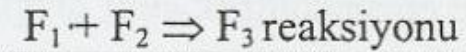
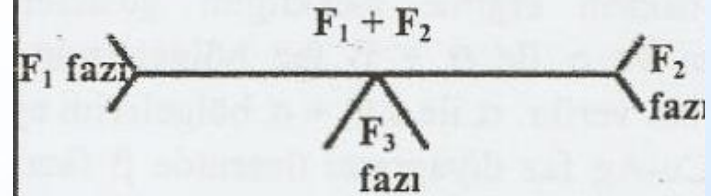


Katı fazlar arasında oluşan reaksiyon tipleri

Ötektoid



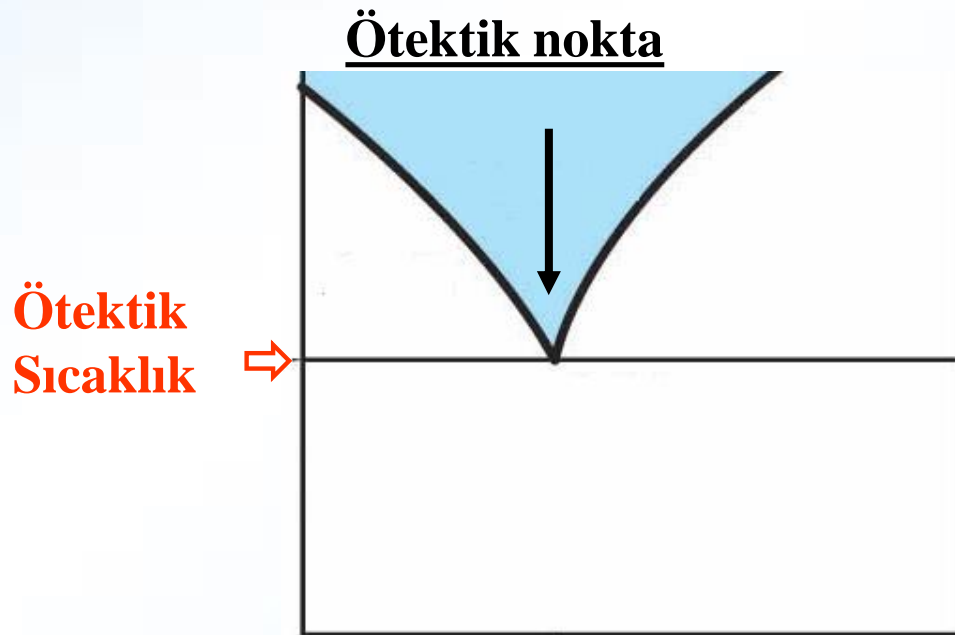
Peritektoid



Ötektik Yapı

- Birbirlerini sınırlı oranda çözebilen yada çözünmeyen iki elementli ala ım sistemlerinde, sabit bir sıcaklıkta **sıvı faz aynı anda iki ayrı katı faza** dönüşür. Bu dönüşüme ötektik reaksiyon adı verilir.

Ötektik reaksiyon:

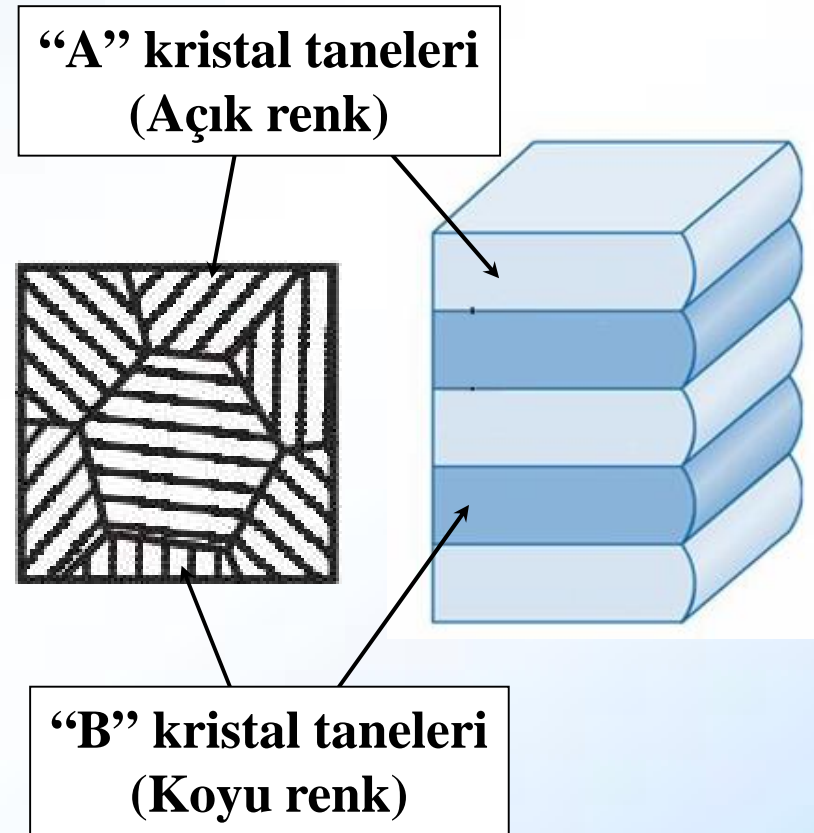


Ötektik nokta ala ımın en düşük erime noktasına sahip olduğu sıcaklıktır.

Teknik bakımdan önemli bazı ötektik (veya yakın ötektik) alaımlar

Alaım	Bileenler ve ergime noktaları (°C)	Alaım ergime noktası (°C)
Yumuak lehim	%60 Sn (232)	183
	%40Pb(327)	
Gümü lehim	%55 Cu (1083)	620
	%45 Ag (961)	
Basınçlı Al Dökümü	%88 Al (660)	577
	%12 Si (1414)	
Basınçlı Zn Dökümü	%96Zn (419)	380
	%4 Al (660)	

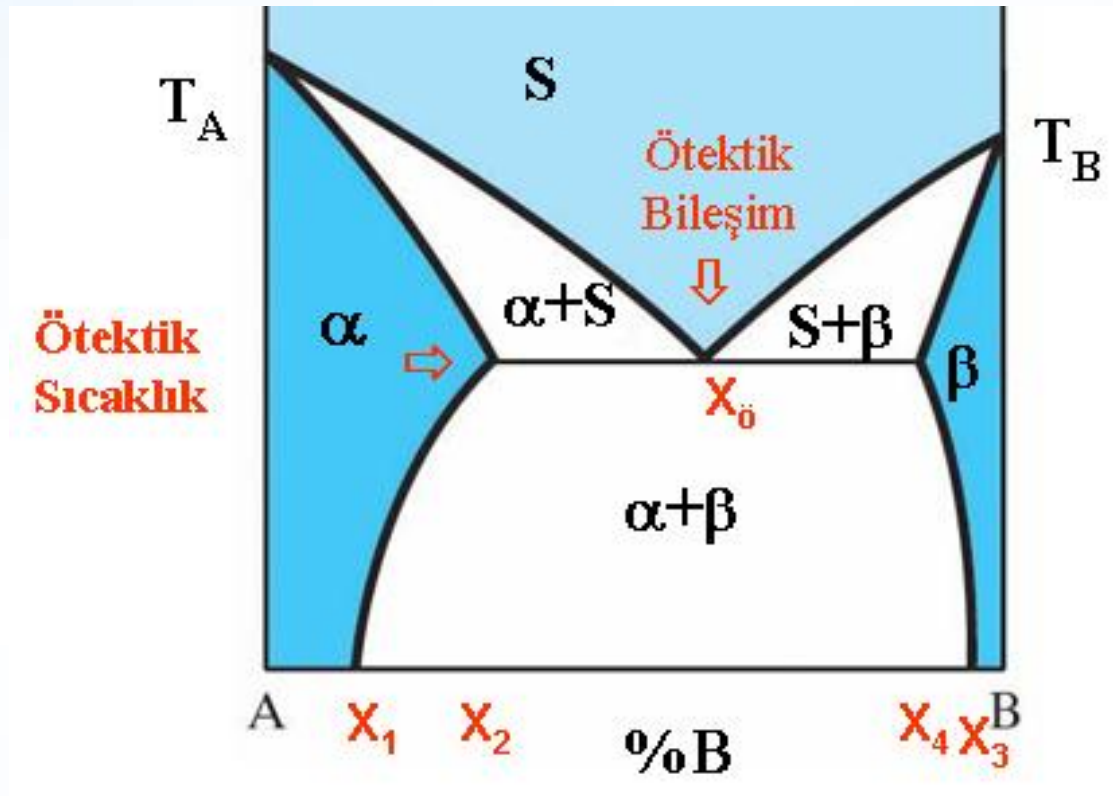
- Katılma sırasında **çekirdeklenme** bir çok noktadan başlar,
- Bu çekirdekler tabaka ekinde büyürler
- Birbirlerine temas etmeleri ile ince ve tabakalı yapı meydana gelir,
- Çekirdeklenme ne kadar çok noktadan meydana gelmi se yapı o kadar **ince tabakalı** (veya küçük taneli) olacaktır.



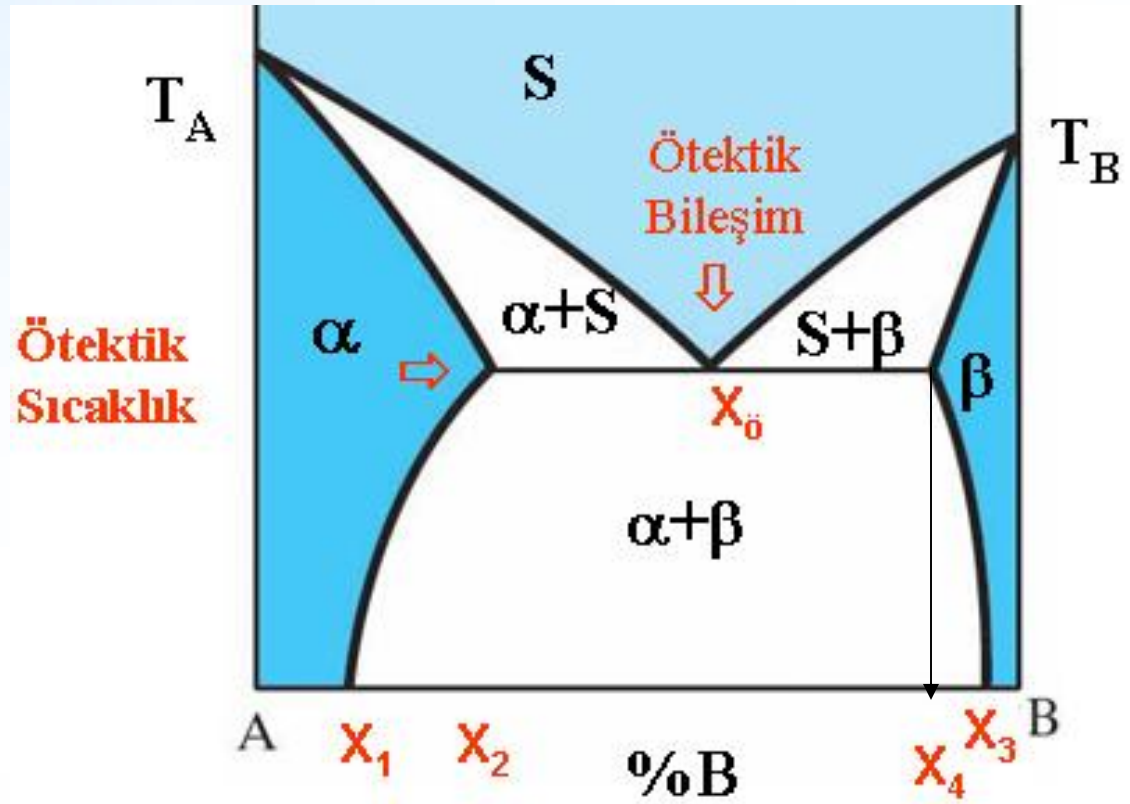
$$F_{\text{ö}} = C - P + 1 = 2 - 3 + 1 = 0$$

Sınırlı Çözünme

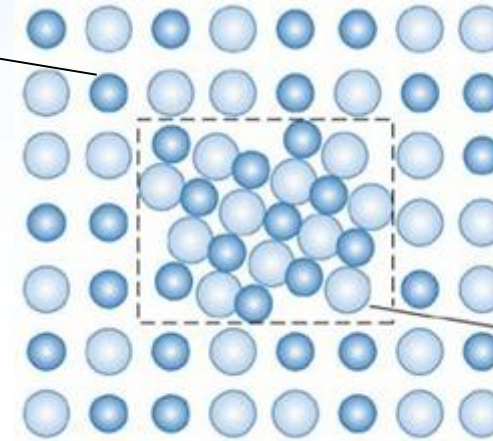
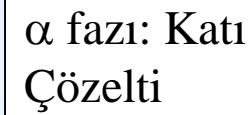
- Ala ım sistemlerinin ço unda görülür.
- B elementi A nın içerisinde sınırlı olarak çözünebilir. Oda sıcaklı ında X_1 kadar, sıcaklık arttıkça (ötektik sıcaklıkta) X_2 kadar çözünebilir.
- Sıcaklıkla ısıl aktivasyon artar ve bo luk miktarı artar.



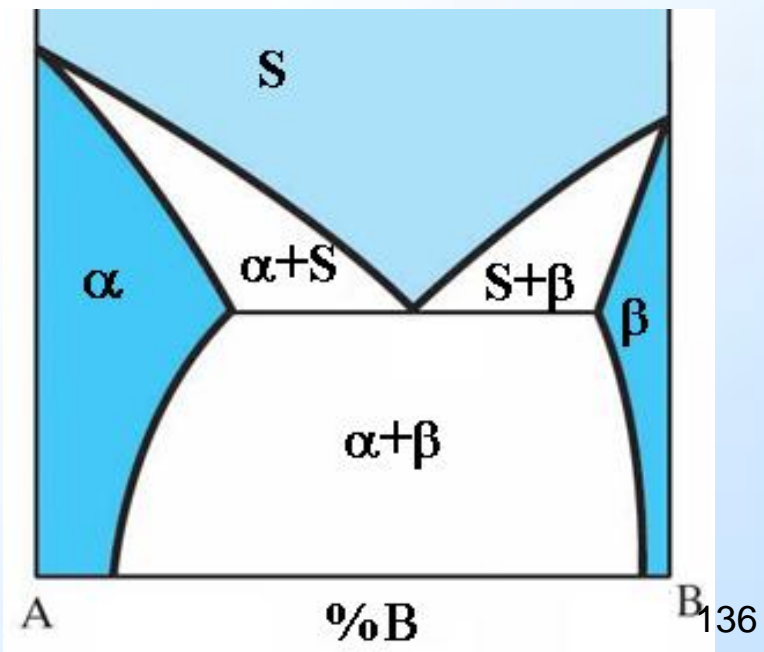
- Aynı ekilde **A** elementi **B** içerisinde sınırlı miktarda çözünebilir.
- Oda sıcaklığı ında X_3 kadar, sıcaklık arttıkça (ötektik sıcaklıkta) X_4 kadar çözünebilir.

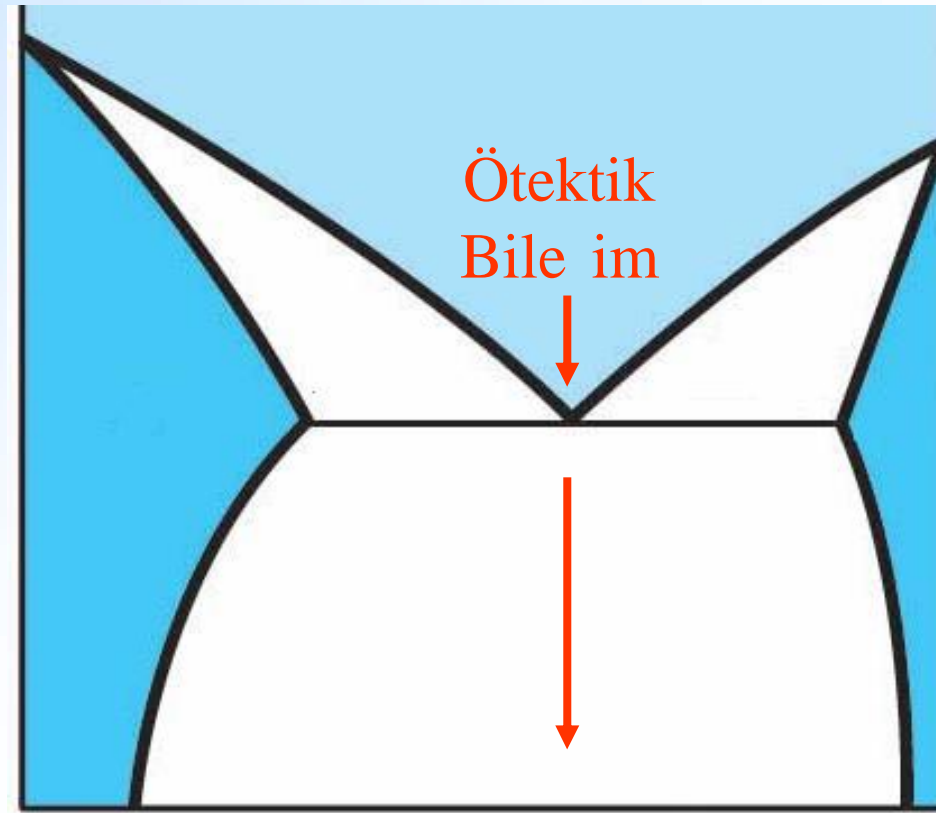


- Çözeltiye giremeyen yabancı atomlar kendilerinin ço unlukta oldu u yeni atom düzeni (faz) olu tururlar.
- A nın ço unlukta oldu u katı çözelti α fazını olu turur,
- B nin ço unlukta oldu u katı çözelti β fazını olu turur.
- Fiziksel ve kimyasal özellikleri farklı olan iki katı faz α ve β aynı yapıda birarada bulunabilir.



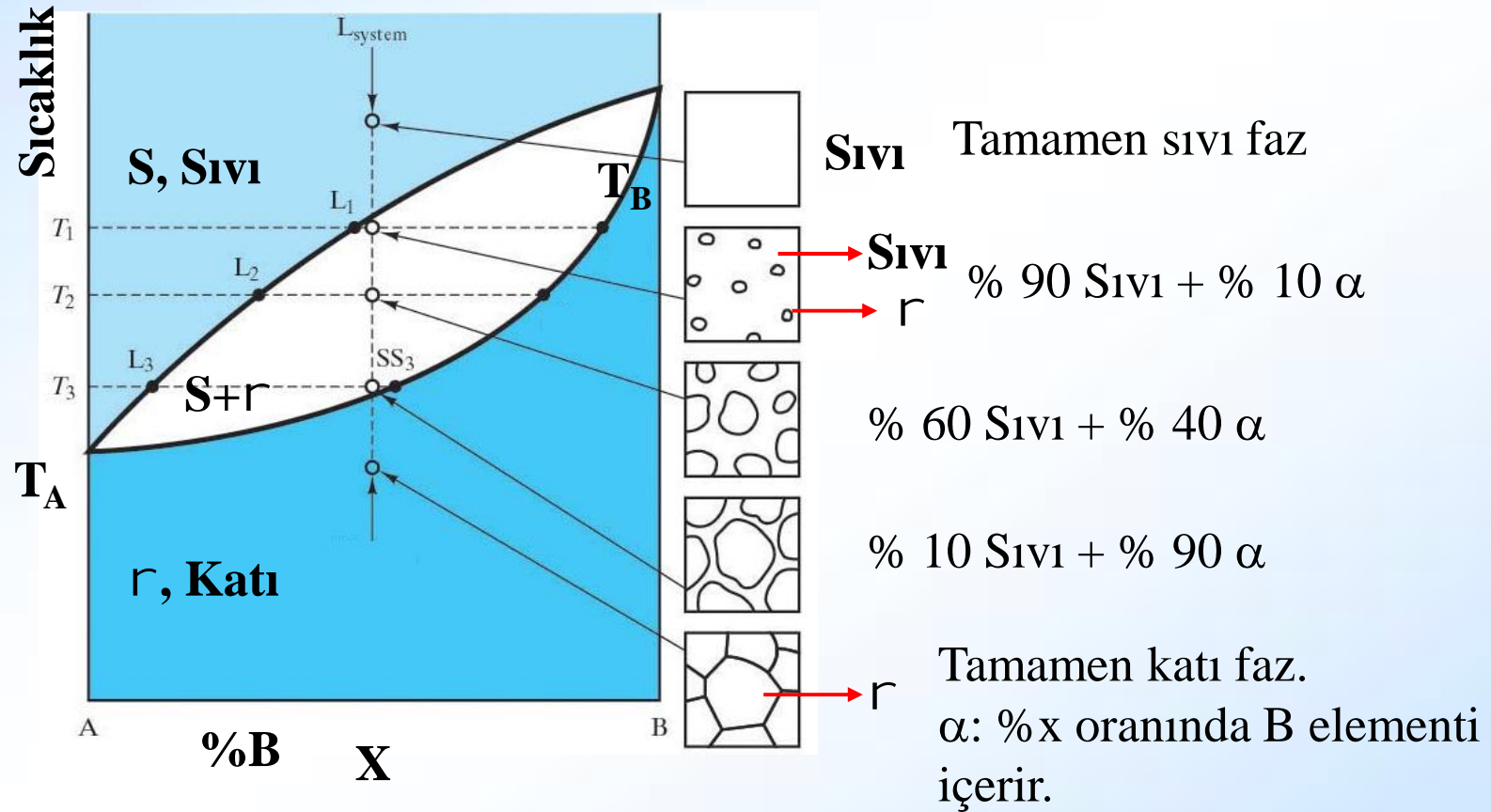
β fazı:
2.Faz ve Katı
çözelti



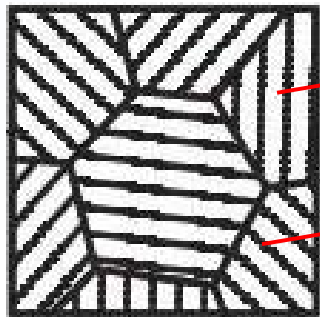
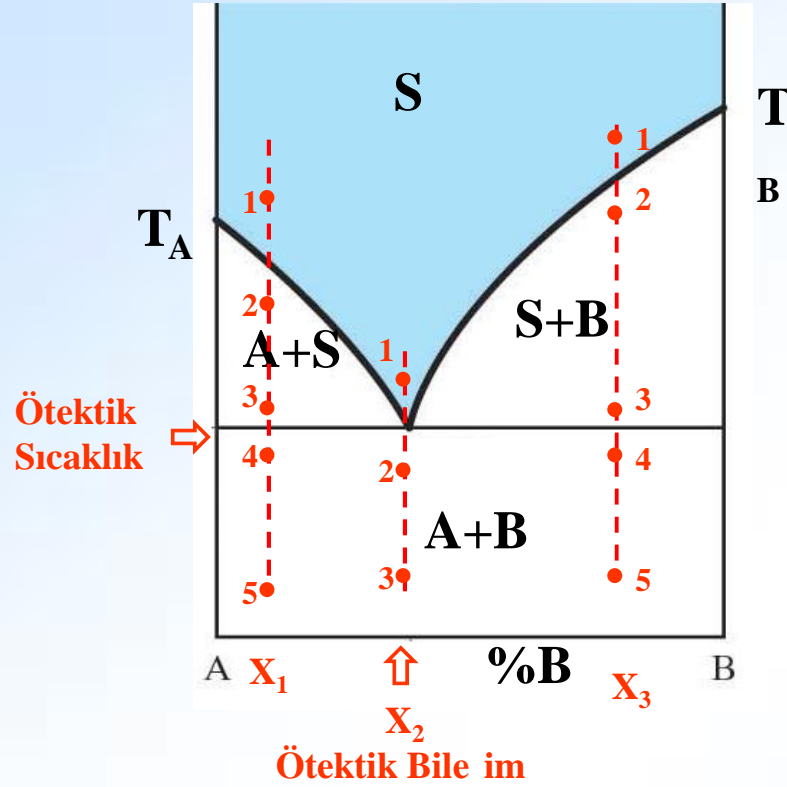


Ötektik altı bile im (hypo) $\leftarrow X_{\text{ö}} \rightarrow$ Ötektik üstü bile im (hyper)

Tam Çözünme



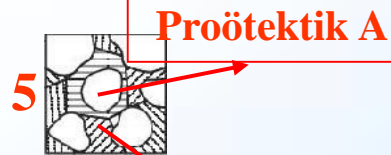
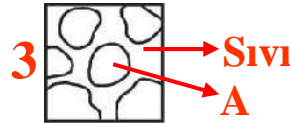
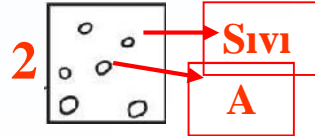
Hiç Çözünmeme



A Kristalleri
(Açık renk)

B Kristalleri
(Koyu renk)

1. Alayım



Proötektik A

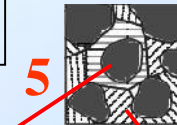
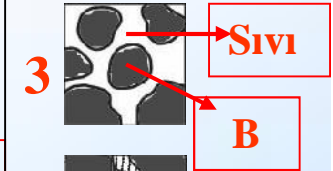
Ötektik A
Ötektik B

2. Alayım



Ötektik Yapı
Ötektik A
Ötektik B

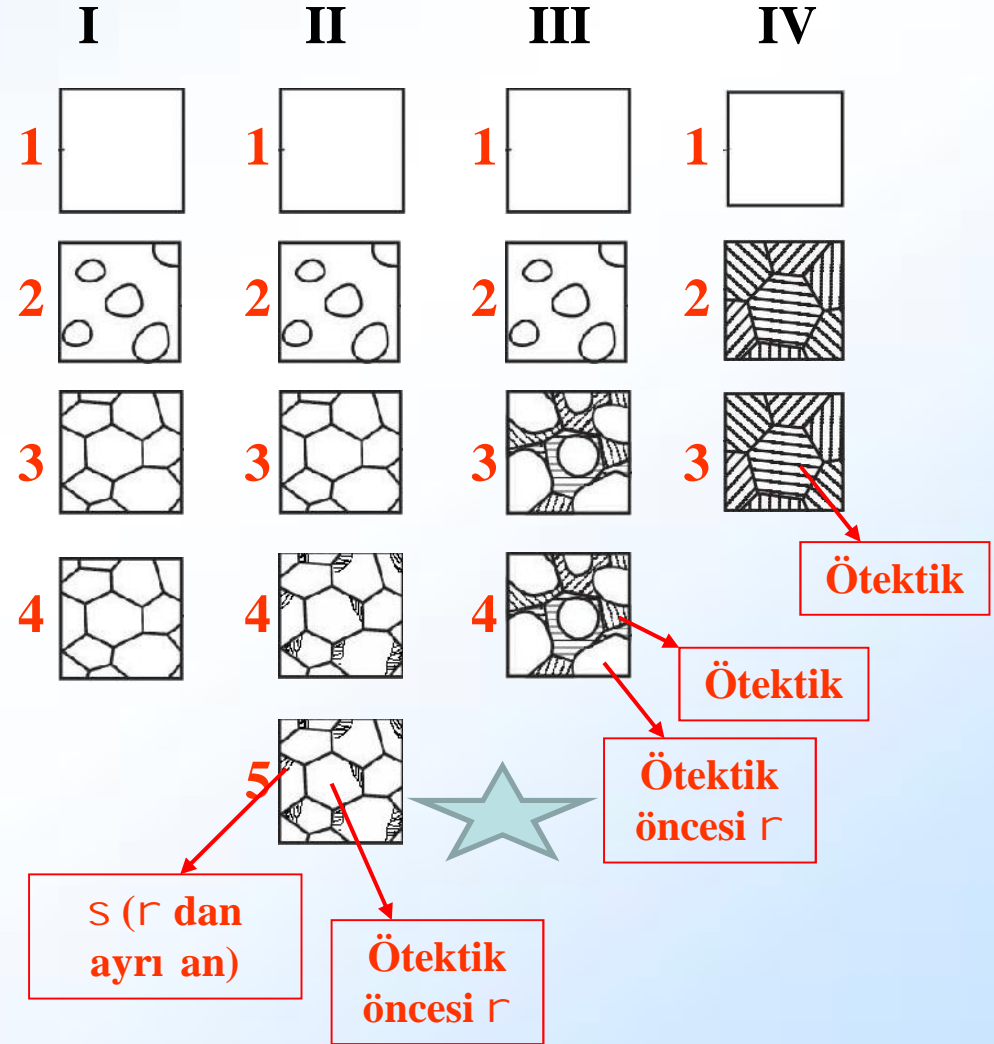
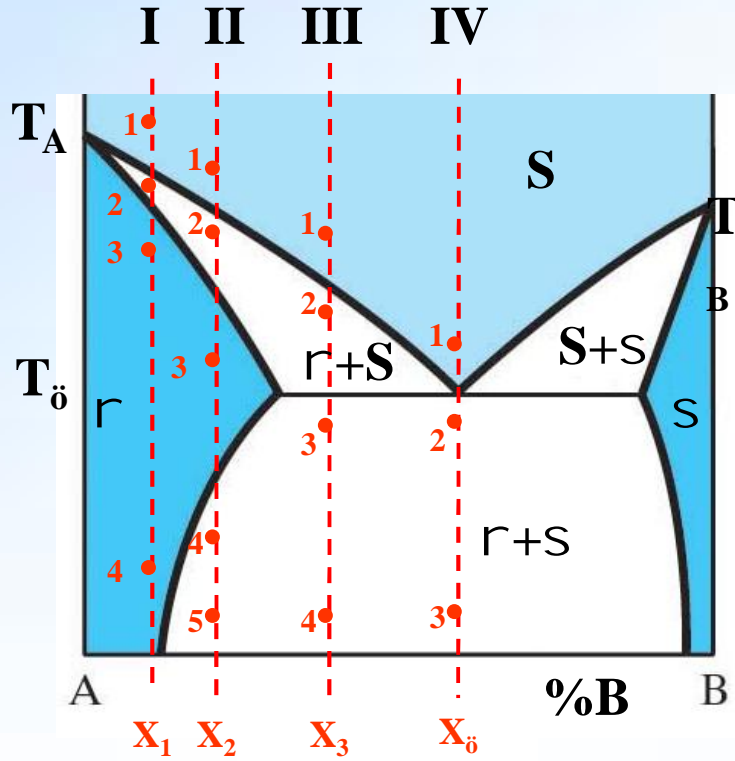
3. Alayım



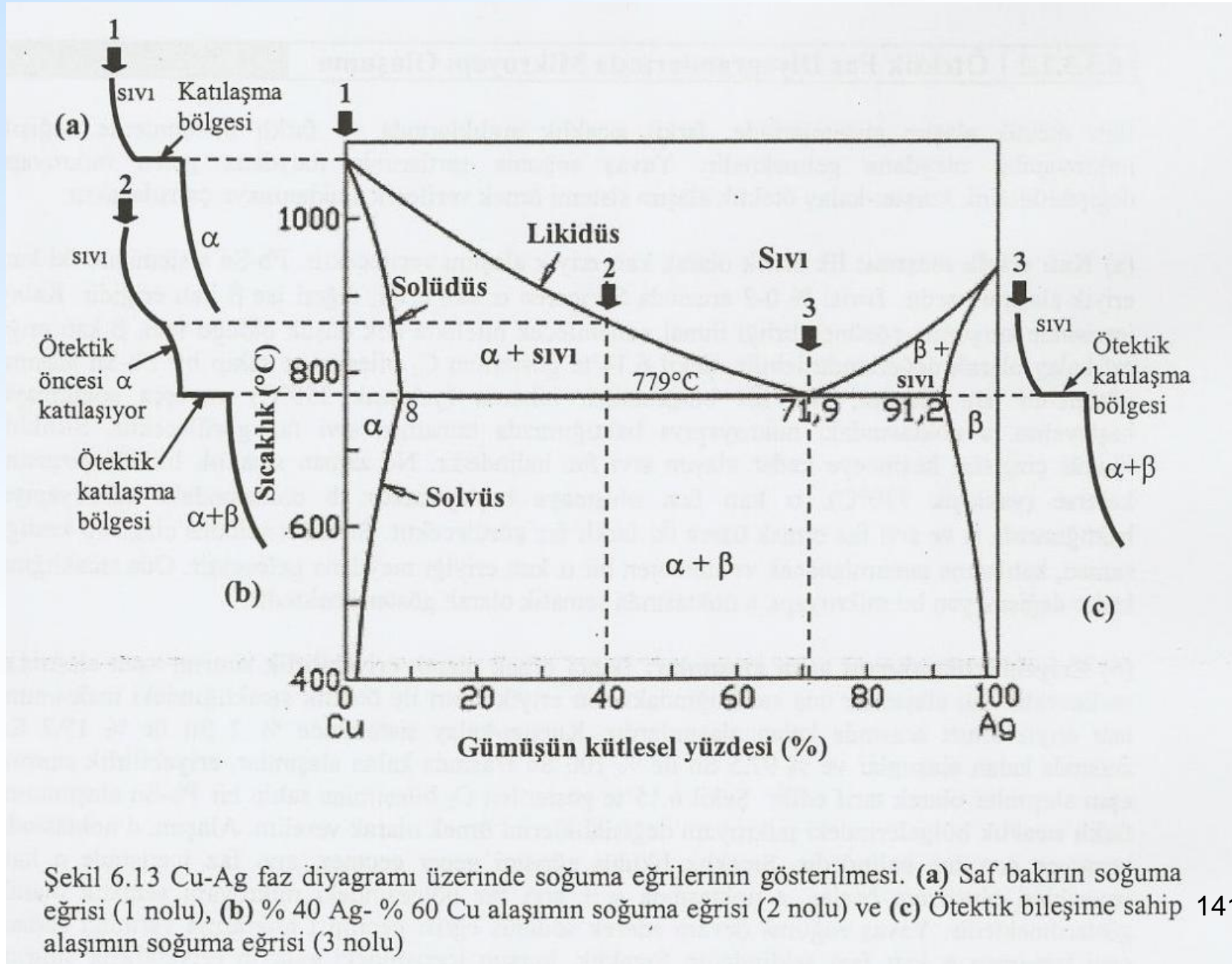
Proötektik B

Ötektik A
Ötektik B

Faz diagramları: Sınırlı Çözünme

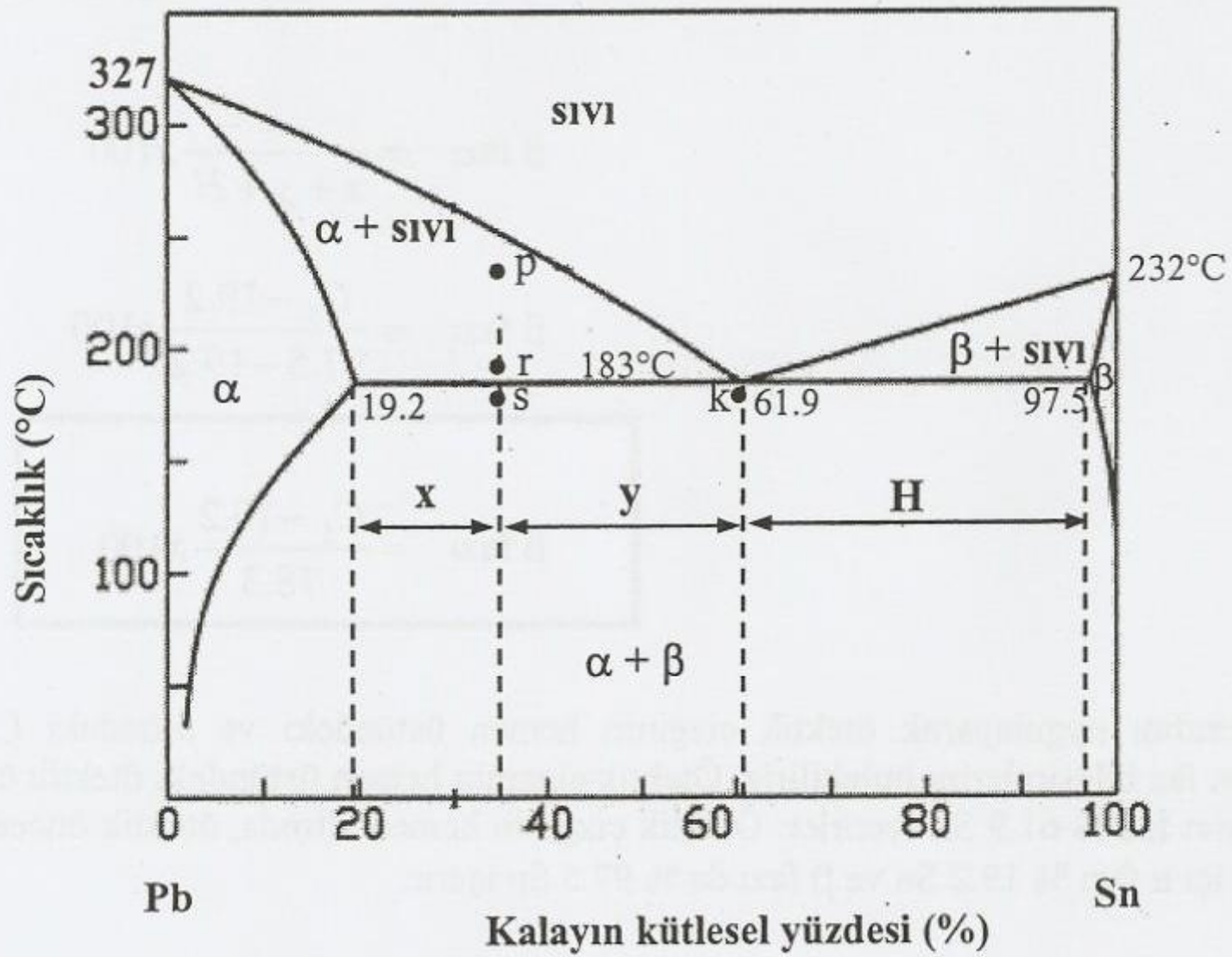


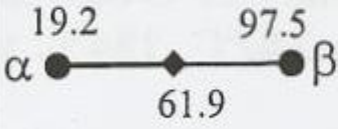
Ötektik alaşımların yavaş soğuma eğrisi







Kurşun-kalay (Pb-Sn) sisteminin yavaş soğuma şartlarında elde edilen faz diyagramı üzerindeki:

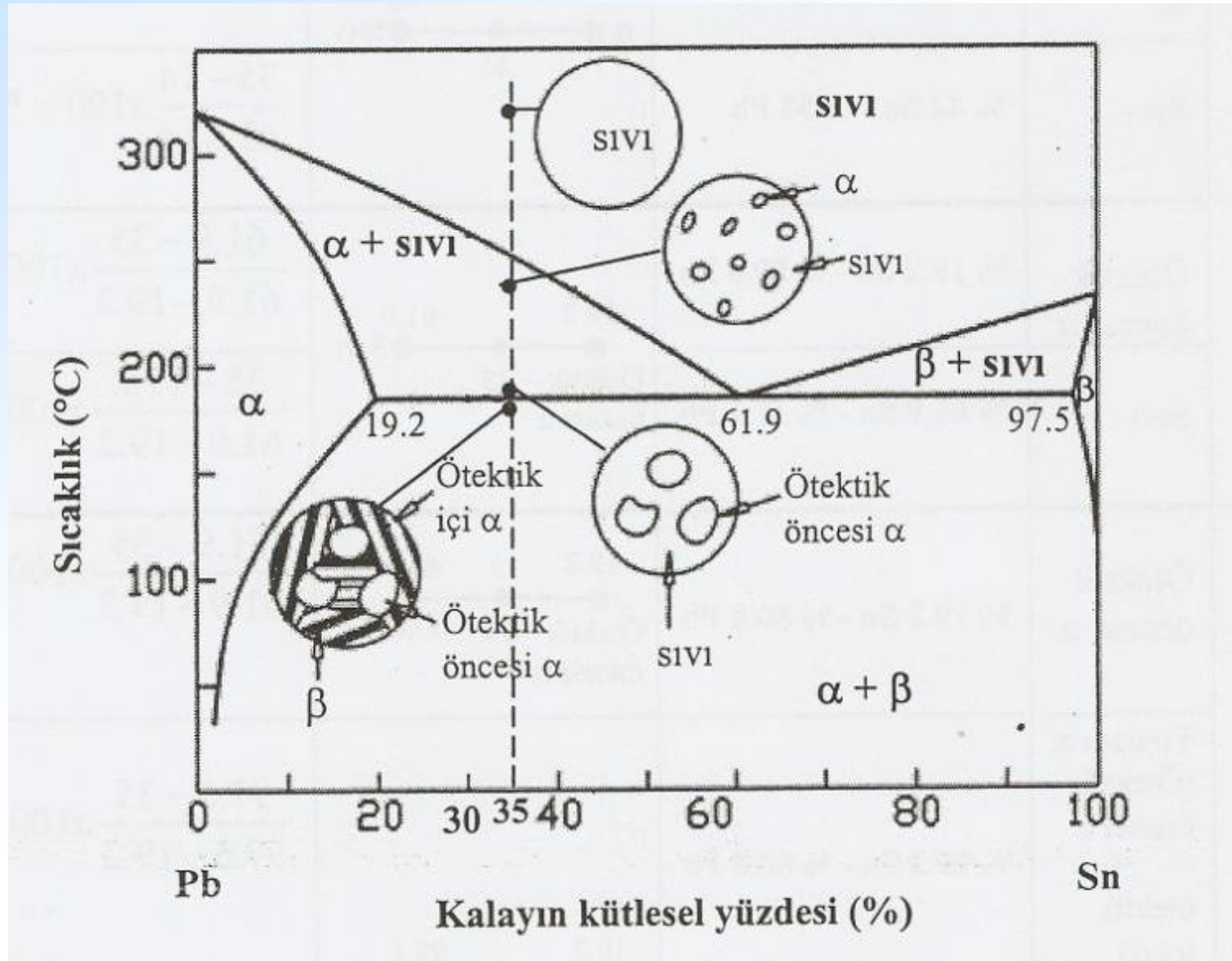
- (a) Ötektik bileşime ait alaşımın 182°C deki fazların bileşimini ve yüzde miktarlarını bulunuz.
- (b) % 35 Sn içeren alaşımın 240°C , 184°C ve 182°C 'lerdeki fazlarının bileşimlerini ve yüzde miktarlarını bulunuz.
- (c) % 35 Sn içeren alaşımın 330°C , 240°C , 184°C ve 182°C 'lerdeki mikroyapılarını şematik olarak çiziniz.
- (d) % 35 Sn içeren alaşımın ve ötektik bileşime sahip alaşımın yavaş soğuma eğrilerini çiziniz.

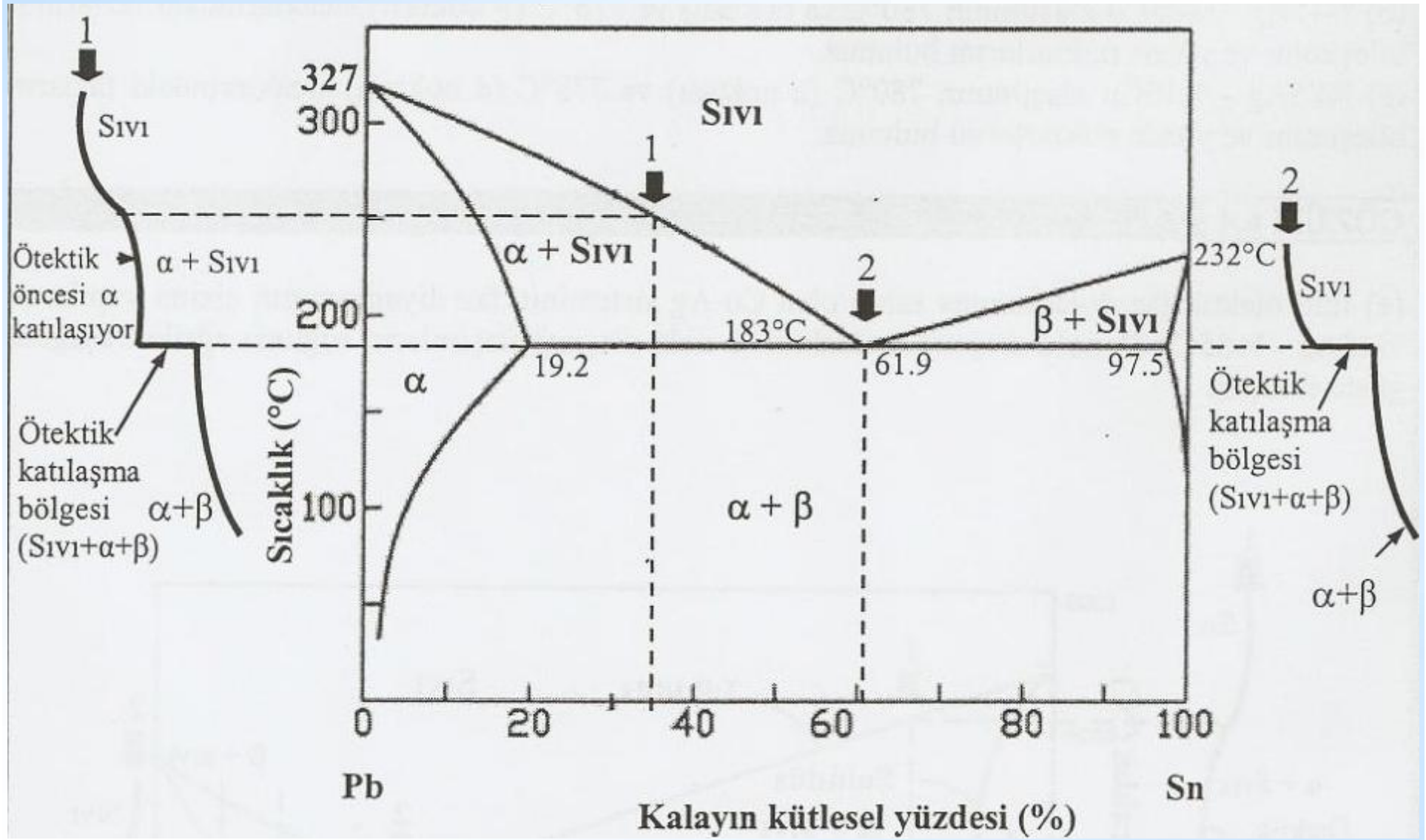


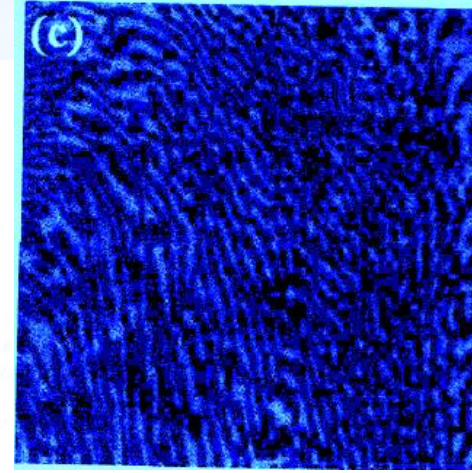
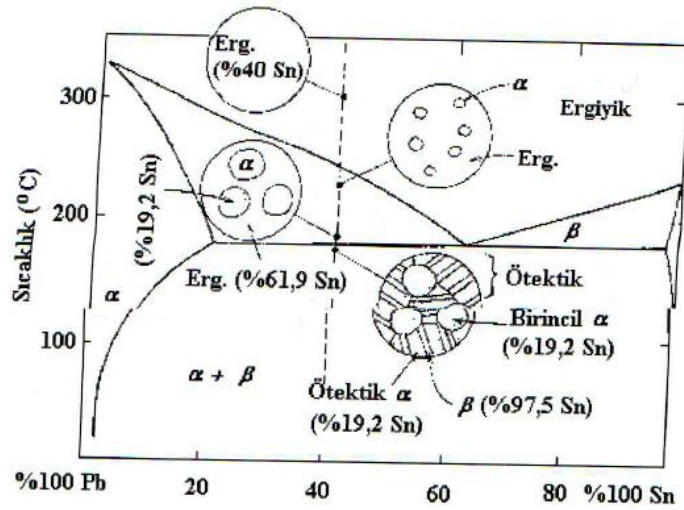
Sıcaklık	Fazlar	Fazların bileşimi (% kütlese)	Bağ çizgisi	Fazların yüzde miktarları
182°C (k noktası)	α	%19.2 Sn - %80.8 Pb		$\frac{97.5 - 61.9}{97.5 - 12.2} \times 100 = \%45.5$
	β	% 97.5 Sn - % 2.5 Pb		$\frac{61.9 - 19.2}{97.5 - 19.2} \times 100 = \%54.5$

Sıcaklık	Fazlar	Fazların bileşimi (% kütlese)	Bağ çizgisi	Fazların yüzde miktarları
240°C (p noktası)	α	% 14 Sn - % 86 Pb		$\frac{42 - 35}{42 - 14} \times 100 = \%25$
	Sıvı	% 42 Sn - % 58 Pb		$\frac{35 - 14}{42 - 14} \times 100 = \%75$

184°C (r noktası)	Ötektik öncesi α	% 19.2 Sn - % 80.8 Pb		$\frac{61.9 - 35}{61.9 - 19.2} \times 100 = \%63$
	Sıvı	% 61.9 Sn - % 38.1 Pb		$\frac{35 - 19.2}{61.9 - 19.2} \times 100 = \%37$
182°C (s noktası)	Ötektik öncesi α	% 19.2 Sn - % 80.8 Pb		$\frac{61.9 - 35}{61.9 - 19.2} \times 100 = \%63$
	Toplam α (Ötektik öncesi α + ötektik içi α)	% 19.2 Sn - % 80.8 Pb		$\frac{97.5 - 35}{97.5 - 19.2} \times 100 = \%79$
	ötektik içi α	% 19.2 Sn - % 80.8 Pb		$79 - 63 = \%16$
	β	% 97.5 Sn - % 2.5 Pb		$\frac{35 - 19.2}{97.5 - 19.2} \times 100 = \%21$

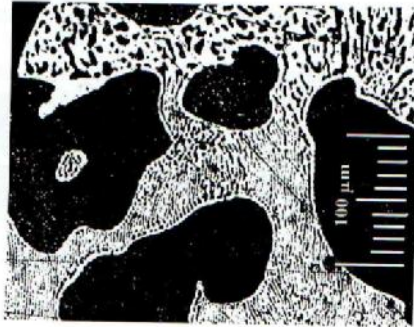




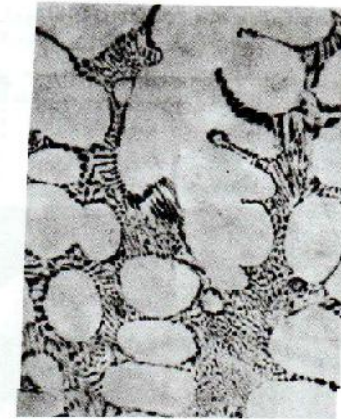


Şekil 6.44. (a) Tam ötektik bileşimli bir alaşımla ilgili faz diyagramı ve farklı sıcaklıklarda oluşan dokuların şematik görünümü, (b) bu bileşime ait soğuma eğrisi ve (c) tam ötektik bileşimde olan Pb-Sn alaşımla ilgili ötektik katılaşma sonrası elde edilen dokusu (400 X)

Şekil 6.42. Pb - Sn faz diyagramı ve %40 Sn bileşimli alaşımla ilgili katılaşması (Kramer S.R.I., Scientist, Department of Materials Science and Engineering Michigan Technological University).



Şekil 6.43. %40 Sn içeren Pb-Sn alaşımla ilgili dokusu; koyu renkli bölgeler ötektik sıcaklığa kadar oluşan α kristalleri, açık renkli bölgeler ise ötektik dokudur. Birincil kristallerin yanında yer alan ötektik dokudaki koyu bölgeler α kristalleri ve açık bölgeler ise ötektikteki β kristalleridir (Kramer S.R.I., Scientist, Department of Materials Science and Engineering Michigan Technological University).



Şekil 6.46. Ötektiküstü Pb-Sn alaşımla ilgili dokusu; açık renkli bölgeler birincil β kristalleri ve koyu renkli bölgeler ise $\alpha + \beta$ ötektikidir (Askeland, D.R., Materialwissenschaften, Grundlagen-Übungen-Lösungen, aus dem amerikanischen von Wolfgang Fahland und Wilfried Holzhaeser, Spektrum Akad. Verl. 1996, S.260).

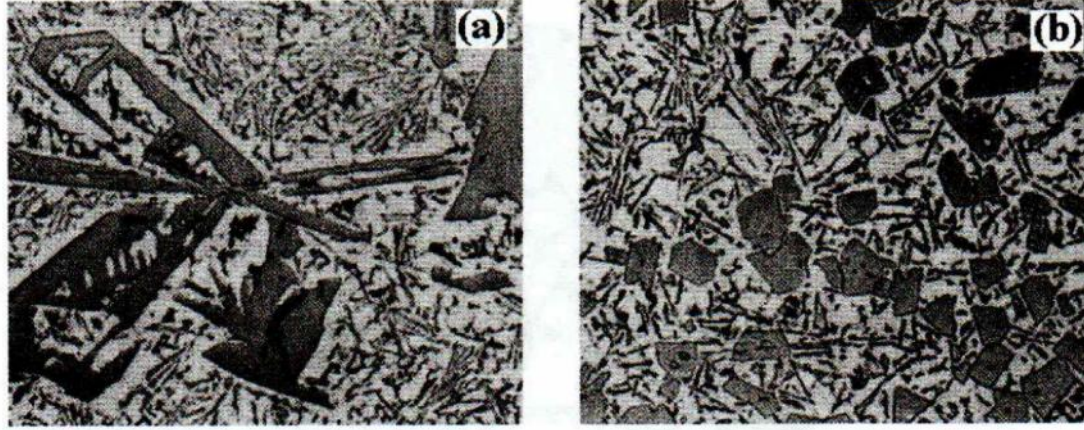


Şekil 6.58. Tam ötektik bileşimli Al-Si alaşımlarının dokuları; (a) fırında soğutma, (b) fırında soğutma metal kalıpta (kokil kalıp) döküm ile hızlı soğutma, (c) kaba Si kristaller (Karagöz, Ş., Faz ve Alaşım İ

Yüksek soğuma hızı ile ötektik nokta %11,7 Si noktasından sağa doğru ötelenerek, ötektik bileşimin daha zengin Si içermesi de sağlanmaktadır. Bunun yanında soğuma hızının yüksek olması sonucunda ortaya çıkan ΔT aşırı soğuma miktarı, birincil α kristallerinin yanında ikinci birincil β kristallerinin oluşumuna yol açmaktadır. Ötektik bileşimli alaşımın yüksek soğuma hızları ile katılaştırılmasında, Şekil 6.60'da görüldüğü gibi aşırı soğuma miktarı $\Delta T = 10^\circ\text{C}$ değerinde olmakta ve bu koşullarda katılan ötektik yapı ince bir dokuya sahip olduğundan, malzemenin dayanım özelliklerinin artmasını sağlamaktadır. Soğuma hızına etki edilerek, ötektik yapıda oluşturulan ince doku ile sağlanan daha yüksek dayanım, Al-Si alaşımlarının kullanım sahasını artırmaktadır.

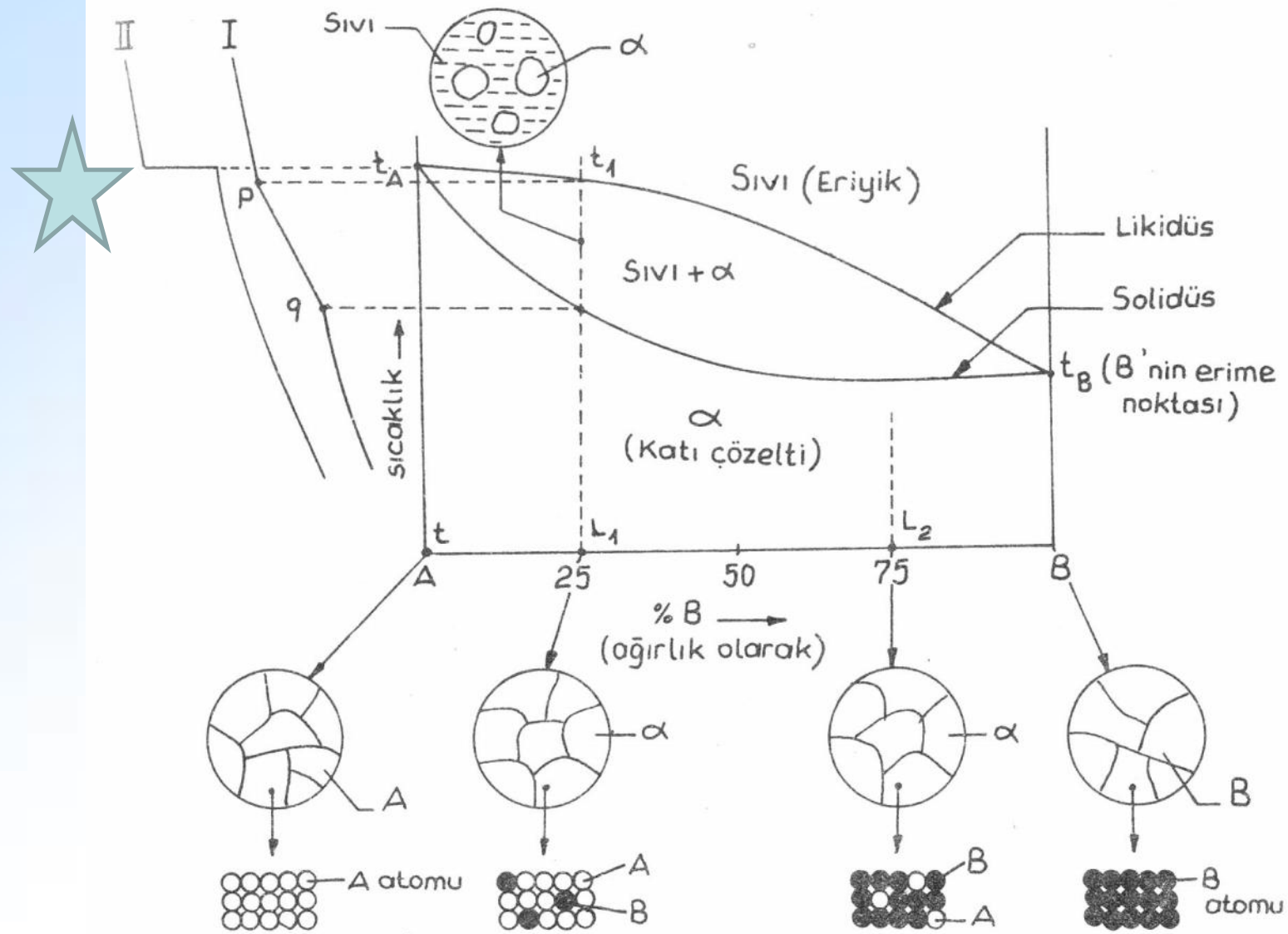
Ötektik bileşimli Al-Si alaşımında, ötektik doku oluşurken Si bölgesi (β kristalleri) ince düz plakalar halinde gelişirler. Mikroskop altında bu plakalar gözlemlendiğinde, Şekil 6.61a'daki gibi Al matris içinde (açık renkli bölgeler) iğnesel bir dağılıma sahip oldukları görülür. Gevrek bir özelliğe sahip olan bu Si plakaları (koyu renkli bölgeler), malzemede iç gerilimlere yol açarak, malzemenin sünekliğinin ve darbe dayanımının düşmesine neden olur.

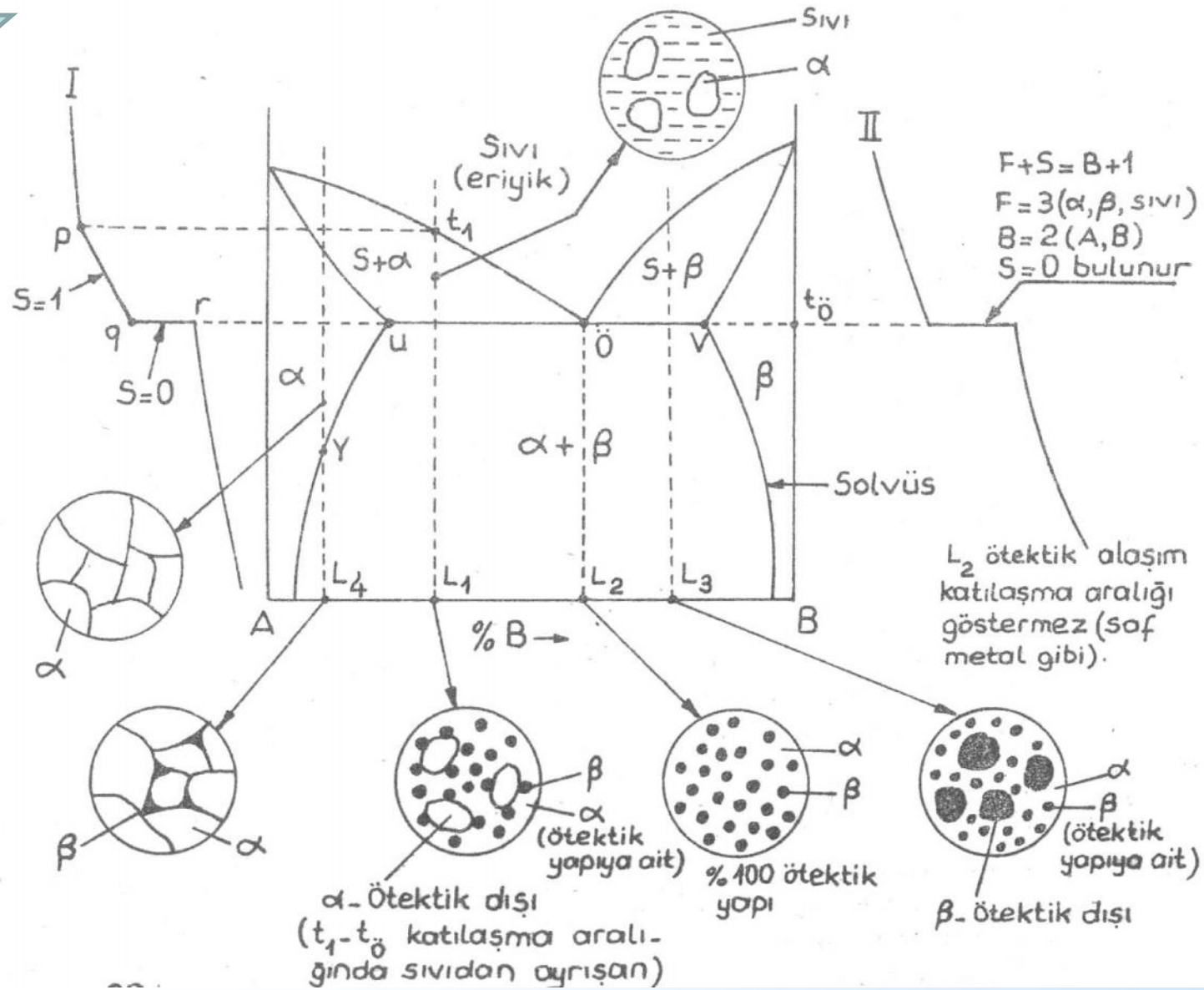
Al-Si alaşımının ötektik yapısı modifikasyon veya asilleştirme olarak adlandırılan yöntem ile değiştirilerek, malzemenin dayanım özellikleri yükseltilebilmektedir. Asilleştirme yöntemi ile yapıdaki Al dallantıları arasında oluşan Si fazının daha ince dağılımı sağlanmakta ve böylesi bir yapının eldesi sonucunda malzemenin çekme dayanımı ve % uzama değerlerinde artış elde edilmektedir. Şekil 6.61b'de 0,01 Na ilevesi ile asilleştirilmiş bir Al-Si ötektik yapısı görülmektedir. Burada açık renkli bölgeler yaklaşık küreselleşmiş Al plaka bölgeleri ve koyu renkli bölgeler ise asilleştirilmiş ötektik faz bölgesidir.



Şekil 6.62. Ötektiküstü Al-Si alaşımasının dokusuna fosforun etkisi; (a) büyük boyutlu birincil Si ve (b) P ilavesi sonrası elde edilmiş ince birincil Si (75X) (*Metals Handbook, Vol. 7-8. Aufl., American society for Metals, 1972 ve Askeland, D.R., Materialwissenschaften, Grundlagen-Übungen-Lösungen, aus dem amerikanischen von Wolfgang Fahland und Wilfried Holzhaeser, Spektrum Akad. Verl. 1996, S.266*).

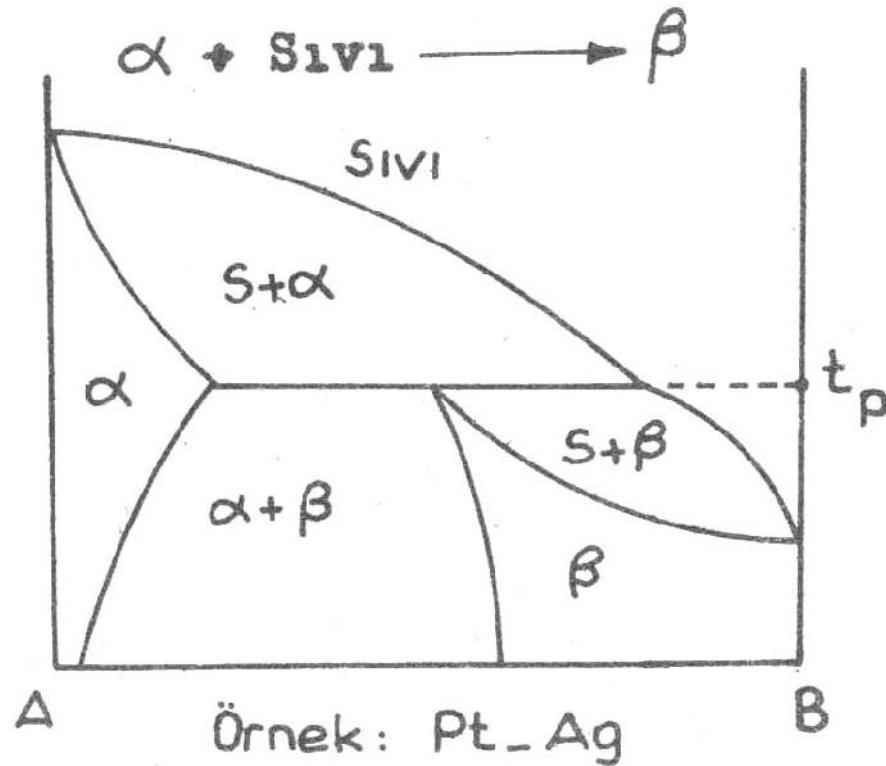
β -fazı sert bir özelliğe sahip olduğundan, özellikle motor blokları için Al-Si alaşımlarından ötektiküstü alaşımların kullanımı uygundur. Buna karşın büyük boyutlu β -fazları malzemede gerilim yaratmakta ve yoğunluk farkı nedeni ile katılaşma sırasında birincil β -fazı döküm parçasının yüzeyinde bir tabaka şeklinde kalmaktadır. %0,05 P ilavesi ile birincil Si-fazının çekirdeklenmesi teşvik edilmekte ve böylece tane boyutu küçültülmektedir. Başka bir anlatım ile; ilave malzemenin etkisi ile birkaç büyük partikül yerine, pek çok çekirdeklenme sayesinde yapıda birçok küçük partikül elde edilebilmektedir (Şekil 6.62b). Tane boyutunun inceltilmesi sonucunda, büyük tane boyutunun malzeme özelliklerine olan etkileri en aza indirgenmektedir.

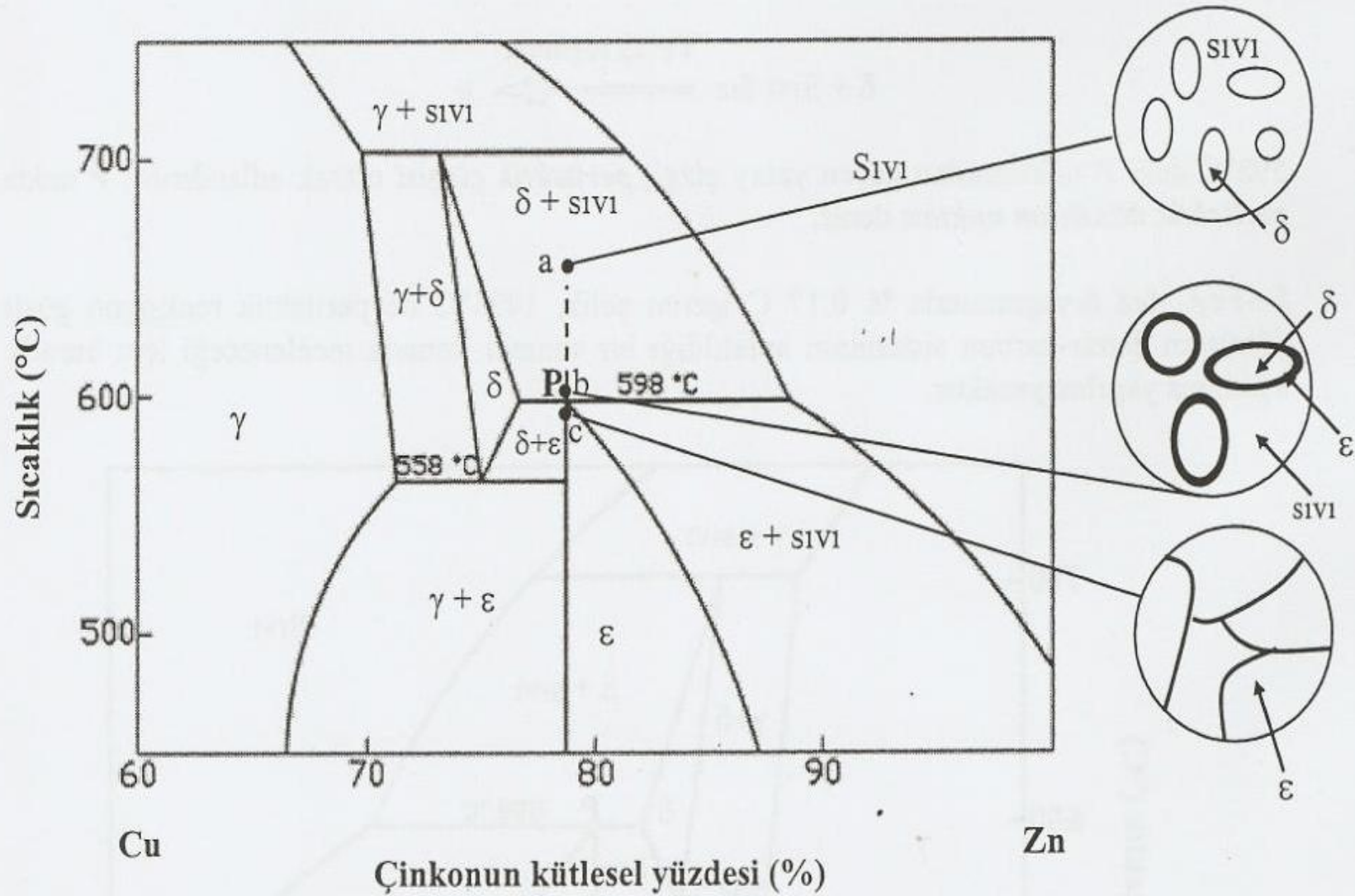




Peritektik faz diyagramları

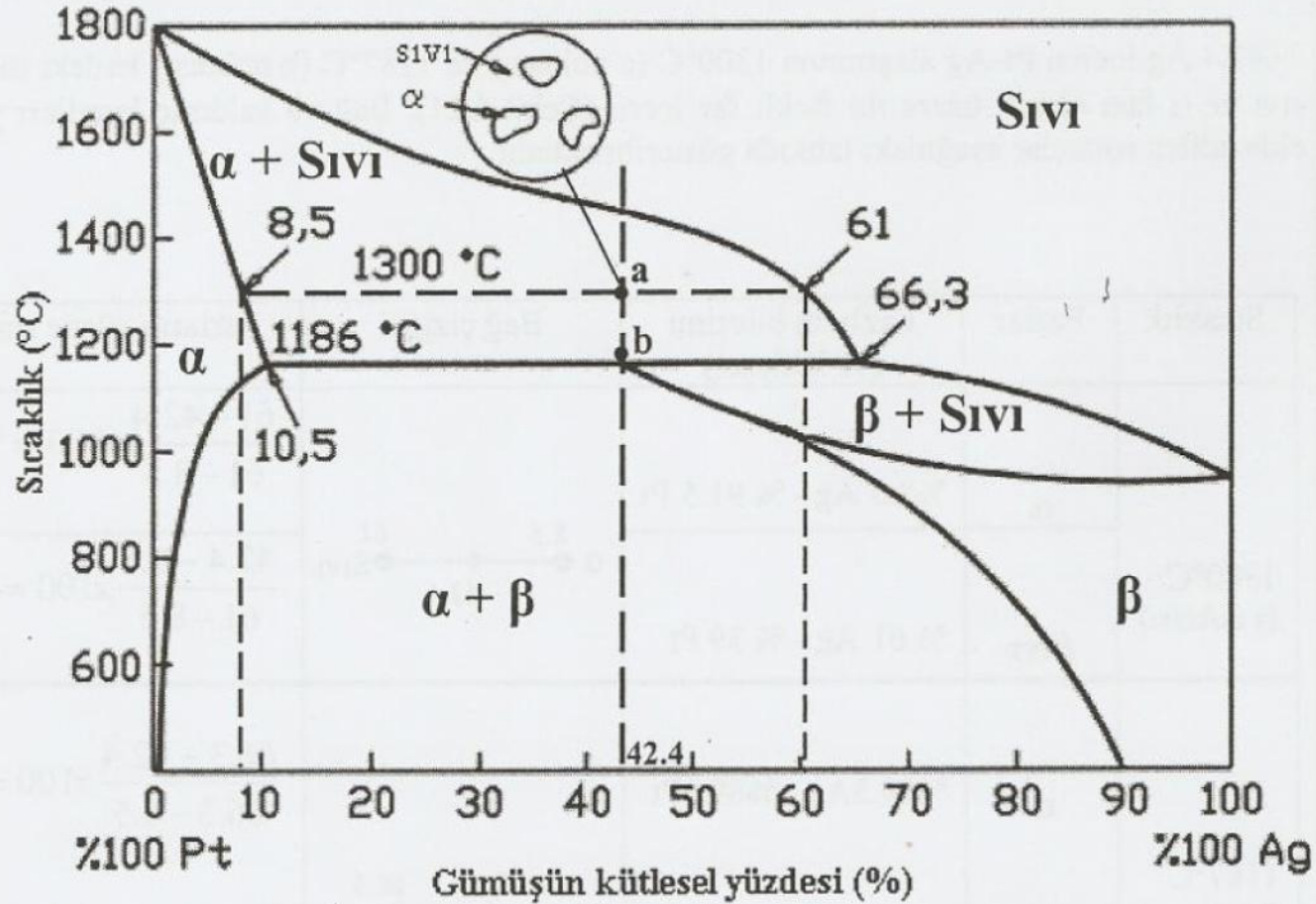
Katılaşma esnasında bir alaımın sıvı faz ile katı bir fazın birlikte bulunduğu bir bölgeden, sabit bir sıcaklık noktasından direkt olarak başka bir katı faza dönüşmesine “**peritektik reaksiyon**” adı verilir.



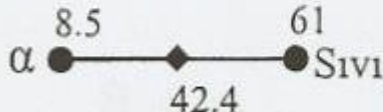
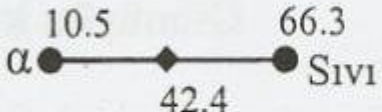


Şekil 6.20 Bakır-çinko sisteminin peritektik bileşime sahip (%78.6 Zn - %21.4 Cu) alaşımın şematik mikroyapı değişiklikleri

Pt-Ag sistemine ait bir faz diyagramından (Şekil 6.21) yararlanarak %42.4Ag içeren peritektik alaşımanın 1300°C (a noktası) ve 1187°C (b noktası) lerdeki fazlarının bileşimlerini ve yüzde miktarlarını bulunuz.



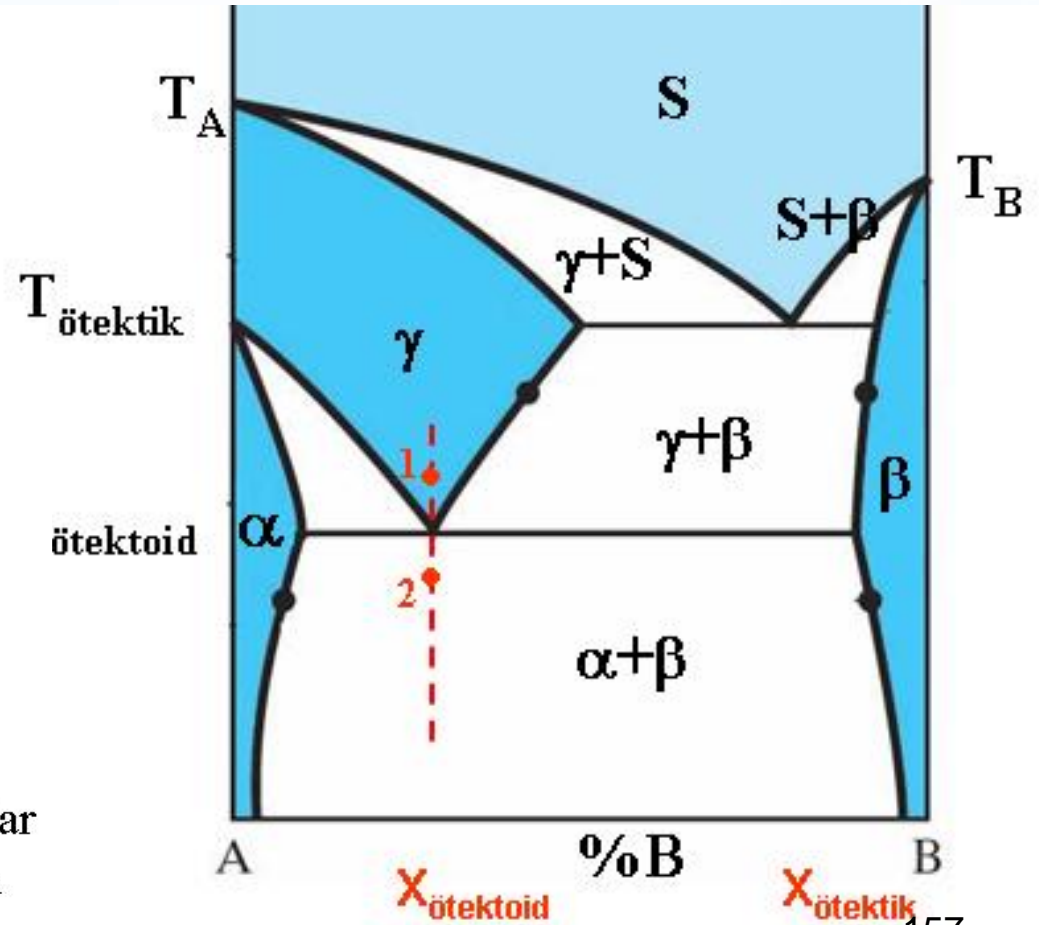
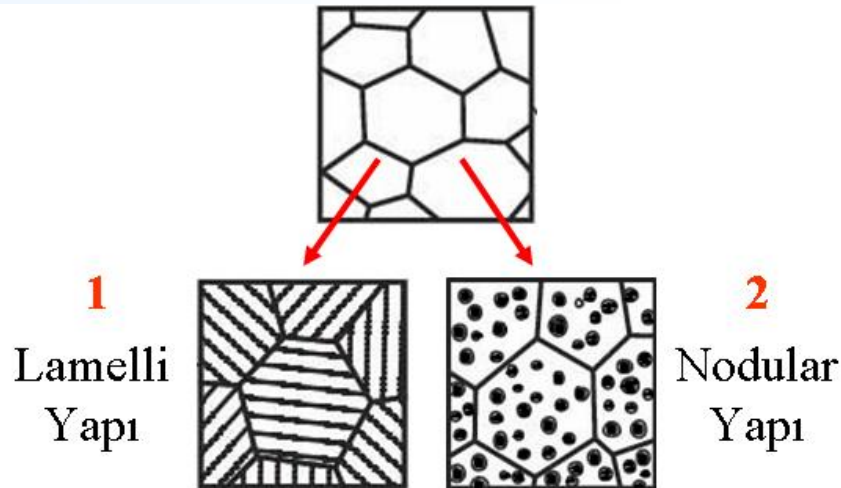
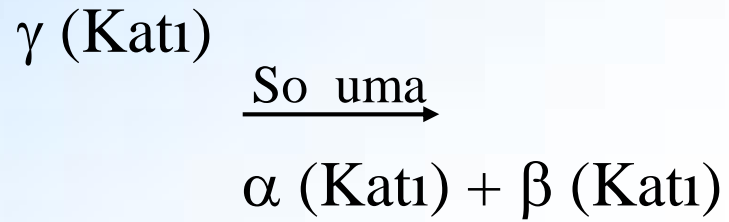
Şekil 6.21 Pt-Ag faz diyagramı

Sıcaklık	Fazlar	Fazların bileşimi (% kütleli)	Bağ çizgisi	Fazların yüzde miktarları
1300°C (a noktası)	α	%8.5 Ag - % 91.5 Pt		$\frac{61 - 42.4}{61 - 8.5} \times 100 = \%35.5$
	SIVI	% 61 Ag - % 39 Pt		$\frac{42.4 - 8.5}{61 - 8.5} \times 100 = \%64.5$
1187°C (b noktası)	α	%10.5Ag - %89.5Pt		$\frac{66.3 - 42.4}{66.3 - 8.5} \times 100 = \%43$
	SIVI	% 66.3Ag-%33.7 Pt		$\frac{42.4 - 10.5}{66.3 - 10.5} \times 100 = \%57$

Ötektoid Reaksiyon

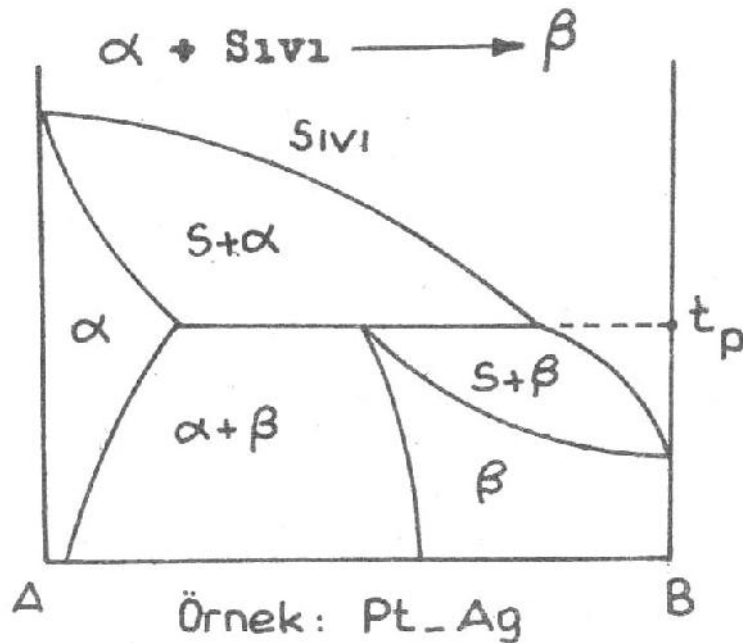
- So uma sırasında bir katı fazdan iki ayrı katı fazın oluşması reaksiyonudur.

Ötektoid reaksiyon:

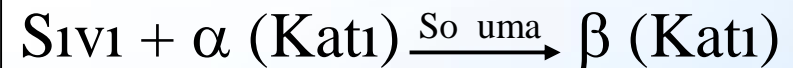


Peritektik ve Peritektoid Reaksiyon

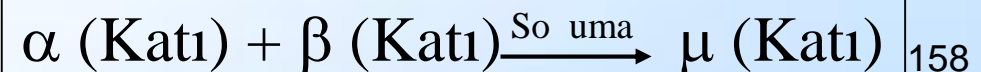
- Kısmi çözünürlük gösteren ala ım sistemlerinde elementlerin ergime sıcaklıklarının çok farklı olması durumunda meydana gelen faz reaksiyonlarıdır.

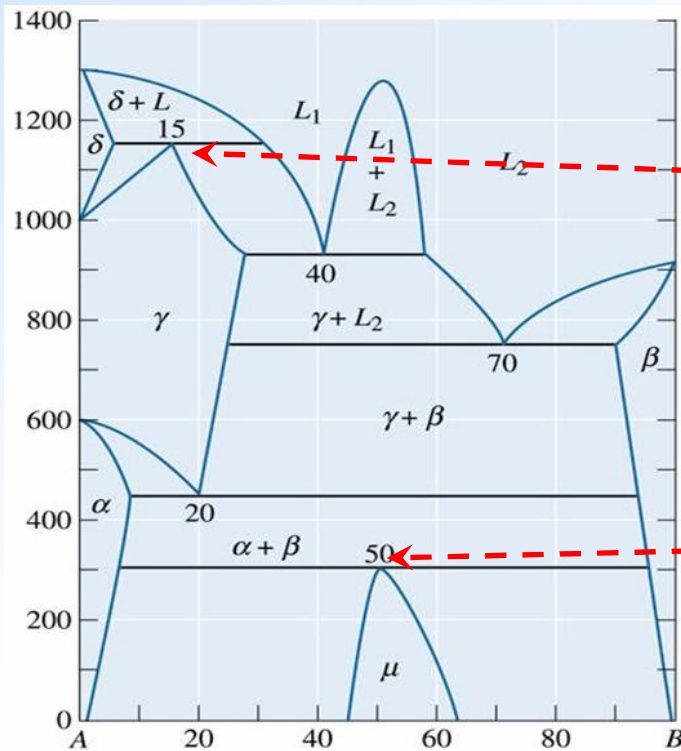


Peritektik reaksiyon:

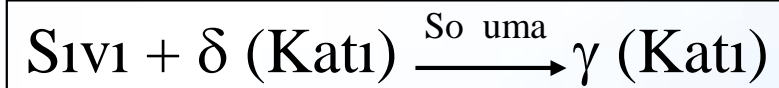


Peritektoid reaksiyon:





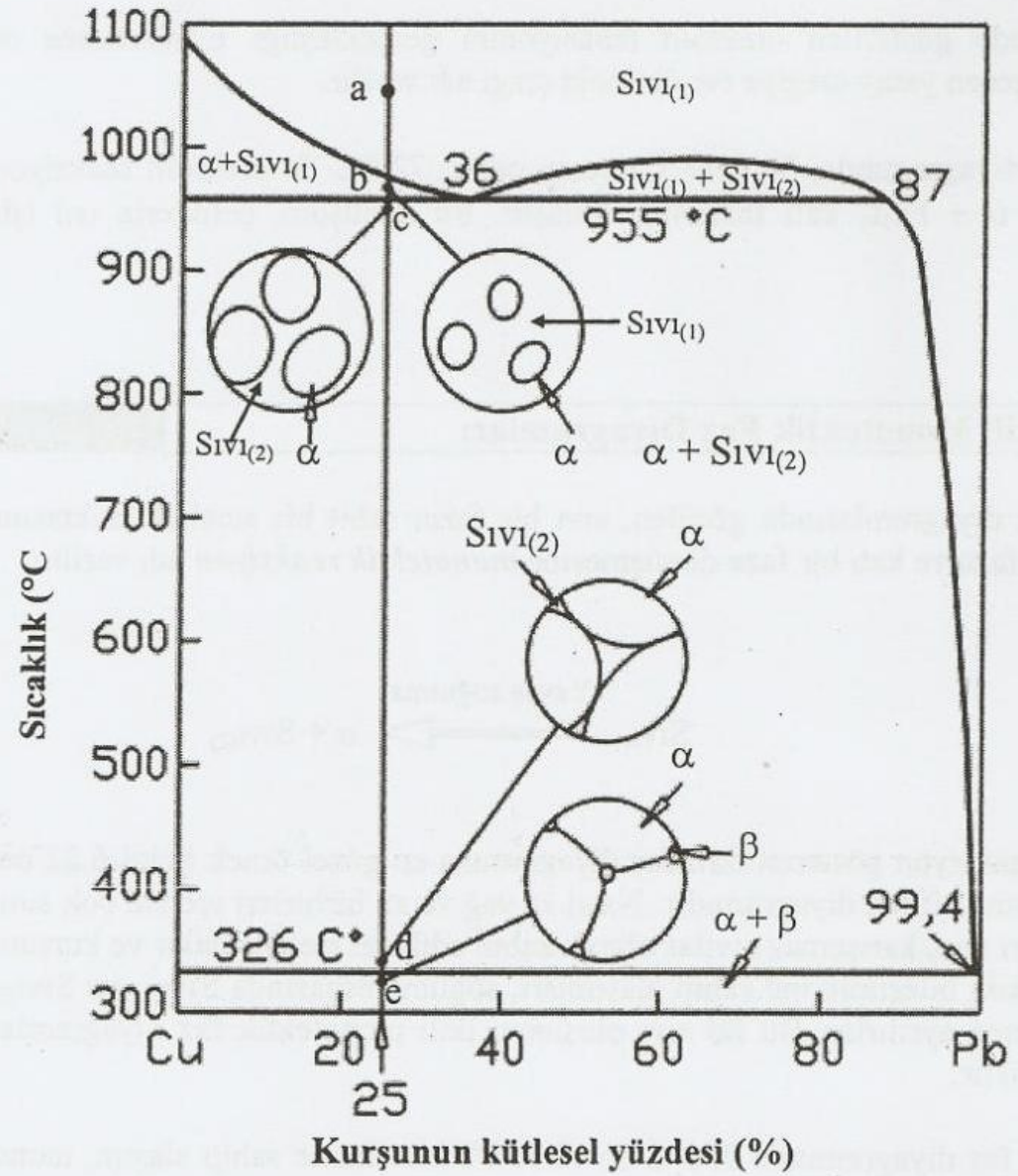
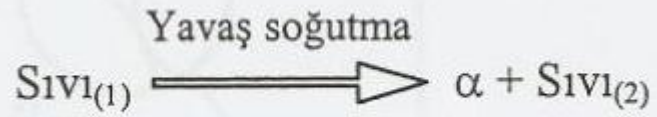
Peritektik reaksiyon:



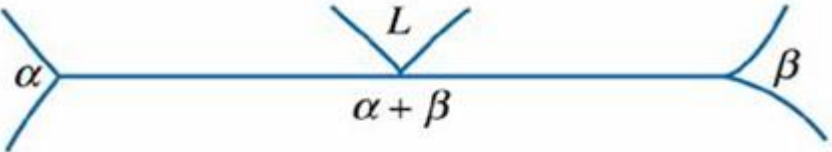
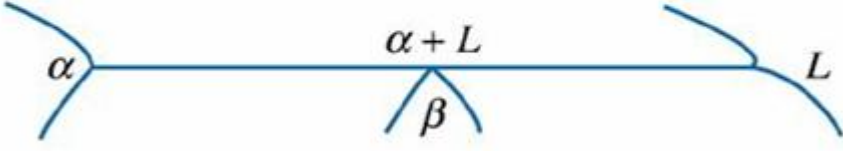
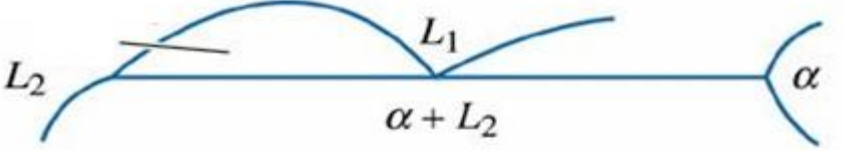
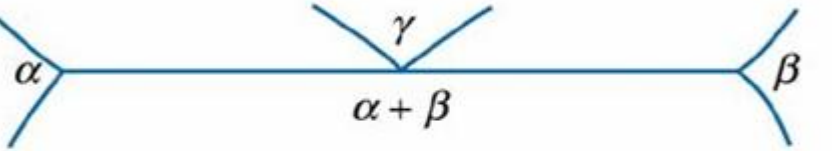
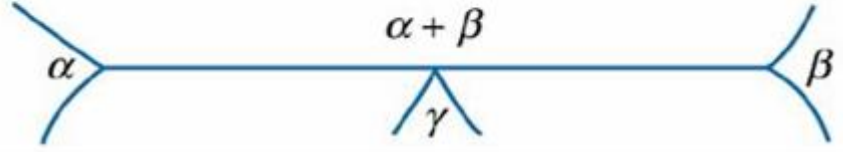
Peritektoid reaksiyon:



Monotektik Dönüm



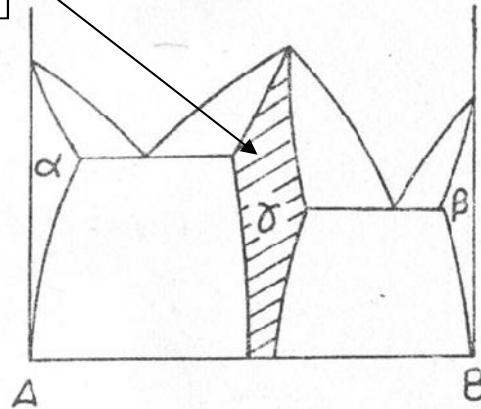
Şekil 6.22 Bakır-kurşun sistemine ait faz diyagramı

<u>Ötektik</u>	$L \rightarrow \alpha + \beta$	
<u>Peritektik</u>	$\alpha + L \rightarrow \beta$	
<u>Monotektik</u>	$L_1 \rightarrow L_2 + \alpha$	
<u>Ötektoid</u>	$\gamma \rightarrow \alpha + \beta$	
<u>Peritektoid</u>	$\alpha + \beta \rightarrow \gamma$	

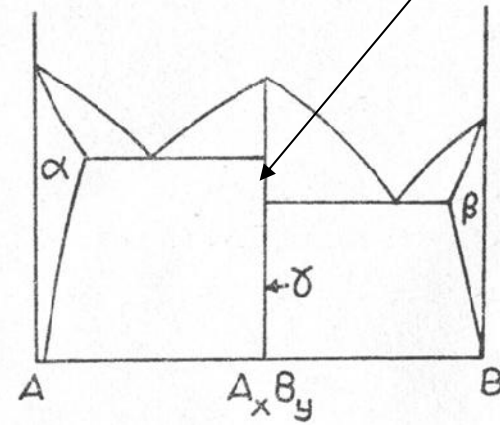
Arafazlar ve Metallerarası bile ikler

- Faz diyagramlarının birden fazla reaksiyon içermeleri durumunda görülür.
- Arafazın tek bir kimyasal bile ik olması durumunda metaller arası fazlar söz konusudur. Metaller arası fazlar çok sert ve gevrek malzemelerdir.

Arafazlar

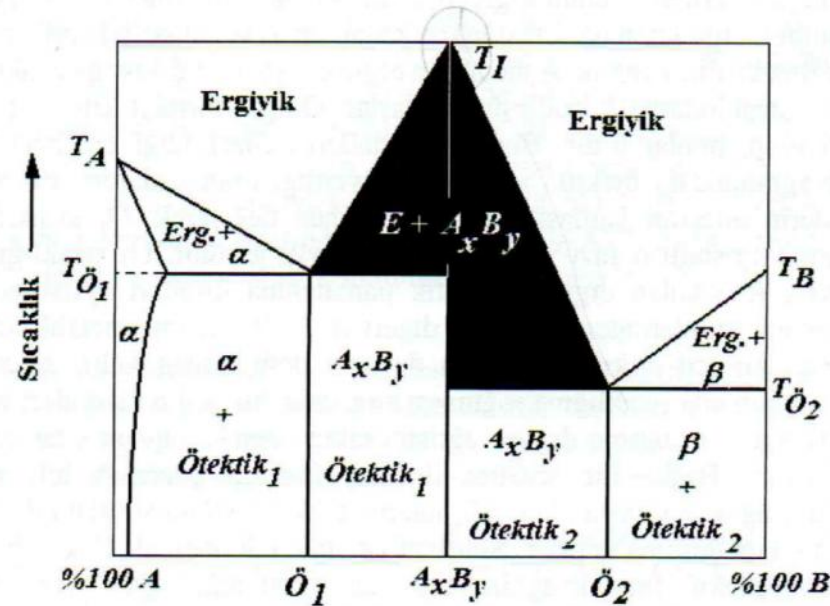


Metallerarası
bile ikler



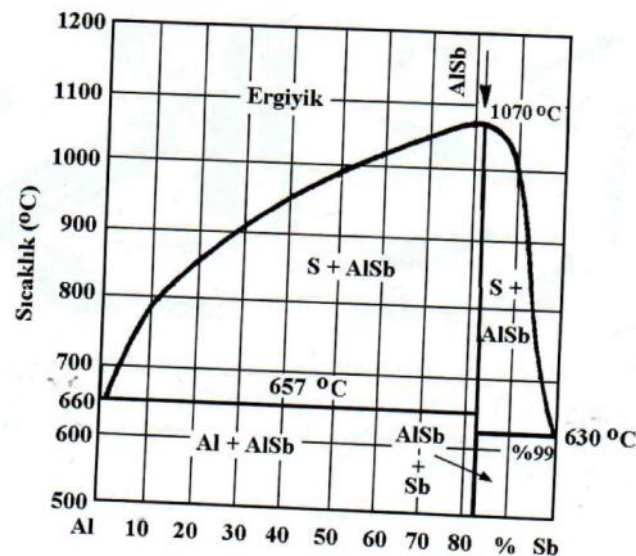
6.7.2. Açık Maksimumlu İntermetalik Bileşikli Alaşımlar

Açık maksimumlu intermetalik bileşikli alaşımlar, aynı zamanda uyumlu ergiyen intermetalik alaşımlar olarak da adlandırılmaktadır. Böylesi faz diyagramlarında iki metal veya bir metal ile bir metal olmayan element arasında ara bileşikler oluşmaktadır.



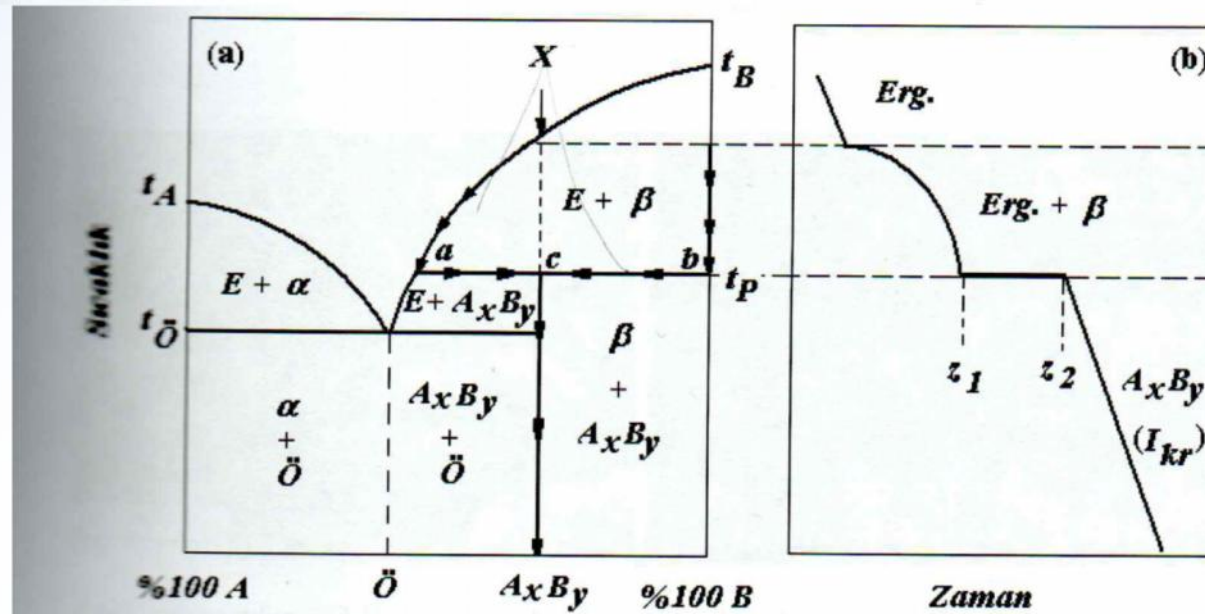
Şekil 6.78. Açık maksimumlu (uyumlu ergiyen) ve an kristalli bir intermetalik faza sahip olan sistemin faz diyagramı.

İntermetalik bileşikli alaşımların özellikleri, alaşımı oluşturan elementlerden ne A 'ya ne de B 'ye benzemektedir; bu nedenle intermetalik faz, bileşim ekseninde üçüncü bir element gibi davranış gösterir. Bu durumda intermetalik bileşik A ile başka ve B ile başka dengeler kurarak, A - B ikilisine ait faz diyagramında yeni bir faz diyagramının ortaya çıkmasına yol açar. A ve B bileşim eksenindeki intermetalik alaşımın adedine göre ötektik adedi oluşmaktadır; n adet intermetalik faz mevcut ise, $n+1$ adet ötektik vardır. Örneğin Şekil 6.78'de verilen A ve B 'ye ait faz diyagramındaki mevcut A_xB_y intermetalik bileşiği ile \bar{O}_1 ve \bar{O}_2 olmak üzere iki ötektik görülmektedir.



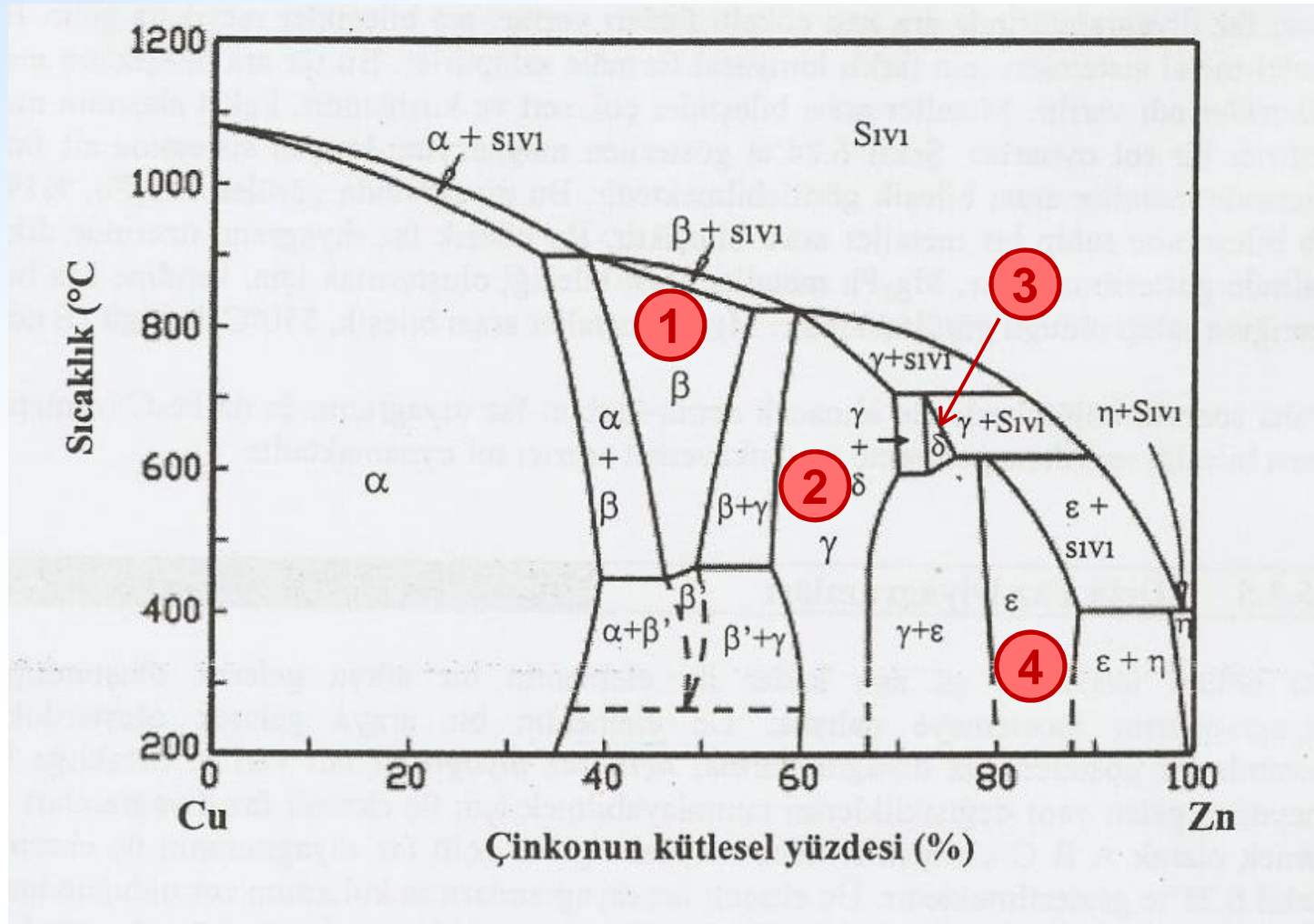
6.7.3. Uyumsuz Ergiyen (Örtülü Maksimumlu) İntermetalik Bileşikli Alaşımlar

Peritektik, ötektik ve intermetalik bileşimler, arı metal karakterinde ergirler. Bunların ergime ve katılaşmalarında hangi nokta alınırsa alınsın, katı ve bu katıyı çevreleyen ergiyiğin bileşimi tamamen denktir; bu duruma *uyumlu ergiyen* denir. Katılaşmanın herhangi bir zaman diliminde katı ve bu katıyı çevreleyen ergiyiğin bileşimi denk değilse, uyumsuz ergiyen olarak tanımlanır.



Şekil 6.87. Örtülü maksimumlu (uyumsuz ergiyen) arı kristalli bir intermetalik alaşım sisteminde faz diyagramı (a) ve I bileşimine ait soğuma eğrisi (b).

Ara katı çökelti fazları, faz diyagramının iç bölgelerinde meydana gelir ve faz diyagramında iki fazlı bölgelerle diğer fazlardan ayrılırlar.



Bazı faz diyagramlarında ara katı çökelti fazları yerine, ara bile ikler meydana gelir.

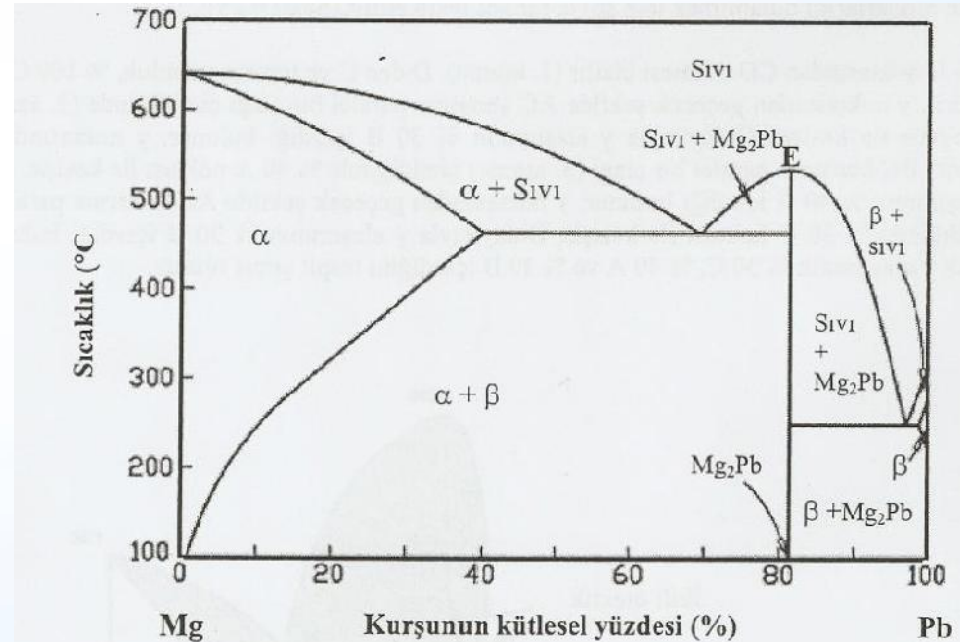
Bu bile ikler metal-metal sistemleri için farklı kimyasal formüle sahiptirler.

Bu tür ara bile iklere “metaller arası bile ikler” adı verilir.

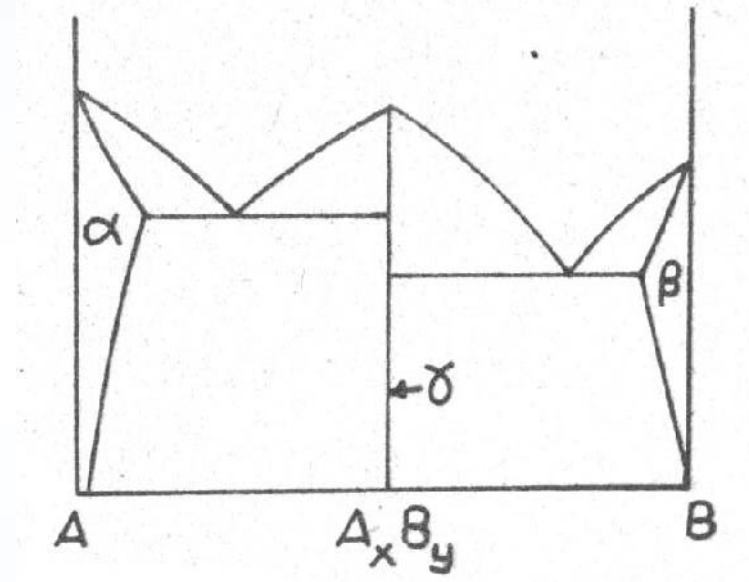
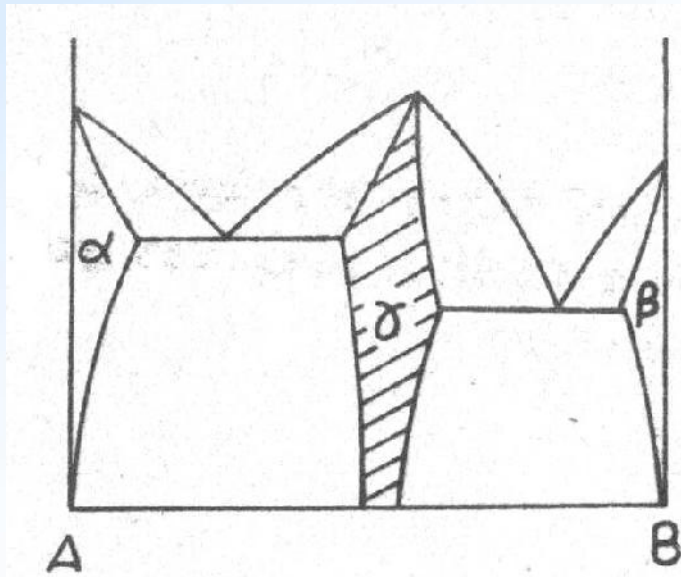
Metaller arası bile ikler çok sert ve kırılgandır.

Fakat ala ımın mukavemetini arttırıcı bir rol oynarlar.

Faz diyagramında tek çizgi ile gösterilirler.

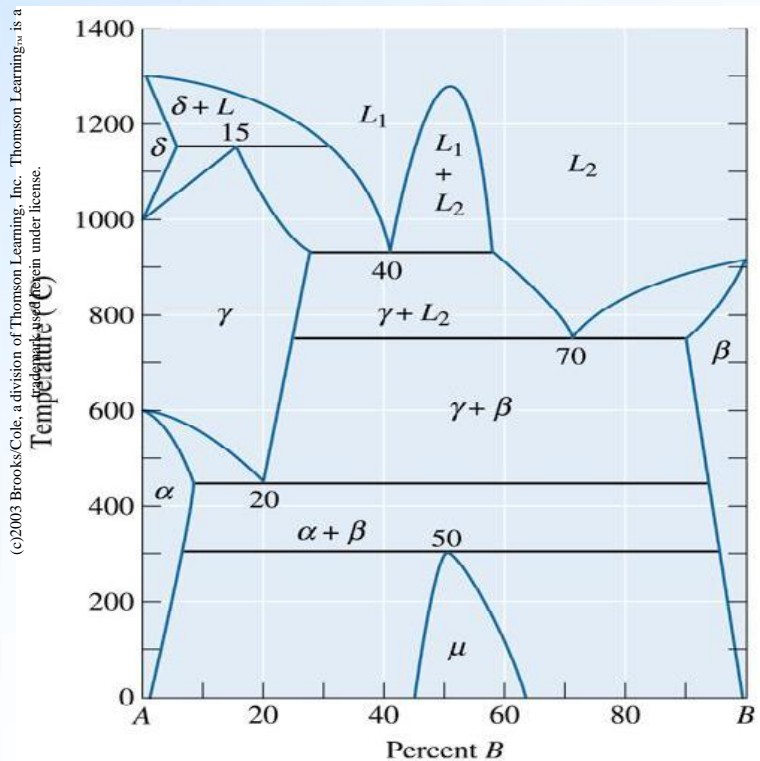


Şekil 6.24 Magnezyum-kurşun (Mg-Pb) sistemine ait faz diyagramı



Örnek

A a ıda verilen faz diyagramında bulunan 3 adet farklı faz reaksiyonlarını tespit ediniz.



1150°C, 920°C, 750°C, 450°C ve 300°C
lerde yatay çizgiler vardır

1150°C: $\delta + L \rightarrow \gamma$, peritektik

920°C: $L_1 \rightarrow \gamma + L_2$ a monotektik

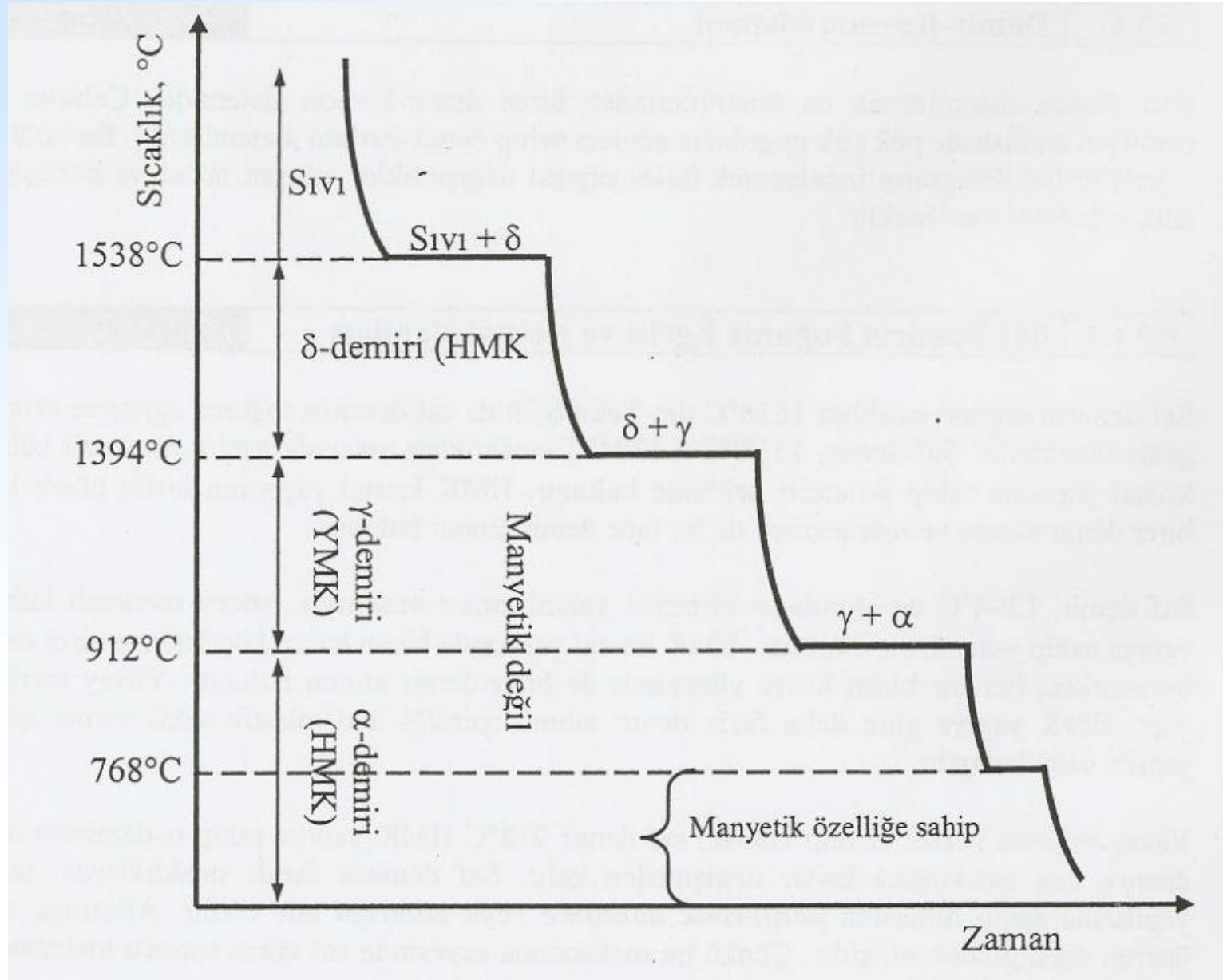
750°C: $L \rightarrow \alpha + \beta$, a ötektik

450°C: $\alpha + \beta \rightarrow \mu$, a ötektoid

300°C: $\alpha + \mu \rightarrow \beta$ or a peritektoid

DEMİR- KARBON SİSTEMLİ

Saf demirin soğuma eğrisi ve oluşan kristal yapıları

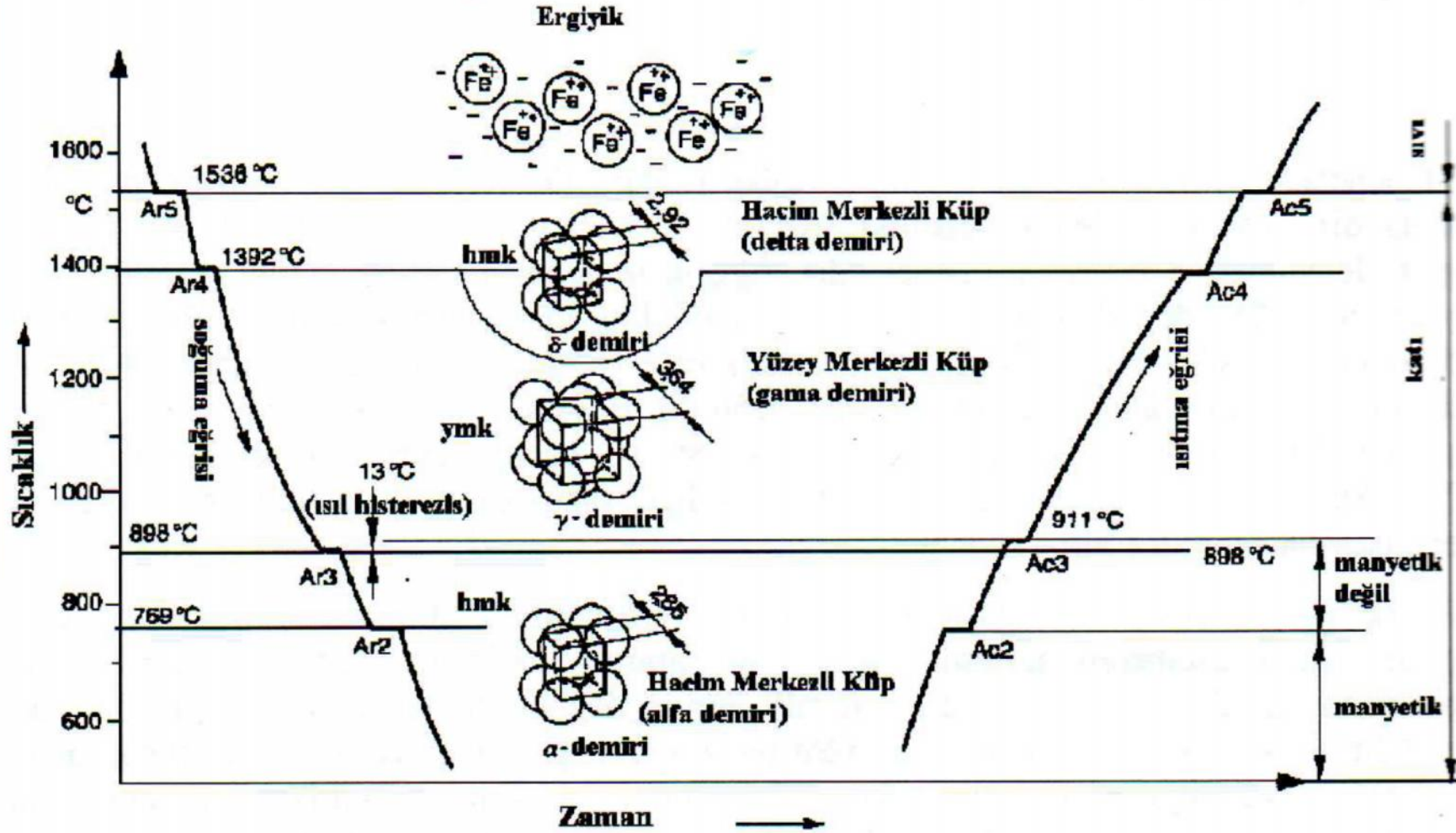


7.1. Çelikler

Mühendislik alaşımları içinde önemli bir sahaya sahip olan çelik için demir, en önemli çıkış metalidir. Teknik arı demir, genellikle %0,001-0,01 aralığında C, Mn, Cu, Ni, Si, P ve S gibi elementleri her zaman içermektedir. Alaşımsız demirin sertliği oldukça düşük olup, yaklaşık 60 HB değerindedir. Buna bağlı olarak akma sınırı ve çekme dayanımı değerleri de oldukça düşük olup, sırası ile $R_e=100$ MPa ve $R_m=200$ MPa'dır. Buna karşın teknik arı demirin % uzama değeri yüksek olup, $\epsilon = \%50$ 'dir. Böylesi sünek bir özelliğe sahip olması sonucunda demirin % kesit daralması $A=\%80$ ve çentik darbe direnci ise $CD=250$ J/cm²'dir. Arı demirin yüksek manyetik özelliğe sahip olması, özellikle elektroteknik endüstrisinde tercih edilme nedenidir.

Arı demir *allotropik* özellik taşıdığından, farklı sıcaklıklarda farklı kafes yapıları ile ortaya çıkar. Bir malzemenin atomsal yapısı, atomlararası etkileşimin cinsi ve kuvveti ile belirlenir. Sıcaklık, basınç ve derişim gibi durum değişkenlerinin belli değişimi ile katı metalin *uzak düzen* yapısından, *ergiyiğin yakın düzen* yapısına geçişe benzer bir şekilde, basınç ve sıcaklığın değişimi ile kristal yapının farklı simetri özellikleri ve atom ara mesafeli kafese dönüşümü mümkündür (*allotropik-polimorfik özellik*). Bir katı fazın başka bir katı faza dönüşümü genelde fazlararası ara yüzeyde veya yakınındaki yayınma ile gerçekleşmektedir.

Arı demirin allotropik dönüşümü ısıtma ve soğutma şartlarında Şekil 7.1'de verilmiştir. Demir, katı durumdayken farklı sıcaklıklarda üç değişik faz içermektedir; alfa (α)- demir, gamma (γ)-demir ve delta (δ)-demir. Alfa ve delta demirleri hacim merkezli küp (*hmk*) kafeslerine sahiplerken, gamma demiri yüzey merkezli küp (*ymk*) kafesine sahiptir. Katı durumdaki faz sınırları, sıvı-katı faz sınırı ile aynı özelliklere sahiptir.



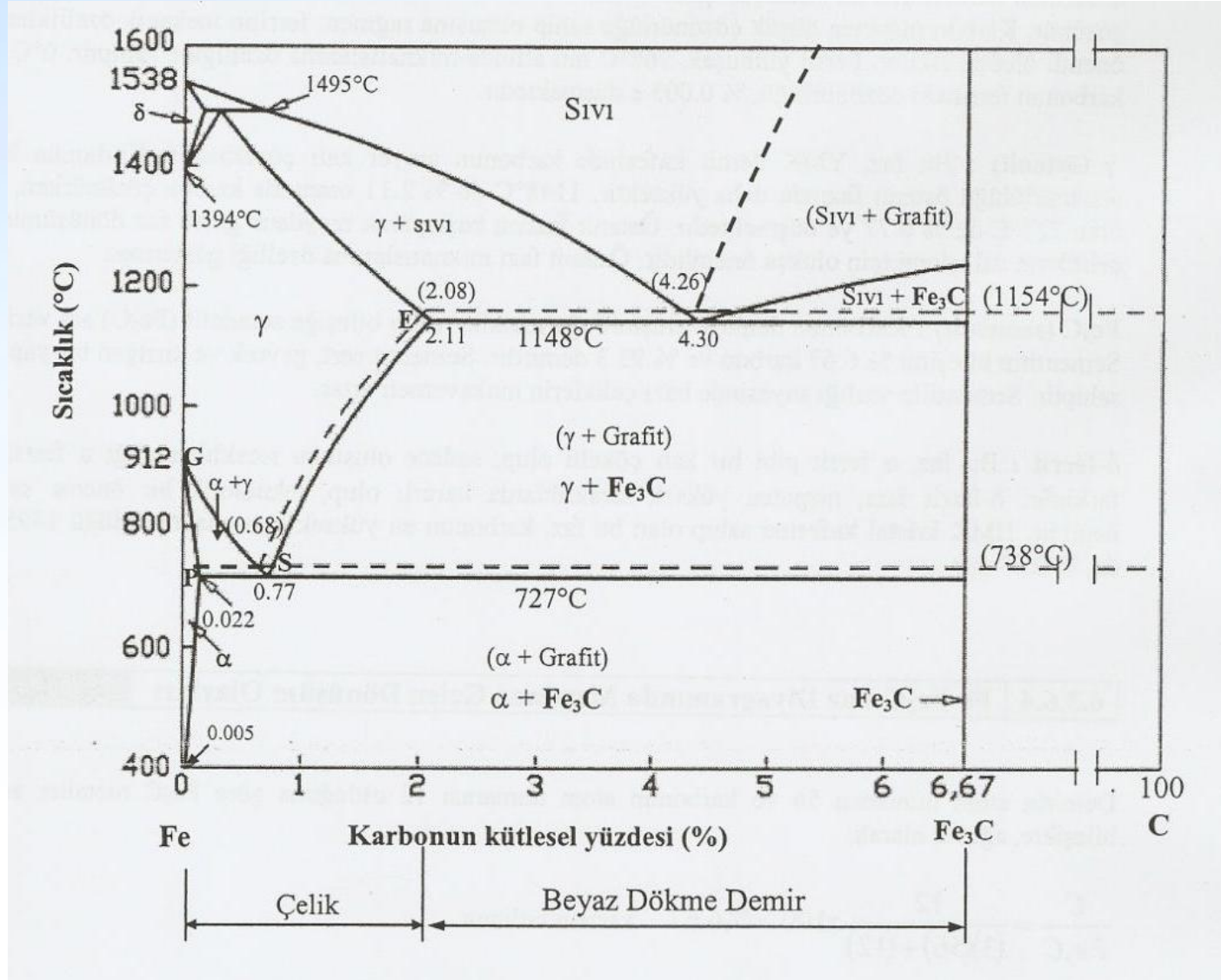
Şekil 7.1. Isıtma ve soğutma eğrileri ile arı demirin allotropik dönüşümü (Erhardt, M., Heine, A., Prommersberger, H., *Laser in der Materialbearbeitung: Grundlagen des Lasers-Laseranlagen- Lasermaterialbearbeitung-Sicherheitsvorschriften und Arbeitsschutz*, Vogel Buchverlag, ISBN 3-8023-0480-2, 1993).

Demirin en önemli alaşım elementi karbondur. % 2,06 C içeriğe kadar olan demir esaslı alaşımlar çelik olarak adlandırılmaktadır. %0,35 C miktarına kadar çelikler sertleştirilemezlerken, bu değerin üzerinde karbon içeren çelikler sertleştirilebilmektedirler.

%2,06'dan daha fazla karbon içeren demir esaslı alaşımlar gevrek davranış gösterdiklerinden normalde şekillendirilememektedirler; bu nedenle döküm şeklinde kullanılırlar (*dökme demir*).

Karbon, demir içinde ya elementel karbon (grafit) ya da demir ile kimyasal bileşik yapmış Fe_3C (*demirkarbür-ementit*) olarak iki şekilde bulunmaktadır. Bu nedenle demir-karbon alaşımlarında kristalizasyon ilişkileri, birbirlerinden farkı çok az olan iki faz diyagramı ile gösterilmektedir; demir karbür ($\text{Fe-Fe}_3\text{C}$) ve demir-grafit sistemi (Fe-C). $\text{Fe-Fe}_3\text{C}$ yarı kararlı (metastabil) ve Fe-C ise kararlı (stabil) sistem oluşturmaktadır. $\text{Fe-Fe}_3\text{C}$ için Şekil 7.2'de verilen faz diyagramında sol taraf %100 Fe, sağ taraf ise %100 Fe_3C (%6,67C) sınırını oluşturmaktadır (%6,67'den fazla C içeren alaşımlar teknik açıdan önem taşımamaktadır). Sementitin rombik birim kafesinde ($a=4,517$ nm, $b=5,079$ nm, $c=6,73$ nm) dört molekül Fe_3C , yani 12 demir ve dört karbon atomu bulunmaktadır. Yapısı oldukça sert (800 HV) ve yoğunluğu demirden düşüktür ($7,4$ g/cm³). Oda sıcaklığında manyetik ve 215 °C'nin üzerinde ise manyetik değildir. Daha yüksek sıcaklıklarda Fe_3C , Fe ve C'ye ayrıştığı için, gerçek ergime noktası tam olarak bilinmemektedir.

Fe-Fe₃C faz diyagramı



Fe-Fe₃C faz diyagramında oluşan fazlar

Fe-Fe₃C faz diyagramında karşılaşılan dört farklı katı faz vardır: (1) α (ferrit) (2) γ (stenit) (3) Fe₃C (sementit) ve (4) δ -ferrit.

α (ferrit) : Bu faz hacim merkezli kübik demir kristal kafesinde, karbonun arayer katı zltisidir. α fazında karbon çok az miktarda çözünmektedir. 727°C'de maksimum % 0.022 oranında karbon znr. Karbon nispeten düşük çözünürlüğe sahip olmasına rağmen, ferritin mekanik özelliklerini önemli ölçüde etkiler. Ferrit yumuşak, 768°C nin altında mıknatıslanma özelliğine sahiptir. 0°C de karbonun ferritteki çözünürlüğü, % 0.005 e düşmektedir.

γ (stenit) : Bu faz, YMK demir kafesinde karbonun arayer katı zltisidir. Karbonun katı çözünürlülüğü östenit fazında daha yüksektir. 1148°C de % 2.11 oranında karbon çözünürken, bu oran 727°C de % 0.77 ye düşmektedir. Östenit fazdan başlayarak meydana gelen faz dönüşümleri, çeliklerin ısıı işlemi için oluka önemlidir. Östenit fazı mıknatıslanma özelliği göstermez.

Fe₃C (sementit) : Karbonun demirle oluşturduğu metaller arası bileşiğe sementit (Fe₃C) adı verilir. Sementitin bileşimi % 6.67 karbon ve % 93.3 demirdir. Sementit sert, gevrek ve kırılgan bir yapıya sahiptir. Sementitin varlığı sayesinde bazı çeliklerin mukavemeti artar.

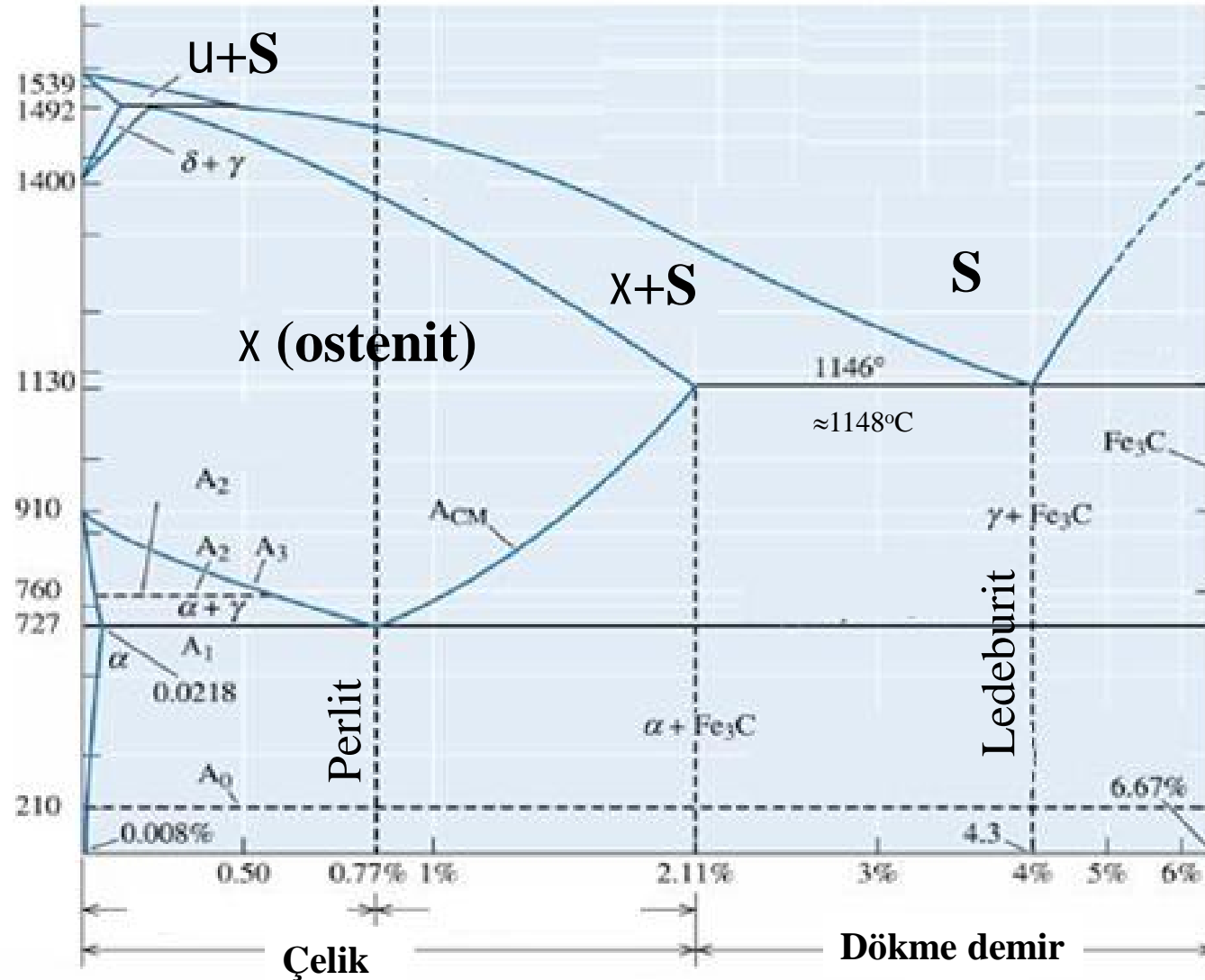
δ-ferrit : Bu faz, α ferrit gibi bir katı çökelti olup, sadece oluştuğu sıcaklık aralığı α ferritten farklıdır. δ-ferrit fazı, nispeten yüksek sıcaklıklarda kararlı olup, teknolojik bir öneme sahip değildir. HMK kristal kafesine sahip olan bu faz, karbonun en yüksek katı çözünürlüğü 1495°C de, % 0.09 dur.

Demir Sementit Faz diyagramı

- **Sementit**; demir karbon faz diyagramında metallerarası bir bile iktir.
- Pratikte Fe-C diagramında **sementite kadar olan bölge önemlidir.**
- Sementit; **% 6.67 C** konsantrasyonuna sahiptir. Atom a rılıkları dikkate alındı ında; Fe:56, C:12.

$$\%C(\text{sementit}) = \frac{C}{3xFe + C} = \frac{12}{3x55 + 12} = 6.67$$

Demir Sementit Faz diyagramı



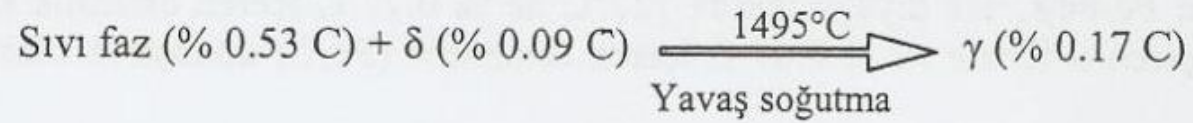
Sementit : Fe_3C
Ferrit : α
Perlit : $\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$
Ostenit: γ
Delta demir: δ
Ledeburit.

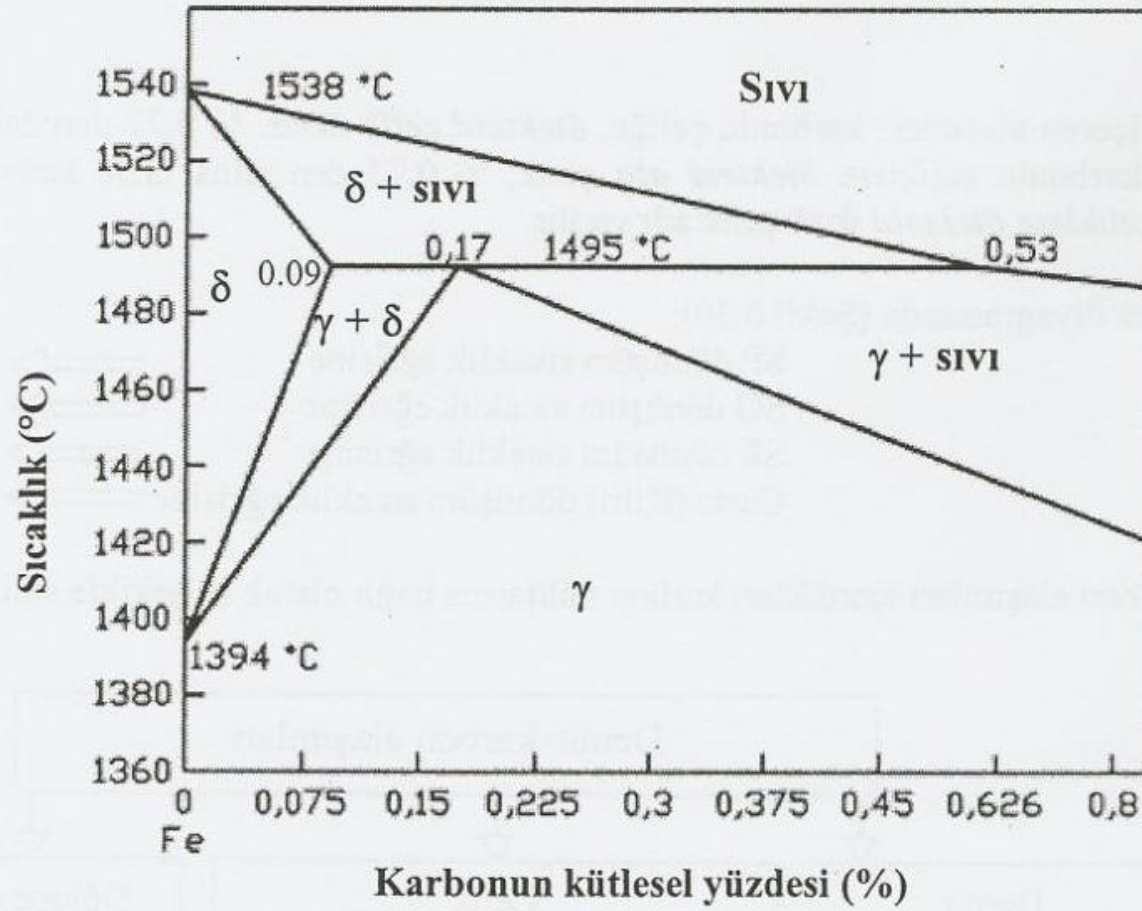
T ötektik

T ötektoid

%C: a ırlık olarak

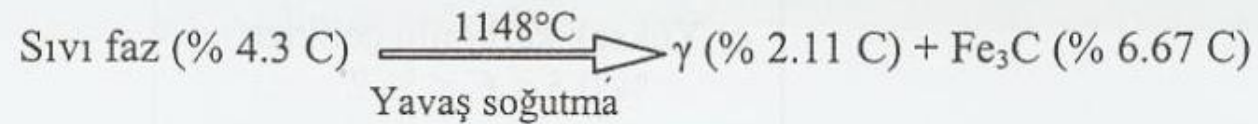
(a) Peritektik reaksiyon: Şekil 6.31'deki Fe-Fe₃C faz diyagramında görüldüğü gibi, 1495°C de % 0.53 C içeren sıvı çelik, % 0.09 C içeren δ-ferritle birleşerek peritektik reaksiyon sonucu % 0.17 C içeren östenit (γ) fazına dönüşür:





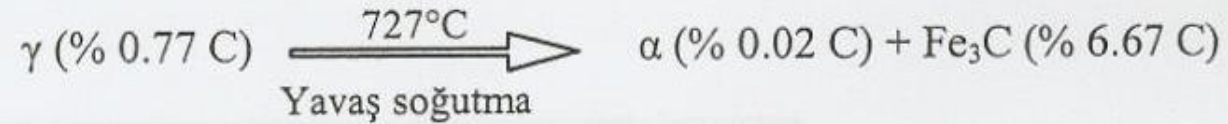
Şekil 6.31 Fe-Fe₃C faz diyagramının peritektik reaksiyonun meydana geldiği bölümü

(b) Ötektik reaksiyon: Fe-Fe₃C faz diyagramında 1148°C de % 4.3 C içeren sıvı dökme demir, % 2.11 C içeren östenit (γ) ve % 6.67 C içeren sementite (Fe₃C) dönüşerek ötektik bir reaksiyon gerçekleşir:



Fe-Fe₃C faz diyagramında % 2.11 C - % 4.30 C arasında kalan bölgeye ötektik altı bölge, % 4.3 C - % 6.67 C arasında kalan bölgeye de ötektik üstü bölge adı verilir.

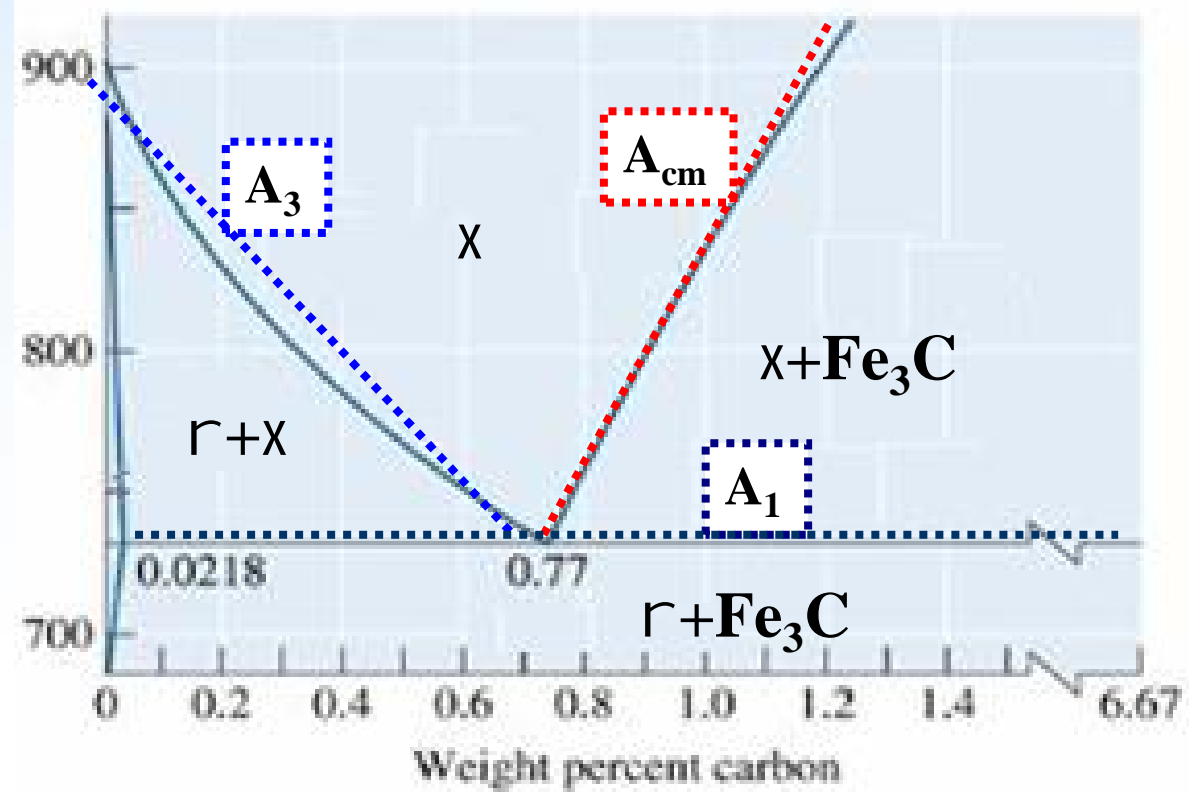
(c) **Ötektoid reaksiyon:** Fe-Fe₃C faz diyagramında 727°C de % 0.77 C içeren östenitik katı faza sahip çelik, % 0.02 C içeren α-ferrite ve % 6.67 C içeren sementite (Fe₃C) dönüşerek ötektoid bir reaksiyon gerçekleşir:



% 0.77 C içeren alaşımsız karbonlu çeliğe, **ötektoid çelik** denir. % 0.77 den daha az karbon içeren alaşımsız karbonlu çeliklere **ötektoid altı** çelik, % 0.77 den daha fazla karbon içeren alaşımsız karbonlu çeliklere **ötektoid üstü** çelik adı verilir.

Çelik için önemli sıcaklıklar

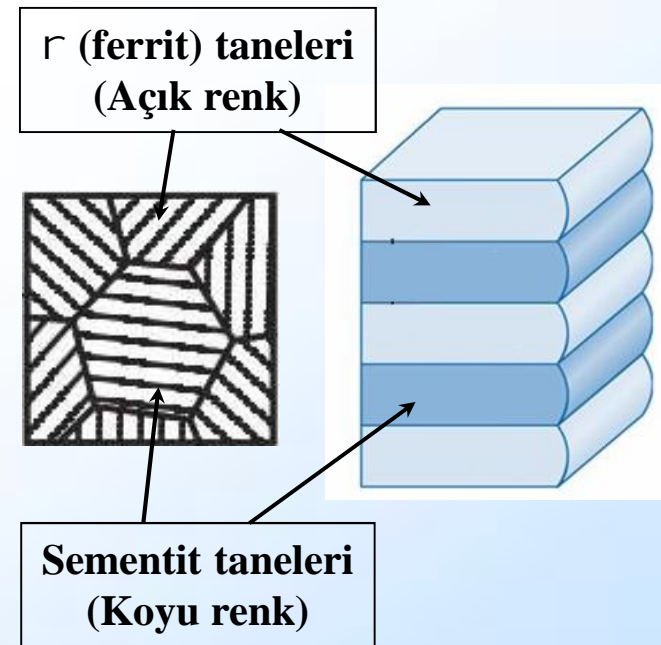
- ❑ A_1 sıcaklığı: Ötektoid reaksiyon sıcaklığı
- ❑ A_2 sıcaklığı: Curie sıcaklığı (769°C). Bu sıcaklıkta manyetiklik kaybolur.
- ❑ A_3 sıcaklığı: Ötektoid altı çeliklerde tam östenitten ferritin oluştuğu sıcaklık
(C oranına bağlı olarak değişir)
- ❑ A_{cm} sıcaklığı: Ötektoid üstü çeliklerde tam östenitten sementitin oluştuğu sıcaklık
(C oranına bağlı olarak değişir)

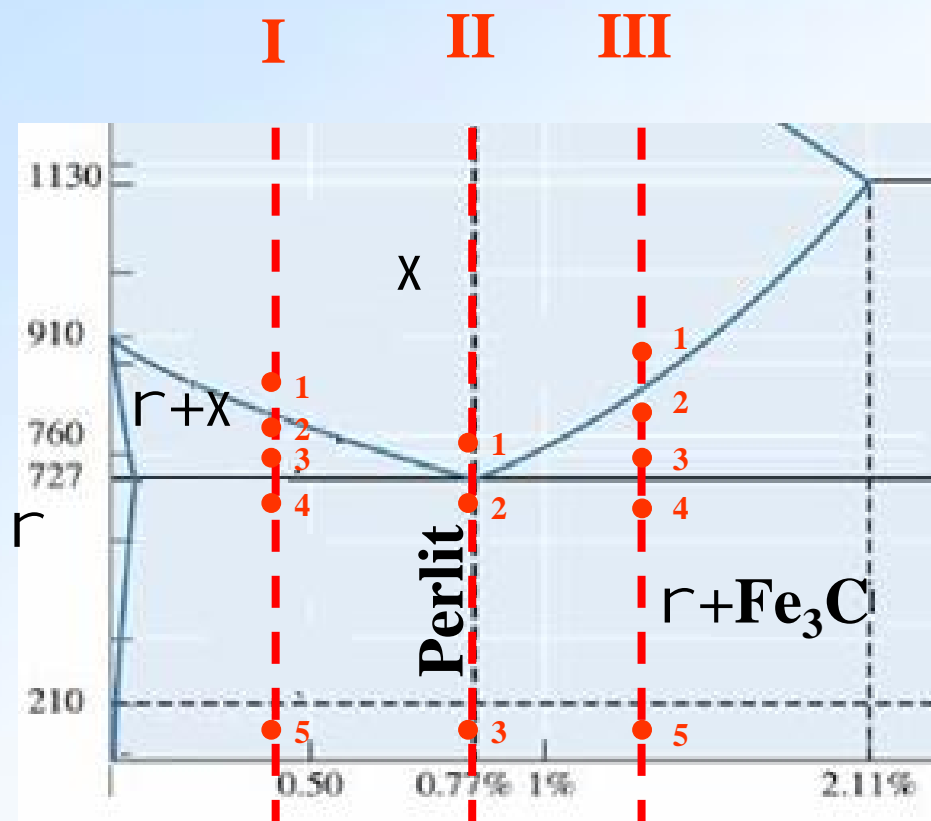


Çelik

- Çelik; %2 ye kadar C içeren demir alaımına verilen isimdir.
- Ötektoit çelik; % 0.8 C içeren çeli e ötektoit çelik adı verilir.
- Bu kompozisyonun altındaki çeliklere ötektoit altı çelikler (C oranı < % 0.8 %), bu bile imden daha fazla C içeren çeliklere ötektoid üstü çelikler (C oranı > % 0.8) adı verilir.
- C oranının %2 yi geçmesi durumunda malzeme artık çelik olarak de il, dökme demir (cast iron) olarak adlandırılır.

- **Perlit**: Ötektoit reaksiyon sonrası α -Fe ve Fe_3C tarafından olu turulan özel yapıya verilen isimdir.
- C miktarı % 0.8 iken (ötektoit çelik) %100 perlitik yapı elde edilir.
- C miktarı sıfıra do ru azaldıkça, perlit azalır, ferrit (α -Fe) artar.
- C miktarı %0.8 in üzerinde arttıkça, perlit miktarı azalır, sementit miktarı artar.





÷
Otektoit
Bile im

Perlit

X

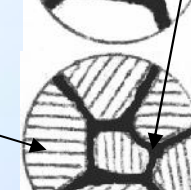
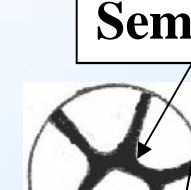
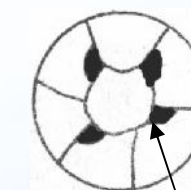
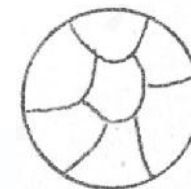
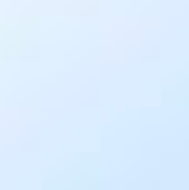
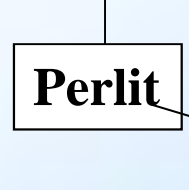
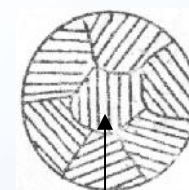
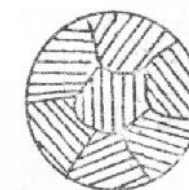
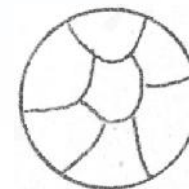
r

I

II

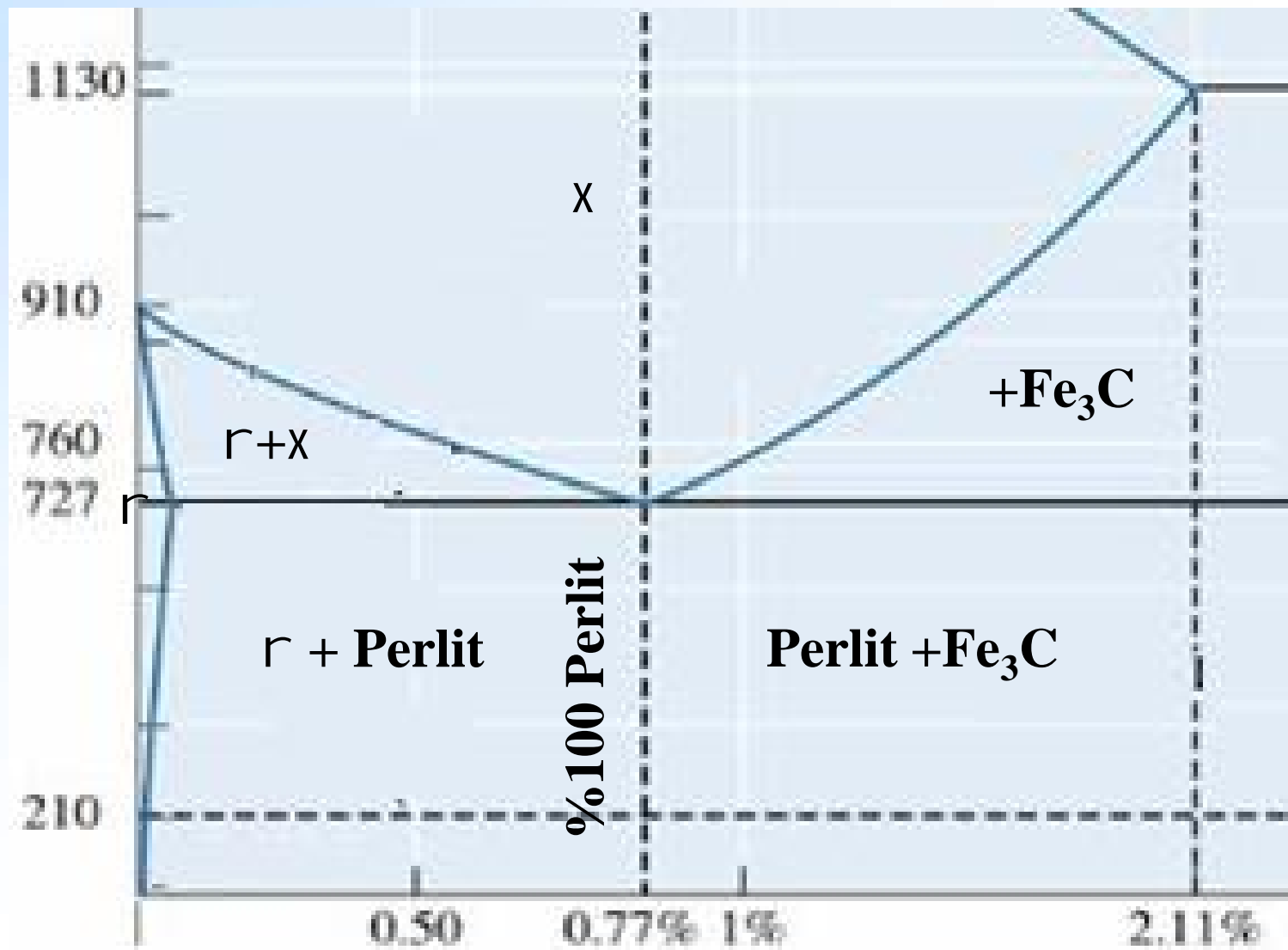
III

X



Sementit

Perlit



÷
Otektoit Bile im

Dökme Demir

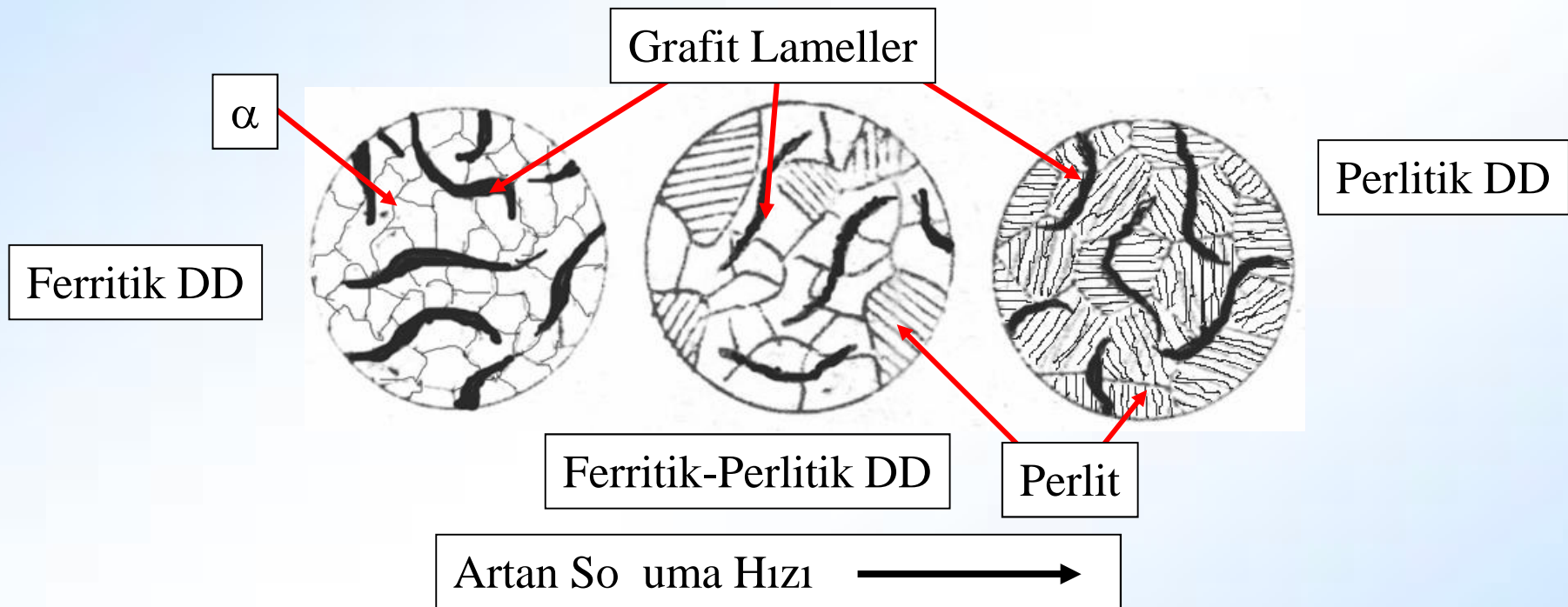
- C içeriği %2 den daha fazla olan Demir-karbon alaşımıdır.
- Artan karbon oranı yapıyı kırılgan hale getirir.
- Sıvı fazdan katılaşması sırasında soğuma hızlarına bağlı olarak farklı iç yapılara sahip olabilir.
 - Hızlı soğuma: **Beyaz dökme demir.**
 - Yavaş soğuma: **Gri dökme demir** (ferritik, ferritik/perlitik, perlitik).
 - **Temper dökme demir:** BDD'in tavlanması ile.
 - **Küresel dökme demir:** Mg, Ce gibi grafiti küreselleştiren alaşım elementleri katılması ile.

Beyaz Dökme Demir

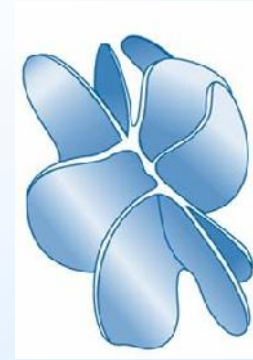
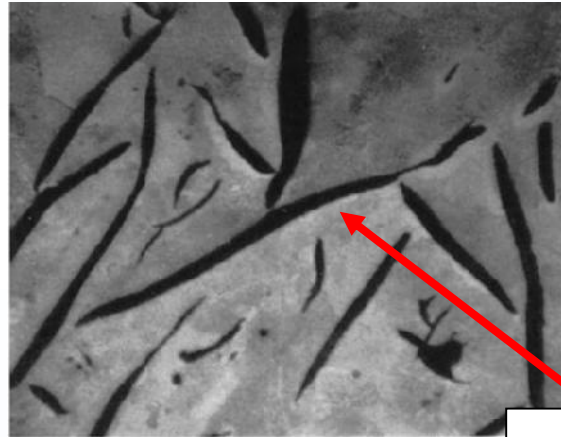
- Katılma (sıvı fazdan katıya dönüşüm) sırasında soğuma hızı yüksek tutulursa Beyaz Dökme Demir elde edilir.
- Bu yapıda sementit baskındır dolayısıyla **sert** ve **gevrek** tir.

Gri dökme demir

- Sıvı fazdan çok yavaş soğuma ile **karbon** difüzyonla bir araya toplanarak **lamelli bir yapı oluşur**.
 1. **Ferritik gri dökme demir** : Çok yavaş soğuma hızı:
 2. **Ferritik-perlitik gri dökme demir** : Biraz daha hızlı olması durumunda.
 3. **Perlitik gri dökme demir**: Daha hızlı olması durumunda oluşur.
- Tüm durumlarda **süneklik çok kötüdür**.
- Lamelli yapıda keskin uçların oluştuğu **çentik etkisi** nedeniyle mekanik özellikler çok kötüdür.



- **Grafitin dayanımı** Demirin yanında **ihmal edilebilecek kadar küçüktür.**
- Dolayısıyla **grafit bölgeler boşluk gibi davranır.**
- Bir de **keskin köşelerin oluturduğu çentik etkisi** ilave olunca yapı çok gevrek-kırılgan davranır.
- Dolayısıyla gri DD ler genelde **basıya karşı zorlanan parçalarda kullanılır.** Çekme zorlanmaları olan yerlerde kullanılmaz.



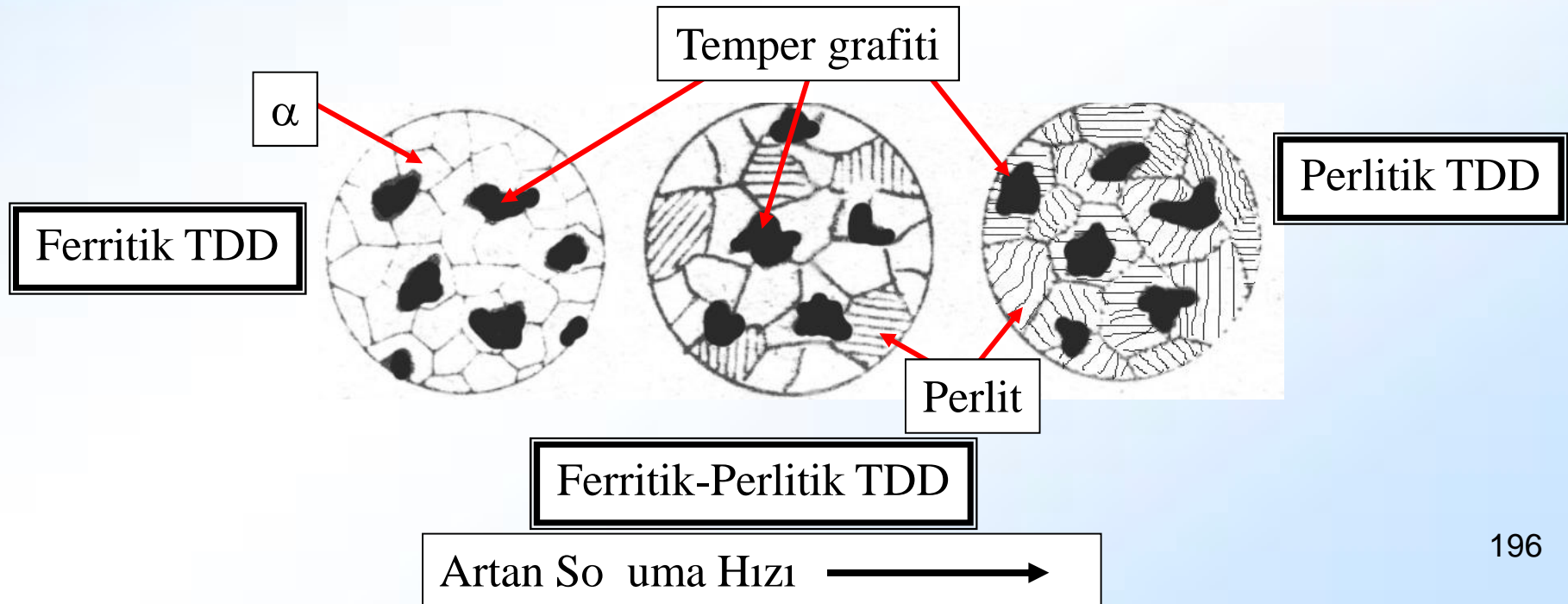
Lameller

Temper ve Küresel grafitli Dökme Demir

- Lamellerin mekanik özelliklere olumsuz etkisini ortadan kaldırmak amacıyla grafitlerdeki keskin kenarlar ortadan kaldırmak amacıyla bazı işlemlere tabi tutulur.

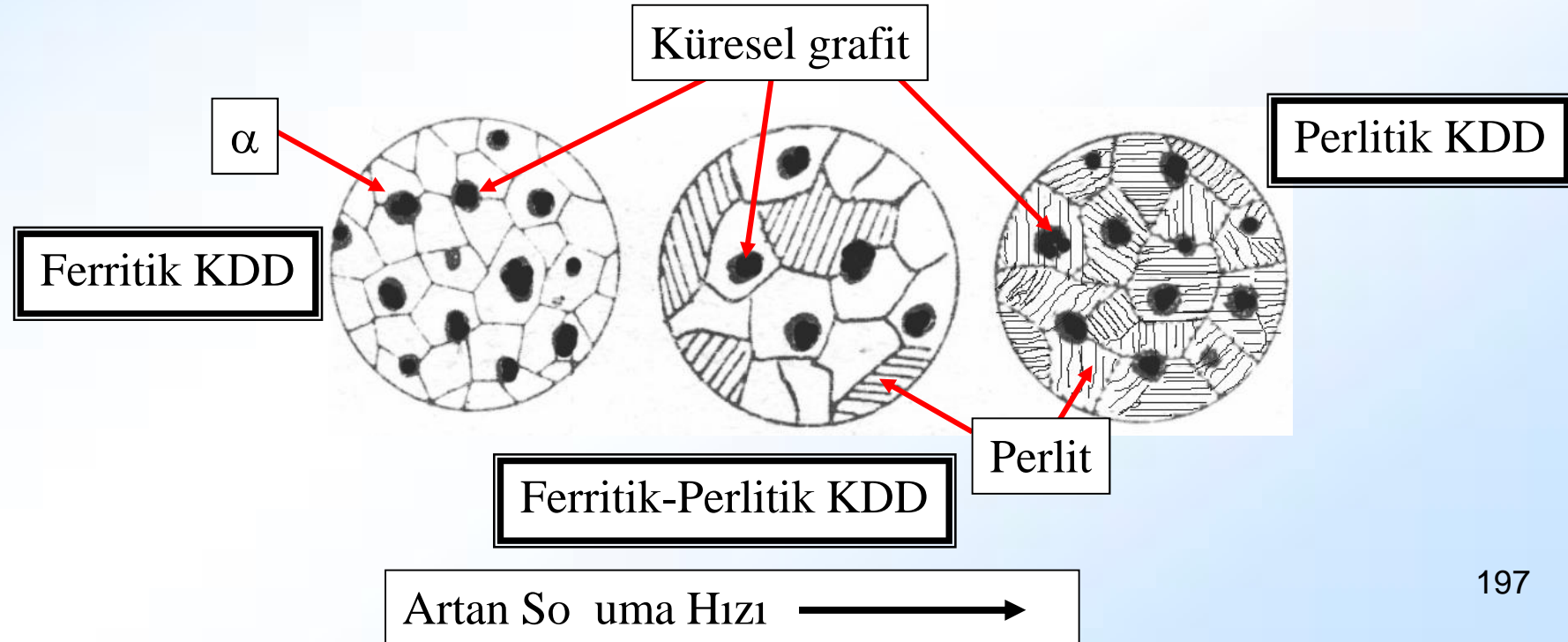
Temper Dökme Demir (TDD)

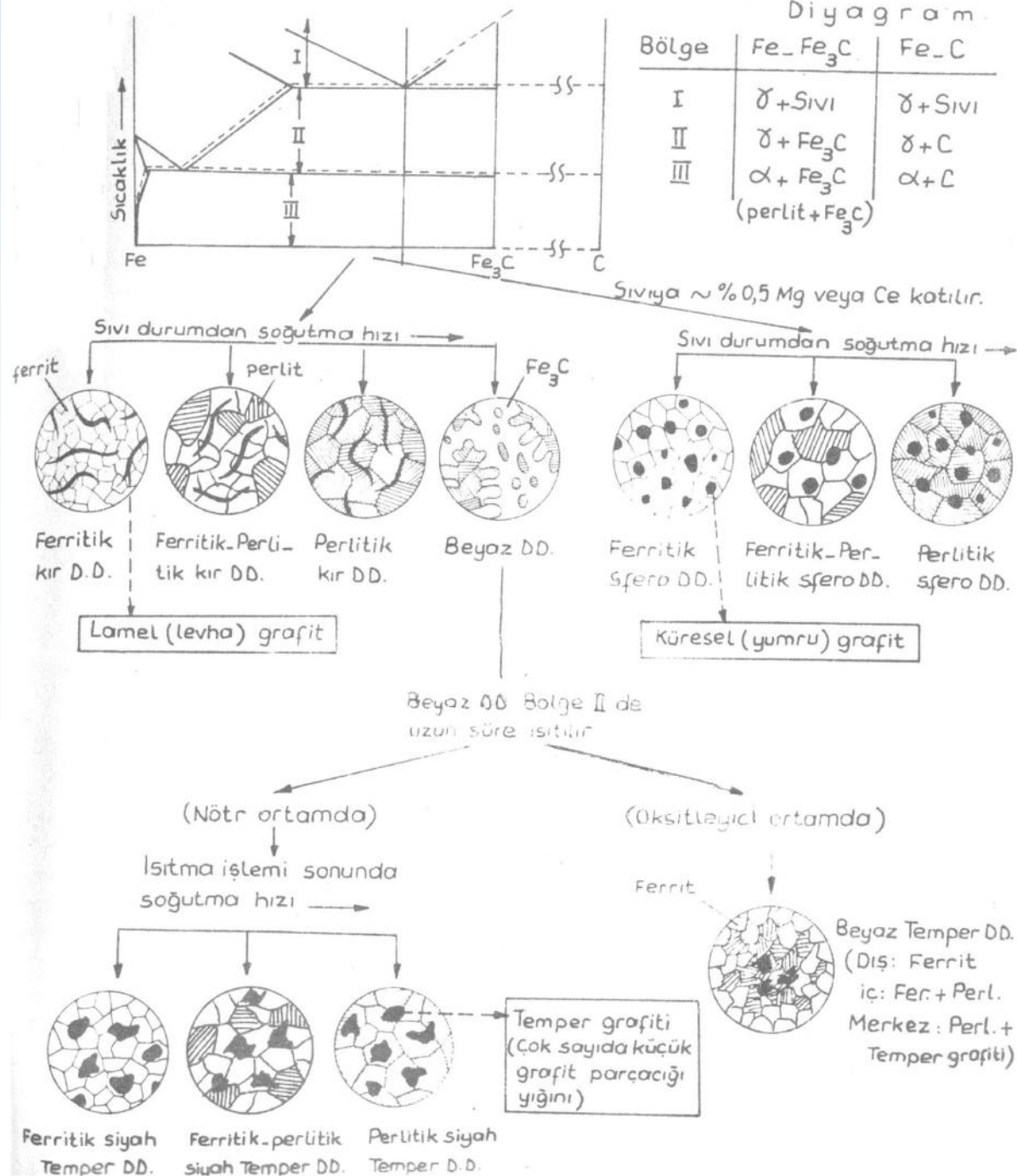
- **Temper DD**: Hızlı soğuma ile elde edilen **Beyaz dökme demir** yaklaık **950°C** de **uzun süre (48 saat) tavlınır** ve sementit yapı içerisindeki kararsız karbon bir araya toplanarak **temper grafiti** denilen toprak halinde yapılar meydana getirir. Bu yapıda **süneklik % 10** a kadar artabilir.
- Soğuma hızına göre **Ferritik TDD**, **Ferritik-perlitik TDD** ve **Perlitik TDD** ekinde 3 farklı TDD elde edilebilir.



Küresel Dökme Demir (KDD)

- Eriyik DD içersine **Mg ve Sb gibi** grafitleri küreselle tiren **ala ım elementleri katılır.**
- Bu ekilde olu an grafitler küresel ekillidir ve süneklik %20 lere kadar artar.
- So uma hızına göre **Ferritik KDD**, **Ferritik-perlitik KDD** ve **Perlitik KDD** ekinde 3 farklı KDD elde edilebilir.





Çeliklerde ısıtma işlemleri

7. ÇELİKLERE UYGULANAN ISIL İŞLEMLER

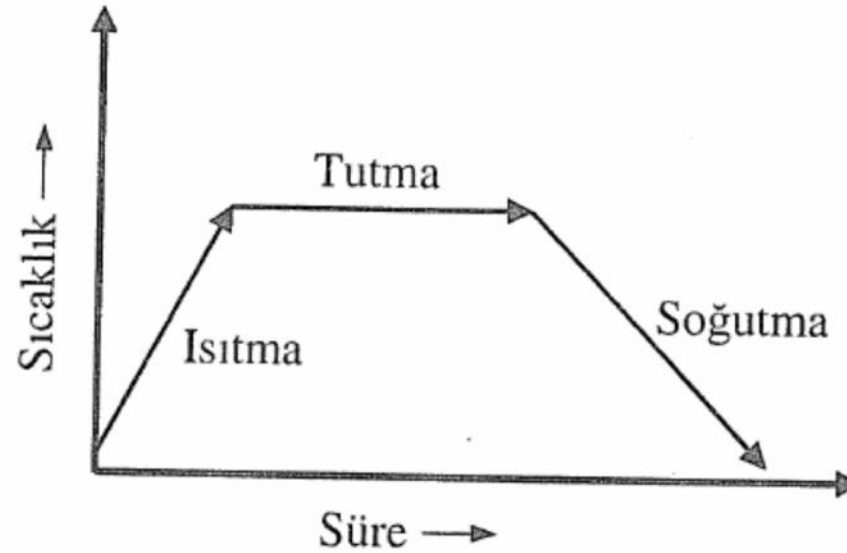
7.1 Giriş

Isıl işlem, genelde metal veya alaşımlara istenilen özellikleri kazandırmak amacıyla katı halde uygulanan kontrollü ısıtma ve soğutma işlemleri olarak tanımlanır. Isıl işlemin Türk Standartlarındaki (TS 1112 EN 10052:2002) tanımı ise, katı haldeki metal veya alaşımlara belirli özellikler kazandırmak amacıyla bir veya daha çok sayıda, yerine göre birbiri peşine zamanlanarak uygulanan ısıtma ve soğutma işlemleri olarak verilmektedir. Çeliğe uygulanan bütün temel ısıtma işlemleri demir-çelik denge diyagramında yer alan ostenit fazının dönüşümü ile ilgilidir. Dönüşüm ürünlerinin türü, bileşimi ve metalografik yapısı çeliğin fiziksel ve mekanik özelliklerini büyük ölçüde etkiler. Bir başka deyişle bir çeliğin fiziksel ve mekanik özellikleri içerdiği dönüşüm ürünlerinin cinsine, miktarına ve metalografik yapısına bağlıdır.

Ostenitleştirme, çeliğin Ac_1 sıcaklık çizgisinin üzerindeki uygun bir sıcaklığa kadar yavaşça ısıtılıp, yapısının tamamen ostenite dönüşmesine kadar tavlınması anlamına gelir. Ötektoid altı çelikler üst kritik sıcaklık çizgisinin (Ac_3) 40-60°C üzerindeki sıcaklıklarda ostenitleştirme işlemine tabi tutulurlar. Ac_3 çizgisinin altındaki sıcaklıklarda ise çelik içerisinde ötektoid dışı ferrit bulunur ve bu fazın oranı çeliğin karbon oranına bağlıdır. Ötektoid dışı ferrit, su verme işleminden sonra da yapıda aynen kaldığından çeliğin sertleşmesini engeller.

7.2 Yumuşatma Tavı

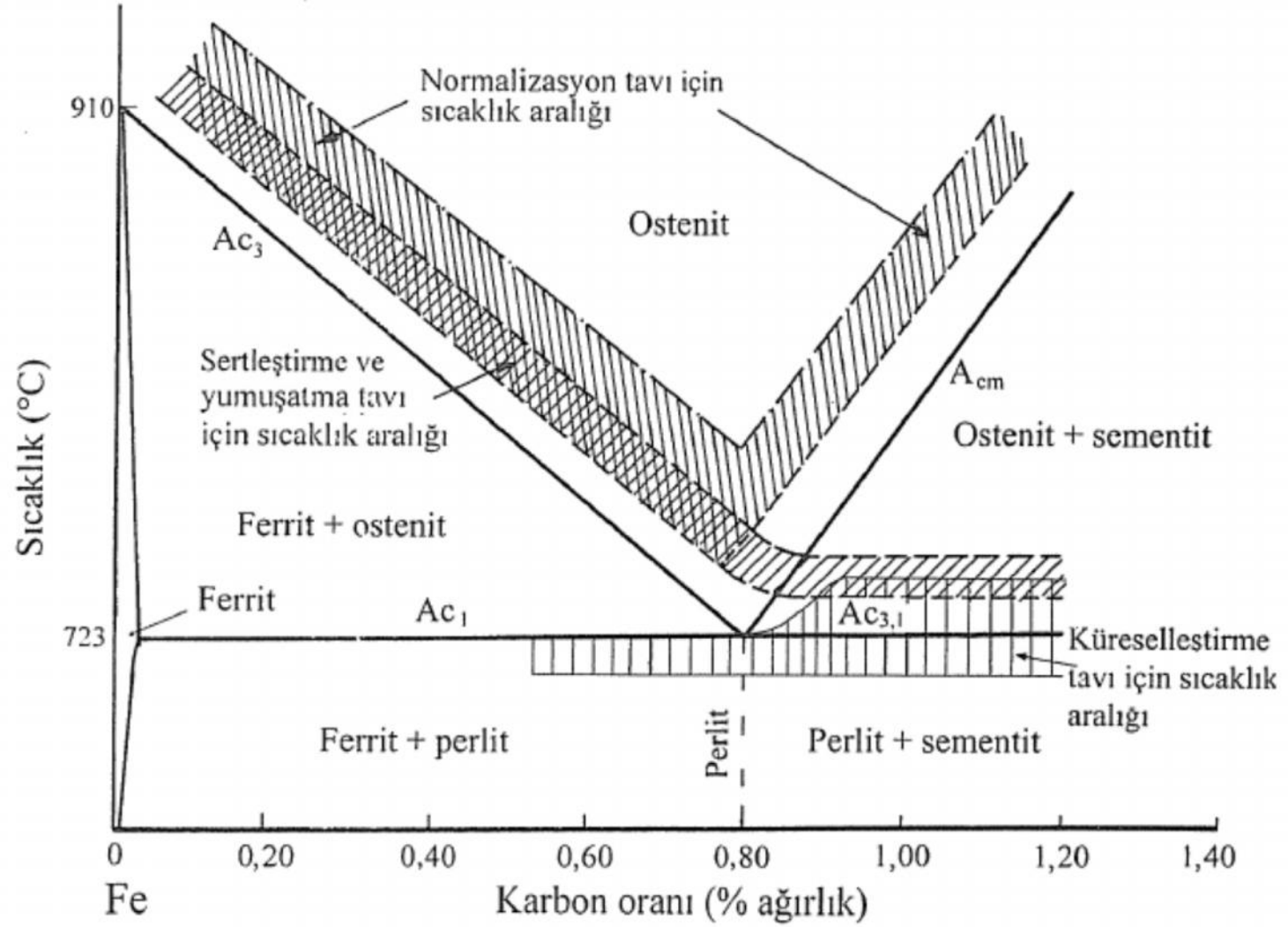
Genel anlamda istenilen yapısal, fiziksel ve mekanik özellikleri elde etmek ve talaş kaldırmayı veya soğuk şekillendirmeyi kolaylaştırmak amacıyla metal malzemelerin uygun sıcaklıklara kadar ısıtılıp, gerekli değişiklikler sağlanıncaya kadar bu sıcaklıkta tutulması ve sonradan yavaş soğutulması işlemine yumuşatma tavı denir. Tavlama işlemi Şekil 7.1’de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 7.1 Tavlama işleminin şematik gösterimi.

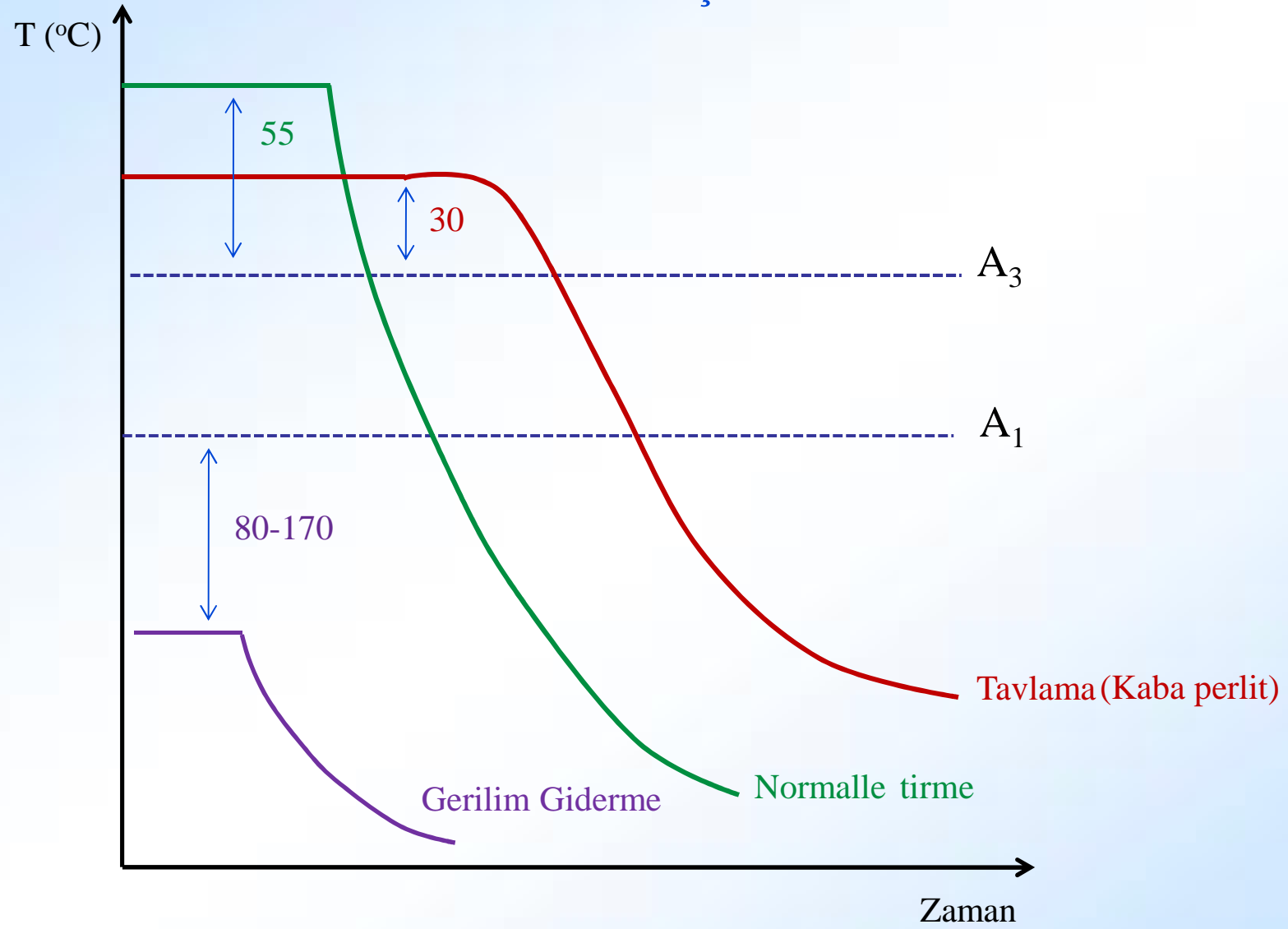
7.3 Normalizasyon (Normalleştirme) Tavı

Normalizasyon tavı genelde tane küçültmek, homojen bir içyapı elde etmek ve çoğunlukla mekanik özellikleri iyileştirmek amacıyla ötektoid altı çelikleri A_{c3} ve ötektoid üstü çelikleri A_{cm} dönüşüm sıcaklıklarının yaklaşık 40-50°C üstündeki sıcaklıklara kadar ısıtıp, tavladıktan sonra fırın dışında sakın havada soğutma işlemi olarak tanımlanmaktadır. Normalizasyon işleminin belli başlı amaçları: a) Tane küçültmek, b) homojen bir içyapı elde etmek, c) ötektoid üstü çeliklerde tane sınırlarında bulunan karbür ağını dağıtmak, d) çeliklerin işlenmesini kolaylaştırmak ve mekanik özelliklerini iyileştirmek ve e) yumuşatma tavına tabi tutulan çeliklerin sertlik ve mukavemetini artırmak şeklinde sıralanabilir. Bu nedenlerden dolayı normalizasyon tavı çeliklere son işlem olarak uygulanabilir.



Şekil 7.3 Alaşımsız çeliklere uygulanan yumuşatma, normalizasyon, sertleştirme ve küreselleştirme işlemleri için tavlama sıcaklık aralıkları.

Ötektoid Altı Çelikler



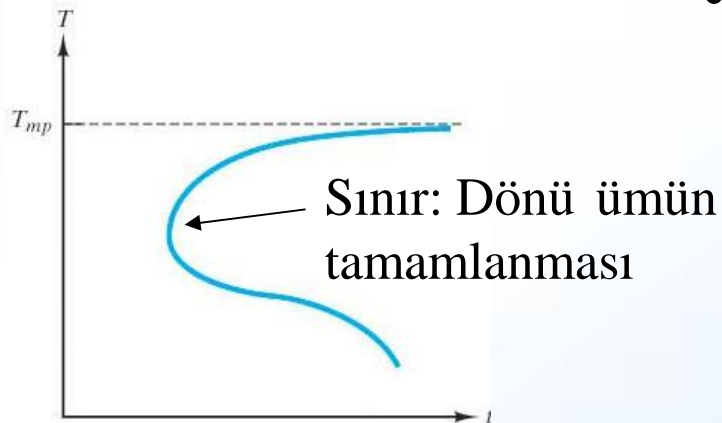
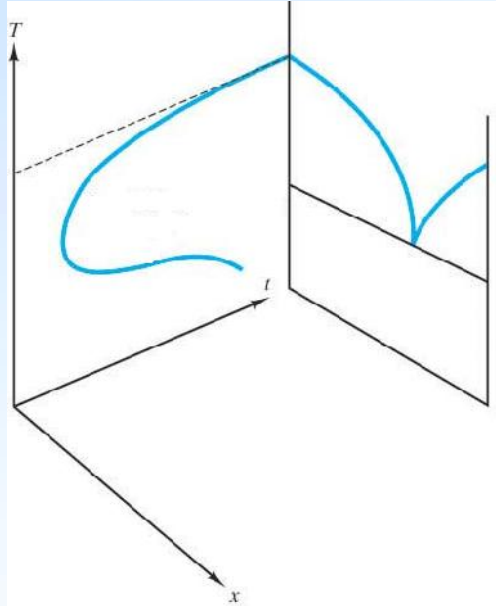
Isıl i lemler: Faz Dönü ümleri

- u ana kadar yava so uma hızlarında elde edilebilecek iç yapılar görüldü.
- Gerçek uygulamalarda so uma hızlarının kontrolü ile farklı iç yapılar elde etmek mümkündür.
- Bu sayede mikro yapı ve mekanik özellikler ayarlanabilir.

- **Isıl i lemler:** Malzemelerin iç yapılarını ve bunlara ba lı olarak özelliklerini ayarlamak amacıyla yapılan kontrollü ısıtma ve so utma i lemleridir.

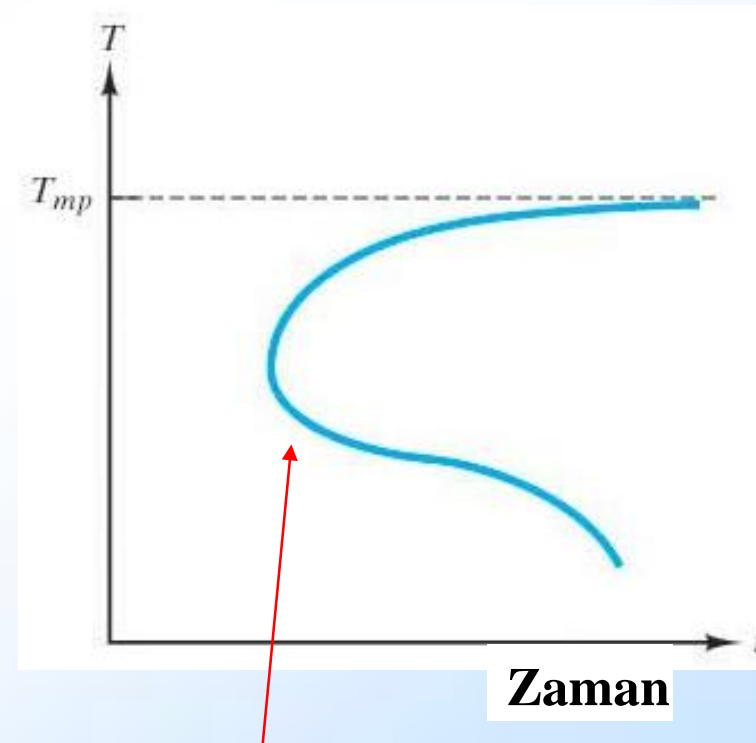
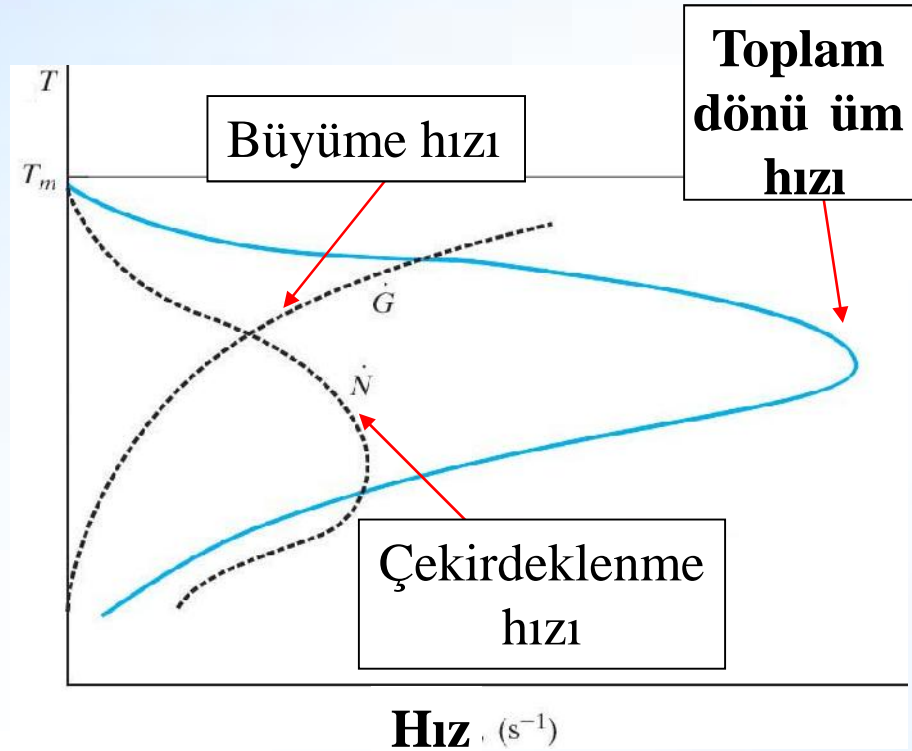
- u ana kadar incelenen **faz** diyagramları yava so umada dengede olan fazlara göre hazırlanmı tır.
- **Isıl i lemler**, malzemelerin **zamana ba lı faz dönü ümlerinin bilinmesi** ile uygulanabilirlik kazanır.

Zaman-Sıcaklık Dönüüm diagramları



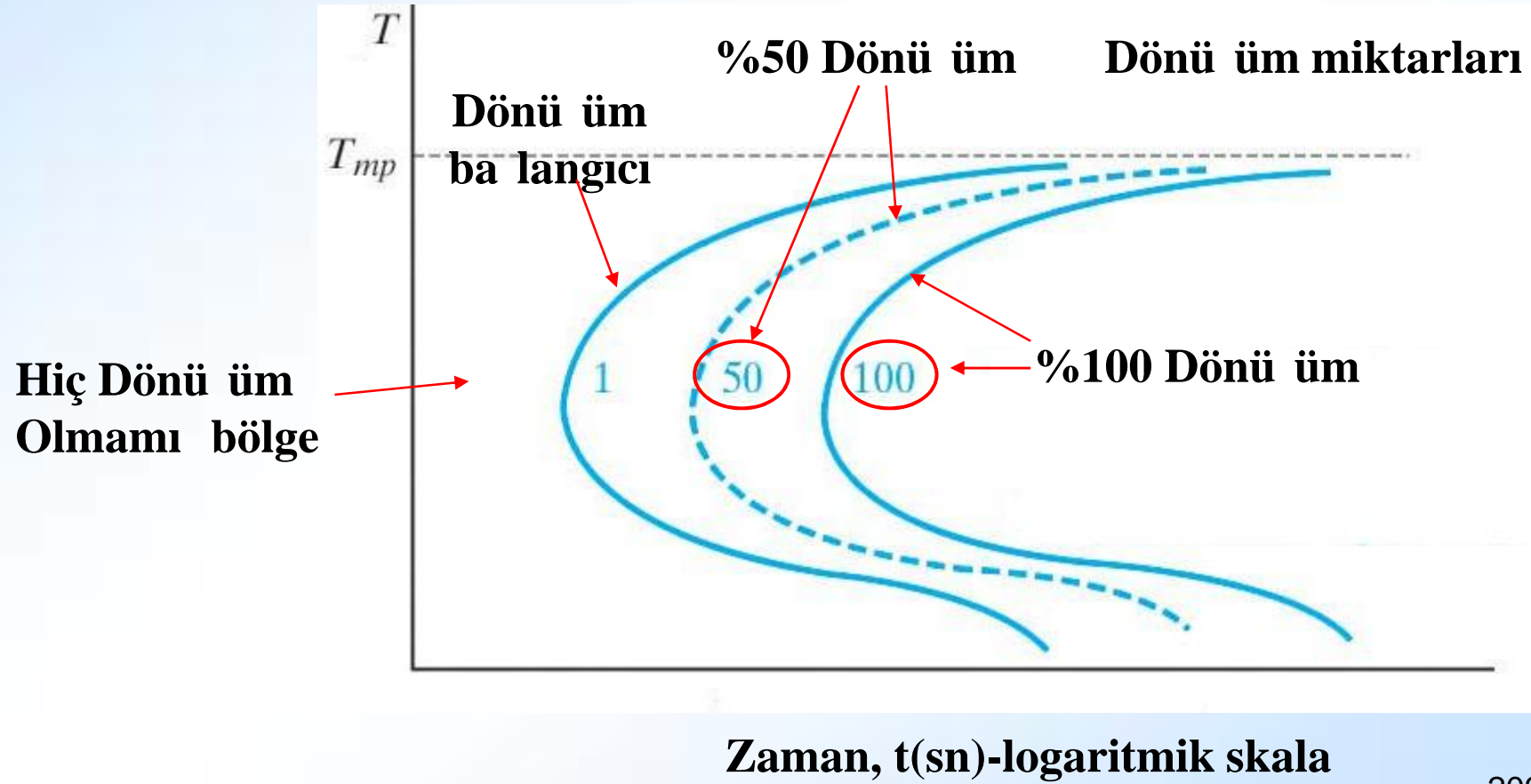
- Birbiri içerisinde hiç çözünmeyen elementler için faz diagramı.
- Faz diagramında TA'nın altındaki sıcaklıklarda A katısının oluşacağı bilinebilir.
- Fakat dönüüm süreleri bilinemez.
- Soğuma hızlarına bağlı olarak ne tür katıların oluşacağı Zaman-Sıcaklık Dönüüm (ZSD) (TTT-Time Temperature Transformation) diagramları ile verilir

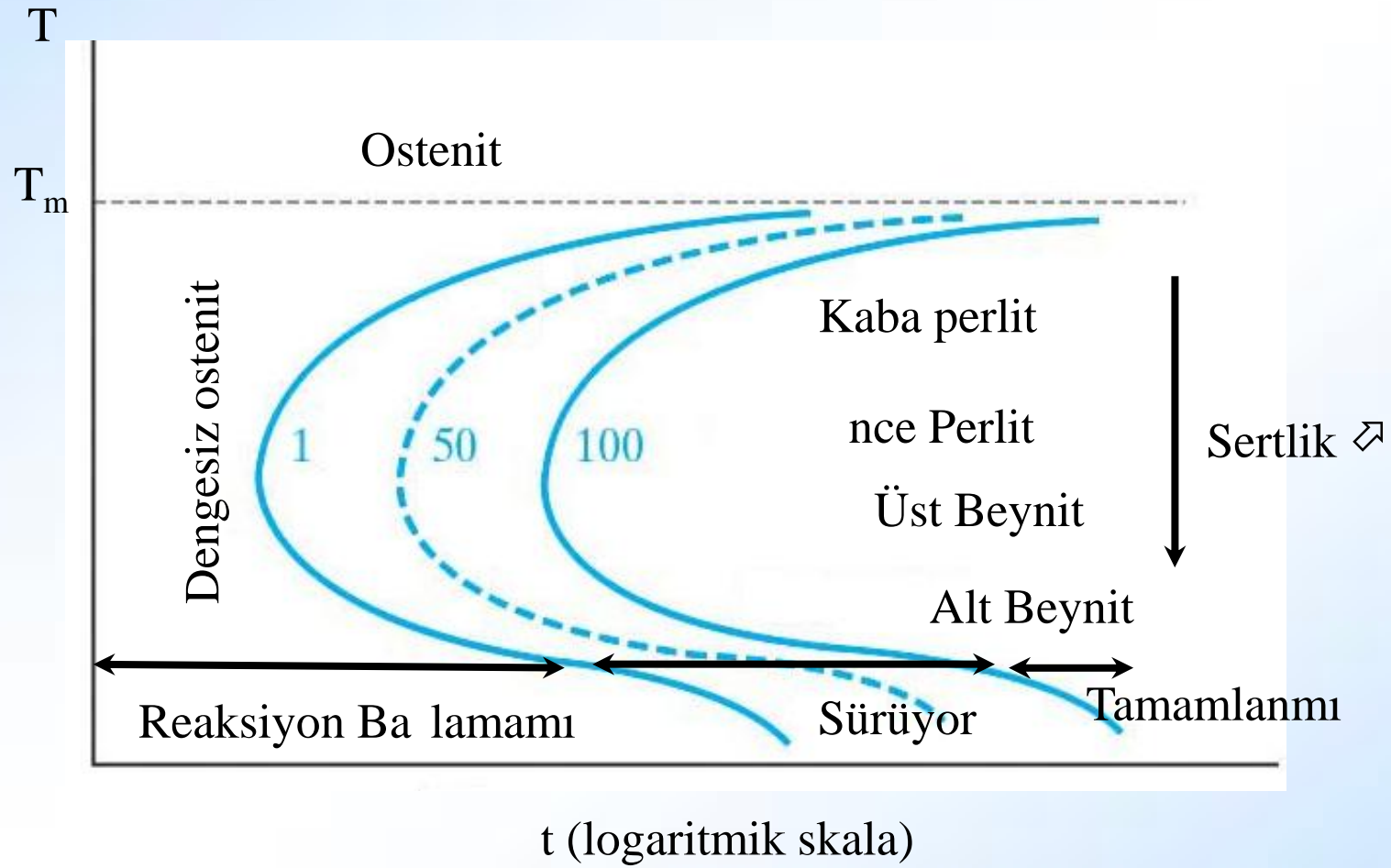
- **Dönüüm hızı** belirli bir sıcaklık aralığında (**burun bölgesinde**) **en yüksek** değerler alır.
- Dönüümün tamamlanması için gereken süre, dönüüm hızıyla ters orantılıdır. Dolayısıyla **sıcaklık-zaman** eğrisi **sıcaklık-hız** eğrisine benzer karakterde fakat tam ters şekilde olacaktır.



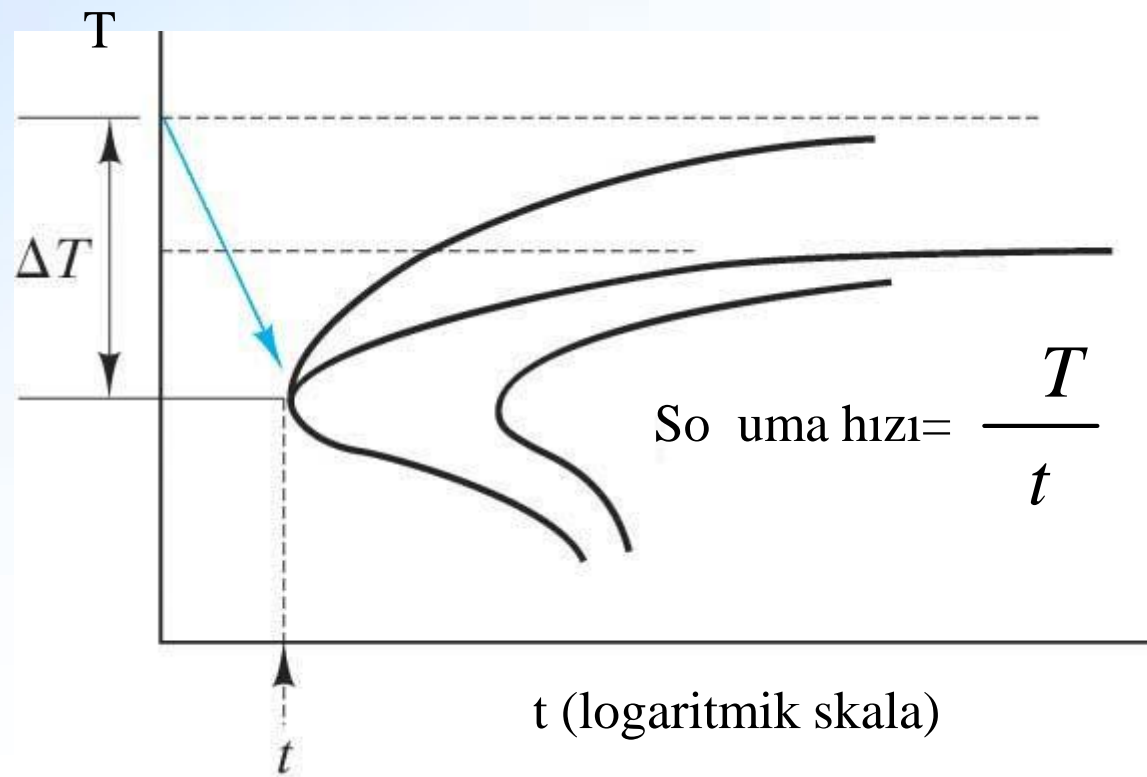
Dönüüm hızı eğrisinin zamana göre düzenlenmiş hali

- Dönü üm ba laması ve tamamlanması, belli bir zaman aralı ında gerçekte ecektir.
- Bu nedenle dönü üm; dönü üm ba langıcını ve sona ermesini ifade eden iki çizgini arasında gerçekte ir

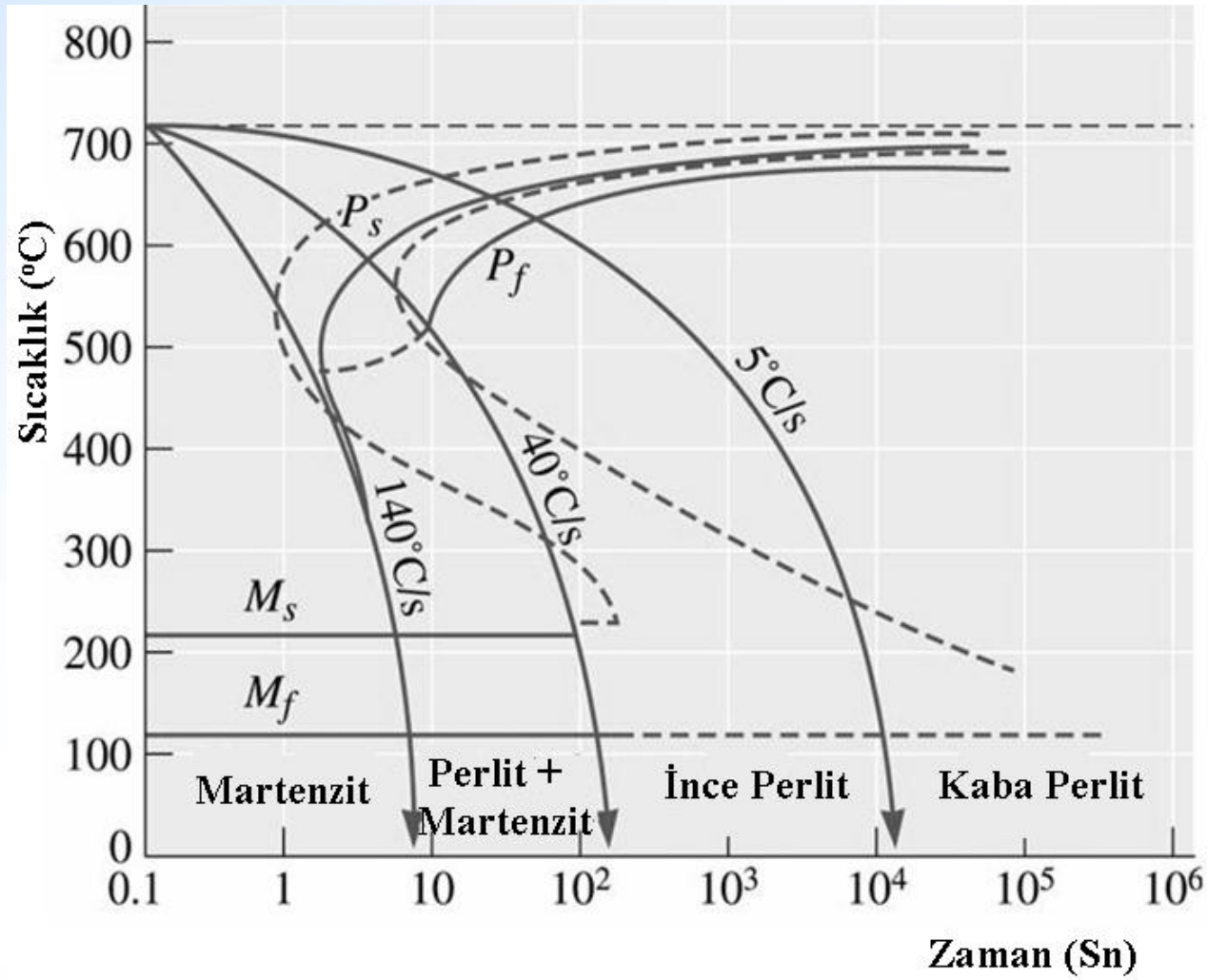




So uma h1z1



So uma hızı



Faz dönü ümleri

Faz dönü ümlerini ikiye ayırılır:

- 1. Yayınmalı dönü ümler:**
- 2. Yayınmasız dönü ümler:**

Faz dönü ümleri

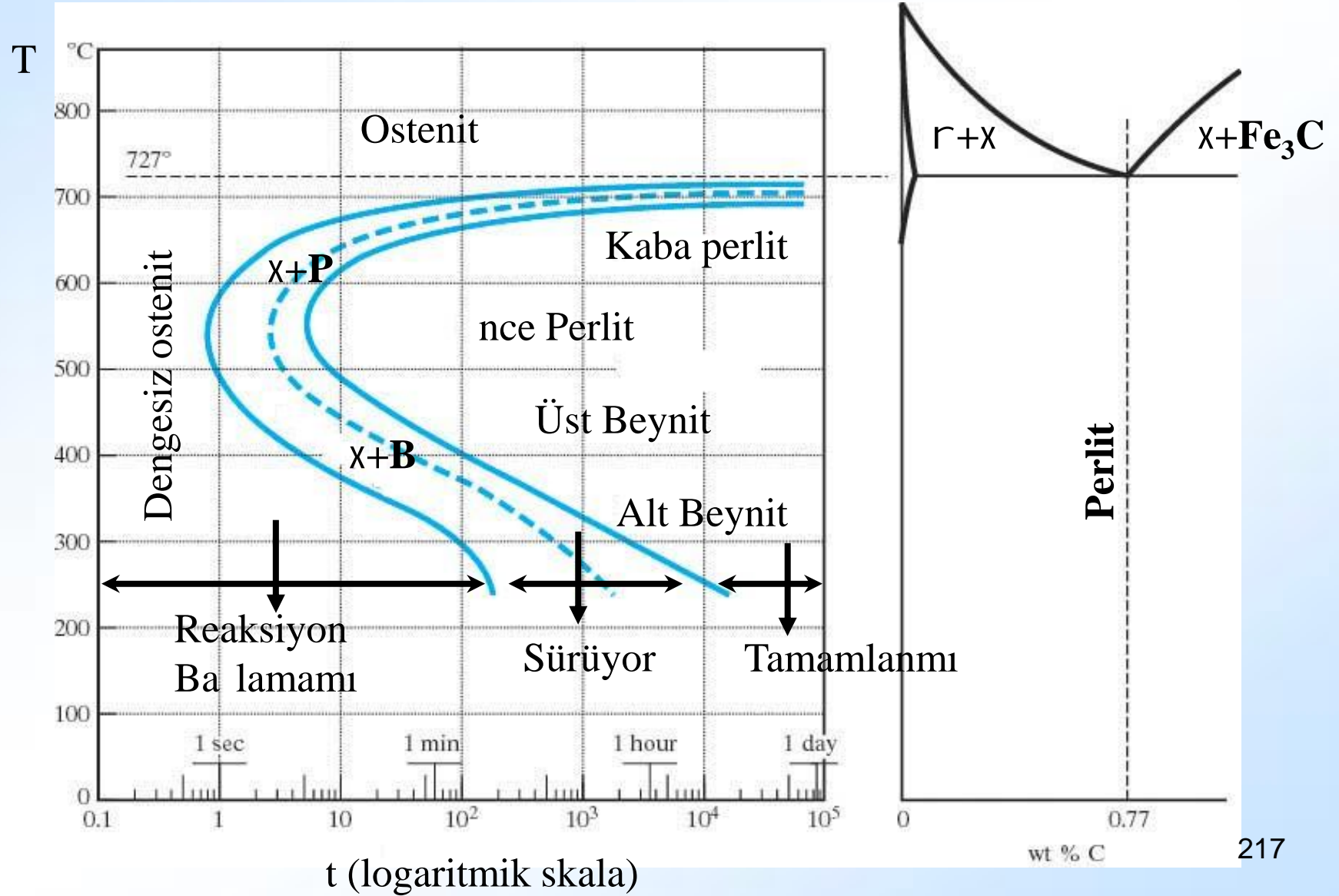
1. **Yayınmalı dönü ümler:** Atomlar, en kararlı halin (min.enerji) gerektirdi i fazları olu turmada **yeterli süreye sahiptirler**. Bu fazlar, faz diyagramlarında yer alan fazlardır.
 - a) Kaba perlit (coarse pearlite)
 - b) nce perlit (fine pearlite)
 - c) Üst beynit (upper bainite)
 - d) Alt beynit (lower bainite)

2. **Yayınmasız dönü ümler:** Atomlar dü ük enerjili kararlı fazları olu turacak **yeterli sürelere sahip de illerdir.** Bu nedenle faz diyagramlarında rastlanmayan **yarı kararlı** veya **kararsız fazlar** olu tururlar.

* Martenzit

1. Yayınmalı dönü ümler:

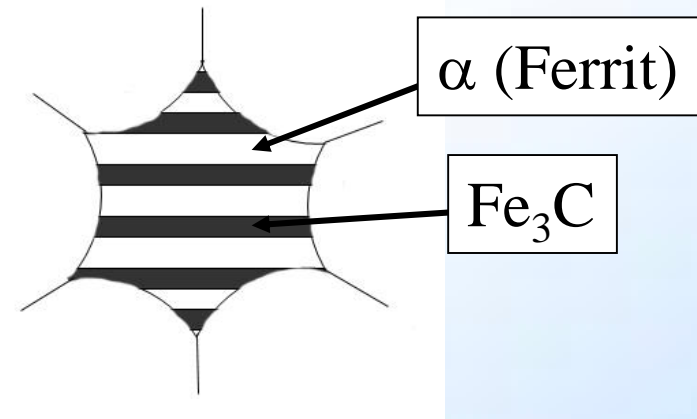
Ötektoit Çelik



Yayınmalı dönüşüm 1: Perlit

Kaba Perlit (coarse pearlite):

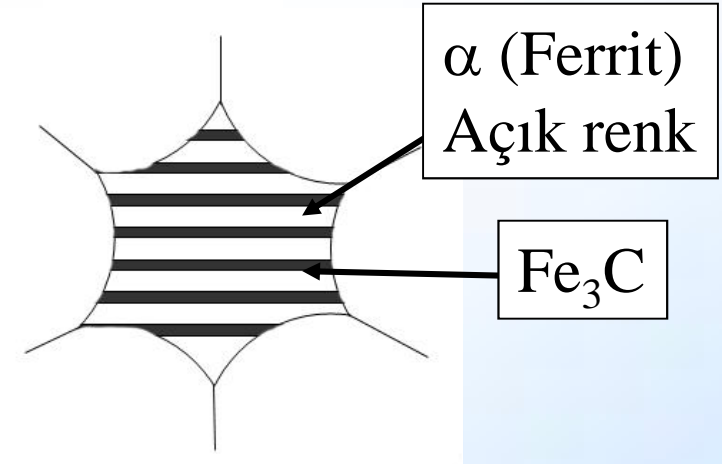
- Tabakalar (lameller) halinde dizilmi irir ve Fe_3C fazlarından oluşur.
- **Nispeten yumuaktır.**
- Yüksek dönüşüm sıcaklıklarında oluşmaktadır, dolayısıyla çekirdeklenmesi yavaş büyümesi ise hızlı olarak gerçekleşir.



Yayınmalı dönüşüm 1: Perlit

nce Perlit (fine pearlite):

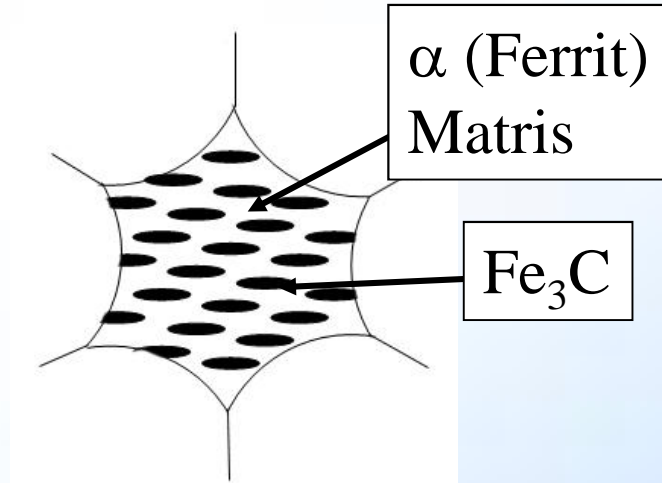
- nce α ve Fe_3C tabakalarının (lamellerin) istiflenmesi ile oluşur.
- **Daha serttir.**
- Düşük sıcaklıklarda dönüşüm sonucu oluşur (çekirdeklenme hızı yüksek). *Kaba yapıya göre daha serttir.*



Yayınmalı dönüşüm 2: Beynit

Üst Beynit (Upper bainite):

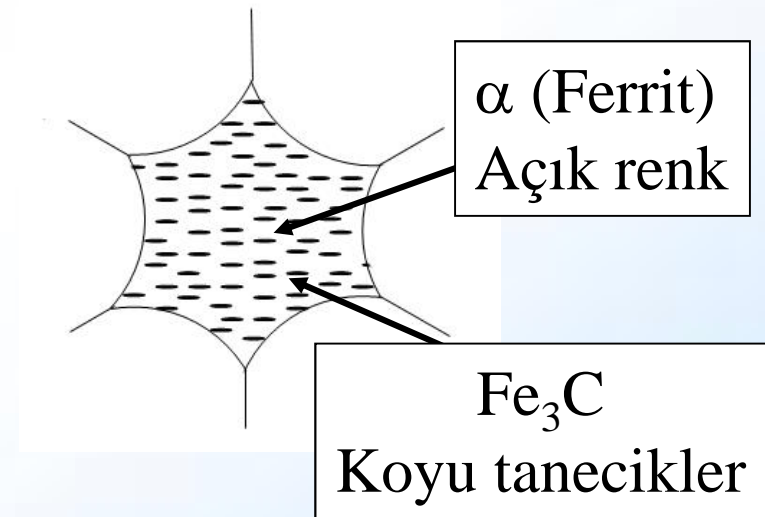
- *Ferrit matris içinde dağınık sementit tanelerinden ibarettir.*
- Düşük dönüşüm sıcaklıklarında oluştuğundan tabakalı yapı oluşur.
- Perlite aynı kimyasal bileşime sahip fakat daha serttir.



Yayınmalı dönüşüm 2: Beynit

Alt Beynit (lower bainite):

- Dönüşüm sıcaklıkları daha düşüktür. Böylece büyüme imkanı bulamamı ve ferrit içine da ılımı çok ince ve sık da ılımlı sementit taneleri oluşur.
- Ancak elektron mikroskopunda görülebilir. Çok daha sert bir yapıdır.



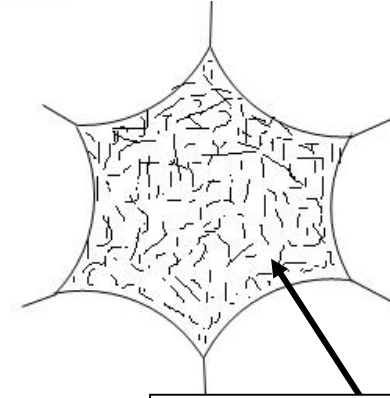
2. Yayınmasız dönü üm:

Yayınmasız dönüüm: Martenzit

Kararlı fazların oluşması için gereken yayınmanın olmaması durumlarında dönüüm kararsız olarak gerçekleşir.

Bu değişim **yayınmasız** olmasından dolayı **zamandan bağımsızdır** ve iki yatay çizgi şeklinde gösterilir.

Solmanın kritik bir hızın üzerinde olması durumunda ostenit faz martenzit faza dönüür.

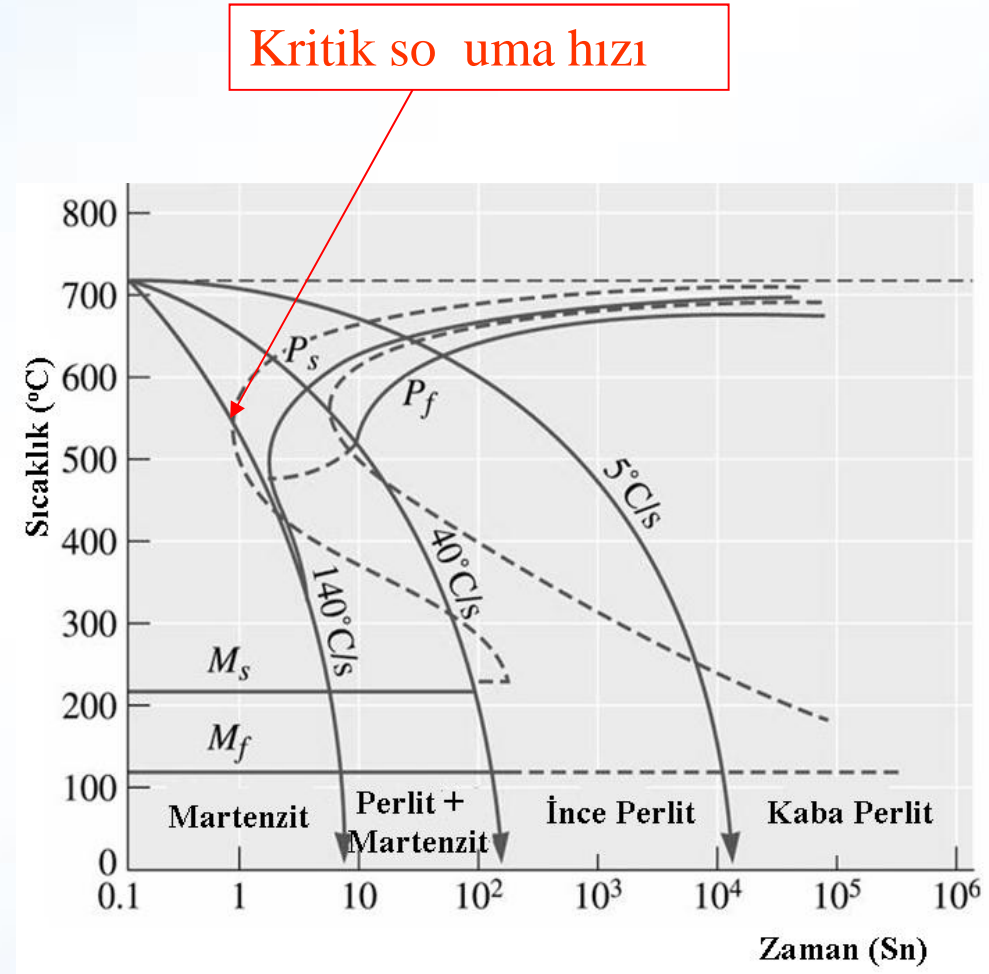


nemsi yapı
(Optik mikroskopta)



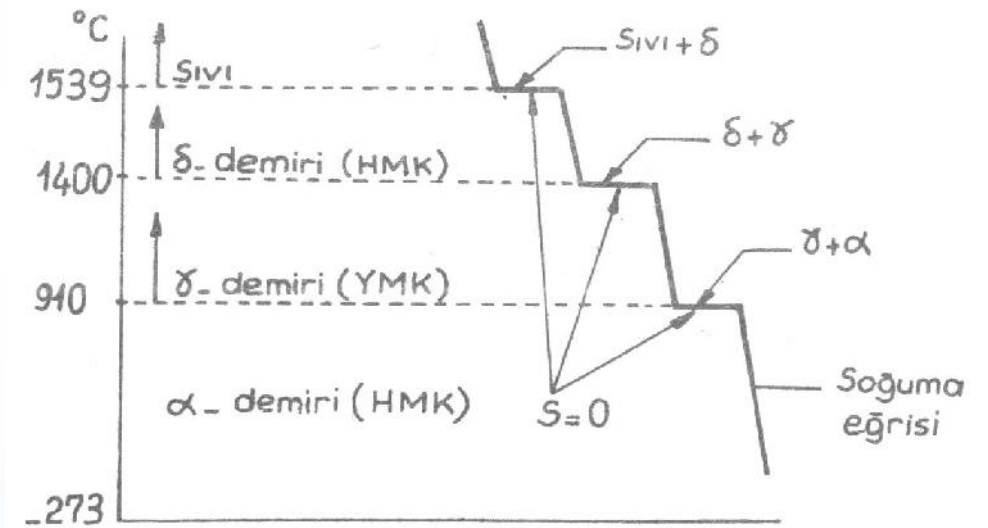
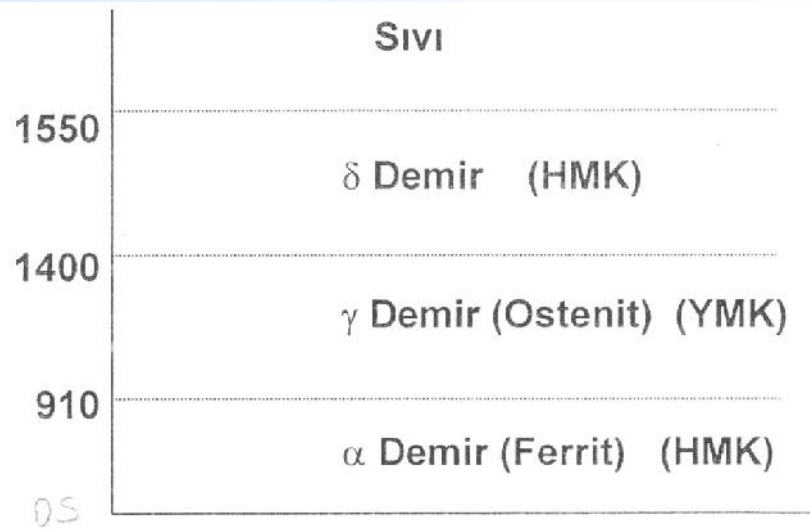
Kritik so uma hızı

- Yayınmalı veya yayınması dönü üm olaca ını belirleyen parametre so uma hızıdır.
- So umanın kritik bir hızın üzerinde olması durumunda ostenit martenzite dönü ü.
- Daha yava so uma hızlarında yayınma gerçekte ir ve so uma hızına ba la olarak yayınma perlit veya beynit olu abilir.

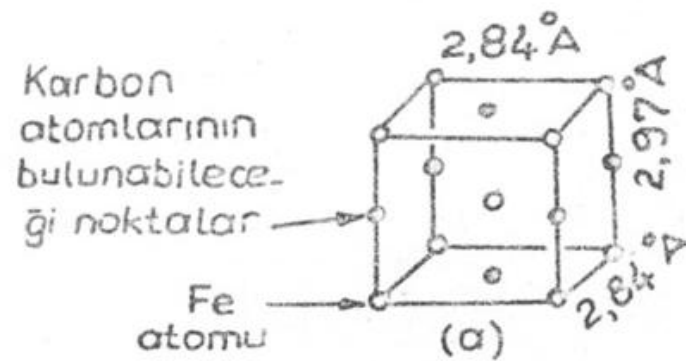


Martenzit

- Demir allotropik bir metaldir ve farklı sıcaklıklarda farklı yapılar gösterir.

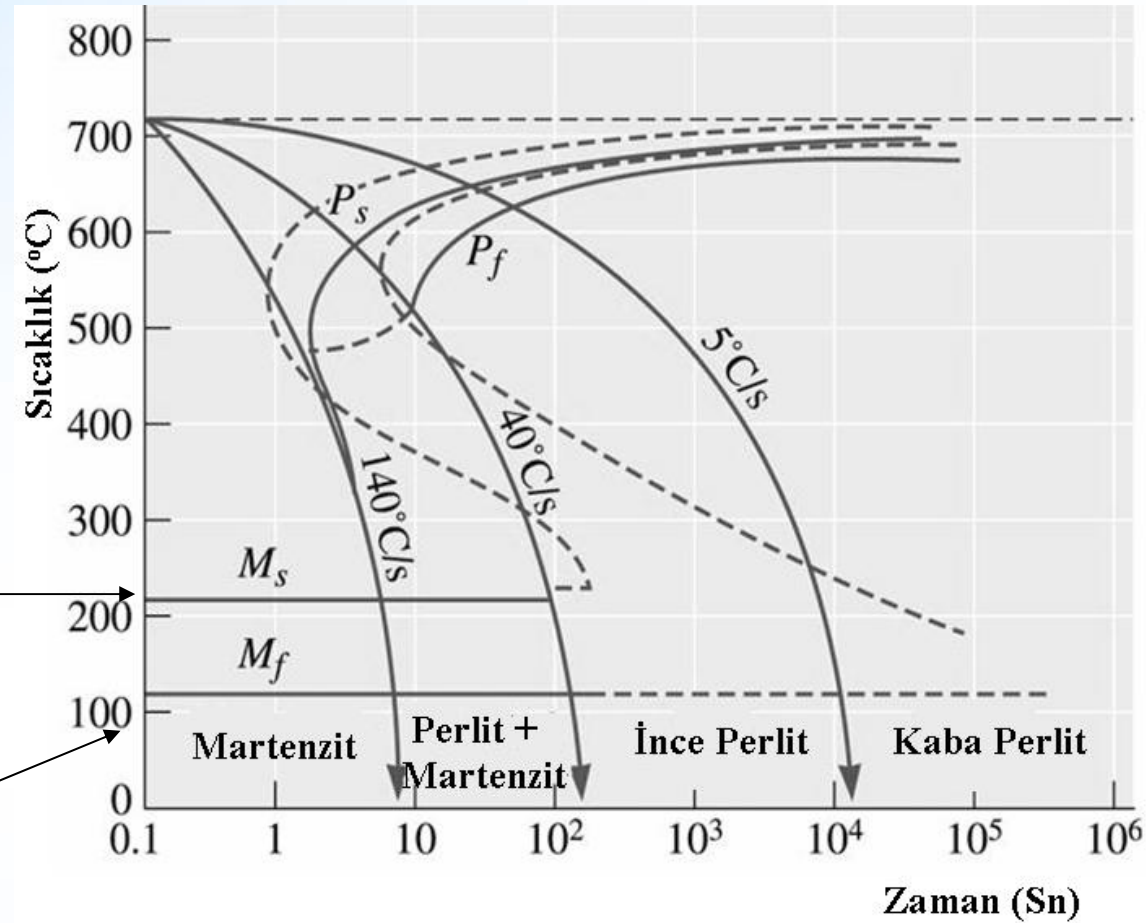


- Fakat hızlı soğumada C, yayınma (difüzyon) için zaman bulamaz ve ferrit içerisinde hapis olur.
- Yayınamayan C atomları **hacim merkezli kübik** yapıyı gererek **hacim merkezli tetragonal** yapıya dönüşmesine sebep olur.
- Bu yapıya **martenzit** adı verilir.
- **Çok serttir** ve **in nemsiz** bir görünüme sahiptir.



**Martenzit
ba langıç
sıcaklı ı**

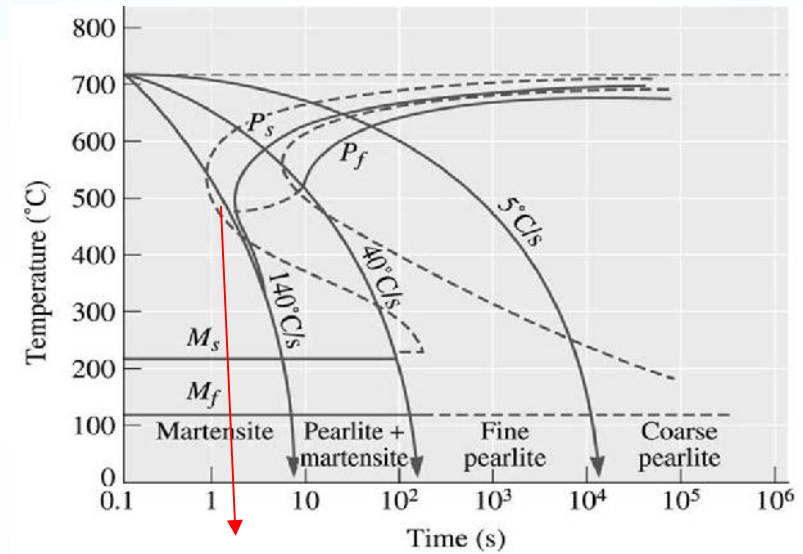
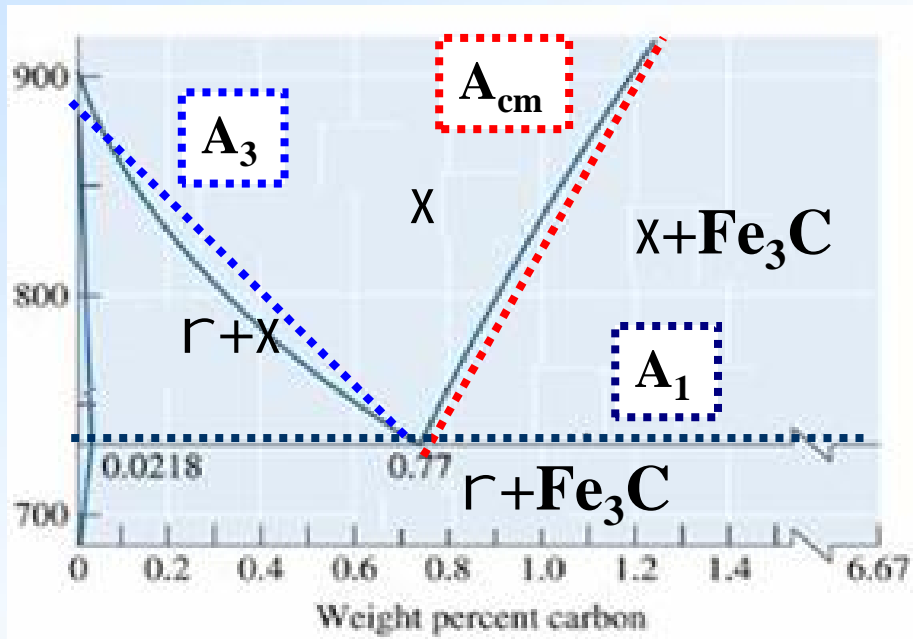
**Martenzit
biti
sıcaklı ı**



Su verme (Quenching)

- Amaç **tamamen martenzitik bir yapı** (very hard but brittle) elde etmektir.
- Bu amaçla önce çelik ostenit bölgesinde en az 1 saat ısıtılır:
 - **Ötektoid altı çelikler için: $A_3 + 30-50^{\circ}\text{C}$**
 - **Ötektoid üstü çelikler için: $A_{cm} + 30-50^{\circ}\text{C}$**
- Daha sonra, M_f in altındaki sıcaklıklara, **kritik soğuma hızlarının üzerindeki de erlerde** hızlı soğutma yapılırsa yapı tamamen martenzite dönüşür (quenching).

Su verme – çeliğin ostenit bölgeden kritik soğuma sıcaklıklarının üzerindeki hızlarda ani olarak soğutulması işlemidir. Eğer M_f in altındaki sıcaklıklara ani soğutma söz konusu ise yapı tamamen martenzite dönüşür. Aksi halde ani soğutma sırasında eğer ZDS eğerleri kesilmiyorsa yapı dengesiz ostenit halinde bulunur.



“Critical Cooling rate”.
Kritik So uma Hızı

Özet

Yavaş
Ostenit $\xrightarrow{\text{Soğuma}}$ Perlit ($\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$)
Yayınmalı

İzotermal
Ostenit $\xrightarrow{\text{Dönüştürme}}$ Beynit ($\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$)
Yayınmalı

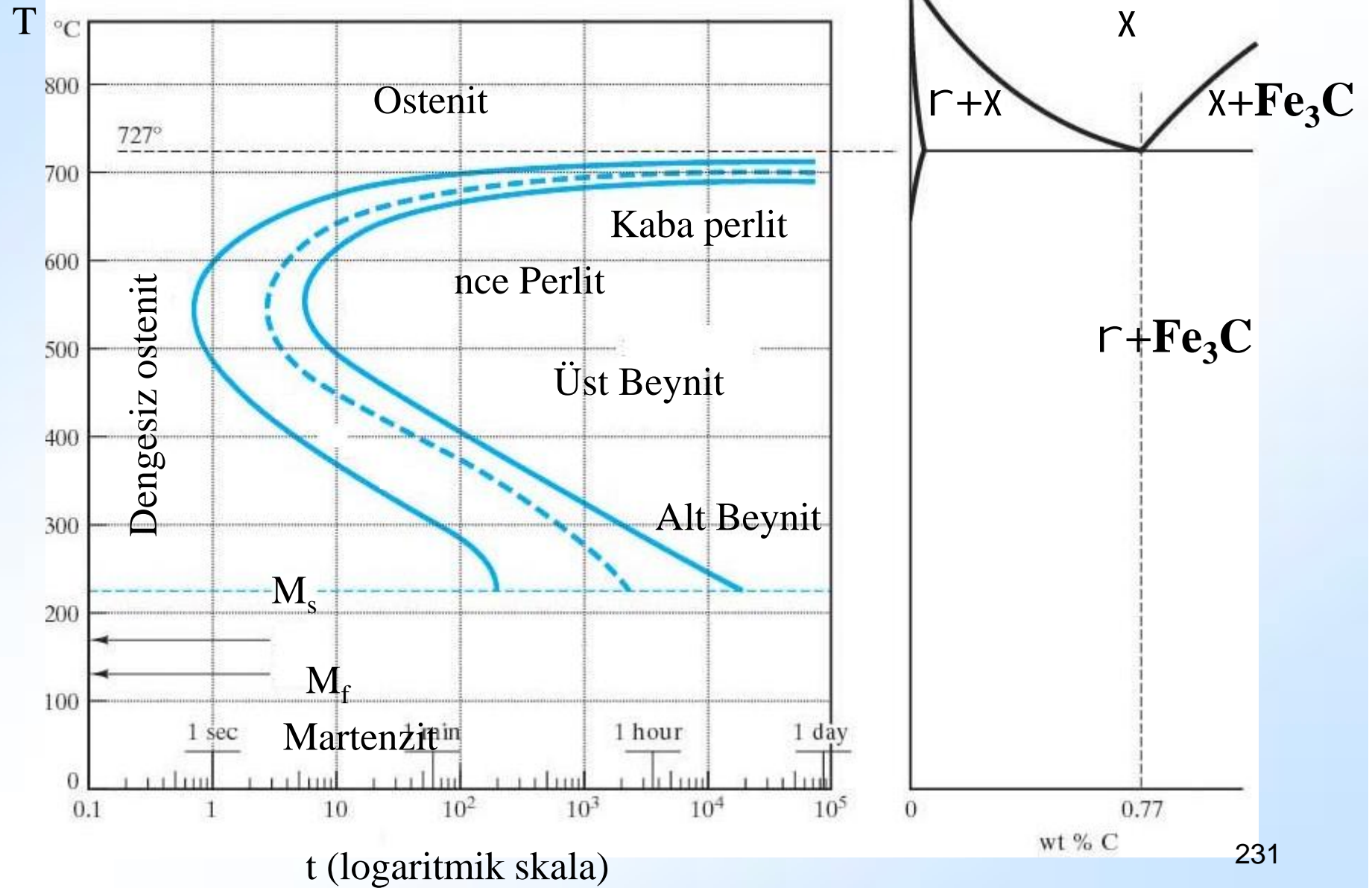
Çok hızlı
Ostenit $\xrightarrow{\text{Soğuma}}$ Martenzit (tekfaz)
Yayınmasız

Çeliklerin mekanik özellikleri iç yapılarıyla doğrudan alakalıdır.

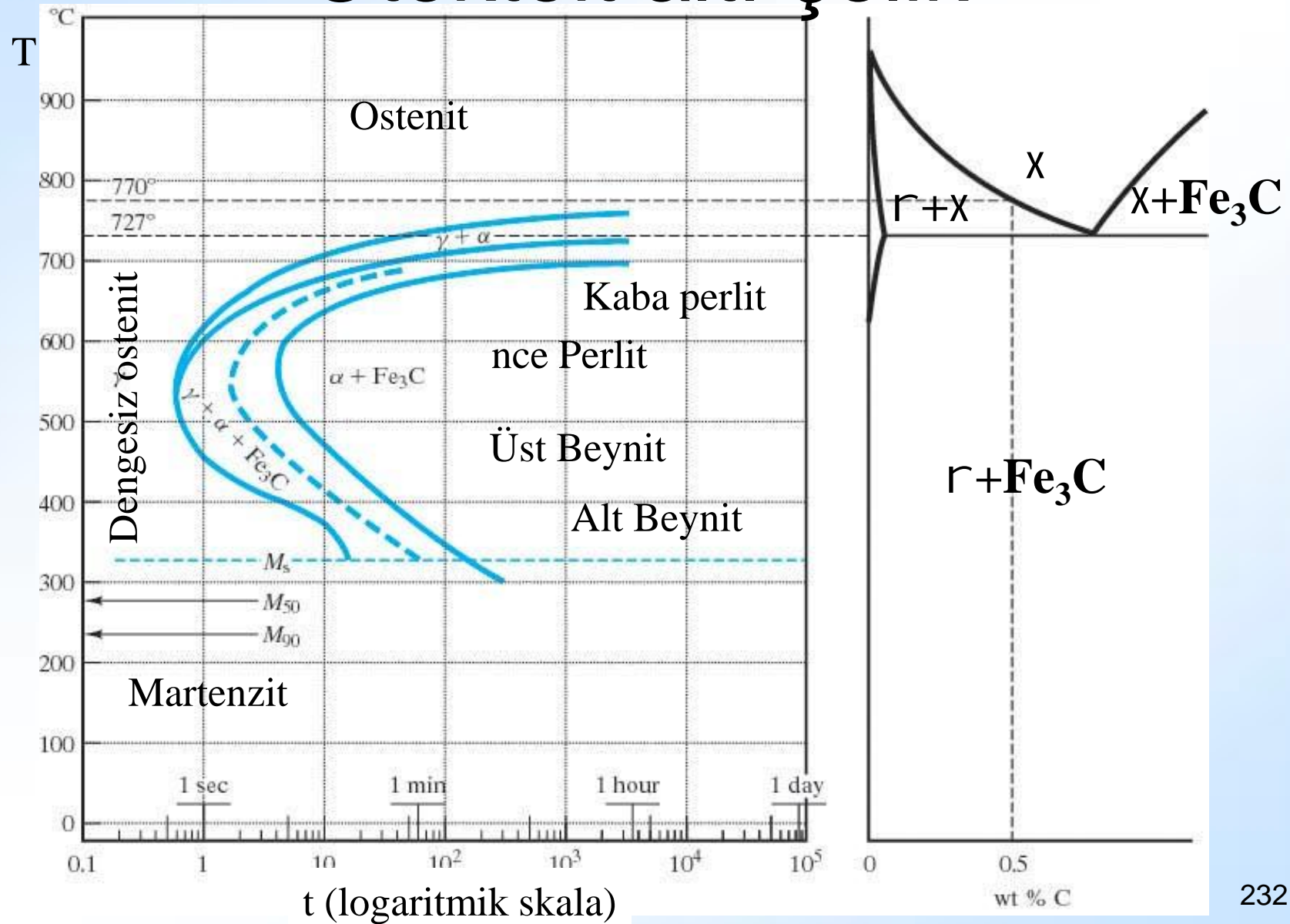
- Ferrit
- Kaba Perlit
- İnce Perlit
- Üst beynit
- Alt beynit
- Martenzit

Sertlik ↗

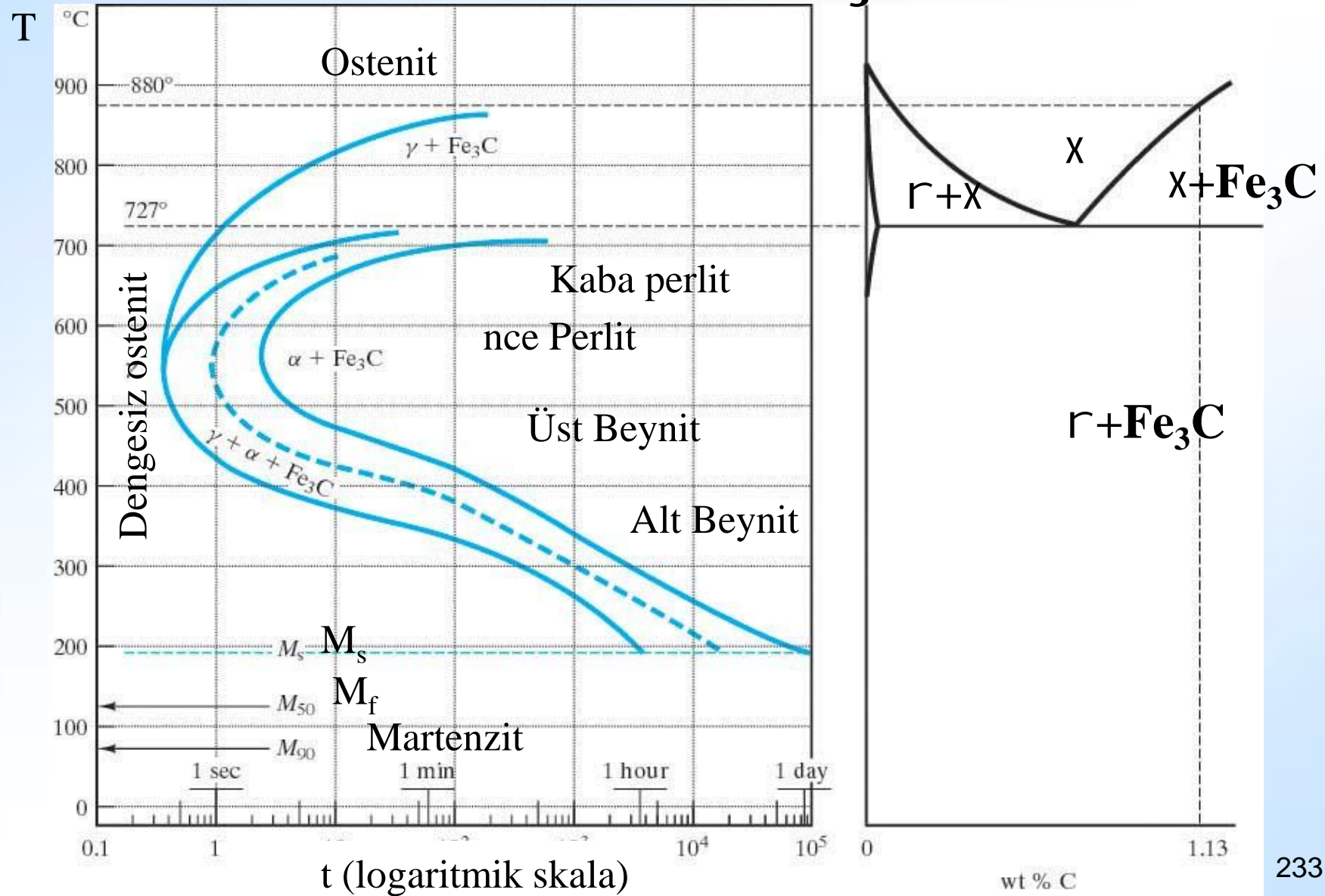
Ötektoit Çelik



Ötektoit altı çelik



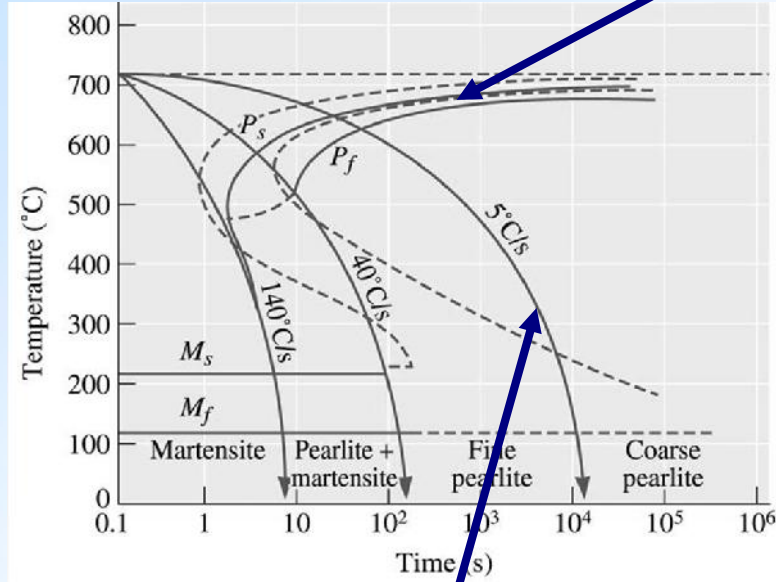
Ötektoit üstü çelik



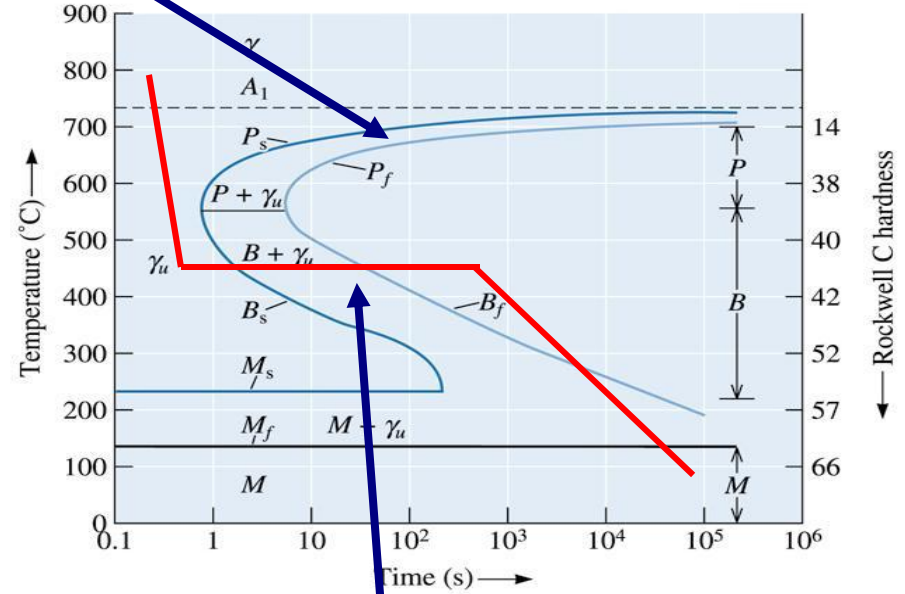
ZSD diyagramaları üzerinde iki ayrı soğutma yöntemi ve bunları temsil eden eğriler uygulanarak dönüşüm gerçekleştirilebilir.

1. Sürekli soğutma ile dönüşüm (Continuous cooling curve)
2. İzotermal soğutma ile dönüşüm (isothermal curve)

TTT Diagrams



Sürekli soğutma ekseninde
boyunca dönüşüm



izotermal ekseninde
boyunca dönüşüm

Isothermal annealing for fully pearlitic structure.

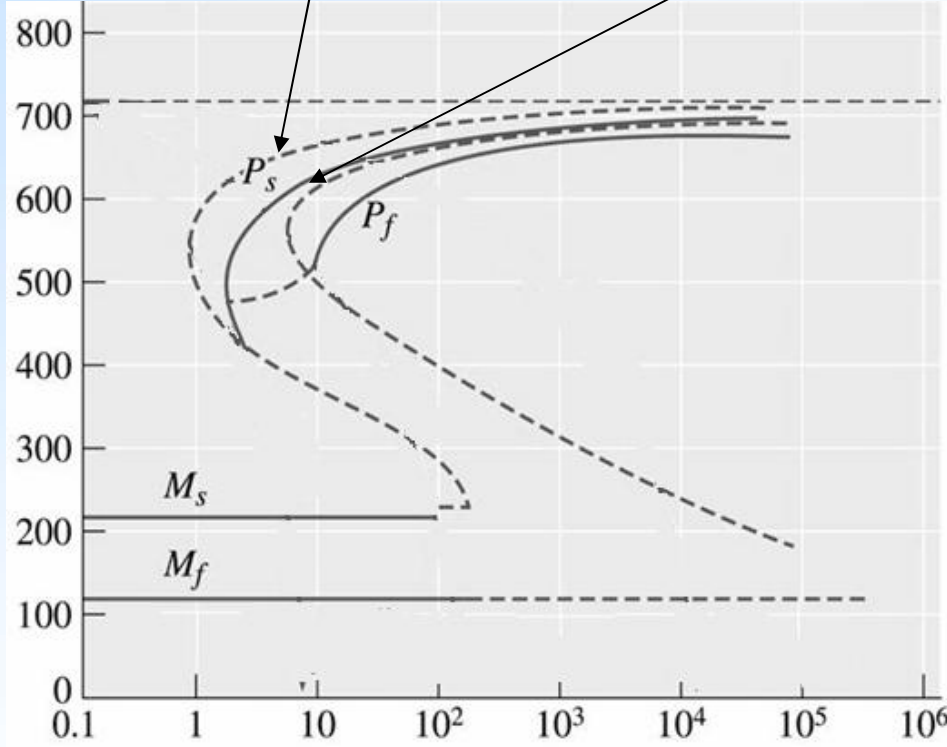
Ferrit + Perlit Ötektoid Altı Çelikler için

veya

Perlit + Sement Ötektoid Üstü Çelikler için

izotermal dönüşüm için

Sürekli soğutma için eğri

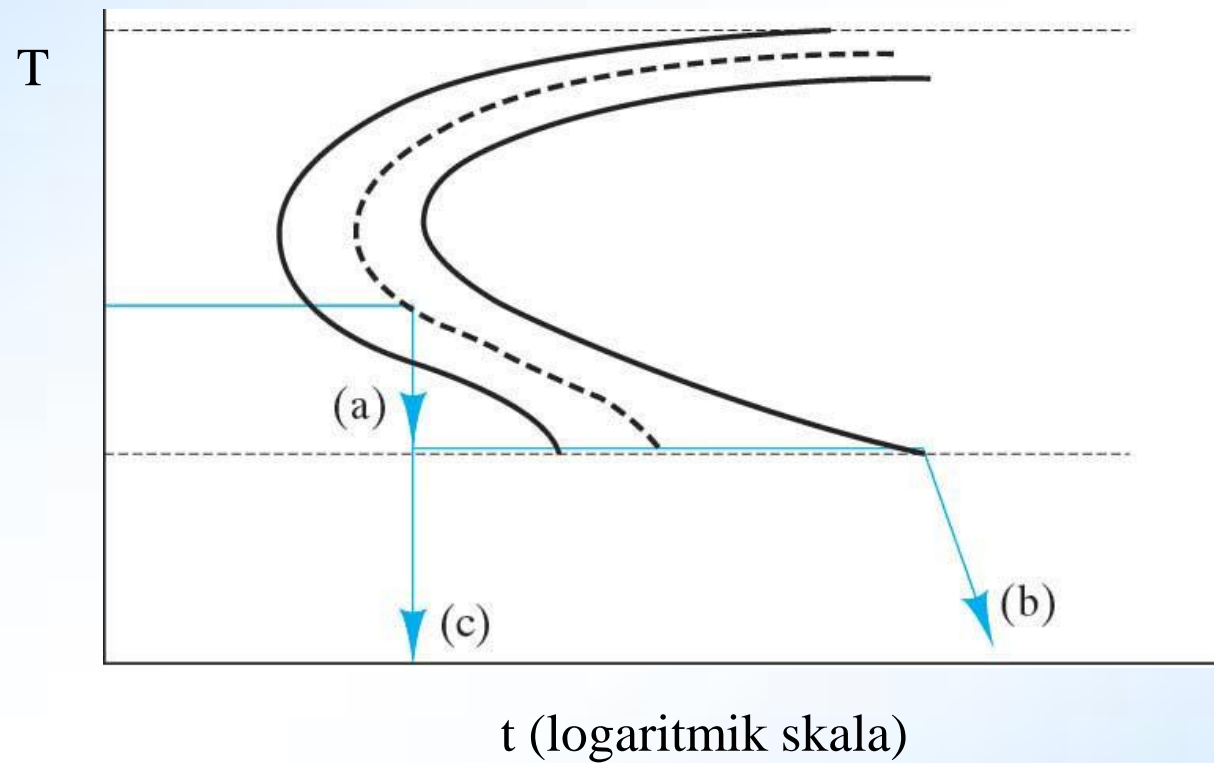


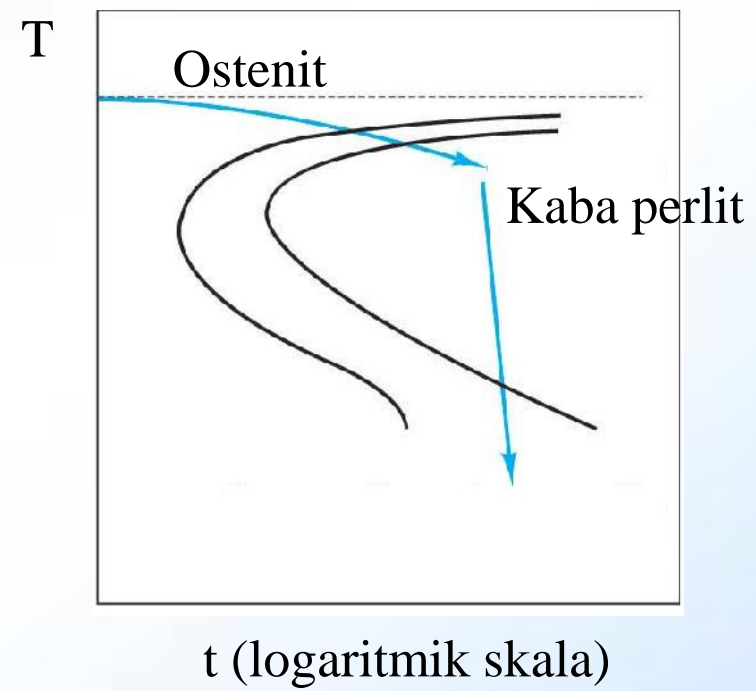
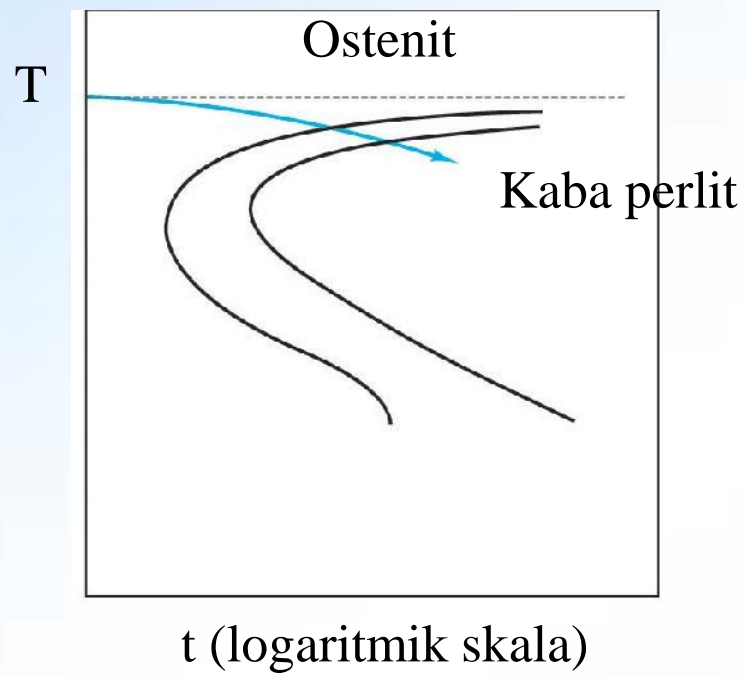
izotermal dönüşüm için ZSD eğrisi, özellikle yüksek sıcaklıklarda bir miktar sola doğru kayar. Bunun nedeni sürekli soğumada ısı aktivasyonu azalan sıcaklıkla sürekli azalacak olmasıdır.

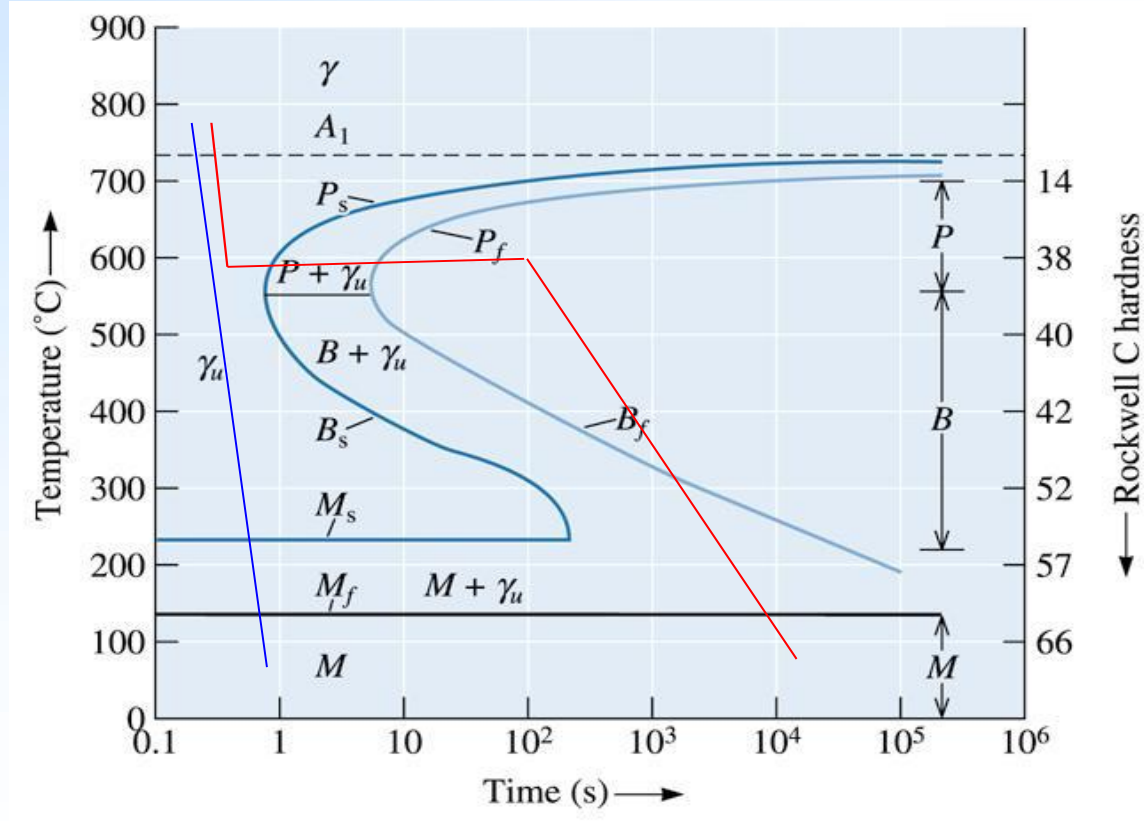
Bu durum atom hareketlerinin yavaşlaması ve dönüşüm için gereken sürenin artmasıyla sonuçlanır.

Öte yandan yüksek sıcaklıklarda ki izotermal dönüşümde dönüşüm sırasında ısı aktivasyonu sürekli etkin kalacaktır.

Soru: Yapılar nedir







Kırmızı çizgi; çeli i ostenit sıcaklıktan **600°C ye hızla so utuldu unu**, bu sıcaklıkta **10² s tutuldu unu** ve daha sonra **oda sıcaklı na** so utuldu unu göstermektedir. Perlit ba langıç ve biti çizgileri kesildi i için çelik **%100 perlitik** bir yapıya sahip olacaktır.

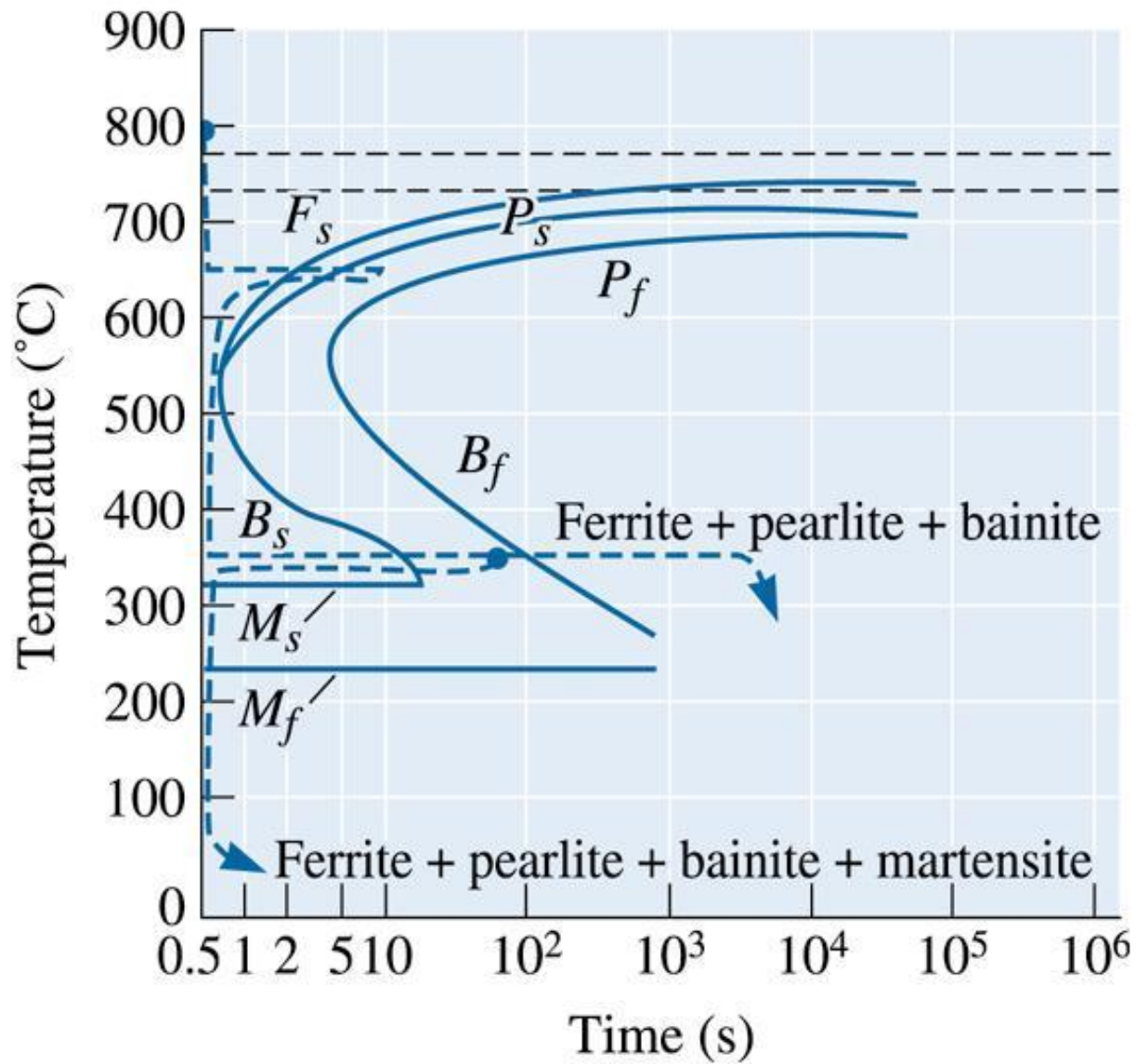


Figure 12.9 Producing complicated structures by interrupting the isothermal heat treatment of a 1050 steel.

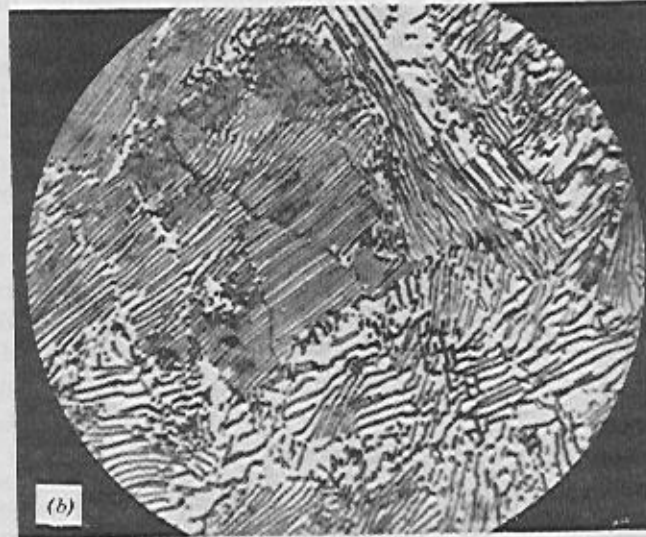


FIGURE 8-15 (b) Pearlite microstructure in 0.77% C steel, $\times 1500$. (Courtesy of Dr. S. T. Jazwinski.) (c) Martensite microstructure in carbon steel, $\times 1500$. (Courtesy of Dr. R. Jones, Lafayette College.)

Kısa sınav

Solution: (a) Austenite is present after heating to 820°C; both ferrite and pearlite form during holding at 650°C; ferrite and pearlite remain after cooling to 25°C.

(b) Austenite is present after heating to 820°C; bainite forms after holding at 450°C; and bainite remains after cooling.

(c) Austenite is present after heating to 820°C; martensite forms due to the quench.

(d) Austenite is present after heating to 820°C; ferrite forms at 720°C, but some austenite still remains. During quenching, the remaining austenite forms martensite; the final structure is ferrite and martensite.

- (e) Austenite is present after heating to 820°C; ferrite begins to form at 720°C, but austenite still remains. At 400°C, the remaining austenite transforms to bainite; the final structure contains ferrite and bainite.
- (f) Austenite is present after heating to 820°C; ferrite begins to form at 720°C; some of the remaining austenite transforms to bainite at 400°C, but some austenite still remains after 10 s; the remaining austenite transforms to martensite during quenching. The final structure is ferrite, bainite, and martensite.
- (g) Austenite is present after heating to 820°C. The austenite transforms to martensite during quenching. During reheating to 500°C, the martensite tempers. The final structure is tempered martensite. Note that the TTT diagram isn't really needed for this part of the question.

- Solution:** (a) Austenite forms at 900°C. At 400°C, all of the austenite transforms to bainite. The final structure is all bainite.
- (b) Austenite forms at 900°C. At 600°C, all of the austenite transforms to cementite and pearlite, which gives the final structure.
- (c) Austenite forms at 900°C. All of the austenite transforms to martensite during quenching.
- (d) Austenite forms at 900°C. None of the austenite transforms within 200 s at 300°C; consequently all of the austenite forms martensite during quenching. This is a martempering heat treatment.
- (e) Austenite forms at 900°C. Cementite begins to form at 675°C; the remainder of the austenite transforms to martensite during quenching to 25°C. The final structure is cementite and martensite.
- (f) Austenite forms at 900°C. Cementite begins to form at 675°C. The remaining austenite transforms to bainite at 400°C. The final structure is cementite and bainite.
- (g) Austenite forms at 900°C. Cementite begins to form at 675°C. At 300°C, some of the remaining austenite transforms to bainite, but the B_f line is not crossed. The remaining austenite forms martensite during air cooling. The final structure is cementite, bainite, and martensite.
- (h) Austenite forms at 900°C. No transformation occurs at 300°C, since the time is too short. Consequently all of the austenite transforms to martensite during quenching. Reheating to 450°C for 3600 s (1 hour) tempers the martensite. The final structure is tempered martensite.

- Solution:** (a) Austenitize at 820°C
Quench to 600°C and hold for more than 10 s
Cool to room temperature
- (b) Austenitize at 900°C
quench to 640°C and hold for more than 10 s
Cool to room temperature
- (c) Austenitize at 780°C
Quench to 600°C for more than 10 s
Cool to room temperature
- (d) Austenitize at 820°C
quench to 390°C and hold for 100 s
Cool to room temperature
- (e) Austenitize at 900°C
quench to 320°C and hold for 5000 s
Cool to room temperature
- (f) Austenitize at 780°C
quench to 330°C and hold for 1000 s
Cool to room temperature

12–13 Recommend appropriate isothermal heat treatments to obtain the following, including appropriate temperatures and times:

- an isothermally annealed 1050 steel with HRC 23
- an isothermally annealed 10110 steel with HRC 40
- an isothermally annealed 1080 steel with HRC 38
- an austempered 1050 steel with HRC 40
- an austempered 10110 steel with HRC 55
- an austempered 1080 steel with HRC 50

