

# DEMİR-KARBON DENGİ DİYAGRAMI

## DEMİR KARBON ALAŞIM SİSTEMİ

- Demir pek çok mühendislik alaşımının temelini oluşturan bir metaldir.
- Külçe demir olarak bilinen ve hemen hemen saf durumdaki **demir** çatı, kanalizasyon, soba ve kokil kalıp yapımı gibi uygulamalarda kullanılır.
- Tipik bir külçe demir %0,012C, 0,017Mn, 0,005P, 0,0025S ve eser miktarda Si içerir.
- Saf demirin çekme dayanımı  $276\text{MPa}$ , kopma uzaması %40 ve sertliği 30 *RSD-B* civarındadır.
- Saf demirin sertlik ve mukavemeti pek çok uygulama için yeterli değildir.
- Demir allotropik bir metaldir. Kafes yapısı sıcaklığa göre değişir.
- Demirin soğuma eğrisinden bu durum görülebilir. Üç türlü allotropik değişim gösteren demir, belirli sıcaklık aralıklarında kararlı bir durum sergiler.

# DEMİR – KARBON DENGESİ DİYAGRAMI

➤ Saf demire teknolojik özellik kazandıran karbon'dur.

Saf demir'in

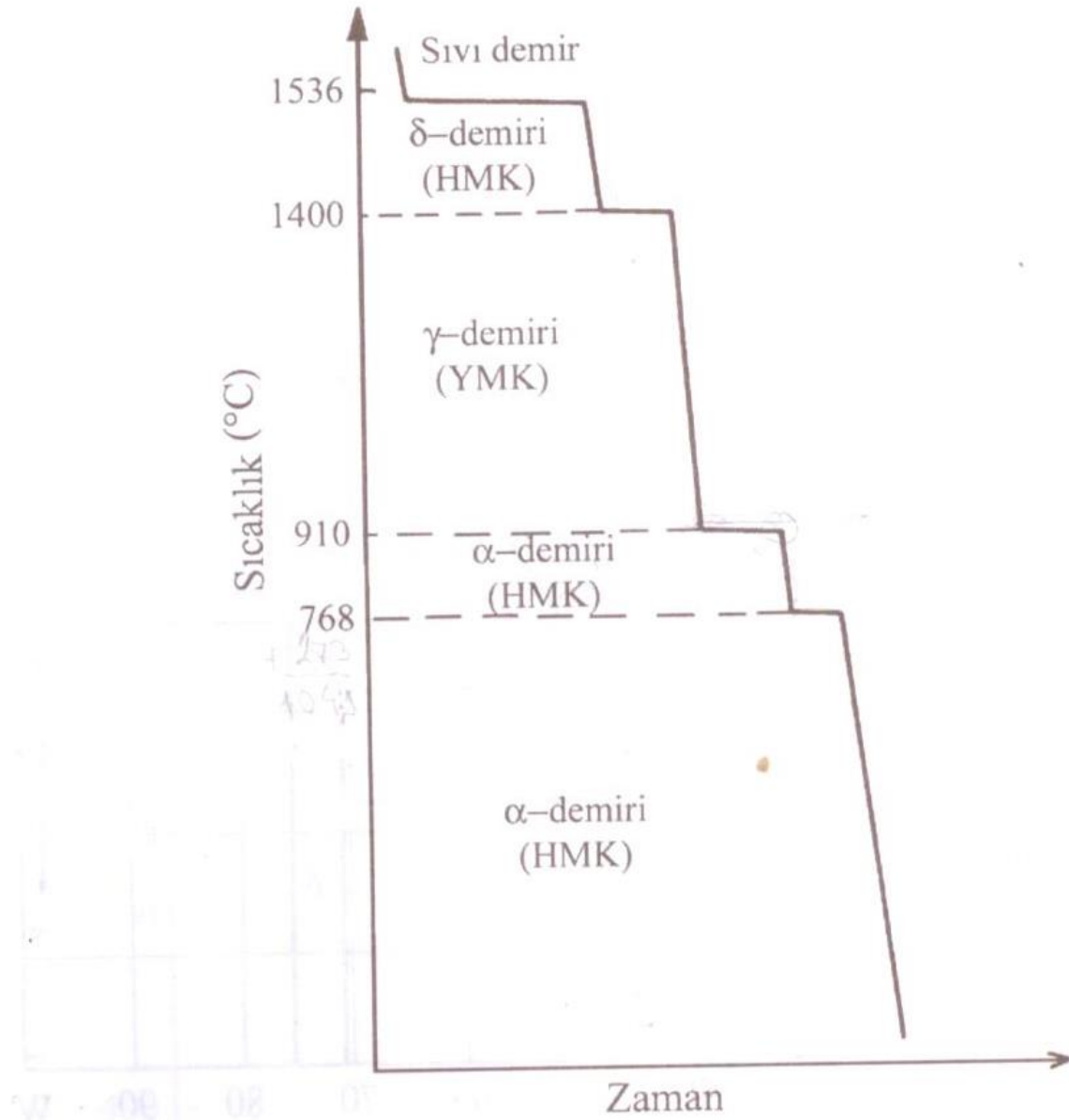
- yoğunluğu ;  $7,8 \text{ g/cm}^3$
- sertliği ; 60 HB
- Akma mukavemeti ;  $10 \text{ N/mm}^2$
- Çekme mukavemeti ;  $20 \text{ N/mm}^2$
- Kopma uzaması ; % 50
- Kesit daralması ; % 80

➤ Saf demir mukavemetinin düşük olması nedeniyle teknolojik öneme sahip değildir.

➤ Saf karbon'un da mukavemeti düşüktür.

➤ Tek başına önemli bir malzeme değildir.

➤ Demirle karbon bir araya getirilirse bu ikiliden **ÇELİK** ve **DÖKME DEMİR** adında iki yeni mekanik özellikleri farklı alaşımlar meydana getirilir.



Şekil 6.1 Saf demirin soğuma eğrisi

# ALAŞIMLAMA

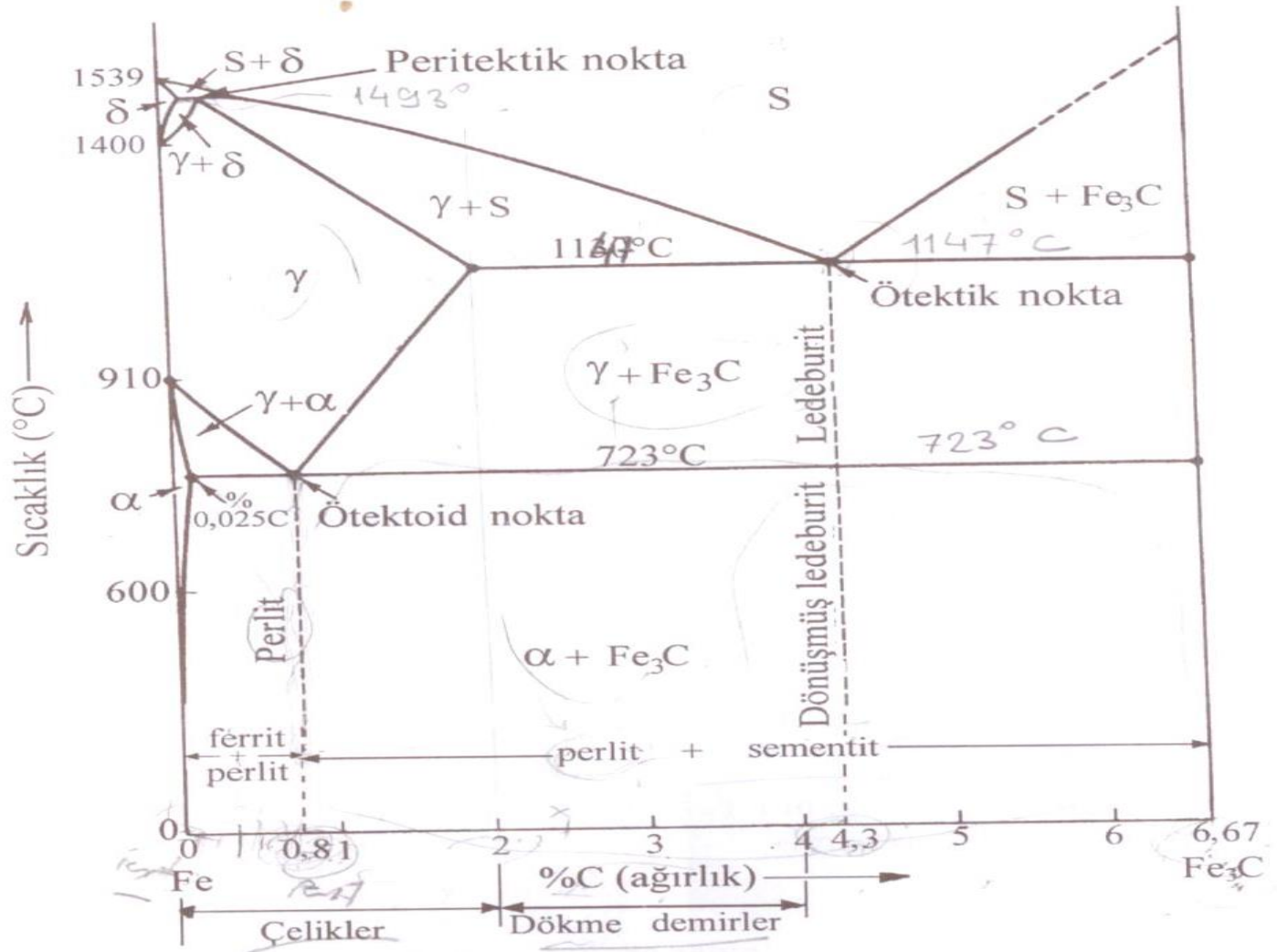
- Sıvı bir alaşımın katılaştığında, atomlar organize olmaya çalışırlar, kristal yapılarını değiştirerek termodinamik olarak dengeye ulaşmaya çalışırlar.
- İki farklı atom için; **a)** biri birinden farksız atomlar, **b)** biri birilerini çekenler, **c)** biri birilerini iten atomlar. Başka bir deyişle, farklı iki atomun biri birileri içerisinde karıştıklarında iç enerjilerinin **a)** değişmemesi, **b)** düşmesi, **c)** artması (atomların kendi kendilerini organize ederlerken benzer olmayan en yakın komşu sayısını arttırmaları) gibi değişimler gerçekleşebilir.
- Eğer atomlar farklı değiller ise ikinci elementin atomları rasgele biçimde yapıda dağılır. Benzer olmayan atomların organizasyonunda ise atomların biri birilerinin çekim kuvveti organizasyonu belirler. Bu tip yapılara düzenlenmiş ***katı çözeltiler*** denir.
- Eğer alaşımın elementleri arasında elektrokimyasal farklılıklar varsa elementlerin atomları arasındaki bağ kısmen iyonik olacaktır. Oluşacak yapı genellikle ***intermetalik bileşik*** olarak adlandırılır.
- Eğer benzer olmayan atomlar arasında benzer atomlara göre daha az bir çekim varsa farklı kompozisyonlarda taneler oluşacaktır. Bazı tanelerde **A** atomları daha fazlayken bazılarında **B** atomları daha fazla olabilecektir. Bu heterojen yapı ***faz karışımı*** olarak bilinir.

Karbon, alotropik değişim gösteren demir içerisinde çözünerek farklı arayer bileşiği ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) oluşturmaya veya tamamen serbest yani grafit (C) halinde bulunmasına göre,

- demir (Fe)-Sementit ( $\text{Fe}_3\text{C}$ )
- demir (Fe)-grafit (C) faz diyagramı söz konusu olur.
- Bu faz diyagramından çelik ve dökme demirlerin incelenmesinde büyük ölçüde yararlanılır.

### **Demir –Sementit ( $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ ) faz Diyagramı**

- Sementit ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) bileşiği ağırlık olarak %6,67 oranında karbon içerir. Söz konusu bileşiğin meydana gelmesi durumunda, demir-karbon sisteminde Fe- $\text{Fe}_3\text{C}$  diyagramı geçerli olur.
- Fe- $\text{Fe}_3\text{C}$  denge diyagramı Şekil 6.2 de verilmiştir. Bu diyagram peritektik, ötektik ve ötektoid noktaları içermektedir.
- Karbon oranı %0,8 den az olan çeliklere ötektoid altı çelikler, %0,8 olan çeliklere ötektoid çelikler, %0,8 den fazla olanlara da ötektoid üstü çelikler denir

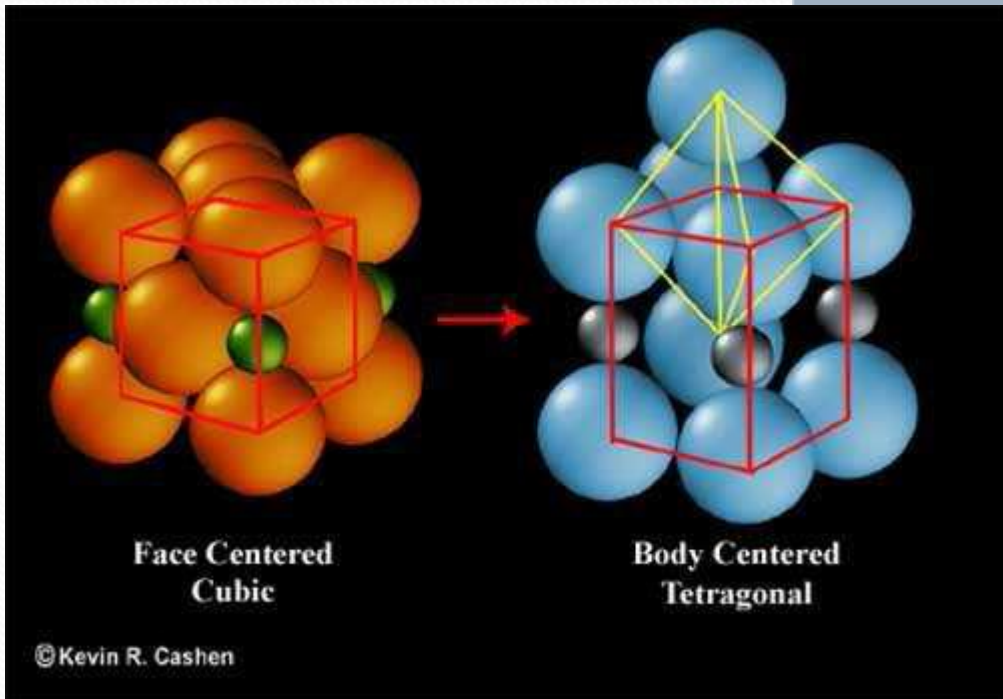
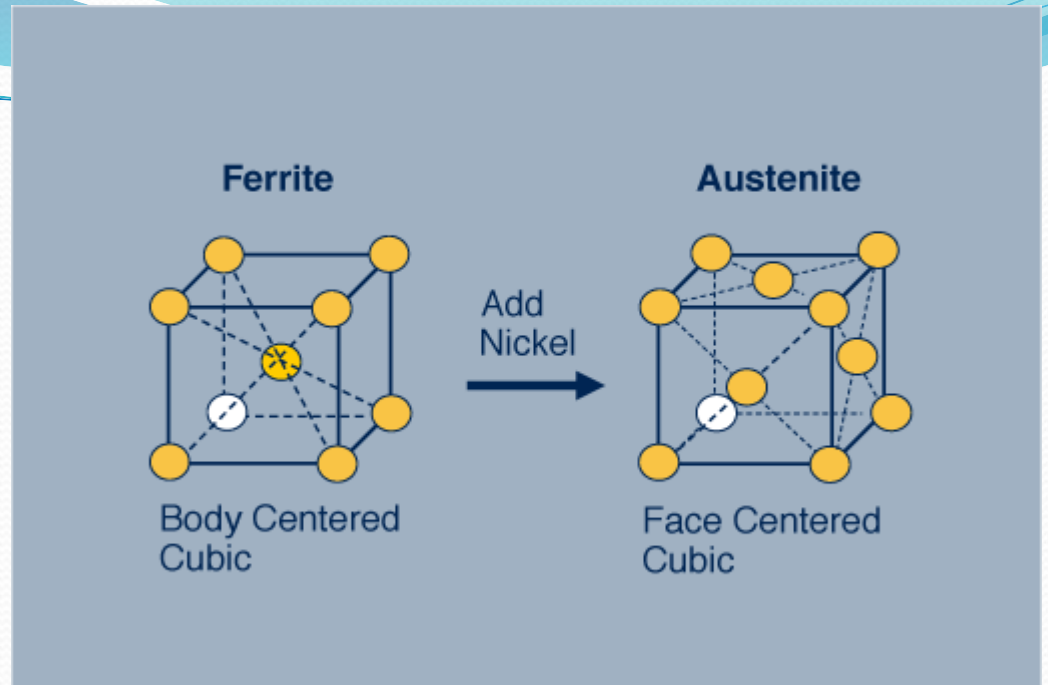
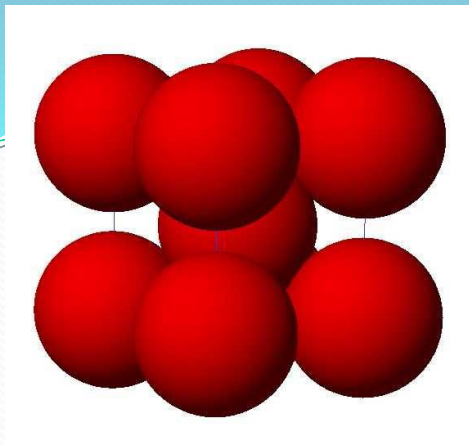


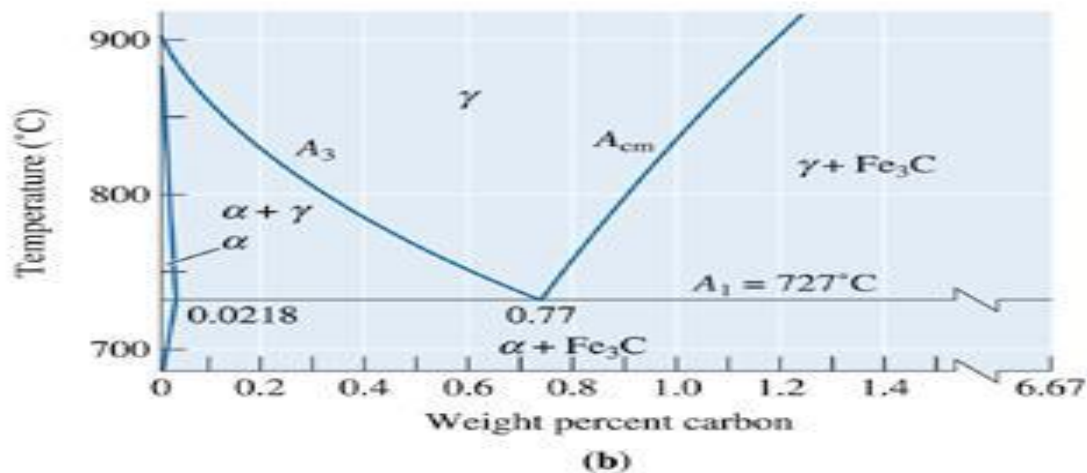
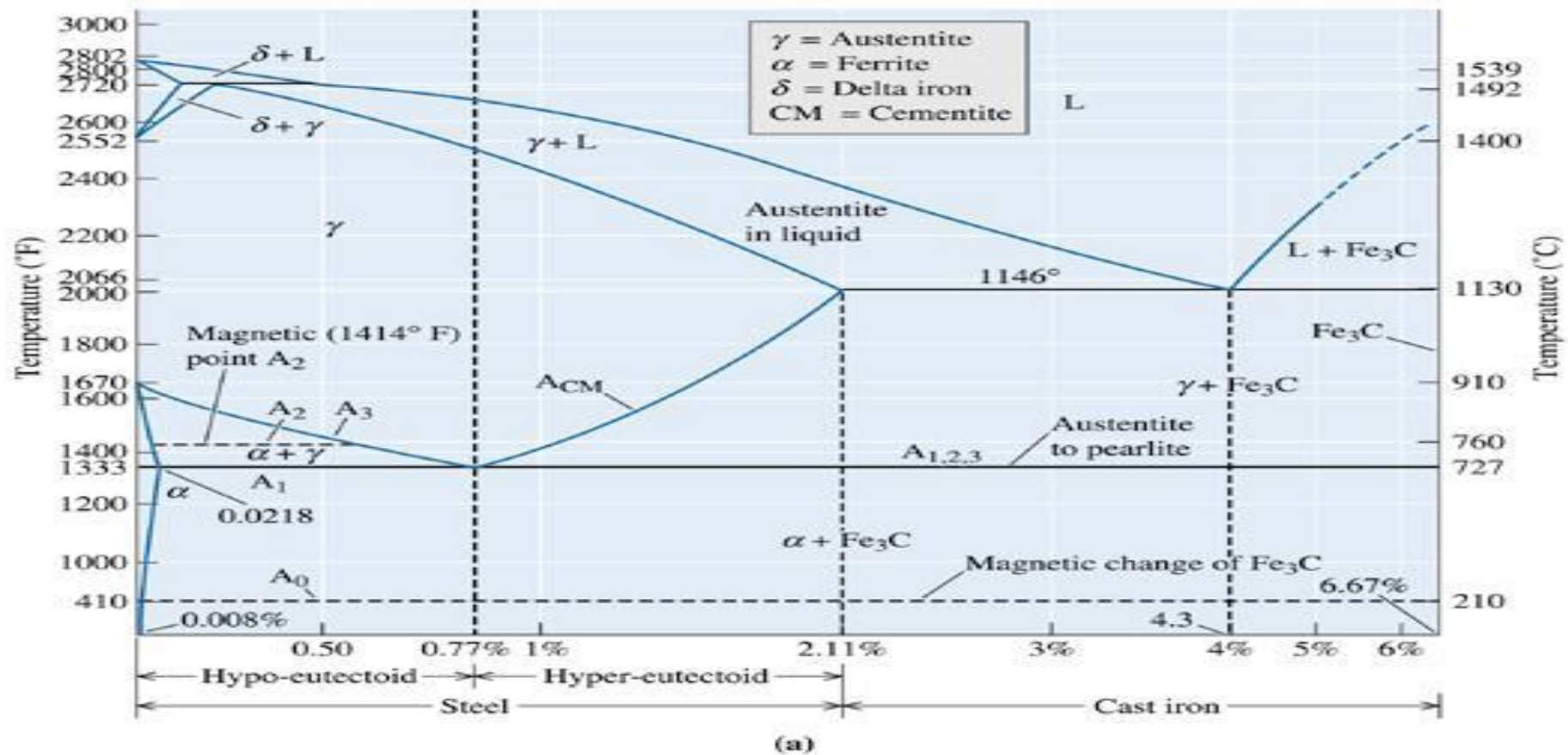
Şekil 6.2 Demir (Fe) - sementit (Fe<sub>3</sub>C) denge diyagramı

# DEMİR –SEMENTİT DENGİ DİYAGRAMINDAKİ FAZLAR

**a) Ostenit:** karbonun YMK yapılı  $\gamma$ -demiri içinde çözünmesiyle oluşan bir arayer katı çözeltisidir. Bu faz, 1147 C sıcaklıkta, %0.20 oranında karbon çözündürür. Çekme mukavemeti 1030 MPa, kopma uzaması %10 ve sertliği 40 RSD-C civarında olan ostenitin tokluğu oldukça yüksektir. Normal olarak oda sıcaklığında kararsız bir faz olmasına karşın, bazı özel durumlarda oda sıcaklığında da ostenit elde edilebilir. Ostenitin metalografik yapısı Şekil 6.4a da görülmektedir.

**b) Ferrit :** HMK yapılı  $\alpha$ -demir içinde çok az orandaki karbonun çözünmesiyle oluşan arayer katı çözeltisidir. Bu faz içinde 723 C sıcaklıkta %0.025 oranında karbon çözünürken, bu oran oda sıcaklığında %0.008 değerine düşer. Ferrit Fe-C sistemindeki en yumuşak fazdır. Çekme mukavemeti 270 MPa, kopma uzaması %40 ve sertliği 90 RSD-B civarındadır. Şekil 6.4b de ferritik yapı görülmektedir.

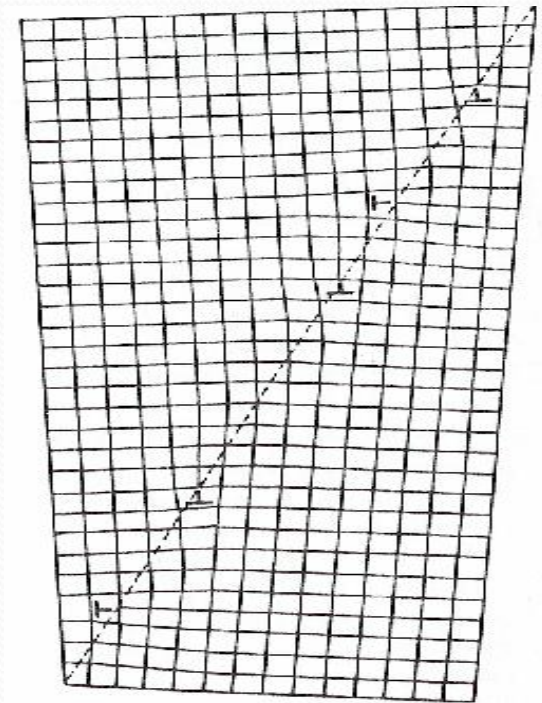
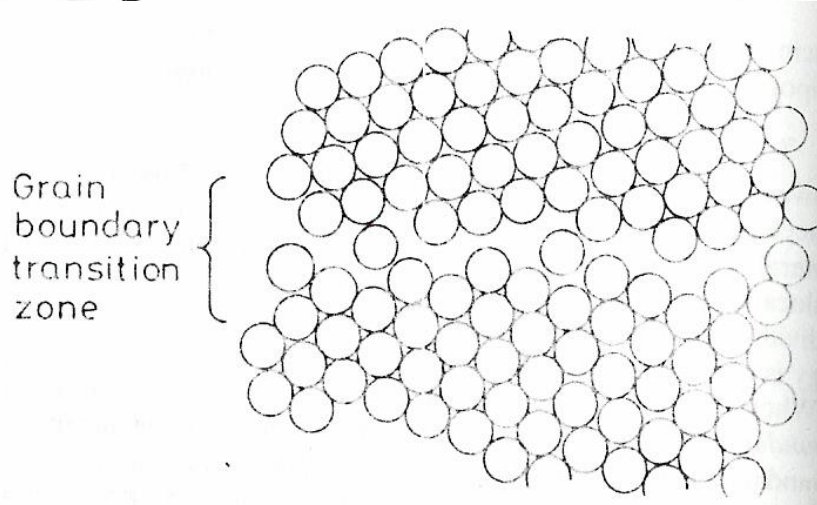
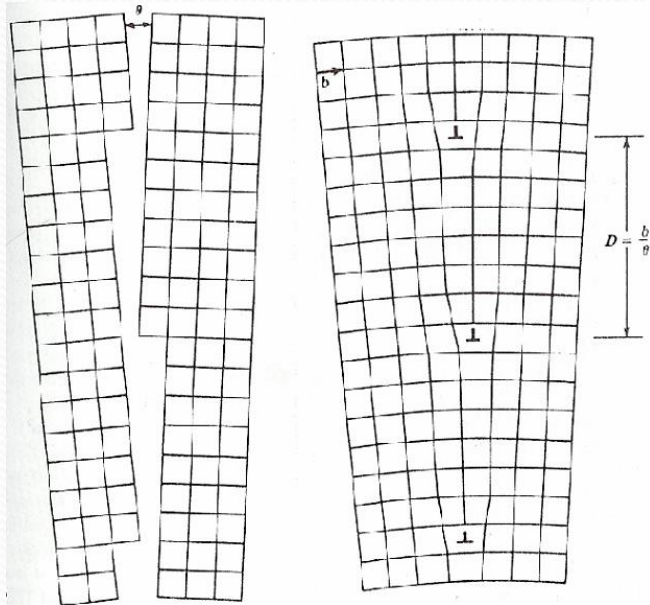




(a) Fe-Fe<sub>3</sub>C faz diagramının ötektoid kısmı. (b) Fe-C diagramının genişletilmiş versiyonu.



# Tane Sınırı ve Kristal yapısı

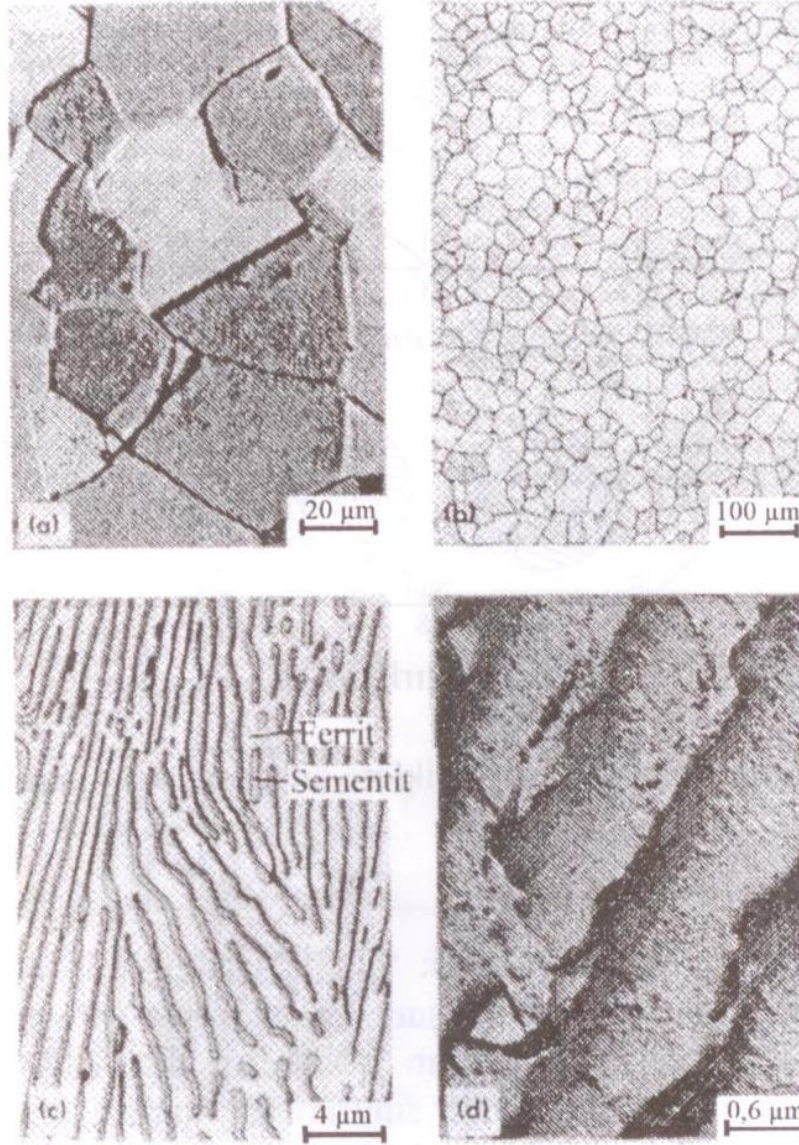


c) **Sementit ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ):** Kimyasal formülü  $\text{Fe}_3\text{C}$  olan sementit (demir karbür) % 6,67 ağırlık oranında karbon içerir. Sert ve gevrek bir arayer bileşiği olan sementit, düşük çekme mukavemetine (35 MPa) ve nispeten yüksek basma mukavemetine sahiptir. Fe-C diyagramındaki en sert faz olup, ortonombik kristal yapıya sahiptir.

d) **Perlit ( $\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ ):** %0,8 C içeren çeliğin, ostenit bölgesinden yavaş soğutulması sırasında  $723^\circ\text{C}$  sıcaklıkta meydana gelen ötektoid dönüşüm sonucunda oluşan bir yapıdır. Perlit, ferrit ve sementit lamellerinden oluşur ve bu yapıdaki beyaz renkli ferrit matrisi oluşturur, koyu renkli lameller ise sementit fazını gösterir. Perlitik yapının ışık mikroskobu ile elde edilen görüntüsü Şekil 6.4c'de, elektron mikroskobu ile elde edilen görüntüsü ise Şekil 6.4d'de verilmiştir.

e) **Ledeburit:** Sementit ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) ve ostenit ( $\gamma$ ) tanelerinden oluşan ve %4,3 oranında karbon içeren ötektik karışımdır.

f) **Dönüşmüş ledeburit:** Ötektoid sıcaklığın ( $723^\circ\text{C}$ ) altındaki ledeburit demektir. Bu yapıdaki ostenit taneleri perlite dönüşmüş durumda bulunur.



Şekil 6.4 (a) Ostenit, (b) ferrit ve (c) perlitin metalografik yapıları ile (d) perlitin elektron mikroskobu ile elde edilen görüntüsü

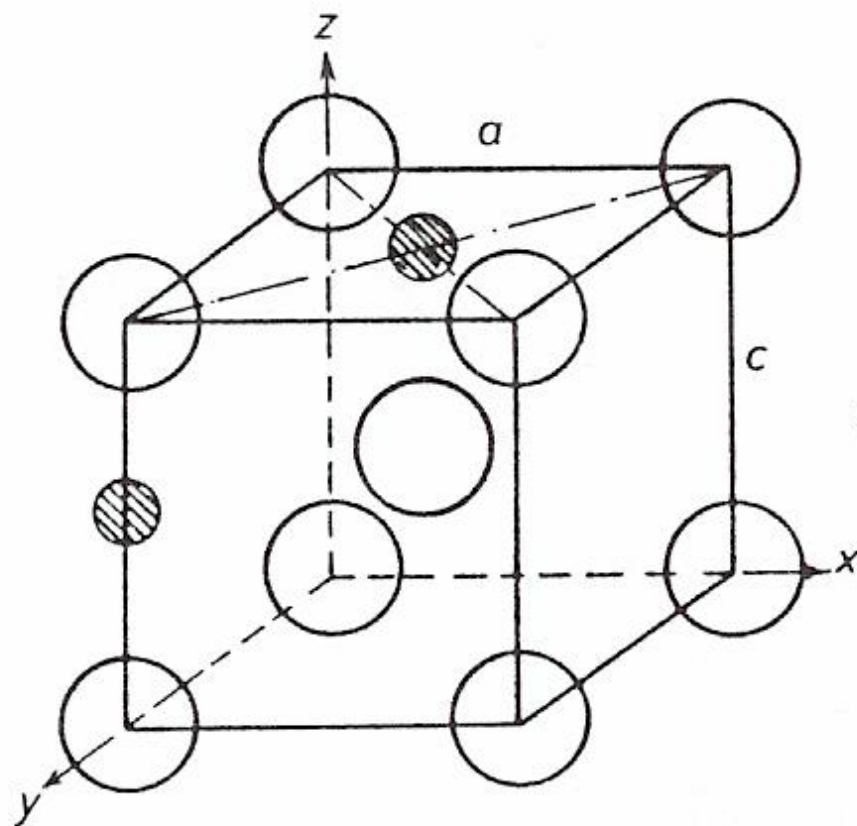
## **g) Martenzit**

- Bir çelik östenit bölgesine ısıtıldıktan sonra hızlı bir biçimde suya çekildiğinde martensitik dönüşümü teşekkül eder.
- Düşük karbonlu %0.6 C'dan daha fazla karbonlu çeliklerde “YMK östenit” fazı yarı kararlı olan faza dönüşür.
- Bu faz östenit fazı içerisinde plakalar halinde 0,0001 saniyeden daha kısa bir süre içerisinde teşekkül eder.
- Martensit fazı yarı kararlı olduğundan sadece hızlı soğutmalar neticesinde teşekkül eder.
- Oldukça yavaş soğutmalarda yarı kararlı martenzit çekirdekleşme ve büyüme mekanizması ile dengeli bir yapı olan ferrit ve sementit yapılarına dönüşür.
- Martensit dönüşümü esnasında bütün atomlar hareket ederken, klasik çekirdekleşme ve büyüme mekanizmasında atomik hareket kütleli değil de, bireyseldir.

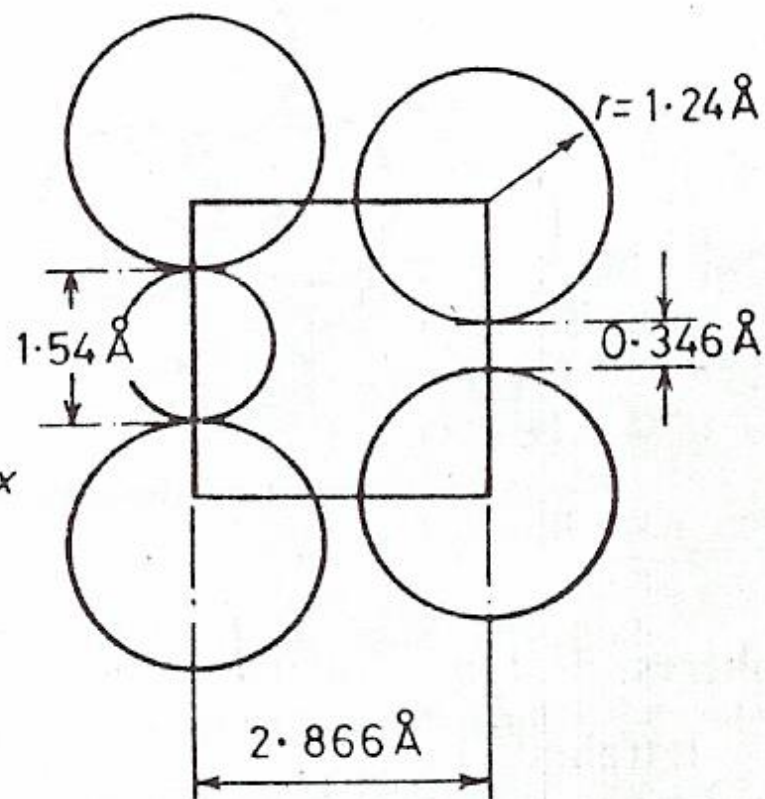
## Karbonun demir içinde katı çözünümü

- YMK kristalde arayer atomlarının yerleşebilecekleri iki pozisyon tetrahedral (dört atomla çevrili yerleşke) ve oktahedral (altı atomla çevrili yerleşke) mevcuttur.
- Bu boşlukların ebatları  $d_4=0.225D$ , ve  $d_6=0.414D$  olarak hesaplanabilir.
- D matris atomunun çapıdır. Östenitte ve oda sıcaklığında  $D=2.52 \text{ Å}$  dur.
- $0.568 \text{ Å}$  ebatlı arayer atomları veya  $1.044 \text{ Å}$  ebatlı atomlar tetrahedral ve oktahedral pozisyonlara yerleşebilirler.
- Karbonda  $D= 1.54 \text{ Å}$  dur. Bu nedenle östenit kafesinde deformasyon oluşur.
- HMK kafes türünde üç muhtemel oktahedral yerleşke mevcuttur.
- $(\frac{1}{2}[100], \frac{1}{2}[010], \frac{1}{2}[001])$ , ve altı muhtemel tetrahedral yerleşke. Kafesin deforme olmadan alabileceği arayer atomlarının ebatları;  $d_4=0.291D$ , ve  $d_6=0.155D$ .
- KHM kafesinde muhtemel yerleşke sayısı çok olmasına rağmen, arayer yerleşkesi için gerekli yerleşke sayısı YMK ye göre daha azdır.
- Demir malzemedde HMK yapısında  $d_6 < d_4$  olmasına rağmen karbon ve nitrojen atomları oktahedral yerleşkelere yerleşme meylindedirler.
- Bu nedenle HMK kafes yapısı  $\langle 100 \rangle$  istikametinde komşu atom sayısındaki azlık nedeniyle tetrahedral arayer atomlu pozisyonlara göre daha zayıftır. Saf karbon ve nitrojenin atomik çapları  $1.54$  ve  $1.44 \text{ Å}$  dur .

Bu sonuçlar göstermektedir ki martensitin ebatları arasındaki oran  
 $c/a= 1.005+0.045(\text{wt\% C})$



(a)



(b)

## **h) Beynit**

Karbon ve sementit'e “doymuş a ferrit” karışımıdır.

Perlit yapıdan pek farklı bir yapıdır.Daha serttir. İğne şeklinde tane yapısına sahiptir.İlk soğutma hızlı, sonra yavaş olması halinde bu yapı oluşur

## 6.2.2 Demir-Sementit Sistemindeki Faz Dönüşümleri

a) **Peritektik dönüşüm** (  $S + \delta \rightleftharpoons \gamma$  ): Bu dönüşüm %0,18C içeren alaşımsız çelikte 1492 °C sıcaklıkta meydana gelir .

b) **Ötektik dönüşüm** (  $S \rightleftharpoons \gamma + Fe_3C$  ) : Bu dönüşüm % 4,3C içeren Fe-C alaşımında 1130 °C sıcaklıkta meydana gelir.

c) **Ötektoid dönüşüm** (  $\gamma \rightleftharpoons \alpha + Fe_3C$  ) : % 0,80C içeren çelikte 723 °C sıcaklıkta meydana gelir.

## 6.2.3 Çeliklerde Soğuma Sırasında Oluşan İç Yapılar

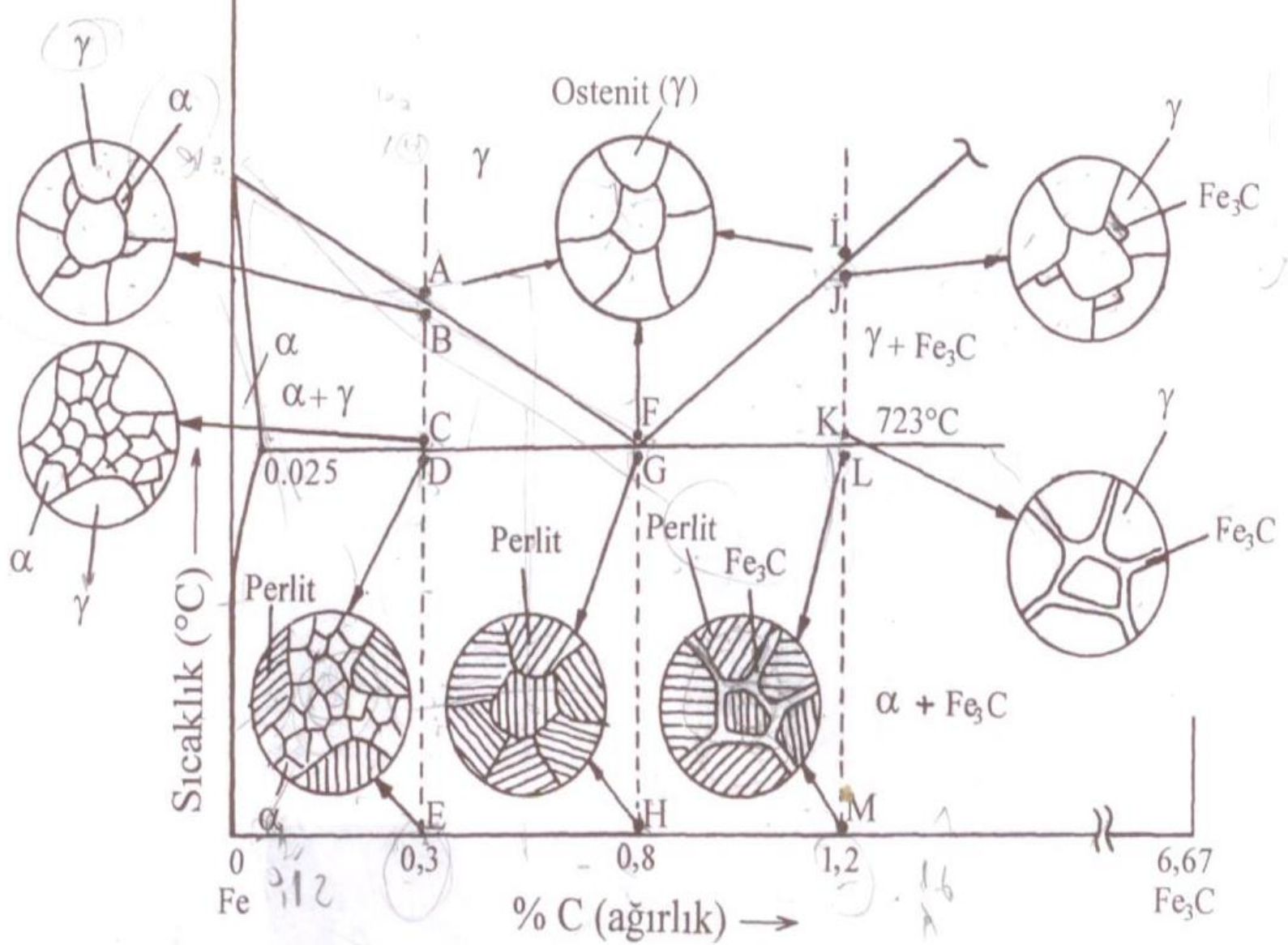
Şekil 6.5'de Fe-Fe<sub>3</sub>C denge diyagramının çeliklere ait kısmı ile bazı çeliklerin ostenit fazından yavaş soğutulması sırasında oluşan iç yapılar görülmektedir.

## **Dönüşüm sıcaklıkları ( A1 , A3 , Acm ):**

**A1** : Isıtırken östenitin oluşmaya başladığı sıcaklık

**A3** : Ötektoid altı çeliklerde ısıtırken ferrit'in ostenit'e dönüşümünü tamamladığı sıcaklık.

**Acm** : Ötektoid üstü çeliklerde, ısıtırken sementit'in ostenite dönüşümün tamamlandığı sıcaklıktır.



Şekil 6.5 Fe-Fe<sub>3</sub>C denge diyagramının çeliklere ait kısmı ve soğuma sırasında oluşan iç yapılar

Yukarıdaki şekilden görüldüğü gibi; %0,3C içeren çelik A noktasında %0,3C oranına sahip ostenit ( $\gamma$ ) tanelerinden oluşur. B noktasında karbon atomları yayınarak uzaklaşmaya başlar ve demir atomlarının YMK yapıdan HMK yapıya geçmeleri sonucunda, çoğunlukla ostenit tanelerinin sınırlarında karbon oranı düşük olan ferrit ( $\alpha$ ) taneleri oluşmaya başlar. C noktasında ferrit taneleri çoğalır ve yapıdaki ostenit fazının karbon oranı artarak %0,8 değerine ulaşır. D noktasında, ostenit taneleri tamamen perlite dönüşmüş durumda bulunur. E noktasına kadar soğutulan çelikte önemli bir faz dönüşümü meydana gelmediğinden, iç yapı D noktasındaki yapının

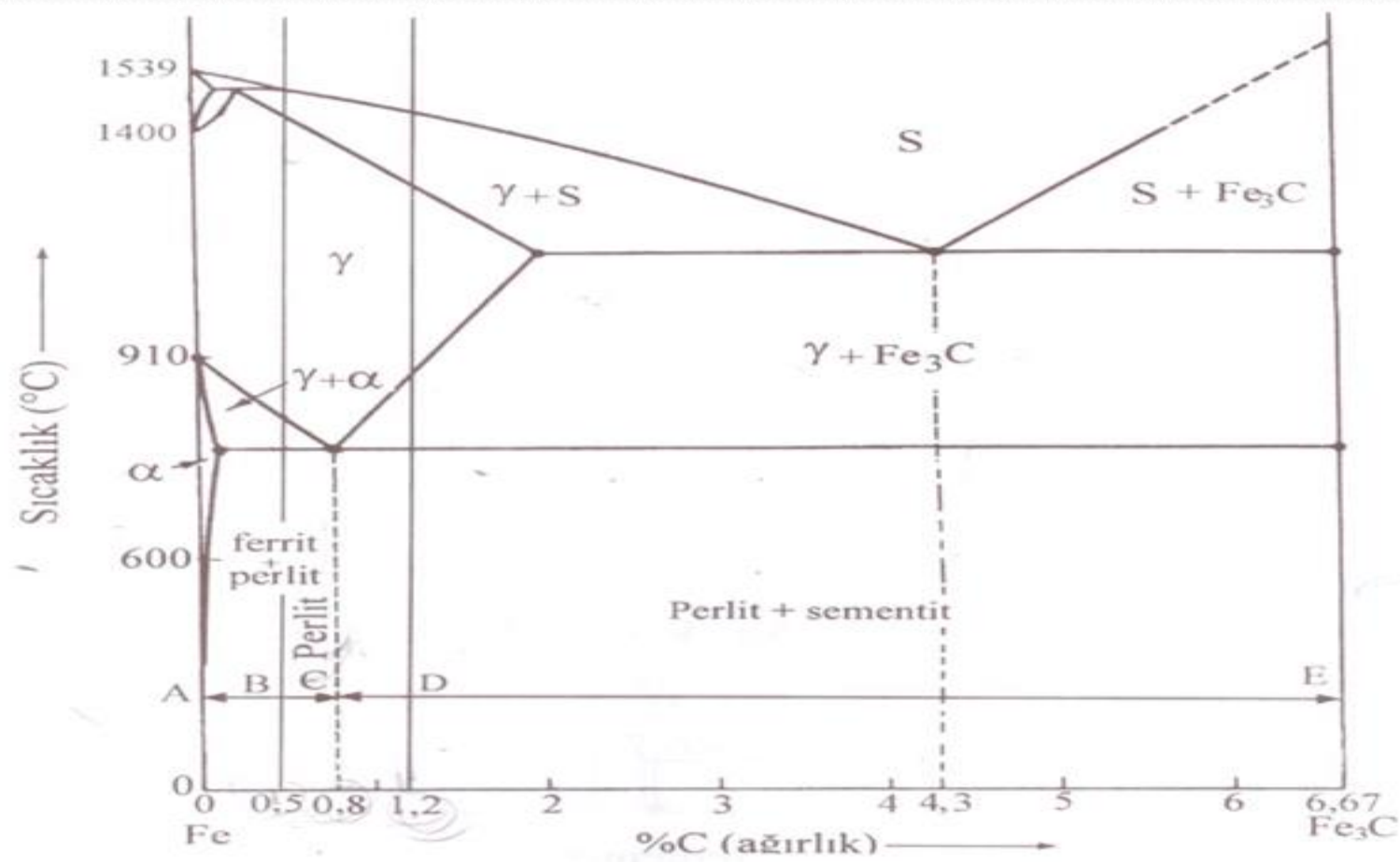
aynısı olur. % 0,8C içeren çeliğin F noktasındaki yapısı ise %0,8C içeren ostenit tanelerinden oluşur. Bu yapı da G noktasında perlitik yapıya dönüşür. Bu dönüşümde, karbon atomları tane sınırlarından başlayıp, içeri doğru büyüyen sementit lamellerini oluşturacak şekilde bir araya gelir ve lamellerin aralarında karbonca fakir ferrit bölgeleri kalır. H noktasındaki yapı G noktasındaki yapının aynısı olur.

%1,20 C içeren çelik I noktasında ostenit tanelerinden oluşur. J noktasında karbon atomlarının tane sınırlarına yayınması ile bu noktalarda sementit çökelmeye başlar. K noktasında soğuma sırasında sürekli artan sementit bütün tane sınırlarını kaplar ve ayrıca ostenit içerisinde çözünen karbon oranı da sürekli azalarak bu noktada %0,8 değerine düşer. L noktasında ise arta kalan ostenit fazı tamamen perlitik yapıya dönüşmüş durumdadır. M noktasındaki yapı, L noktasındaki yapının aynısı olur. Bu yapıda bulunan ötektoid dışı sementitin oranı perlitin oranından çok düşüktür, ancak bu fazın sürekli bir ağ oluşturması çeliği sert ve gevrek yapmaktadır.

### 6.2.4 Demir-Sementit Faz Diyagramı ile İlgili Bazı Uygulamalar

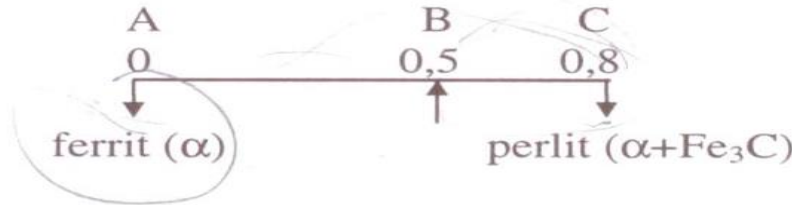
a) % 0,5 C içeren alaşımsız çeliğin, oda sıcaklığındaki iç yapısında bulunan fazların yüzde oranlarının belirlenmesi:

Bu çelik Şekil 6.6'daki Fe-Fe<sub>3</sub>C denge diyagramında gösterilmektedir.



Şekil 6.6 % 0,5C ve %1,2C içeren çeliklerin demir - sementit faz diyagramında gösterimi

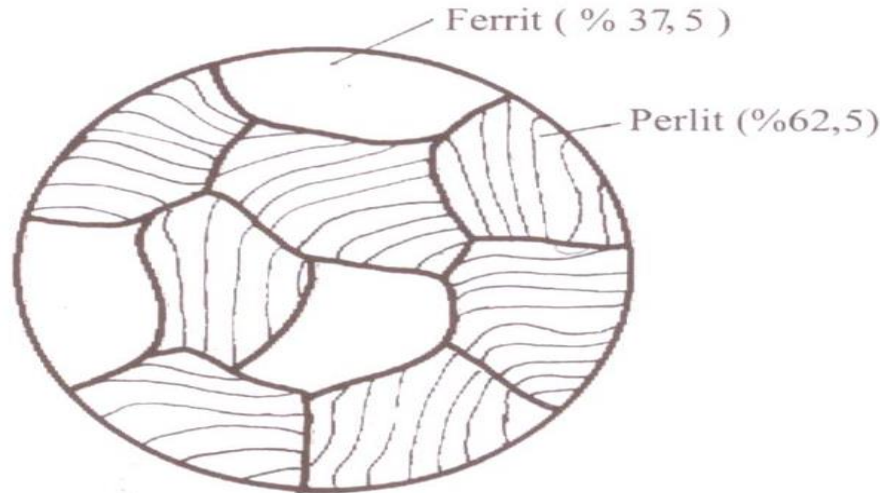
Yukarıdaki denge diyagramındaki gösterimden yararlanarak çizilen kaldıraç aşağıda verilmiştir.



Kaldıraç kuralına göre;

$$\text{Ferrit oranı} = \% \frac{BC}{AC} \times 100 = \% \frac{0,3}{0,8} \times 100 = \%37,5$$

Perlit oranı =  $\% \frac{AB}{AC} \times 100 = \% \frac{0,5}{0,8} \times 100 = \%62,5$  olarak bulunur. Bu sonuçlar, söz konusu çeliğin iç yapısında %37,5 oranında ferrit, %62,5 oranında da perlit bulunduğunu göstermektedir. Bu yapının şematik resmi Şekil 6.7'de gösterilmiştir.



Şekil 6.7 %0,5C içeren alaşımsız çeliğin oda sıcaklığındaki iç yapısının şematik gösterimi

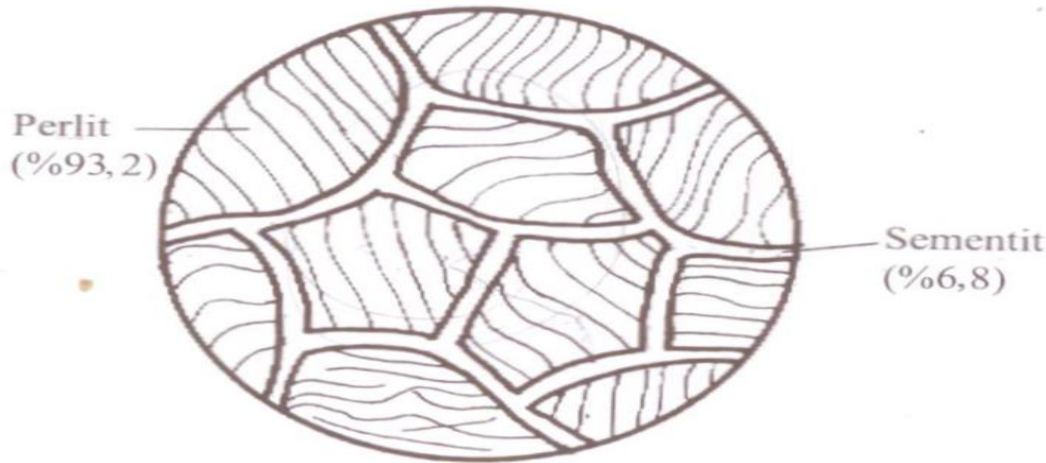
b) %1,2 C içeren çeliğin oda sıcaklığındaki iç yapısında bulunan fazların oranlarının belirlenmesi:

Şekil 6.6'daki denge diyagramına göre kurulan kaldıraç aşağıda verilmiştir.



$$\text{Perlit oranı} = \% \frac{DE}{CE} \times 100 = \% \frac{5,5}{5,9} \times 100 = \%93,2$$

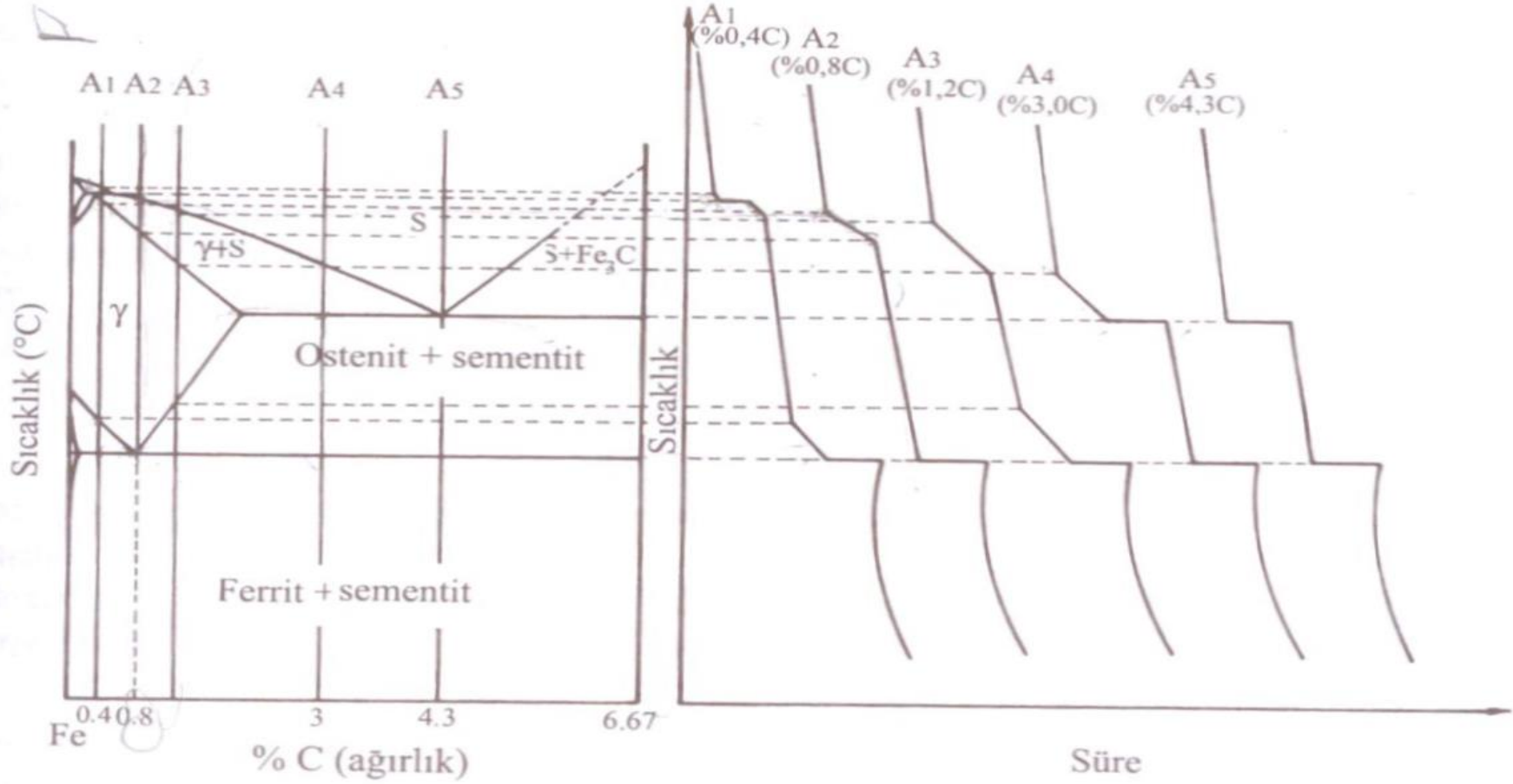
Sementit oranı =  $\% \frac{CD}{CE} \times 100 = \% \frac{0,4}{5,9} \times 100 = \%6,8$  olarak bulunur. %93,2 oranında perlit ve % 6,8 oranında sementit içeren söz konusu yapı Şekil 6.8'de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 6.8 %1,2 C içeren çeliğin iç yapısının şematik resmi

c) % 0,4 C, % 0,8 C ve % 1,2 C içeren çelikler ile % 3,0 C ve %4,3 C içeren Fe-C alaşımlarının soğuma eğrilerinin çizerek gösterimi:

- Söz konusu eğrilerin çizimi Şekil 6.9'daki diyagramlarda gösterilmektedir.



Şekil 6.9 Değişik bileşimlerdeki Fe-C alaşımlarının soğuma eğrileri

**d)** Gibbs faz kuralının Fe-Fe<sub>3</sub>C denge diyagramının ostenit ve ferrit + sementit faz bölgeleri ile ötektoid noktaya uygulanması:

W. Gibbs faz kuralının genel denklemi;  $F + S = B + 2$  şeklinde yazılır. Basıncın sabit olması durumunda söz konusu denklem;  $F + S = B + 1$  şeklini alır.

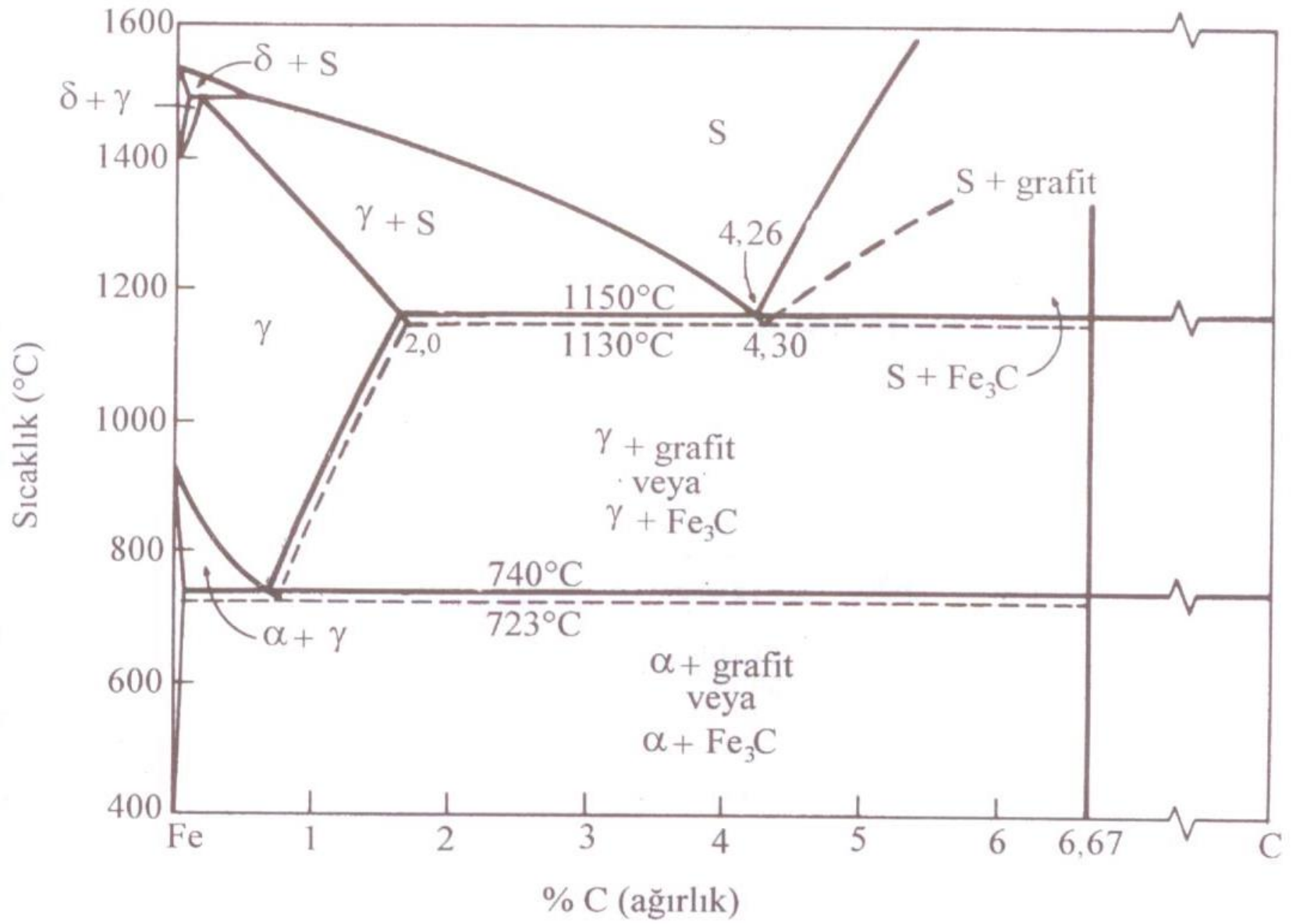
Ostenit faz bölgesi için;  $F = 1$  ve  $B = 2$  'dir. Bu değerler,  $F + S = B + 1$  bağıntısında yerine konulursa;  $1 + S = 2 + 1$  ve  $S = 2$  olarak bulunur. Serbestlik derecesinin (S) 2 olması; ostenit faz bölgesinde sıcaklık ve kimyasal bileşimin belirli sınırlar içersinde birbirinden bağımsız olarak değişebileceğini gösterir. Başka bir deyişle, ostenit faz bölgesi belirli bir sıcaklık ve bileşim aralığında meydana gelir.

Ferrit + sementit faz bölgesi için;  $F = 2$  ve  $B = 2$  'dir. Bu değerler,  $F + S = B + 1$  bağıntısında yerine konursa,  $2 + S = 2 + 1$  olur ve  $S = 1$  olarak bulunur. Serbestlik derecesinin 1 olması; ferrit + sementit faz bölgesinde sıcaklık ve kimyasal bileşimden birinin sabit kalıp, diğerinin değişebileceği anlamına gelir. Başka bir deyişle, söz konusu fazlar ( $\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ ) sabit bir bileşim ve belirli bir sıcaklık aralığında veya sabit bir sıcaklık ve belirli bir bileşim aralığında meydana gelir.

Ötektoid nokta için;  $F = 3$  ve  $B = 2$  'dir. Buna göre;  $F + S = B + 1$  bağıntısından  $S = 0$  olarak bulunur. Serbestlik derecesinin sıfır olması; ötektoid noktada basınçtan başka sıcaklık ve kimyasal bileşimin de sabit olması gerektiği, yani bu noktanın faz diyagramında sabit bir nokta olduğu anlamına gelir.

### 6.3 Demir-Grafit (Fe-C) Denge Diyagramı

Demir-karbon alaşımlarının sıvı durumdan yavaş soğutularak katılaştırılması durumunda, karbon atomlarının demir atomları ile sementit ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) oluşturmaları önlenerek bunun yerine grafit taneleri oluşturulabilir. Diğer taraftan; hızlı soğutularak katılaştırılan, dolayısıyla  $\text{Fe}_3\text{C}$  içeren bir alaşım, yüksek bir sıcaklığa ısıtılıp yeterli bir süre tavlandığında sementit ayrışarak grafitleşme meydana gelebilir. Bu nedenle, demir (Fe)-sementit ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) diyagramı kararsız dengeli (metastabil), demir (Fe)-grafit (C) diyagramı ise dengeli (stabil) durumu yansıtır. İki diyagram arasında sementitin yerini grafitin alması ve bazı küçük ötelenmeler dışında, temel reaksiyonlar bakımından önemli bir fark yoktur. Çelikler genellikle grafitleşme göstermezler. Dolayısıyla Fe-C diyagramı, özellikle dökme demirler için önem taşır. Demir-grafit denge diyagramı Şekil 6.10'da verilmiştir.



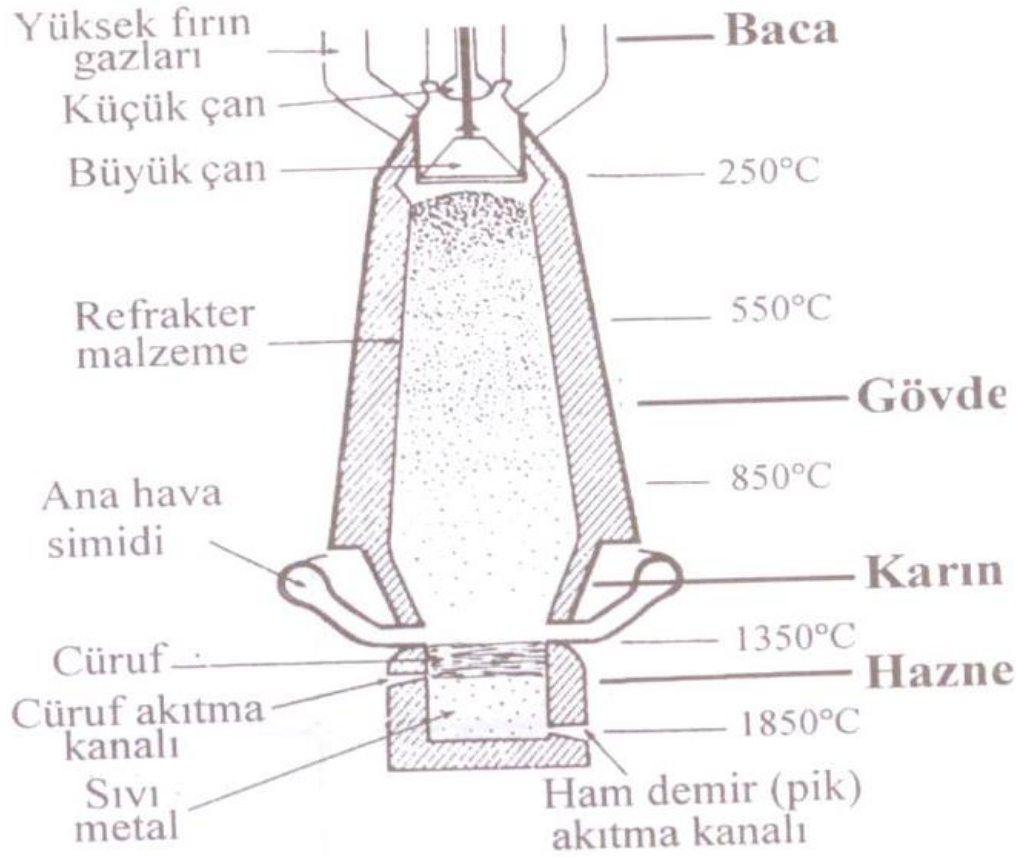
Şekil 6.10 Demir-grafit denge diyagramı

## 6.4.1 Yüksek Fırında Ham Demir (Pik) Üretimi

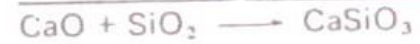
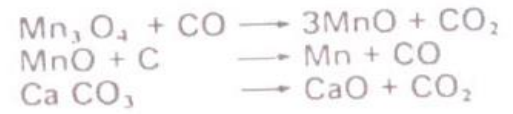
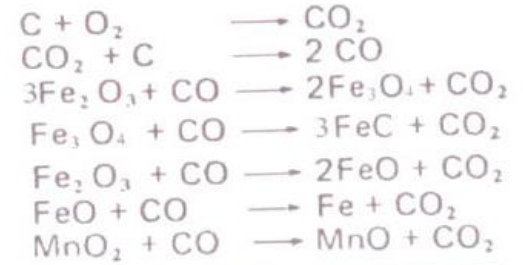
### 6.4.1.1 Yüksek Fırın

Yüksek fırın dikey durumda ve silindirik biçimde olup, 25-30 m'lik yüksekliğe sahiptir. Fırının gövdesi kalın çelik sacdan yapılır ve içi refrakter tuğla ile örülür. Hazne ve taban kısmında yüksek sıcaklığa dayanıklı refrakter tuğlalar kullanılır. Bazı işletmelerde ise şamot tuğla yerine karbon bloklar kullanılmaktadır. Refrakter tuğlaların fırın içindeki kalınlıkları, gövde kısmında 90-100 cm, karın kısmında 75 cm, taban kısmında ise 160-180 cm civarındadır. Yüksek fırın çalıştırılırken tuğla onarımı yapılamaz. Modern yüksek fırınlar gece gündüz çalıştırılarak 3 ile 7 yıl arasında kullanılabilir. Bu süre sonunda fırın durdurulur ve temizlendikten sonra tuğlaları yeniden örülebilir.

Fırının karın kısmının altında bulunan hava boruları (tüyer) ile fırının içeriğine sıcak hava verilir. Bu hava boruları fırının etrafını çevreleyecek şekilde, eşit aralıklarla yerleştirilmiştir. Genellikle, yüksek fırınlarda 10-16 adet tüyer bulunur. Fırının etrafını çevreleyen ve içi refrakter tuğla ile örülü simit şeklindeki ana hava borusundan tüyerlere sıcak hava verilir. Bakır ya da bronzdan yapılan tüyerlerin iç çapları 10 ile 18 cm arasındadır. Çalışma sırasında su ile soğutulan tüyerlerin ömrü, fırının çalışma koşullarına göre birkaç günden birkaç aya kadar değişebilir. Yüksek fırının kesit resmi ve yüksek fırında meydana gelen önemli reaksiyonlar Şekil 6.11'de verilmiştir.



Yüksek fırında meydana gelen önemli reaksiyonlar



Şekil 6.11 Yüksek fırının şematik resmi ve yüksek fırında meydana gelen önemli kimyasal reaksiyonlar

Fırının en sıcak bölgesi olan karın kısmına ergitme bölgesi adı verilir. Fırının üst kısmında çift çan düzeneği vardır ve bu düzenek sayesinde gaz dışarıya kaçmadan fırına şarj verilebilir. Yüksek fırının ana bölümleri aşağıda açıklanmaktadır.

### 6.4.1.2 Doğrudan İndirgeme

Demir oksit bileşimindeki cevher, fırının ocak kısmında kor halinde bulunan kok ile reaksiyona girerek indirgenir. Çelik ve cüruf içerisinde çözünmüş durumda bulunan bazı elementler arasında kimyasal reaksiyonlar meydana gelir. Yüksek fırında meydana gelen önemli reaksiyonlar Şekil 6.11'de verilmiştir. Demir-çelik üretiminde bazik (baz karakterli) ve asidik (asit karakterli) madde deyimleri büyük önem taşır.

**Bazik maddeler:** Baz oluşturuca anlamına gelen bazik deyim, baz niteliği gösteren cisim, ortam ve çözeltiler için kullanılır. Bazik maddeler ise, asitlerle birleşerek onları yanmaz hale getiren maddelere denilir. Örneğin; kalsiyum ve mağnezyum bileşikleri asit veya asit karakterli maddeleri (fosfor ve kükürt gibi) bağlama özelliğine sahip oldukları için, çelik üretiminde bazik maddeleri temsil ederler. Metal üretiminde kullanılan diğer bazik karakterli maddelere örnek olarak; kireç taşı ( $\text{CaCO}_3$ ), sönmemiş kireç ( $\text{CaO}$ ), dolomit ( $\text{Ca, Mg CO}_3$ ) ve manyezit ( $\text{MgCO}_3$ ) verilebilir.

**Asidik maddeler:** Silisyum bileşiklerine denilir. Bunlar bazik maddelerle reaksiyona girerler. Metal üretiminde asidik madde olarak kum, killi şist ve asidik cüruf kullanılır.

Yüksek fırına verilen şarjı oluşturan maddeler aşağıda verilmiştir.

**Demir cevheri:** Magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), Hematit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), Siderit ( $\text{FeCO}_3$ ) ve Limonit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{n H}_2\text{O}$ ).

• **Katkı maddeleri:** Kireç taşı ( $\text{CaCO}_3$ ), sönmemiş kireç ( $\text{CaO}$ ), dolomit ( $\text{Ca, MgCO}_3$ ), kum, killi şist ve asidik cüruf.

Söz konusu şarj, kok ile birlikte fırına verilir. Katı şarj malzemesi ergitilerek sıvı pik ve cüruf elde edilir. Yüksek fırının içine üflenene sıcak hava, kok kömürünü yakarak, aşağıda verilen tepkime sonucunda karbondioksit ( $\text{CO}_2$ ) gazı oluşturur.



Oluşan karbondioksit ( $\text{CO}_2$ ), yüksek sıcaklıkta kok ile yeniden reaksiyona girerek karbonmonoksit ( $\text{CO}$ ) dönüşür.



Bu reaksiyon sonunda meydana gelen ve çoğunluğu azot ( $\text{N}_2$ ) ve karbonmonoksit ( $\text{CO}$ ) karışımından oluşan gaz, fırın içerisinde yükselir. Fırın içerisinde meydana gelen yanma sonunda, fırının sıcaklığı  $1500-1800^\circ\text{C}$  arasındaki değerlere yükselir. Tüyerlerin bulunduğu bölgede elde edilen gaz karışımında % 35  $\text{CO}$  ve % 65  $\text{N}_2$  bulunur. Aşırı ölçüde indirgeyici olan bu gaz karışımı, fırın içinden yukarıya doğru yükselirken rastladığı demir oksitlerin indirgenmesini sağlar. Söz konusu gaz karışımı fırının üst kısmına ulaştığı zaman sıcaklığı  $250^\circ\text{C}$ 'ye kadar düşer. Demir oksitlerin indirgenmesi ise fırına verildikleri andan itibaren başlar. Şekil 6.11'de görüldüğü gibi; demir oksitler hematitden ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) magnetite ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) daha sonra demiroksite ( $\text{FeO}$ ) ve en sonunda da demire ( $\text{Fe}$ ) indirgenir.

↓ Elde edilen pik (ham demir) yaklaşık olarak; % 3,0-4,5 C, % 0,7-3,5 Si, % 0,5-0,8 Mn, % 0,1-0,9 P, % 0,02-0,12 S ve % 90,0-95,0 Fe içerir. Katkı madesi olarak kullanılan  $\text{CaCO}_3$  ve  $\text{CaO}$ , ergime noktası düşük olan bazı karakterli cüruf oluşturur. Yüksek fırın cürufu ise % 30-35  $\text{SiO}_2$ , % 30-35  $\text{CaO}$ , % 10-15  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ve % 2-10  $\text{MgO}$  gibi oksitler içerir.

## 6.4.2 Çelik Üretimi

Çelik, herhangi bir işleme tabi tutulmadan dövülebilen, yani şekil değişimine elverişli ve en çok % 2,06 C içeren demir - sementit alaşımıdır. Yüksek fırından çıkan ham demirin içerisinde %3,0-4,5 oranında karbon, %0,7-3,5 oranında silisyum ve %0,8'den fazla olmamak koşulu ile mangan, fosfor ve kükürt gibi refakat elementleri bulunur. Ancak, çelik içerisinde bulunan kükürt ve fosfor oldukça zararlıdır.

Ham demirde bulunan karbon dahil bütün katkıların oksijene karşı ilgileri fazladır. Bu nedenle sıvı durumdaki ham demire çeşitli yollardan hava veya oksijen vermek suretiyle bu katkılar yakılarak azaltılabilir. Bu işleme "üfleme" adı verilir. Oksijen, önce miktarca en fazla olan demir ile reaksiyona girerek FeO oluşturur. FeO sıvı durumdaki ham demir içerisinde çözünerek refakat elementleri ile reaksiyona girer. Bu şekilde meydana gelen reaksiyonlar aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- |                                                                            |                      |
|----------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| a) $2\text{FeO} + \text{Si} \rightarrow 2\text{Fe} + \text{SiO}_2$         | cüruf                |
| b) $\text{FeO} + \text{Mn} \rightarrow \text{Fe} + \text{MnO}$             | cüruf                |
| c) $\text{FeO} + \text{C} \rightarrow \text{Fe} + \text{CO}$               | baca gazı            |
| d) $2\text{FeO} + \text{S} \rightarrow 2\text{Fe} + \text{SO}_2$           | baca gazı, cüruf     |
| e) $5\text{FeO} + 2\text{P} \rightarrow 5\text{Fe} + \text{P}_2\text{O}_5$ | banyo içinde çözünür |

Yukarıdaki reaksiyonlardan görüldüğü gibi; oksijen, demiroksitten demir refakat elementlerine geçer. Böylece, demir indirgenir ve demir refakat elementleri oksitlenir. Ergitme banyosu içerisindeki iç hareketler ne kadar fazla olursa söz konusu

reaksiyonlar o ölçüde hızlı olur. Üfleme usulünde, üflenen hava sıvı metali karıştırma görevi de yaptığından, reaksiyonlar hızlı olur. Yeni geliştirilen çelik üretim yöntemlerinde döner ergitme banyoları kullanılarak banyo içinde daha fazla hareket elde edilmektedir.

Yukarıdaki reaksiyonlar sonucunda oksitlenen refakat elementlerinin büyük bir kısmı cürufa veya baca gazlarına karışmaktadır. Yalnız fosfor çelik içerisinde kalmaktadır. Fosfor, metal olmayan bir element olduğu için bazik bir madde ile bağlanabilir. Bu nedenle sıvı metale sönmemiş kireç ( $\text{CaO}$ ) katılarak fosforu kalsiyum trifosfat halinde bağlayan bazik bir cüruf oluşturulur.

↓ Ham demirden çelik üretiminin başlıca esasları; **a)** karbon oranını istenilen düzeye indirmek, **b)** mangan ve silisyum oranlarını öngörülen değerlere ( $\text{Mn}$  oranı  $< \%0,8$  ve  $\text{Si}$  oranı  $< \%0,5$ ) indirmek, **c)** teknik ve ekonomik olanaklar ölçüsünde kükürdü alaşımdan uzaklaştırmak ve **d)** çeliğe istenilen oranda alaşım elementi katılmasını sağlamak şeklinde sıralanabilir. 7

### 6.4.3 Çeliğin Katılaşması

↓ Katılaşma durumuna göre çelikler kaynar dökülmüş çelik ve soğuk dökülmüş çelik olmak üzere iki ana gruba ayrılır. Bu çeliklerin üretimi aşağıda açıklanmaktadır.

### 6.4.3.1 Kaynar Dökülmüş Çelik

Sıvı çeliğin soğuması sırasında, önce hemen hemen saf olan demir kristalleri kalıp veya kokil yüzeylerinde katılaşıp sıvıdan ayrışır. Bu nedenle, külçenin en son katılaştığı merkez kısmının karbon oranı, sıvı çeliğin karbon oranından daha fazla olur.<sup>7</sup> Karbon segregasyonu denilen bu olay, kimyasal bir reaksiyonun meydana gelmesine neden olur. Şöyle ki; sıvı çelik içerisinde ancak belirli oranlardaki karbon ve demiroksit aynı anda çözünebilir. Başka bir deyişle; çelikteki C ve FeO oranlarının çarpımı daima sabittir. Bu durum, karbon oranı düşük olan yumuşak çeliklerin çok, karbon oranı yüksek olan sert çeliklerin ise az oranda FeO içermesi anlamına gelir.<sup>1</sup> Bu nedenle, katılaşma sırasında külçenin sıvı durumda bulunan merkez kısmındaki karbon oranı, çeliğin karbon oranının üzerine çıkınca, fazla gelen karbon ;  $C + FeO \rightarrow Fe + CO$  reaksiyonu ile yapıdan atılır. Bu reaksiyon sonucunda oluşan karbonmonoksit (CO) gazı sıvı metal içerisinde kabarcıklar oluşturur. Bu kabarcıklar aşağıdan yukarıya doğru yükselirken sıvı çeliğe kaynıyor görünümü verir. Yükselen kabarcıklar düşük sıcaklıkta ergiyen safsızlık elementlerini külçenin ortasına çeken bir akım meydana getirir. Katılaşmanın başlaması ile kabarcıkların bir kısmı külçenin kenar kısımlarında hapsolür. Kaynar dökümün şematik gösterimi ile kaynar dökülmüş durumdaki çelik külçenin görünümü Şekil 6.17’de verilmiştir. Kaynar dökülmüş çeliklerin özellikleri aşağıda verilmektedir.<sup>7</sup>

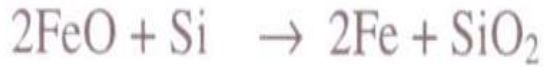
↓ a) Karbon oranı düşük olan çelik külçelerin yüzeylerinin altında ve belirli derinliklerde kabarcık demeti veya gaz boşlukları (gözenek) oluşur. Oluşan boşluklar, dış havaya açık olmadıklarından pürüzsüz metalik yüzeylerini muhafaza ederler. Bu nedenle söz konusu gözenekler, sıcak dövme ve haddeleme sırasında kaynayarak yok olabilirler.

b) Dökülmüş külçenin merkezinde segregasyon bölgesi oluşur ve bu bölge kükürt ve fosfor içerir.

c) Hapsolan gaz kabarcıkları, katılaşan metalin kendini çekme oranını karşıladığından az miktarda çekme boşluğu oluşur.<sup>7</sup> Bu sayede, döküm yüzeyini düzeltmek için külçenin kesilen kısmı azalarak daha yüksek verimde üretim yapılabilir. Üretilen külçenin yaklaşık %90'ı ara ürün olarak haddelenebilir.

### 6.4.3.2 Sakin Dökülmüş Çelik

Külçe içerisindeki kabarcık demeti veya gaz boşlukları her zaman haddeleme, presleme veya dövme gibi sıcak şekil verme işlemleri ile yok edilemez. Ayrıca, döküm yöntemiyle üretilen çelik parçaların çoğu şekil değişimine tabi tutulmadıklarından, kabarcıklar iç hatalar şeklinde yapıda kalır. Öte yandan, sert çelikler ile alaşımlı çelikler, yırtılmaların meydana gelmemesi için yumuşak çeliklere göre daha düşük basınçlarda haddelendiklerinden, bu çeliklerdeki gaz boşluklarının ezilme ile yok edilmesi mümkün olmayabilir. Bu nedenle, sert ve alaşımlı çeliklerin gaz oluşmadan dökülmeleri ve kokil içerisindeki katılaşmanın sakın olması gerekir. Gaz oluşumunu önlemek için çözünen demir oksit ( $\text{FeO}$ ); Al, Ti, Ca, Si, Mn ve Mg gibi sıvı veya katı ürünler veren deoksidasyon maddeleri ile indirgenir. Bu maddeler, sıvı metalin akıtılması sırasında tek veya birarada döküm potalarına atılır. Ortaya çıkan reaksiyonlardan bazıları aşağıda verilmiştir.



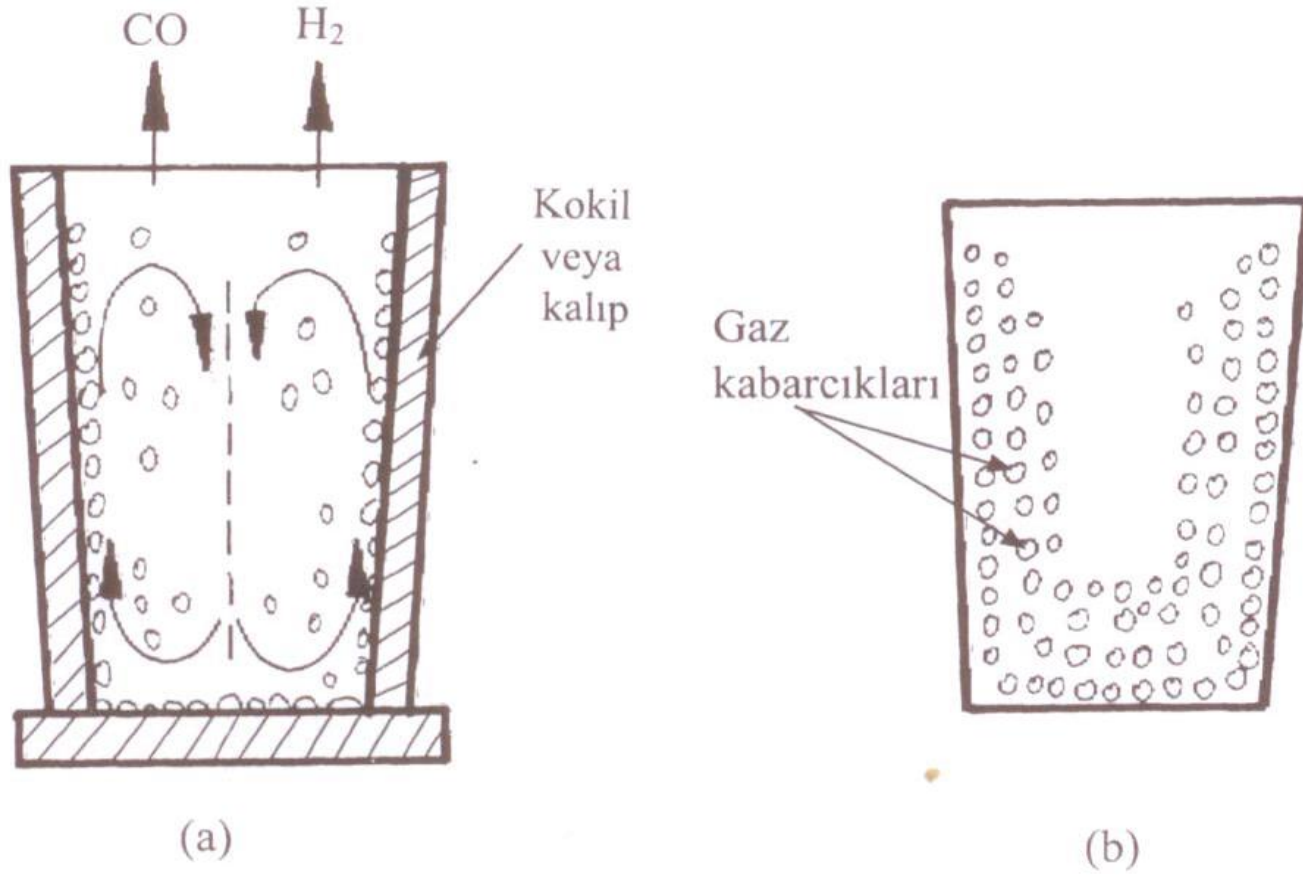
Deoksidasyon maddelerinin oksijene karşı çekicilikleri fazla olduğu için demiroksidin oksijenini kaparak kendileri oksitlenir. Bu oksitler sıvı cüruf oluştururlar. Sakin dökülmüş veya gazı alınmış çeliklerin belli başlı özellikleri aşağıda verilmiştir.

a) Külçe içinde gaz gözeneği yoktur. Buna karşılık, üretilen çelikte çok ince dağılım gösteren metal olmayan cüruf parçacıkları bulunur.

b) Külçede segregasyon bölgesi yoktur.

c) Katılaşma sırasında, metalin kendini çekmesi gaz kabarcıkları ile dengelenmediği için derin çekme boşlukları oluşur. Bu nedenle % 80- 85 arasında bir verim elde edilir ve bu değer kaynar döküm yöntemi ile elde edilen verimden biraz daha düşüktür.

d) Al, Ti, B ve Zr elementleri oksijenin yanında azotu da bağlayarak, çözünmeyen nitrürler oluştururlar.



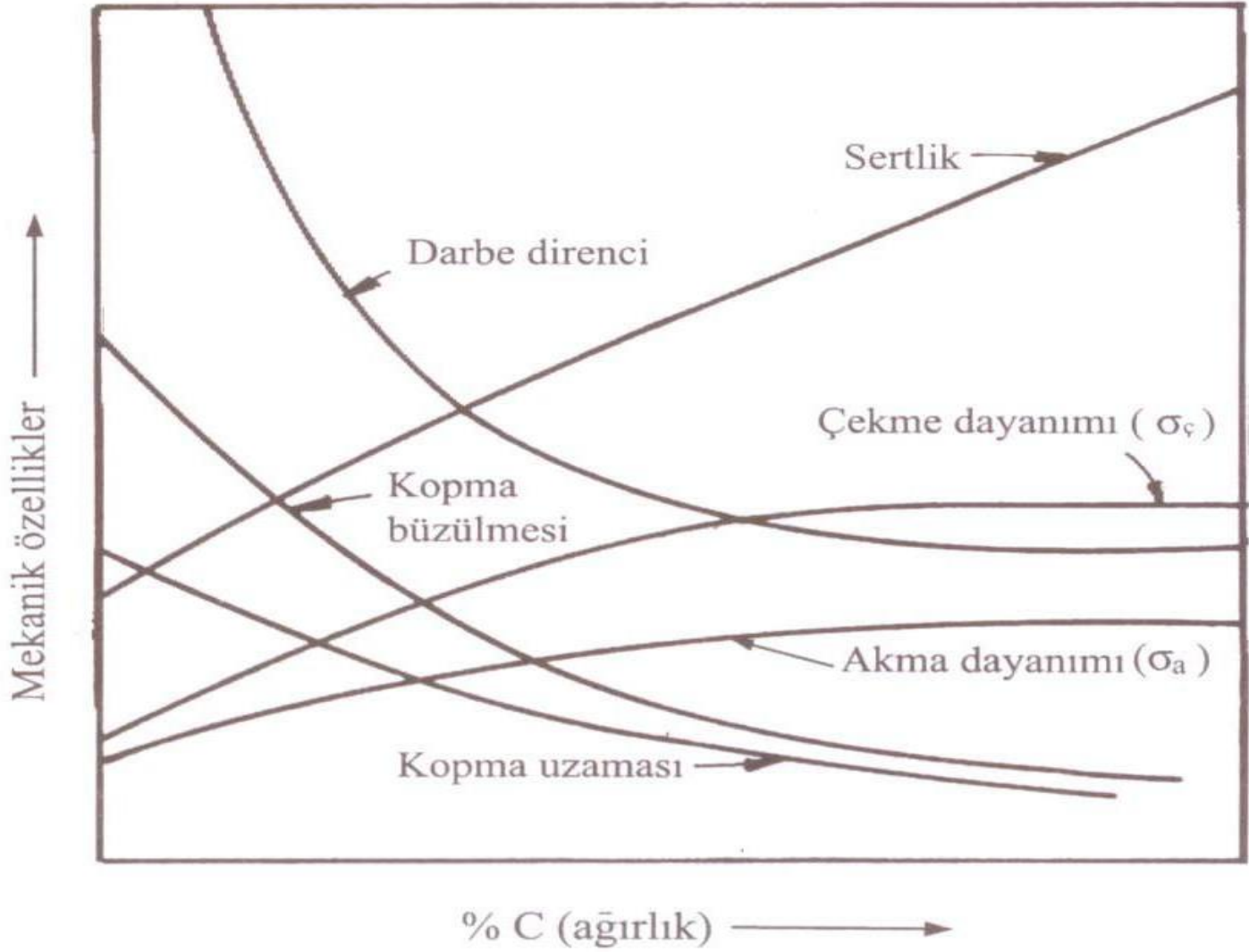
Şekil 6.17 Kaynar dökülmüş çeliğin şematik gösterimi. (a) Kaynama olayının oluşumu ve (b) kaynar dökülmüş çelik külçenin görünümü

## Kimyasal Bileşimin Çeliğin özelliklerine Etkisi

Bu bölüme kadar demir-karbon denge diyagramı incelenirken, çeliğin demir ve karbondan oluştuğu kabul edildi. Ancak, alaşımsız çeliker demir ve karbondan başka düşük oranlarda safsızlık elementleri de içerirler.

**1. Karbonun etkisi:** Karbon, çeliğin yapısal ve mekanik özelliklerini en fazla etkileyen alaşım elementidir. Karbonun, çeliğin özelliklerine etkisi şekil 6.18 de görülmektedir. Bu şekilden görüldüğü gibi, karbon oranı arttıkça çeliğin sertlik ve mukavemeti artmakta, buna karşılık sünekliği azalmaktadır. Bu durum, çelikteki sementit oranının artan karbon oranı ile artmasından kaynaklanmaktadır. Karbonun çelin genel özelliklerine etkileri;

- a) Çeliğin ergime sıcaklığını ve östenitin dönüşüm sıcaklığını düşürür
- b) Çeliğin sertliği ile akma ve çekme dayanımlarını yükseltir, ancak kopma uzaması ile kopma büzülmesini azaltır.
- c) Çeliğe sertleşme yeteneği kazandırır.
- d) Çeliğin ısıl geçirgenliğini ve özgül ağırlığını azaltır.
- e) Yırtılma olayına neden olduğundan, çeliğin kaynak edilme kabiliyetini olumsuz etkiler.



Şekil 6.18 Karbonun çeliğin özelliklerine etkisi

## 6.5.2 Kükürdün Etkisi

Ticari çeliklerdeki kükürt oranı genelde %0,05'in altında tutulur. Kükürt, demir ile birleşerek demir sülfür (FeS) bileşimini oluşturur. Demir sülfür bileşiği demir ile birlikte ergime noktası düşük olan bir ötektik alaşım meydana getirir. Bu alaşım, daha

çok çeliğin tane sınırlarında toplanır. Kükürt içeren çelik, sıcak dövme veya haddeleme işlemine tabi tutulduğunda, tane sınırlarında bulunan ötektik alaşım ergir. Söz konusu alaşımın ergimesiyle taneler arasındaki bağlar kopar ve çelikte çatlama meydana gelir. Bu olaya “sıcak yırtılma” adı verilir.

Çelikte mangan (Mn) bulunması durumunda kükürt mangan ile mangan sülfür (MnS) oluşturur. Yani FeS yerine MnS oluşur. MnS'ün büyük bir bölümü cürufta toplanırken, bir kısmı da MnS kalıntıları olarak yapı içerisinde dağılır. Mangan oranının, kükürt oranının 2 ile 8 katı arasında olması tercih edilir. Bazı çeliklerin işlenme kabiliyetini iyileştirmek için kükürt oranı %0,08 ile %0,35 arasındaki bir değere kadar artırılabilir. Çünkü kükürt oranının artırılması, talaşlı işlemi kolaylaştırarak takımın aşınmasını önler. Kükürt, çeliğin darbe dayanımını azaltır ve kaynak edilme özeliğini olumsuz etkiler.

### 6.5.3 Manganın Etkisi

Bütün ticari alaşımsız çeliklerde %0,03 ile %1,0 oranları arasında mangan bulunur. Manganın en önemli yararı yukarıda belirtildiği gibi kükürdün olumsuz etkisini önlemesidir. Çelikte MnS oluşturacak miktardan daha fazla oranda mangan bulunursa, fazlalık mangan karbon ile reaksiyona girerek mangan karbür ( $Mn_3C$ ) oluşturur. Mangan, iyi bir oksijen alıcı (deoksidan) olduğundan çelik dökümlerin kalitesini iyileştirir.

### 6.5.4 Fosforun Etkisi

Çeliklerdeki fosfor miktarı, genelde %0,04 oranının altında tutulur. Düşük oranlardaki fosfor ferrit içerisinde çözünerek, çeliğin mukavemet ve sertliğini bir miktar artırır. Bazı çeliklerde %0,07 ile %0,12 oranları arasında bulunan fosfor, çeliklerin kesme özelliğini iyileştirir. Ancak yüksek oranlardaki fosfor, çeliklerin sünekliğini azalttığından soğuk şekillendirme sırasında çeliğin çatlamasına veya kırılmasına neden olur. Bu olaya da “soğuk yırtılma”adı verilir.

### 6.5.5 Silisyumun Etkisi

Ticari çeliklerin çoğu %0,05 ile %0,3 oranları arasında silisyum içerir. Silisyum, ferrit içerisinde çözünerek çeliğin sünekliğini fazla azaltmadan mukavemetini artırır. Ayrıca, silisyum dioksit ( $\text{SiO}_2$ ) oluşturarak sıvı çeliğin oksijenini büyük ölçüde alır ve böylece çeliğin kalitesini iyileştirir. Silisyum, dökme demirlerde grafit yapıcı bir element olarak da kullanılır.

### 6.5.6 Azotun Etkisi

Az miktarda da olsa azot çeliklerde gevrekleşmeye neden olur. Hava üfleme yöntemiyle üretilen Thomas çeliklerinde %0,03 oranında azot bulunurken, oksijen üfleme yöntemiyle üretilen Siemens-Martin çelikleri %0,01'den daha düşük oranlarda azot içerir.

## 6. ÇELİKLERİN SINIFLANDIRILMASI

- Çelikler genel olarak *alaşımlı ve alaşımsız* çelikler olmak üzere iki sınıfta ayrılırlar.
- Alaşımsız çelikler***, bileşiminde demir ve karbondan başka üst sınırları aşağıda verilen kimyasal elementler bulunabilen ve özel amaçlarla başka element içermeyen çeliklerdir.
- Bu üst değerler; %0,5Si, %1,0Mn, %0,1Al, %0,25Cu, %0,09P ve %0,06S dir.
- Karbon oranı %0,8 den az olanlara ötektoid altı, %0,8 oranlara ötektoid ve bu değerinden daha fazla oranlara da ötektoid üstü çelikler denir.
- Alaşımlı çelikler*** de az alaşımlı ve yüksek alaşımlı çelikler olmak üzere iki gruba ayrılırlar.
- Alaşım elementi oranının toplamı %5 den az olan çeliklere az alaşımlı çelikler, %5 den yüksek olan çeliklere de yüksek alaşımlı çelikler denir.
- Alaşım elementleri Fe-Fe<sub>3</sub>C denge diyagramındaki ötektoid noktayı %0,8 C oranından daha düşük karbon oranlarına doğru kaydırarakları gibi AC<sub>1</sub>, AC<sub>3</sub> ve AC<sub>m</sub> sıcaklıklarını da değiştirebilirler.
- Çelikler; genel *yapım çelikleri*, makine *yapım çelikleri*, *sementasyon çelikleri*, *nitritasyon çelikleri*, *otomat çelikleri*, yüksek *sıcaklığa dayanıklı çelikler*, *paslanmaz çelikler*, *rulman çelikleri* ve *takım çelikleri* gibi pek çok sınıfa ayrılabilir.

## 6.6.1 Çeliklerin Karbon Oranına Göre Sınıflandırılması

Çelikler bazen içerdikleri karbon oranına göre düşük karbonlu çelikler, orta karbonlu çelikler, yüksek karbonlu çelikler ve yüksek karbonlu takım çelikleri olmak üzere başlıca dört sınıfa ayrılırlar. Bu çelikler aşağıda kısaca açıklanmaktadır.

### 6.6.1.1 Düşük Karbonlu Çelikler

Bu çelikler, %0,25 oranına kadar karbon içerirler ve çok yumuşak ve yumuşak çelikler olmak üzere iki gruba ayrılırlar.

**a) Çok yumuşak çelikler:** %0,07 ile %0,15 arasında karbon içerirler ve soğuk şekillendirmeye elverişlidirler.

**b) Yumuşak çelikler:** %0,15 ile %0,25 oranında karbon içerirler. Çok yaygın olarak kullanılan alaşımsız çeliklerdir. Çok iyi kaynak edilebilirler, ancak su verme yöntemi ile iyi sertleştirilemezler.

### 6.6.1.2 Orta Karbonlu Çelikler

Bu çelikler, %0,25 ile %0,55 oranları arasında karbon içerirler. Isıl işlem için çok uygun çeliklerdir. Yani, bu çeliklerin yapı ve özellikleri ısıl işlemle büyük ölçüde değiştirilebilir. Bu çelikler, karbon oranlarına göre genel dövme çelikleri, mil çelikleri ve aşınmaya dayanıklı çelikler olmak üzere üç gruba ayrılabilir.

**a) Genel dövme çelikleri:** %0,25 ile %0,35 arasında karbon içerirler.

**b) Mil çelikleri:** %0,35 ile %0,45 oranları arasında karbon içerirler. Mil, tel ve dingil yapımı için kullanılırlar.

**c) Aşınmaya dayanıklı çelikler:** %0,45 ile %0,55 arasında karbon içerirler. Ray, ray tekerleği, silindir ve pres kalıpların yapımında kullanılırlar.

### 6.6.1.3 Yüksek Karbonlu Çelikler

%0,55 - %0,9 arasında karbon içerirler. Yüksek mukavemet ve aşınma direnci gerektiren yerlerde kullanılırlar. Kullanım alanına örnek olarak, pres kalıp blokları gösterilebilir.

### 6.6.1.4 Yüksek Karbonlu Takım Çelikleri

Bu çelikler %0,9 - %1,6 oranları arasında karbon içerirler. Yüksek aşınma direnci ve yüksek mukavemet gerektiren yerlerde kullanılırlar. Kullanım yerlerine örnek olarak torna kalemi ve matkap uçları verilebilir.

## 6.7 Çeliklerin Türk Standartlarına Göre Gösterimi

Çelik ve dökme demirlerin kimyasal bileşimi ve özelliklerine göre kısa gösterilişleri TS 1111' de ayrıntılı olarak açıklanmaktadır. Çelikler ergitme yöntemine göre, T ( Thomas konverteri), O (oksijen konverteri), M (Siemens-Martin ocağı), E (elektrik ark ocağı), I (endüksiyon ocağı); döküm şekline göre de S (sakinleştirilmiş), Sy (yarı sakınleştirilmiş), K (kaynar dökülmüş) işaretleri ile gösterilebilir.

### 6.7.1 Mekanik Özellikleri Esas Alınan Çelikler

Bunlar ısıtıl işlem için öngörülmeleyen çeliklerdir. Fe işaretine ek olarak çekme dayanımının en düşük değerleri ile tanımlanırlar. Örneğin; çekme dayanımının en düşük değeri 37 kgf/mm<sup>2</sup> olan genel yapı çeliği Fe37 şeklinde gösterilir. Aynı çekme dayanımına sahip, bazık Siemens-Martin ocağında ergitilmiş ve sakın dökülmüş genel yapı çeliği ise MBS Fe37 şeklinde gösterilir. Çekme dayanımları en az 42, 60 ve 70 kgf/mm<sup>2</sup> olan çelikler sırasıyla; Fe42, Fe60 ve Fe70 şeklinde gösterilirler.

## 2. KİMYASAL BİLEŞİMİ ESAS ALINAN ÇELİKLER

Bunlar alaşımsız ve alaşımlı çelikler olup, ısıtılma işleme uygundur.

### 2.1. Alaşımsız Çelikler

- C harfi ve ortalama yüzde karbon oranının 100 katı ile gösterilirler.
- Örneğin, bileşiminde %0.35 karbon bulunan alaşımsız ve saflaştırılmış oksijen konverter çeliği OSC35 şeklinde gösterilir.
- Ortalama karbon oranı %0.45 olan alaşımsız çelik C45 şeklinde gösterilir.
- Karbon C işaretinden sonra gelen küçük harfler ise alaşımsız çeliğin türünü gösterir.
- Örneğin; ortalama karbon oranı %0.45 olan alaşımsız asal çelik Ck45 şeklinde , %0.53 oranında karbon içeren ve yüzeyi sertleştirilebilen alaşımsız çelik ise Cf53 şeklinde gösterilir.

## 6.7.2.2 Alaşımlı Çelikler

### 6.7.2.2.1 Az Alaşımlı Çelikler

Bu tip çeliklerin gösteriminde C işareti kullanılmaz. Ortalama yüzde karbon oranının 100 katı yazıldıktan sonra, oran sırasına göre alaşım elementlerinin simgeleri ve bu elementlerin Tablo 6.1'deki katsayılarla çarpılarak tam sayıya yuvarlatılmış ortalama yüzde oranları belirtilir.

Tablo 6.1 Az alaşımlı çeliklerin Türk Standartlarına göre gösteriminde kullanılan katsayılar

| Alaşım elementi                       | Katsayısı |
|---------------------------------------|-----------|
| Cr, Co, Mn, Ni, Si, W                 | 4         |
| Al, Be, Cu, Pb, Mo, Nb, Ta, Ti, V, Zr | 10        |
| P, S, N, Ce, C                        | 100       |
| B                                     | 1000      |

20 Mn 5

$$0,2 \cdot 100 = 20 \quad 1,25 \cdot 4 = 5,0$$

$$Cr: 4 \cdot 0,75 = 3$$

Örneğin; bileşiminde %0,20 C ve %1,25 Mn bulunan az alaşımlı çelik 20 Mn 5, bileşiminde %0,15 C ve %0,75 Cr bulunan az alaşımlı asal çelik 15Cr3 ve bileşiminde %0,15 C, %1 Cr ve %0,40 Mo bulunan az alaşımlı çelik ise 15 Cr Mo 44 şeklinde gösterilir.

15CrMo44

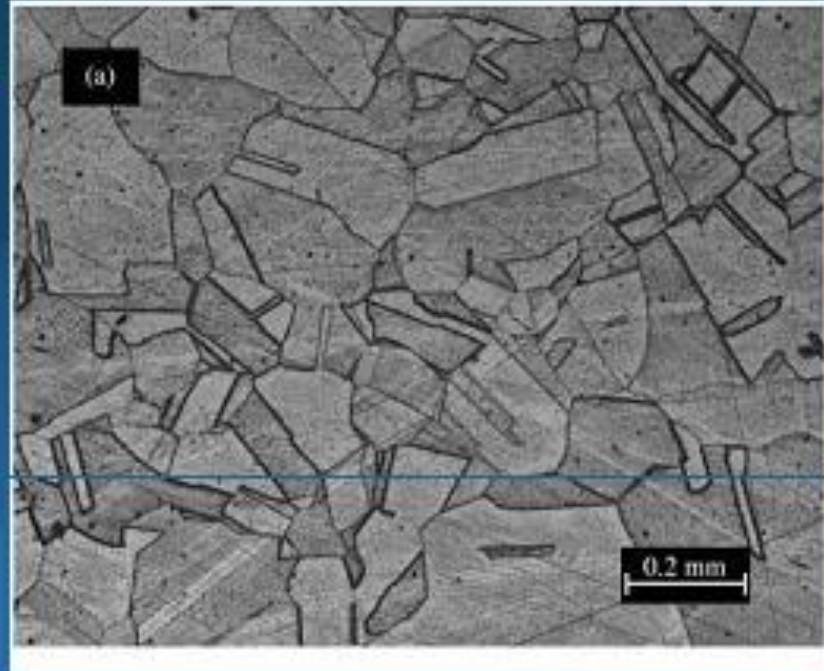
Cr: 1,25 = 5

## 2.2. Otomat Çelikleri:

- Karbon oranı az alaşımlı çeliklerde olduğu gibi yazılır.
- Çelikte S, Mn, Pb ve P elementlerinden hangileri varsa bu sırasıyla gösterilir.
- Yalnız kükürdün ortalama yüzde oranı 100 ile çarpılarak belirtilir. Örneğin; bileşiminde %0.45C, %0.20S ve %0.15-0.30Pb bulunan otomat çeliği 45SPb20, bileşiminde %0.09C, %0.15-0.30S, %0.90-1.3Mn ve %0.15-0.3Pb bulunan otomat çeliği ise 9SMnPb23 şeklinde gösterilir.

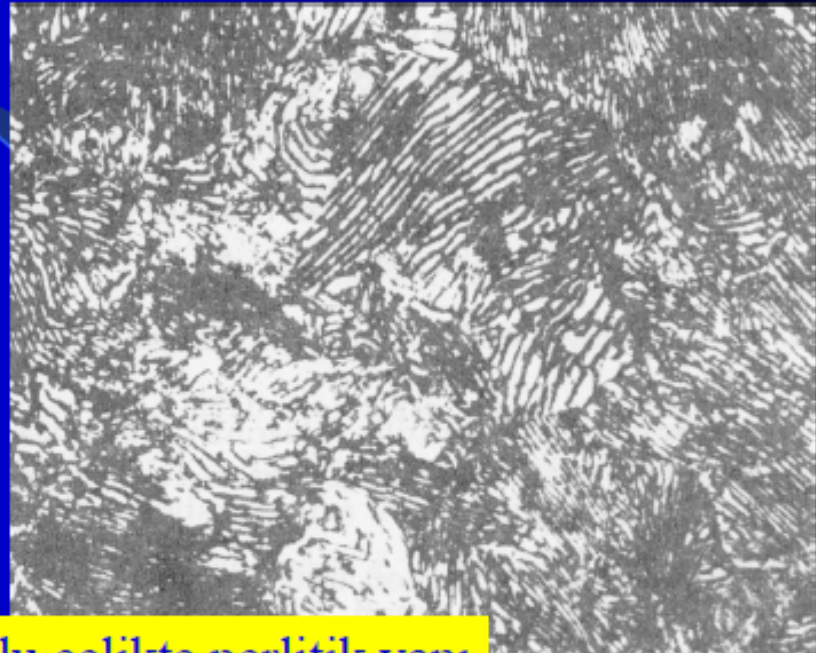
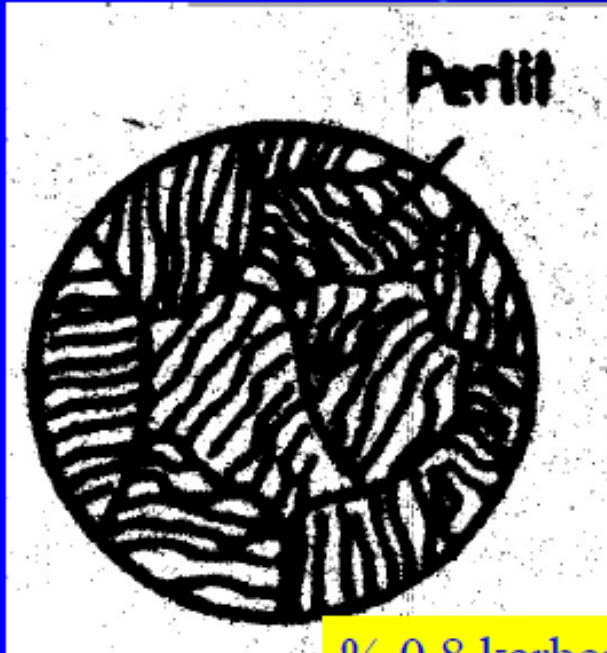
## 2.3. Yüksek Alaşımlı Çelikler

- Yüksek alaşımlı çeliklerin gösterimi için en başta X harfi kullanılır.
- Karbon oranı, az alaşımlı çeliklerde olduğu gibi yazılır ve alaşım elementlerinin her birinin gerçek yüzde oranı kendi simgesinden sonra belirtilir.
- İkinci derecede önemli olan alaşım elementlerinin oranları gösterilmeyebilir. Örneğin; bileşiminde %0.08C, %18 Cr ve %8 Ni bulunan yüksek alaşımlı çelik X8Cr18Ni8 şeklinde, bileşiminde %0.10C, %18Cr, %9Ni ve %2Ti bulunan yüksek alaşımlı çelik X10Cr18Ni9Ti2 şeklinde ve bileşiminde %0.10C, %22Cr, %5Ni, %0.6Mo ve %0.6Cu bulunan yüksek alaşımlı çelik ise X10Cr22Ni5MoCu şeklinde gösterilir



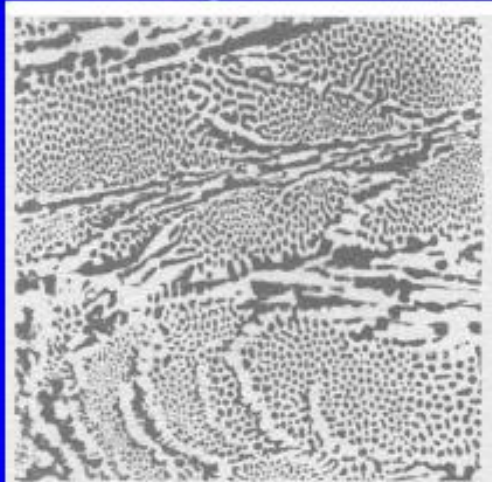
Ostenit kristal yapı- **yüzey merkezli kübik** ve  $\gamma$ -ostenitin mikroyapısı

**Perlit** %0,8 karbon içeren alaşım soğutulunca  $723^{\circ}\text{C}$  de ostenit yapı ferrit ve sementite dönüşür. Bu iki faz ince ve sık tabakalar (lamellar) halinde oluşur. Kırıldığı zaman inciye (pearl) andıran görünüşü sebebiyle perlit adını alır. %87 ferrit ve %13 sementitin yaptığı bir ötektoiddir.

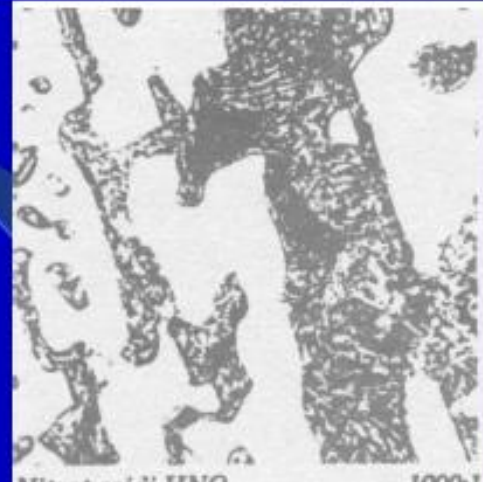


% 0,8 karbonlu çelikte perlitik yapı

**Ledeburit** Sementit ile ostenitin yapmış olduğu bir ötektir. Ötektik sıcaklık  $1130^{\circ}\text{C}$  olup, %4,3 karbon ile %95,7 ferritin yapmış olduğu bir ötektik yapıdır. Ötektik sıcaklık altında ostenit ve sementitten meydana gelmiş olmakla beraber sıcaklık düştükçe ostenit dönüşüme uğrayarak sementit oluşturur ve  $723^{\circ}\text{C}$  altında ostenit bulunamayacağından yapı tamamen sementit ile perlite dönüşür.



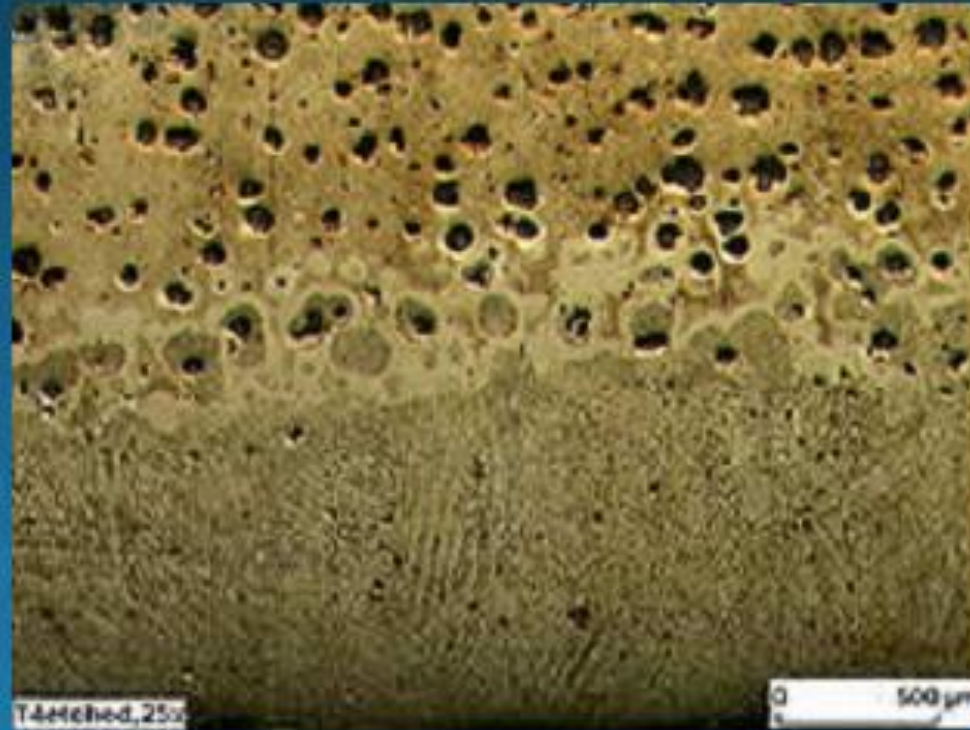
Nitrat asidi  $\text{HNO}_3$  100:1  
Şekil: 179 Ötektik iç yapı beyaz dokum: Ledeburit.



Nitrat asidi  $\text{HNO}_3$  1000:1  
Şekil: 180 Şekil:179'dan büyütülmüş olan Perlite dönüşmüş,  $\gamma$ -KK'leri.

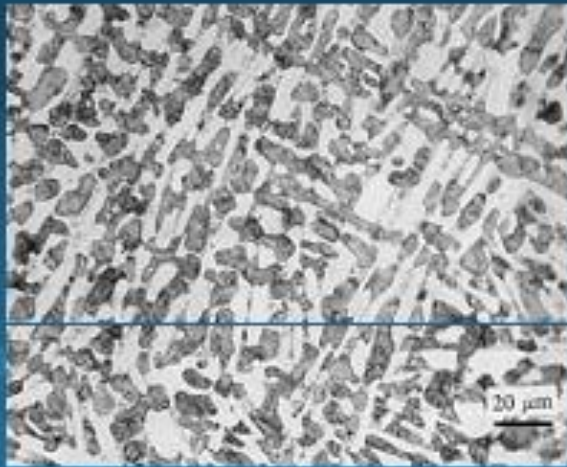
Ledeburit yüksek sıcaklıklarda ostenit ile sementitin, oda sıcaklığında ise perlit ile sementitin meydana getirdiği bir yapıdır.

**Ötektik nokta** ( $\%4,3 \text{ C}$  ve  $1147^\circ \text{C}$ )  
**Yapı - Ledeburit**

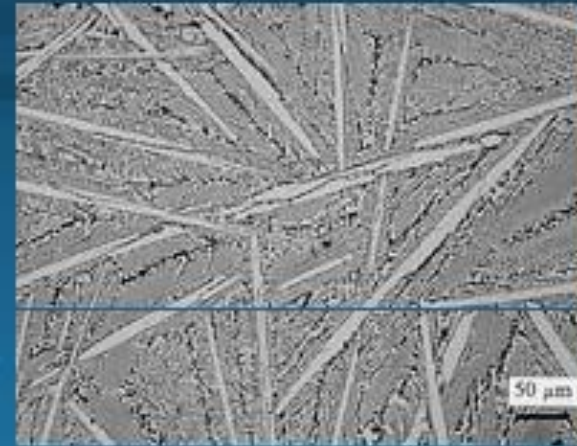


**Ledeburite yapı**

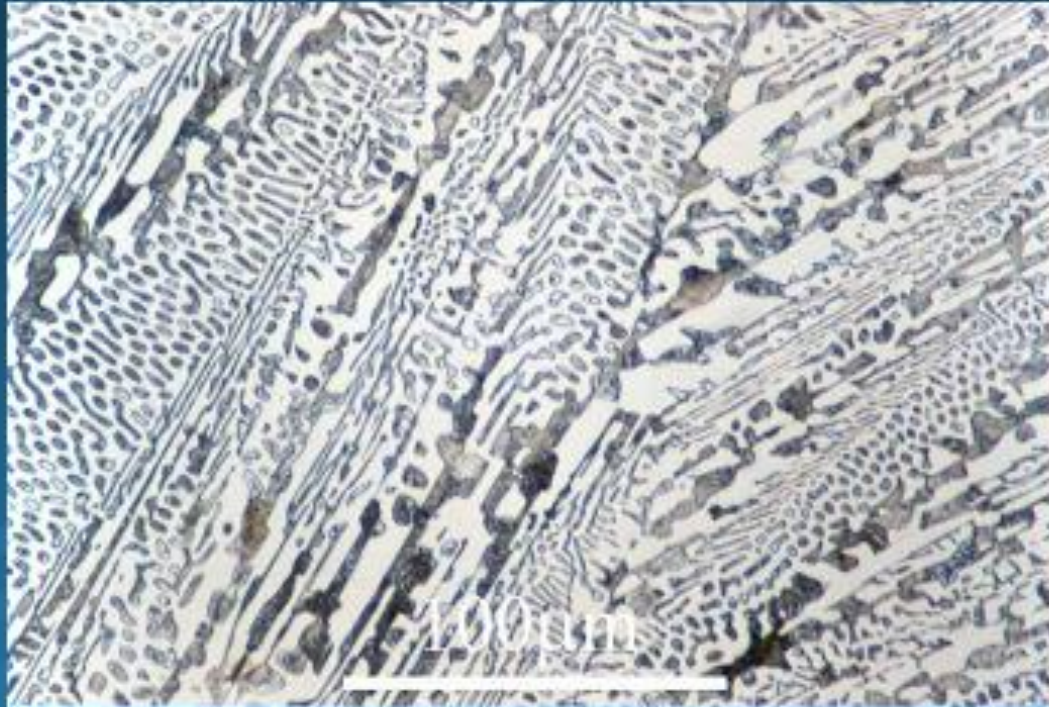
## Fe-C Denge Diyagramındaki yapılar Ötektikaltı ve ötektiküstü yapılar



Ledeburite mikroyapı  
Ötektikaltı  
 $\gamma + \text{Fe}_3\text{C} + \text{L}$

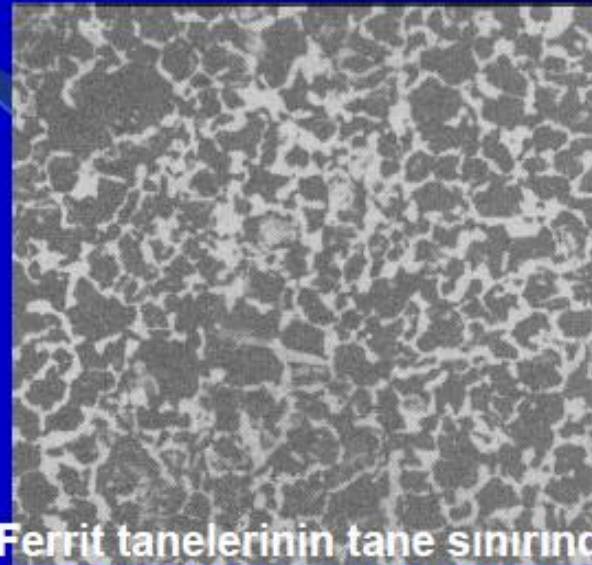
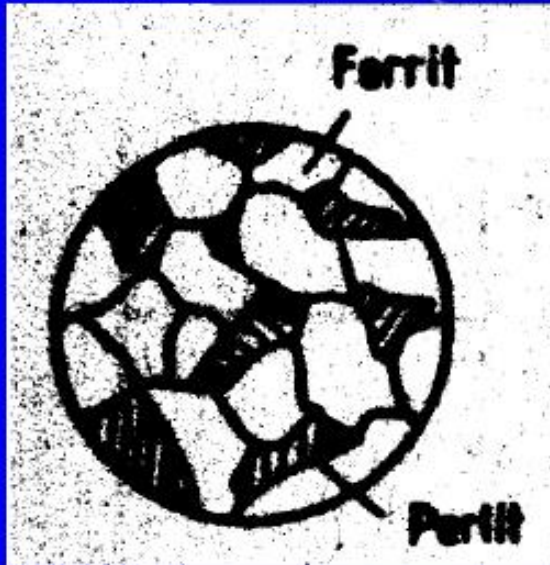


Ledeburite mikroyapı  
Ötektiküstü  
 $\text{L} + \text{Fe}_3\text{C}$



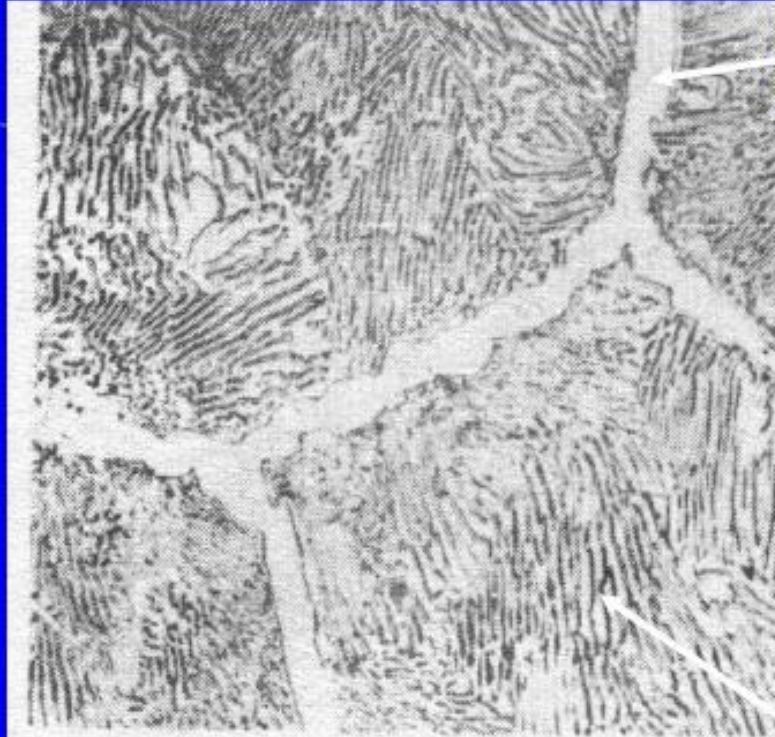
**Dönüştürmüş ledeburite**

**Ötektoid altı çelikler** %0,8'den az karbon içeren alaşımlara ötektoid altı çelikler denir. Bu alaşımlar soğurken önce östenit katı eriyiği oluşur. Daha sonra ostenitten ferrit fazı ayrışır, 723 °C'a gelince geriye kalan YMK ostenit %0,8 karbon içerdiğinden yine sık tabakalar halinde tane sınırlarında ferrit ve sementit içeren perlite dönüşür.



Ferrit tanelerinin tane sınırında  
Çökelmiş perlit yapısı

## Ötektoid üstü çeliklerin mikroyapısı



*Nitrat asidi*

*500:1*

*Şekil: 177 Ötektoid üstü çelikte, ta-  
ne sınırı sementiti:*



**Sementit**

**Sementit**

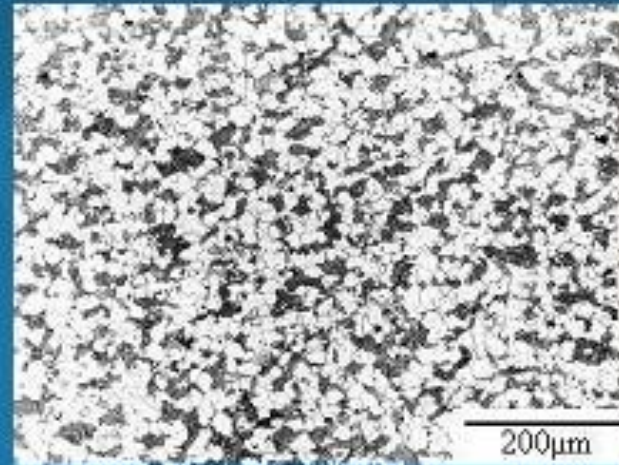
**Perlit**



**Sementit yapı**  
**(Fe<sub>3</sub> C)**

## Beynit yapı ne demektir?

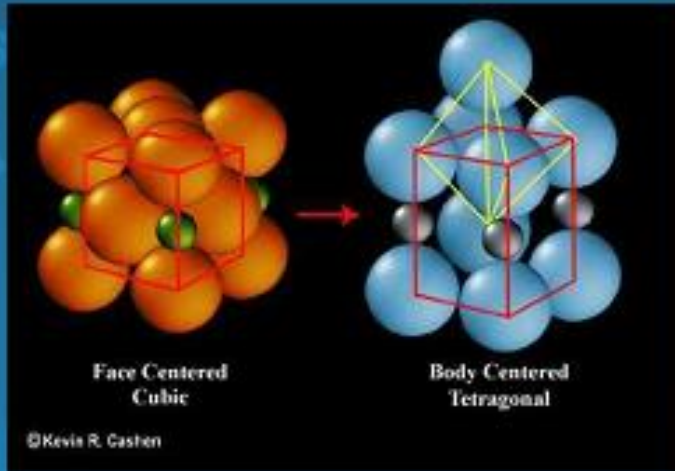
**Karbon** ve **sementit**'e “**doymuş  $\alpha$  ferrit**” karışımıdır. Perlit yapıdan pek farklı bir yapıdır. Daha serttir. İğne şeklinde tane yapısına sahiptir. İlk soğutma hızlı, sonra yavaş olması halinde bu yapı oluşur.



Beynit yapı örnekleri

## Martenzit yapı ne demektir?

Östenit ve karbonun yarı- kararlı versiyonudur. Kristal kafes yapısı,  $\gamma$  bölgesindeki YMK yapıdan çarpık tetragonal yapıya dönüşmüştür. Çok sert ve kırılgan bir yapısı vardır.



# Fe-C denge diyagramındaki tüm iç yapıların birarada gösterimi



Austenite



Pearlite



Martensite



Bainite



Ferrite



Cementite