

## BÖLÜM I.

### TEMEL BİLGİLER

Kaynak metalürjisine girmeden önce bazı temel bilgileri hatırlatalım.

#### I — DENGİ DİYAGRAMI

Metaller, en karakteristiğı elektriksel iletkenlikle maleabilite, yani şekil değıştirebilme kabiliyeti olan bir takım özgül nitelikleri haizdirler; metalik halin tabiatını tanımlamaya yarayan ve elementler periyodik tablosunda bu tabiatın sınırlarını az çok saptamaya olanak sağlayan bu niteliklerdir. *Sıvı ve katı eriyikler* gibi başka nitelikler de bunların arkasından gelir.

İki metal aynı potada ergitildiğinde genellikle bir *alaşım* teşekkül eder, yani belirli bir sıcaklığın üstünde, her iki bileşenin oranları ne olursa olsun, bir homojen sıvı veya sıvı faz elde edilir. Bu sıvı yavaş yavaş soğutulduğunda homojen kristaller vererek katılaşıır; kristaller her iki metalin atomlarını içerirler ve aynı kimyasal tabiatlı kristaller bir *katı faz* adı verilen hali meydana getirirler.

Bir alaşımda denge halinde bulunan fazların sayı ve kimyasal tabiatı bu alaşımanın *kimyasal yapısını* tanımlar.

Kimyasal yapının etüdü direkt analiz yöntemleriyle yapılamadığından dolaylı yola başvurmak gerekir : ısı analiz, denge diyagramını çizmek imkânını verir; bu diyagram, alaşımanın elementer kimyasal bileşiminin fonksiyonu olarak bütün sıcaklıklarda *denge yapısını* verir.

Geniş anlamda metalürjik olarak faydalı bir alaşım, söz konusu iki metalin tamamen homojen bir sıvı eriyik oluşturmak üzere sıvı halde birbiri içinde eridiklerinde elde edilir. Bu kaidenin istisnaları da vardır, örneğin imalât çeliğinde erimemiş kurşun partikülleri süspansiyonu gibi. Kurşun kürecikleri ergimiş haldeki alaşımda olduğu gibi bunun katılaşmış halinde de erimemiştir ve talaşı süresiz kılmak ve yerel gevreklikler oluşturmak suretiyle işlenebilirliği iyileştirmektedir. Ama genel olarak bir faydalı alaşım sadece bahis konusu metallerin birbiri içinde, sıvı halde, erimleri durumunda elde edilir.

Böyle bir sıvı eriyik katılaştığında, aşağıdaki koşulların biri meydana gelir.

(a) Eriyebilirlik biter ve sıvı haldeyken karşılıklı olarak birbiri içinde eriyebilen metaller, katı halde, tamamen eriyemez duruma gelirler. Böylece de iki saf metalin tanecikleri şeklinde ayrılırlar.

(b) Sıvı halde olagelen eriyebilirlik katı halde ya tamamen, ya da kısmen devam eder. Birinci halde tek bir *katı eriyik*, ikinci halde de iki farklı *katı eriyik'in* bir karışımı hasil olur.

(c) Katılaşma ilerledikçe her iki metal birbirlerini kimyasal olarak etkileyerek bir *metaller arası bileşik (intermetallic compound)* oluştururlar.

Yukarda sözü edilen maddelerin her birine bir *faz* adı verilir. Böylece de bir katı *faz* ya bir saf metal, ya da iki veya daha çok metalin bir *katı eriyiki* veya *metaller arası bileşiki* olabilir.

## İKİLİ ALAŞIMLAR

### SABİT BASINÇ KOŞULLARI ALTINDA FAZLAR KANUNUNUN UYGULANMASI

Basıncı sabit farzederek bu diyagramlar *fazlar kanunu'na*, dayanır; metallerin çoğunun kaynama noktası yüksek ve buhar gerilimi zayıf olduğundan bu varsayım duruma uygun düşmektedir. Bu itibarla fiziksel tek denge faktörü sıcaklık olup bu diyagramlar her fazın' absiste gösterilen  $x$  yoğunluğunu, ordinat'da gösterilen  $\theta$  sıcaklığının fonksiyonu olarak verir.

İki A ve B metalinin bir ikili alaşımını göz önüne alalım. Bunda B'den % X kadar bulunsun; bu alaşım  $\theta$  sıcaklığında B metalinden  $x_1, x_2, \dots, x_\phi$  yoğunluklarında  $\phi$  adette denge halinde faz veriyorsa, kimyasal yapısı  $\theta, x_1, x_2, \dots, x_\phi$  yani  $\phi + 1$  değişkenin bilinmesi suretiyle tarif edilir. Bu fazların hepsi bağımsız değildir: V bağımsız faz sayısını denge koşulu verir; bu özel durumda

$$V = C + 1 - \phi = 3 - \phi \text{ olur.}$$

V değişkenin değerlerinin bilinmesi diğerlerinin değerlerini saptar.  $\phi = 1$  farzedelim, bütün alaşım tek bir sıvı veya katı fazdan oluşmuş olup  $V = 2$  olur;  $x$  denge yoğunluğu (bu halde alaşımın X global yoğunluğu ile aynı) ile  $\theta$  sıcaklığı iki bağımsız değişkendir. Şu halde  $\theta$  ve  $x$ 'in farklı değerleri için sonsuz denge hali mevcuttur.

$\phi = 2$  olursa alaşım  $x_1$  ve  $x_2$  yoğunluğunda iki faz içerir,  $V = 1$  olur, tek bir bağımsız değişken kalır. Örneğin  $\theta$  değeri icbar edilirse  $x_1$  ve  $x_2$  tayin edilmiş olur; şu halde  $x_1 = f_1(\theta)$ ,  $x_2 = f_2(\theta)$  dır.

$\phi = 3$  olursa alaşım  $x_1, x_2$  ve  $x_3$  yoğunluğunda üç fazdan oluşur;  $V = 0$  olup bağımsız değişken kalmaz. Denge koşulu dört  $\theta, x_1, x_2, x_3$  değişkenin değerlerini tespit eder. Bu itibarla iki A ve B metalinin bir ikili alaşımı ancak belli bir sıcaklıkta denge halinde üç faz içerebilir. Bu sıcaklığın dışında üç faz aynı zamanda bulunamaz, bunlardan biri yok olmalıdır. Bu değişmeyen dengeler diyagram üzerinde  $\theta$  ordinatlı yatay çizgilerle gösterilir.

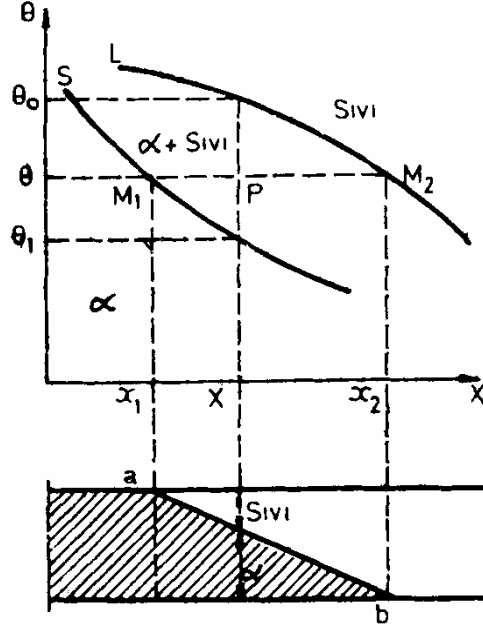
Ve nihayet  $\phi > 3$  ise  $V < 0$  olur; bir ikili alaşımda üçten fazla denge halinde faz bulunamaz.

Özellikle, bir ikili alaşımda iki fazdan fazlası beraberce bulunamaz. Bu itibarla bir ikili alaşım şunlardan oluşabilir :

- İki saf metal içyapıda ayrı varlıklar olarak bulunurlar. Genelde bir metalin öbürü içinde hafifçe erimesi vaki olduğundan bu duruma nadiren rastlanır.
- Öbürünün içinde erimiş bir metalin tek bir tam katı eriyiki.
- Metallerin birbirleri içinde ancak kısmen eriyebilmeleri halinde iki katı eriyikin karışımı.
- Saf bir metaller arası bileşik.
- İki farklı metaller arası bileşikin bir karışımı.
- Berberce karışmış bir katı eriyikle bir metaller arası bileşik...

## BİR SIVI FAZIN BİR KATI FAZLA DENGESİ

$\theta$  sıcaklığında denge halinde biri katı  $\alpha$  ve diğeri sıvı iki faz alalım; yukarda söylenenlere nazaran B metalinden  $x_1$  ve  $x_2$  yoğunlukları bellidir; bunlara  $\theta$  yatay çizgisi üzerinde  $x_1$  ve  $x_2$  absisinde iki  $M_1$  ve  $M_2$  temsilî nokta tekabül eder (şek. 1).



Şek. 1.

$\theta$  değiştiğinde  $M_1$  ve  $M_2$  sırasıyla *solidus* ve *likidus* adı verilen iki S ve L eğrisi çizerler; bunlar her sıcaklıkta denge halindeki fazların yoğunluklarını verir. Bu eğrilerin her birinin bir noktasına yatay olarak diğerrinin bir noktası tekabül eder; bu itibarla bu iki eğri daima iki yatay çizgi arasında bulunur ve bunlardan biri yatay teğetli bir noktadan (maksimum veya minimum) geçecek olursa diğeri de bu noktada aynı teğeti haiz olur. Birbirlerini keserlerse, her ikisi de kesişme noktasının üstünde veya altında bulunurlar; bu hal, A ve B metallerine tekabül eden dikeylere vardıklarında vaki olur.

Şek. 1'de her iki eğri meyilli olup her iki faz, sürekli olarak sıcaklıkla değişen yoğunlukları haizdirler; bu fazlar, *sıvı* ve *katı eriyikler*'dir.

Dengeyi tanımlayan  $\theta$  sıcaklığının dışında P ile gösterilen alaşımın global X bileşimi biliniyorsa buradan, karışımlar kaidesi uygulanarak,  $m_1$  ve  $m_2$  kütleli her iki fazın göreceli oranları çıkartılır. Gerçekten :

$$m_1 x_1 + m_2 x_2 = (m_1 + m_2) X; \frac{m_1}{m_2} = \frac{x_2 - X}{X - x_1} = \frac{PM_2}{PM_1}$$

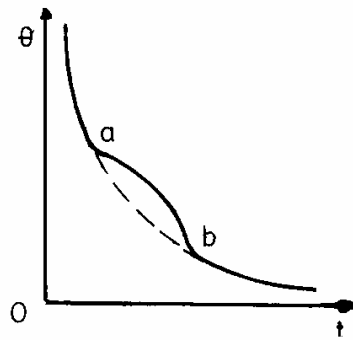
Buradan, sabit sıcaklıkta her bir fazın 100 gr. karışım içinde oranının, alaşımın global X bileşiminin bir lineer fonksiyonu olduğu sonucu çıkar :

$$100 \frac{m_1}{m_1 + m_2} = 100 \frac{PM_2}{PM_1}$$

Bu itibarla X yoğunluğuna bağlı olarak katı ve sıvı fazların oranının değişmesi, düz *ab*

çizgisi ile gösterilebilir. Diğer taraftan,  $PM_2 = 0$  olduğu  $\theta_0$  sıcaklığının üstünde sıvı faz tek başına bulunur;  $PM_1 = 0$  olduğu  $\theta_1$  sıcaklığının altında sıvı kaybolur; şu halde  $\theta_0$  ve  $\theta_1$  katılaşmanın başlangıç ve sonu sıcaklığı olup L ve S eğrileri  $a$  + sıvı karışımının denge alanını sınırlar ve bunu  $a$  ve sıvı fazlarının denge alanlarından ayırırlar. Bu eğriler her X bileşimi için deneysel olarak soğuma eğrileri yardımıyla  $\theta_0$  ve  $\theta_1$  sıcaklıkları tayin edilerek çizilebilirler. Soğuma eğrileri  $\theta$ ,  $t$  eğrileri olup  $t$  zamandır. Bu çizim Van't Hoff prensipine dayanır.

Soğumada her iki yönlü (reversible) reaksiyon eksotermiktir. X bileşiminde bir, alaşım alıp onu bir elektrik ocağında ısıtılan bir pota içinde sıvı hale getirelim, sonra potayı ocaktan çıkartıp metalin sıcaklık değişmelerini zamana nazaran kaydedelim. Hal değişmesi olmadıkça, yani alaşım tek bir sıvı fazdan oluşmuş kaldıkça eğri, bir eksponansiyel olur (çevre sıcaklığının sabit kaldığı varsayılıyor). Fakat yeni bir faz meydana çıkarsa eğri, bir kırılma, eksotermik reaksiyona, tekabül eden bir dikilme arzeder.



Şek. 2.

Bir saf metal halinde  $V = 2 - \phi = 0$  olur;  $\theta$  iyice muayyendir; iki faz ancak belirli bir sıcaklıkta denge halinde bulunabilir. Bu sıcaklık, bütün katılaşma süresince  $\theta$ ,  $t$  eğrisi üzerinde bir sahanlığa tekabül eden ergime noktasıdır. Aynı şey, bileşimi likidus ve solidus'ların bir maksimum veya minimumu haiz olduğu alaşım için de geçerlidir.

Fakat her hangi bir bileşimdeki bir alaşımda  $\theta$ ,  $t$  eğrisi, katılaşmanın başlangıç ve sonuna tekabül eden iki  $a$  ve  $b$  kırılması arzeder (şek. 2): ikincisi çoğu zaman belirli değildir.

## ÖTEKTİK SİSTEMLER

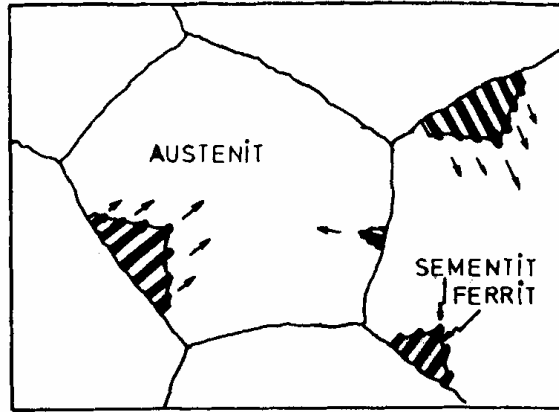
Sıvı halde tamamen eriyebilen fakat katı halde hiçbir şekilde eriyemeyen iki metal katılaşmışında bu, her iki saf metalin alması (bir birinden, bir öbüründen) tabakaları halinde kristalleşme şeklinde olur. Böylece, kontrplaka benzeyen bir haddelenmiş içyapı tipi elde edilir ve bu, *ötektik* olarak adlandırılır.

İki saf metalin bir *ötektik'inde* herhangi bir türlü eriyik bahis konusu olmaz zira ötektiki oluşturan saf metal tabakaları, kesin ve ayrı varlık olarak genellikle 100 ve 500 büyütme mikroskop altında tamamen belirli şekilde görülebilir. Bu itibarla ötektikin oluşması, alaşımın katılaşması sırasında ortaya çıkan eriyik hale gelemeliğin bir sonucudur.

Bahis konusu olan iki metal katı halde birbirleri içinde kısmen eriyebilir durumda iseler katılaşmada yine bir ötektik elde edilebilir, ancak bu kez ötektik, iki doymuş katı eriyikin alması tabakalarından oluşacaktır. Tabakanın biri B metal ile doymuş A metal, öbürü de A metal ile doymuş B metalinden ibaret olacaktır: tabakalar, bileşim açısından tek ve aynı olmayıp biri A metalinden, öbürü de B metalinden yana zengindir.

İster saf metallere, ister katı eriyiklerden oluşmuş olsunlar, bütün ötektikler mikroskop altında yukarıda anlatıldığı gibi iyice belirli haddelenmiş şekilde görünmezler. Genellikle fazlardan birinin tabakaları öbür fazın bir yatağının (matrisinin) içine gömülü olup çoğu kez de bu tabakalar kırılmış ya da ayrılmışlardır.

Bazen bir alaşım içinde oluşmuş bulunan bir katı eriyik, daha düşük sıcaklıkta bir ötektik tipi içyapıya dönüşür. Bu hal vaki olduğunda, hasıl olan ötektik tipi içyapı *ötektoid* adını alır zira bu, bir ötektik gibi bir sıvı eriyikten değil, bir katı eriyikten oluşmadır. Katı eriyik austenit'in *ötektoid* perlit'e dönüşümü bu tür değişimin bir örneğidir (Şek. 3).



Şek. 3. — Austenit → perlit dönüşümünün mekanizması.

Austenit'in kristal sınırlarında sementit çekirdekleri geliş güzel oluşur ve bu çekirdekler sementit plakalarının büyümesini, austenit içinde karbon yoğunluğunun en yüksek olduğu yönde başlatır. Sementit oluşturmak üzere çevredeki austenitten karbon çekilmesinin sonucu olarak ferrit, sementit boyunca çekirdekleyecektir. Bu yolla sementit ve ferrit plakaları birbiri boyunca gelişecektir.

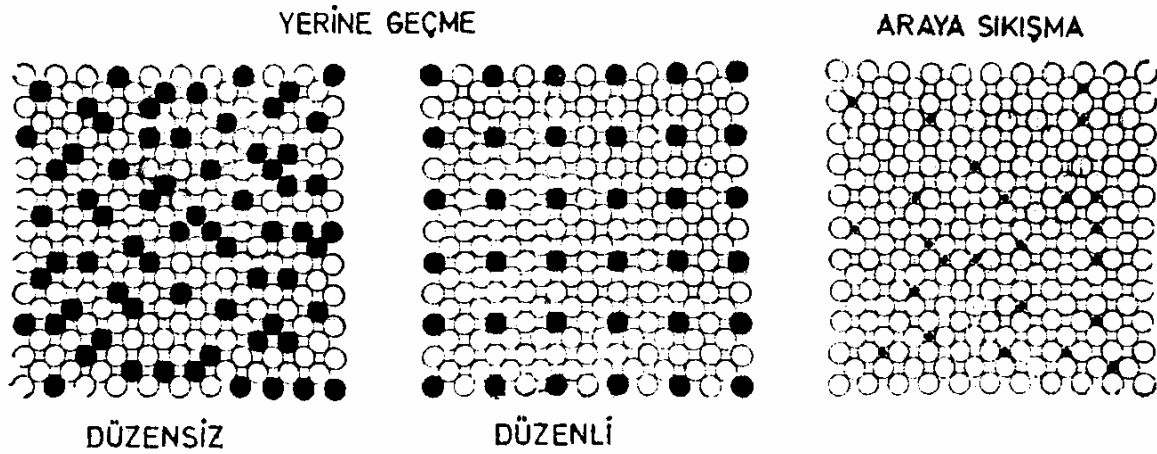
Denge diyagramları, alaşım sistemlerinin deneysel olarak gözlenen davranışlarını gösterir. Katı eriyik oluşması, iki metalin sıvı eriyiğinin katılaşabilmesinin bir şeklini temsil eder, *ötektik* reaksiyon dahi aynı şekilde belirli bir katılaşma sürecidir. Ötektik denge diyagramı sıcaklık - zaman eğrilerinden elde edilebilir. Burada deneysel eğriler değişik olayları yansıtır.

*Bir çok bileşimlerde alaşımın katılaşmasının bir kısmı sabit bir sıcaklıkta, ötektik sıcaklığında, vaki olur. Tek bir alaşımda (ötektik bileşimi) tam katılaşma, ötektik sıcaklığında olur. Her ne kadar ötektik bileşiminin donması saf bir metalinkine benzerse de hasıl olan katı, iki fazdan oluştuğundan, belirli şekilde farklıdır.*

## KATI ERİYİK

Bir katı eriyik, sıvı halde birbiri içinde eriyebilen iki metalin, kristalleşmeden sonra da birbiri içinde erimiş olarak kalmaları halinde oluşur. Meydana gelen iç yapı tetkik edildiğinde, yüksek güçlü elektron mikroskopuyla bile ayrı varlık olarak ana metallere hiçbir eser görülemez. Bunun yerine bir metalin öbürü içinde bir homojen katı eriyikinden ibaret kristaller görülür ve metallere birbirleri içinde tamamen eriyebilmeleri halinde de sadece tek tip kristal bulunur.

Bir katı eriyik teşkil etmek üzere bir metalin bir diğeri içinde eriyebilmesi için atomlarının, kendine öbür metalin kristal kafesi içinde herhangi bir türlü uygun yer bulması gerekir. Bu da ya «yerine geçme», ya da «araya sıkışma» şekilli katı eriyik (Şek. 4) oluşmasıyla vaki olur.



Şek. 4. — Katı eriyikin oluşma şekilleri

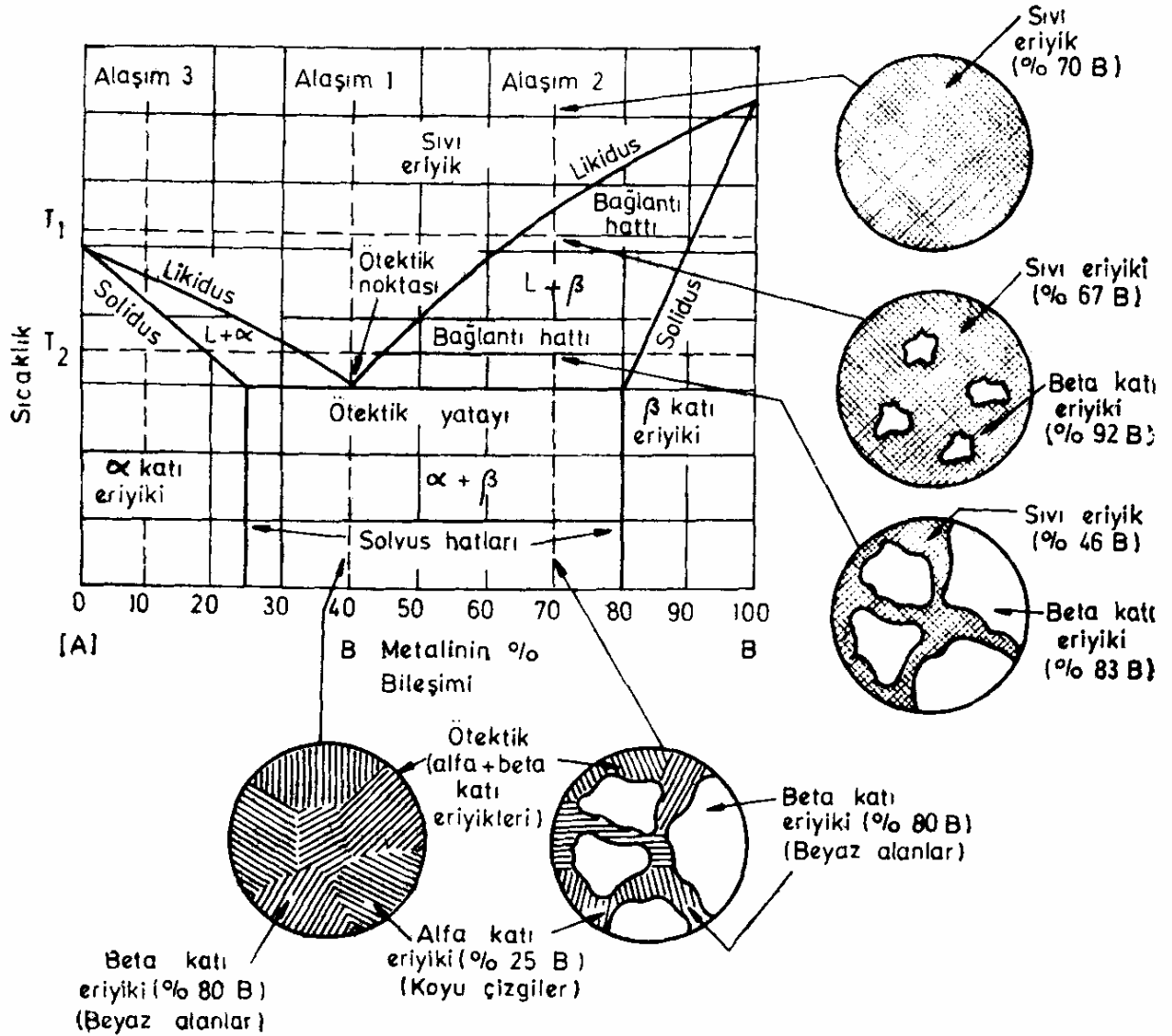
«Araya sıkışma»lı katı eriyikler sadece, ilâve metalin atomlarının öbür metalinkilerine göre çok küçük olup bunun kristal kafesinin boşluklarına yerleşebilmeleri halinde oluşabilirler. Bu yerleşme yalnızca katılma sırasında değil, çoğu kez de öbür metal *katı halde bulunduğu* zaman bile vaki olabilir. Böylece karbon, merkezli yüzeyli kübik demirle, çeliğin katılma sırasında bir «araya sıkışma»lı katı eriyik oluşturabileceği gibi, içyapısı merkezli yüzeyli kübik hale gelecek sıcaklığa ısıtılması koşuluyla katı halde demir tarafından da içeri çekilebilir. Bu, çeliğin semantasyonunun esasını teşkil eder. Aynı şekilde azot da katı halde çelikte araya sıkışabilir (nitürleme); atomları gerçekten çok küçük olan hidrojen ise bu yolla birçok katı metal içinde eriyilip bunun sonucunda da bunları gevrekletirerek mekanik özelliklerini bozar.

«Yerine geçme» tipinde katı eriyikte ana metalin atomlarının yerine, kristal kafes içinde, ilâve metalin atomları geçer. Bu ikame ya «düzenli», ya da «düzensiz» şekilde olur. Düzensiz şekilde ikame tamamen geliş güzel olup tek bir, kristalin içyapısında ilâve metal atomlarının yoğunluğu çok değişik olur. Gerçekten <bu tipten bir katı eriyikin sıvı halden kristalleşmesi durumunda çekirdekte daha yüksek ergime noktalı metalin atomlarından fazla bulunup dış çevrede daha düşük ergime noktalı metalin atomları çoğunlukta olur. Mamafih, böyle bir «çekirdekli» kristalde, bir kes oluştuktan sonra, difüzyon, yani yayılma olayı yer alır ve bu

difüzyon her tür atomun bir uniform (tekdüze) dağılımını sağlama eğilimini gösterir. Difüzyon sadece göreceli olarak yüksek sıcaklıklar da belirgin olur; bu nedenle de çabuk soğutulmuş bir alaşım belirgin surette çekirdekli olup yavaş soğutulan alaşımda çekirdeklilik az olur. Uzunca bir tavlama, difüzyon olayının yer almasına olanak sağlayıp bir uniform kati eriyik hasıl ederek çekirdekleşmeyi tamamen yok eder.

Difüzyon olayı, alçak ısı girişli (ana metali ergitmeden) sert lehim - kaynak tekniğinin esasını oluşturur.

### ÖTEKTİK DENGİ DİYAGRAMI



Şek. 5.

Şek. 5, A ve B metallerinin bahis konusu olduğu bir ötektik denge diyagramının genel görünüşünü verir. Bu diyagramda, .

- 1) Likidus çizgilerinin üstünde bulunan bir sıvı faz alanı;

2) Solidus çizgilerinin altında bulunan katı faz alanları ( $\alpha$  fazı ve  $\beta$  fazı);

3) Likidus ve solidus çizgilerinin arasında bulunan, hem sıvı hem de katı fazları içeren alanlar

bulunur. Ötektik reaksiyon yatay çizgisinin var olması nedeniyle denge halinde iki katı fazı içeren bir faz alanı da dahil edilir. Bu alan iki taraftan *solvus hatları* ile sınırlıdır.

Bu ötektik diyagramı için, bir belirli alaşımda muayyen bir sıcaklıkta hasıl olan fazların miktar ve bileşimleri hakkında tüm bilgiler yukarda izah edilen kaideler uygulanarak elde edilir. Şimdi ötektik reaksiyonunun tabiatının genel görünüşünü verelim. Soğumada bu reaksiyonun temel denklemi

Ötektik sıvı  $\rightarrow \alpha$  katı eriyiki +  $\beta$  katı eriyikidir.

Burada  $\alpha$  ve  $\beta$  fazlarının bileşimleri ötektik yatay çizgisinin bitim noktaları tarafından verilir. Bu reaksiyon ötektik yatayı sıcaklığında vaki olur ve *ötektik bileşiminde* sıvıyı bahis konusu eder (Şek. 5'de 1 alaşımının bileşimi). Başlangıçta sıvı alaşım ötektik bileşiminde değilse katı fazların *sadece birinin* ön katılaşması, geri kalan sıvı ötektik bileşime varana kadar, hasıl olur. Ötektik sıvı ötektik sıcaklığına soğutulduğunda, her iki katı faz ( $\alpha$  ve  $\beta$  katı eriyikleri) sıvı alaşımda teşekkül etmeye başlar. Fakat katı fazlardan biri, örneğin B metalinden yana, sıvı fazdan daha zengin ve diğer katı faz da sıvı fazdan daha fakir olduğundan bu iki katı fazın, belli bir sıvı bölümü içinde yan yana oluşması doğaldır. Katı fazlardan birinin ihtiyacı olan ilâve B metali bileşkeni öbür katı fazdan elde edilir (öbür faz bu bileşkenden bir kısmını kaybetme ihtiyacındadır). Bir ötektik sıvının katılaşma sürecinin bu görünüşü, her iki katı fazın genellikle yakın bir karışım halinde vaki olması durumuna göredir. Bu karışıma *ötektik içyapı (strüktür)* veya *ötektik mikrobileşik* adı verilir. Tamamen ötektik içyapıdan oluşmuş bir katılaşmış alaşımın şematik görünüşü şek. 5'de 1 alaşımının krokisinde görülür. Denge ısıtması sırasında, yukardaki denklemin tersi vaki olur,  $\alpha$  ve  $\beta$  katı eriyiklerinin karışımından ötektik sıvı teşekkül eder.

Yukarıda gördüğümüz fazlar kanunu ötektik reaksiyonun sabit sıcaklıkta hasıl olmak zorunluğunda bulunduğunu ispatlar.

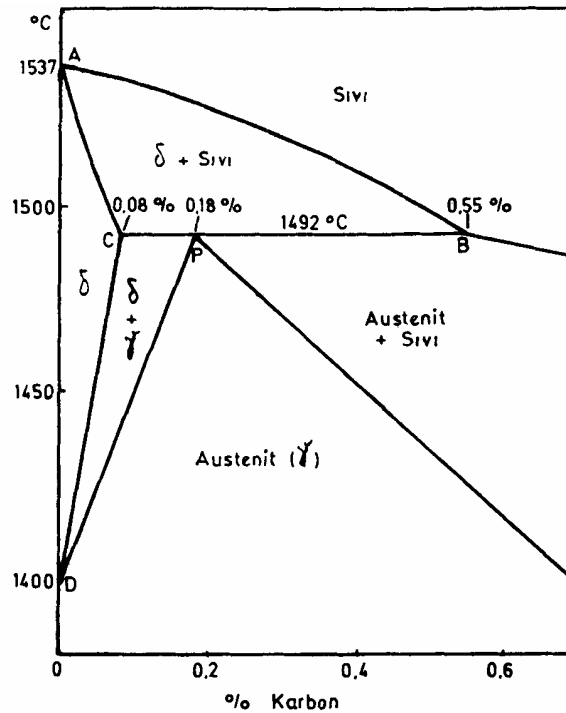
Ötektik reaksiyona ergime veya katılaşma süreçlerinin *kısmı* şeklinde dahil olan bir çok alaşım, ötektik bileşimde değildir (örneğin, şek. 5'de 2 alaşımı). Sadece ötektik bileşimde sıvı yukardaki ötektik denklem gereğince ayrışabileceğinden çoğu zaman sıvı fazın kendi bileşimini değiştirmesi gerekir. Bu durum, katı eriyik fazlarından birinin *primer kristalleri'nin* donması suretiyle gerçekleşir. Örneğin sıvı alaşım başlangıçta, ötektik bileşime tekabül edenden daha fazla B metali içersin. İlk olarak teşekkül eden primer katı faz, B metalinden yana daha zengin katı faz ( $\beta$  fazı) dır. Bununla birlikte bu katı fazın oluşumu, geri kalan sıvı fazı B metalinden yana fakirleştirir ve sıvının bileşimi, ötektik sıcaklığa soğuma sırasında, ötektik bileşime doğru değişir. Böylece genellikle primer kristallerin katılaşması vaki oldukça sıvı faz bileşimini (ve sıcaklığını) likidus çizgisi boyunca ötektik noktasına (ötektik bileşim ve ötektik sıcaklık) doğru tedricen değiştirir. Bu süreç 2 alaşımının katılaşma krokilerinde görülür. Burada dendritik gelişme imkânı bilinmiyor. Sıvı ötektik bileşime vardığında geri kalan katılaşma, yukardaki

denkleme göre olur ve primer kristaller, her iki katı fazın bir ötektik doku halinde çok ince ayrılmış karışımı ile çevrelenmiştir. 2 alaşımının nihaî dokusunun iki *mikrobileşken*'den, yani primer  $\beta$  kristalleri ile ötektik mikrobileşikden ibaret olduğu görülür.

Bir alaşımın bileşimi, onu temsil eden dikey çizgiler ötektik yatayı kesmeyecek şekilde ise, bu alaşımın denge katılaşması sırasında hiç bir ötektik reaksiyon olmaz. Şek. 5'de 3 alaşımı böyle bir bileşime örnektir..

### PERİTEKTİK REAKSİYON

Bazen bir alaşım sisteminde, daha önceden oluşmuş bir katı faz, geri kalan sıvıyla reaksiyona girip tamamen yeni bir faz meydana getirir. Buna *peritektik reaksiyon* adı verilir. Reaksiyon sırasında, ilk katı faz, reaksiyonun ürünüyle çevrelenir ya da kaplanır («peri» = etrafında). Böyle bir reaksiyon demir - karbon sisteminde  $\delta$  fazı ile (austenit hasıl eden) geri kalan sıvı arasında vaki olur (Şek. 6).



*Peritektik reaksiyon* esas itibariyle ötektik reaksiyonun tersidir. Bu sonucunda soğuma esnasında bir fazdan iki faza bir değişme olur. Bir peritektik reaksiyonda ise soğumada iki fazdan bir faza bir değişme olur. Soğuma süreci içinde sıvı ile katı arasında, bir kimyasal bileşik yerine bir katı eriyik teşkil etmek üzere bir reaksiyonun olduğu yerde, peritektik reaksiyon hasıl olabilir.

Katı eriyik teşekkülü ile ötektik reaksiyon, birçok metal sistemlerinde görülen iki önemli soğuma mekanizmasıdır. Daha seyrek olmasına rağmen deneysel olarak tayin olunan işbu donma tipi, yani peritektik reaksiyon, ortaya çıkar.

## ARA FAZLAR

Fazların çoğu sadece tek bir ötektik reaksiyon veya tek bir peritektik reaksiyondan ibaret olmayıp aksine çeşitli temel reaksiyonların bir karışımından oluşur. Örneğin demir - karbon diyagramı katı eriyiğin peritektik ve ötektik tiplerinde reaksiyonlarını içerir. Çoğu zaman tek bir ikili diyagramda bir çok reaksiyonların meydana çıkması *ara (intermediary) fazlar*'ın varlığından ileri gelir. Bunlar, kimyasal bileşimleri iki saf metal arasında aracı olan ve kristal dokuları (iç yapıları) saf metallerinkinden farklı bulunan ara fazlardır. Kristal doku farkı, ara fazları, saf metallerle dayanan primer katı eriyiklerden ayırır. Bazı ara fazlar, her iki cins atomun sabit basit bir oranını haiz olmaları halinde doğrudan *metaller arası bileşikler* adını alır. (Mamafih bir çok ara faz bir bileşimler çeşidi halinde mevcut olup *ara* veya *sekonder katı eriyikler* olarak irdelenir.

Gerçekten sık sık iki metal birbirleriyle sadece sınırlı katı eriyikler oluşturmakla kalmayıp aynı zamanda, başka uygun oranlarda, metaller arası bileşikler meydana getirmek üzere bileşeceklerdir. Bir metaller arası bileşikin oluşması, bir başka faz ithal etmekle, asıl denge diyagramını daha da çapraşık hale getirir ve bazı alaşım sistemleri, sistem içinde çeşitli bileşimlerde oluşmuş birçok metaller arası bileşik içerdiğinden, ortaya çıkan diyagram az çok çapraşık görünümde olabilir.

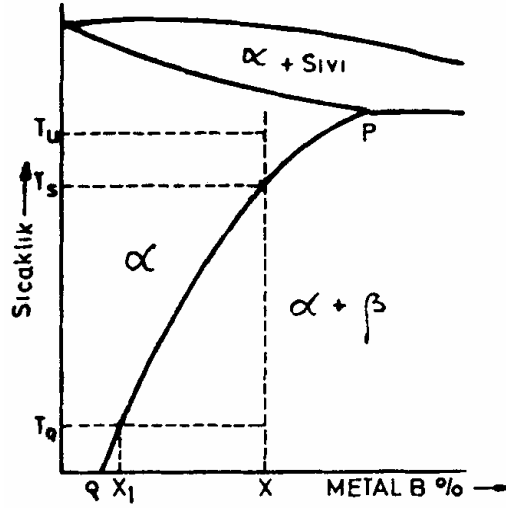
## BİR KATI ERİYİKTEN ÇÖKELME

Bir katı eriyikin sıcaklığı bir doymuşluk haline varacak şekilde düşerse, daha fazla bir sıcaklık düşmesi bazı ara fazların çökmesine götürür. Bu olgu, doymuş sıvı eriyiklerde, soğuma sırasında vaki olan çökelmelere benzer (örneğin tuzlu su). Bununla birlikte bir katı eriyikten çökme, bunda erimiş bulunan metal atomlarının hareket güçlüğü nedeniyle çok daha yavaş olur. Bu, özellikle «yerine geçme» tipindeki katı eriyiklerde daha da belirgindir. Bu itibarla bir doymuş katı eriyikin soğuma derecesiyle çökme miktarı arasındaki ilişki, ve sonuç olarak da varılan denge, ya soğuma süreci sırasında ya da daha sonra dikkatle izlenmelidir.

Denge koşulları altında çökeltmede (Şek. 7.) B metali katı halde A metali içinde kısmen eriyebilmekte olup  $\alpha$  katı eriyikini oluşturmaktadır. Herhangi belli bir sıcaklıkta B nin eriyebilme fazlası, denge koşulları altında çökelmiştir. Bu çökme  $\beta$  fazı şeklinde olup bu, ya bir katı eriyik, ya da bir metaller arası bileşik olur.

X bileşiminde bir alaşımın  $T_u$  sıcaklığından itibaren yavaş soğumasını ele alalım.  $T_u$  da a katı eriyiki doymuş değildir ve bu durum sıcaklık  $T_s$  e düşene kadar sürer. Burada katı eriyik doymuşluğa varır ve sıcaklık  $T_s$ 'in altına düştüğünde, çökme başlayabilir. Gelişigüzel çekirdekleşme, tane sınırlarında olduğu kadar  $\alpha$  yatağında bazı kristallografik düzlemlerde meydana gelir ve  $\beta$  çekirdekleri oluşmaya başlar. Alaşım soğudukça  $\beta$ 'nin çökmesi sürer ve  $\beta$  B den yana zengin olduğundan,  $\alpha$ 'nın bileşimi PQ solvus çizgisi boyunca değişir.  $\beta$ ,  $\alpha$ 'ya göre B'den yana daha zengin olduğundan B,  $\alpha$  içinden,  $\beta$ 'nin büyüyen çekirdeğine varmak için yayılmak (difüze olmak) zorundadır. Bu da,  $\alpha$ 'nın  $\beta$  çekirdeğine yakın bölümünde,  $\alpha$ 'nın herhangi bir çekirdekten uzak bölgelerine göre B nin yoğunluğunu daha hızlı azaltma eğilimini

gösterir. Yoğunluk gradieni, bununla birlikte, B atomlarının hızlı difüzyonuna neden olamayacak kadar küçüktür ve sıcaklık düşmeyi sürdürdüğünden  $\alpha$ 'nın herhangi  $\beta$  çekirdeğinden uzak bölgelerinde B fazlasıyla çokça doymuş olur. Bunun sonucunda daha çok  $\beta$  çekirdeği oluşup büyümeye başlayacaktır.



Şek. 7.

Denge koşulları altında bu şekilde oluşan çökeltiler genellikle tutarsızdırlar (*non-coherent*). Yani oluşmuş olan yeni faz tamamen kendine ait bir kristal içyapısını haiz olup içinden çökeldiği etraftaki yataktan tamamen ayrılmıştır. Alaşım üzerinde pekiştirici etkisi genel olarak az çok sınırlı olur. Bu etki, bir tutarlı (*coherent*) çökeltinin varlığından sonuçlanankinden çok daha azdır.

Sıcaklığın  $T_R$  (oda sıcaklığı) ye düşmesi ve  $\beta$  çökmesinin denge koşullarında vaki olması halinde içyapı, şimdi artık  $X_1$  bileşiminde olan bir  $\alpha$  yatağı, ilk  $\alpha$  ( $X$  bileşiminde) ya göre çok daha az B içerecektir.

Şimdi de içyapısı tamamen homojen  $\alpha$  olacak kadar uzun süre  $T_u$  sıcaklığında tutulmuş  $X$  alaşımının  $T_R$  oda sıcaklığına çok hızlı soğutulduğunu farzedelim. Bu, soğuk suya daldırmak suretiyle gerçekleştirilebilir. Birçok halde bu gibi bir işlem herhangi bir çökeltmenin vaki olmasını önler ve  $T_R$  sıcaklığında artık B den yana fazla doymuş halde bulunan  $\alpha$  katı eriyiki ile karşılaşmış olunur. İçyapı dengede olmayıp buna *metastabil hal* adı verilir. Bir miktar  $\beta$  çökelterek bir denge haline dönmeye zorlanma vardır. Oda sıcaklığında B atomlarının hareketinin son derece yavaş olması nedeniyle böyle bir çökeltmenin vaki olma olasılığı yoktur; ama sıcaklık artırılacak olursa (örneğin menevişlemede olduğu gibi), difüzyon başlayıp sıcaklık artmaya devam ettikçe hızlanacaktır.

Alaşım, difüzyonun alçak ama kesin oranda vaki olması için bir seçilmiş sıcaklıkta tutulur. Seçilen bu sıcaklık, tutarlı olmayan çökeltmenin meydana gelmemesini sağlamak üzere,  $T_s$  in iyice altındadır. Bu ısıtım sırasında hem A ve hem B atomlarından kümeler, baştan başa  $\beta$

fazı bileşiminde olmak üzere,  $\alpha$  kafesi içinde birçok noktada yavaş yavaş gruplar oluştururlar. *Bu kümelerin önemli niteliği, bunların kafes içyapısının  $\alpha$  matris - yatağındaki ile sürekli halde oluşları,  $\alpha$  ile denge koşulları altında soğuma sırasında çökelmiş olan  $\beta$  arasında mevcut olan süreksiz ara yüzeyin bulunmayışıdır. İki kafesin bu kesintisiz sürekliliği tutarlılık - coherency olarak anılır.*

## KATI HAL REAKSİYONLARI

Buraya kadar gördüğümüz diyagramlar bir *sıvı* eriyikin ötektik ve sair katı eriyiklere ayrışmasını tasvir etmiştir. Bir *katı* eriyik tamamen aynı tip reaksiyonları hasıl edebilip bu gibi katı hal ayrışmaları endüstride son derece ilginçtir.

Faz analiz teori ve metodu sıvı ve katı değişmeler için eş olup yalnız hafifçe değişik *ötektoid* ve *peritektoid* terimlerinin kullanılması gereklidir. Böylece bir katı eriyikin ayrışmasında faz ilişkilerine uygun şekilde yaklaşılmış olunur.

Katı hal reaksiyonları iki önemli bakımdan, faz diyagramının öngördüğü denge koşullarına erişme şekli itibariyle, sıvı reaksiyonlardan fark eder:

1. Katı hal reaksiyonları çok daha yavaş vaki olur, daha büyük histerezise (yani süper soğumaya) tabi olurlar ve pratikte nadiren denge koşullarına tekabül ederler.
2. Katı fazlar belirli bir kristal dokuları halinde düzenlenmiş atomlardan ibaret olup mevcut bir katı fazdan oluşan yeni katı fazlar, mevcut kristal dokuya nazaran kesin pozisyon almaya meyleder. Yani, yeni fazın kristal dokusu, kendisinden itibaren oluştuğu fazın kristal dokusuna nazaran kesin bir *yön ilişkisini* haizdir.

% 0,83 ten az karbonlu bir karbonlu çelik *hipoötektoid*, % 0,83 ten fazla karbonlusu da *hiperötektoid* çelik olarak adlandırılır. Doğal olarak da tam % 0,83 karbon içeren karbonlu çeliğe de *ötektoid* çelik adı verilir.

Devam etmeden önce sık karşılaşacağımız bazı terimlerin kısa tanımlamasını yapalım:

*Sementit* : Demir - karbon bileşiği ( $\text{Fe}_3\text{C}$  demir karbürü)

*Perlit* : Ferrit + sementit karışımı.

*Ferrit* : Saf demir kristalleri ( $\alpha$  demiri).

*Austenit* : Karbonun  $\gamma$  demiri içinde katı eriyiki.

*Martensit* : Karbonun  $\alpha$  demiri içinde katı eriyiki. Hızlı soğutma (su verme) yoluyla austenitin dönüşümü.

*Sorbit* : Ferrit ve sementitin çok ince karışımı. Menevişleme yoluyla martensitin dönüşümü.

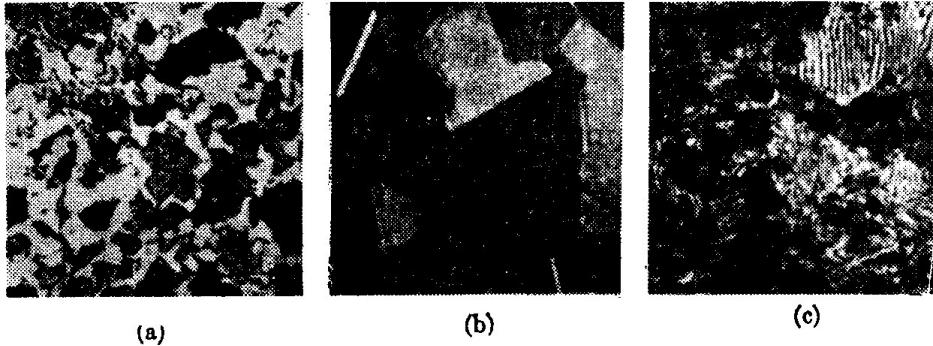
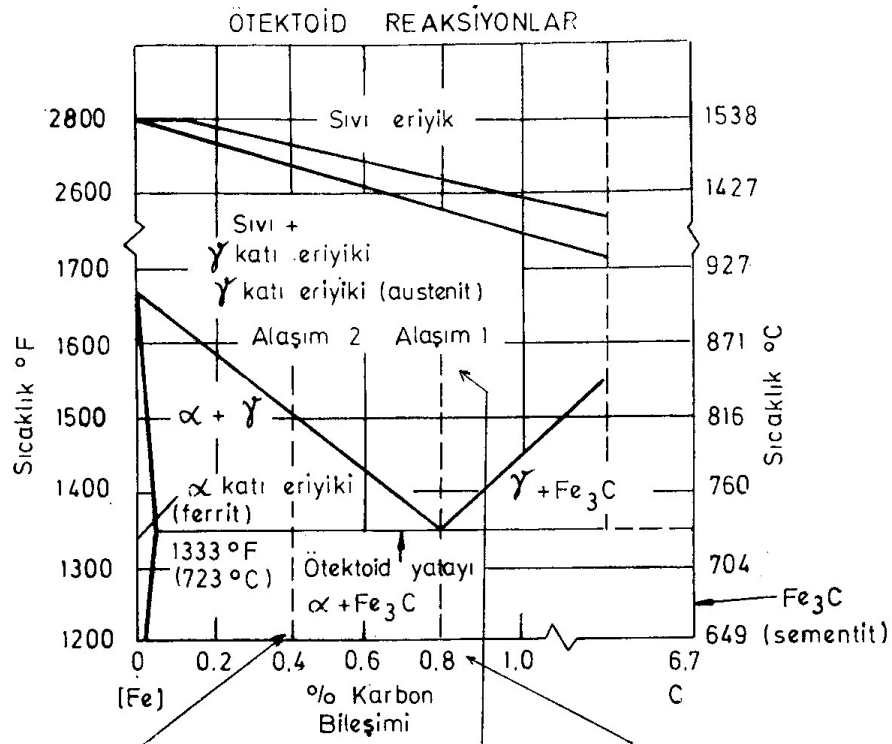
*Bainit* : Ferrit ve sementitin çok ince karışımı. İğneler halinde içyapı.

Martensit, bir denge içyapısı olmadığından denge diyagramı üzerinde görünmez. Hızlı soğuma yapısal dengeye varılmasını önlemiştir. Bilindiği gibi martensit çok sert ve aynı zamanda gevrek bir malzeme olup çelik bu durumuyla ancak çok ileri bir sertliğin arandığı hallerde kullanılır Su vermeden sonra çeliğin tokluğunu artırmak üzere, sertlik azalması pahasına çelik menevişlenir.

İçyapıda bir değişme yer alıp bu değişme menevişleme sıcaklığına göre farklı olur : 400° C civarında menevişlemede troostit, 600° C civarında *sorbit* meydana gelecektir. Her iki halde de menevişleme çeliğe bir ölçüde geriye doğru yapısal dengeye doğru gitme olanağını sağlamıştır: martensitik dokudan değişik miktarlarda mikroskopik taneciklerin çökmesi vaki olmuştur.

### ÖTEKTOİD REAKSİYONLAR

Çeliğin sertleştirilebilmesi, demir-karbon denge diyagramında olduğu gibi, doğruca bir ötektoid reaksiyonun sonucudur. Tıpkı bir ötektik reaksiyonun bir *sıvı* eriyikin ayrışması ile ilgili olması gibi bir ötektoid reaksiyon da bir *katı* eriyikin iki başka katı faza ayrışması ile ilgilidir. Şek. 8'de bu katı eriyik *austenit* veya yukarda söylediğimiz gibi gamma-katı eriyiki adını alır (austenit, katı eriyik donması ile sıvı halden oluşur). Şimdi austenitin denge ayrışmasını görelim.



Şek. 8. — Bir ötektik reaksiyonda sıvı eriyik gibi hareket eden gamma katı eriyiki ile bir ötektik reaksiyonu gösteren basitleştirilmiş bir demir-karbon denge diyagramının bir kısmı. (a) Ferrit (açık) ve perlit (koyu). (b) austenit. (c) Perlit [ferrit (açık) ve Fe<sub>3</sub>C (koyu)]. (x 500).

Ötektoid bileşimde austenit en basit ayrışma şeklini sürdürür (ötektoid bileşim, ötektoid reaksiyon yatayı arasından yavaşça soğutulduğunda % 100 ötektoid doku teşkil eder). Şek. 8' deki 1 alaşımı bu bileşimi haiz olup diyagramın austenit bölgesinde bu alaşımın tipik faz analizi aşağıdaki gibidir :

Nokta : 760° C ta % 0,8 karbon alaşımı

Faz : Gamma katı eriyiki (*austenit*)

Bileşim : % 0,8 C

Miktar : % 100

1 alaşımı ötektoid reaksiyon yatayı arasından soğutulduğunda austenit fazı alfa katı eriyiki (ferrit) ve demir karbürü ( $Fe_3C$  veya *sementit*) fazı halinde ayrışır. Bu ötektoid ayrışmanın tabiatı mutlak surette ötektik ayrışmanınkinin aynıdır. Yeni iki katı faz, austenitin belli bir bölgesinde bir perlit çekirdeği (ötektoid mikrobileşkeni) hasıl etmek üzere yanyana teşekkül ederler. Birçok perlit çekirdeğinin gelişmesiyle austenit fazı yok oldukça çekirdekler birbirleriyle buluşup Şek. 8 c deki gibi bir düzen oluşturlar.

Keza sistemler bir peritektik reaksiyona benzeyen değişmeyi haiz olabilirler, fakat reaksiyon katı hal içinde vaki olur. Bunlara da *peritektid* reaksiyonlar adı verilir.

#### İKİLİ DİYAGRAMLARIN OKUNUŞ KÂİDELERİ

- 1 - Her bir denge bölgesi en fazla iki faz tarafından işgal edilebilir.
- 2 - Diyagramın bir meyilli çizgisi kesildiğinde, faz sayısı bir ünite kadar artar.
- 3 - Çevresi bir yatay kısmı haiz olan her bölge iki fazlıdır. Aynı yatay çizgi ile sınırlanmış iki fazlı çeşitli bölgeler toplam olarak sadece ikişer ikişer birleşmiş üç değişik fazı haizdir.
- 4 - Diyagramın üst bölümünde bulunan tek sıvı fazlı bölge dışında, bütün tek bir fazlı bölgelerde katı eriyikler bulunur.
- 5 - Diyagramlarda sadece iki fazlı bölgelerde görülen her faz ya saf bir metal veya belirli bir bileşiktir.

#### DEMİR — KARBON DİYAGRAMI

İyice bilinen bu diyagramın ayrıntılarına girmeyip bazı hususları hatırlatmayla yetineceğiz (Şek. 9).

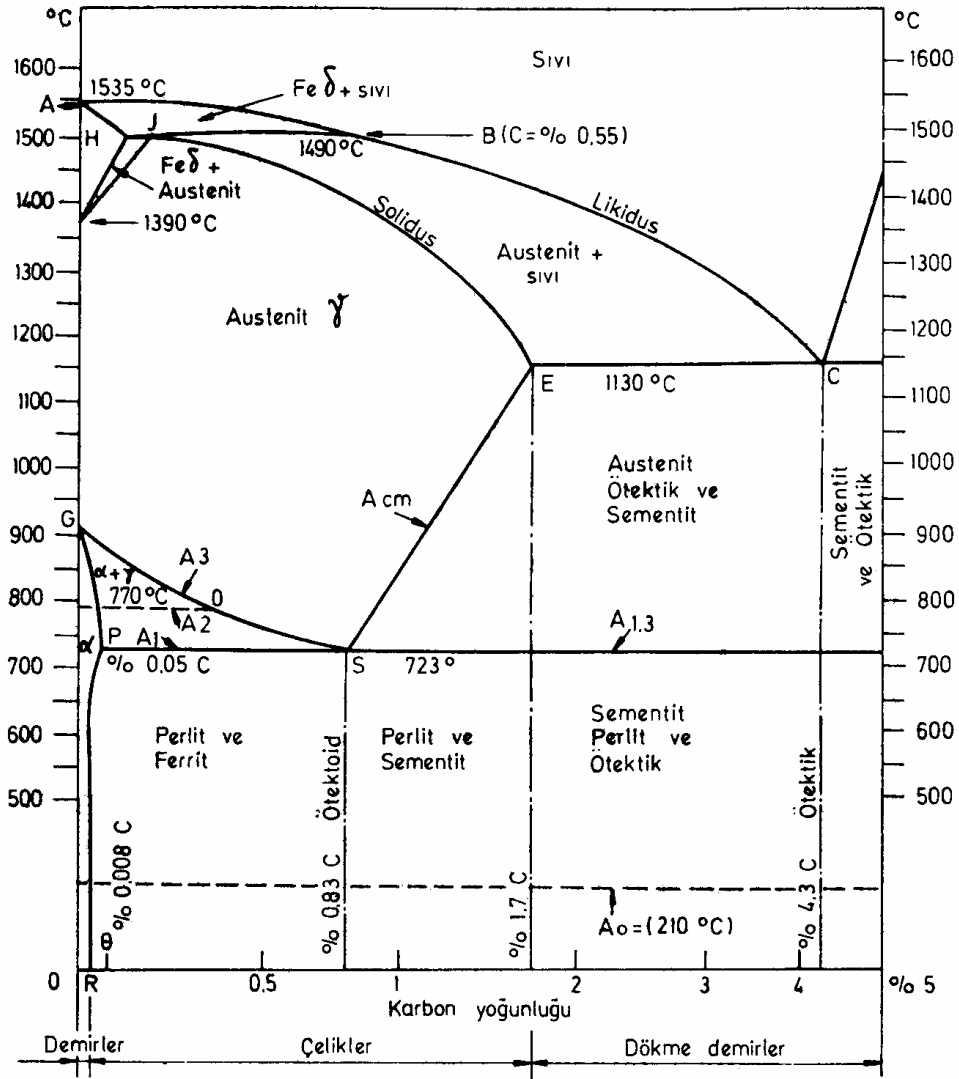
Saf demir 1535° C'ta katılaşır. Katılaşma sıcaklığı AB likidusu boyunca azalır,  $\alpha$  fazının eşdeğeri  $\delta$  fazı çöker.  $\gamma$  fazının çekirdekleri B geçiş noktasında belirir, C ötekiğine kadar devam eder. Bundan sonra likidus  $Fe_3C$  sementitin ergime sıcaklığına kadar çıkar.

$A_3$  değişme çizgisinin üstündeki katı faz da, atabil faz,  $\gamma$  katı eriyikidir. C noktası karbonun  $\gamma$  katı eriyiki içinde eriyebilme sınırına tekabül eder.  $\gamma \rightarrow \alpha$  değişmesi GS çizgisi boyunca vaki olur. GPR çizgisi de karbonun  $\alpha$  demiri içinde eriyebilme sınırına tekabül eder.

Sementit, aşırı doymuş austenitten ES çizgisiyle ayrılır.

S ötektoidi,  $\gamma \rightarrow \alpha$  değişiminin (GS çizgisi) ve sementit ayrımının (ES çizgisi) bitiş noktası olup yaklaşık % 0,83 karbon civarındadır. Yukardaki değişimlerin bitmesiyle *perlit* diye adlandırılan lamelli bir agregatın çökmesi vaki olmuştur.

Bu diyagram (Şek. 9.) labil (istikrarsız) demir- sementit sistemine tekabül eder.



Şek. 9.