

Çok Fazlı Metal ve Alaşımların Katılaşması (I)

Prof. Dr. Kerem Altuğ GÜLER

Bir önceki bölümde tek fazlı metallerin ve alaşımların katılaşması, oluşan bileşimsel ve yapısal etkiler göz önüne alınarak ele alınmıştır. Bu bölümde iki veya daha fazla fazların bulunduğu daha karmaşık alaşımlar incelenmiştir. İlk olarak ötektikler, peritektikler ve monotektikler anlatılmış ve daha sonra eriyiklerdeki inklüzyon ve gazlara değinilmiştir.

Ötektikler

Yunanca kelimeler eu: kolay, teksis: ergiyen

Ötektik (eutectic): Kolay ergiyen

İkili ötektikler

Ötektik bileşimdeki bir alaşım ele alınacak olursa; eş zamanlı olarak katılan iki faz birbiri ile iç içe karışımdan oluşan yapıyı oluştururlar.

α faktörüne bağlı olarak ötektikler üç gruba ayrılır.

(i) kaba-kaba

(ii) kaba-düz (façetalı)

(iii) düz-düz

kaba: $\alpha < 2$ düz: $\alpha > 2$

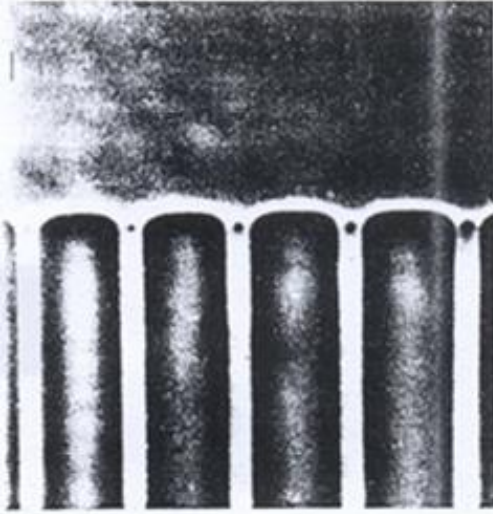
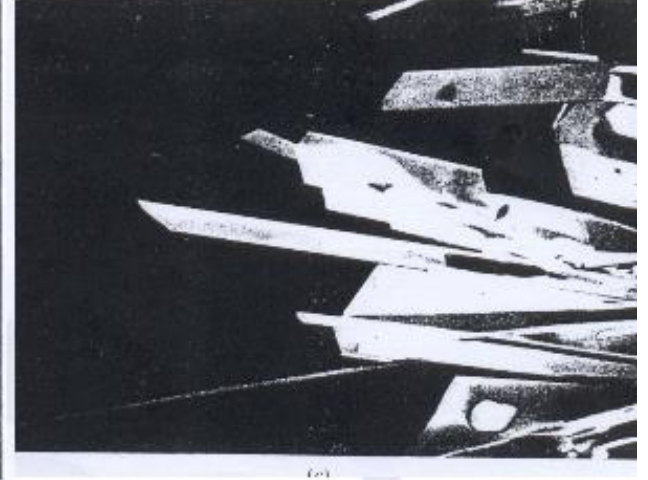


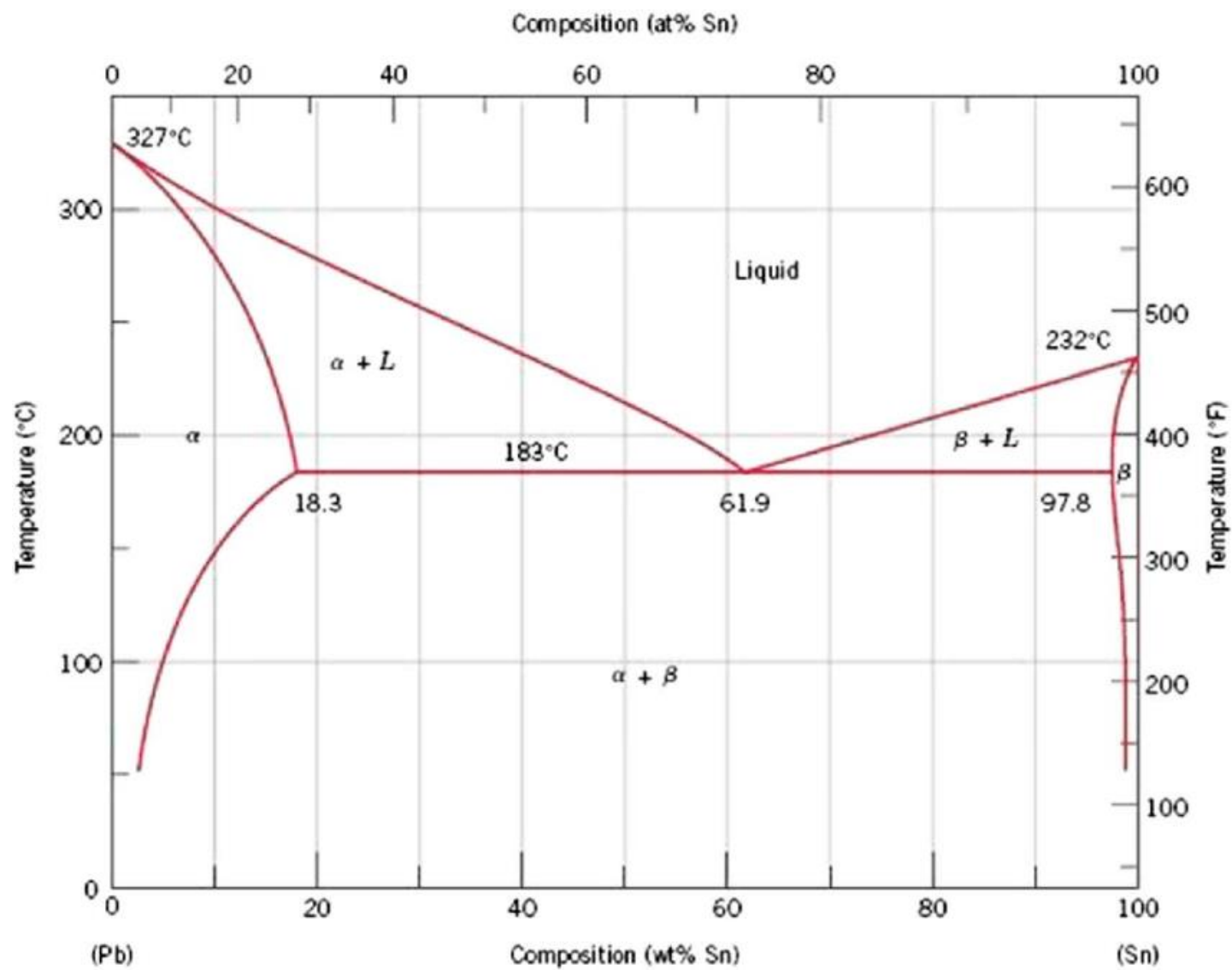
Fig. 5.2 (a)



Fig. 5.2 (b)



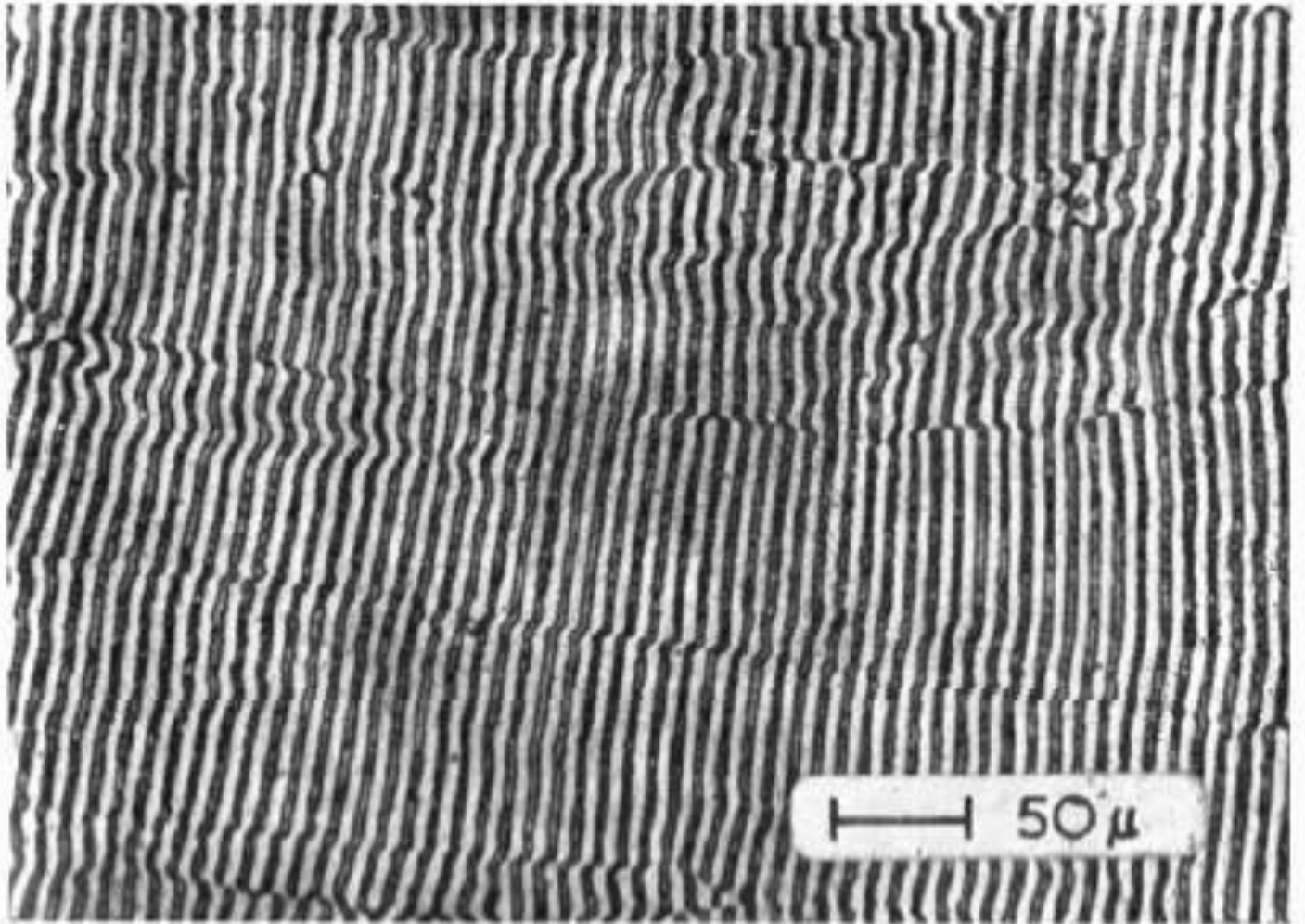
a) Karbon tetrabromide-hegzakloreten sisteminde lamelli ötektik yapı ($\alpha < 2$) b) succinonitrile (kaba, $\alpha < 2$)-borneol (façetalı, $\alpha > 2$) sisteminde düzensiz ötektik yapı c) azobenzen-benzil sistemde kompleks ötektik yapı. Her iki faz façetalı ara yüzeye sahiptir. Eşli büyüme oluşmaz.



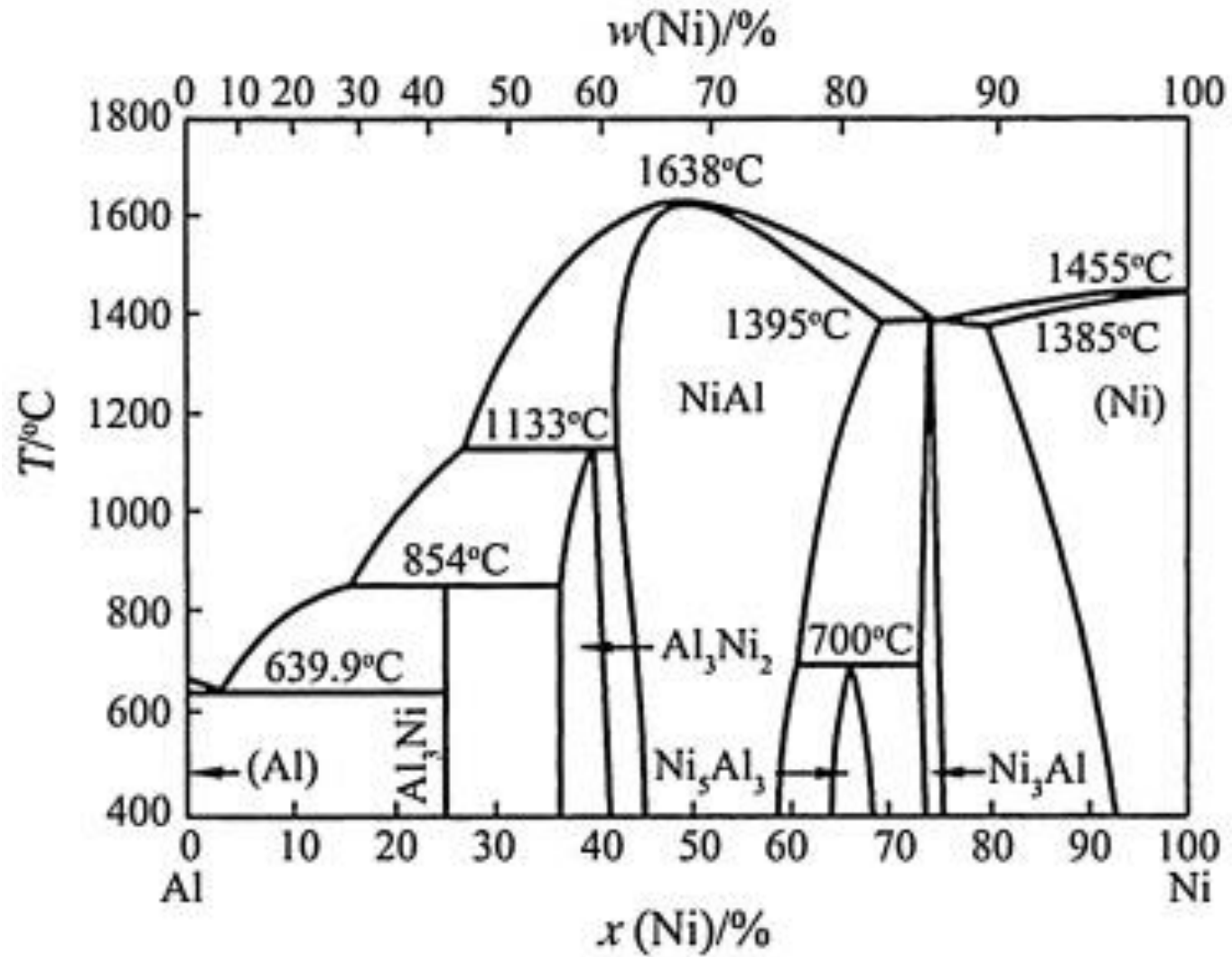
Çoğu metalik ötektikler grup (i) içine girer ve büyüme sırasında fazlar arasında eşlilik söz konusudur (eşli büyüme). Eşli büyümede iki faz birbirleri ile yan yana büyür ve her fazın önündeki sıvı bölgeler arasında çözünen hareketi oluşur. Büyüme modu bazı ortak bağımlılıklar gösterir. Normal morfolojiler lamelli yapı veya çubuksu yapıdadır Emprütelerin varlığında, hücresel büyüme oluşur ve ötektik koloniler teşekkül eder. Lamelli ötektiklerde lamellar arası mesafe (λ), ile büyüme hızı (R) arasındaki ilişki aşağıdaki eşitlikle ifade edilebilir;

$$\lambda \propto \frac{1}{\sqrt{R}}$$

Bu ilişki teorik olarak tahmin edilmiş ve deneysel olarak doğrulanmıştır.



Kurşun-kalay sisteminde lamelli ötektik



Al- Al_3Ni C_E : 5.7 % Ni, 94.3 % Al

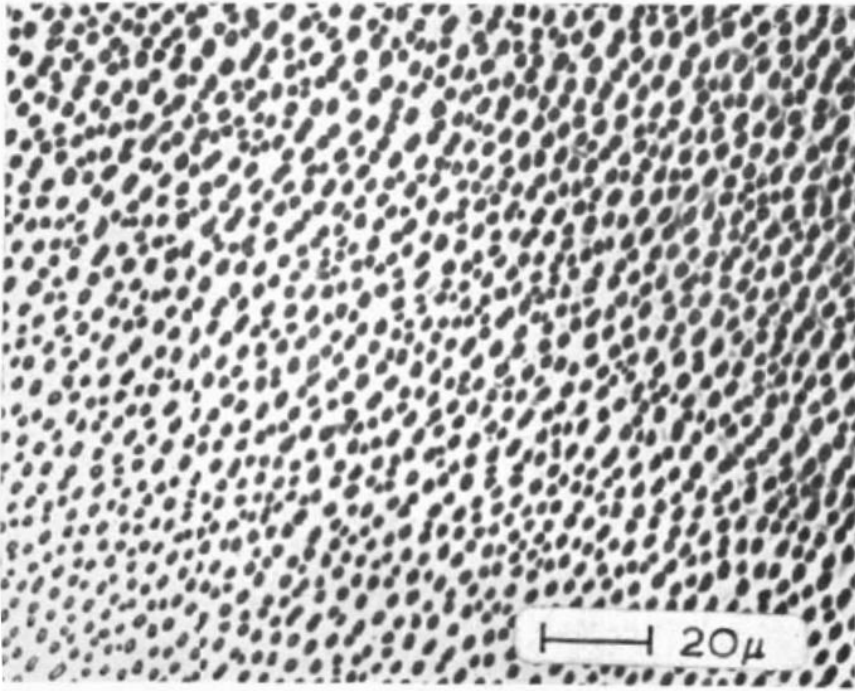
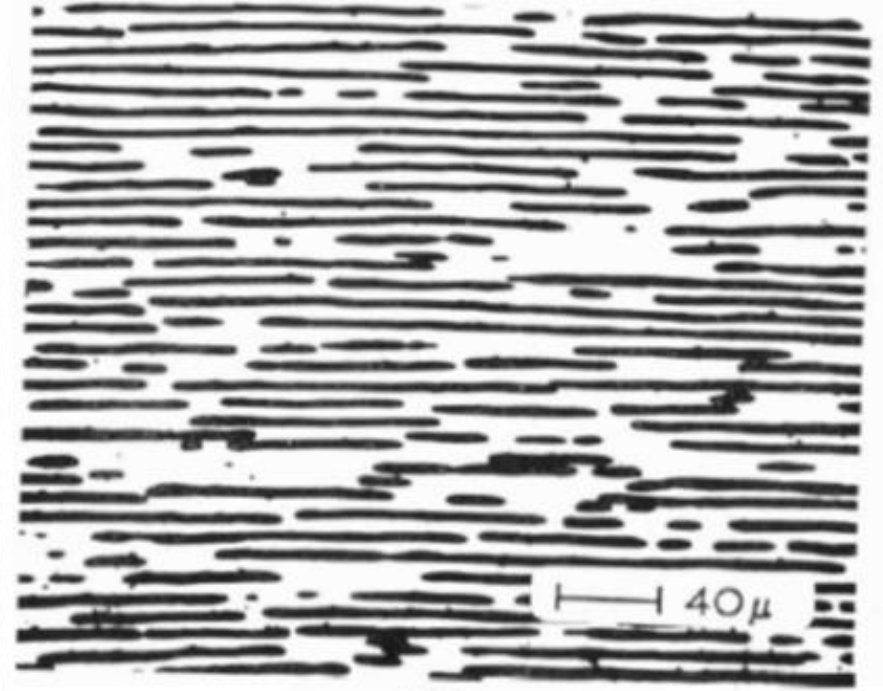


Fig. 5.3 (b)(i)

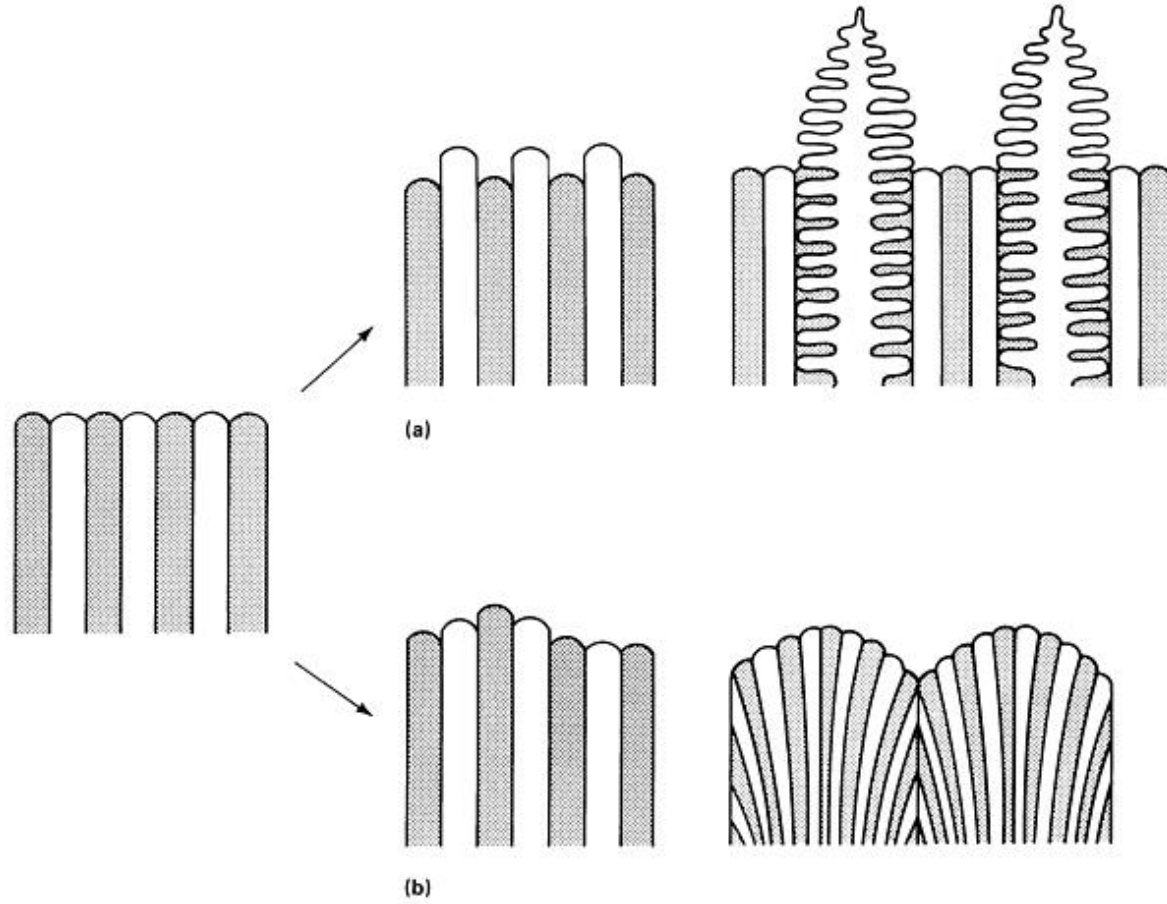


(b)(ii)

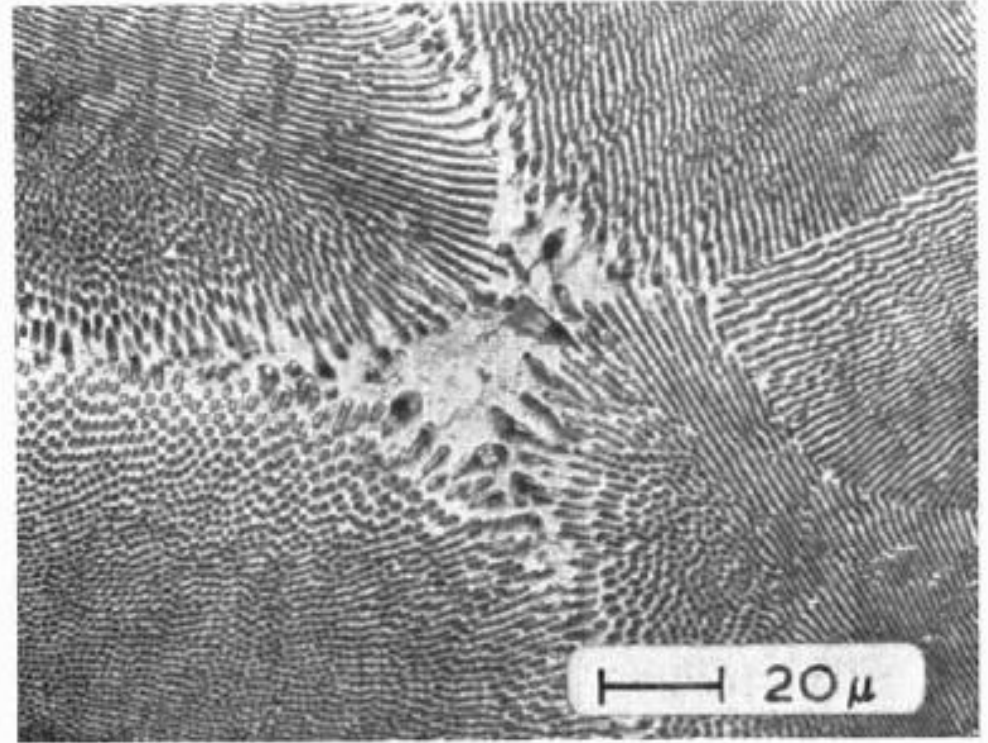
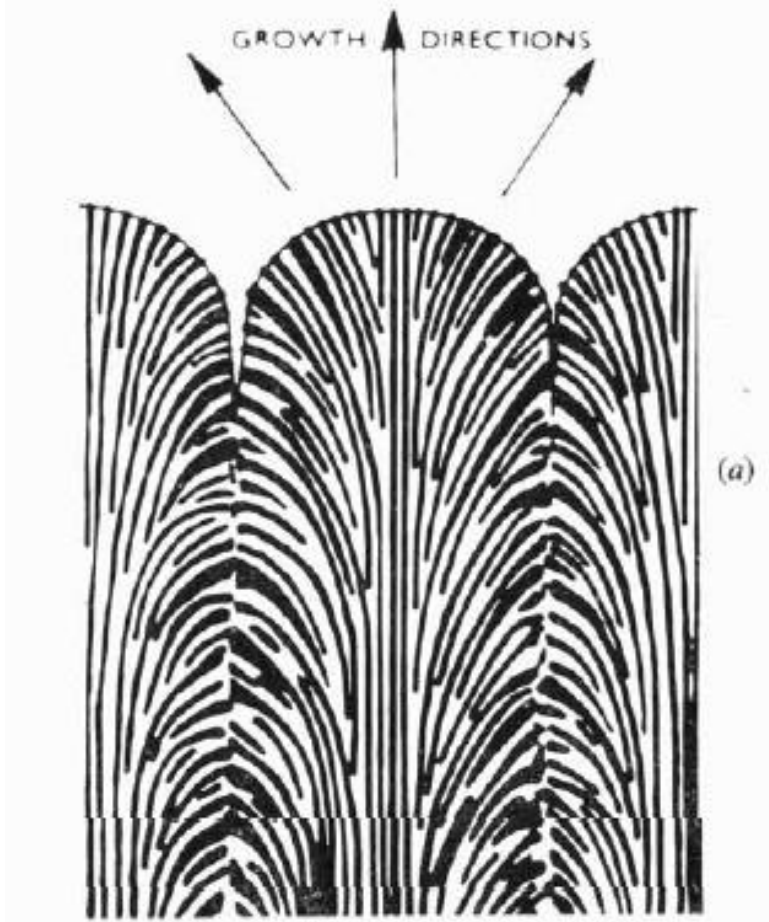
Al-Al₃Ni sisteminde çubuklu ötektik
i) enine kesit ii) boyuna kesit

Dendritlerin ve Ötektiklerin Rekabetçi Büyümesi

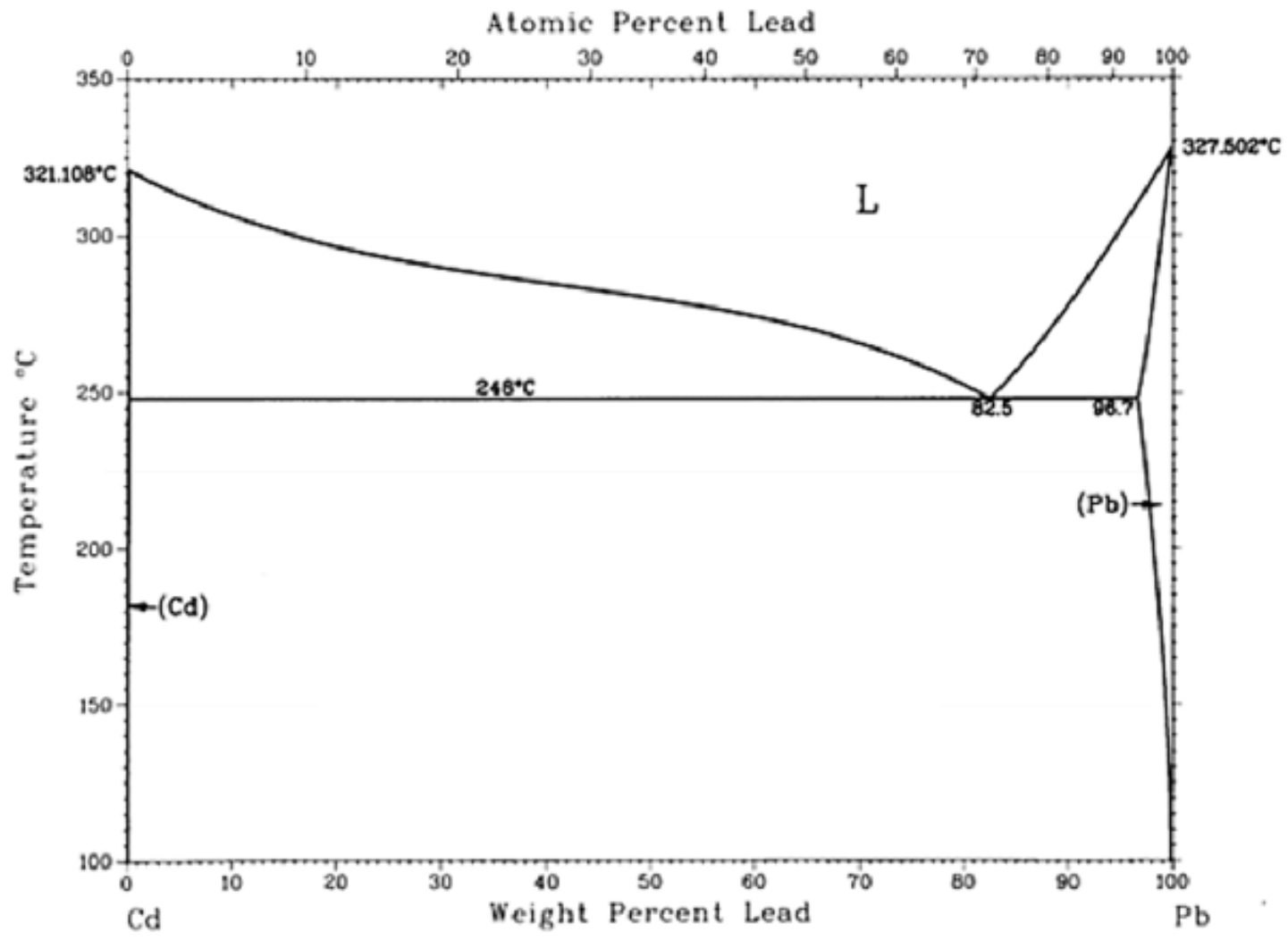
Bir ikili ötektik alaşımanın katılaşmasında büyüme düzenlidir, katı/sıvı ara yüzeyi düzlemseldir. Bununla birlikte, alaşım bileşimi ötektikten ayrıldığında veya üçüncü bir alaşım elementi mevcut olduğunda, ara yüzey basit bir katı/sıvı ara yüzeyi durumunda olduğu gibi aynı nedenden dolayı kararsız hale gelebilir. Bir sonraki sayfadaki şekilde gösterildiği gibi iki tür morfolojik kararsızlık gelişebilir: tek fazlı ve iki fazlı.



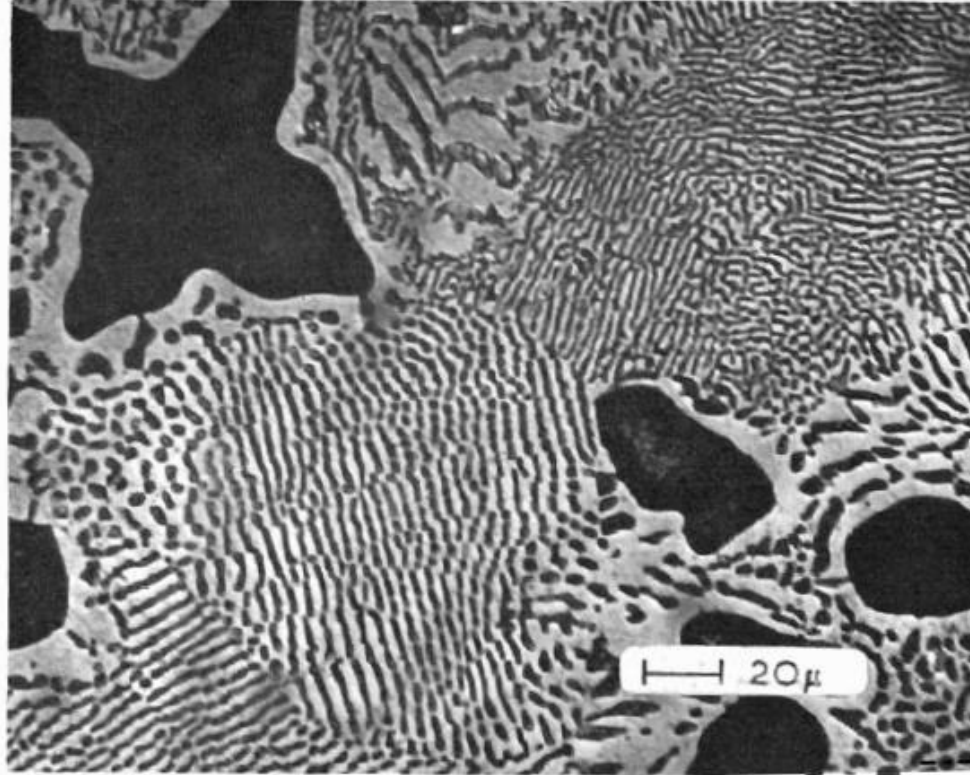
Düzlemsel bir katı/sıvı ötektik ara yüzeyinin kararsızlık türleri. (a) Bir fazın dendritlerinin ortaya çıkmasına neden olan tek fazlı kararsızlık. (b) Üçüncü bir alaşım elementinin varlığında ötektik hücrelerin veya kolonilerin ortaya çıkmasına yol açan iki faz kararsızlığı.



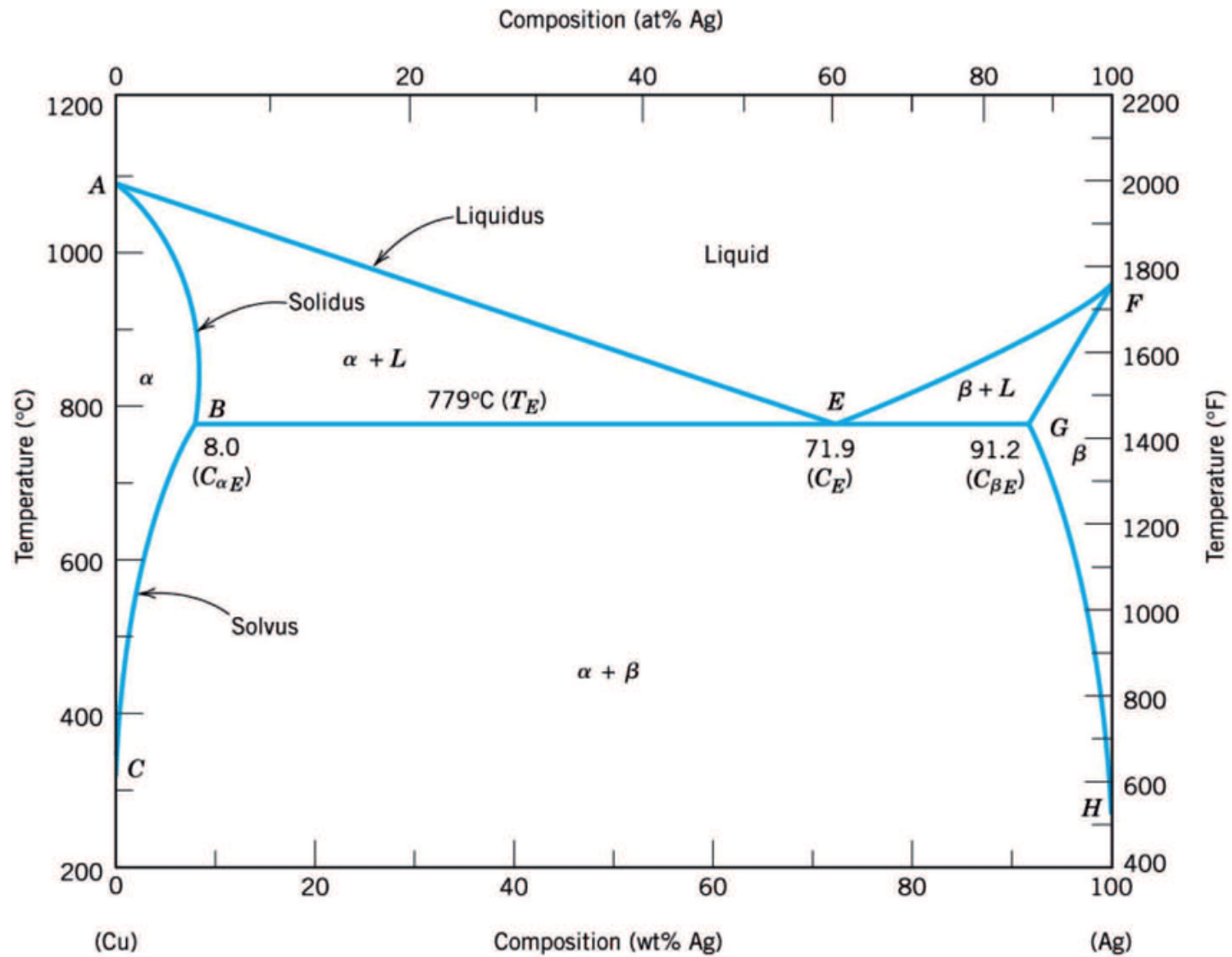
(a) Kavisli bir hücresel ara yüzey ile büyüyen bir lamelli ötektiğin büyüme cephesinin şematik temsili. Hücre sınırlarında çubuklar oluşur. (b) Ötektik koloni yapısını gösteren saf olmayan bir kurşun-kadmiyum alaşımından kesit.



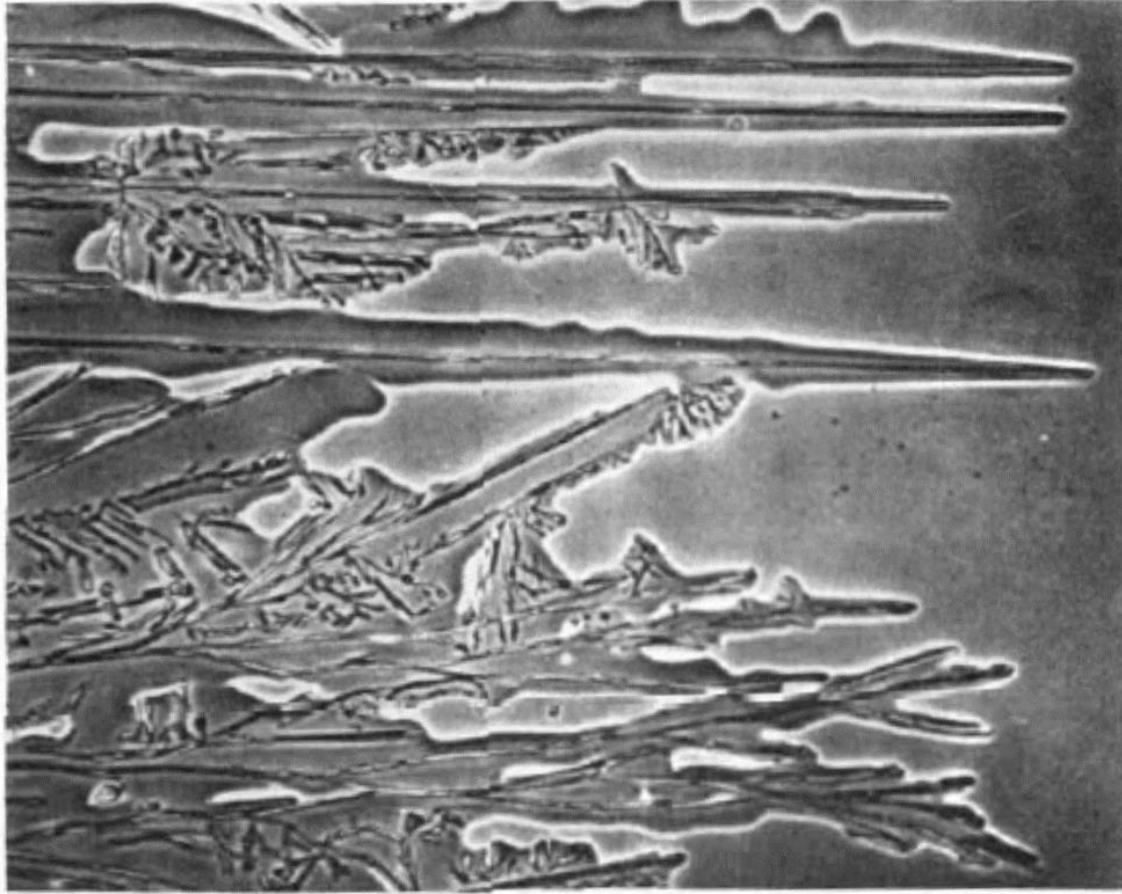
Ötektik olmayan kompozisyonlarda ötektik reaksiyon; birincil fazın dendritik büyümesiyle başlar. Sonuç yapı; ötektik matrisi içindeki dendritlerden oluşur



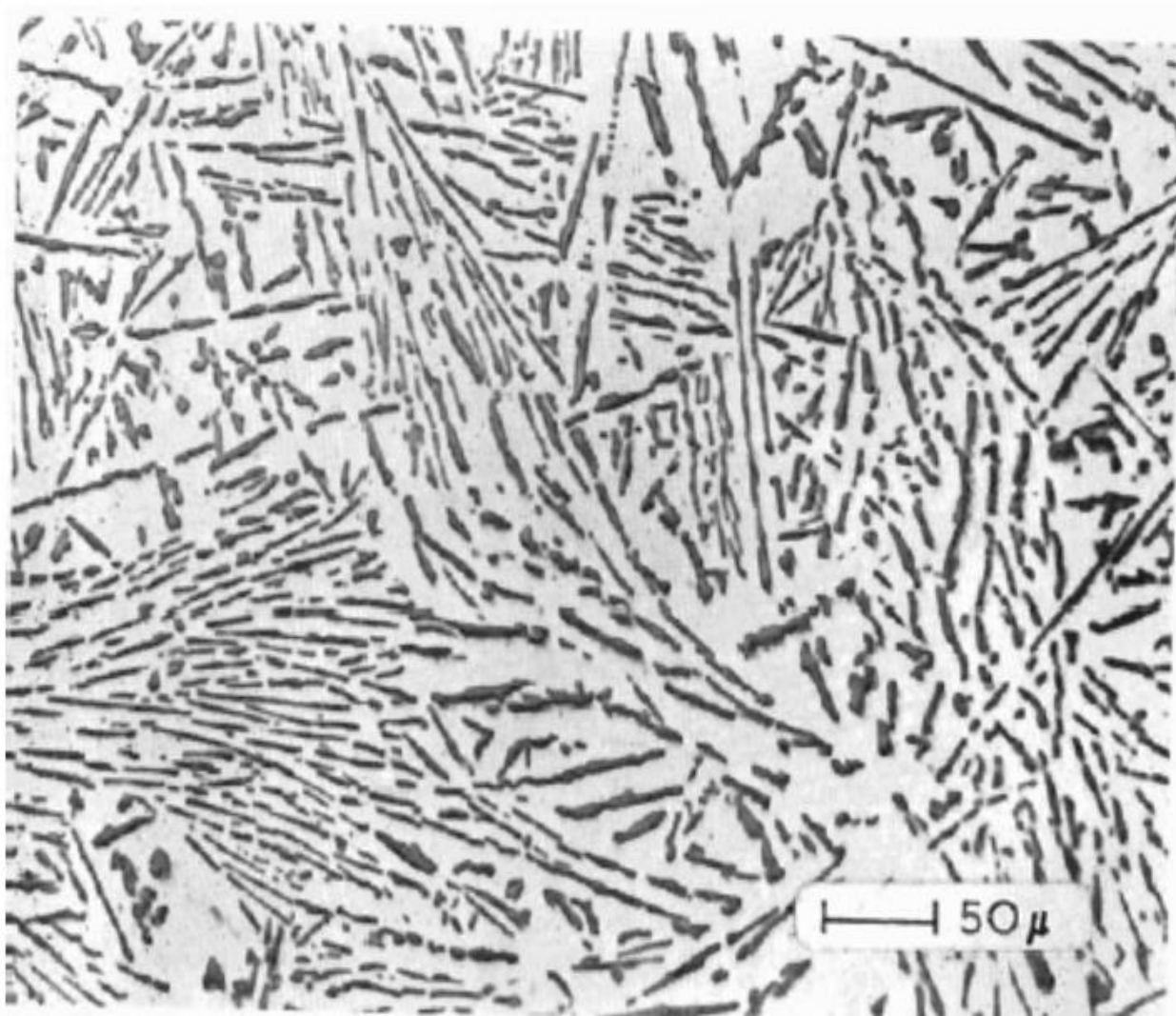
Ötektik kolonilerden oluşan matris içinde bakırca zengin dendritleri gösteren bakır-gümüş sistemine ait ötektikaltı alaşımın mikroyapı resmi.



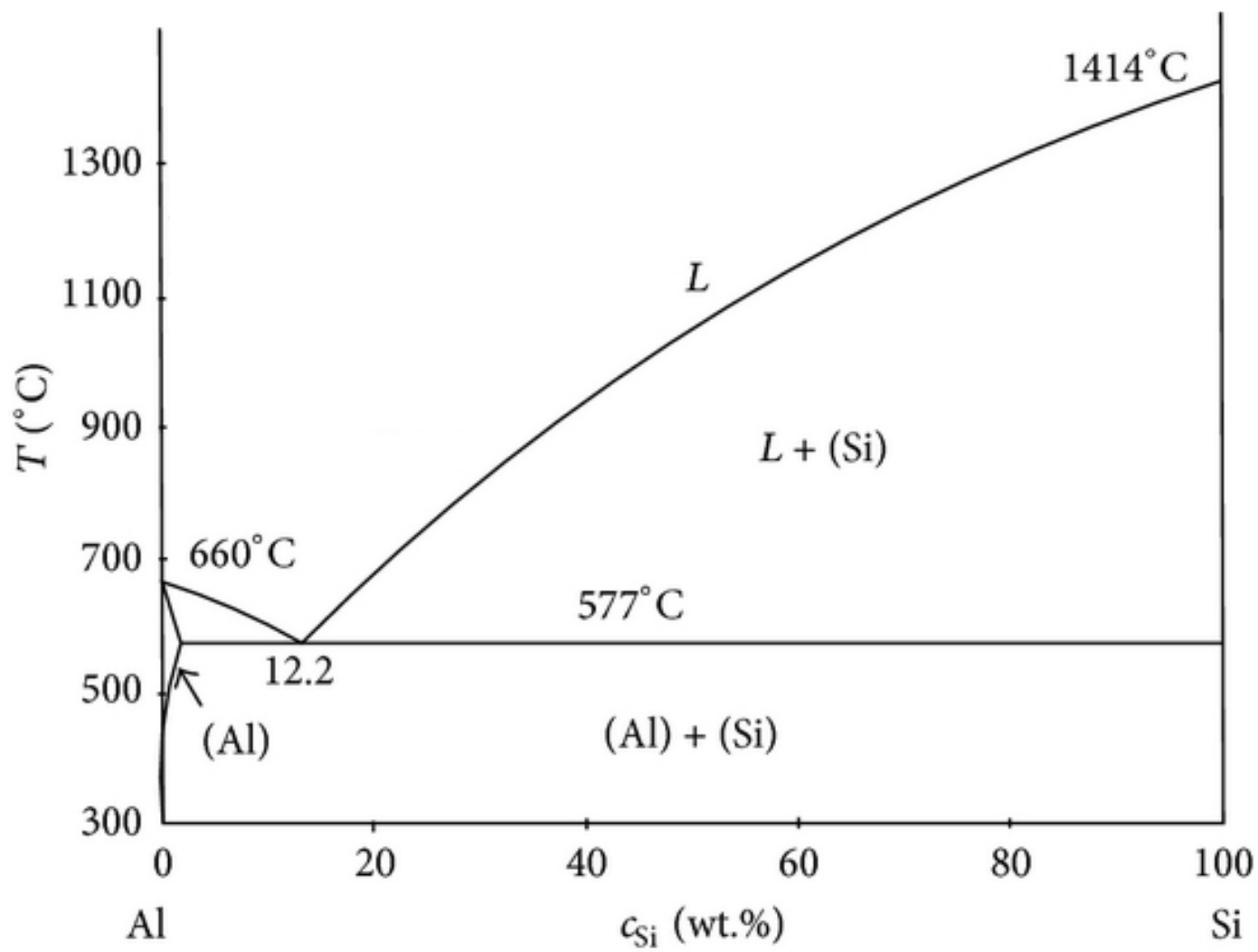
Grup (ii) ötektiklerde büyüme süreci hala eşlidir ve façetalı faz dominanttır. Sonuç yapılar daha az düzenlidir. Şekilde görüldüğü gibi façetalı fazın uçları dışındaki bölgeleri diğer faz tarafından sarılmıştır. Day ve Hallawell tarafından gösterildiği üzere alüminyum-silisyum ve demir-grafit metalurjik sistemleri bu tipe girmektedir. Bu iki sistem; düşük oranlarda ($\sim \% 0,01$) sodyum, stronsiyum (Al-Si için) seryum veya magnezyumun (demir-grafit için) eklenmesiyle yapısal olarak modifiye edilir.



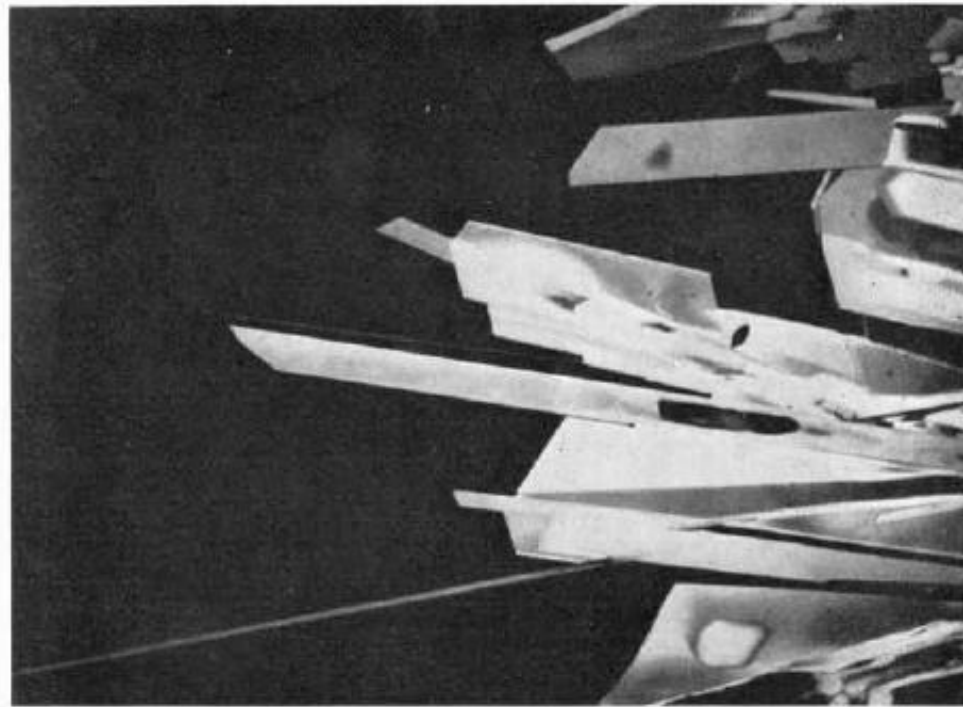
Düzensiz bir ötektik yapı (kaba-düz)



Alüminyum –silisyum sistemindeki normal ötektik yapısı



Her iki ötektik bileşenin de düz (façetalı)(grup iii) olduğunda, büyüme artık eşli olmaz ve sonuç yapı iki fazın rastgele karışımından oluşur Bu tip yapı metalik sistemlerde fazla yaygın değildir; fakat bileşenlerin α faktörünün büyük olduğu metalik olmayan sistemlerde oluşabilmektedir.

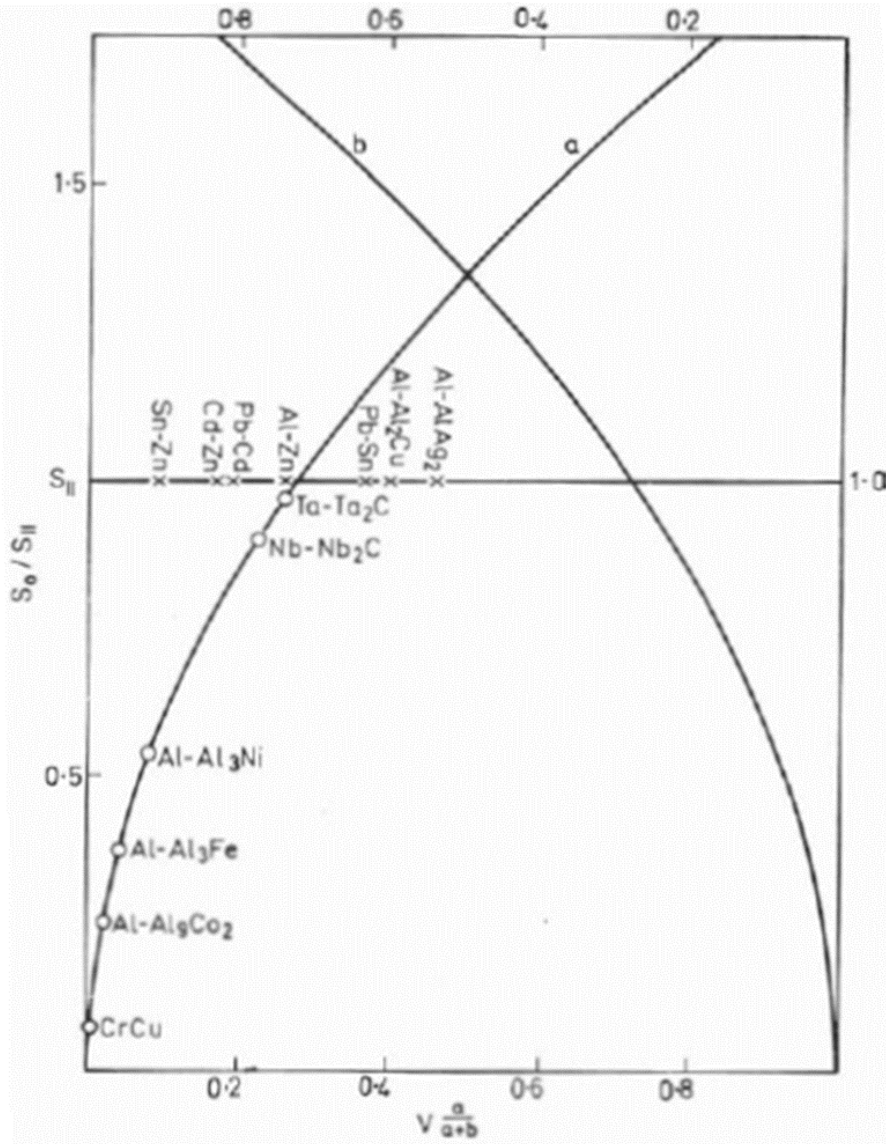


Karmaşık ötektik yapı, her iki fazın da normal olarak façetalı arayüzleri vardır. Eşli büyüme görülmez. (düz-düz)

Lamel çubuk geçiři

İkili ötektik katılaşma ile diğerk önemli bir husus, özellikle ötektiklerin yüksek mukavemetli kompozitlerde kullanımında önem taşıyan lamel-çubuk geçişidir. Ötektik bileşimli alaşımlarda, fazlardan birinin hacim oranı düşük olduğunda çubuksu yapı oluşur, fazların hacim oranları birbirine yakın olduğunda ise lamelli yapı teşekkül eder.

Bazı koşullar altında, normal katılaşma değişkenleri (büyüme hızı, katı-sıvı ara yüzeyindeki sıcaklık gradyanı) etkili olmasına rağmen morfolojinin fazlar arası (ara faz) enerji kriterleri tarafından kontrol edildiği kabul edilmektedir. Basit geometrik öngörüler tarafından tayin edilen belirli bir yerleşimin tercihi bir sonraki şekilde gösterilmiştir.



Lamelli ötektik düzenin yüzey alanı S_{II} , nin çubuksu yapının değeri S_0 'a, göre hacim oranlarına bağlı olarak nisbi değişimi veya tam tersi: (a) küçük bileşenin hacim oranı, (b) büyük bileşenin hacim oranı . Lamelli yerleşime sahip ötektik X ve çubuksu yerleşime sahip ötektik O ile işaretlenmiştir.

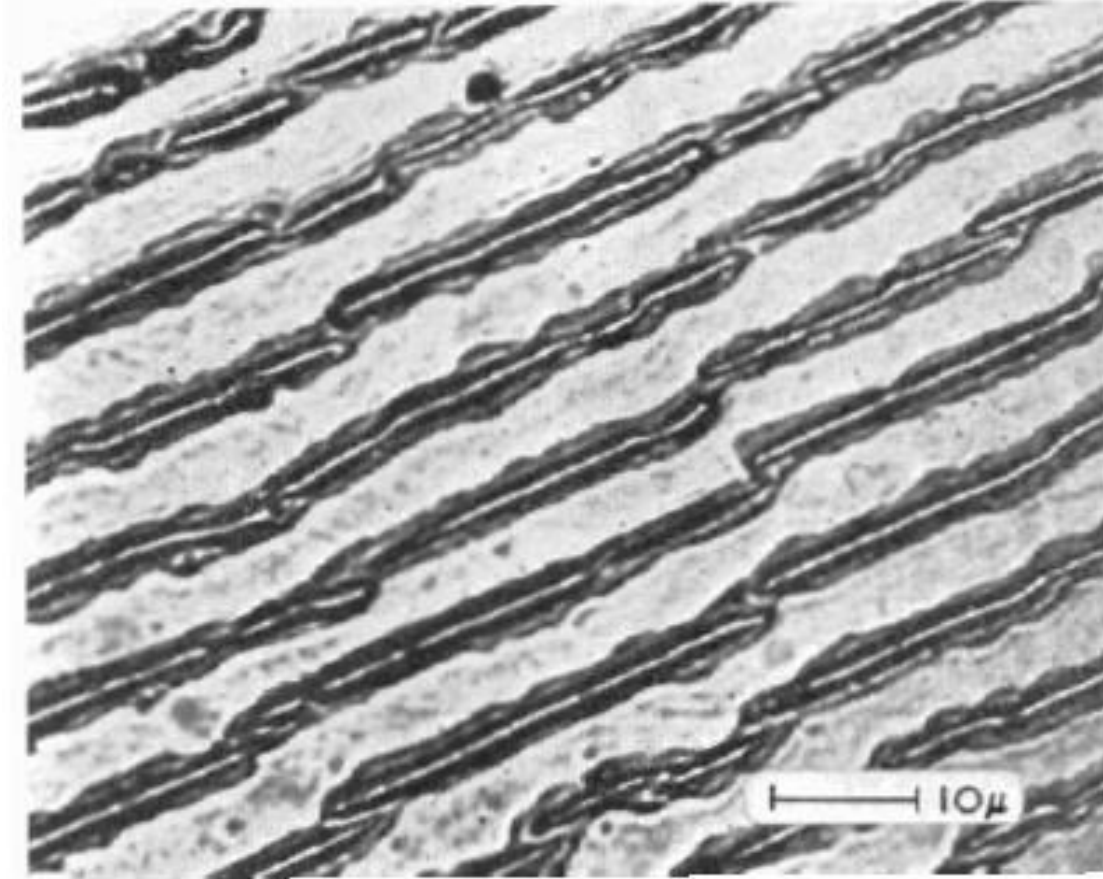
Fiber sistemin (S_0) yüzey alanı hacim oranlarına çok duyarlıdır ve çubuklar birbirleri ile temas ettikleri anda 0 'dan yaklaşık 0.8 ' e yükselir. Diğer yandan lamelli dizilerin (lameller koloni) yüzey alanları (S_{II}) lamel kalınlığından bağımsız olduğundan hacim oranından da bağımsızdır. Şayet fazlar arası enerjiler lameller ve çubuklarla aynı ise 0,3 'den yüksek hacim oranlarında lamelli yapıların oluşacağı kabul edilebilir.

$$V \left(\frac{a}{a + b} \right) > 0.3$$

(Lamelli ötektik oluşur)

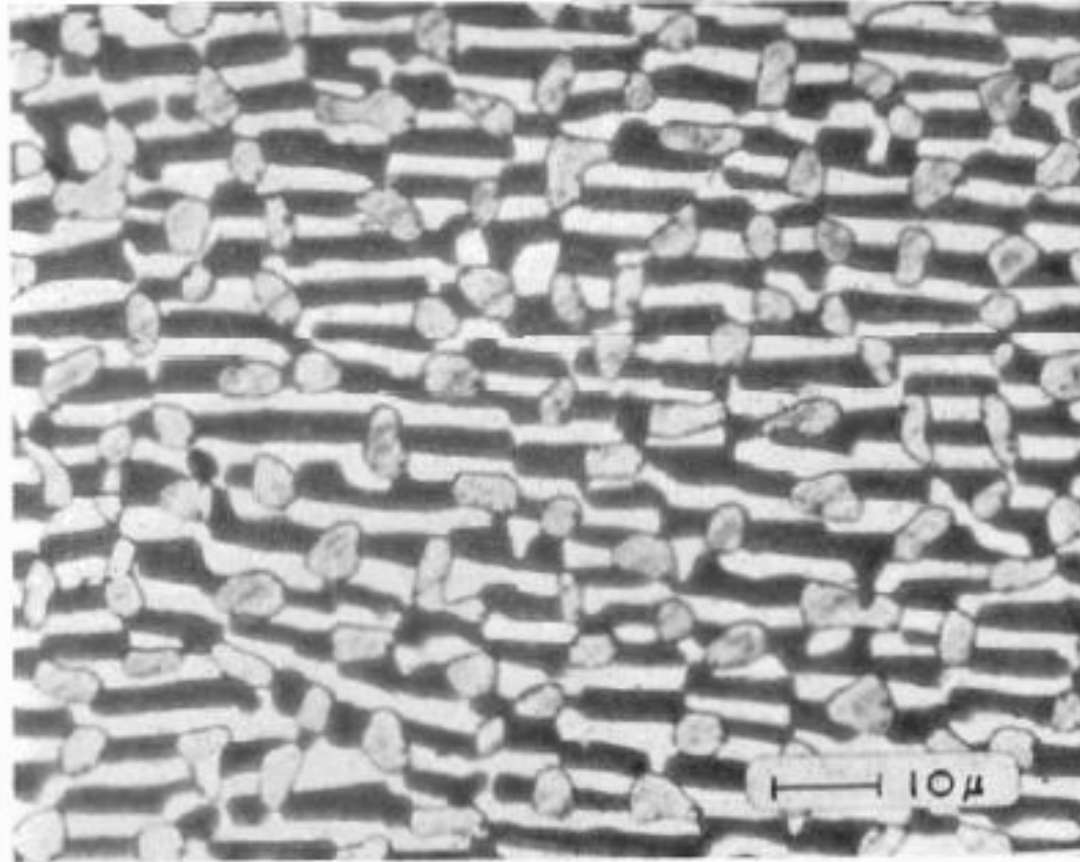
Üçlü ötektikler

Kompleks lamelli



a) Kadmiyum (α)-kalay (β) – kurşun (γ) sistemine ait üç bileşenli üçlü lamelli ötektik. Lamelli düzen $\alpha\gamma\beta\gamma\alpha\gamma$ şeklindedir

Lamelli çubuklu kombine yapılar



Alüminyum-bakır-magnezyum kompleks üçlü sistemi. Lamelli fazlar alüminyum ve CuAl_2 'dir, çubuksu faz magnezyumca zengindir.

Ötektiklerin modifikasyonu

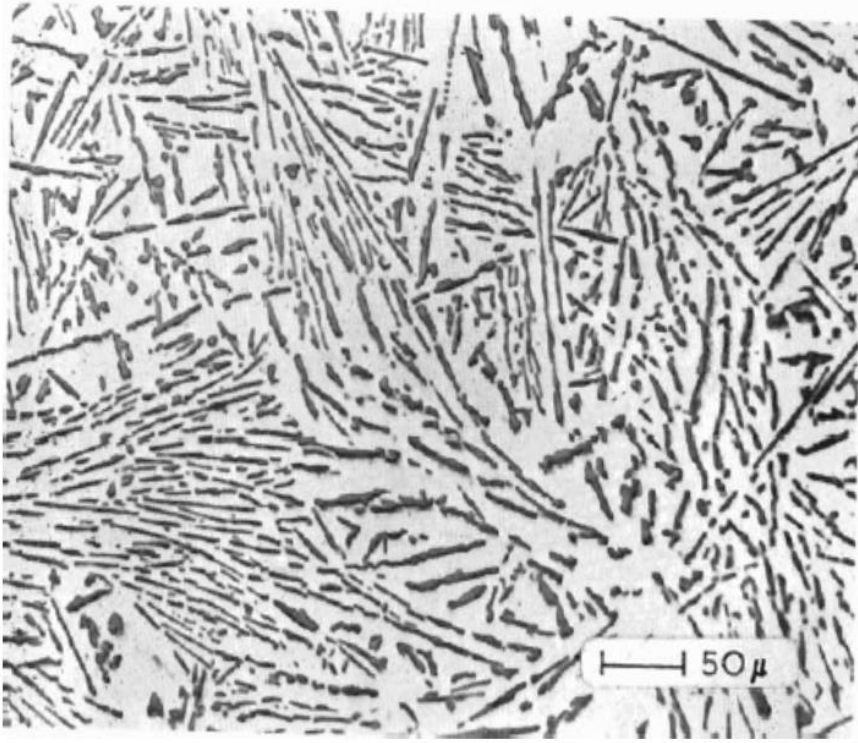
Yukarıda da anlatıldığı gibi, alüminyum-silisyum ve demir-karbon (grafit) sistemlerine sırasıyla Na veya Sr ve Mg veya Ce katılmasıyla yapısal modifikasyon gerçekleştirilebilir. İki noktaya dikkat edilmelidir. (i) Modifiye yapı gelişmiş mekanik özelliklere sahiptir (özellikle tokluk). ii) Modifikasyon büyüme sürecini etkiler ve bileşimsel olarak ötektik kompozisyondaki alaşımda birincil dendritik büyüme oluşur. Bunlar mikroyapının gelişiminde iki önemli yapısal modifikasyonlardır.

Al-Si alaşımları için modifiye ediciler : Na veya Sr ($\sim 0.01\%$)

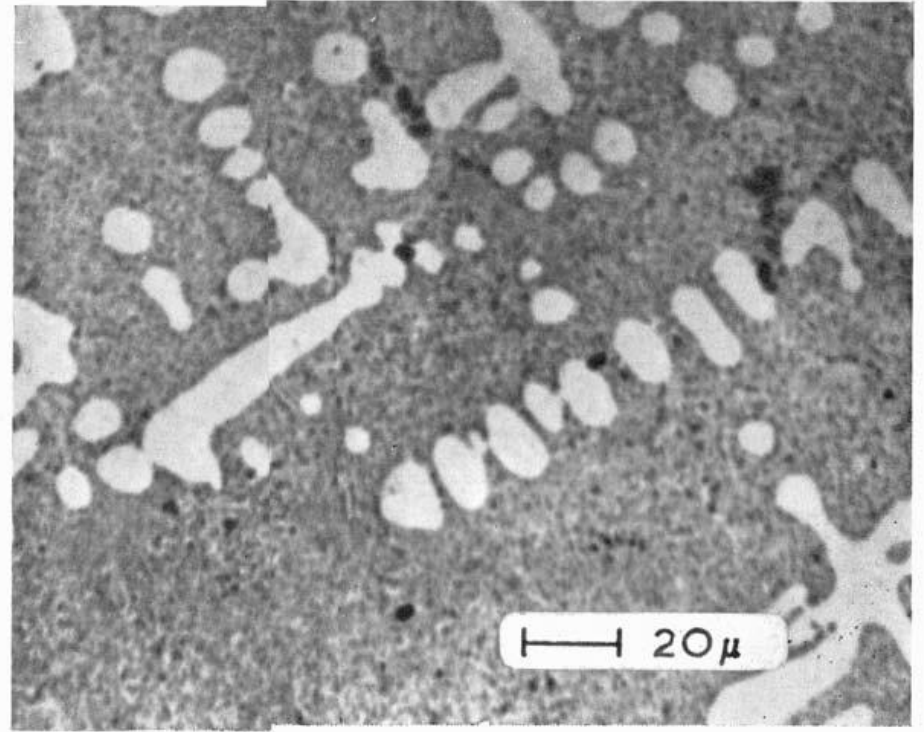
Demir-karbon (dökme demir) alaşımları için modifiye ediciler(küreselleştiriciler): Mg veya Ce ($\sim 0.03\%$)

Modifikasyon, çekirdeklenme sürecindense büyüme sürecini etkilemektedir. Yavaş katılaşmış alaşımdaki kaba silisyum yapısı hızlı soğutma ile değiştirilebilir. Benzer etki yavaş katılaşan alaşıma sodyum veya stronsiyum ilave edilerek oluşturulabilir. Silisyum morfolojisi büyüme hızı modifiyeli ve sodyumla modifiye edilmiş her iki durumda da aynıdır.

Demir-Karbon sistemindeki modifikasyon daha da ilgi çekicidir. Burada perlitik matris içinde grafit lamellerinin bulunduğu normal gri dökme demir yapısı modifikasyonla perlitik bir matris içinde grafit kürelerine dönüştürülmüştür. Mekanik özelliklerde ve özellikle toklukta ise modifikasyonla birlikte dramatik artış olmaktadır.

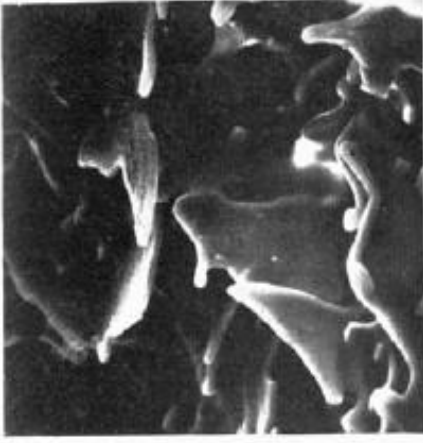


Alüminyum –silisyum
sistemindeki normal (modifiye
edilmemiş) ötektik yapısı



Sodyumla modifiye edilmiş
alüminyum-silisyum ötektik
alaşımı

Na veya Sr yüzey aktif elementlerdir. Si/sıvı ara yüzeyinde emilen Na veya Sr, Si'nin difüzyonunu önler ve modifiye edilmiş ince Si yapısını oluşturur.



(a)



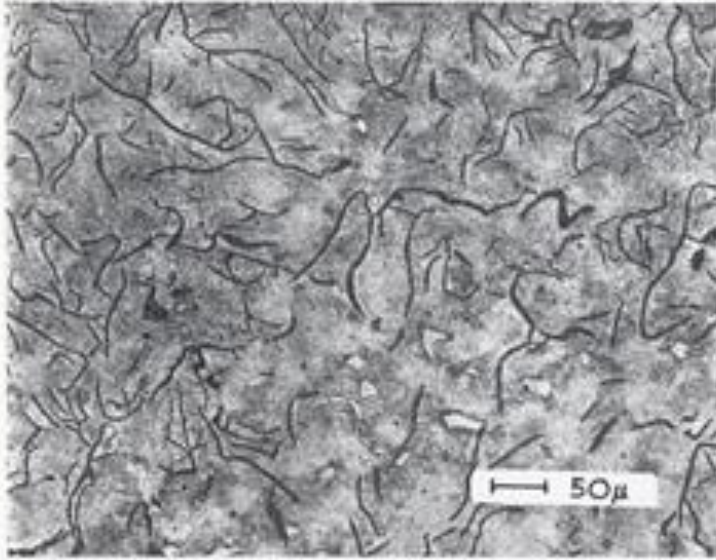
(b)



(c)

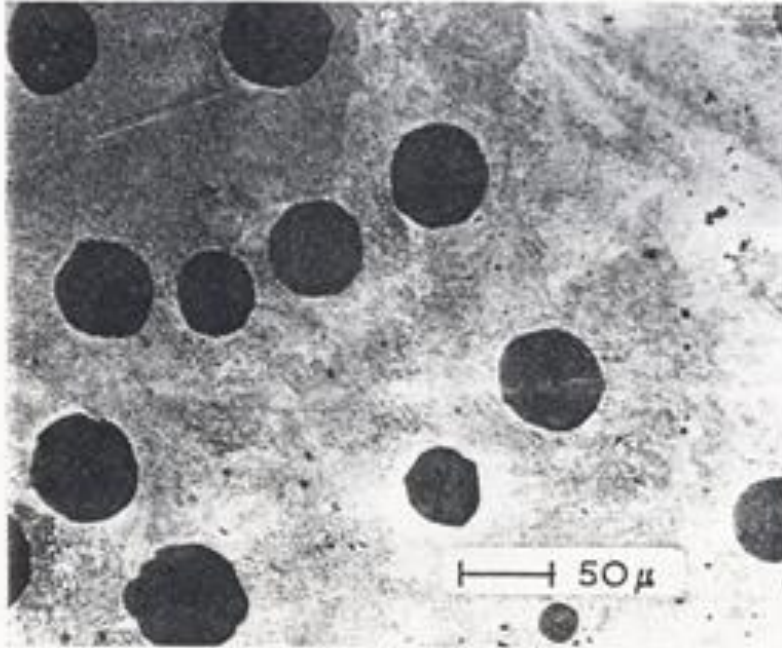
Alüminyum matrisin
dağlanmasından sonra
alüminyum- silisyum
alaşımlarının tarama
elektron mikroskobu
görüntüleri.

- a) Modifiye edilmemiş ve yavaş soğutulmuş alaşımın kaba silisyum yapısı
- b) Hızlı katılaştırılmış alaşımdaki lifli silisyum (büyüme hızı ile modifiye edilmiş)
- c) Sodyum ile modifiye edilmiş alaşımda lifli silisyum.

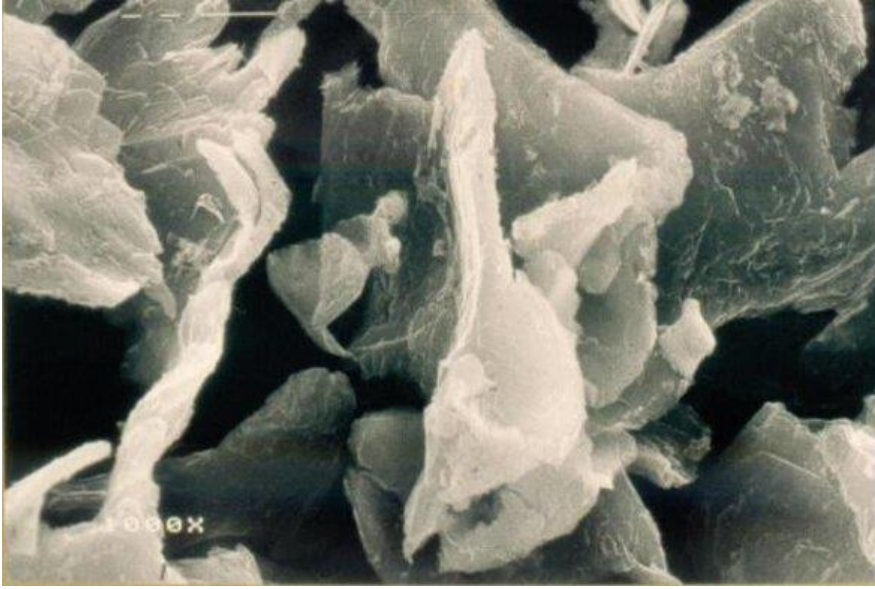


(a) ↑

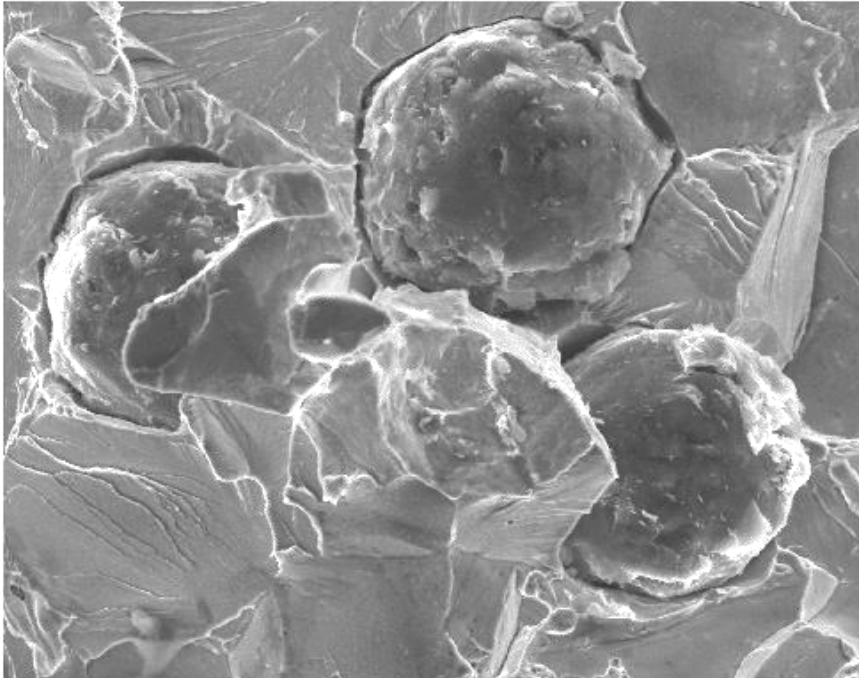
(b) ↓



(a) Lamel grafitlere sahip normal döküm gri dökme demir. (b) Modifiye edilmiş küresel grafitli dökme demir.

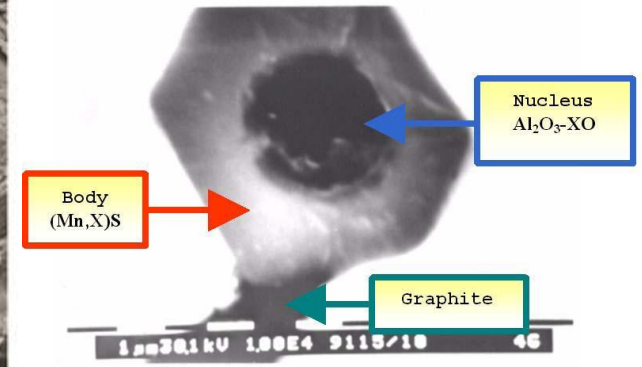
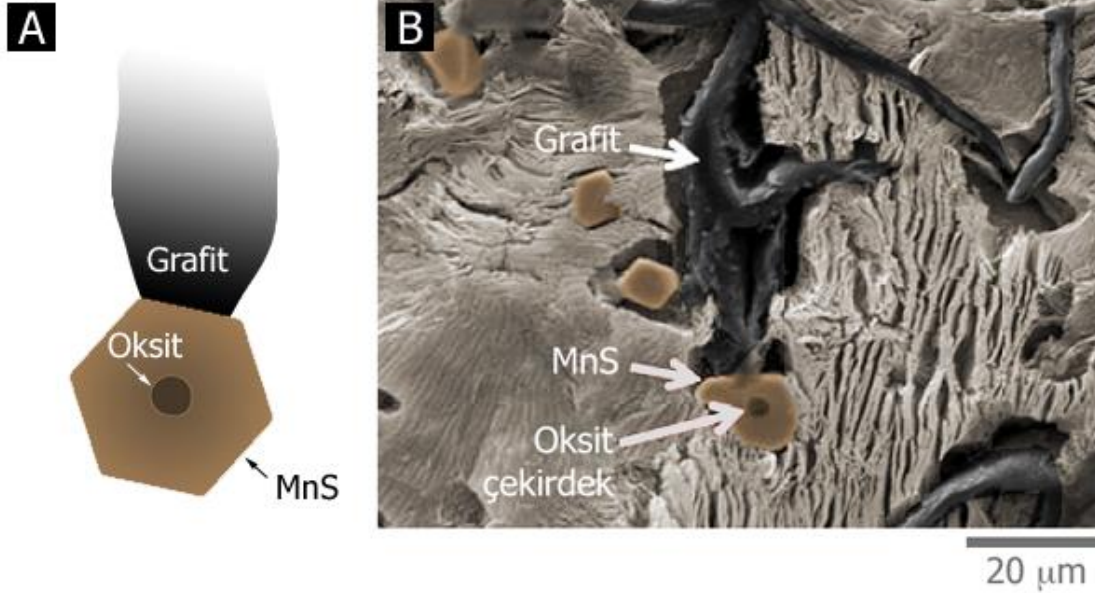


Gri dökme demirdeki
grafit lamellerin taramalı
elektron mikroskobu
görüntüsü



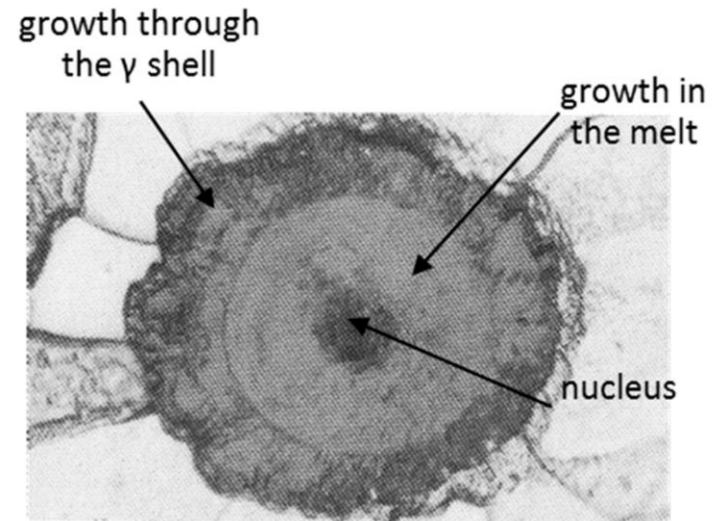
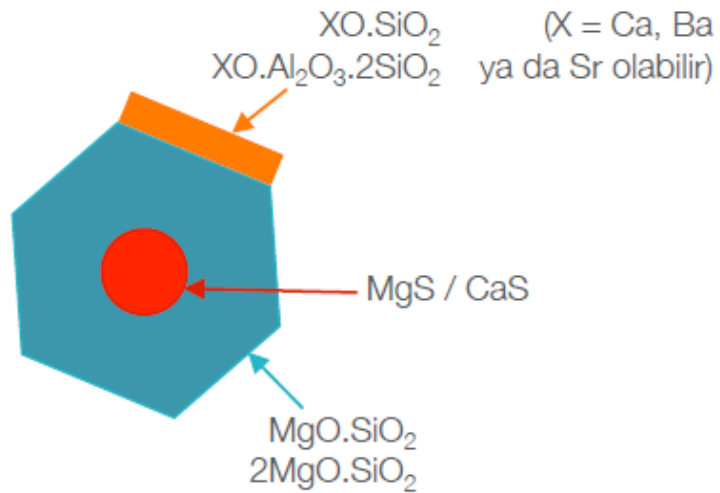
Sfero dökme demirdeki
küresel grafitlerin taramalı
elektron mikroskobu
görüntüsü

Lamel grafitin çekirdeklenmesi

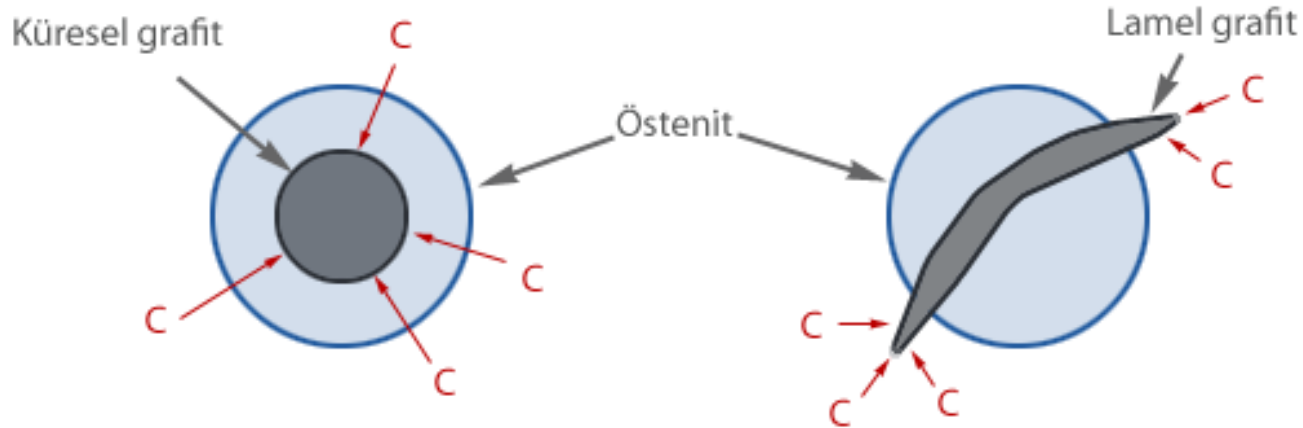


Merkezdeki oksit Ba, Ca veya Al oksitidir.

Küresel grafitin çekirdeklenmesi



Dökme demirlerde grafitin büyümesi



Ayrık Büyüme

Grafitin büyümesi için karbon atomlarının östenit kılıf içinden geçmesi gerekiyor.

Ortak Büyüme

Karbon atomları grafit yaprağının ucuna sıvıdan ekleniyor. Östenit ve grafit birlikte büyüyor.

Küresel grafit oluşumu için Mg ilavesi, MgS ve MgO bileşikleri oluşturarak S ve O seviyelerini azaltır. Bu elementler yüzey aktif elementlerdir ve ergimiş demirin yüzey gerilimini azaltır. Bu elementlerin sıvı içindeki miktarının azalması sıvı demirin yüzey gerilimini yükseltir. Yüksek S ve O seviyelerinde, grafit çekirdeği şeklini değiştirebilir ve östenit kılıfından dışarıya büyüyebilir. Böylece lamel grafit oluşur. Sıvı demirde yüksek yüzey gerilimi koşulu ile küresel çekirdek, katılaşma sonunda şeklini değiştiremez ve küresel grafit halinde kalır.

Dökme demirlerde grafitin küreselliği

