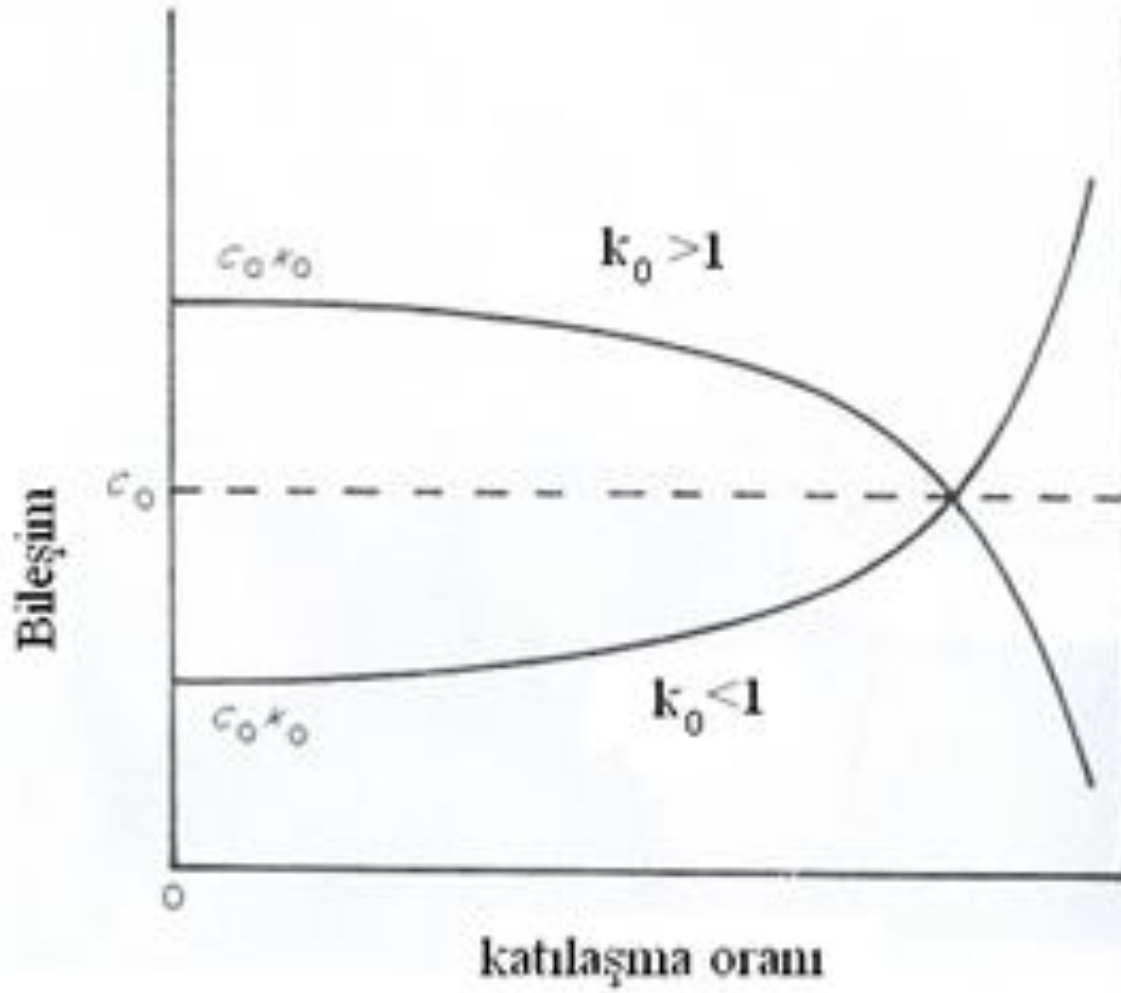


Tek Fazlı Metal ve Alaşımların Katılaşması (II)

Prof. Dr. Kerem Altuğ GÜLER

Sıvıda tam karışım

$k_0 < 1$ 'in geçerli olduğu sistemlerde sıvı içerisinde konveksiyon ve karıştırma ile tam karışım mevcutsa, ara yüzeye atılan çözünen sıvı boyunca eş biçimli olarak dağıtılır. Sıvı hacminin büyük olduğu katılaşmanın ilk safhalarında kompozisyondaki değişimler küçüktür. Katılaşmanın ileri kademelerinde sıvıdaki bileşim değişimleri büyüktür.



Tam karışım koşullarında katılan bir çubukta konsantrasyon-mesafe profilleri

Katıdaki son çözünen dağılımı Pfann tarafından incelenmiş ve çözünen profili takibi eşitlikte ifade edilmiştir.

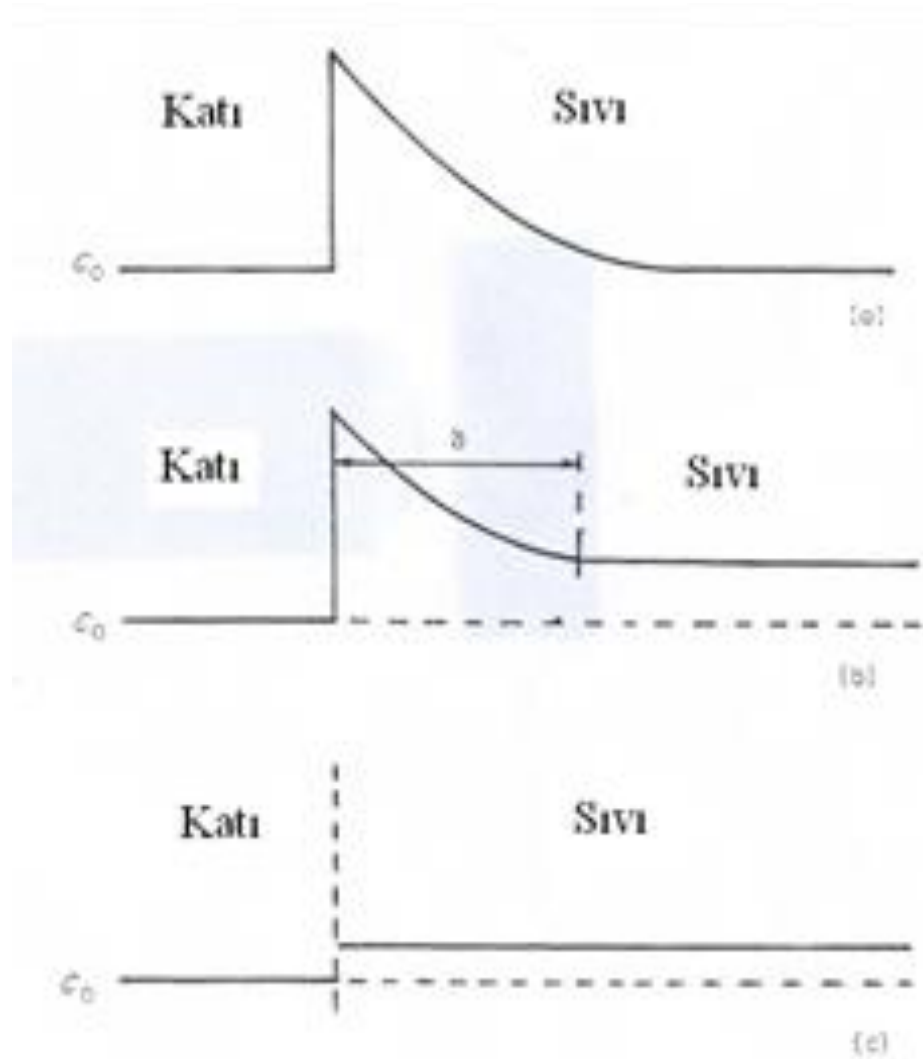
$$C_s = C_0 k_0 (1-x)^{k_0-1}$$

Burada C_s , x oranındaki katılaşmanın olduğu noktada çözünen konsantrasyonudur. Çözünen dağılımı önceki sayfadaki şekilde görülmektedir. Katıda difüzyonun olmadığı varsayılırsa belli bir oranın (x) katılaşmasından sonra ortalama sıvı kompozisyonu aşağıdaki eşitlikte verilmiştir.

$$C = C_0 (1-x)^{k_0-1}$$

Sıvıda kısmi karışım

Orta hal olan bu mekanizmada sıvıdaki kısmi karışım difüzyon ve konveksiyonun kombine etkisi veya karıştırma ile sağlanır. Difüzyon sınır tabakasının kalınlığı (δ) artan karıştırma ile birlikte azalır. Örneğin normal konveksiyonla (akışkanın hareket etmesi ile oluşan taşınım) karıştırmada 1 mm olan tabaka kalınlığı şiddetli karışım halinde 0,01 mm'ye düşer. Bir sonraki şekilde farklı karıştırma koşullarının etkileri görülmektedir.

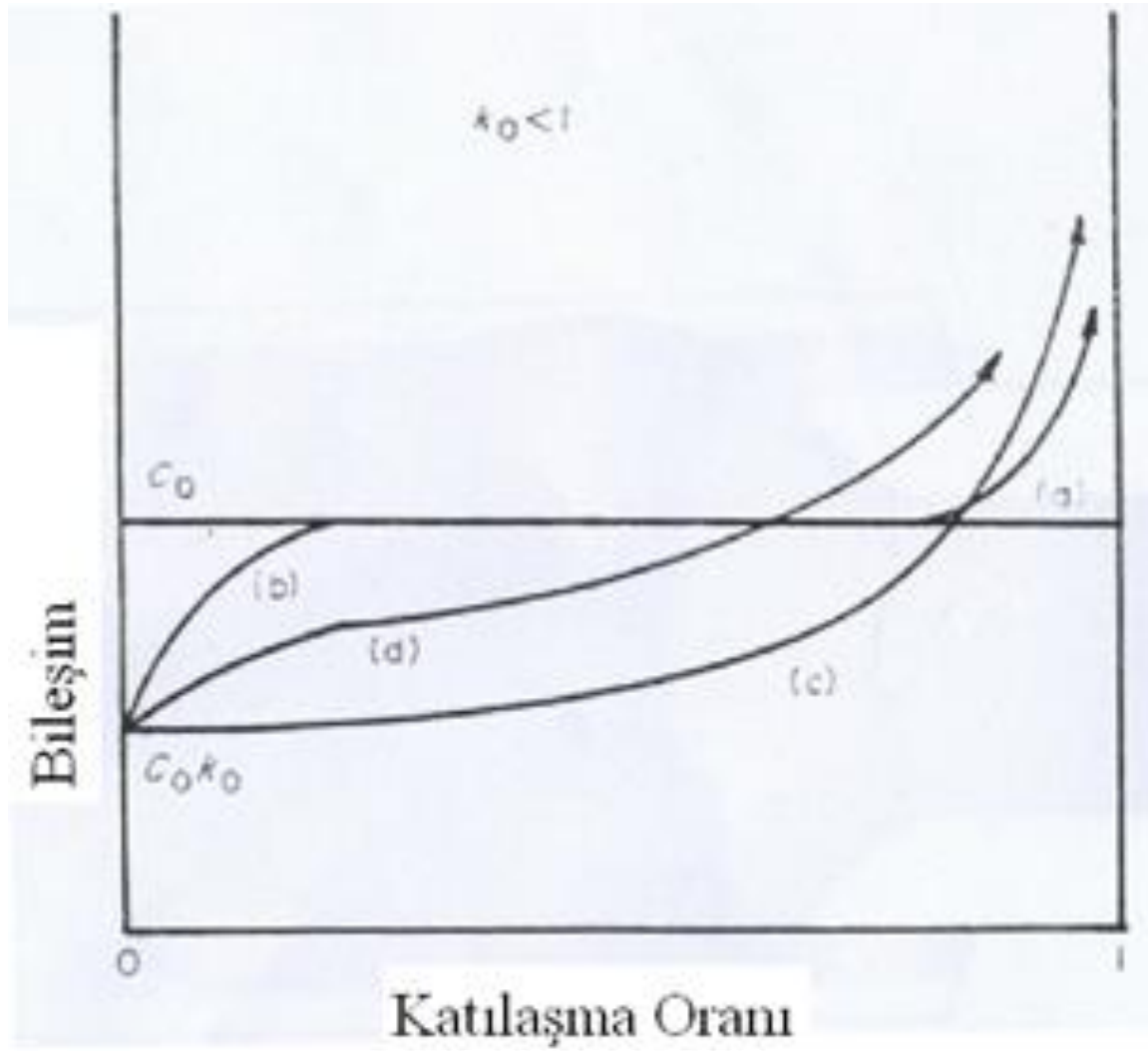


Ara yüzeydeki çözünen tabaka yapısına karıştırma koşullarının etkisi
(a) karıştırma olmadan sadece difüzyon halinde (b) kısmi karışım (c) tam karışım

Sırasıyla çözünen dağılımı (C_s) ve etkin dağılım katsayısı (k_E) aşağıdaki eşitlikle verilebilir. Bir sonraki şekil değişik katılaşma koşullarında elde edilen çözünen profilleri arasındaki farklılıkları göstermektedir.

$$C_s = k_E C_0 (1 - x)^{k_0 - 1} \quad x \text{ (mesafe)} = f_s$$

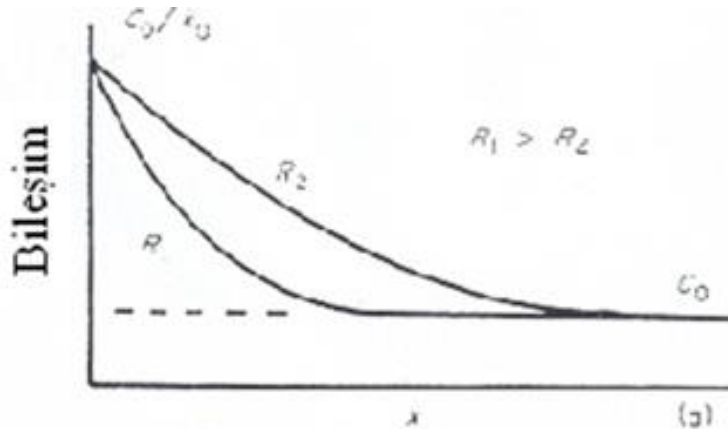
$$k_E = \frac{k_0}{k_0 + (1 - k_0) \exp[-(R\delta/D)]}$$



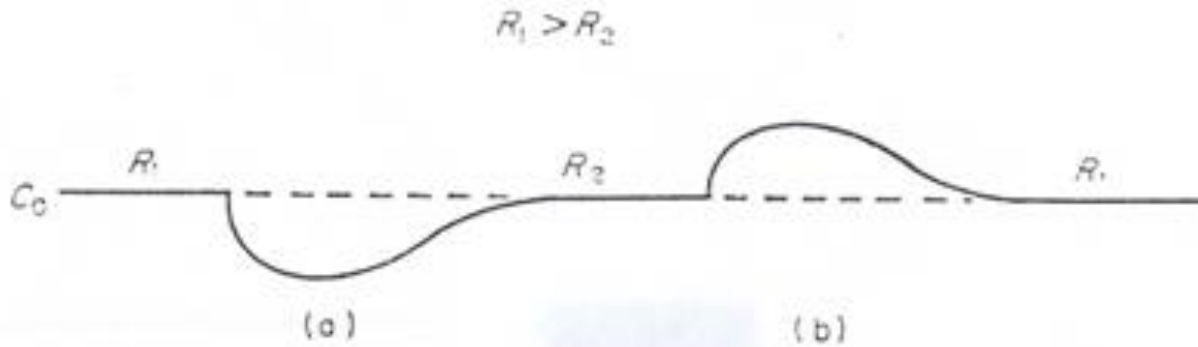
C_0 kompozisyonundaki bir sıvıdan katılacak çubukta çözünen dağılımı: (a) denge katılması (b) sıvıda çözünen dağılımının sadece difüzyonla olması halinde (c) sıvıda tam karışım (d) sıvıda kısmi karışım.

Büyüme hızı değişiminin etkileri

Aşağıdaki şekildeki profilleri göz önüne alacak olursak, difüzyon sınır hattına doğru toplam çözünen birikiminin, büyüme hızının azalmasıyla arttığı görülür ve bu durumun tersi de geçerlidir. Bu nedenle $k_0 < 1$ 'in geçerli olduğu durumlarda, katılaşma esnasında büyüme hızında bir düzensizlik olursa, ara yüzey önündeki birikim, büyüme hızının azalmasıyla artacak ve artmasıyla azalacaktır. Çözünen yığılması değişirken bu değişimler kararlı hal katılaşmasında bölgesel sapmalara yol açacaktır.

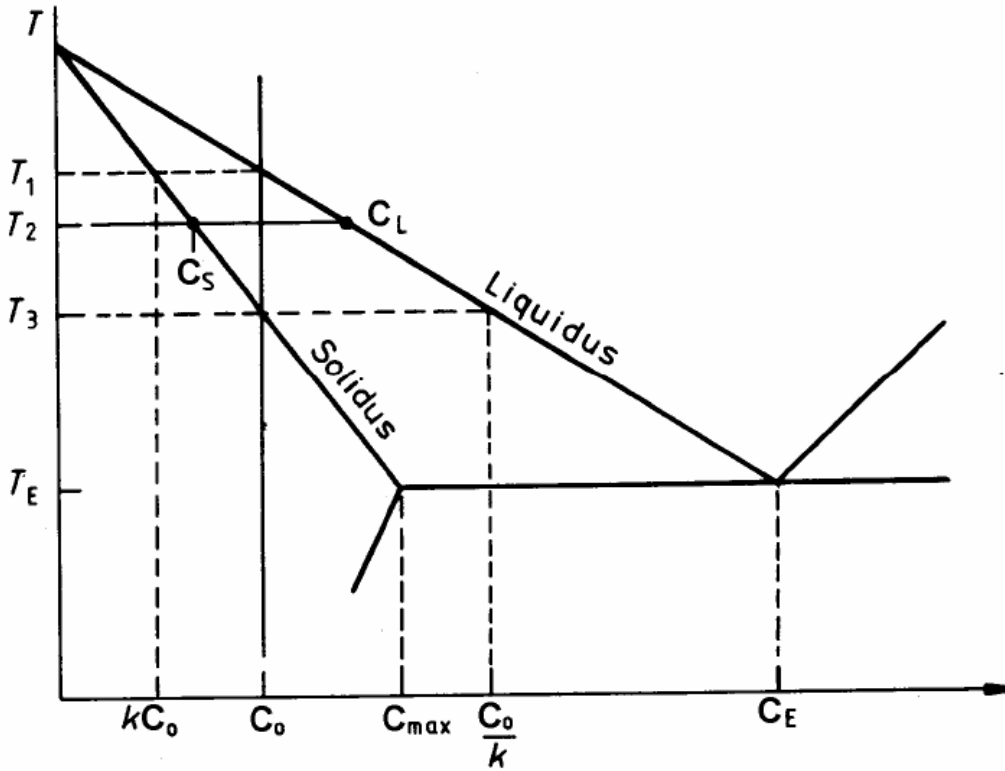


Büyüme hızının düşmesiyle arayüzeyde çözünen birikiminin artması, katıdaki çözünenin bölgesel olarak azalması anlamına gelmektedir. Böylece katıda çözünenince fakir bölgeler görülebilir. Eğer büyüme hızı artarsa bu durumun tersi de doğrudur. İki durumun da sonuçları aşağıdaki şekilde görülmektedir. Sadece sıvıda tam karışım durumunda büyüme hızındaki dalgalanma çözünen bantlaşmasına neden olmaz.



Büyüme hızı değişiminin katıdaki bölgesel çözünen dağılımına olan etkisi.
(a) büyüme hızının azalması (b) büyüme hızının yükselmesi.

Alaşımlarda yapısal aşırı soğuma



$$T_L = T_M - mC_L$$

$$T_i = T_M - \frac{mC_0}{k_0}$$

T_i = ara yüzey sıcaklığı

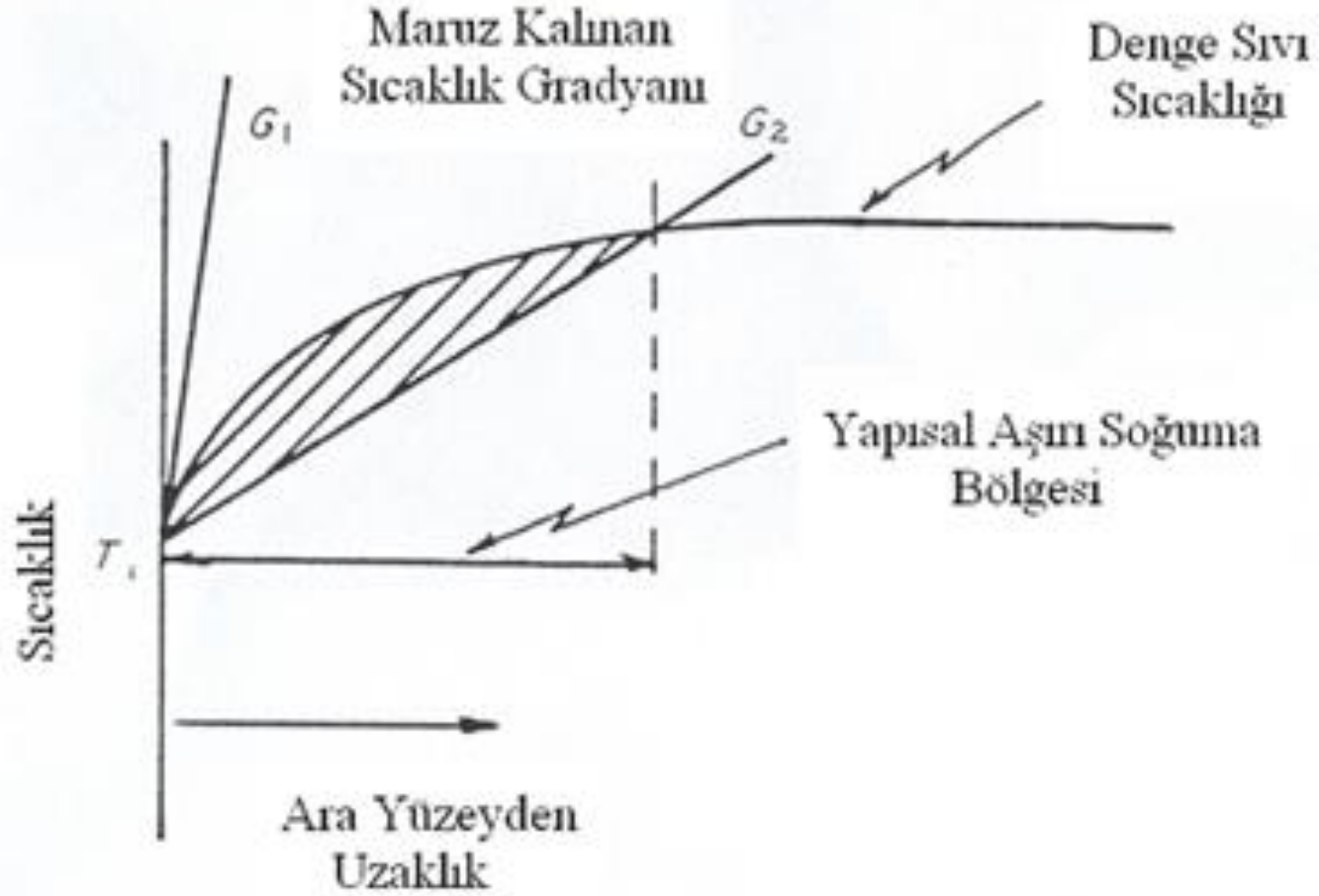
$$T_L = T_m - mC_0 \left[1 + \frac{1-k_0}{k_0} \exp\left(-\frac{Rx}{D}\right) \right]$$

$$T_L = T_i + \frac{mC_0(1-k_0)}{k_0} \left[1 - \exp\left(-\frac{Rx}{D}\right) \right]$$

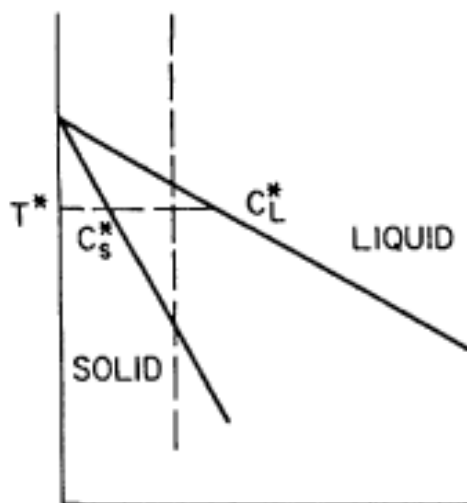
$$T_A = T_i + Gx$$

T_A = Sıvının gerçek sıcaklığı

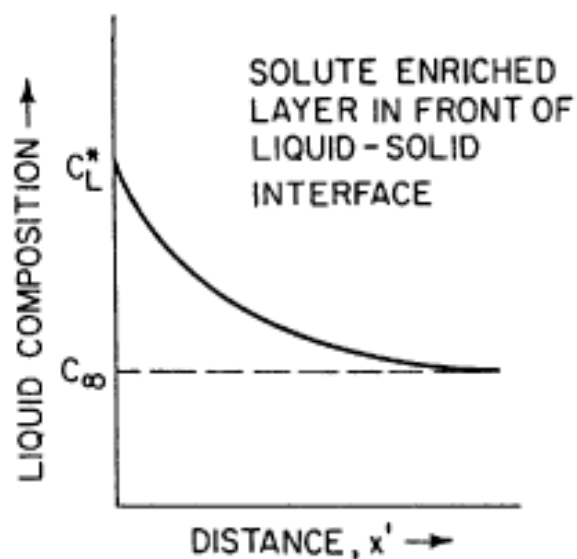
Burada G ara yüzeyin önündeki sıvı içindeki sıcaklık gradyanıdır. G değişirken, ara yüzeyin önündeki sıvının sıcaklığı denge liküdü sıcaklığının altına düşerek ara yüzeyin önünde yapısal aşırı soğumayı oluşturur. Bu oluşum takibi şekilde gösterilmiştir ve sıcaklık dağılımı $k_0 < 1$ ve $k_0 > 1$ hallerinde özellikle aynıdır. Bu fenomen yapısal aşırı soğuma olarak bilinir. Bir sonraki şekilde bu durum görülmektedir.



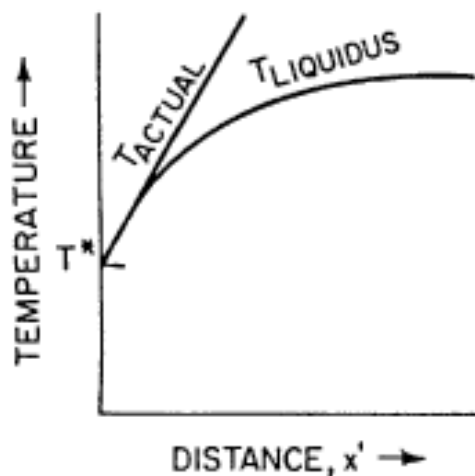
Uygulanan iki farklı sıcaklık gradyanı için yapısal aşırı soğumanın durumu.



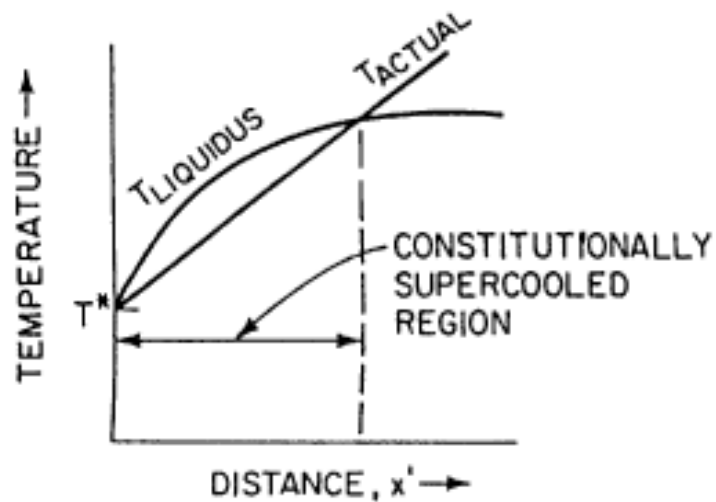
(a)



(b)



(c)



(d)

Ara yüzeyin önünde dik sıcaklık gradyanlarında yapısal aşırı soğuma oluşmaz. Yapısal aşırı soğumanın oluşmaması için:

$$G > \left(\frac{dT_L}{dx} \right)_{x=0}$$

$$\frac{G}{R} > \frac{mC_0}{D} \frac{(1 - k_0)}{k_0}$$

G ve R süreç (proses) parametreleridir.

m, C₀, D ve k₀ malzeme ve sistem parametreleridir.

Yukarıdaki eşitlikte sol tarafta proses parametreleri, sağ tarafta ise malzeme ve sistem parametreleri toplanmıştır. Bu eşitliğin yapısı bize yapısal aşırı soğumayı teşvik eden koşulların tanımı için müsaade eder. Bu şartlar;

- (i) Sıvıda düşük sıcaklık gradyanı
- (ii) Yüksek büyüme hızları
- (iii) Dik liküdüs çizgisi
- (iv) Yüksek alaşım elementi içeriği
- (v) Sıvıda düşük difüzyon kabiliyeti
- (vi) $k_0 < 1$ için çok küçük k_0 veya $k_0 > 1$ için çok yüksek k_0 değeri

Yapısal aşırı soğumanın mevcudiyeti halinde altsoğuma (aşırı soğuma) aşağıdaki eşitlikle verilir

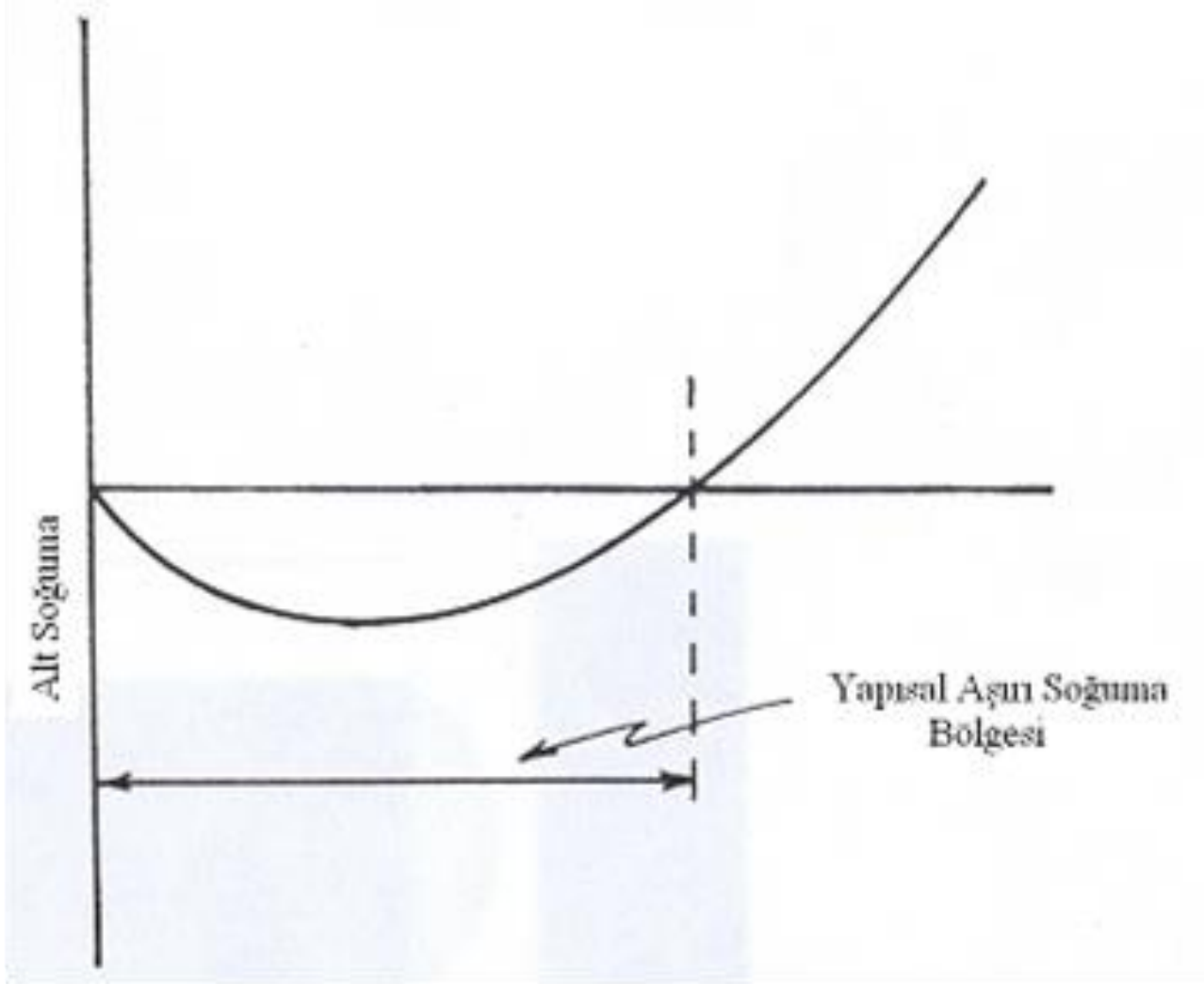
$$\Delta T = T_L - T$$

$$\Delta T = \frac{mC_0(1-k_0)}{k_0} \left[1 - \exp\left(-\frac{Rx}{D}\right) \right] - Gx$$

$$\Delta T_{max} = \frac{mC_0(1-k)}{k_0} - \frac{GD}{R} \left[1 + \ln \frac{(mC_0(1-k_0)R)}{GDk_0} \right]$$

ve maksimum alt soğumanın olduğu nokta aşağıdaki şekilde bulunabilir.

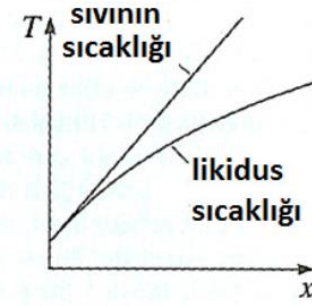
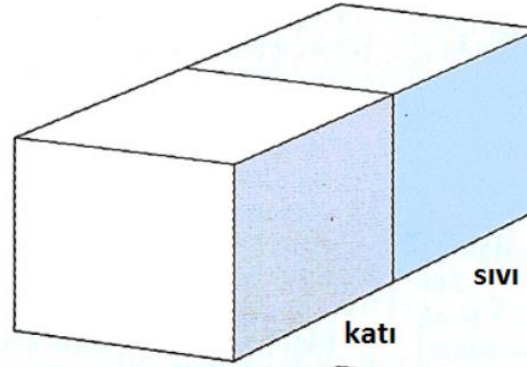
$$x = \frac{D}{R} \log_e \left[\frac{mC_0(1-k_0)R}{GDk_0} \right]$$



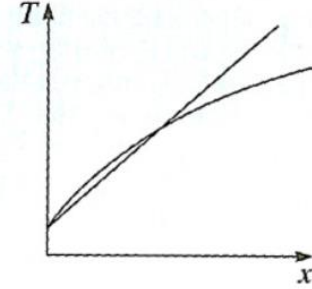
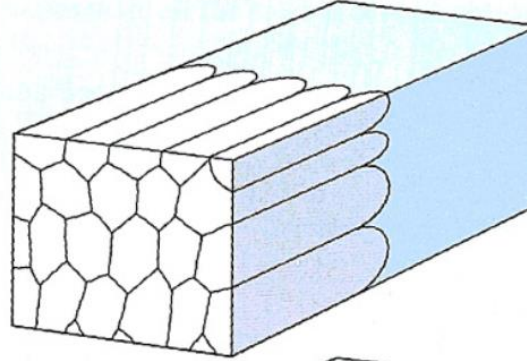
Yapısal aşırı soğumanın varlığında ara yüzey önündeki alt soğumanın büyüklüğü

Yukarıdaki işlemler, sıvıdaki çözünen dağılımının sadece difüzyonla olduğu kabulüne dayanmaktadır. Sıvıda kısmi veya tam karışım ile çözünenin yeniden dağılımı için modifiye edilebilir. Bu koşullarda da uzun mesafeli segregasyon hala mevcudiyetini sürdürür.

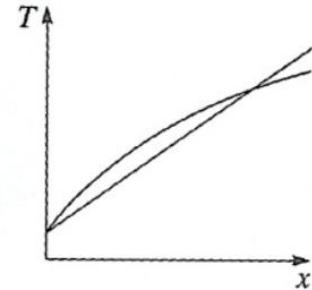
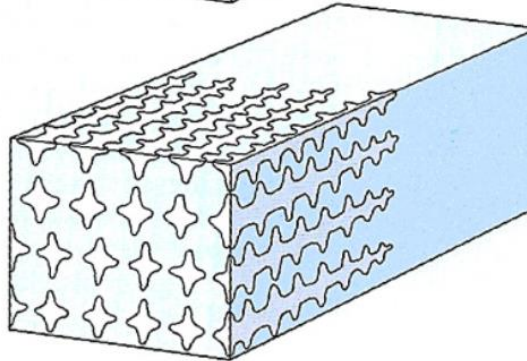
Düzlemsel



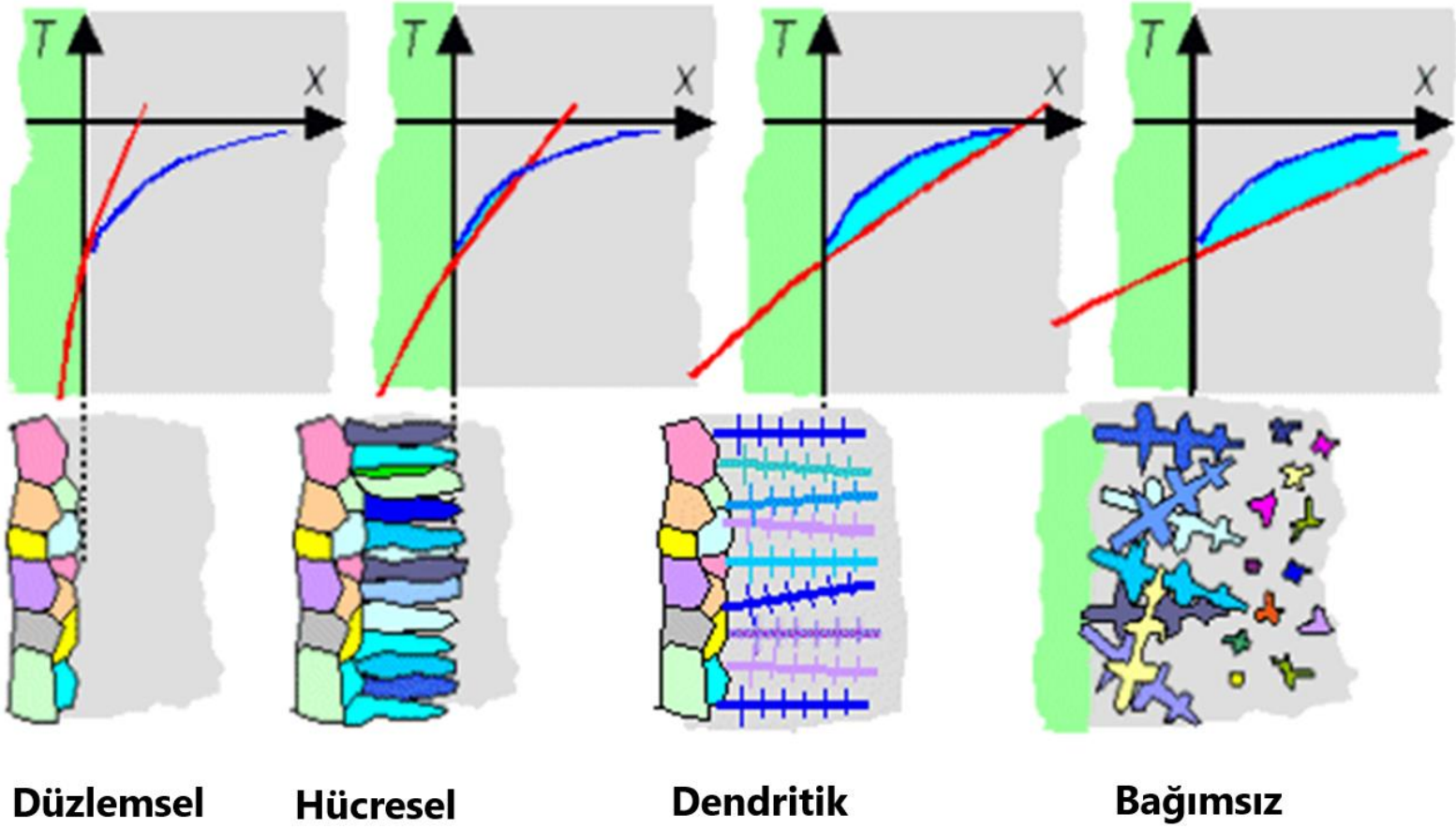
Hücreli



Dendritik



artan aşırı soğuma



- Hücresel büyümede birincil kollar sıvının içine doğru bir miktar uzar ancak ikincil kollar oluşmaz.
- Bağımsız büyümede ara yüzeyin önünde çekirdeklenme gerçekleşir.