$$J = -D \frac{dC}{dx}$$

- Eksi (-) işareti atomların düşük yoğunluğa doğru akışından dolayı gelmekte.
- Konsantrasyon gradyanı varsa yayınma ile bir madde akışı olur.
- (Genellikle doğru, fakat her zaman geçerli değildir).
- D etkileyen en önemli iki faktör: a) Sıcaklık, b) Kompozisyon.
- Düzensizlik artınca D artar (Tane sınırı ve dislokasyonlar)
- Alaşımlardaki aktivasyon enerjisi saf metallerinden küçüktür.
- Çözünen atomların ve boşluğun beraber bulunması boşluk konsantrasyon verimliliğini artırır ve çözünen atomların ortalama sıçrama hızı artar.

Difüzyon katsayısı (D) nasıl belirlenir?
J_A ve D_A direkt olarak ölçülemez,
Değişik zaman dilimlerinde bileşim profili ölçülebilir.
Kütle akış yönüne dik bir difransiyel element kütle balansı kurulduğunda,

Örnek: Karbon taşınımı için;

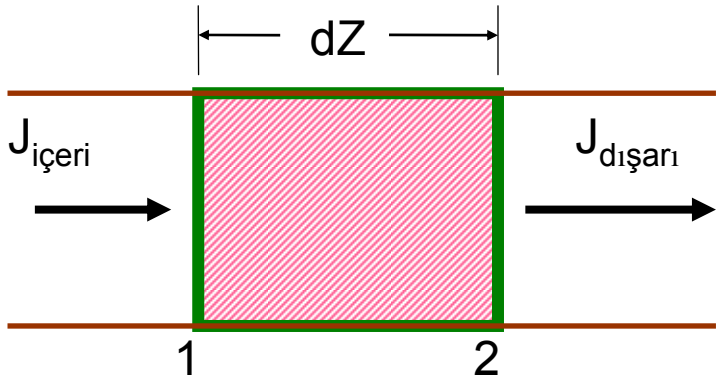
Giren Kütle - Çıkan Kütle = Birikim

Bu iş için geçen zaman dilimi;

Giriş Hızı - Çıkış Hızı = Hız Birikimi

Tüm madde şekildeki düzlem 1 den geçmekte, dolayısıyla madde transfer hızı;

(1 'deki akış) x (1 'in alanı) 'dır. Yani;



Şekil. Tek yönlü difüzyon için difransiyel hacim elementi.

diffusion2-osmosis birikim.gif

Giriş Hızı $= (J_A)_1$	(3.10)

Çıkış Hızı $= J_{A_1} + \frac{\partial (J_A)}{\partial Z} dZ$	(3.11)

Hız birikimi hacim yoğunluğu ile ifade edilirse;

Hız Birikimi $= \frac{\partial [C_A . dZ]}{\partial t} = AdZ \frac{\partial C}{\partial t}$	(3.12)

Sonuçta;

$-\frac{\partial J}{\partial Z} = \frac{\partial C}{\partial t}$	(3.13)

Süreklilik eşitliği (Kullanımı tek yönlü akış ile sınırlı)
(Atom akışı, sıvı akışı, ısı akışı, elektron, nötron akışı gibi...).
Metalurjik işlemlerde genellikle tek yönlü kütle akışı,
(3.13) eşitlikteki J yerine I. Fick kanunu ile elde edilen J ifadesi yazılır ise;

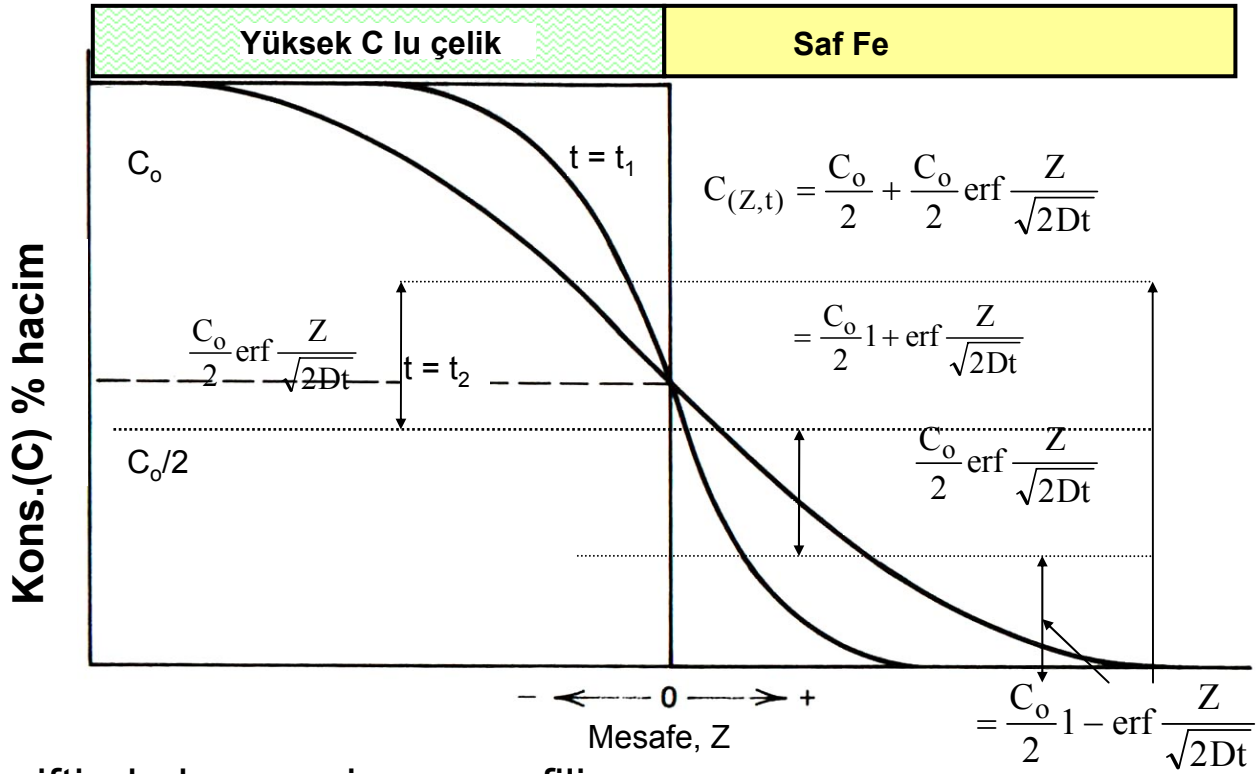
$$\frac{\partial[D_1 \partial C_1 / \partial Z]}{\partial Z} = \frac{\partial C_1}{\partial t} \qquad (3.14)$$

II. Fick Kanunu

Fe-C sisteminde;

Eşitlikte, C_1 bağımlı Z ve t bağımsız değişkenlerdir.

Denklemin çözümü Z, t ve D_1' e bağlı olarak C_1' i verir



Şekil. Bir Fe-çelik difüzyon çiftinde kompozisyon profili.

Eğer D sabit kabul edilirse,

$$D\frac{\partial^2 C}{\partial Z^2} = \frac{\partial C}{\partial t} \qquad (3.15)$$

lineer diferansiyel denklemi elde edilir.
Laplace dönüşümü kullanılarak
Çubuğun üzerinde sadece Z > 0 olan kısımlar için çözüm;

Sınır Şartları : C (Z = 0, t) = Co/2
: C (Z = ∞, t) = 0

Başlangıç Şartı : C (Z, 0) = 0

t bağımsız değişken olarak kabul ederek Laplace dönüşümü ile,

$$C(Z,t) = \frac{C_o}{2}\left[1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}}\int_0^{Z/2\sqrt{Dt}} e^{-y^2}\,dy\right] \qquad (3.16)$$

e^{-y^2}, fonksiyonu 1 den 0' a hızla düşen bir fonksiyon
İntegral fonksiyonu = hata fonksiyonu

$$\mathrm{Erf}[\beta] = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\beta} e^{-y^2} dy \qquad (3.17)$$

Sonuçta;

$$C(Z,t) = \frac{C_o}{2}\left[1 - \mathrm{erf}\frac{Z}{2\sqrt{Dt}}\right] \qquad (3.18)$$

Denklem (3.18) Z > 0 sınır şartı için gerçekleştirilmiş.
Z< 0 bölgesi için ise konsantrasyon;

$$C(Z,t) = C_o - \frac{C_o - C_1}{2}\left[1 - \mathrm{erf}\frac{Z}{2\sqrt{Dt}}\right] \qquad (3.19)$$

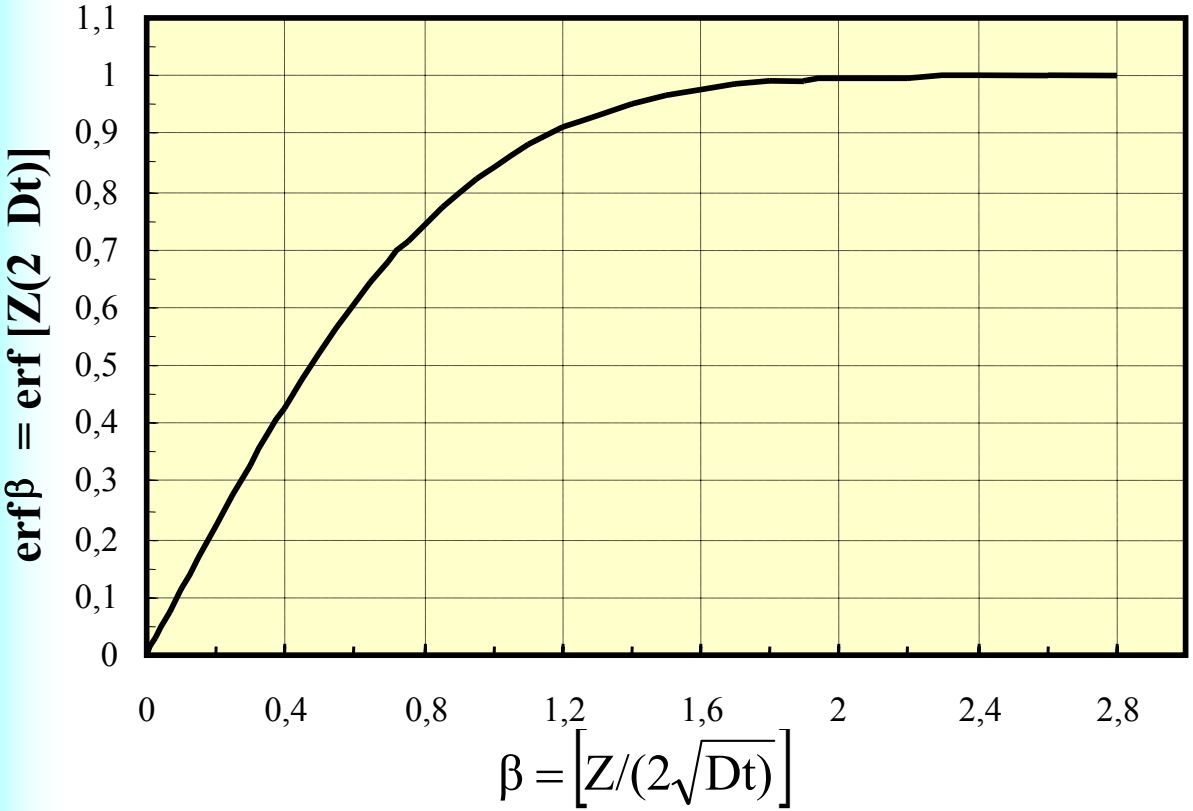
Tablo: Hata fonksiyonu değerleri tablosu

β	erf(β)	β	erf(β)	β	erf(β)
0	0	0.55	0.5633	1.3	0.9340
0.025	0.0282	0.60	0.6039	1.4	0.9523
0.05	0.0564	0.65	0.6420	1.5	0.9661
0.10	0.1125	0.70	0.6778	1.6	0.9763
0.15	0.1680	0.75	0.7112	1.7	0.9838
0.20	0.2227	0.80	0.7421	1.8	0.9891
0.25	0.2763	0.85	0.7707	1.9	0.9928
0.30	0.3286	0.90	0.7970	2.0	0.9953
0.35	0.3794	0.95	0.8209	2.2	0.9981
0.40	0.4284	1.0	0.8427	2.4	0.9993
0.45	0.4755	1.1	0.8802	2.6	0.9998
0.50	0.5205	1.2	0.9103	2.8	0.9999

Grube Çözümü:

Başlangıçta karbon konsantrasyonu = C1 ve C1< Co ise,
Arayüzey denge konsantrasyonu = Co-C1)/2 olacak;

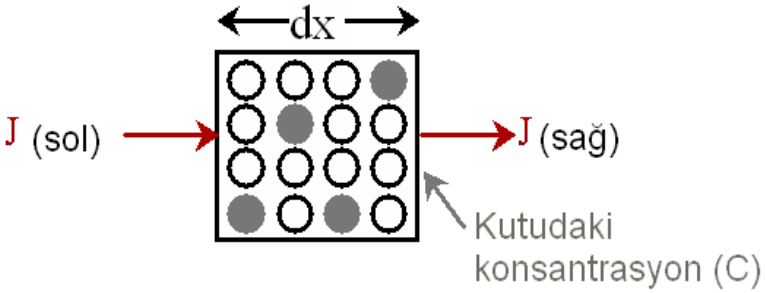
$$C(Z,t) = C_1 + \frac{C_o - C_1}{2}\left[1 - \mathrm{erf}\,\frac{Z}{2\sqrt{Dt}}\right] \qquad (3.20)$$



Şekil. Hata fonksiyonun grafiksel olarak tespiti.

Kararsız Durum Difüzyonu

- Konsantrasyon profili, C(x), w/ zaman ile değişir.



- Maddenin korunumundan:

$$\boxed{\frac{J_{(sağ)} - J_{(sol)}}{dx}} = -\frac{dC}{dt}$$

- Fick'in 1. yasası:

$$J = -D\frac{dC}{dx}$$

$$\boxed{\frac{dJ}{dx}} = -\frac{dC}{dt} \qquad \boxed{\frac{dJ}{dx}} = -D\frac{d^2C}{dx^2}$$

Eğer D x ile değişmezse

eşitlenir

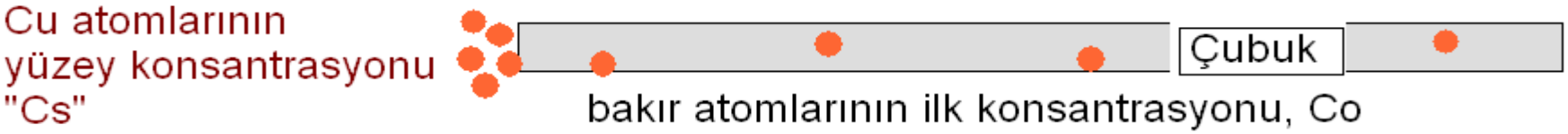
- Nihai denklem.:

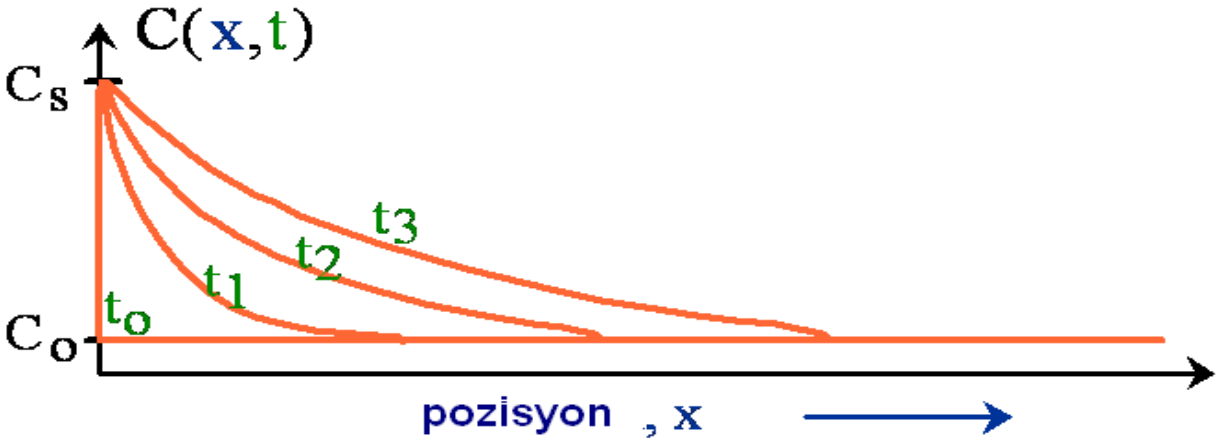
$$\boxed{\frac{dC}{dt} = D\frac{d^2C}{dx^2}}$$

Fick'in 2nci yasası

Örnek: kararsız difüzyon

- Bakır bir alüminyum çubuğa difüze olur.





Şek. 5.5, *Callister 6e*.

- Sınır şartları:

  $t = 0$ için, $C = C_0$,$x > 0$ iken

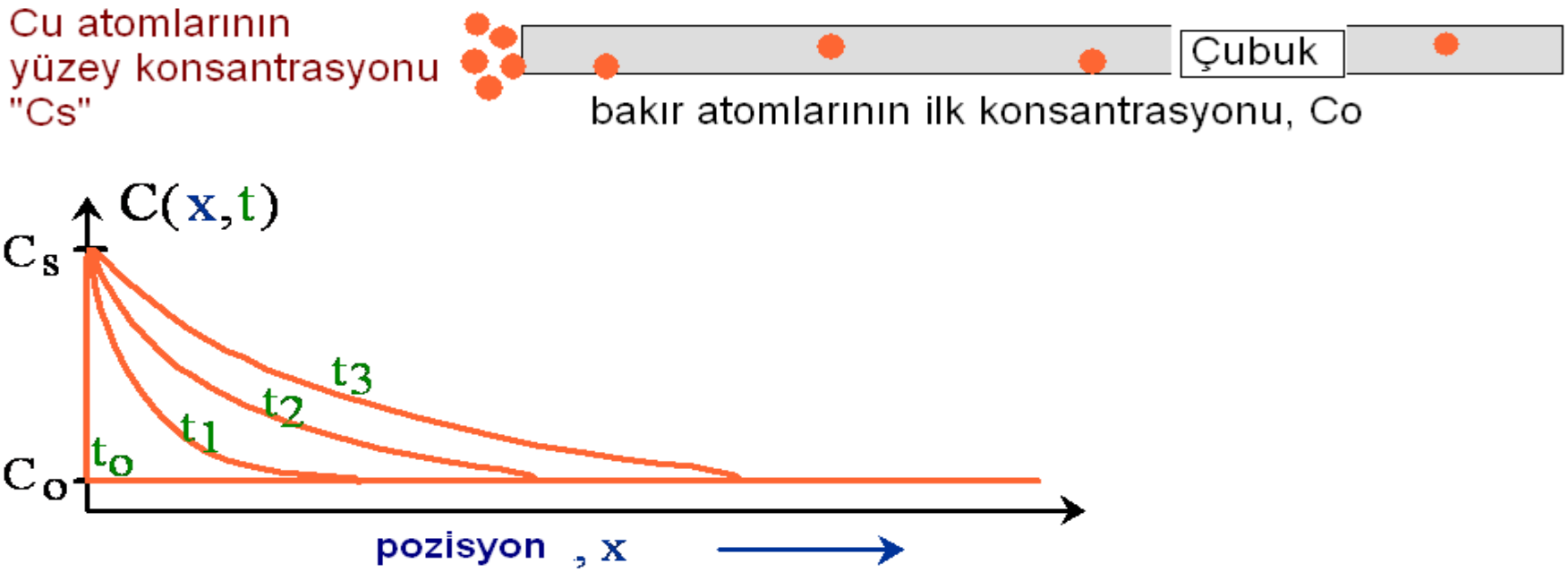
  $t > 0$ için, $C = C_s$,$x = 0$ iken

  $x = \infty$ 'da $C = C_0$ olur

$$\frac{dC}{dt} = D\frac{d^2C}{dx^2}$$

Örnek: Kararsız Difüzyon

- Bakır bir alüminyum çubuğa difüze olur.



- Genel Çözüm:

$$\frac{C(x,t) - C_o}{C_s - C_o} = 1 - \mathrm{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right)$$

"hata fonksiyonu"

değerleri Table 5.1 de verilmiştir, *Callister 6e*.

Proses Dizayn Örneği

- Farzedin ki örneğimizde belli bir noktada belli bir süre sonra C1 gibi bir konsantrasyona ulaşmayı istiyoruz.

$$\frac{C(x,t)-C_0}{C_s-C_0}=1-erf\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right)$$

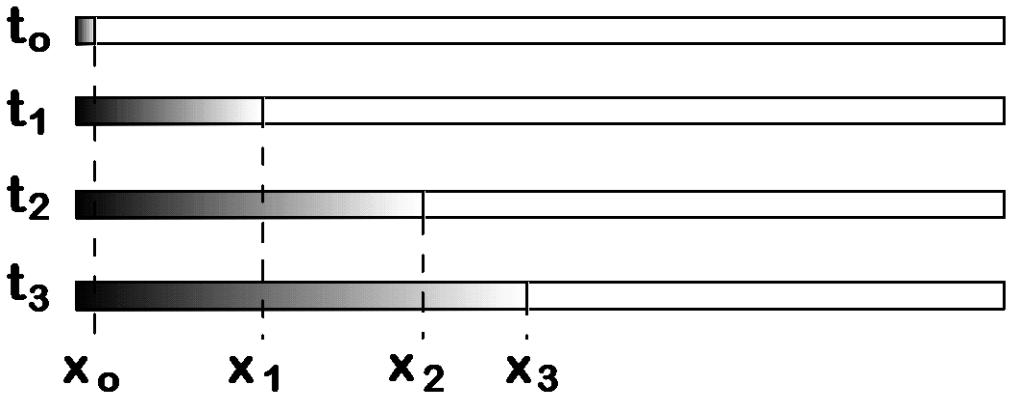
olur

$$\frac{C_1-C_0}{C_s-C_0}=\quad \text{sabit} \quad =1-erf\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right)$$

$$\Rightarrow \frac{x^2}{Dt}=\text{sabit}$$

Difüzyon demo: ANALİZ

- Deney: C yi sabit tutan t ve x kombinasyonunu kaydedin.

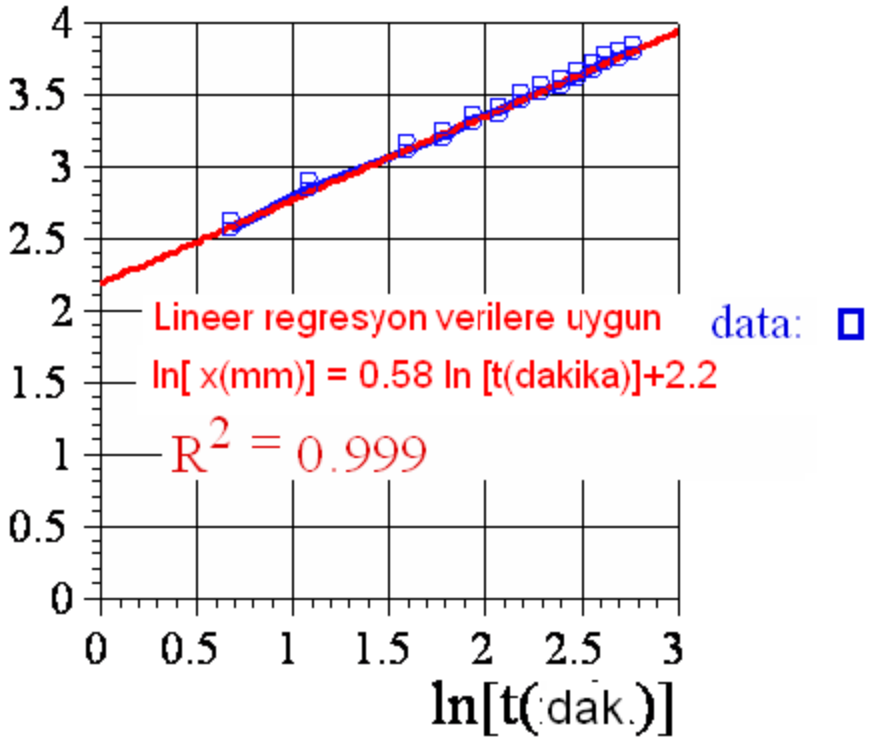


$$\frac{C(x_i, t_i) - C_o}{C_s - C_o} = 1 - \mathrm{erf}\left(\frac{x_i}{2\sqrt{Dt_i}}\right)$$ = (burada sabit)

- Difüzyon derinliği şu denklemele verilir:

$$x_i \propto \sqrt{Dt_i}$$

Difüzyon demodan elde edilen veriler



- Deneysel sonuç: $x \sim t^{0.58}$
- Teorik tahmin $x \sim t^{0.50}$
- Makul uygunluk!

İşlem Sorusu

- Bakır bir alüminyum çubuğa difüze olur.
- 600C de 10 saat istenen C(x) değerini verir.
- D_{500} and D_{600}verilmiş olduğuna göre, 500 C de yapılan işlemde aynı C(x) konsantrasyonuna ulaşmak için kaç saat geçmesi gerekir?

anahtar 1: $C(x,t_{500C}) = C(x,t_{600C})$.
anahtar 2: her iki durumda da C_o ve C_s aynıdır.

- Sonuç: Dt sabit tutulmalıdır.

$$\frac{C(x,t)-C_o}{C_s-C_o} = 1-\mathrm{erf}\left(\frac{x}{\sqrt{2Dt}}\right) \longrightarrow (Dt)_{500^oC} = (Dt)_{600^oC}$$

- Cevap:

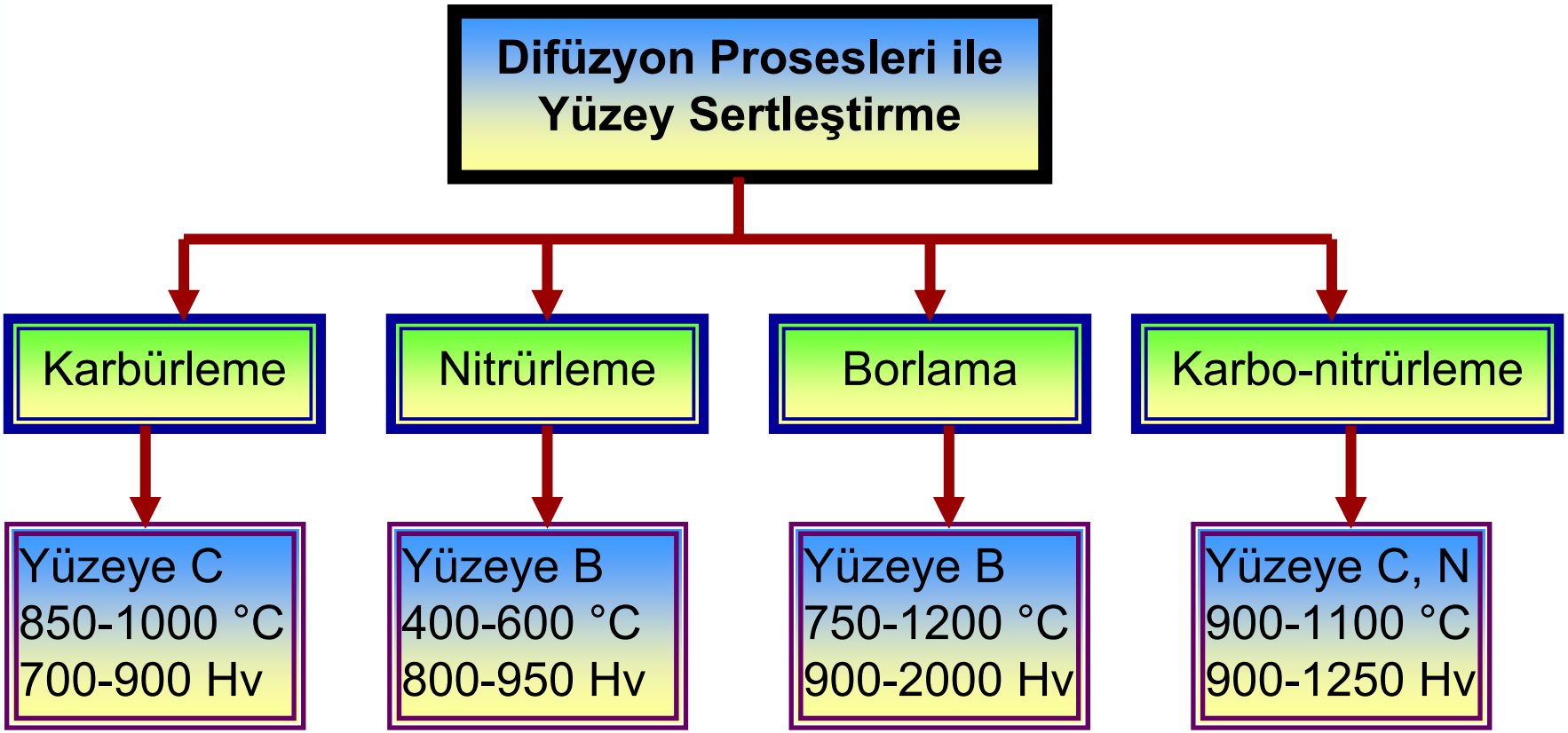
$$t_{500} = \frac{(Dt)_{600}}{D_{500}} = 110 \text{ saat}$$

$5.3 \times 10^{-13}\ m^2/s$ → $(Dt)_{600}$; 10 saat → $(Dt)_{600}$; $4.8 \times 10^{-14}\ m^2/s$ → D_{500}

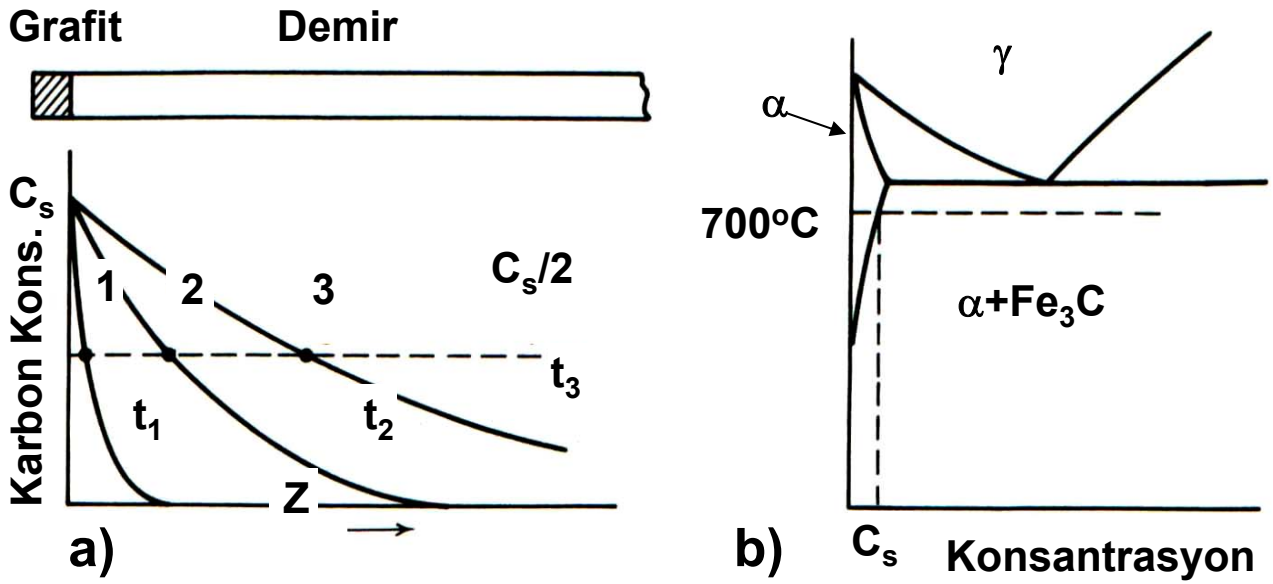
Not: D değerleri burada verilmiştir.

Difüzyon Katsayısını Deneysel Belirleme Metotları

- Mikroskobik metotlar
  - Gevşeme Metotları
    Snoek
    Zener
  - Nükleer,
    Magnetik rezonans (MR)
    Yarı elastik nötron saçınımı
- Makroskobik metot
  (Fick kanunlarına dayanır)

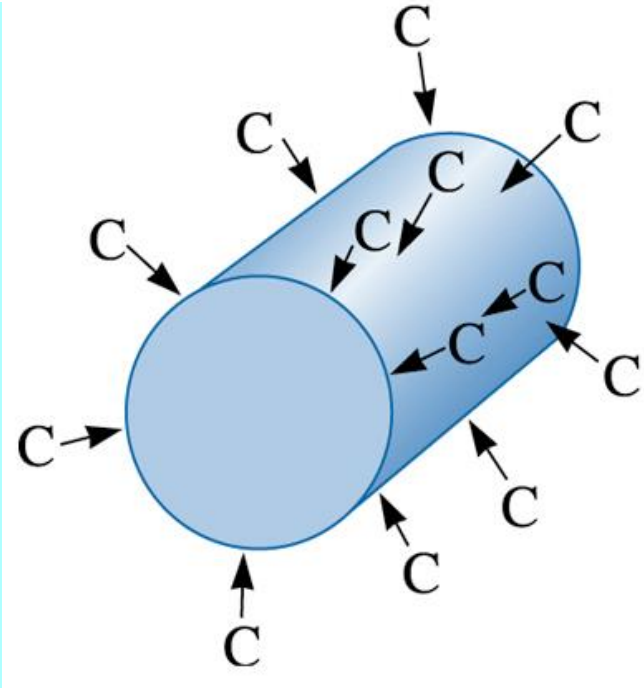

Difüzyon Prosesleri ile Yüzey Sertleştirme
Karbürleme
Nitrürleme
Borlama
Karbo-nitrürleme
Yüzeye C
850-1000 °C
700-900 Hv
Yüzeye B
400-600 °C
800-950 Hv
Yüzeye B
750-1200 °C
900-2000 Hv
Yüzeye C, N
900-1100 °C
900-1250 Hv

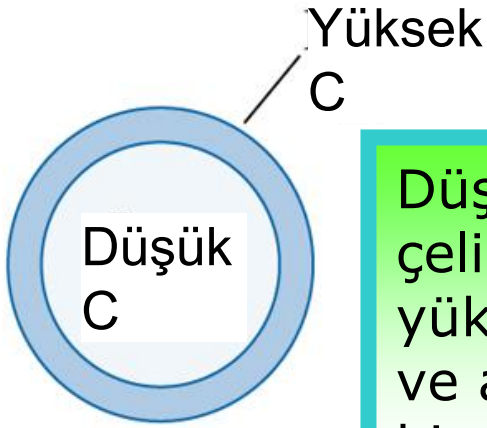
Karbürleme (Sementasyon)



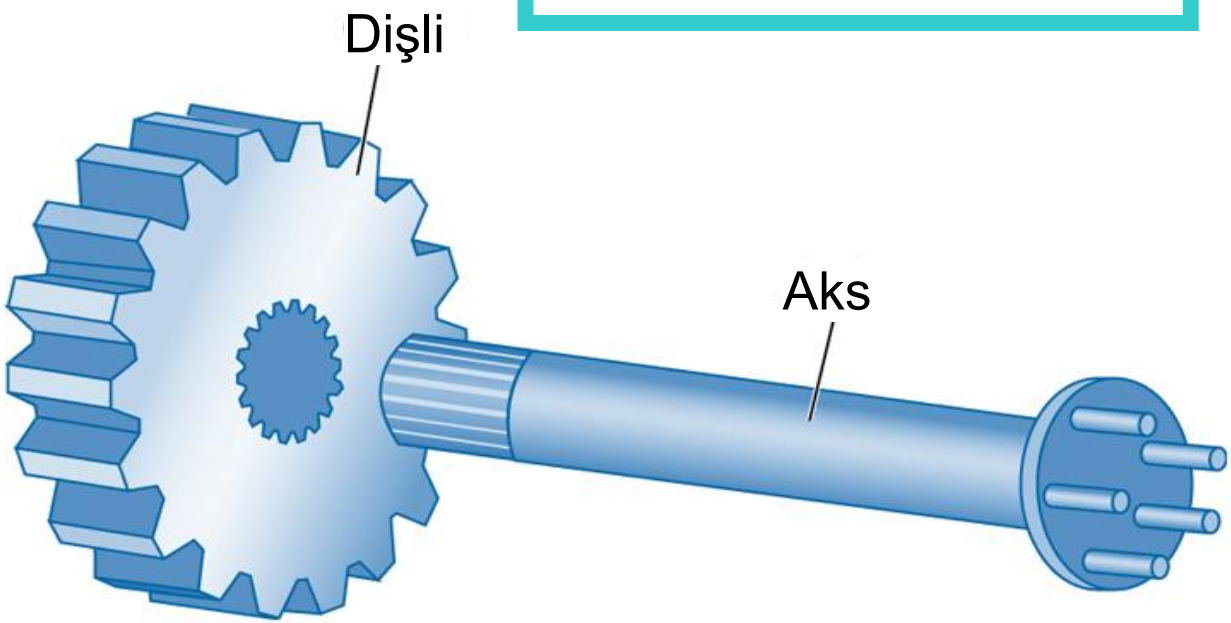
Şekil. a) Fe karbürizasyonu için kompozisyon profilleri, b) Fe-C denge diyagramı.

Karbürleme: metal yüzeyine karbon vererek yüzey altına karbon emdirme





Düşük karbonlu bir çelik yüzeyinde yüksek karbonlu sert ve aşınmaya dayanıklı bir tabaka üretilir



Dişli ve aks gibi yüzeyleri aşınmaya dayanıklı ve içi tok parçalar elde edilir.

Yüksek yüzey sertliği + tokluk (1-1.2 mm lik sert tabaka)
Karbonlayıcı ortam = katı, sıvı, gaz.
Mesafeye bağlı karbon miktarı: (II. Fick kanunu yardımı)

Sınır koşulları:

Sınır koşulları : $C(Z= 0, t) = C$

$C(Z= \infty, t) = 0$

Başlangıç koşulu : $C(Z, 0) = 0$ yazılabilir.

Arayüzey denge konsantrasyonu $C_o/2$ yerini, C_s almış.
Başlangıçta çelikte hiç karbon yoksa;

$$C(Z,t) = C_s\left[1 - \mathrm{erf}\,\frac{Z}{2\sqrt{Dt}}\right] \qquad (3.22)$$

Başlangıçta C_1 kadar karbon varsa ve $C_1 < C_s$ ise,

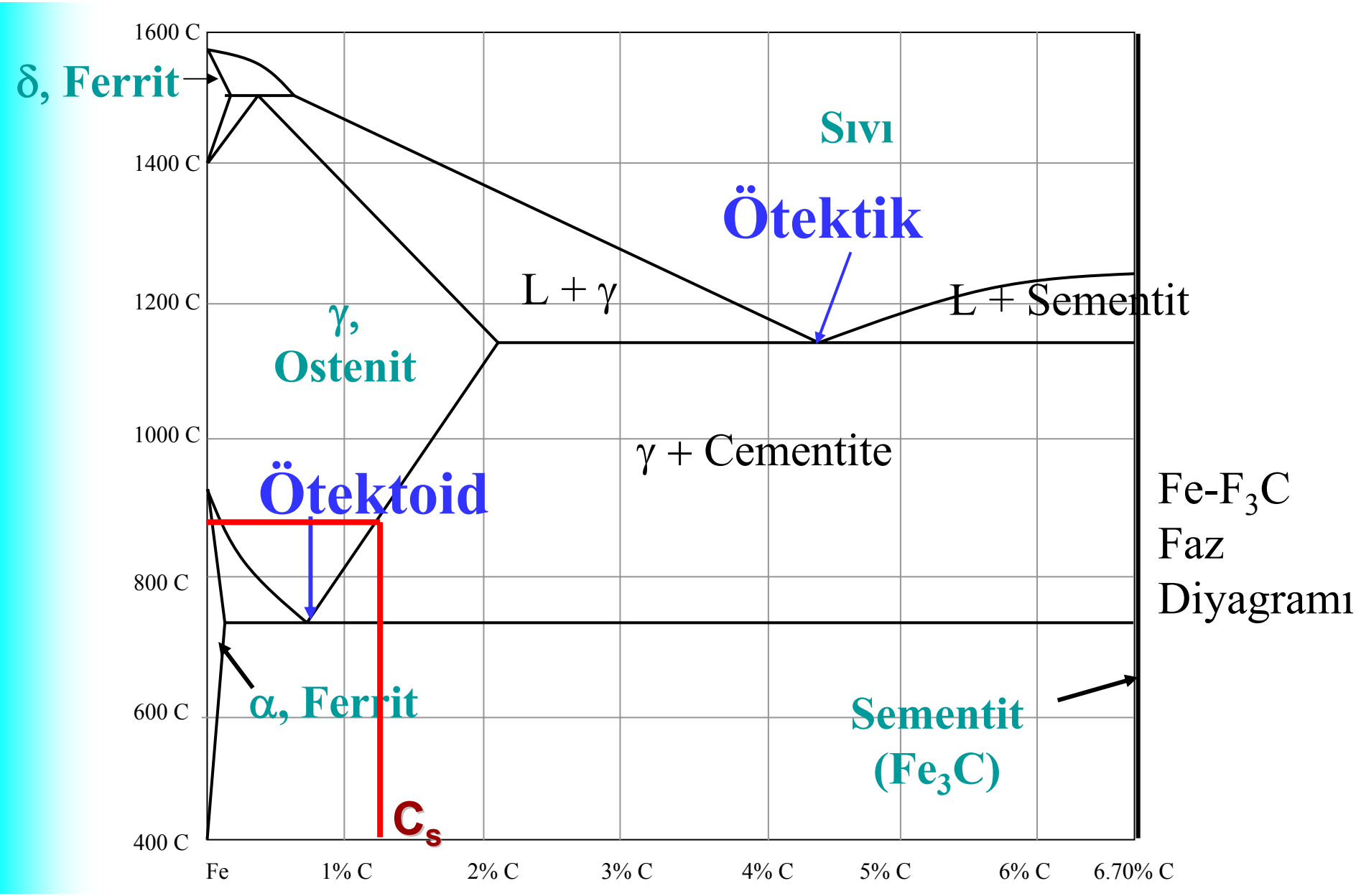
$$C(Z,t) = C_1 + (C_s - C_1)\left[1 - \mathrm{erf}\,\frac{Z}{2\sqrt{Dt}}\right] \qquad (3.23)$$

Eşitliğin açılması ile;

$$\frac{C_s - C_{(Z,t)}}{C_s - C_1} = \mathrm{erf}\,\frac{Z}{2\sqrt{Dt}} \quad \text{veya}$$

$$\frac{C_{(Z,t)} - C_1}{C_s - C_1} = 1 - \mathrm{erf}\,\frac{Z}{2\sqrt{Dt}} \qquad (3.24)$$

C(Z,t) = Malzemenin yüzeyinden itibaren Z mesafedeki C konsantrasyonu
C_1 = Malzemenin başlangıç konsantrasyonu,
C_s = Ortamın konsantrasyonu,
Z = difüzyon (karbürizasyon) mesafesi (cm),
D = difüzyon katsayısı (cm2/sn),
t = difüzyon (karbürizasyon) süresi (sn),
erf(β) = hata fonksiyonu (Tablo veya şekilden)


1600 C
1400 C
1200 C
1000 C
800 C
600 C
400 C
δ, Ferrit
Sıvı
Ötektik
L + γ
L + Sementit
γ,
Ostenit
γ + Cementite
Ötektoid
Fe-F3C
Faz
Diyagramı
α, Ferrit
Sementit
(Fe3C)
Cs
Fe
1% C
2% C
3% C
4% C
5% C
6% C
6.70% C

Parça başlangıçta hiç C içermez ise,

$$C(Z,t) = \frac{C_s}{2} = C_s\left[1 - \mathrm{erf}\left(\frac{Z_{0.5}}{2\sqrt{Dt}}\right)\right] \quad (3.25)$$

Buradan

$$\frac{1}{2} = \mathrm{erf}\left(\frac{Z_{0.5}}{2\sqrt{Dt}}\right) \quad (3.26)$$

Tablo veya şekilden;

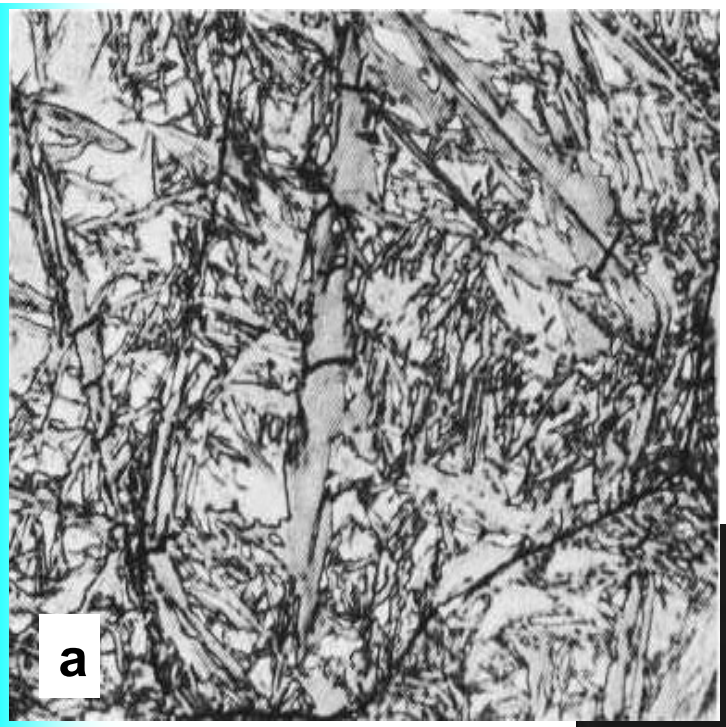
$$\mathrm{erf}(0.477) = 1/2 \quad (3.27)$$

Ve

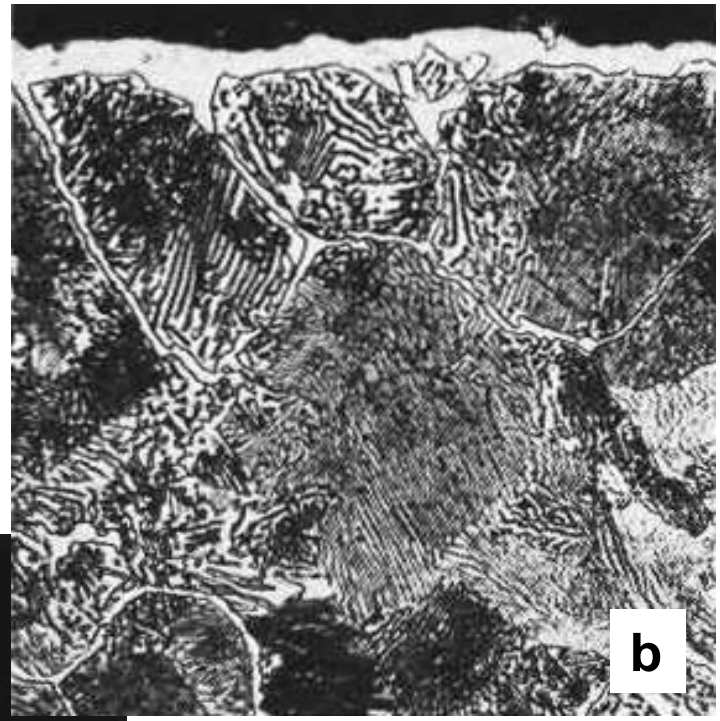
$$Z_{0.5} = 0.9542\sqrt{Dt} \quad (3.28)$$

Kısaca

$$Z_{C_c} = Sbt.\sqrt{Dt} \quad (3.29)$$

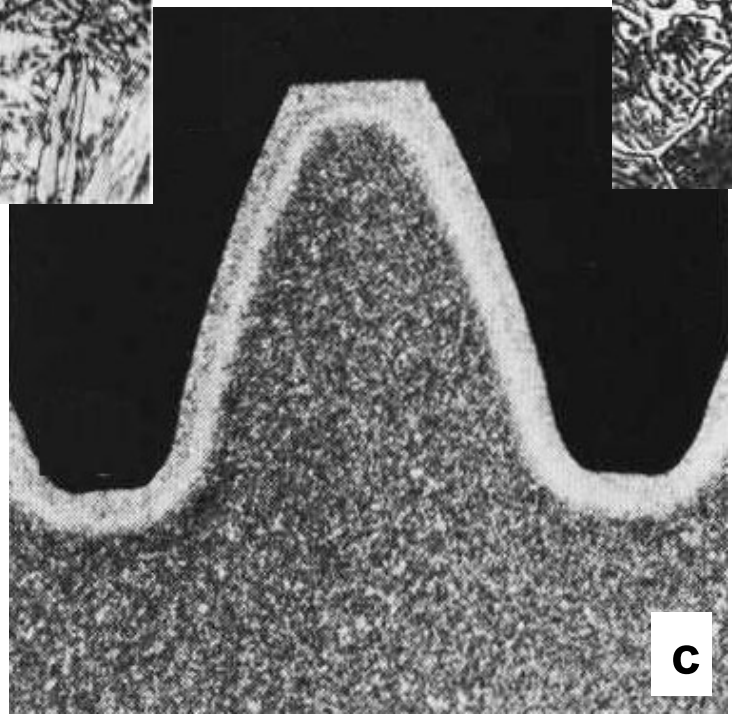


a) Karbürlenmiş ve yağda su verilmiş



b) Karbürlenmiş ve havada soğutulmuş

Bir 8620 çeliğinden imal edilmiş olan otomobil dişlisinin makro görüntüsü



Nitrürleme

Malzeme yüzeylerine azot (N_2) emdirme

Çelik kalıplar. Yorulma ömrü yüksek

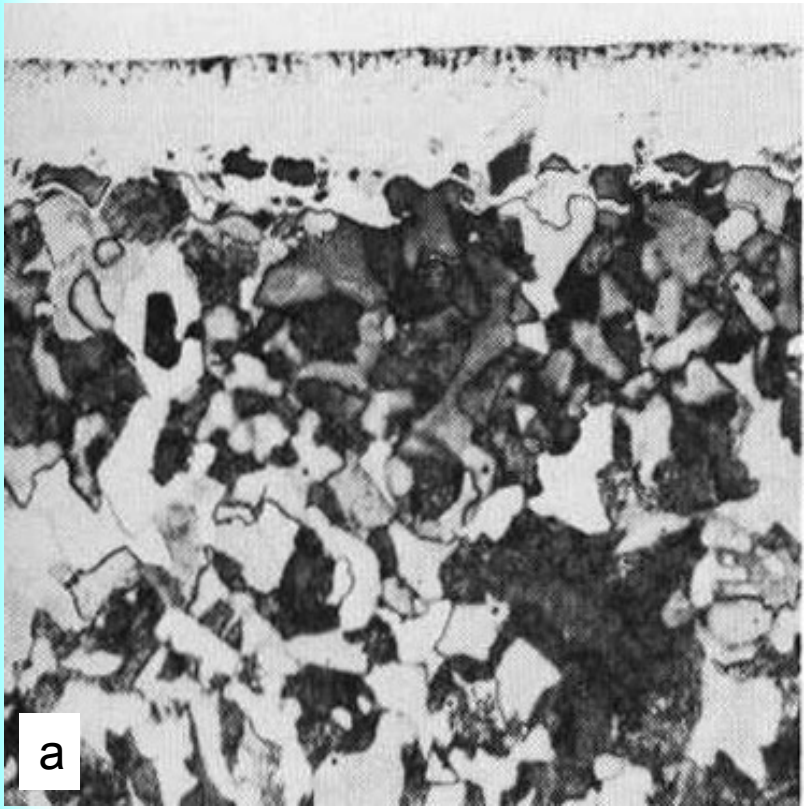
Demirdışı alaşımlara da uygulama

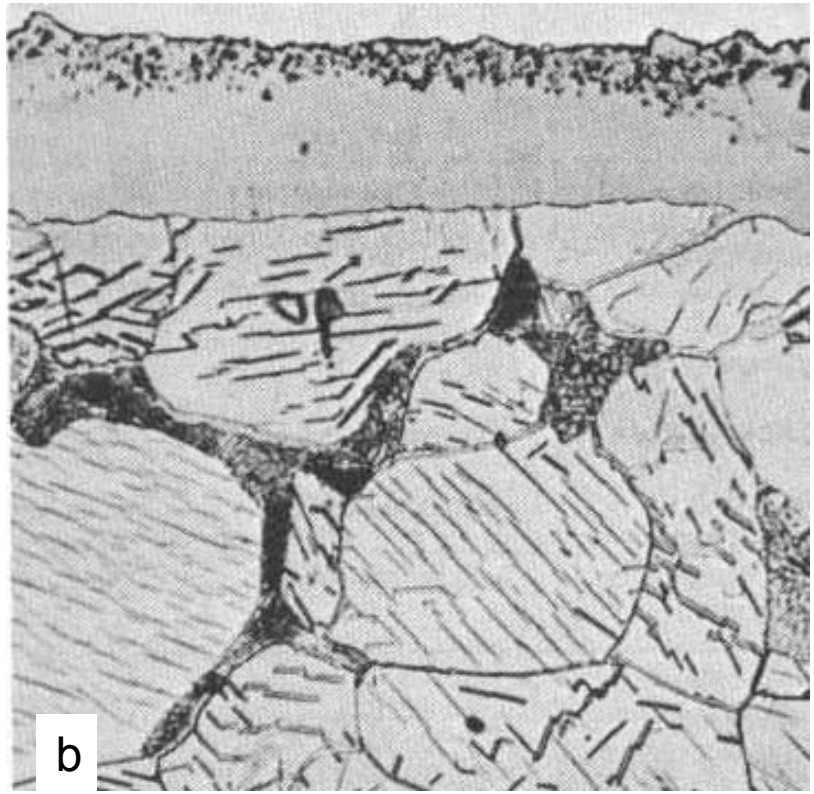
Azot atomu yarıçapı karbon atomundan daha düşük.

İşlem karbürlemeden daha düşük sıcaklıkta gerçekleşir.

Sıvı, Gaz ve Plazma ortamları

Plazma ortamında; Paslanmaz çelik, Ti, Al
300-350 °C de 316L CrN fazı Sertlik = 900 VN

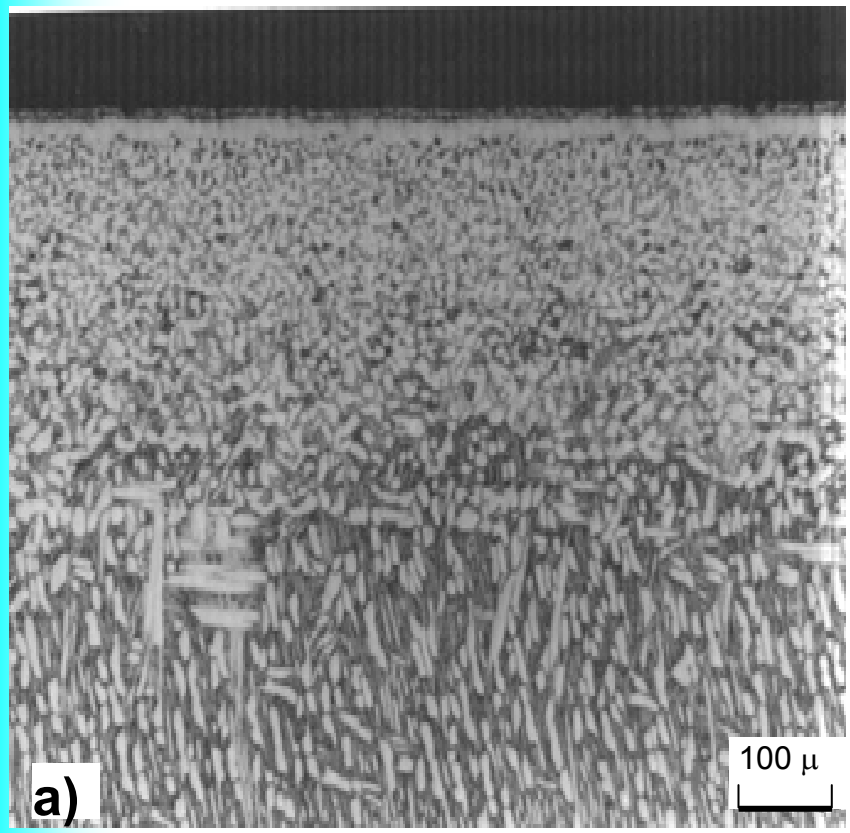


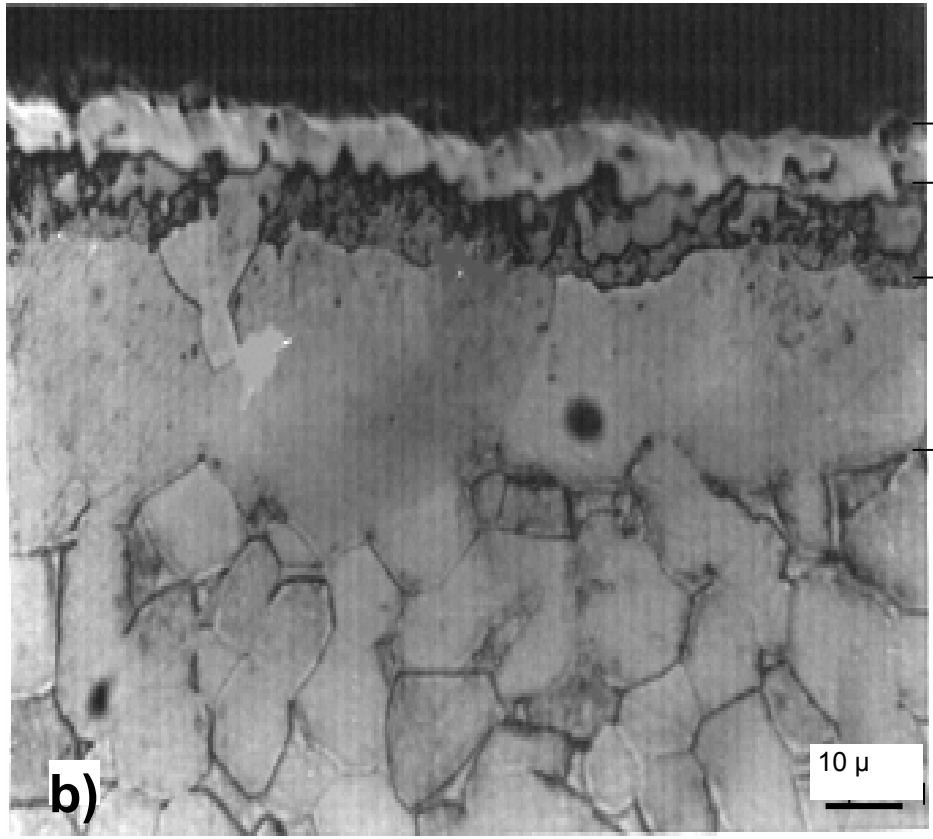


Şekil a) 1035 çeliğinin azot gazı ile nitrürlenmiş yapısı.
b) Sıvı siyanat banyosunda orta karbonlu çeliğini Nitrürlenmiş örnekleri.

Demir dışı metal ve alaşımlarında da nitrürleme ile yüzey sertleştirilir

Ti-6Al-4V alaşımında
700-900 °C de 850-2500 Hv sertlik





Şekil. Plazma iyon nitrürleme prosesi ile nitrürlenen Ti-6Al-4V alaşımında, a) nitrür tabakasının merkeze doğru değişimi ve b) yüksek büyütmede nitrür bileşik tabakaları

Karbonitrürleme

Yüzeyde C_3N_4 benzeri Fazlar üretilmeye çalışılır.

Çok yüksek mukavemet ve tokluk kombinasyonu elde edilir.

Gaz faz ortamında yüzey sertleştirilir.

Genelde plazma yüzey modifikasyon işlemleri uygulanır

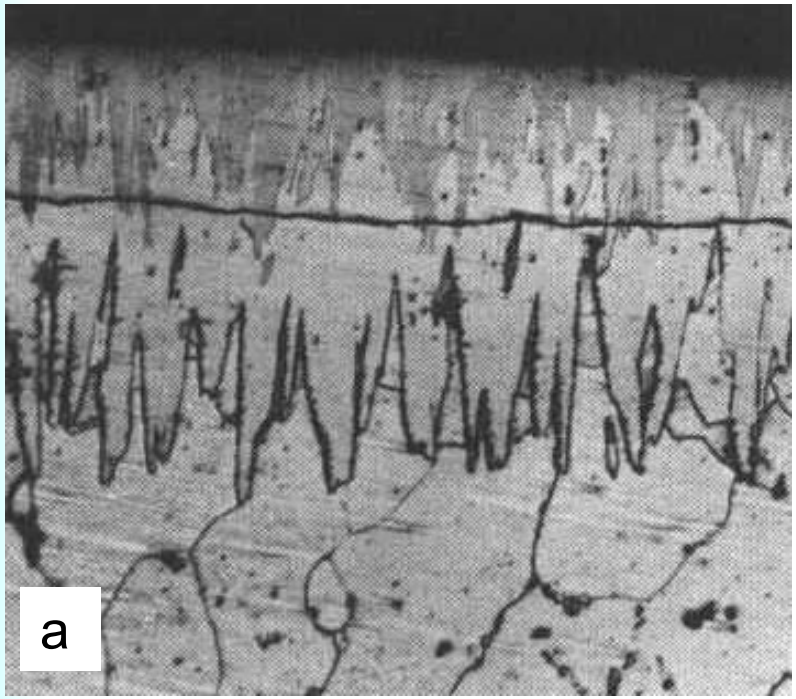
Şekil. Bir çelik yüzeyinde karbonitrür yapısı

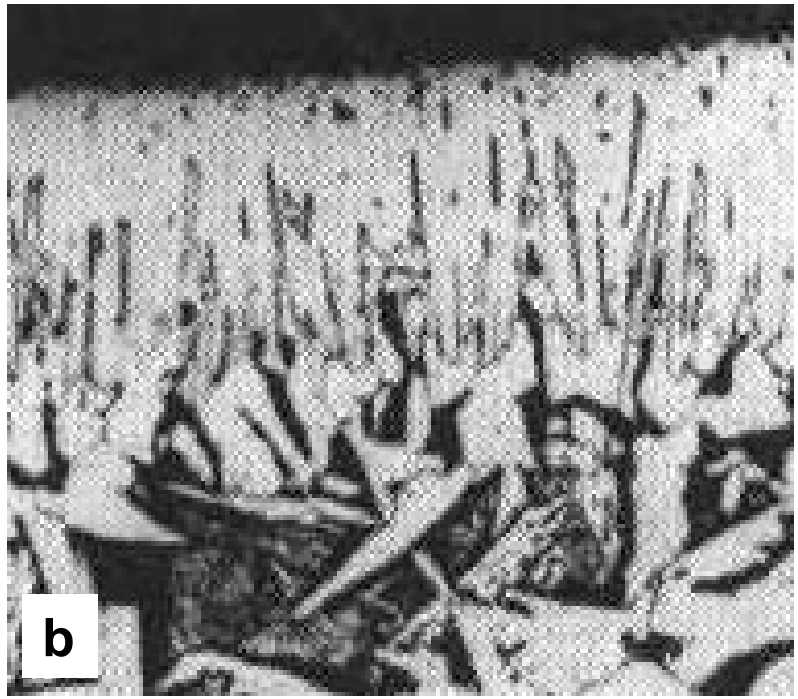
Borlama

Metal ve alaşım yüzeylerine Bor (B) emdirme,

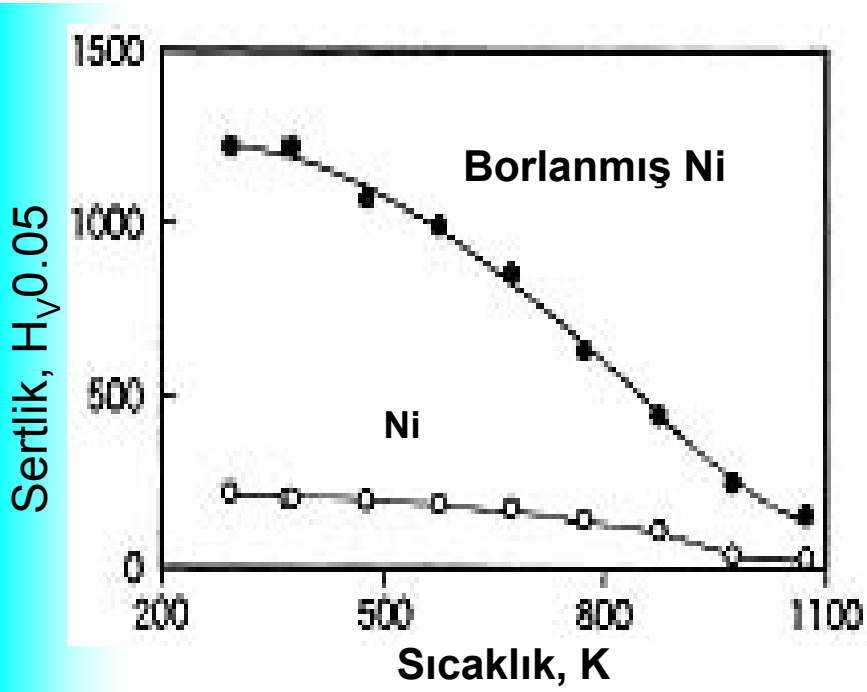
Sıvı, katı ve gaz (plazma dahil) ortamlarında yüzey sertleştirilir.

Katı ortam ticari amaçla kullanılmakta

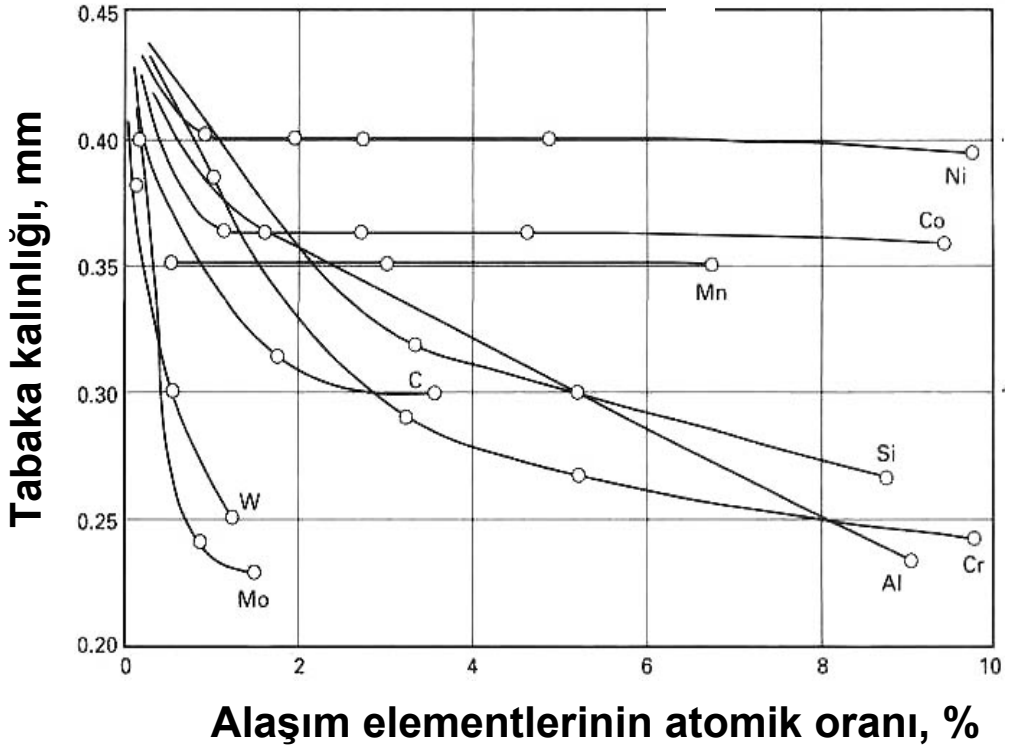




Şekil. İki farklı çelikte elde edilmiş olan bor tabaka kesit yapısı:
a) FeB ve Fe_2B fazlarının morfolojisi



Şekil. 1073 K de yapılan borlama sonucunda üretilen Ni-bor tabakasının sertliği



Şekil. Demir esaslı alaşımlarda alaşım elementlerinin difüzyon derinliğine etkileri.

Dekarbürizasyon

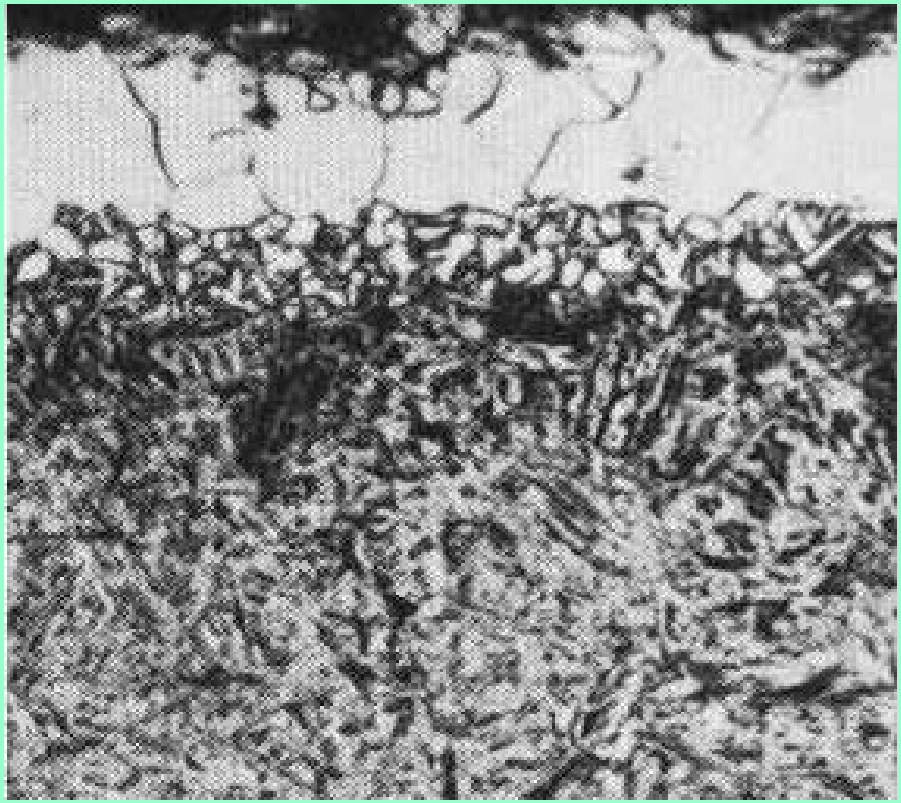
Karbon fakirleşmesi

Dekarbürizasyon;

1. Karbürlemede oksitlenmeden
2. Yüzey işlemek için

$R_{\text{oktahedral boşluk}} < r_C$

C atomu 800-900 °C de oktahedral boşluktan çıkar



Şekil. 1148 çeliği; 925 °C de 8 saat karbürleme, Yağda su verme 825 °C de 15 dakika bekletme ve dekarbürizasyon.

$\frac{C_{(Z,t)} - Cs}{C_1 - Cs} = \mathrm{erf}\beta \qquad \beta = \frac{Z}{2\sqrt{D.t}}$	(3.30)

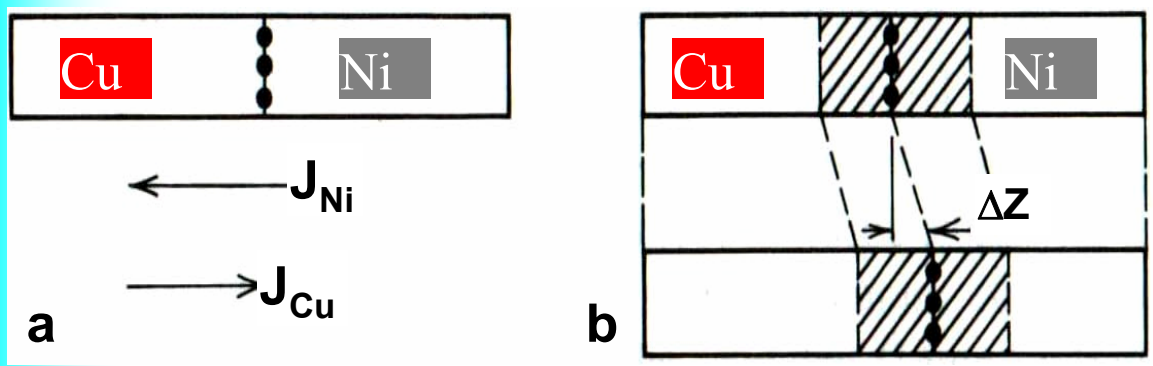
C(Z,t) = İşlem sonunda yüzeyden Z mesafede dekarbürize olmuş kısım konsantr.(%),

Cs = Dekarbürizan ortamın konsantrasyonu (%),

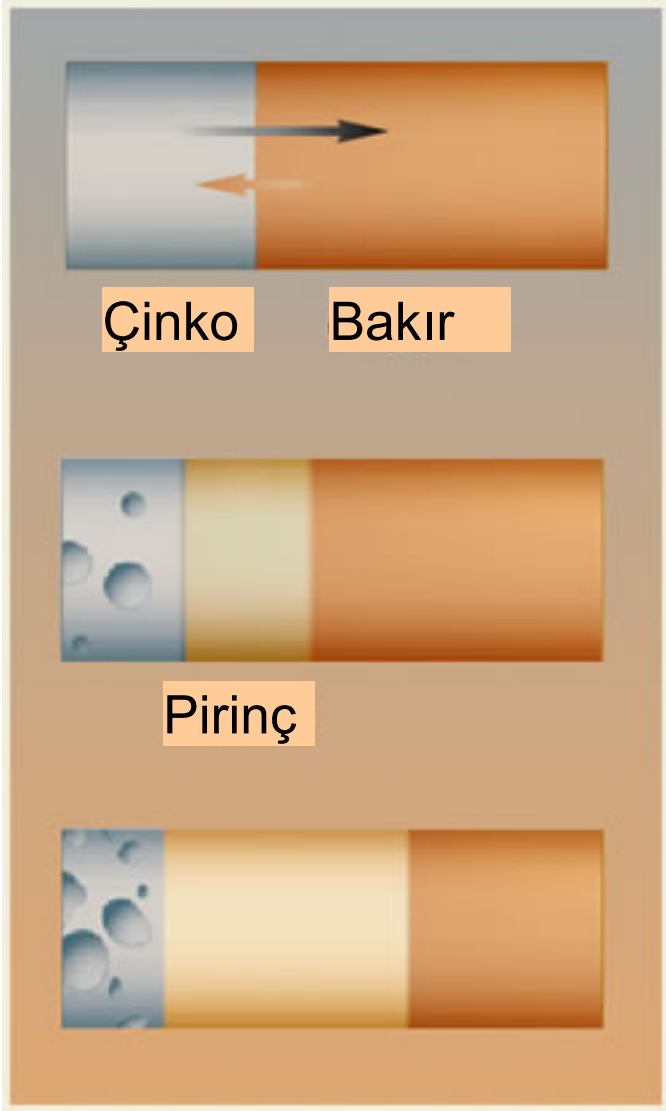
C1 = İşlem öncesi malzeme konsantrasyonu (%),

Yeralan Atomların Difüzyonu

Difüzyon çiftide atom boyutları çok çok farklı değil ise; Cu ve Ni çifti



Şekil. Kirkendall hareketi.



Cu-Ni çiftinde deney

Yüzey temizleme (Saf Cu ve Ni)

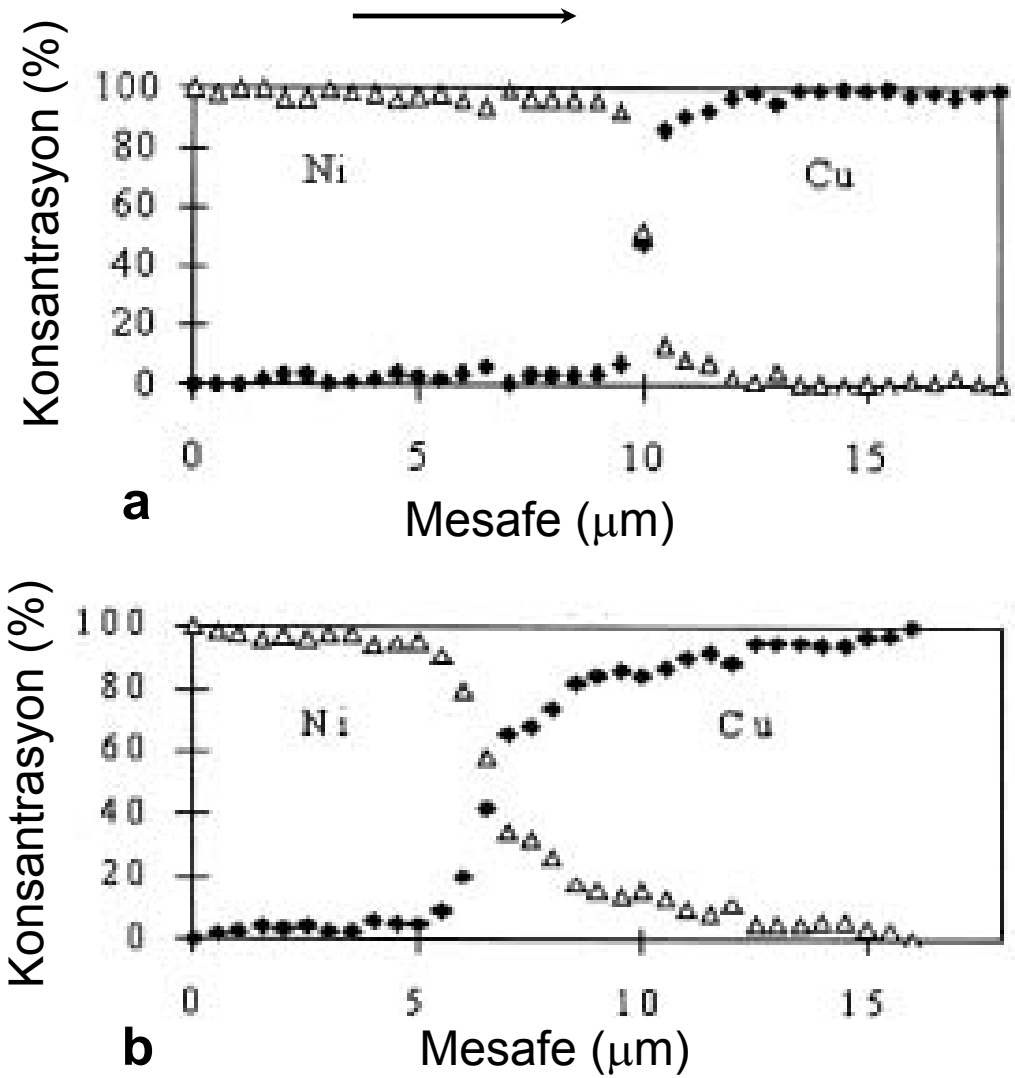
↓

Cu-Ni birleştirme 250 °C 107 gün

↓

Cu ve Ni içinde konstr. ölçme

Sonuç:
Cu latisi genleşmiş,
Ni küçülmüş



Şekil. Ni-Cu çifti. Konsantrasyon mesafe profilleri: a) Düşük sıcaklıkta ve b) 250 °C de 107 gün bekleme.

Kirkendall Etkisi: Bir latisin diğerinin küçülmesi pahasına genleşmesi

Bu etki ilk olarak L. Darken tarafından incelenmiş.
Kirkendall Etkisi analizi
D_A ve D_B = Karşılıklı yayınan A ve B atomlarının difüzyon katsayıları
A ve B atomlarının karşılıklı akışları

I. Fick Kanununa göre;

$$J_A = -D_A \frac{\partial n_A}{\partial Z} \quad \text{ve} \quad J_B = -D_B \frac{\partial n_B}{\partial Z} \qquad (3.31)$$

eşitlikleri ile belirlenebilir.

J_A ve J_B = Birim alan içinden birim zamanda geçen A ve B atomlarının sayısı
n_A ve n_B = Birim hacimde bulunan A ve B atomlarının sayısı
D_A ve D_B = Doğal (intrinsic) difüzyon katsayıları olarak adlandırılırlar.

Darken' in kabulü: Birim hacimdeki atomların toplam sayısı sabit.

$n_A + n_B = \text{Sabit}$	(3.32)

Kirkendall işaretinin hızı;

$\nu = \Delta Z / dt$	(3.33)

İşareti geçen madde hızı ise, işaret hızı ile aynı büyüklükte fakat ters yöndedir;

$\nu = -\text{Hacim} / \text{zaman}$	(3.34)

Birim zamanda işareti geçen madde hacmi;

$Hacim / zaman = \dfrac{J_{net}}{n_A + n_B}$	(3.35)

1/ nA + nB = bir atomun hacmi

Net akış = A ve B atomlarının akışları toplamı;

$$J_{net} = J_A + J_B = -D_A \frac{\partial n_A}{\partial Z} - D_B \frac{\partial n_B}{\partial Z} \qquad (3.36)$$

Eşitlik işaret hızı eşitliğinde yerine konduğunda;

$$\nu = -\frac{\text{hacim}}{\text{zaman}} = +\frac{\left(D_A \frac{\partial n_A}{\partial Z} + D_B \frac{\partial n_B}{\partial Z}\right)}{n_A + n_B} \qquad (3.37)$$

$n_A + n_B =$ Sabit idi ve

$$N_A = \frac{n_A}{n_A + n_B} \quad \text{ve} \quad N_B = \frac{n_B}{n_A + n_B} \qquad (3.38)$$

$$N_B = 1 - N_A \quad \text{ve} \quad \frac{\partial N_B}{\partial Z} = -\frac{\partial N_A}{\partial Z} \qquad (3.39)$$

NA ve NB = A ve B atomlarının atomik oranları

İşaretin hızı;

$$\nu = (D_A - D_B)\frac{\partial N_A}{\partial Z}$$	(3.40)

DA ve DB nasıl hesaplanır?

$$\tilde{D} = N_B D_A + N_A D_B$$	(3.49)

$\tilde{D}$ = karşılıklı difüzyon katsayısı İşaret hızı ve

$\tilde{D}$ ölçülürse Doğal difüzyon katsayıları D_A ve D_B hesaplanabilir.

$\tilde{D}$ hesaplamada en yaygın yöntem = MATANO ARAYÜZEY YÖNTEMİ

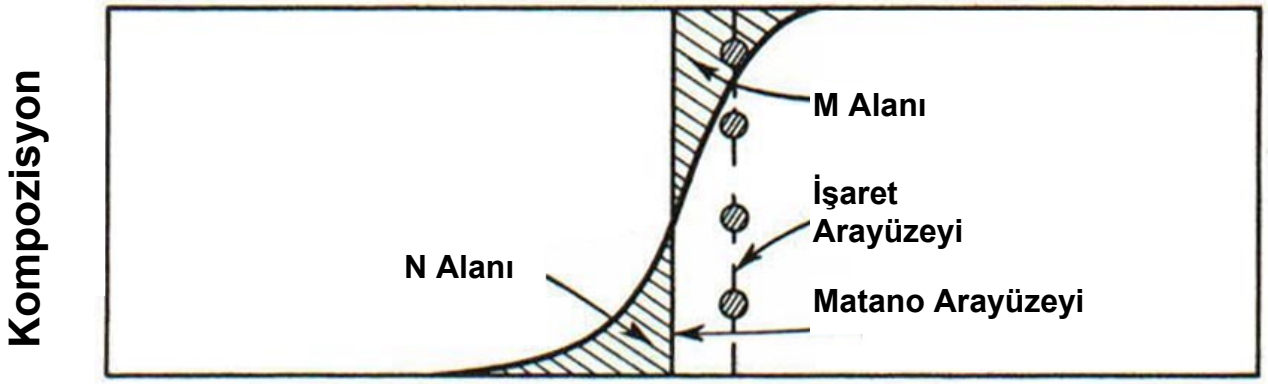
Difüzyon katsayısı = f{konsantrasyon}
Bu durum için II. Fick Kanunu yardımıyla;

$$\frac{\partial N_A}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z}\tilde{D}(N_A)\frac{\partial N_A}{\partial z}$$	(3.50)

2 Adım

1. Difüzyondan sonra mesafeye bağlı olarak kimyasal analiz yapmak (Bileşimin belirlenmesi, bileşim-mesafe değişimi grafiksel olarak çizilmek)
2. A ve B atomlarının aynı toplam akışa sahip olacak çubuğun kesitinin belirlenmesi

Kesit = Matano Arayüzeyi (M ve N alanlarının eşit olduğu noktadaki kesit)
Matano arayüzeyinin pozisyonu grafiksel integrasyon ile belirlenir.
Deneysel olarak hassas ölçüm cihazları ile tespit edilebilir.
İkincil elektron kütle spektroskobisi ile (SIMS)



Şekil. Matano arayüzeyinin alanları birbirine eşit olan N ve M gibi iki alanının tam ortasında yer alması.

Fick kanunun Boltzman çözümü,

$$\tilde{D} = -\frac{1}{2t}\frac{\partial z}{\partial N_A}\int_{N_{A1}}^{N_A} z\,dN_A \qquad (3.51)$$

t = difüzyon zamanı

N_A = Matano arayüzeyinden z mesafede atomik konsantrasyon,

N_A1 = Difüzyon çiftinin bir tarafındaki, difüzyondan etkilenmemiş orijinal konsantrasyon.

Rasgele bazı değerler alındığında,

Tablo. Matano Metodu için varsayımsal difüzyon verileri

Bileşim (% atom) - Metal A	Matano Arayüzeyinden Uzaklık (cm)
100.00	0.508
93.75	0.314
87.50	0.193
81.25	0.103
75.00	0.051
68.75	0.018
62.50	-0.007
56.25	-0.027
50.00	-0.039
43.75	-0.052
37.50	-0.062
31.25	-0.072
25.00	-0.087
18.75	-0.107
12.50	-0.135
6.25	-0.182
0.00	-0.292

$\tilde{D}(0.375) = -\frac{1}{2t}\left(\frac{1}{0.375'te \cdot eğim}\right)x(N_A) = 0$	(3.53)

dan, N_A = 0.375' e kadar olan alan ve difüzyon zamanının 50 saat (180.000 saniye) olduğu kabul edilirse;

$\tilde{D}(0.375) = -\frac{1}{2t}\left(\frac{1}{18000}\right)\frac{1}{6.10}x0.0466 = 2.1x10^{-8}\ \frac{cm^2}{sn}$	(3.54)

bulunur.

Difüzyon Katsayısının Sıcaklıkla Değişimi

$D = D_o.e^{-Q/RT}$	(3.55)

D_o = frekans faktörü veya doğal difüzyon katsayısı
Q = difüzyon aktivasyon enerjisi

$\log D = \log D_o - \frac{Q}{2.3RT}$	(3.56)

Tablo. Difüzyonun sıcaklığa bağımlılığını göstermek için varsayılan değerler.

Sıck. (°K)	Dif. Kats. (D)	1/T	logD
700	1.9×10^{-11}	1.43×10^{-3}	-10.72
800	5.0×10^{-10}	1.25×10^{-3}	-9.30
900	6.58×10^{-9}	1.11×10^{-3}	-8.12
1000	5.0×10^{-8}	1.0×10^{-3}	-7.30
1100	2.68×10^{-7}	0.91×10^{-3}	-6.57

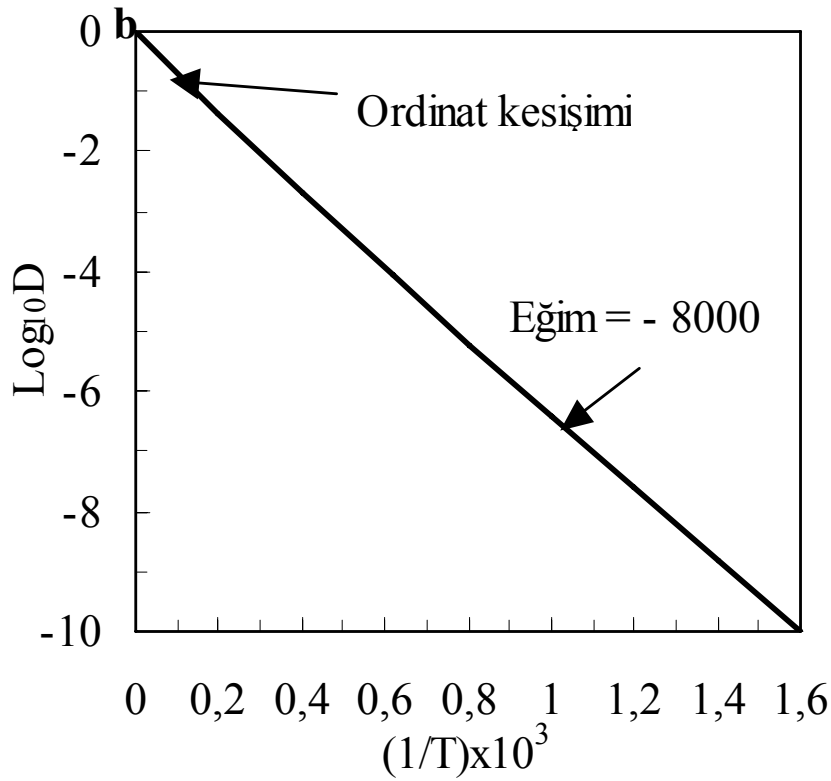
Bir doğru (y = b + ax) denklemi

$m = -Q/2.3R$ veya

$Q = 2.3Rm$ $\quad b = \mathrm{Log}D_o \quad D_o = 10^b$

Şekilden Eğim = -8000

$$m = -\frac{Q}{2.3R} = -8000$$ R = 2 kal/mol



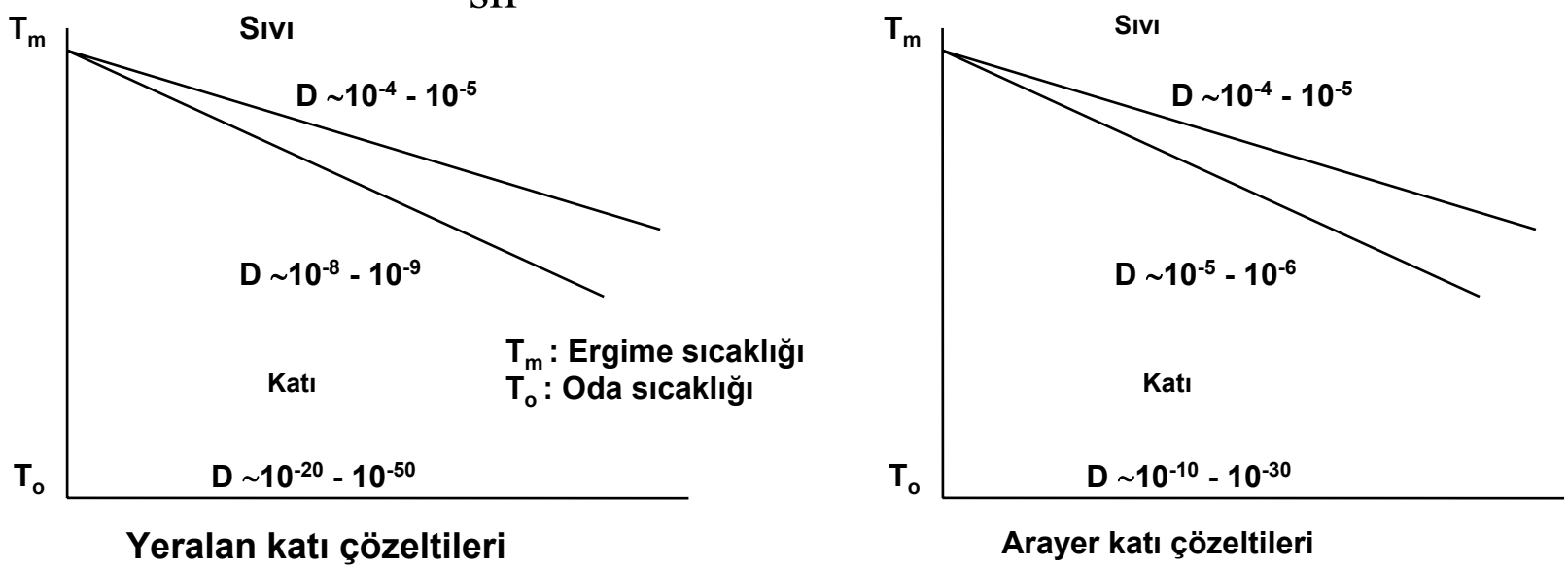
Şekil. Q ve Do' ı elde etmek için çizilen deneysel difüzyon verileri.

$$Q = 2.3(2)8000 = 36.000 \text{ kal./mol}$$

Ordinat kesişim noktası=0.7
Doğal difüzyon katsayısı değeri D_o

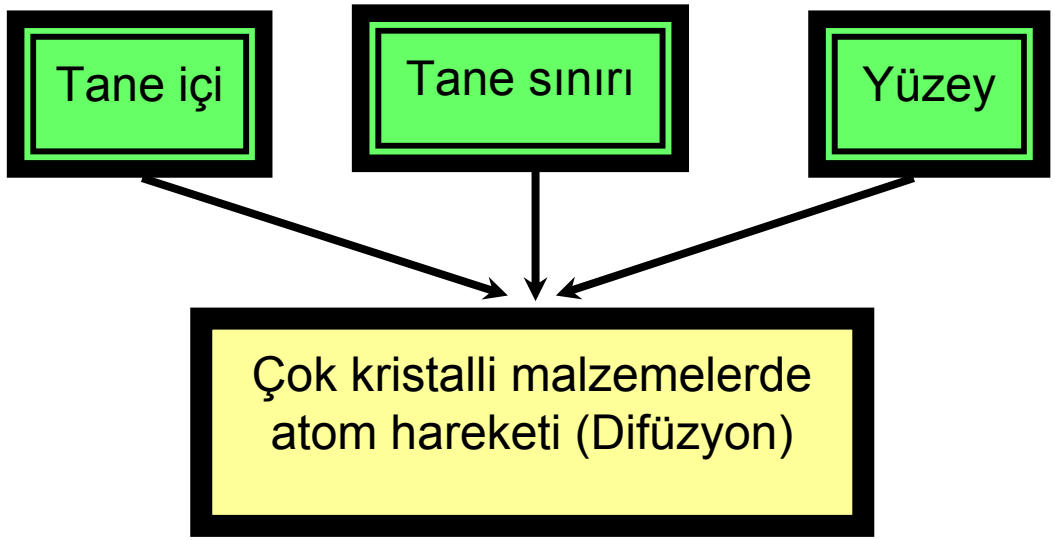
$$D_o = 10^b = 10^{0.7} = 5\frac{cm^2}{sec}$$ Sonuçta difüzyon katsayısı değeri

$$D = 5e^{-36.000/RT}\frac{cm^2}{sn}$$



Şekil. Yeralan ve arayer çözeltilerinde farklı sıcaklıklarda difüzyon.

Yüzey ve Arayüzey Difüzyonu



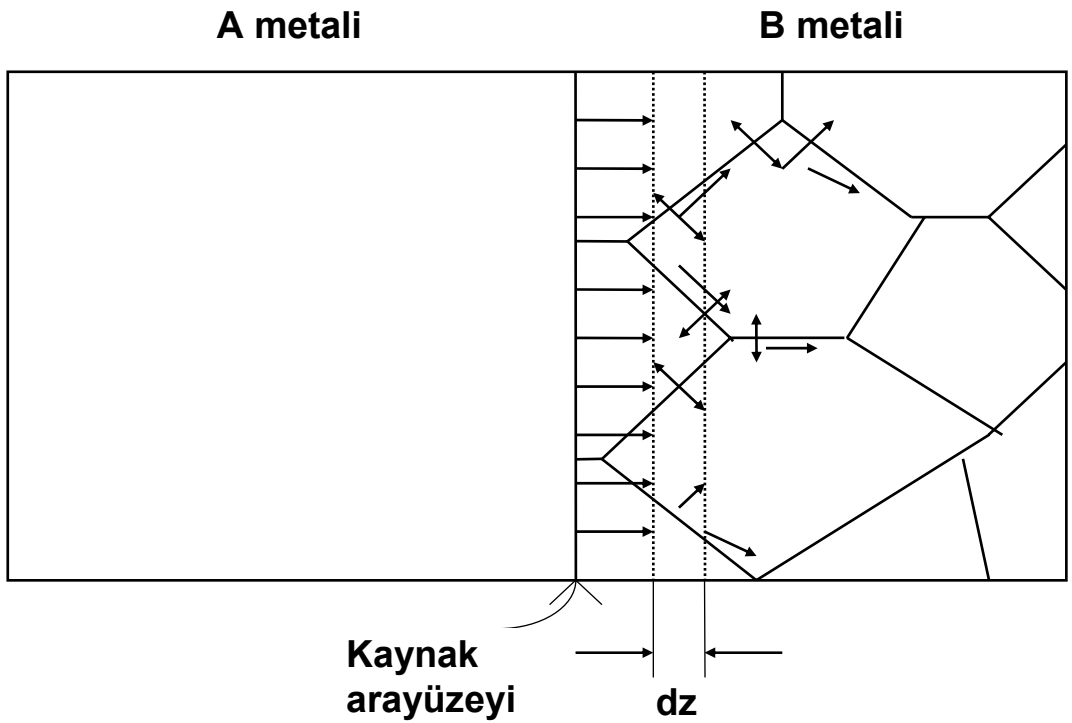
$$D_{Yüzey} > D_{Tane\ sınırı} > D_{tane\ içi\ (latis)}$$

$$D_s = D_{s_o}.e^{-Q_s/RT}$$

$$D_b = D_{b_o}.e^{-Q_b/RT} \qquad (3.55)$$

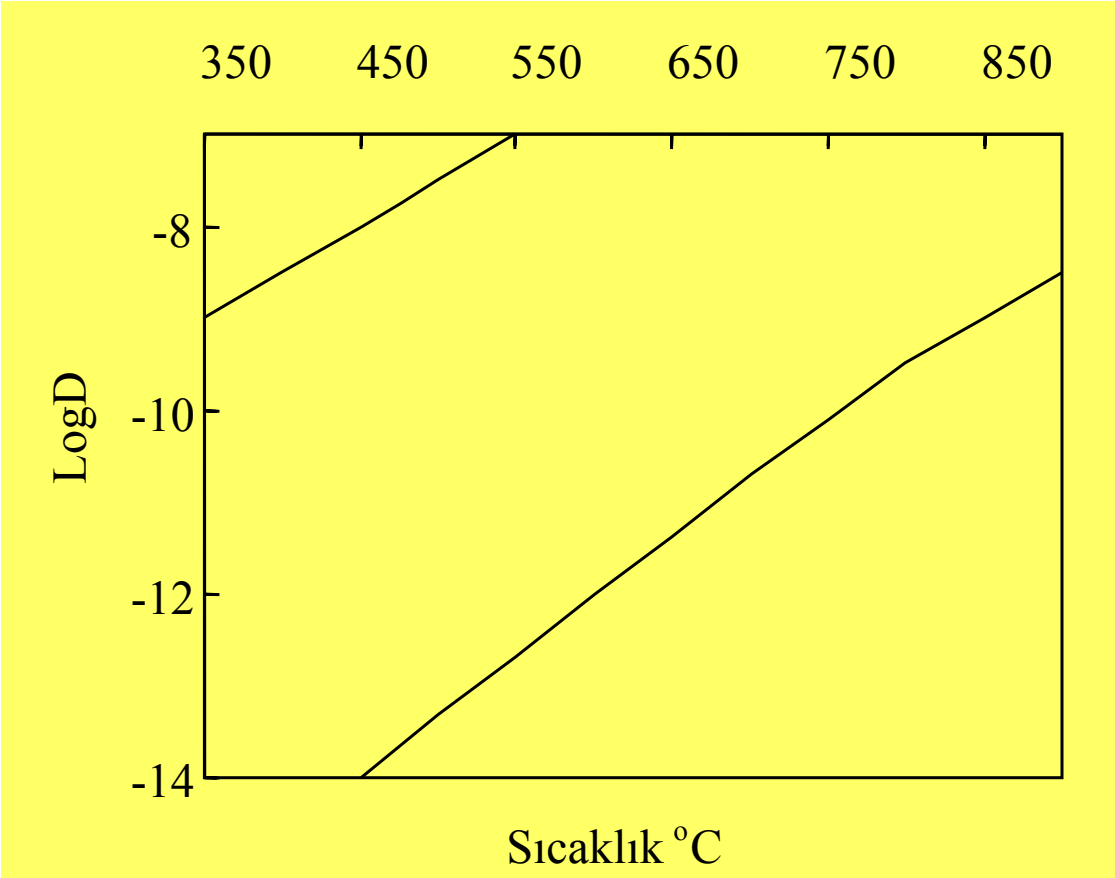
D_s ve D_b = yüzey ve tane sınırı yayınabilirliği, D_{so} ve D_{bo} = sabitler

Q_s ve Q_b = yüzey ve tane sınırı difüzyonu için deneysel aktivasyon değerleri.



Şekil. Hacimsel ve tane sınırı difüzyonunun birleşik etkisi.
Ag de sıcaklığa bağlı tane sınırı ve (tane içi), latis difüzyonu verileri.
Tane sınırı difüzyonu çizgisinde

$D_b = 0.025.e^{-20.200/RT}$ Latiste (tane içinde) $D_l = 0.895.e^{-45.950/RT}$



Şekil. Gümüşte tane sınırı ve tane içi (latis) difüzyonunun sıcaklıkla değişimi.

ÖZET:
YAPI & DİFÜZYON

Difuzyonun HIZLI Olduğu şartlar

- Düşük atom yoğunluklu yapılar
- Düşük ergime dereceli malzemeler
- İkincil bağ yoğun malzemeler (Van deer Waals)
- Difüze olan atomların boyutunun küçük olması
- Düşük yoğunluklu malzemeler

Difüzyonun YAVAŞ Olduğu Şartlar

- Sıkı paket yapılar
- Yüksek ergime dereceli malzemeler
- Ana bağların yoğun olduğu malzemeler (Kovalent bağ)
- Difüze atomların boyutunun büyük olması
- Düşük yoğunluklu malzemeler

Snoek Etkisi

Arayer element difüzyonu iç sürtünmeler kullanılarak ölçülebilir.

İlk kez Snoek, 1939 yılında açıklamış.

Fe gibi HMK bir metalde N ve C

gibi arayer atomları:

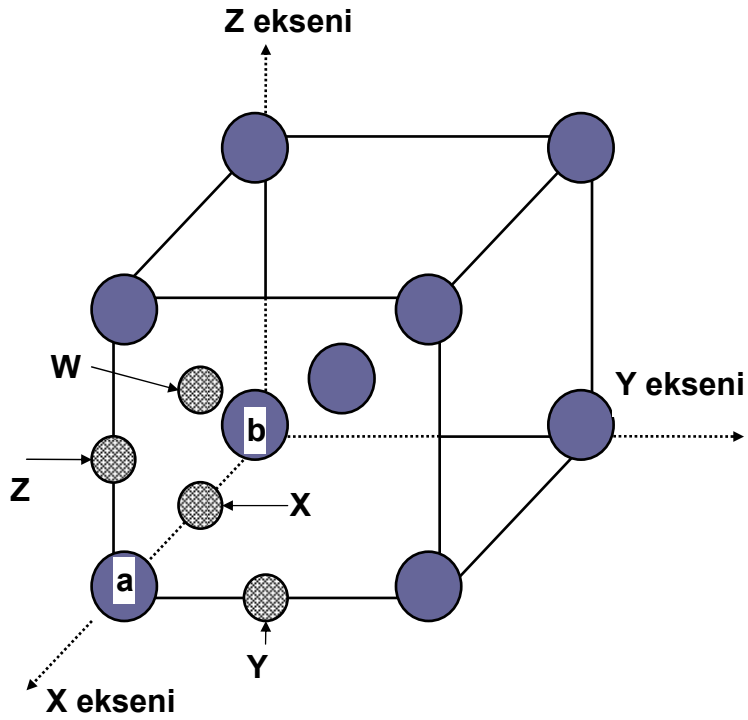
a) Küb kenarlarının ortasında

b) Küb yüzeylerinin merkezinde

X veya W de bir C atomu <100> yönünde iki Fe atomu arasında bir yer bulur.

Fe-Fe atomları arası mesafe belli.

$r_c > r_{arayer}$



Şekil. HMK bir Fe latisinde arayer karbon atomlarının işgal ettikleri yerleri gösteren yapı.

a ve b demir atomları X atomu tarafından dışarı doğru itilir ve birbirinden uzaklaştırılır (iç sürtünme olur) Latis boyu uzar

Homojenleştirme Tavlaması

Katılaşma sonunda alaşım elementleri dağılımı,(segregasyon)

Fick denkleminin özel bir çözümü;

$$C = C_o \exp\left(-\frac{Dt\pi^2}{l^2}\right) \qquad (3.49)$$

C = Homojenleştirme tavlaması öncesi konsantrasyon,
Co = Homojenleştirme tavlaması sonrası konsantrasyon,
D = Difüzyon katsayısı,
t = Difüzyon süresi,
l = Difüzyon mesafesi