Kristal katılardaki kusurlar

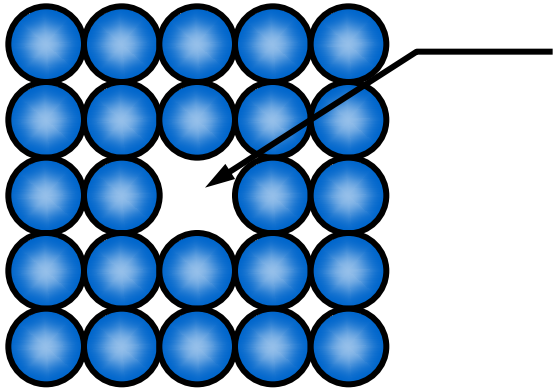
- Noktasal kusurlar (boyutsuz)
- Çizgisel kusurlar (bir boyutlu)
- Yüzeysel kusurlar (iki boyutlu)
- Hacimsel kusurlar (üç boyutlu)

Noktasal kusurlar

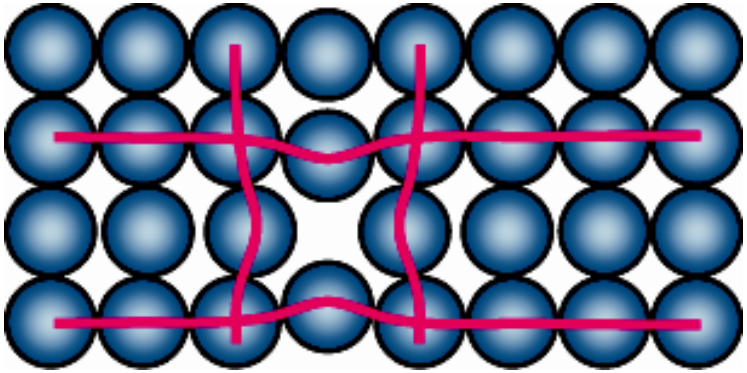
- Boşluklar
- Arayer kusuru
- Yer alan kusuru
- Frenkel kusuru
- Schottky kusuru

Boşluklar (Boş nokta kusuru)

- Katılaşma sırasında
- Plastik deformasyon ve
- Yüksek sıcaklıklarda oluşabilir



Düzlemlerin
distorsiyonu



- Oda sıcaklığında boşlukların konsantrasyonu azdır, sıcaklık artışı ile boşluk konsantrasyonu üstel olarak artar, Arrhenius tipi davranış gösterir

$$n_V = n\exp\left(-\frac{Q}{RT}\right)$$

n_v= cm^3'teki boşluk sayısı

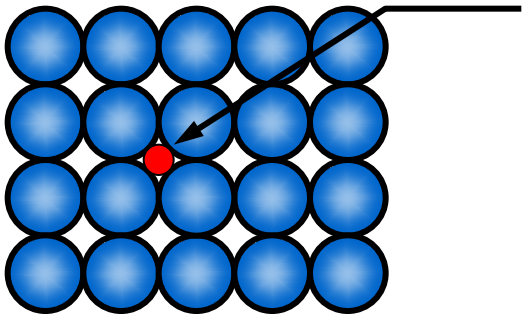
n= kafesin cm^3'ündeki atom sayısı

Q= 1 mol boşluk oluşturmak için gereken enerji, cal/mol ya da Joule/mol

R= Gaz sabiti, (1,987 cal/mol.K ya da 8,314 Joule/mol.K

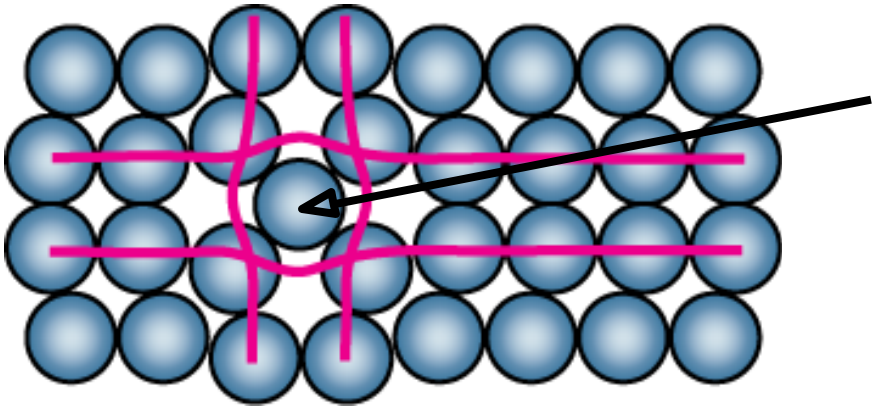
Nokta kusuru

Arayer kusuru



Arayer konumunda bulunan yabancı atom

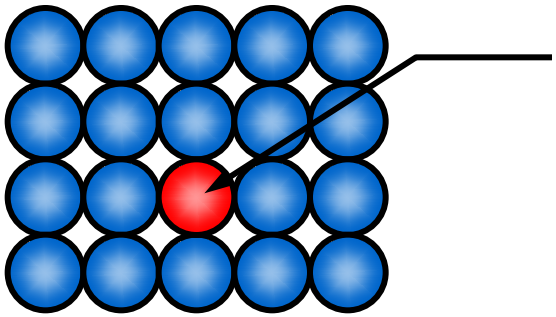
Düzlemlerin distorsiyonu



self-arayer

Nokta kusuru

Yeralan kusuru



Arayer konumunda bulunan yabancı atom

KATI ÇÖZELTİLER (KATI ERİYİKLER)

Bir katının (çözünen) başka bir katı (çözen) içerisinde homojen dağılmasıyla oluşan karışımlardır.

Dağılma ya da çözünme kabiliyeti çözünürlük olarak adlandırılır.

Çözen ya da matris: Bir alaşımda fazla miktarda olan element ya da bileşik

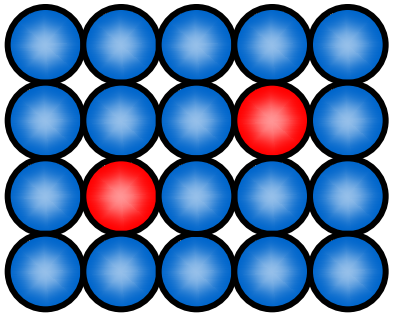
Çözünen: Bir alaşımda daha az miktarda mevcut olan element ya da bileşik

Katı çözelti

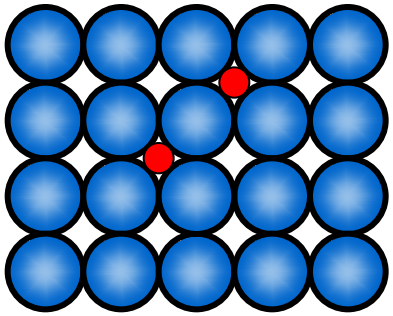
- ✓ Homojen
- ✓ Aynı kristal yapı
- ✓ Rastgele dağılmış arayer ya da yeralan empüritesi içerir

İkinci faz : İlave dilen çözünen atomları yeni bir bileşik/yapı oluşturabilir ya da çözünen yerel çökeltiler oluşturabilir

Katı çözeltiler (Katı eriyikler)

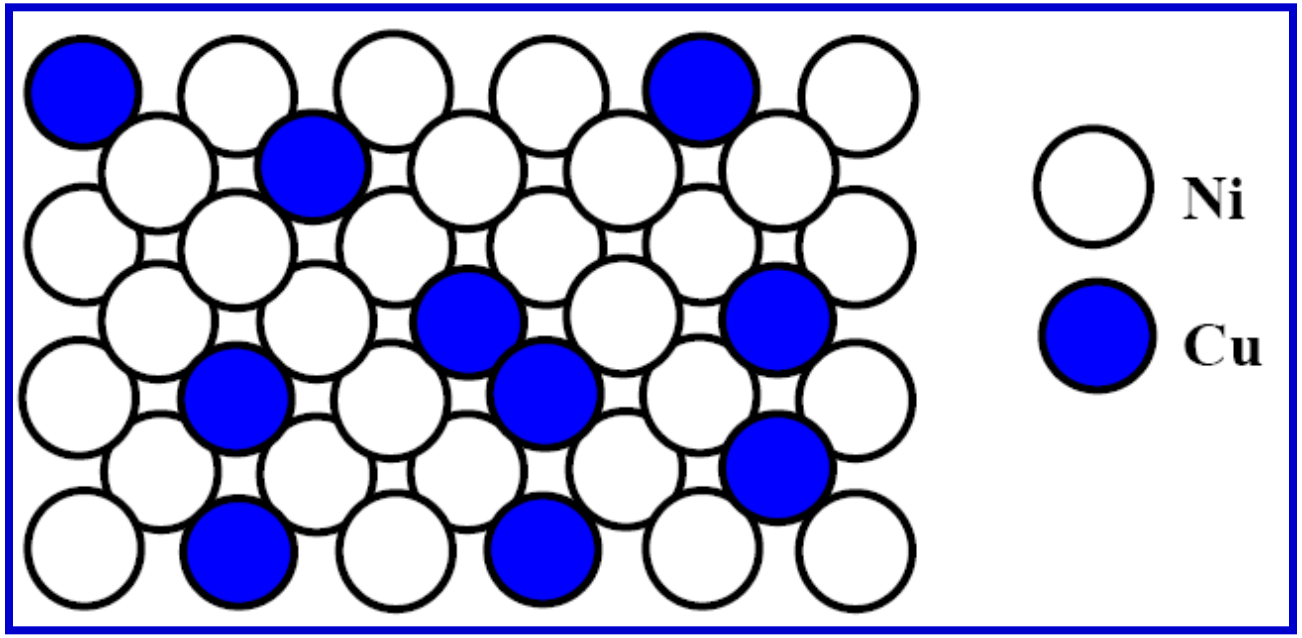


Yeralan katı çözelti



Arayer katı çözelti

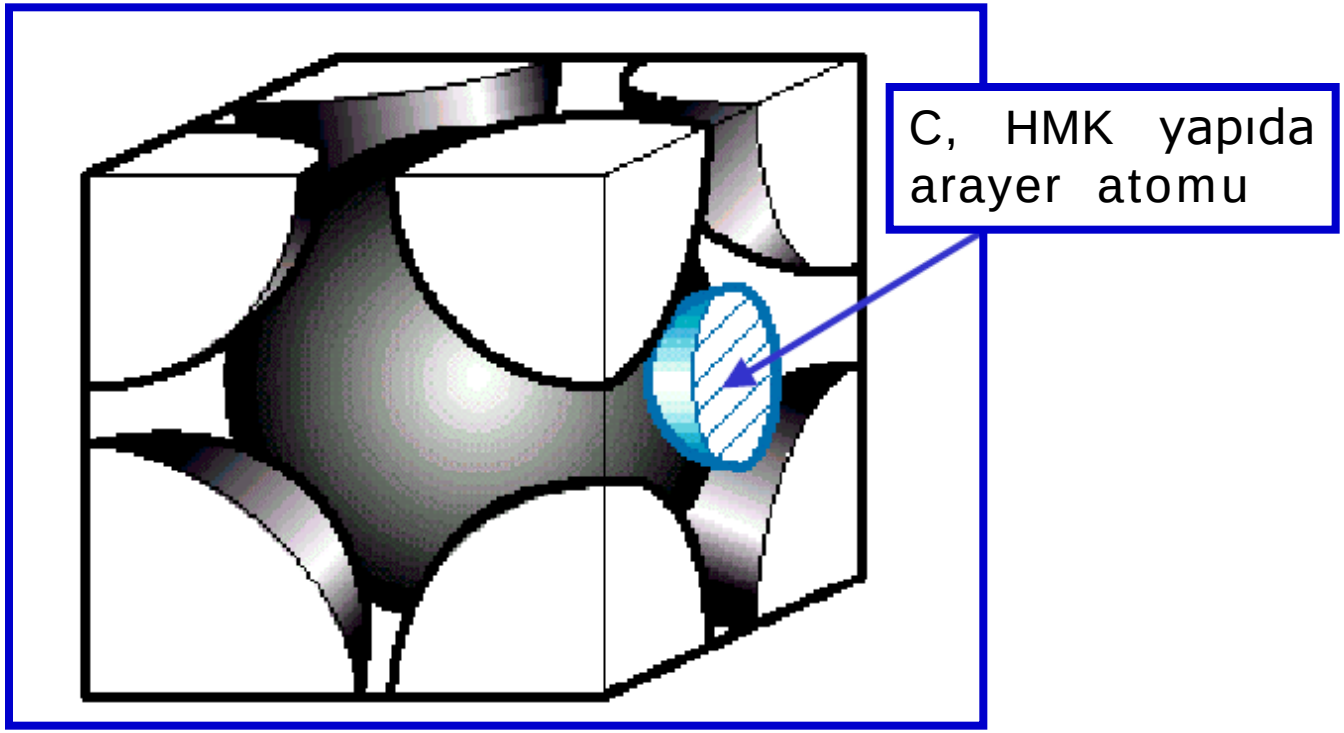
Yer Alan Katı Çözelti



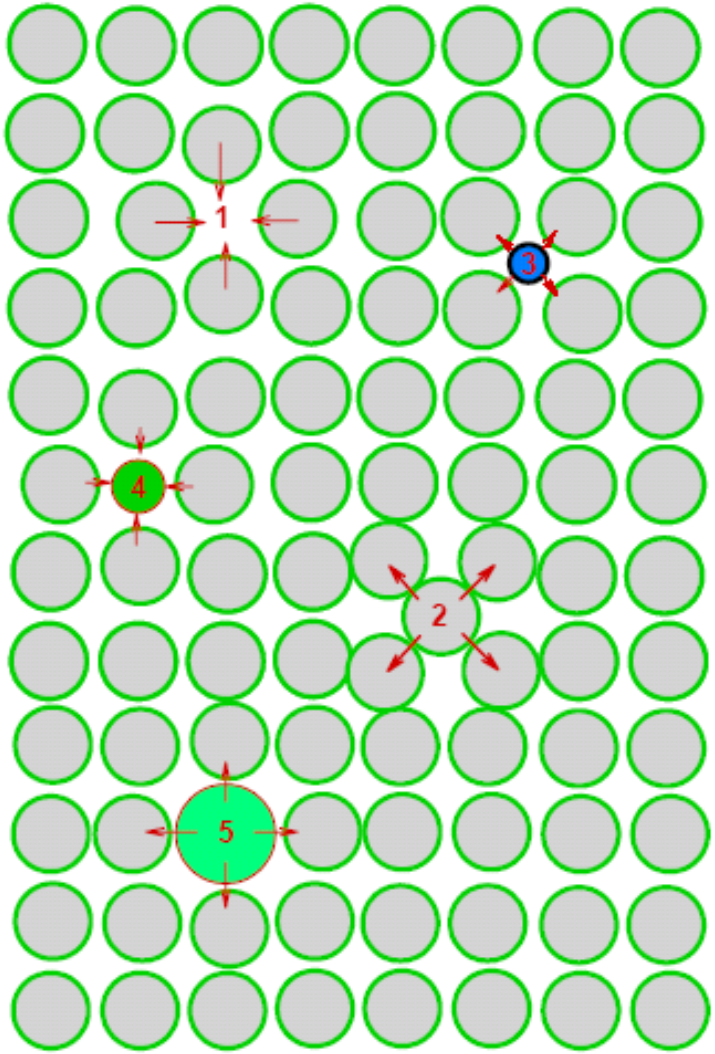
Yüksek oranda çözünürlük için (HUME-ROTHERY kuralı);

- Atomik boyut faktörü: Çözen ve çözünen atom çapları arasındaki fark ~ 15%
- Çözen ve çözünen atomlar aynı kristal yapısına sahip
- Çözen ve çözünen elektronegativiteleri birbirine yakın
- Valans elektronları yakın olmalıdır: Diğer faktörler sağlandığında, bir metal, değerliği kendinden daha düşük olan bir metale göre, değerliği daha fazla olanı çözmeye daha yatkındır.

Arayer Katı Çözelti

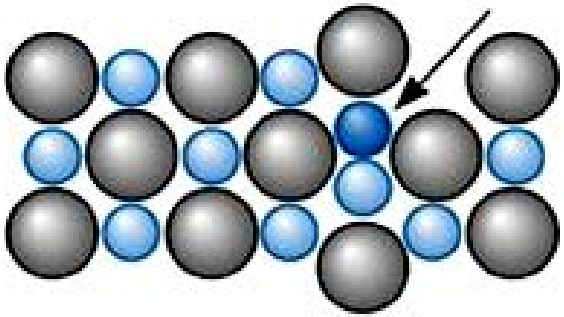


$r_{çözünen} < 0,59\ r_{çözen}$


1
3
4
2
5

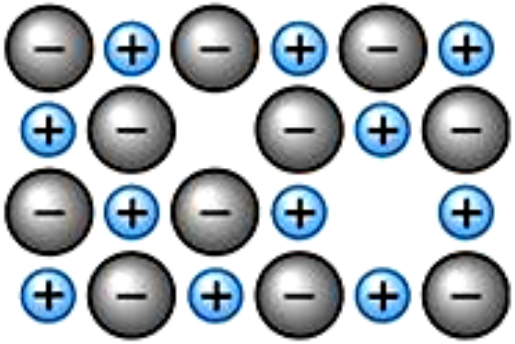
Frenkel Kusuru

Bir iyonun normal kafes konumundan bir arayer konumuna atlaması ile oluşan boş kafes noktası



Schottky kusuru

İyonik malzemelerde boş nokta çifti şeklinde meydana gelen kusurdur



İyonsal cisimlerde kararlı yapı için net elektriksel yükün sıfır olması zorunludur. Bunlarda zıt işaretli iyon çifti eksik olursa Schottky kusuru, yer değiştirmiş iyon Frenkel kusuru oluşturur.

Çizgisel kusurlar (bir boyutlu kusur): Dislokasyonlar

Atomik dizilimin bir çizgi boyunca bozulması ile oluşan kusurlardır.

Dislokasyonlar genellikle

- Katılaşma sürecinde oluşur ve
- Plastik şekil verme (plastik deformasyon) sırasında sayıları artar

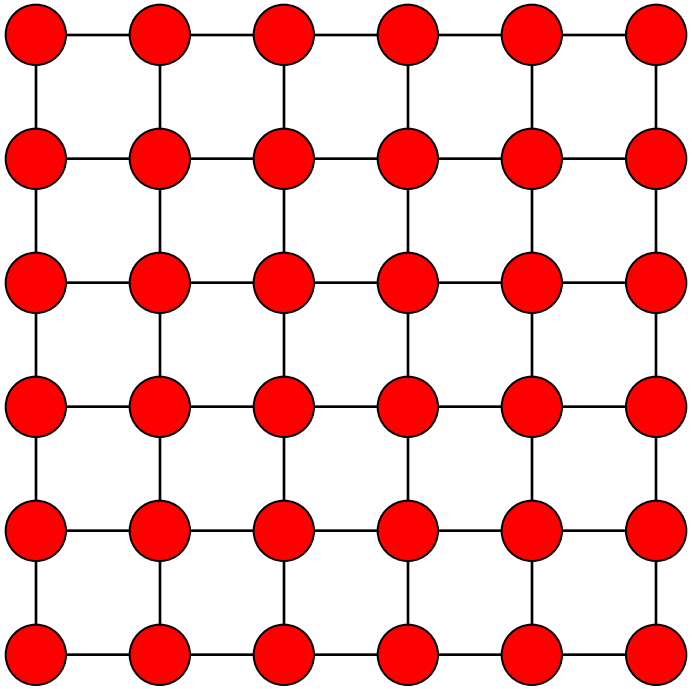
İki tür dislokasyon vardır:

- Kenar dislokasyonu
- Vida dislokasyonu

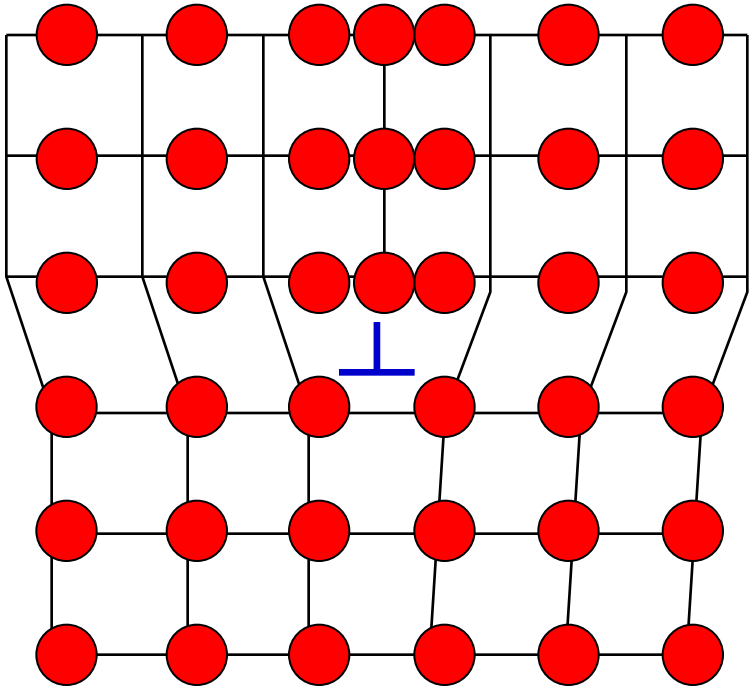
Kenar dislokasyonu

Mükemmel bir kristale yarım atom düzlemi ilavesi ya da kısmen eksik bir atom düzleminin bulunması ile oluşur.

Mükemmel kristal



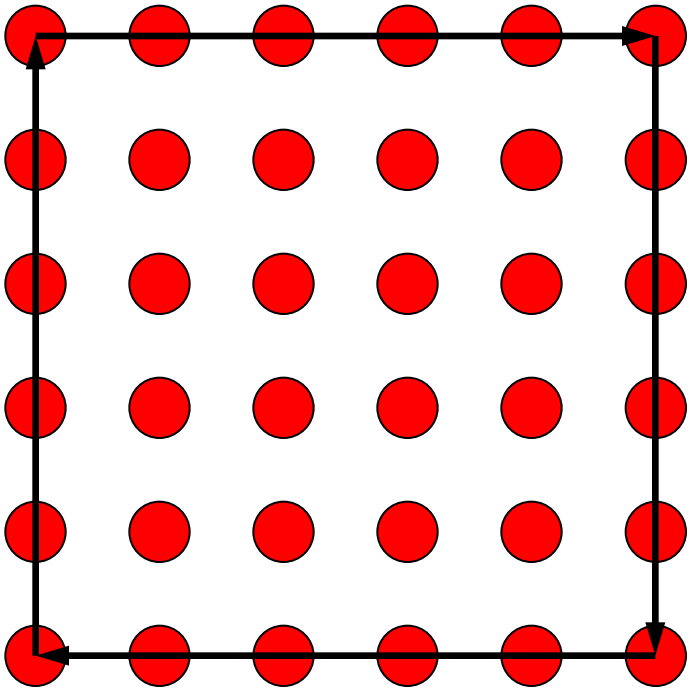
Kenar dislokasyonlu kristal



Bir dislokasyonun oluşturduğu kusurun büyüklüğü ve yönü Burgers çevrimi uygulanarak saptanır

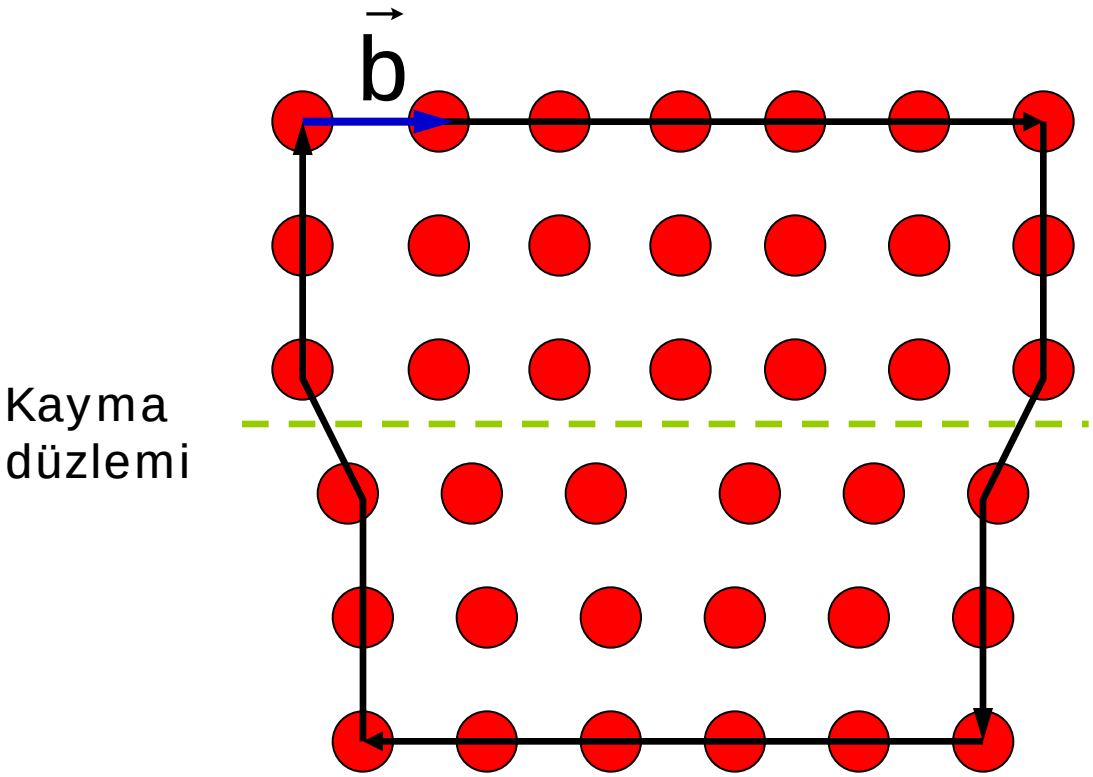
Mükemmel kristalde paralel yönlerde eşit aralıklarla ilerlenince çevrim kapanır.

Mükemmel kristal



Kenar dislokasyonlu kristal

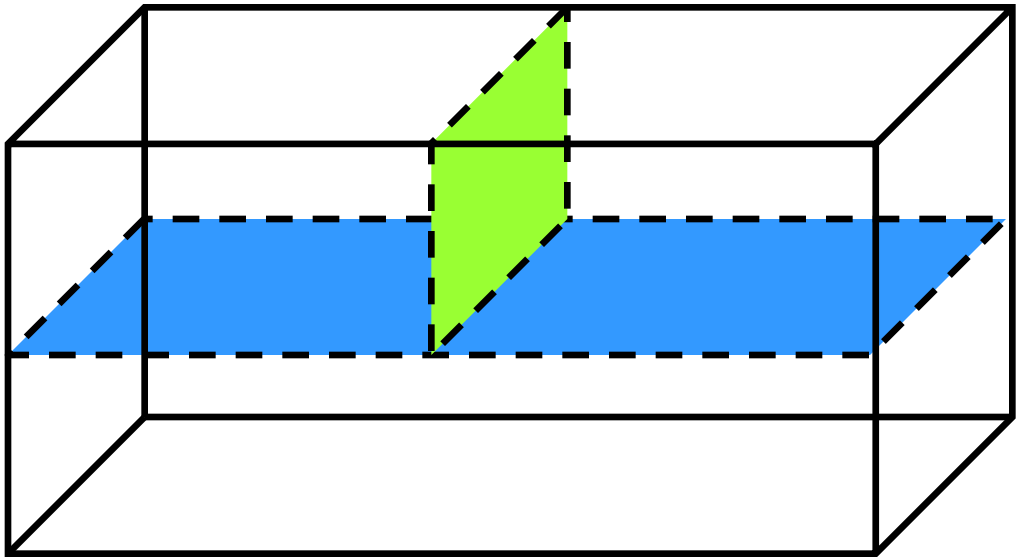
Kristal kusur içeriyorsa çevrim kapanmaz, b kadar fazlalık kalır ve Burgers vektörü olarak adandırılır ($\vec{b}$), Burgers vektörü dislokasyonun hareket doğrultusunu ve miktarını gösterir. Burgers vektörünün boyutu atomlararası uzaklık kadardır

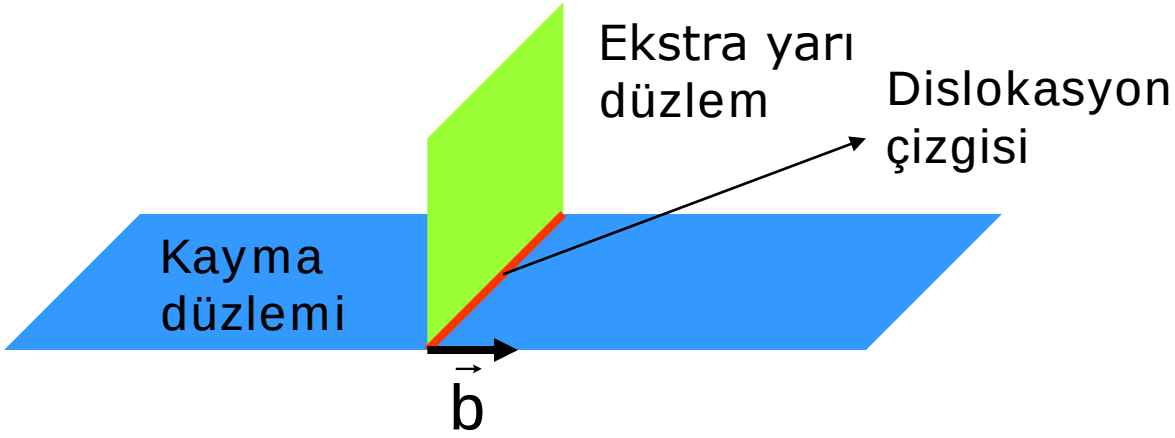


$$\vec{b} = \frac{a}{n}\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}$$

a= Kafes parametresi

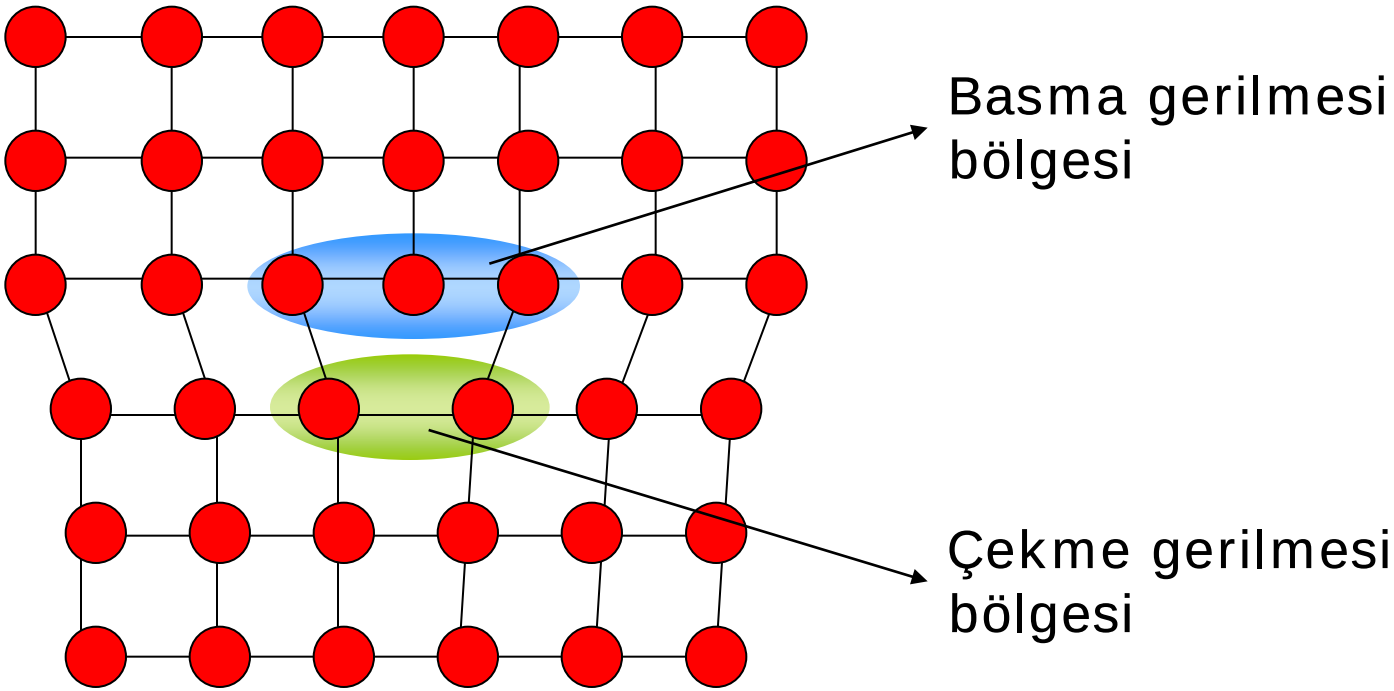
n= ilgili yöndeki atom sayısı





Fazlalık ya da eksik atom düzleminin kenarı dislokasyon çizgisi olarak adlandırılır t ile gösterilir ve kenar dislokasyonda Burgers vektörü dislokasyon çizgisine diktir ve bu nedenle kenar dislokasyonu

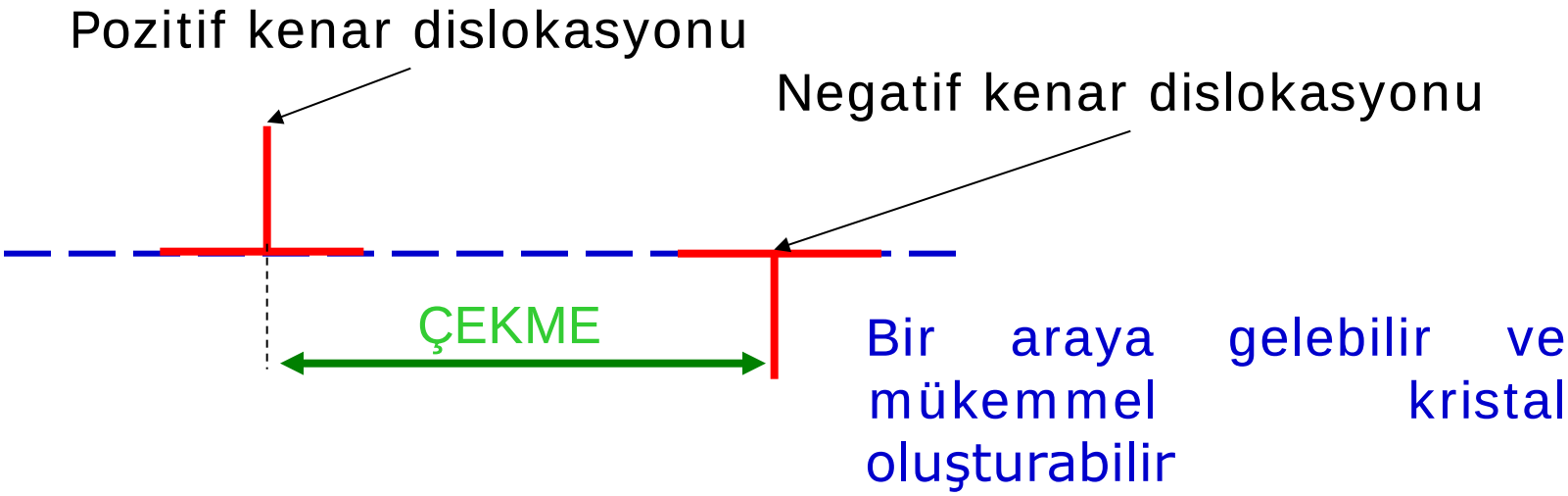
$\perp$ işareti ile gösterilir

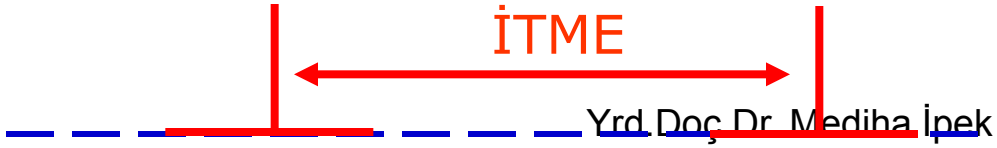

Basma gerilmesi bölgesi
Çekme gerilmesi bölgesi

Kenar dislokasyonda;

Yarım atom tabakasının kristale üstten eklenmesi ile oluşan dislokasyona pozitif kenar dislokasyonu, ⊥ simgesi ile

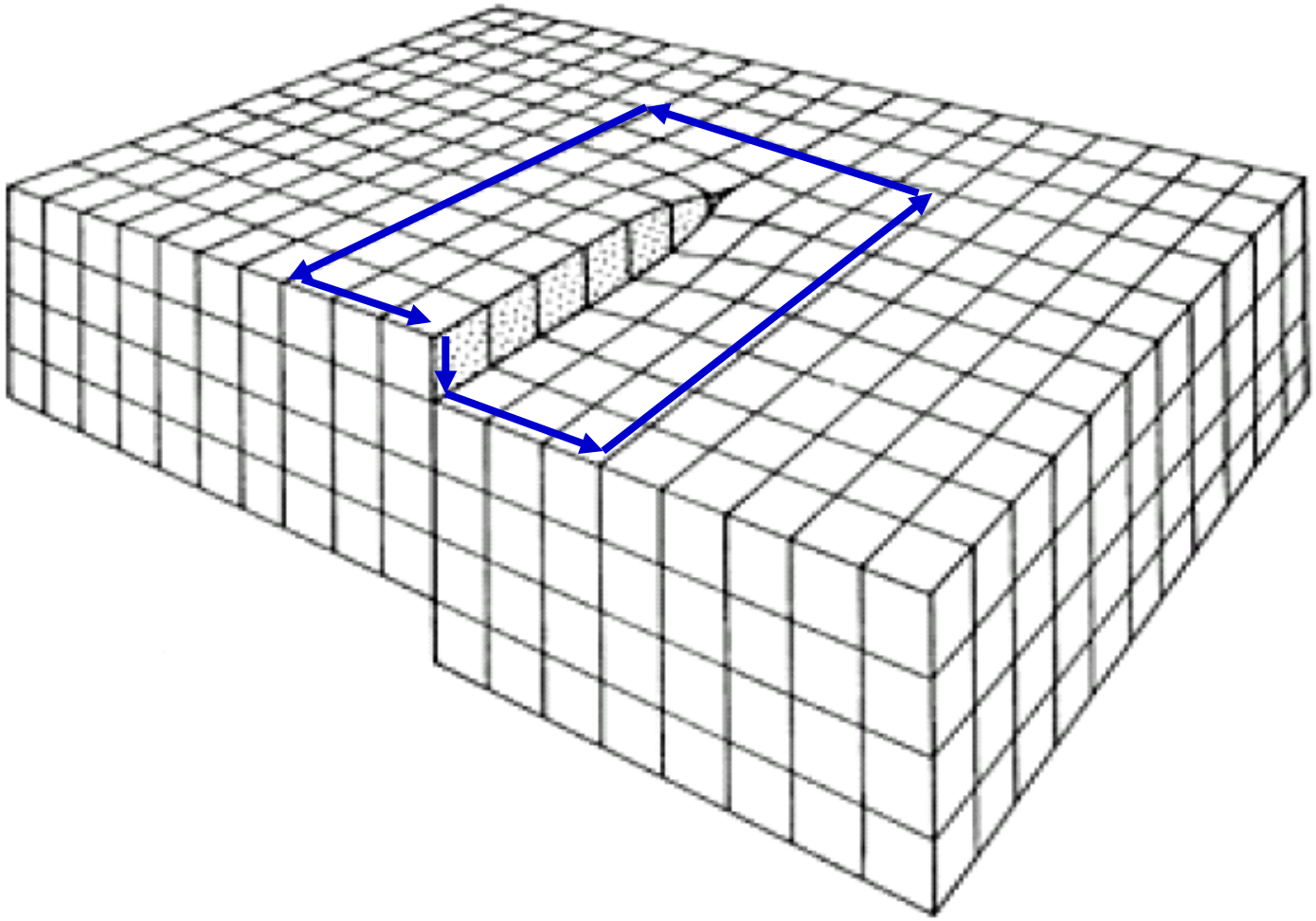
Alttan eklenmesi ile oluşan dislokasyona negatif kenar dislokasyonu denir ve ⊤ simgesi ile gösterilir





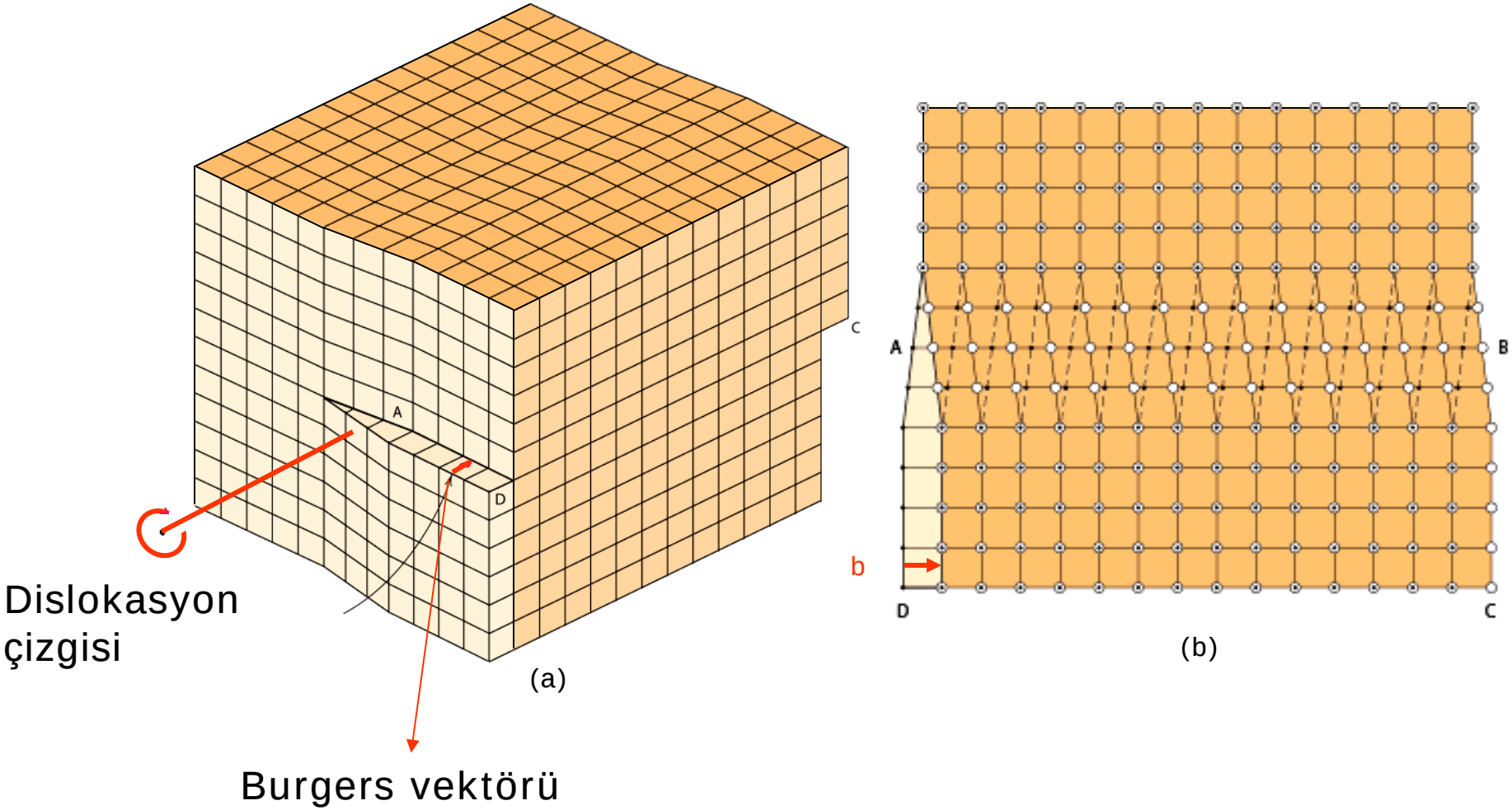
Vida dislokasyonlu kristal

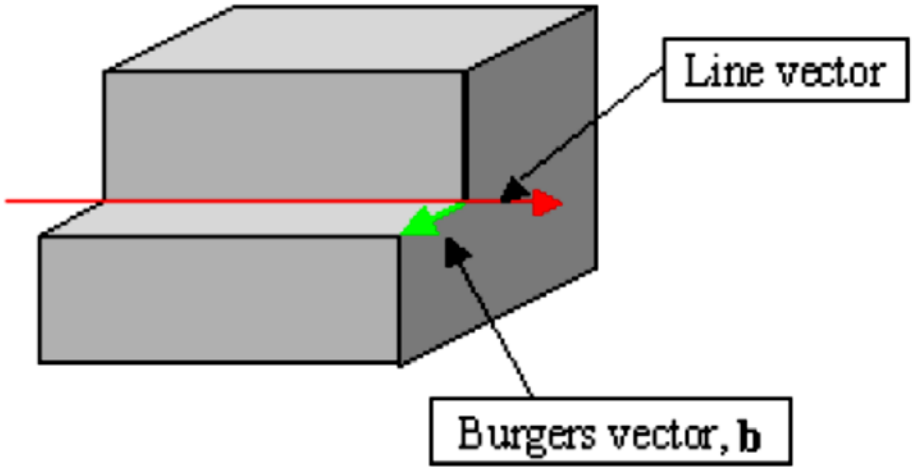
Hatasız kristali yarısına kadar kesmek ve sonra atomlararası uzaklık kadar eğmekle tanımlanabilir.



Vida dislokasyonlu kristal

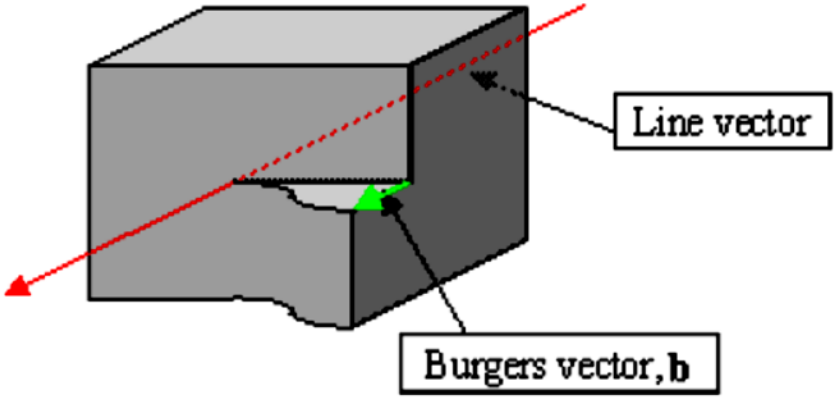
Vida dislokasyonunda ötelenme dislokasyon çizgisine paraleldir yani Burgers vektörü dislokasyon çizgisine paraleledir.



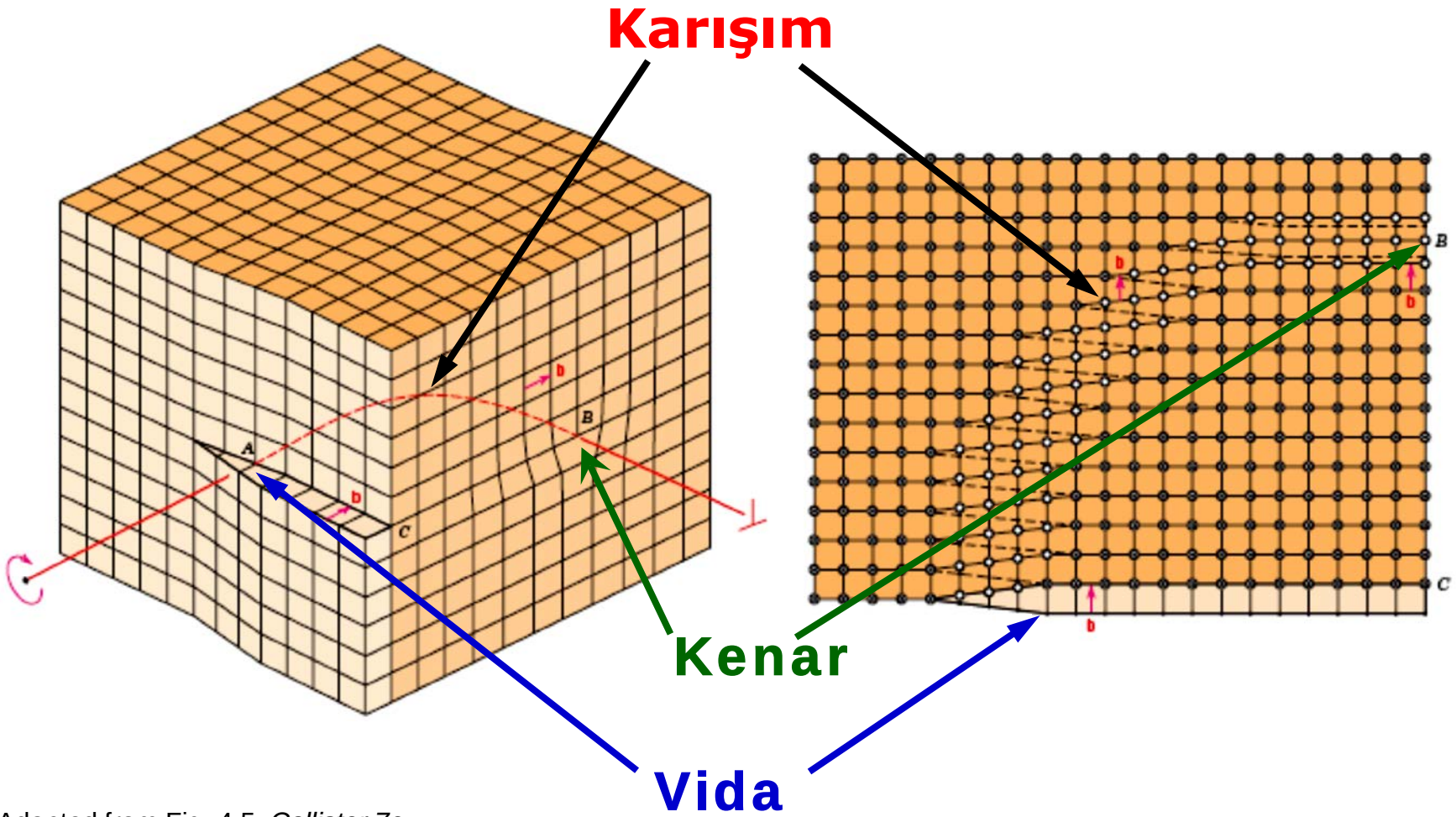


Burgers vektörü kenar dislokasyonuna diktir.

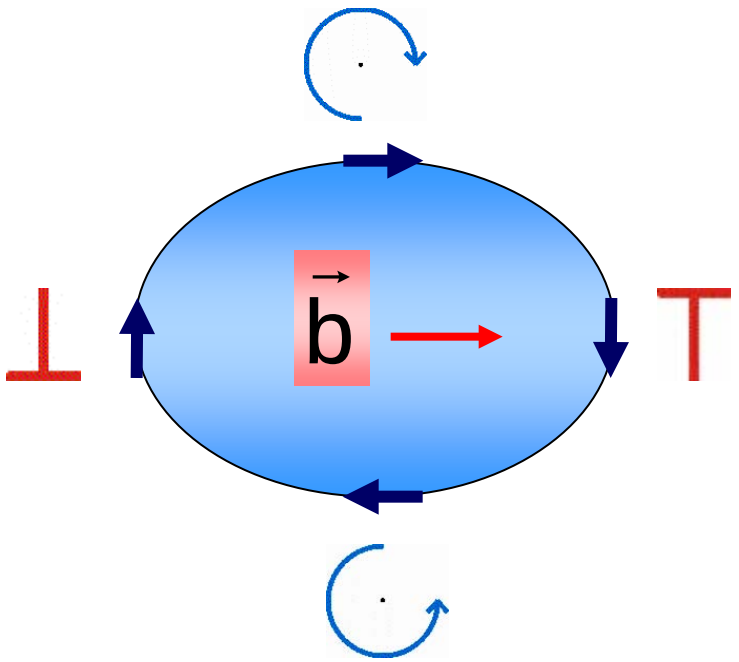
Burgers vektörü, vida dislokasyonuna paraleldir.



Karışık dislokasyonlar



Adapted from Fig. 4.5, *Callister 7e.*



Burgers vektörü ile dislokasyon çizgisi arasındaki açı, θ

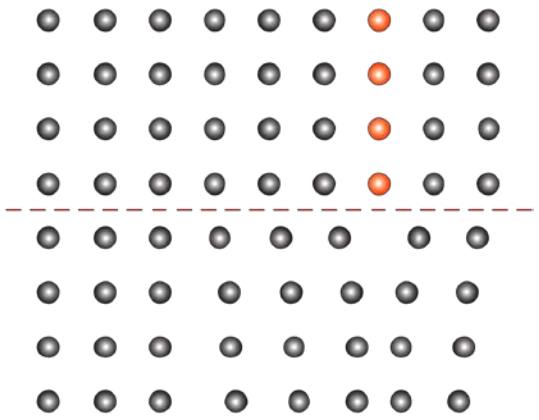
$\theta = 0°$ ise vida dislokasyonu,

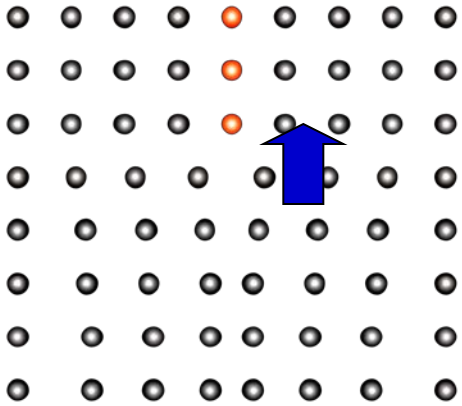
$\theta = 90°$ ise kenar dislokasyonu

$0° < \theta > 90°$ ise karışık dislokasyon

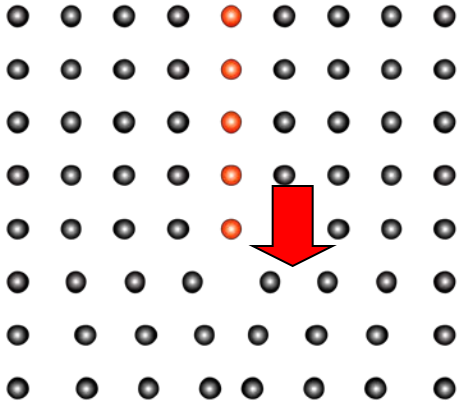
Yüksek sıcaklık kenar dislokasyonlarda tırmanma (climb), vida dislokasyonlarda ise çapraz kayma (cross-slip) hareketine neden olabilir.

Kenar dislokasyonda tırmanma hareketi



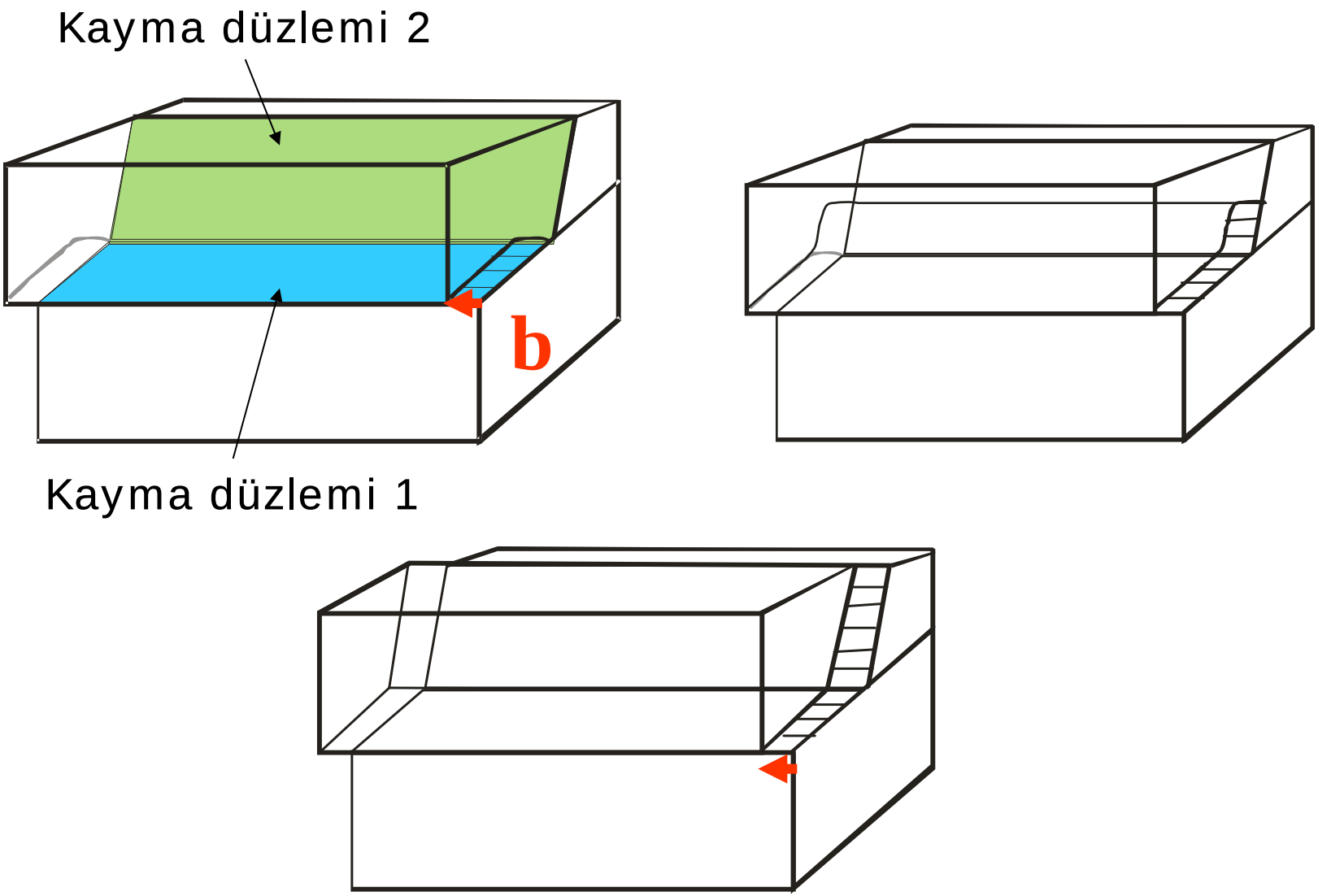


Pozitif tırmanma



Negatif tırmanma

Vida dislokasyonda çapraz kayma



Dislokasyon mavi düzlemden yeşil düzleme çapraz kayma gösterir

Plastik deformasyon mekanizmaları

Metalik malzemelerin plastik deformasyonu en genel olarak belirli düzlem ve doğrultularda atomların kayması ile gerçekleşir. Kaymanın kolaylıkla olamadığı durumlarda ise deformasyona ikizlenme katkıda bulunabilir. Yüksek sıcaklıklarda ve düşük deformasyon hızlarında çok kristalli malzemelerin deformasyonu ise tane sınırlarının kayması veya atomların yayınma ile yer değiştirmesi yani yayınma sürünmesi mekanizmaları ile olur.

Metalik malzemelerin deformasyon mekanizmaları

- Kayma
- İkizlenme
- Tane sınırlarının kayması
- Yayınma sürünmesi

Kayma

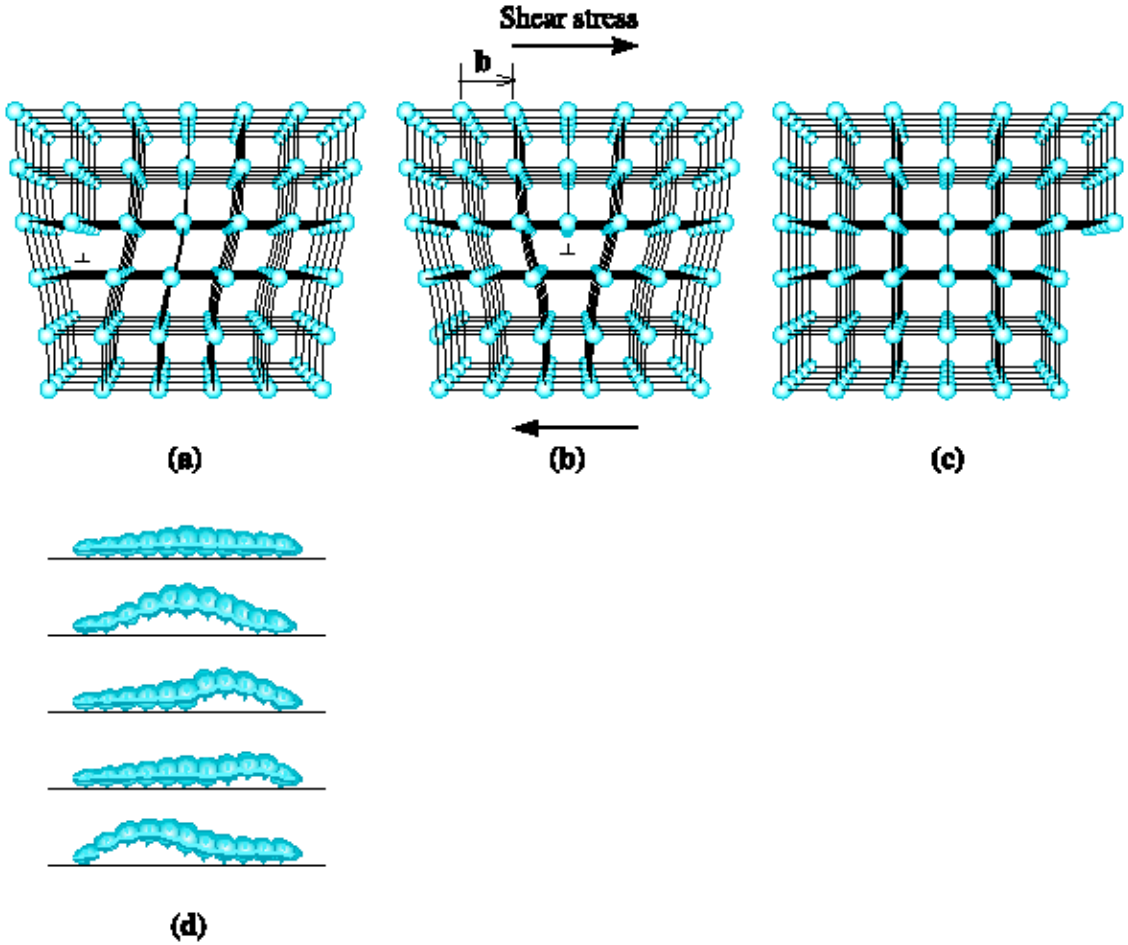
Dislokasyon hareketi ile şekil değişimini sağlayan işlem kayma olarak adlandırılır.

Kristal yapıdaki malzemelerde en önemli deformasyon mekanizması olan kayma atom düzlemlerinden birinin komşu atom düzlemleri üzerinde kayması ile gerçekleşir

Kayma; belirli kristallografik düzlemlerde ve belirli kristallografik yönlerde dislokasyonların hareketi ile olur.

Kayma atom yoğunluğu en fazla olan düzlemlerde (kayma düzlemi) ve kayma düzlemi üzerinde atomların en sık bulundukları yönlerde (kayma yönü) dislokasyonların hareketi ile meydana gelir.

Kayma doğrultusu ve kayma düzleminin bütününe **kayma sistemi** denir.

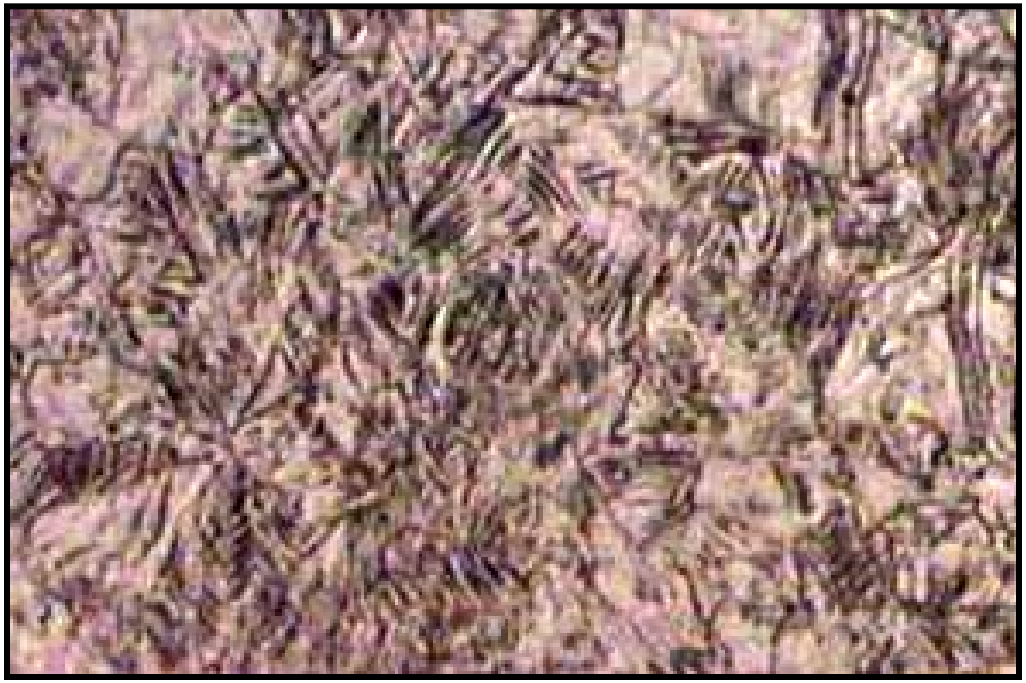


(a) Dislokasyona kayma gerilmesi uygulandığında (b) atomlar yer değiştirir bu dislokasyonun kayma yönünde bir Burgers vektörü kadar hareket etmesi ile olur. (c) Dislokasyonun devamlı hareketinin sonunda bir basamak oluşur ve kristal deforme olur (d) Tırtıl hareketi dislokasyon hareketine benzetilebilir.

Kayma çizgileri–Metalik malzeme yüzeyinde binlerce dislokasyon tarafından üretilen görülebilir çizgilerdir.

Titanyum alaşımında dislokasyonların geçirimli elektron mikroskobu görüntüsü, 51.450X

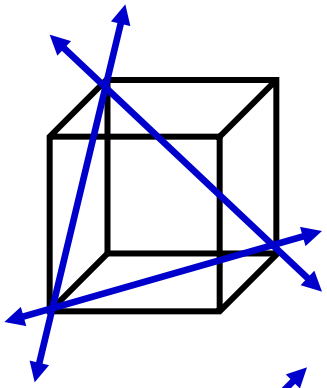
Kayma bantları–Birçok kayma çizgisinin toplamıdır ve kolaylıkla görülebilir.

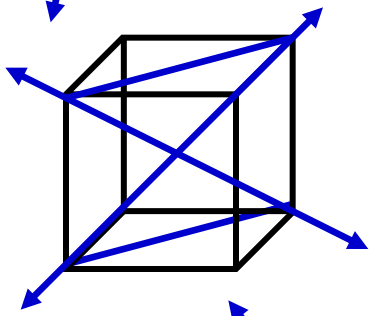


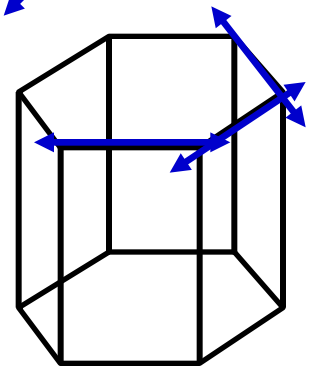
Ostenitik paslanmaz çelikte kayma bantlarının optik mikroskop görüntüsü, 200X

Çeşitli kristal yapıları için kayma sistemleri

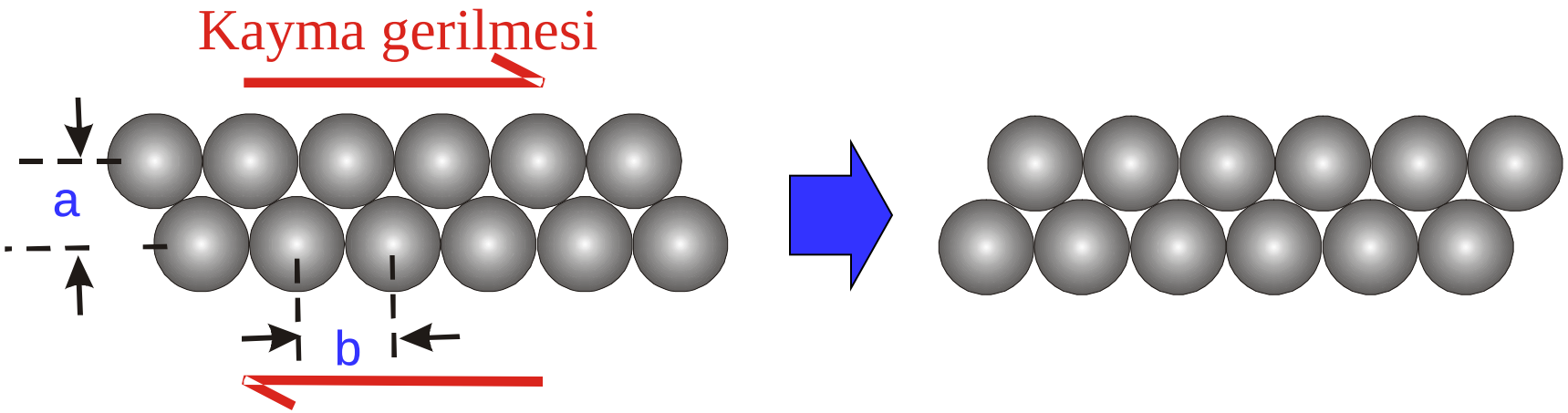
Kristal yapı	Kayma düzlemi	Kayma yönü	Kayma sistemi sayısı
YMK	$\{111\}$	$\langle 1\bar{1}0 \rangle$	$8 \times 6 = 48$
HMK	$\{110\}$	$\langle \bar{1}11 \rangle$	$6 \times 4 = 24$
HSP	$\{0001\}$	$\langle 11\bar{2}0 \rangle$	$1 \times 6 = 6$

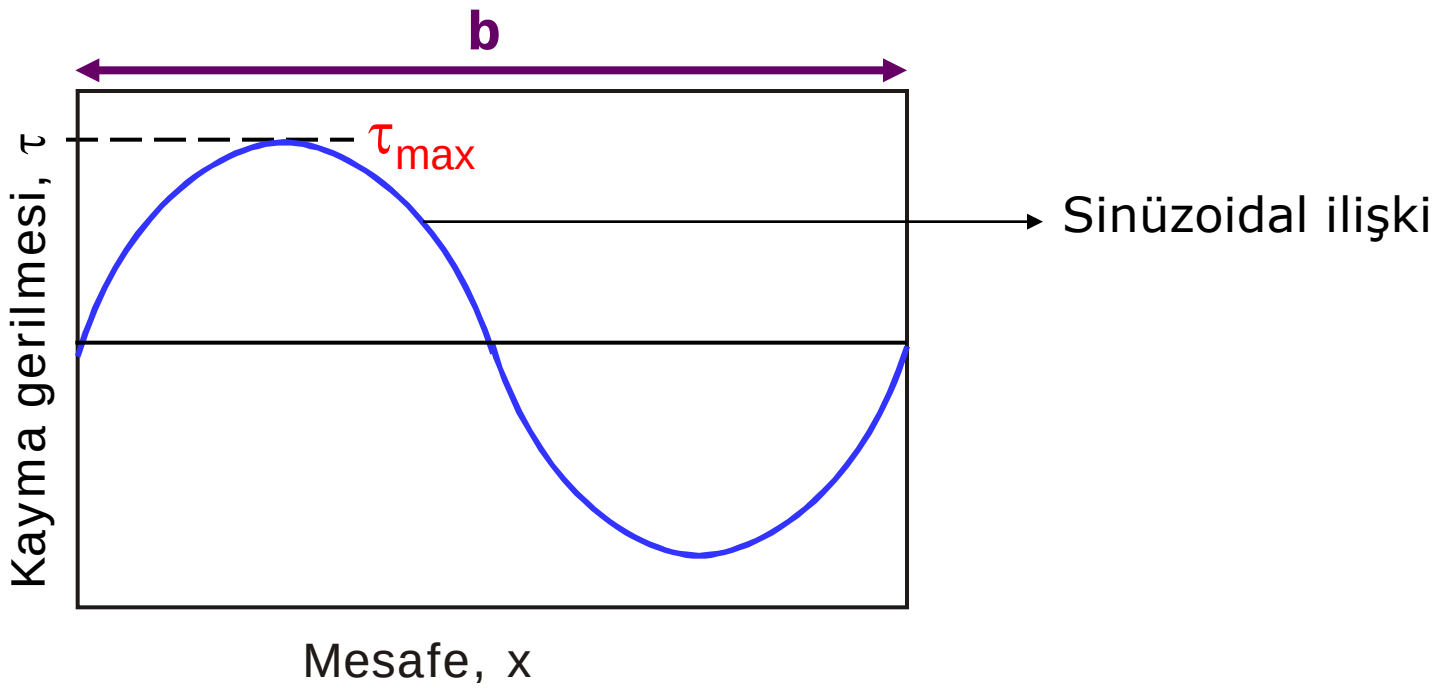






Kayma ile oluşan plastik deformasyon





Gerilme-şekil değişimi eğrisinden →

$$\tau = \tau_m Sin\left(\frac{2\pi x}{b}\right)$$

Hooke kanununa göre →

G= Kayma modülü

γ= Kayma şekil değişimi

$$\tau = G\gamma = G\frac{x}{a}$$

x/b'nin küçük değerleri için →

$$\tau = \tau_m\left(\frac{2\pi x}{b}\right)$$

Maksimum kayma gerilmesi →

$$\tau_m = \frac{G}{2\pi}\frac{b}{a}$$

Eğer b ~ a →

$$\tau_m = \frac{G}{2\pi}$$

Metallerin kayma modülü 20 – 150 GPa aralığındadır

$$\tau_m = \frac{G}{2\pi}$$

Buna göre teorik kayma gerilmesi 3 – 30 **G**Pa olacaktır

- Gerçek kayma gerilmesi ise $G/10^3$-10^5 (0.5 – 10 **M**Pa)
- Yani $(\text{Kayma gerilmesi})_{\text{teorik}} > 100 \times (\text{Kayma gerilmesi})_{\text{deneysel}}$

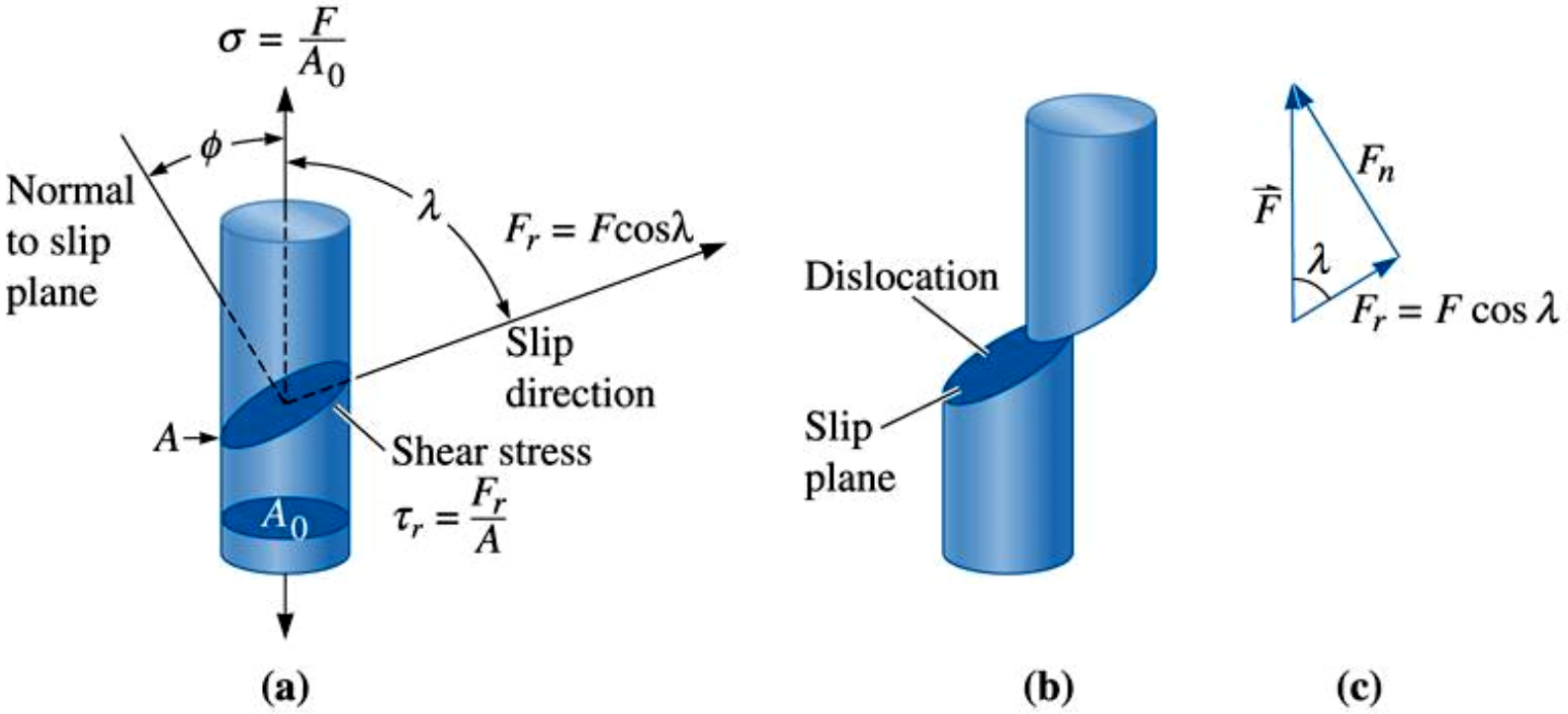
DİSLOKASYONLAR

Schmid kanunu

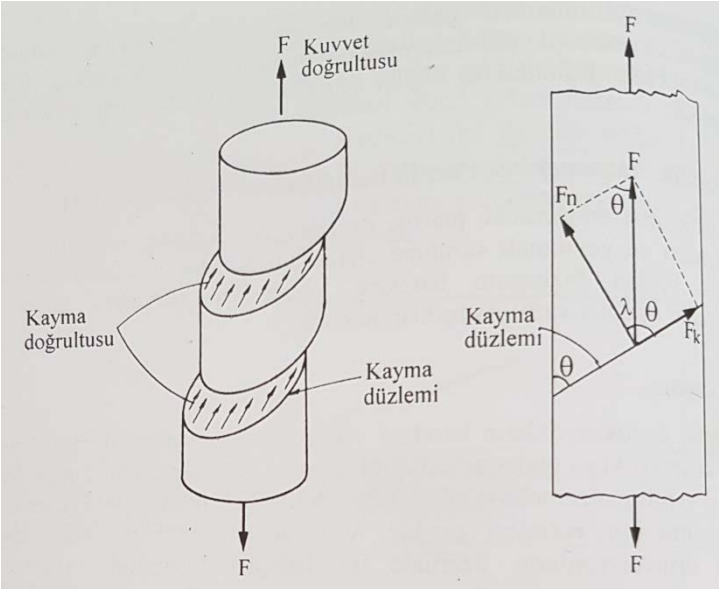
Bir atom düzlemi üzerinde kayma için gereken kayma gerilmesine kritik kayma gerilmesi, τ_{kritik}, denir.

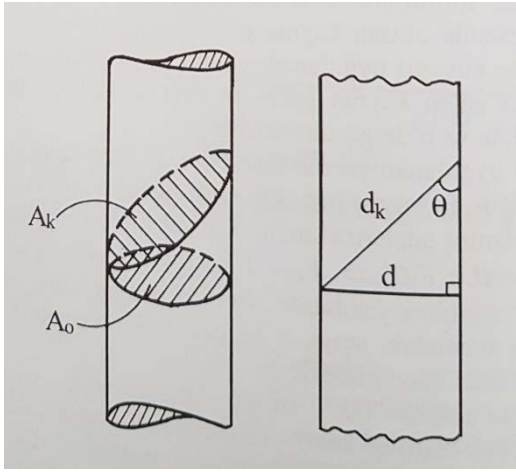
Deformasyon için kristale uygulanan kuvvetin meydana getirdiği gerilmelerin kayma düzlemine dik doğrultudaki bileşkeni kaymayı etkilemez. Kayma ancak kayma düzlemi üzerindeki kayma gerilmesinin kayma doğrultusundaki bileşkeni ile gerçekleşir.

$$\tau = \sigma \cos \lambda \cos \phi$$



a) Kayma sisteminde üretilen kayma gerilmesinin çözümü, b) kayma sisteminde hareket eden dislokasyonlar malzemeyi deformasyona uğratır, c) kuvvetin çözümü





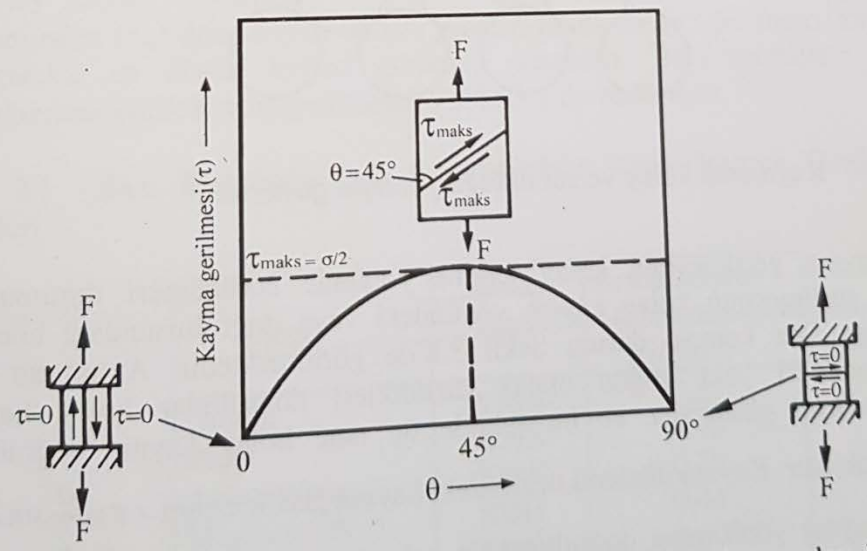
Söz konusu numunede oluşan normal gerilme $\sigma = F/A_0$ formülü ile belirlendiğine göre kayma gerilmesi,

$$\tau = \frac{F_k}{A_k} = \frac{F.\cos\theta}{A_0/\cos\lambda} = \frac{F}{A_0}\cos\theta.\cos\lambda = \underline{\sigma\cos\theta.\cos\lambda}$$

olarak bulunur ve bu bağıntı Schmid kanunu olarak bilinir. Burada cosλ yerine sinθ yazılarak;

$$\tau = \frac{F_k}{A_k} = \frac{F.\cos\theta}{A_0/\sin\theta} = \frac{F}{A_0}\cos\theta.\sin\theta = \frac{\sigma}{2}\sin 2\theta$$

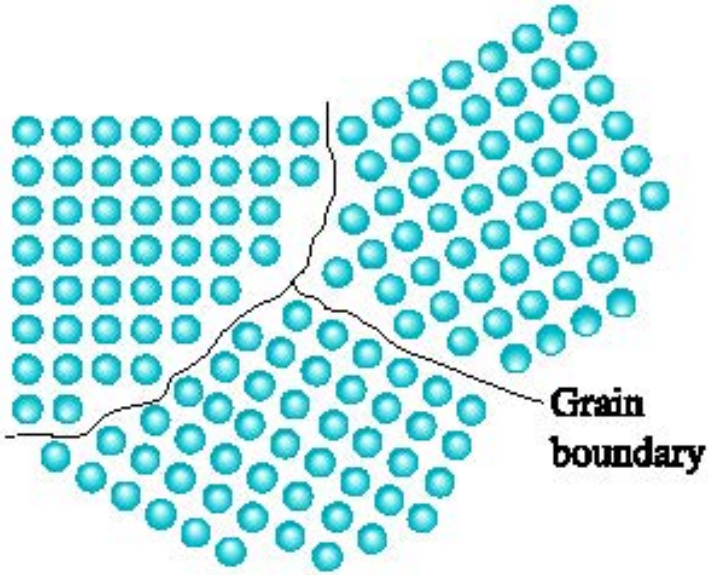
bağıntısı elde edilir. Bu bağıntıya göre; $\theta = 0°$ ise $\tau = 0$, $\theta = 45°$ ise $\tau = \sigma/2$ ve $\theta = 90°$ ise $\tau = 0$ olur. Kayma gerilmesinin (τ), θ açısına göre değişimini gösteren eğri Şekil 3.6'da verilmiştir. Bu eğri çekme kuvvetinin kayma düzlemine paralel veya dik etkimesi durumunda kayma gerilmesinin oluşmadığını veya sıfır olduğunu, 45 derecelik açı ile etkimesi durumunda ise kayma gerilmesinin en yüksek değerine ulaştığını göstermektedir. Bir başka deyişle kayma düzleminin uygulanan gerilme doğrultusuna paralel ya da dik olması durumunda kayma olayı gerçekleşmez. Bu durumda malzeme ya ikizlenme mekanizması ile şekil değişimine uğrar ya da kırılır.



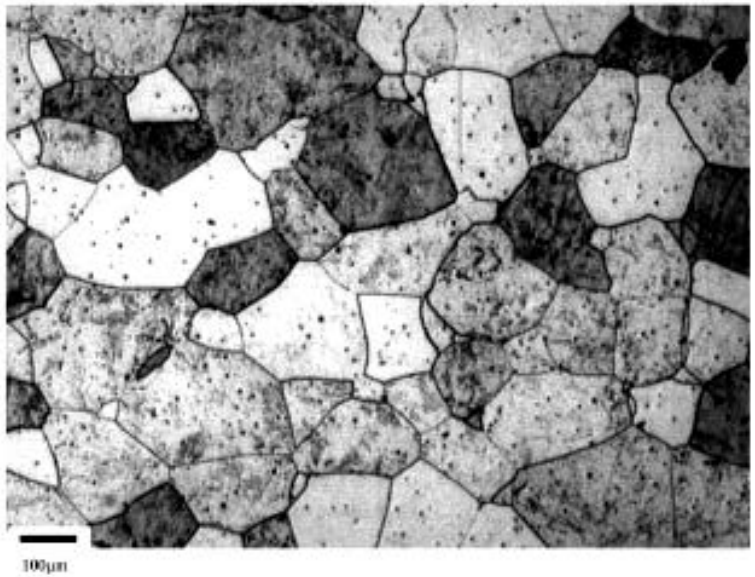
Yüzeysel kusurlar (iki boyutlu kusurlar)

- Tane sınırları
- İstiflenme kusurları
- İkiz sınırları

Tane Sınırları



(a)



(b)

(a) Atomlar üç tanenin sınırlarına yakın eşit aralıklı veya düzende değildir. (b) Paslanmaz çelikte taneler ve tane sınırları

Tane sınırları; taneleri ya da kristalleri birbirinden ayıran sınırlardır.

Taneler arasındaki yönlenmeye bağlı olarak

- küçük açılı ve
- büyük açılı olmak üzere iki çeşit tane sınırı tanımlanabilir

İki tane arasındaki açı, θ;

$\theta < 10°$ ise küçük ya da dar açılı

$\theta > 10°$ ise büyük ya da geniş açılı tane sınırı

Küçük Açılı Tane Sınırları

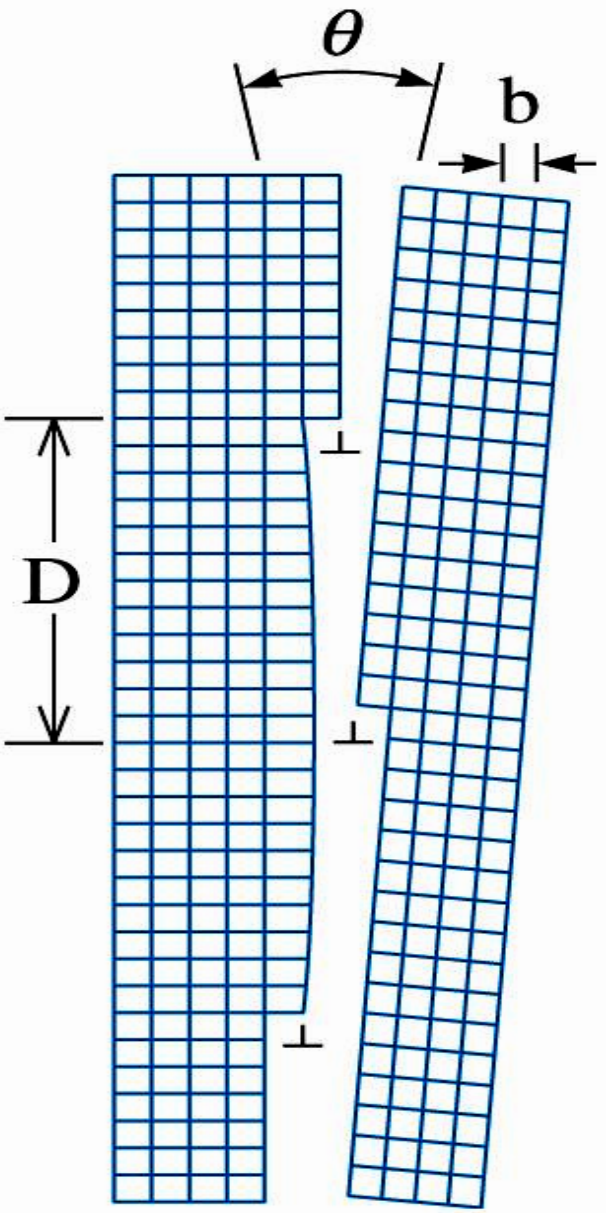
Dislokasyonların bitişik taneler arasında küçük bir yönlenme bozukluğu oluşturduğu bir dislokasyon sırasıdır.

Kenar dislokasyonları tarafından oluşturulan küçük açılı tane sınırları eğme sınırı,

Vida dislokasyonun neden olduğu sınırlar ise büküm sınırı olarak adlandırılır

Küçük açılı tane sınırı bir grup dislokasyon tarafından oluşturulur. Diğer taraftaki latisten θ kadar açı oluşturarak ayrılır.

$$D = b / \cos\theta$$



(c) 2003 Brooks/Cole Publishing / Thomson Learning

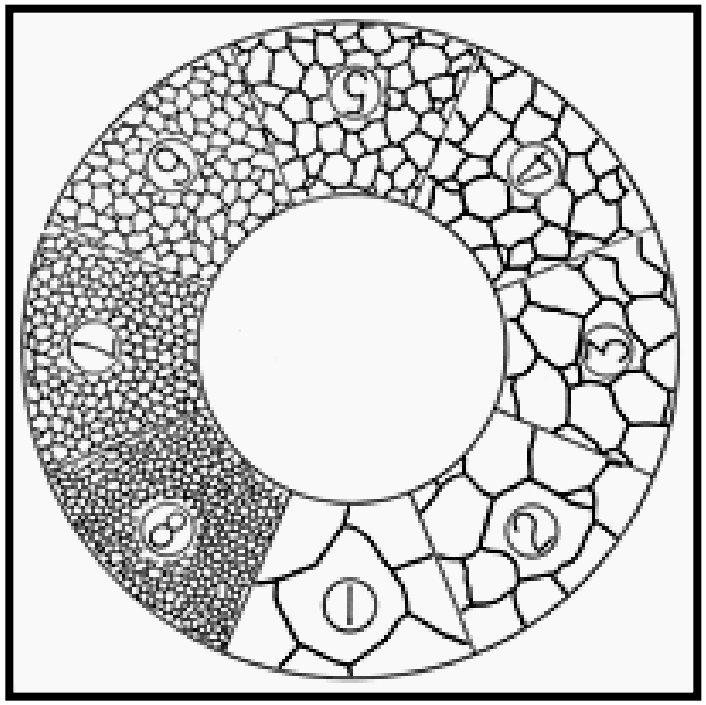
ASTM (American Society for Testing and Materials) tane boyut numarası

$$N = 2^{n-1}$$

N = 100 büyütmede inç^2'deki tane sayısı

n = ASTM boyut numarası

Standart kart ASTM tane numarası



PROBLEM

Farz edelim ki 1 inç karede 16 tanemiz var ve fotoğraf 250X büyütmede çekilmiş olsun. ASTM tane boyutu numarasını bulunuz?

ÇÖZÜM

250X büyütmede inç karede 16 tane sayarsak 100X'de:

$$N = (250/100)^2 (16)$$

$$N = 100 \text{ tane/inç}^2$$

$$N = 2^{n-1} \Rightarrow 100 = 2^{n-1}$$

$$\log 100 = (n - 1) \log 2$$

$$2 = (n-1)(0.301)$$

$$n = 7.64$$

Tane Sınırları

Metallerin özellikleri tane boyutu mukavemetlenmesi ile kontrol edilebilir.

Tane boyutu ↓ tane sınırı miktarı ↑

Hall-Petch Bağıntısı;

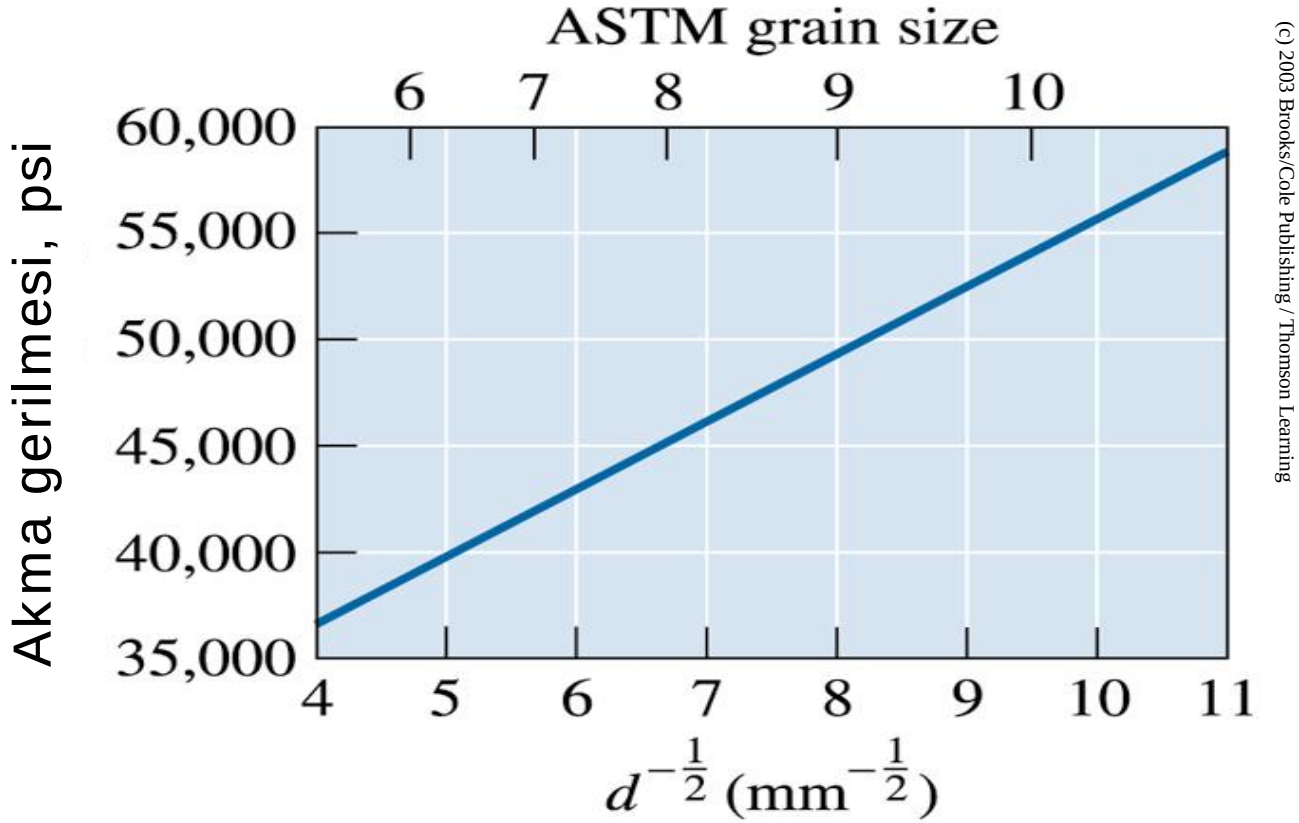
Tane boyutu ile metalin akma dayanımı arasındaki ilişkiyi ifade etmektedir.

$$\sigma_a = \sigma_0 + K\, d^{-1/2}$$

σ_a: Malzemenin kalıcı şekil değiştirdiği akma dayanımı ya da akma gerilmesi

d: Tanelerin ortalama çapı

σ_0 ve K malzeme sabitleri

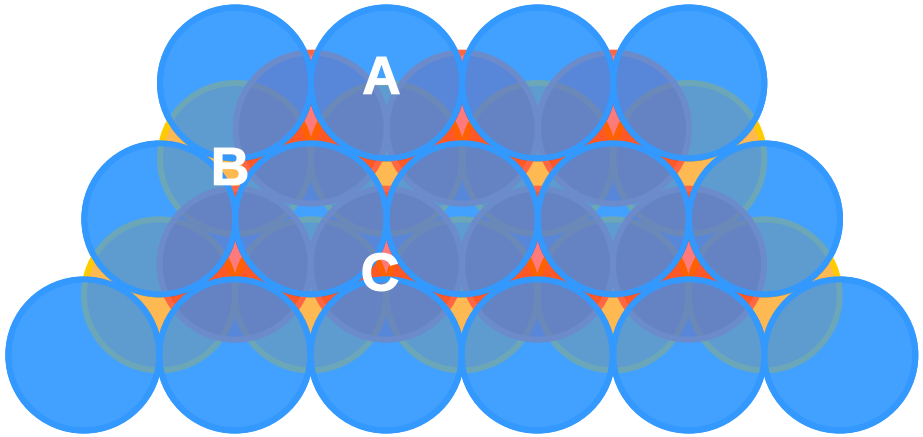


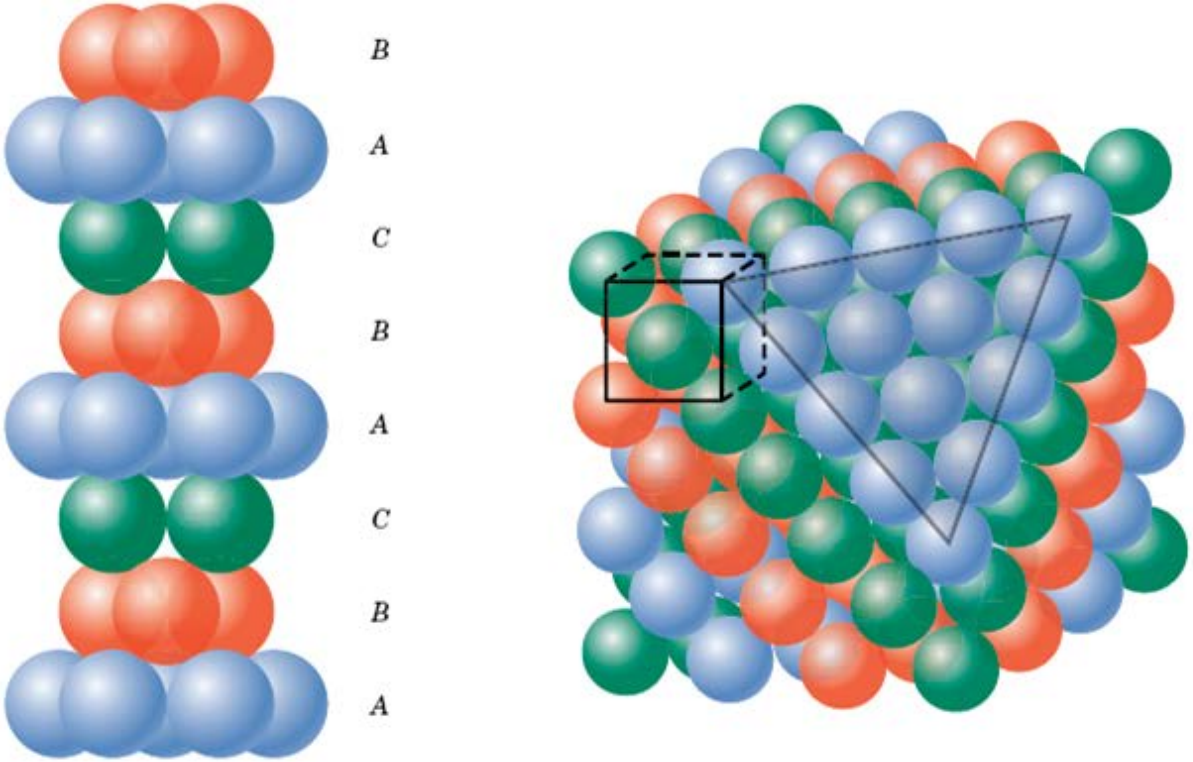
(c) 2003 Brooks/Cole Publishing / Thomson Learning

Oda sıcaklığında çeliğin akma dayanımına tane boyutunun etkisi

İstiflenme kusurları

İstif kusurları YMK metallerde olur ve sıkıpaket düzlemlerin istiflenme sırasındaki bir hatayı gösterir. Mükemmel bir YMK kafes yapısında düzlemler ABCABCABC... şeklinde sıralanır.

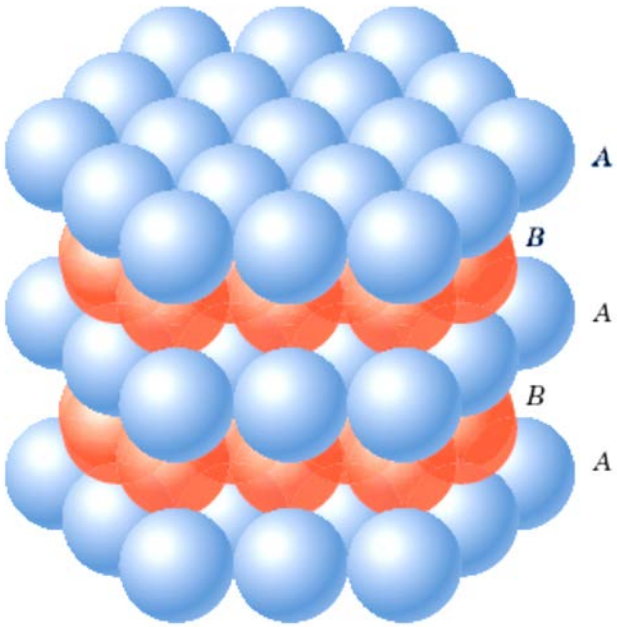


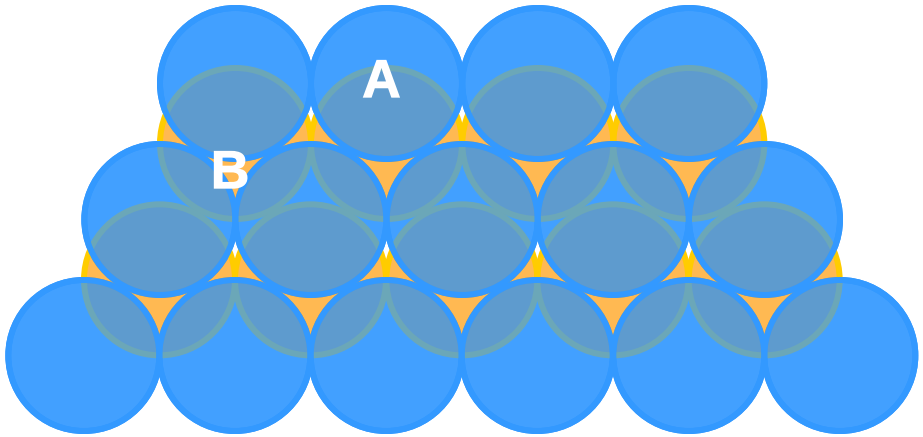


Yüzey merkezli kübik (YMK) yapıda düzlemlerin sıralanışı

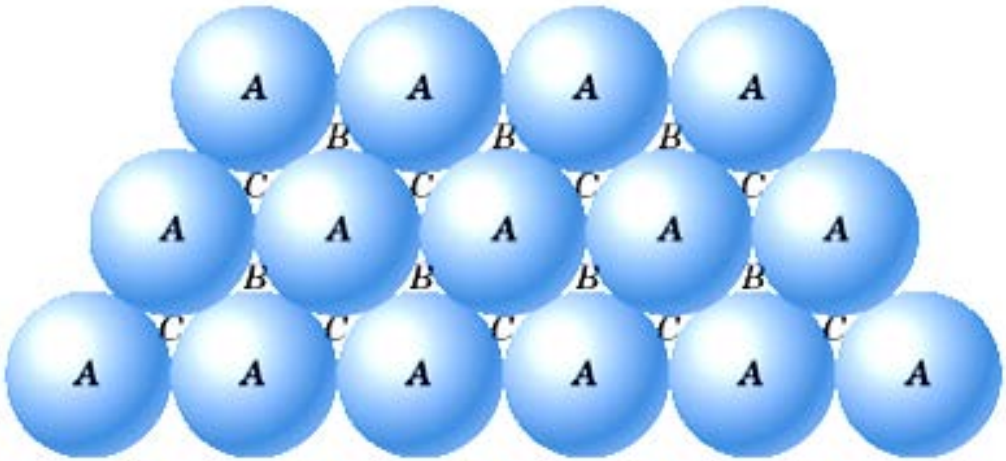
ABCABCABC …(YMK metalde hatasız istiflenme)

ABC**ABAB**, CABC (YMK metalde istif hatası) → Bu sıralanma düzeninde C düzleminin yerini A düzlemi almıştır. YMK yapıdaki istiflenme yerine HSP yapıdaki istif sırası oluşmuştur.

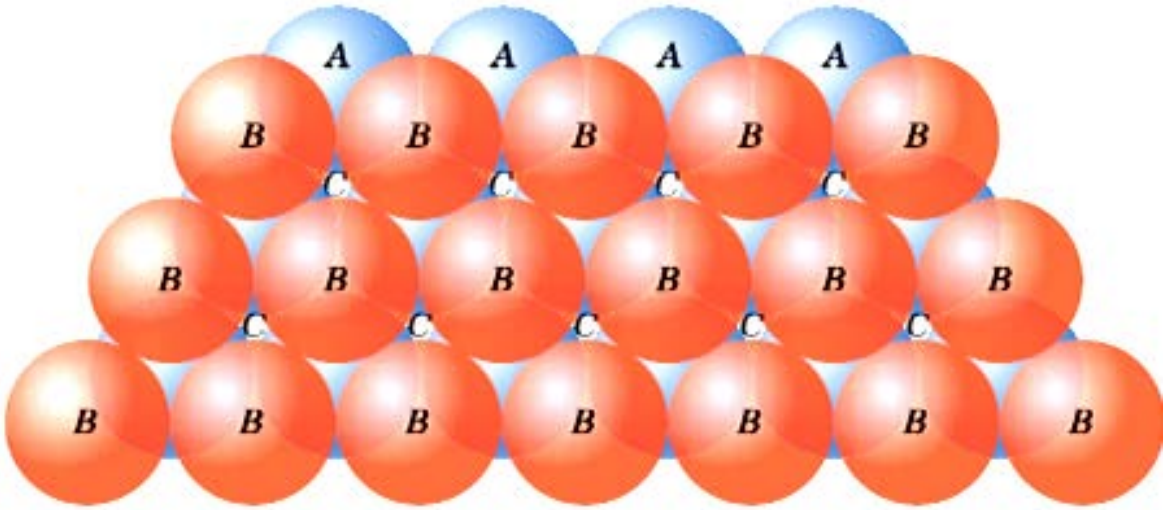




Hegzagonal sıkı paket (HSP) yapıda düzlemlerin sıralanışı


A A A A
B B B
C C C C
A A A A A
B B B B
C C C C C
A A A A A A

(a)


A A A A
B B B B B
C C C C
B B B B B B
C C C C C
B B B B B B B

İkiz sınırları

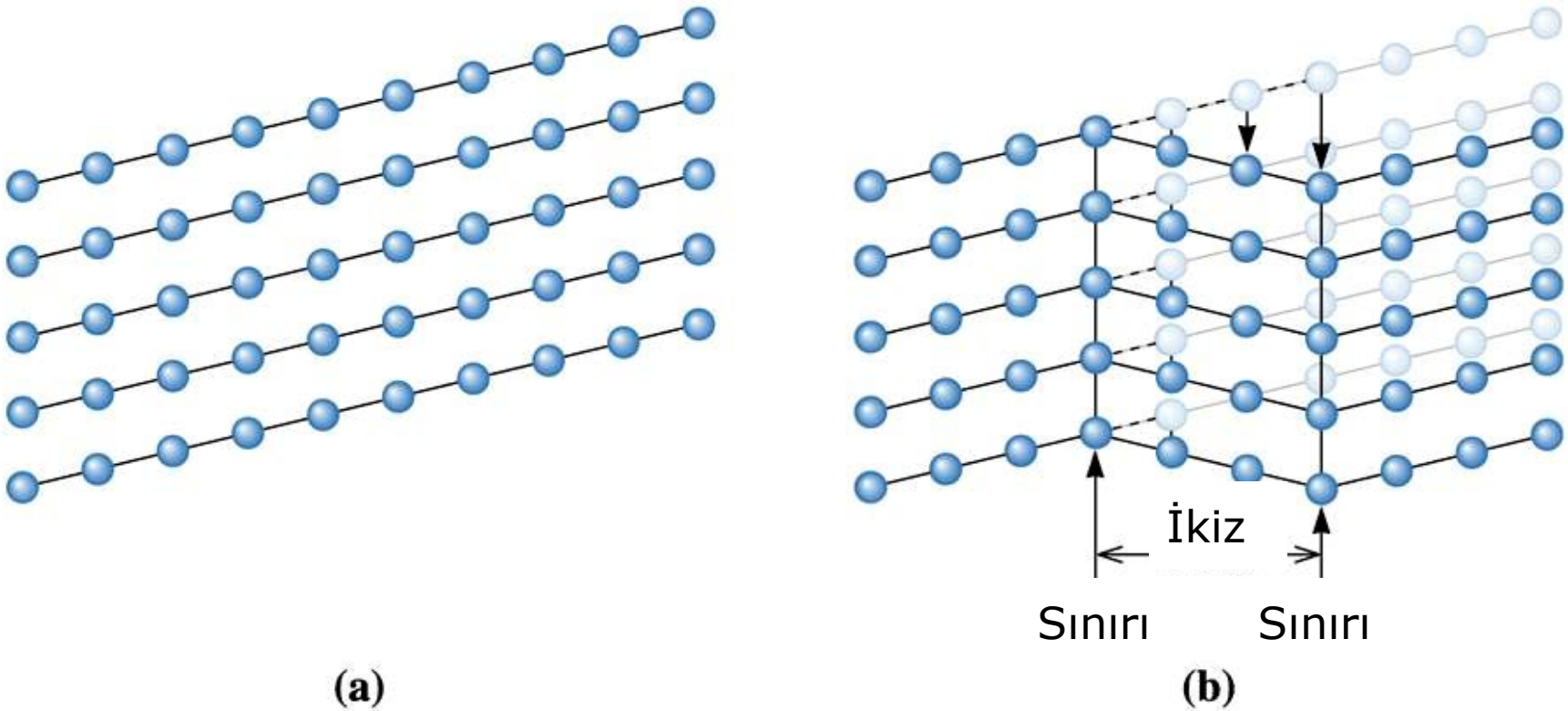
Kristal kafes yapısındaki atom düzlemlerinin simetrik olarak farklı doğrultularda yönlenmeleri sonucunda birbirinin ayna görüntüsü şeklinde oluşan iki bölge arasındaki bir düzlemdir.

İkizlenme; başlangıçtaki yapının ikiz düzlemi olarak adlandırılan bir düzleme göre simetriğinin oluşumudur.

İkizlenme; plastik şekil verme ya da ısıl işlem sırasında oluşabilir.

İkizlenmede atomlar, atomlararası mesafenin bir kesri kadar hareket eder.

(c) 2003 Brooks/Cole Publishing / Thomson Learning



Mükemmel kristale gerilim uygulanması (a)atomların yer değiştirmesine sebep olabilir, (b) ikizlenme oluşur. Kristal ikizlenme mekanizması ile deforme olmuştur.

Fosfor bronzunda tavlama ikizleri

Hacimsel kusurlar (üç boyutlu kusurlar)

Malzemelerin üretimi ve şekillendirilmeleri sırasında meydana gelir.

- Metalik olmayan kalıntılar (inklüzyon), sülfür, oksit, nitrür
- Döküm kusurları (çekilme ve gaz boşlukları)
- Plastik şekil verme kusurları (çatlaklar)
- Kaynak hasarları (termal gerilmeler sonucu meydana gelen çatlaklardır)

1. YMK ve HMK sistemlerde

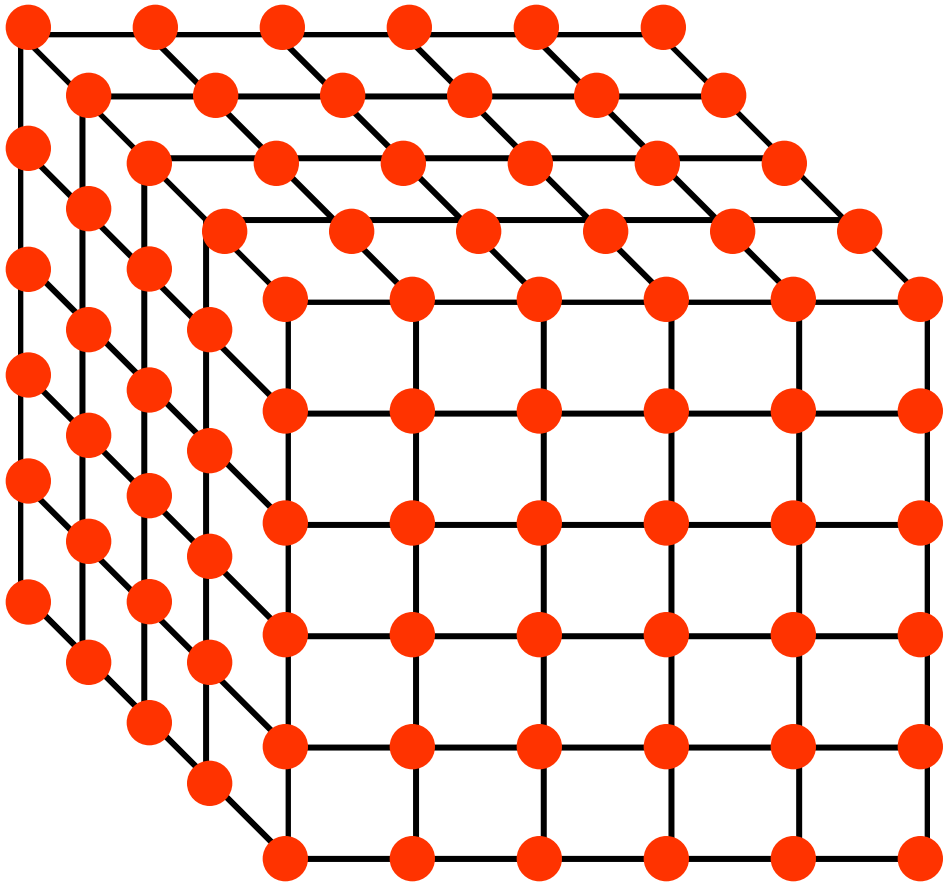
$(\bar{1}00), (\bar{1}\,\bar{1}0), (\bar{2}10)$ düzlemleri ile $[\bar{1}00], [\bar{1}\,\bar{1}0], [\bar{2}10]$

yönlerini gösteriniz ve bu düzlemler ile yönlerin düzlemsel ve lineer atom yoğunluklarını hesaplayınız.

2. Hegzagonal sistemde

$(10\bar{1}0), (0\bar{1}10), (11\bar{1}0), (0001)$

düzlemlerini gösteriniz ve (0001) düzleminin düzlemsel atom yoğunluğunu hesaplayınız.



Kompozisyon

Bir alaşımı bileşenlerine bağlı olarak tanımlamak gereklidir ve iki şekilde yapılabilir:

Ağırlıkça yüzde, ağ.%

Atomik yüzde, at.%

$$\text{ağ.}\% = \frac{m_1}{m_1 + m_2} \times 100$$

m_1= Birinci elementin ağırlığı

m_2= İkinci elementin ağırlığı

$$\text{at.}\% = \frac{n_1}{n_1 + n_2} \times 100$$