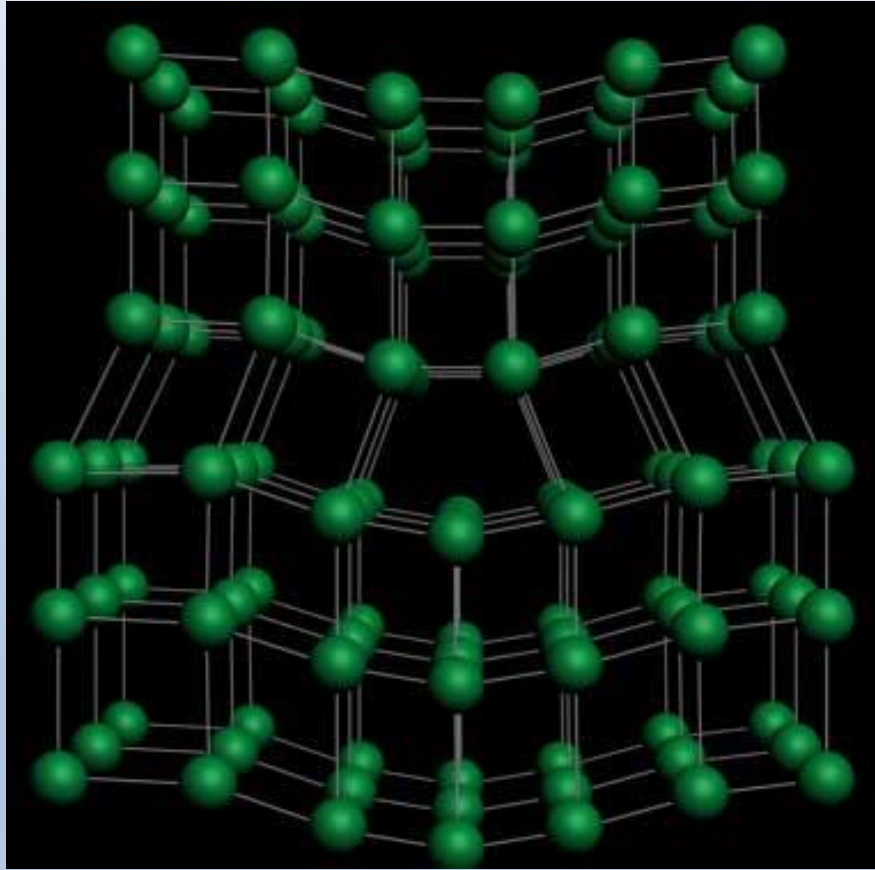


Dislokasyonlara Genel Bakış

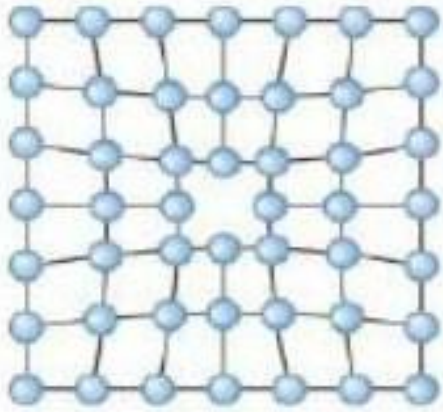


Doç. Dr. Turgut GÜLMEZ

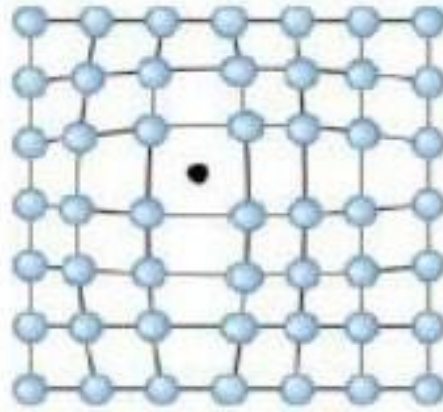
Atomik ve İyonik Düzenlerde Hatalar

- Gerçekte kristaller hiçbir zaman kusursuz değildir, alaşımlar da soğuk şekillendirilebilirlik, yarı iletkenlerde elektrik iletkenliği, atomların hareket hızı ve metallerde korozyon gibi bir çok fiziksel ve mekanik özelliği etkileyen kusur içerirler.
- Kusurların malzeme özelliklerine büyük etkisi vardır.
- Kristal kafes kusurları geometrilerine ve şekillerine göre sınıflandırılabilir;
- **1) Bir boyutlu (nokta kusurları)**
- **2) İki boyutlu çizgi kusurları (Dislokasyonlar)**
- **3) Üç boyutlu kusurları (yüzeyler ve tane sınırları)**

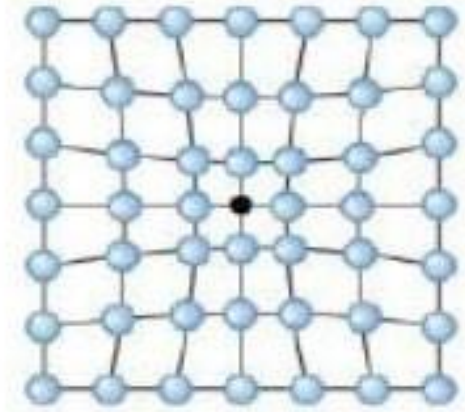
1) NOKTASAL YAPI KUSURLARI



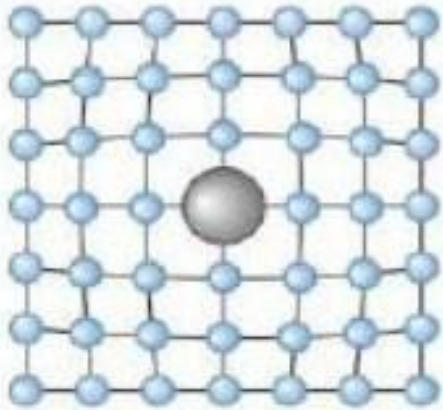
(a)



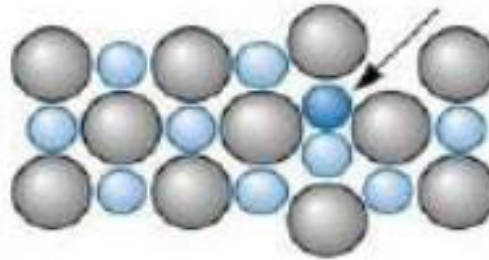
(b)



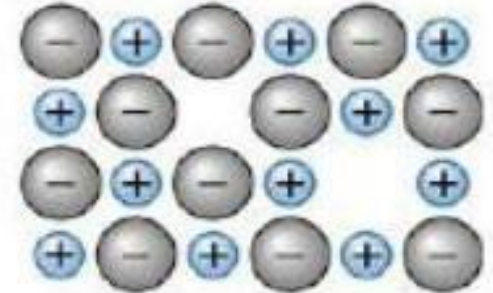
(c)



(d)



(e)



(f)

Noktasal hatalar: (a) boşluk, (b) arayer atomu, (c) küçük yeralan atomu, (d) büyük yeralan atomu, (e) Frenkel hatası, (f) Schottky hatası. Tüm bu hatalar etrafındaki atomların mükemmel düzenini bozarlar.

2. ÇİZGİSEL KUSURLAR (Dislokasyonlar)

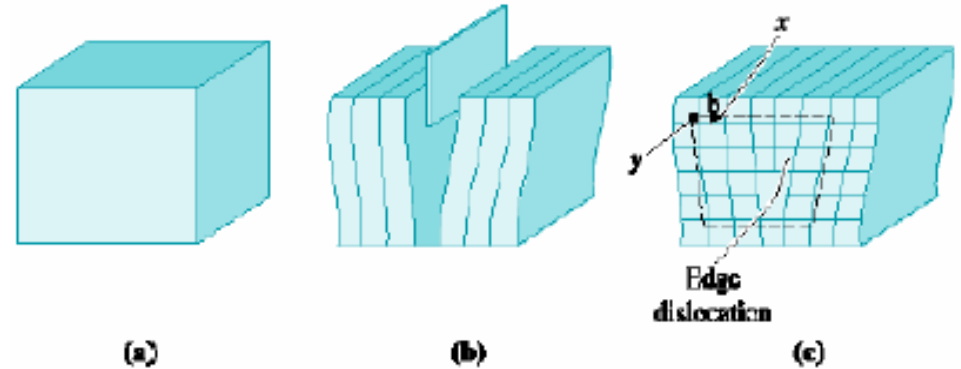
Hatasız bir kafesteki çizgi hatalarıdır.

Vida Dislokasyonu: Kristalin burulması ile bir atom düzleminin spiral bir rampa üretmesi ile oluşur.

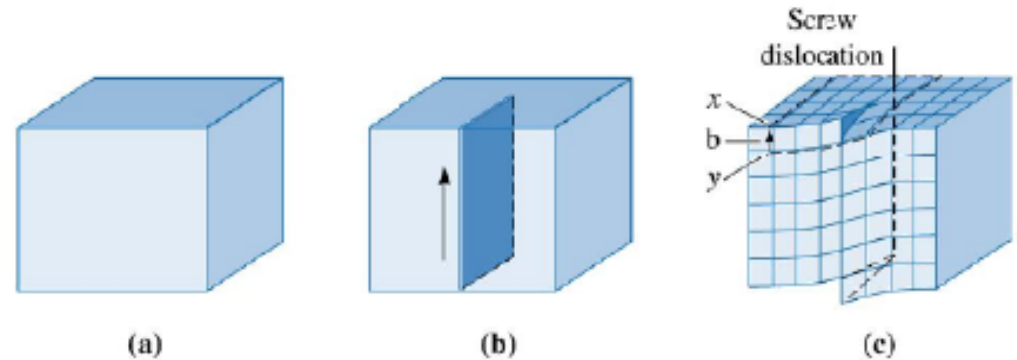
Kenar Dislokasyonu: Kristale ekstra yarım bir düzlemin girmesi ile oluşur.

Karışık dislokasyonlar: Kısmen kenar kısmen vida dislokasyonu içeren dislokasyonlardır.

Kayma: Metalik malzemelerin deformasyonudur, kristal boyunca oluşur.



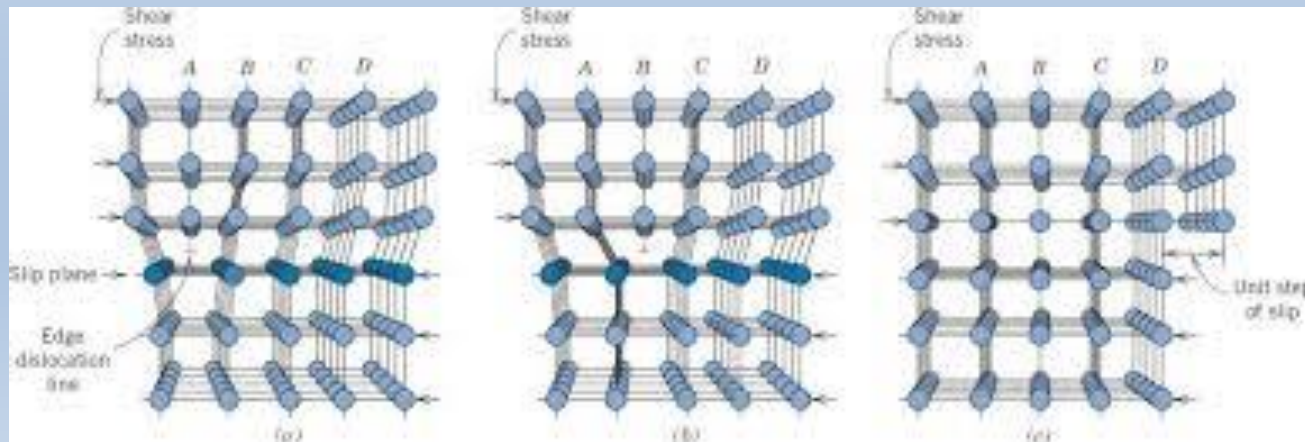
Mükemmel kristal (a) kesilip extra yarım düzlem eklenir (b) Ekstra düzlemin alt kenarı kenar dislokasyonudur (c) Burgers vektörü b kenar dislokasyonu etrafındaki eşit atom aralığını kapatmak için gereklidir.



Mükemmel kristal (a) kesilip bir atom aralığı kadar kaydırılmış, (b) ve (c). Kırılma/kesilme boyunca oluşan çizgi vida dislokasyonudur. Burgers vektörü b vida dislokasyonu etrafındaki eşit atom aralığını kapatmak için gereklidir.

Dislokasyonlar

- ❑ Dislokasyonlar, bir kristalin çeşitli deformasyon süreçlerinde (sünme, yorulma ve kırılma gibi) önemli bir rol oynayan 2D (çizgisel) kristal yapı kusurlarıdır.
- ❑ Dislokasyonlar, kristal büyümesinde yapıcı bir rol oynayabilir.
- ❑ Ayrıca yayınma için kısayol yollar da sağlayabilirler (boru difüzyonu).



Dislokasyonların Malzeme Davranışındaki Rolünü Anlamak

Sonsuz bir kristalde bir dislokasyonu düşünün

Gerilme alanları, Genleme alanları, enerji vb.

$$E_d, \sigma_{xx}, \sigma_{yy}, \tau_{xy}, \epsilon_{xx}, \epsilon_{xy} \dots$$

Sonlu kristal etkilerini hesaba katın

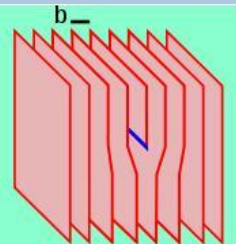
Serbest yüzeyler tane sınırları vb

Dislokasyonların diğer kusurlarla etkileşimini düşünün

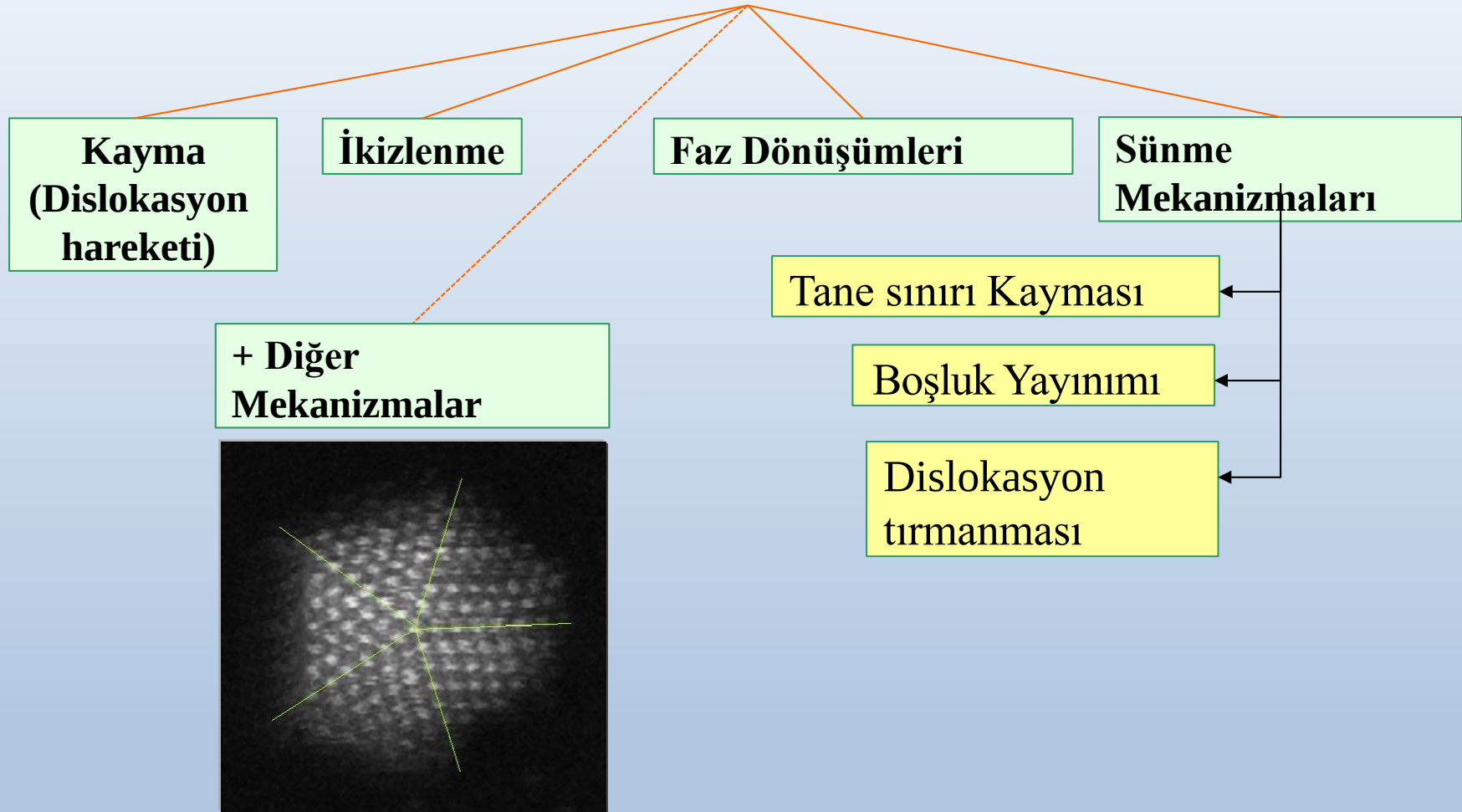
Diğer dislokasyonlar, arayer atomları, çökeltiler vb. ile etkileşimler.

Dış kısıtlamaların toplu davranışı ve etkileri

Uzun erimli etkileşimler ve toplu davranış ve dış kısıtlamalar



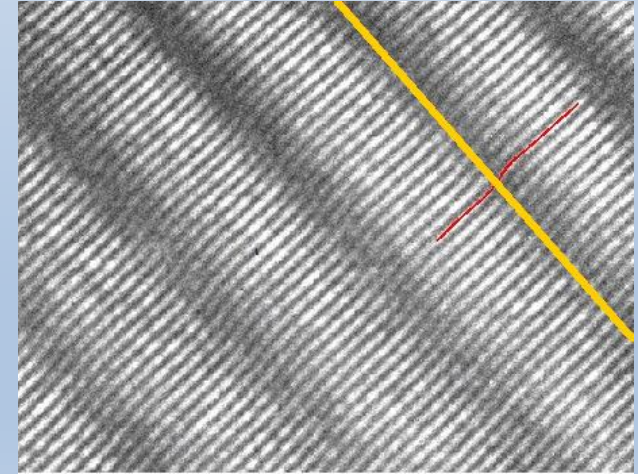
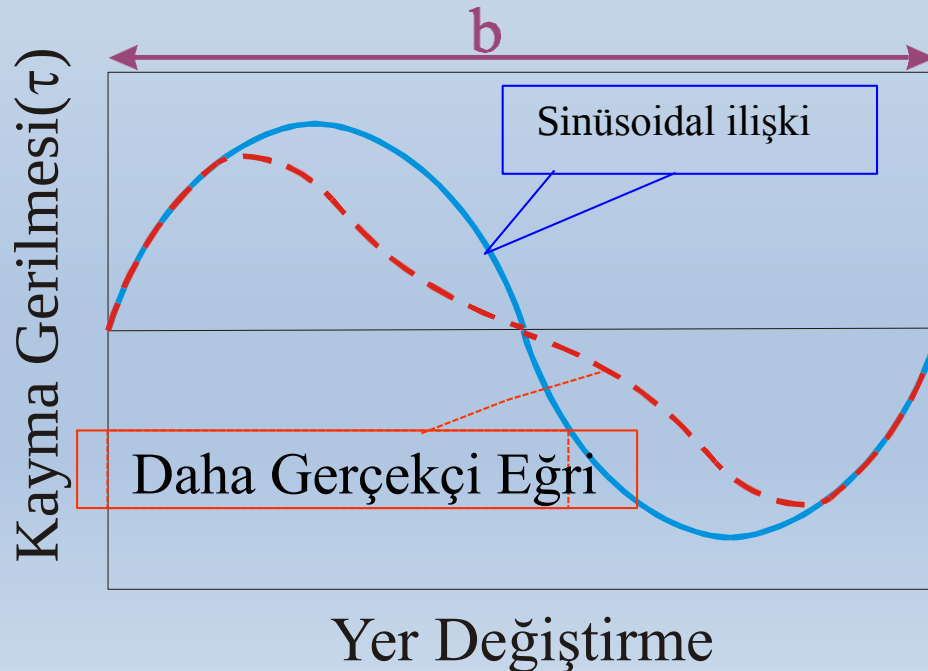
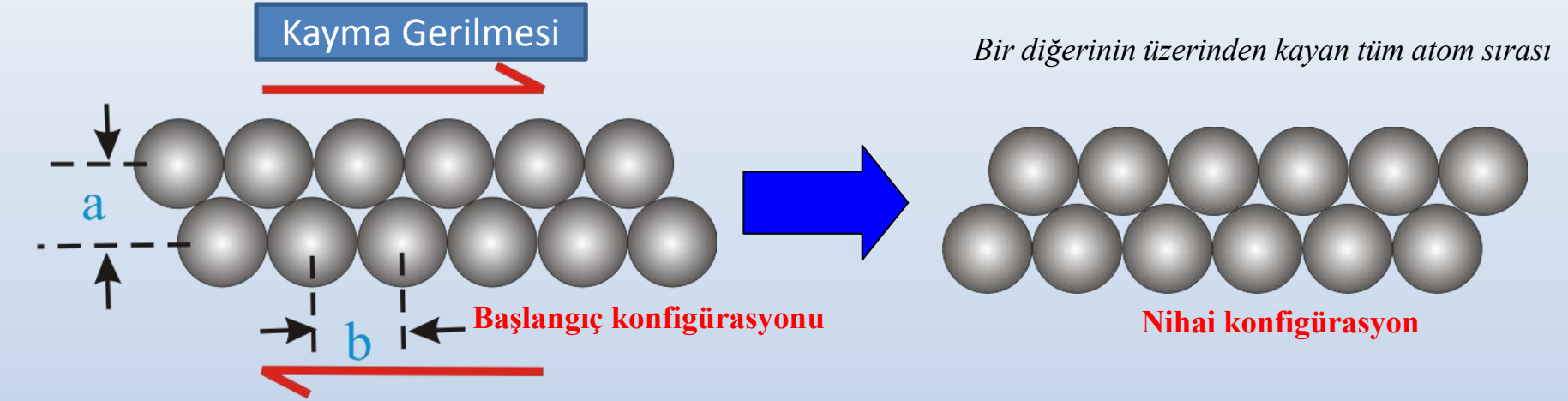
Kristal Katılarda Plastik Deformasyonlar



Altın nanopartikülde beş kat ikizlenme (elektron mikroskobu görüntüsü).

Bir Kristalin Kayma ile Plastik Deformasyonu

Kayma yoluyla plastik bir deformasyona neden olan atom düzleminin tamamının birbiri üzerinde kesilmesi düşünüldüğünde.



İlk yaklaşım olarak, gerilme-yer
değiştirme eğrisi şu şekilde yazılabilir;

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

Küçük yer değiştirmeler için
Hooke kanunu geçerli olmalıdır

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

Küçük x / b için

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

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

Dolayısıyla kaymanın oluşması için
gerekten maksimum kayma gerilmesi

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

Eğer $b \sim a$

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

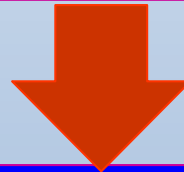
Metallerin kayma modülü 20-150 GPa aralığındadır.

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


☐ Teorik kayma gerilmesi 3 - 30 **G**Pa aralığında olacaktır.

☐ Bununla birlikte, deneysel kayma gerilmesi sadece 0,5 - 10 M Pa'dır

☐ yani (Kayma gerilmesi)_{teorik} > 100 x (Kayma gerilmesi)_{deneysel} !!!



DISLOKASYONLAR

Dislokasyonlar kristali ciddi şekilde zayıflatır

- ❑ Dislokasyonlar, malzeme yapılarını ve davranışlarını belirlemede çeşitli roller oynar.
- ❑ En önemli rol kristal dayanımını zayıflatmaktır.
- ❑ Malzemelerdeki dislokasyonların rolü, bir dislokasyonun materyaldeki diğer dislokasyonlar ve kusurlarla etkileşimlerini içerir, bu da kristalin "*sertleşmesi*", yani *zayıflamış kristalin dayanımının artması* ile sonuçlanır.

“Dislokasyon” Fikrine Tarihsel Bakış

- Bir dislokasyonun sürekli inşası 1905'te Volterra tarafından önerilmişti.
- Ancak 1930'da olduğu gibi, bir kristalin zayıflamasının ardındaki neden hala net değildi: Neden bir bakır çubuk kolayca bükülebilir?
- 1934'te Taylor, Orowan ve Polanyi, bir kristalin zayıflamasının bir mekanizması olarak dislokasyonların varlığını öne sürdüler.
- Dislokasyonların varlığı 1950'lerde elektron mikroskobu ile doğrulandı

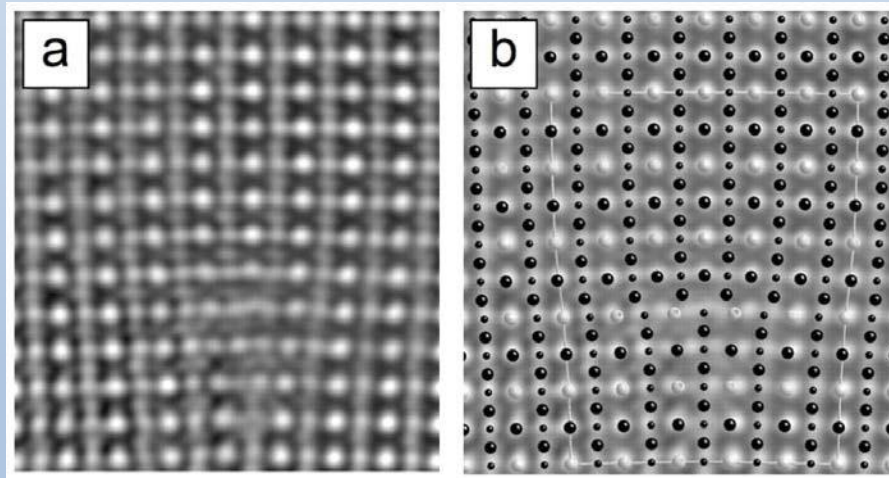
Bir dislokasyonla iki vektör ilişkilendirmiştir:

$\vec{t}$ →

dislokasyon çizgisi boyunca bir birim teğet vektör

$\vec{b}$ →

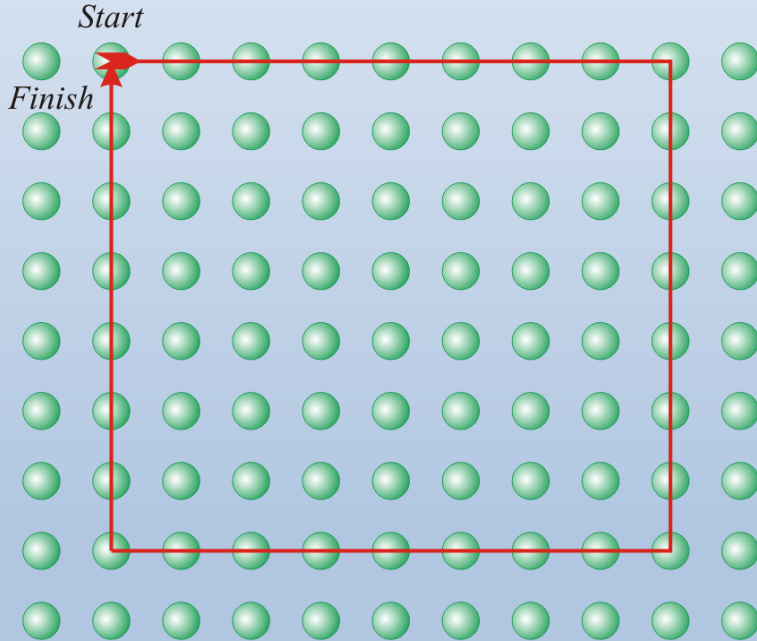
Bir Burger vektörü



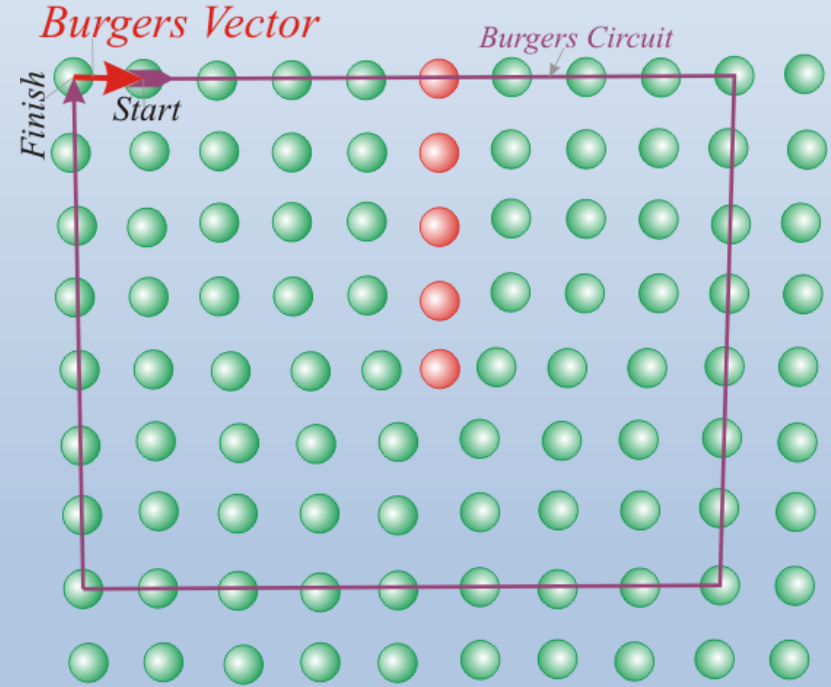
Kenar Dislokasyonu

Sağ El Bitiş Kuralı (RHFS) kullanılarak kusurlu bir kristalde Burgers vektörünün belirlenmesi

- Kusursuz bir kristalde bir devre yapın (örn . 8 atomik adım sağa, 7 aşağı, 8 sola ve 7 yukarı). Devre *Sağ Ellidir* .
- Aynısını kusurlu kristalde de yapın. Eksik kalan halka paçası Burgers vektörüdür.



Mükemmel Kristal

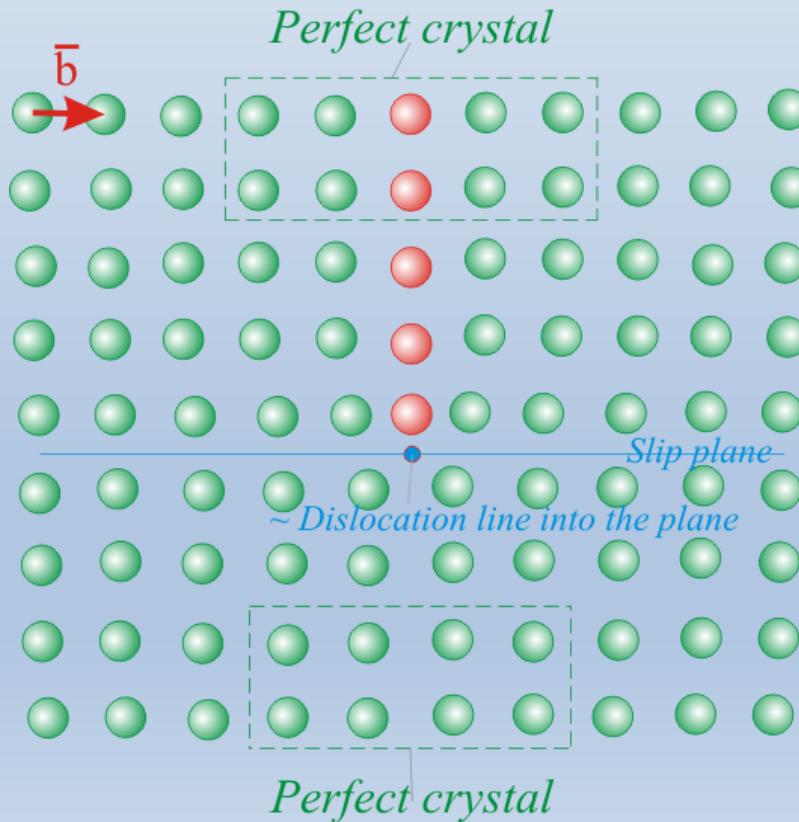


Kusurlu kristal(Kenar Dislokasyonu)

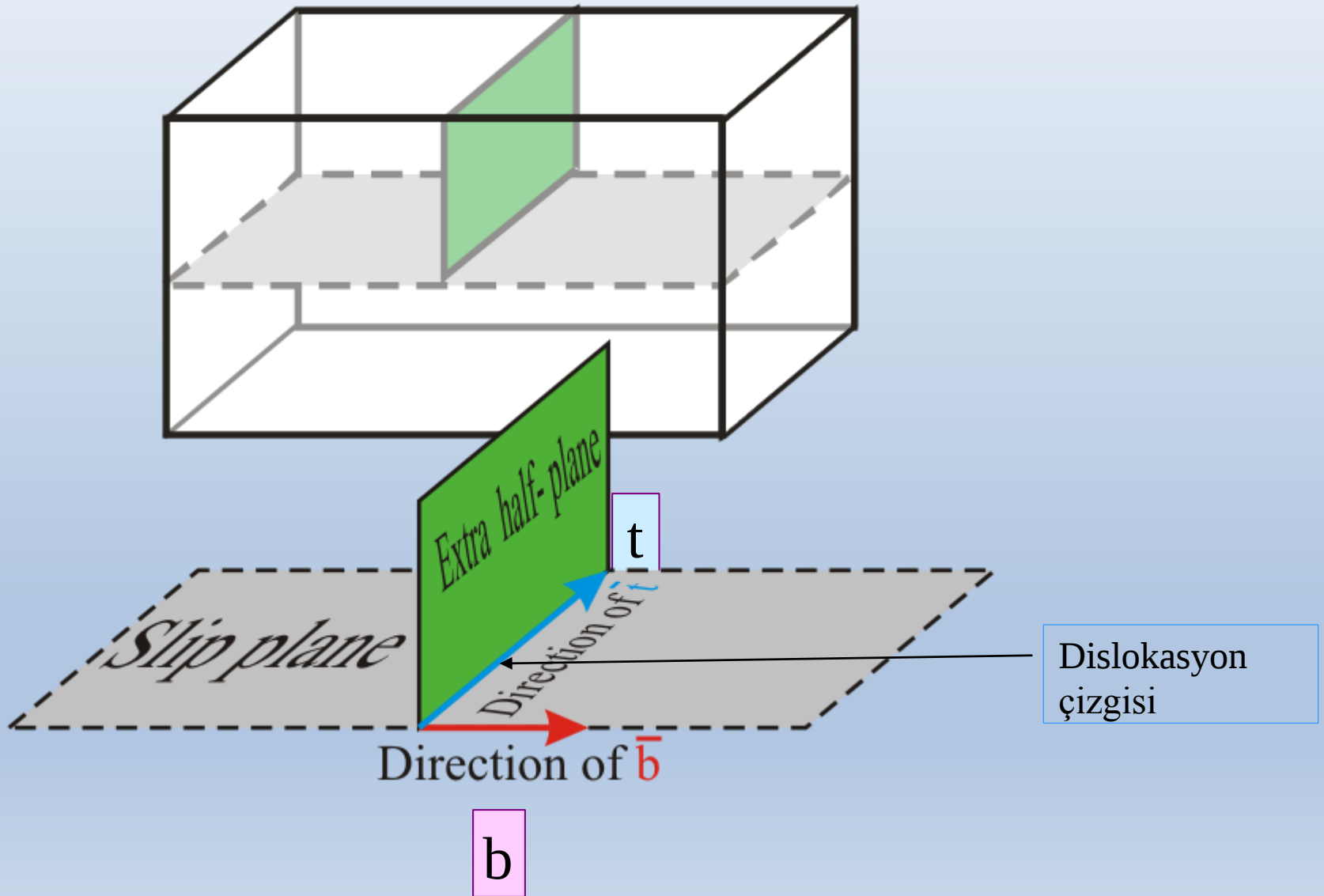
Not: devre dislokasyon hattından uzakta çizilir

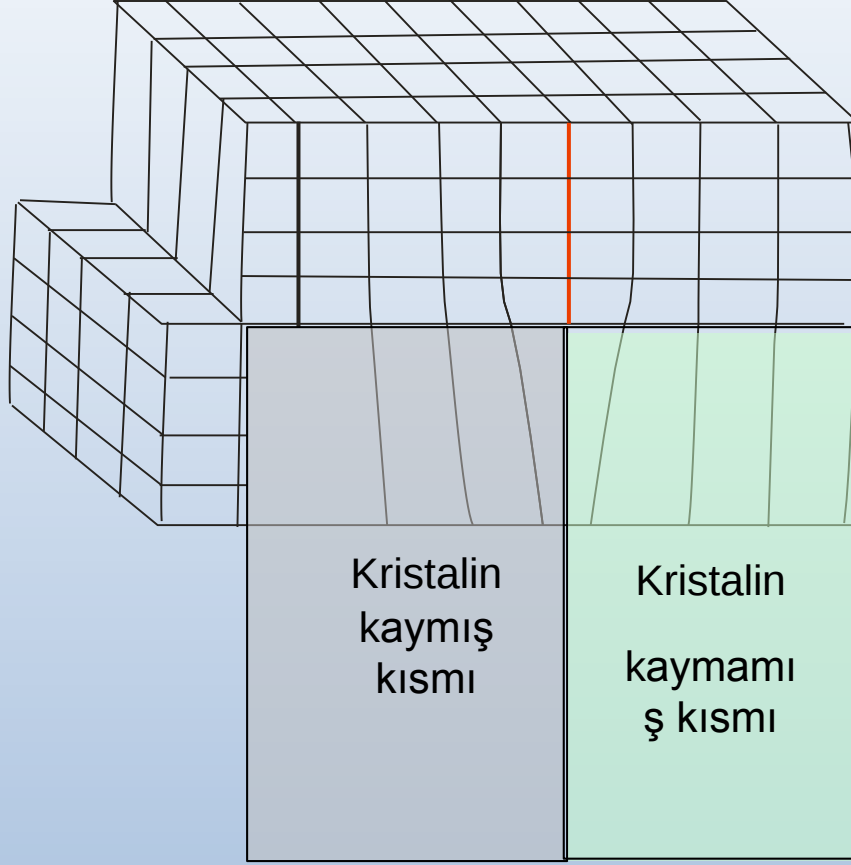
Kenar Dislokasyonunu Anlamak

- ❑ Kenar dislokasyonu ne '**ekstra yarım düzlem**' ne de '**eksik yarım düzlem**' DEĞİLDİR . 'Ekstra' ve 'eksik' yarım düzlemler arasındaki çizgidir.
- ❑ Dislokasyon çizgisinden uzak bölgeler mükemmeldir → tüm '**deformasyon**' dislokasyon çizgisi etrafında yoğunlaşmıştır.
- ❑ Dislokasyonun gerilme alanı '**uzun erimli**' bir alandır .



Kenar Dislokasyonu

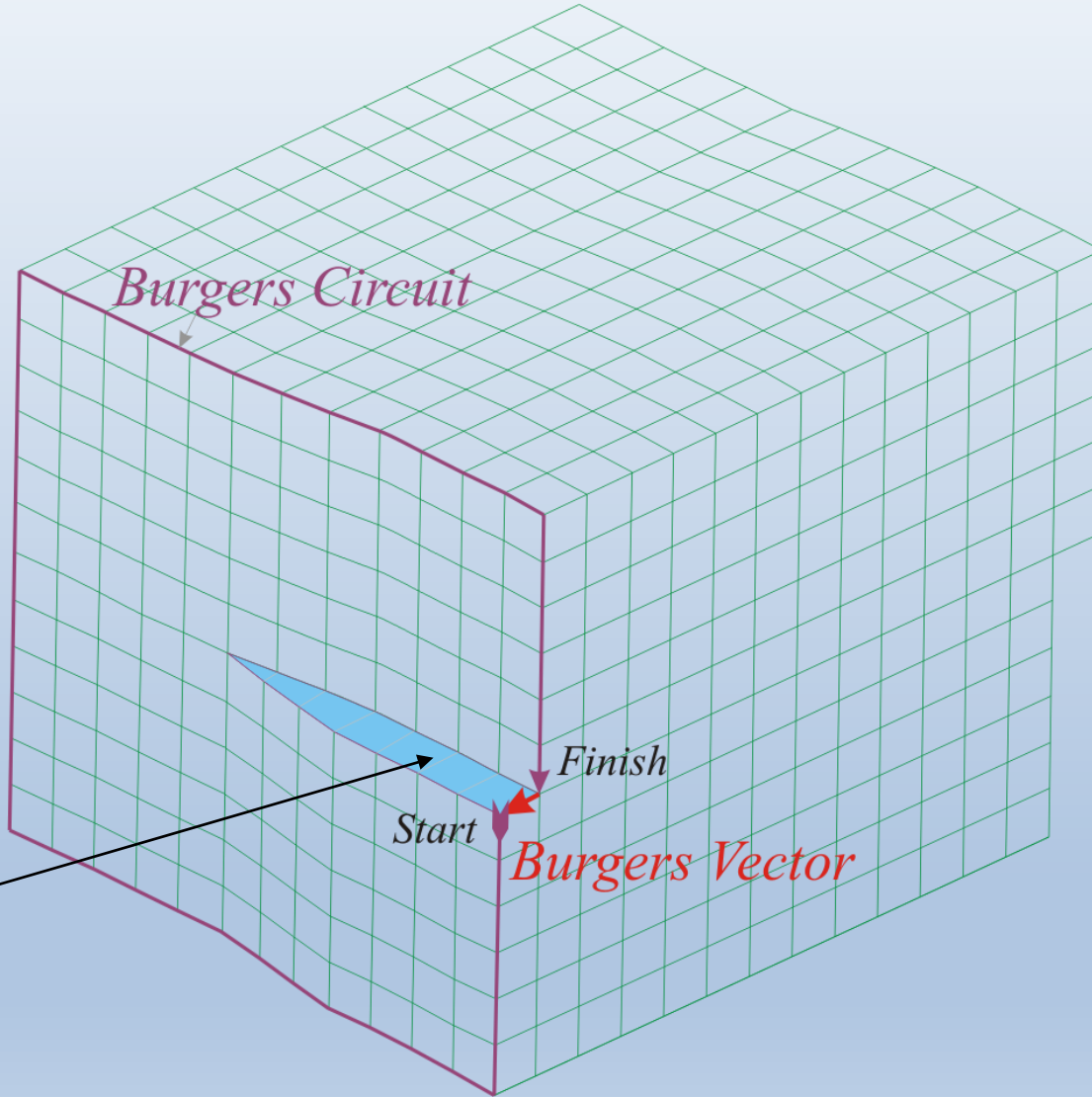




* Kenar dislokasyonu, kayma düzlemi üzerinde kalan kristalin kaymış ve kaymamış kısımları arasında bir sınır olarak düşünülebilir

** bu sadece bir görselleştirme yoludur ve çoğu zaman kaymış ve kaymamış bölgeler ayırt edilemeyebilir*

Vida Dislokasyonu



**Kayma
Düzlemi**

Not: Şekilde Sağ El Vida (RHS) dislokasyonu gösterilmektedir.

- ❑ **Kayma düzlemi** üzerinde yatan kristalin kaymış ve kaymamış kısımları arasındaki **sınır** dislokasyon olarak düşünülebilir .
- ❑ Bir kenar dislokasyonu için, atomların ekstra yarı düzleminin kayma düzlemi ile kesişmesi **dislokasyon çizgisini** tanımlar .
- ❑ Kaymanın yönü ve büyüklüğü, dislokasyonun Burgers vektörü ile karakterize edilir.
- ❑ Burgers vektörü, **Burgers Çevrimi** tarafından belirlenebilir. Sağ taraftaki vida (baştan sona) kuralı, Burgers vektörünün yönünü belirlemek için kullanılır.
- ❑ Bir kristalin periyodik kuvvet alanı, atomların bir denge konumundan diğerine hareket etmesini gerektirdiğinden, bu, b'nin tam bir dislokasyon için bir kafes noktasını diğerine bağladığı anlamına gelir .
- ❑ Dislokasyonlar, mümkün olduğunca küçük bir Burgers vektörüne sahip olma eğilimindedir.
- ❑ Dislokasyonlar, **dengesiz** kusurlardır ve bir fırsat verilirse kristali terk eder.

Dislokasyonların Geometrik Özellikleri

- Bir kenar dislokasyonunda: b , t' 'ye diktir
- Bir vida dislokasyonunda: b , t' 'ye paraleldir
- Diğer özellikler aşağıdaki tablodaki gibidir

Dislokasyon özelliği	Dislokasyonun Türü	
	Kenar	Vida
Dislokasyon çizgisi (t) ile b arasındaki ilişki	$\perp$	$\parallel$
Kayma Yönü	$\parallel$ to b	$\parallel$ to b
b ye göre Dislokasyon çizgisinin hareket yönü	$\parallel$	$\perp$
Dislokasyonu kayma düzleminden ayırabilecek süreç	Tırmanma	Çapraz Kayma

DISLOKASYONLAR



- ❑ TEM ile bir Al filminin bir gözlemine göre, genellikle dislokasyonların **karışık** bir karaktere sahip olduğu ve ideal **Kenar** ve **Vida** dislokasyonlarının istisna olduğunu gösteren eğrilmiş dislokasyon çizgileri bulunur .
- ❑ Dislokasyonun karakteri, dislokasyon çizgisi boyunca konumdan konuma değişecektir.
- ❑ Özel durumlarda, **Saf Kenar**, **Saf Vida** veya kenar tipi sabit yüzdeli bir **Karışık** dislokasyon oluşabilir.

Karışık Dislokasyonlar

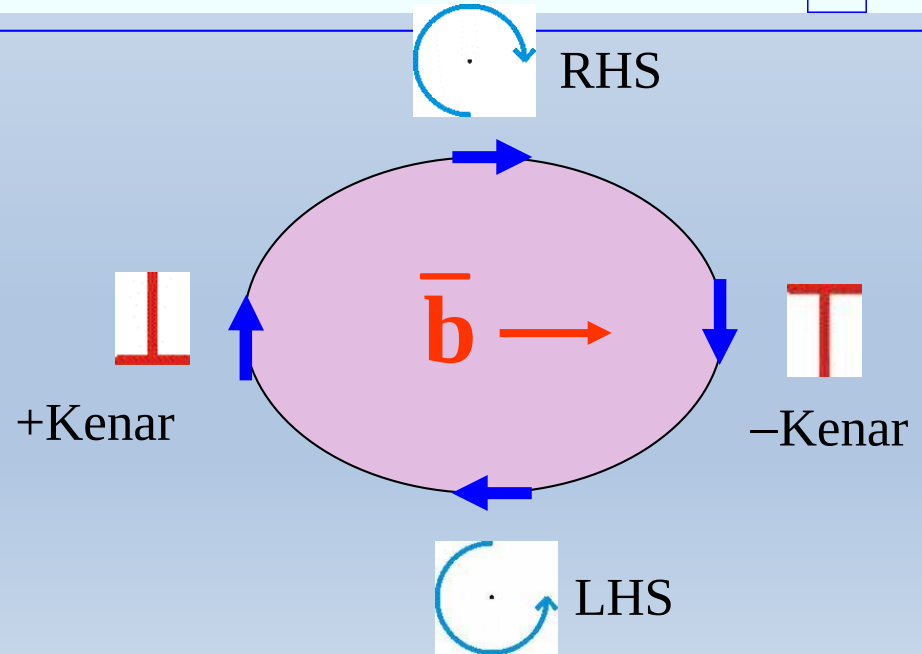
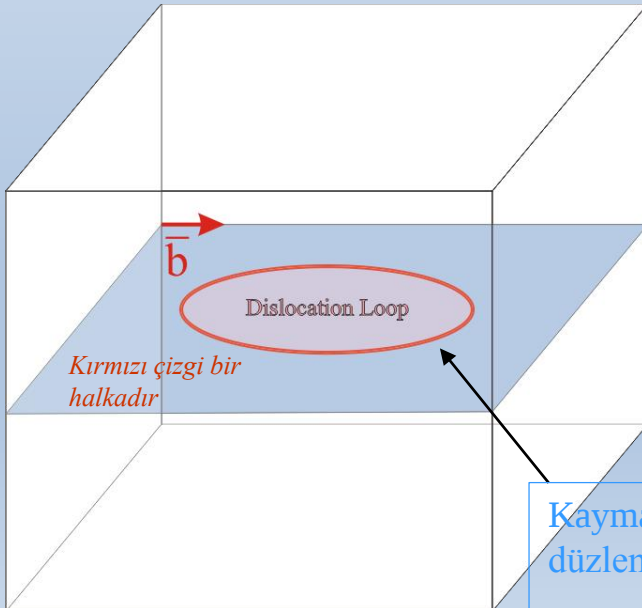
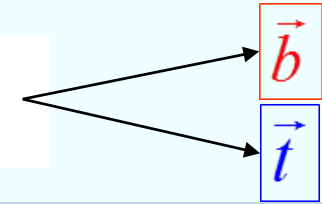
kenar ve vida karakterli Karışık dislokasyonlar

- ❑ Özel durumlar dışında, dislokasyonlar karışık kenar ve vida karakterine sahip olma eğilimindedir.
- ❑ Eğrisel bir dislokasyon için, kenar ve vida karakteri noktadan noktaya değişebilir.
- ❑ Dislokasyon halkasında, yalnızca 'noktalar' saf kenara veya saf vida karakterine sahiptir.

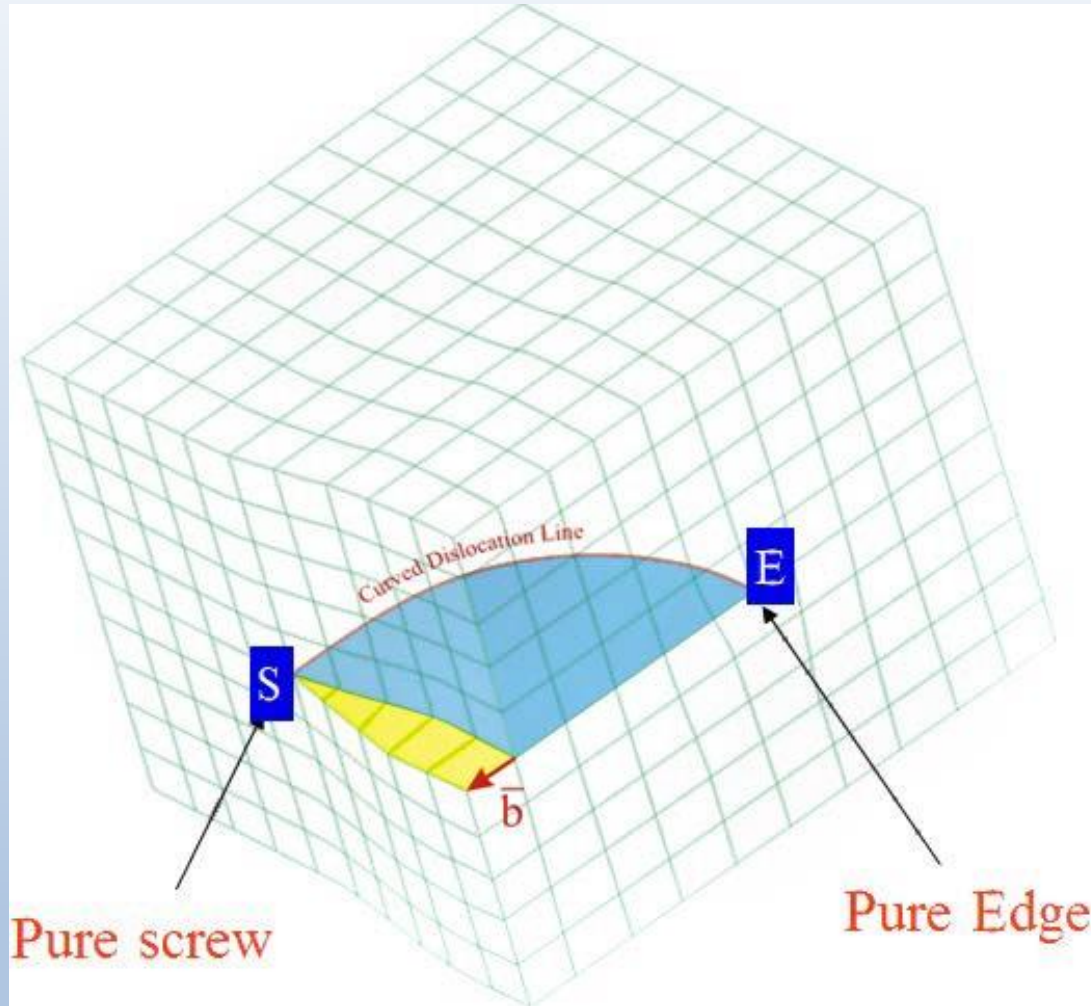
Kenar: $\mathbf{b} \perp \mathbf{t}$

Vida: $\mathbf{b} \parallel \mathbf{t}$

Bir dislokasyonu tanımlayan vektörler



Karışık Dislokasyonlar



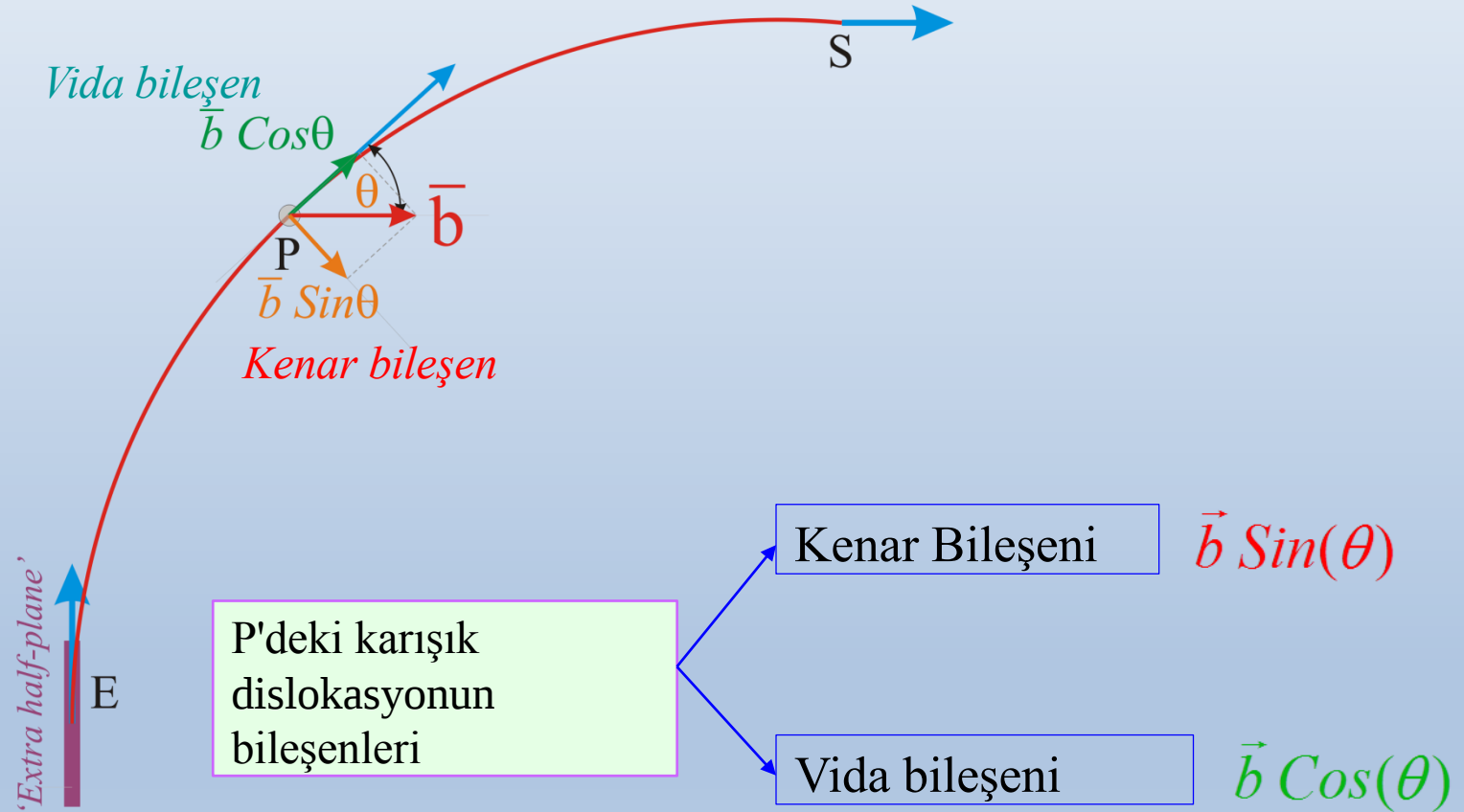
S ve E noktaları dışında , dislokasyon çizgisinin kalan kısmı karışık bir karaktere sahiptir.

Etkin Burgers Vektörünün Kenar ve Vida Bileşenleri

b vektörü bileşenlere ayrılmıştır:

"t'ye paralel" → vida bileşeni ve

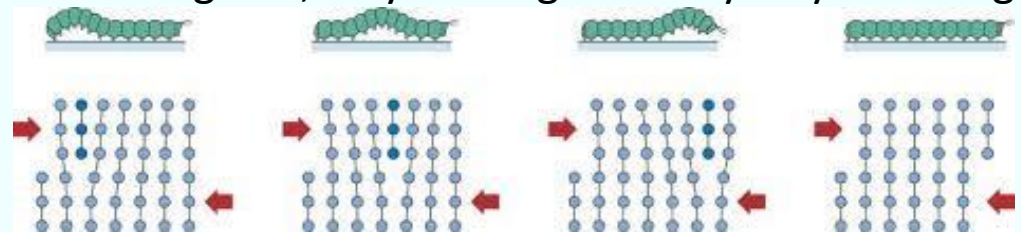
"t'ye dik" → kenar bileşeni

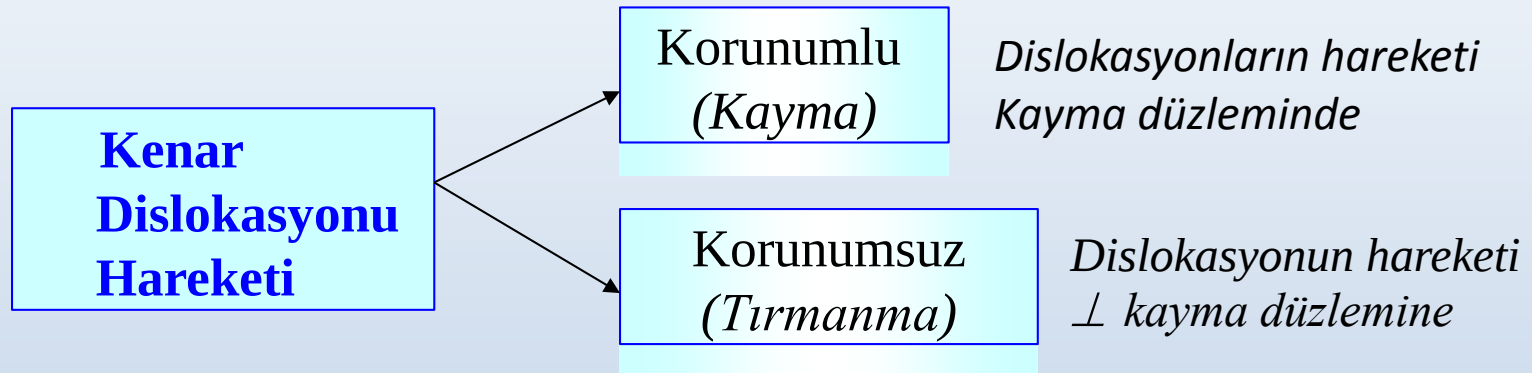


Dislokasyonların hareketi

Dislokasyonlar, harici olarak uygulanan bir gerilme etkisi altında hareket edebilir. Bir dislokasyonun iki olası hareketi: **Kayma** ve **Tırmanma**.

- Kayma düzlemindeki yerel kayma gerilmeleri, dislokasyonların hareketlerini tetikleyebilir. Bir dislokasyonu hareket ettirmek için gereken minimum gerilme **Peierls-Nabarro** (PN) gerilmesi olarak adlandırılır.
- Dislokasyonlar ayrıca diğer dislokasyonlar, çökeltiler veya faz dönüşümleri vb. tarafından üretilen iç gerilme alanlarının etkisi altında hareket edebilir.
- Dislokasyonlar, ve daha yumuşak malzemelerin serbest yüzeyleri ve arayüzeyleri tarafından çekilir ve çekici **Görüntü Gücü** nedeniyle hareket edebilir.
- Herhangi bir durumda, dislokasyonun hareket etmesi için Peierls gerilmesi aşılmalıdır. Peierls gerilmesinin değeri, kenar ve vida dislokasyonları için farklıdır.*
- Plastik deformasyon, dislokasyonun hareket etmesi ve kristali terk etmesinden kaynaklanmaktadır. Dislokasyon kristali terk ettiğinde, 'b' yüksekliğinde bir yüzey basamağı yaratılır ve dislokasyon nedeniyle kristalde depolanan gerilme ve enerji giderilir.

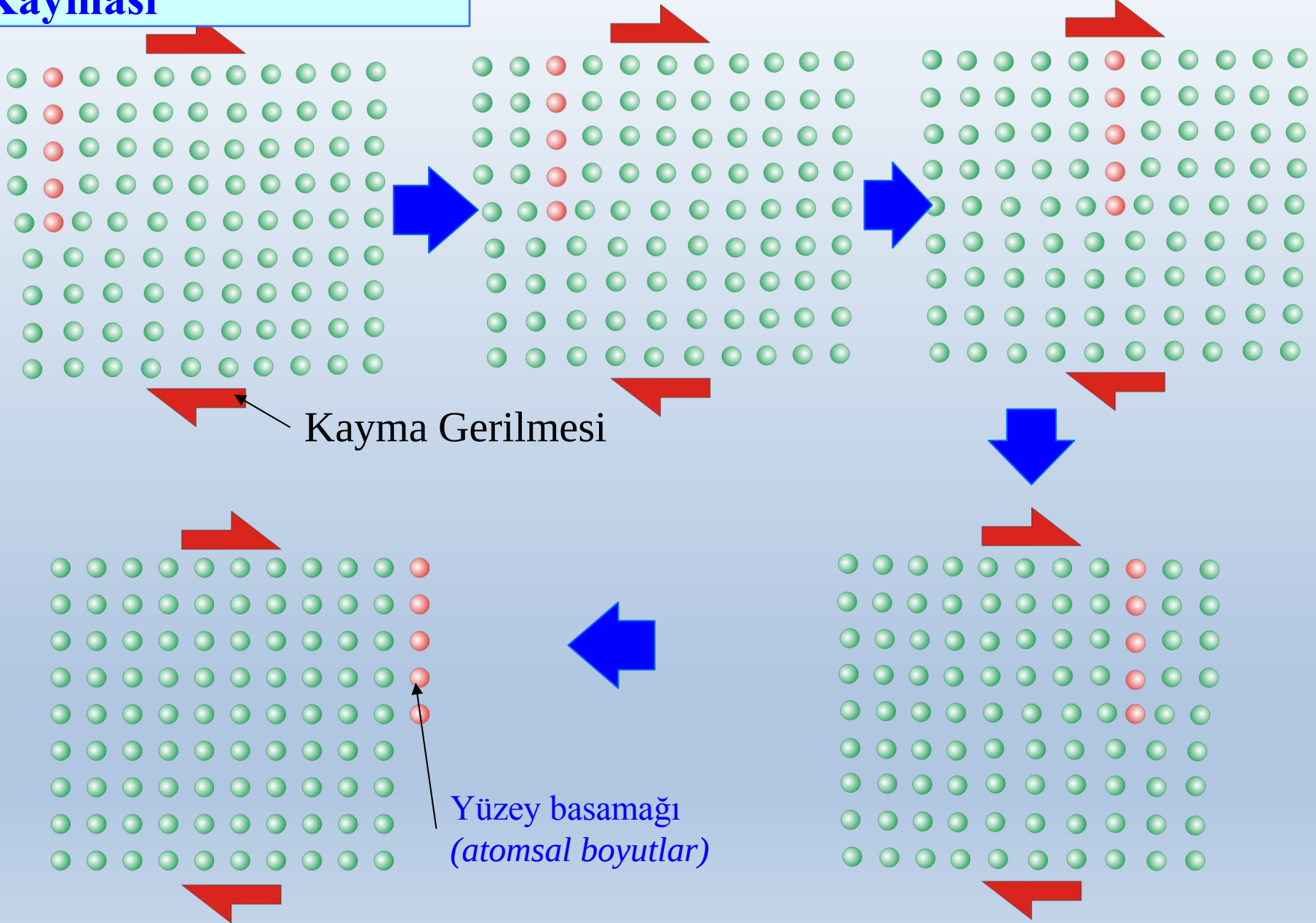


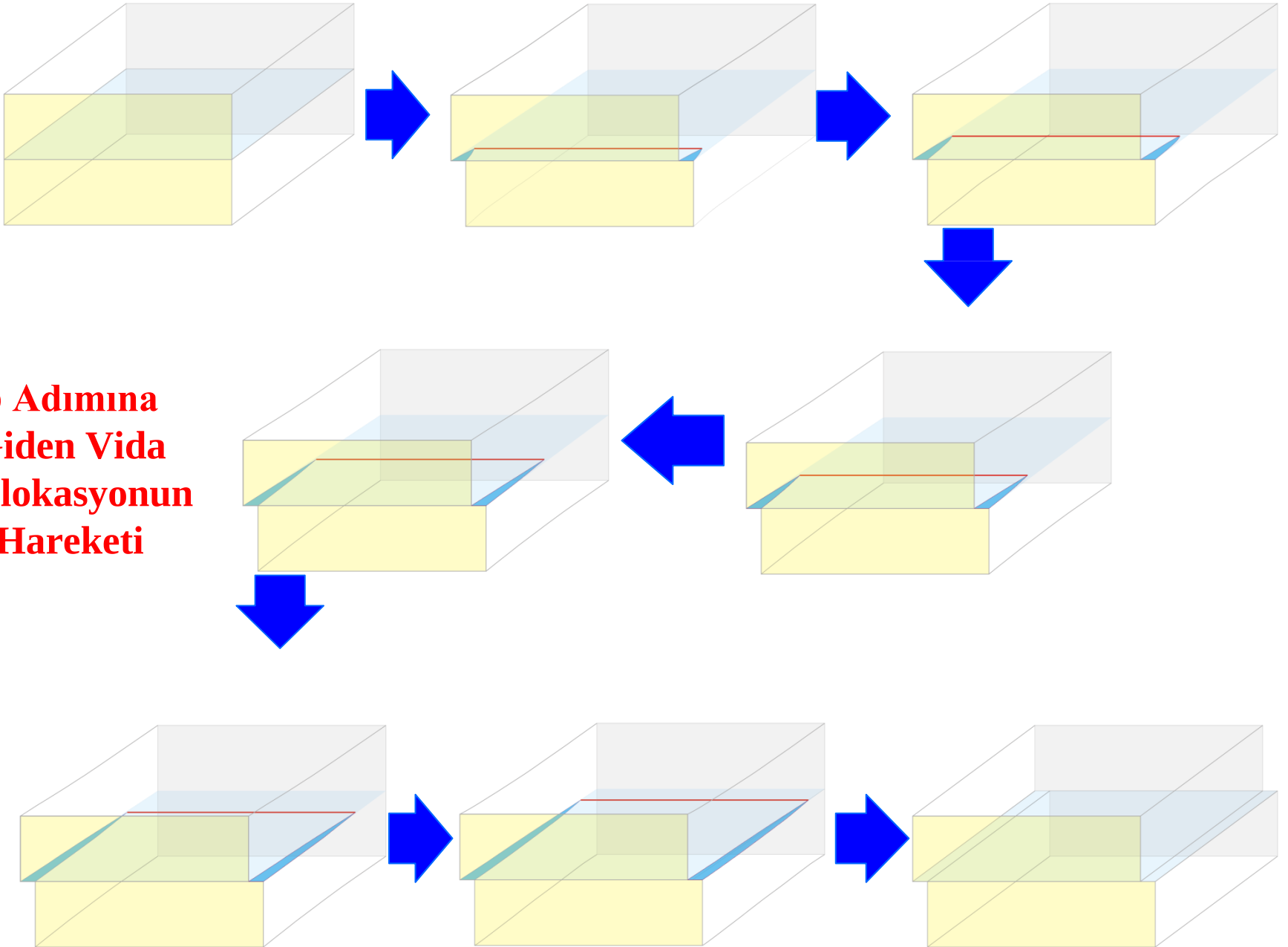


- ❑ Bir kenar dislokasyonu için, kayma düzlemini tanımlayan $\mathbf{b} \perp \mathbf{t}$
- ❑ Dislokasyon tırmanışı, yarım düzlemin altına bir sıra atomun eklenmesini veya çıkarılmasını içerir
 - ▶ + tırmanma = yukarı tırmanma $\rightarrow$ bir dizi atomun kaldırılması
 - ▶ -tırmanma = aşağı inme $\rightarrow$ bir dizi atomun eklenmesi

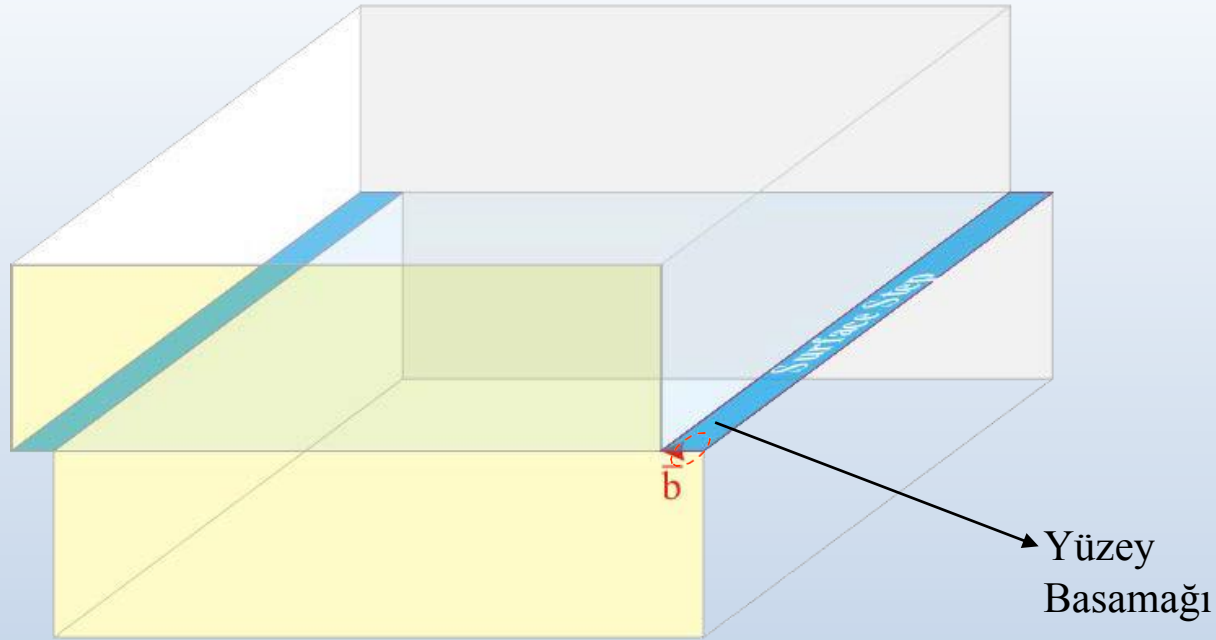
Kenar Dislokasyonunun Kayması

Bir adımın oluşumuna yol açan bir kenar dislokasyonunun hareketi ('b' nin)





Note: Schematic diagrams



Dislokasyon kristali terk ettiğinde, onunla ilişkili gerilme alanı rahatlar. Bununla birlikte, basamağa karşılık gelen ekstra yüzeyi oluşturmak biraz enerjiye mal olur.

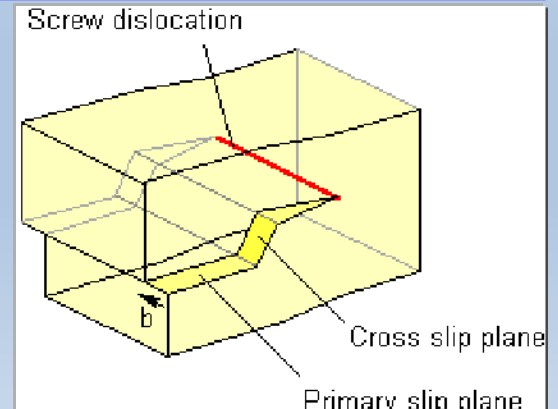
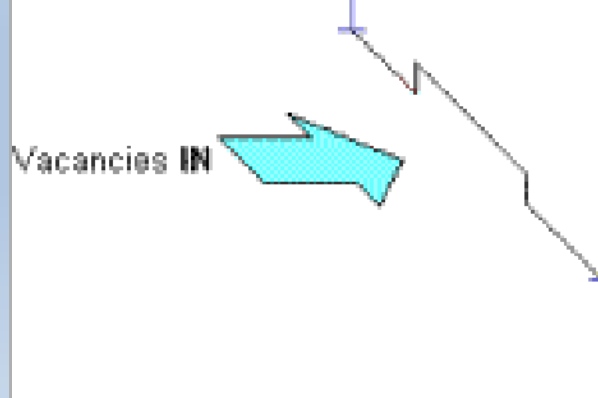
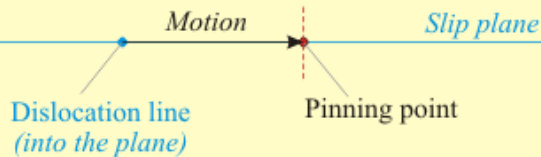
- Bu basamaklar görünür mü?

Atomik boyuttaki bu adımlar optik mikroskoplarda görünmez. Bununla birlikte, aynı kayma düzleminde birçok dislokasyon çalışıyorsa, optik bir mikroskopta bile görülebilen (kayma bantları olarak adlandırılan) bir nb ($n \sim 100s-1000s$) adım/basamak oluşturulur .

Kayma düzleminde çıkan Dislokasyonlar

- ❑ Bir kristalin plastik deformasyonunun 'ilk adımı', bir dislokasyonun kristali terk ederek bir basamağın oluşmasına yol açmasıdır.
- ❑ Sürekli plastik deformasyon için, daha birçok dislokasyon kristalde hareket etmeye ve kristali terk etmeye devam eder. Bir dislokasyonun hareketine herhangi bir engel, kristalin "sertleşmesine" yol açacak ve *dislokasyonun çivilenmesi* ise plastik deformasyonu durduracaktır .
- ❑ Bir dislokasyon bir kez sabitlendiğinde, 'engeli kırabilir' veya engelden 'atlayabilir'.
- ❑ Bariyerin aşılması, aşağıdaki gibi mekanizmalar aracılığıyla gerçekleşebilir:
 - Tırmanma ➤ Çapraz Kayma ➤
- ❑ Tırmanma ve çapraz kaymada, dislokasyon 'mevcut' kayma düzlemini terk eder ve başka bir kayma düzlemine hareket ederek engelden kurtulur. Bu işlemler (tırmanma ve çapraz kayma), dislokasyonun çivilenmesinden bağımsız olarak gerçekleşebilir!

Dislocation being pinned at some defect



Kayma düzlemini terk eden /
değiştiren Dislokasyon

Kenar Dislokasyon

Tırmanma

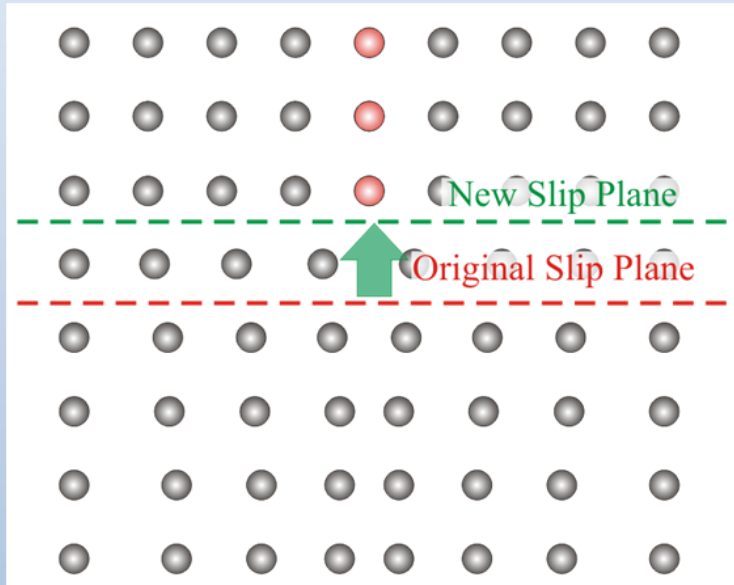
*Korumasız: kütle
taşınımını içerir*

Vide Dislokasyon

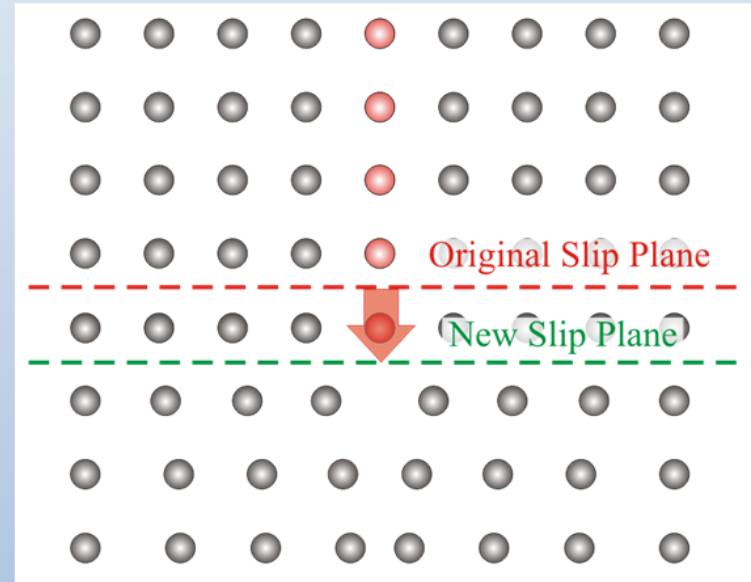
Çapraz
Kayma

Korumalı

Kenar Dislokasyonunun Tırmanması



Pozitif Tırmanma :Bir atom
dizisinin ortadan kalkması



Negatif Tırmanma: Bir atom
dizisinin eklenmesi

Bir sıra atomun çıkarılması, kristaldeki boşluk konsantrasyonunda bir azalmaya ve negatif tırmanma, kristaldeki boşluk konsantrasyonunda bir artışa neden olur

Dislokasyon çizgisi nerede bitebilir?

- Dislokasyon çizgisi kristalin içinde bitemez. Ya,
 - Kristalin serbest bir yüzeyinde biter,
 - Bir iç yüzeyde veya arayüzde biter
 - Bir döngü/halka oluşturur
 - Bir *düğümde* biter
- Bir *düğüm* , ikiden fazla dislokasyonun kesişme noktasıdır. Bir düğümde toplanan dislokasyonların Burgers vektörlerinin vektörel toplamı = 0

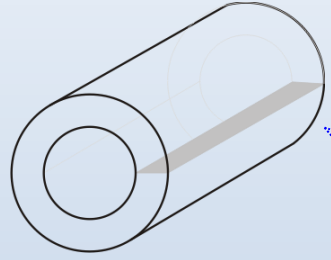
Bir Dislokasyonun Deformasyon Enerjisi Nasıl Elde Edilir?

Volterras Şeması : Bir cismin keyfi bir deformasyonu, birleşik kesmeler ve kaymalardan oluşan iki bağımsız süreci tekrarlayarak çıkarılabilir.

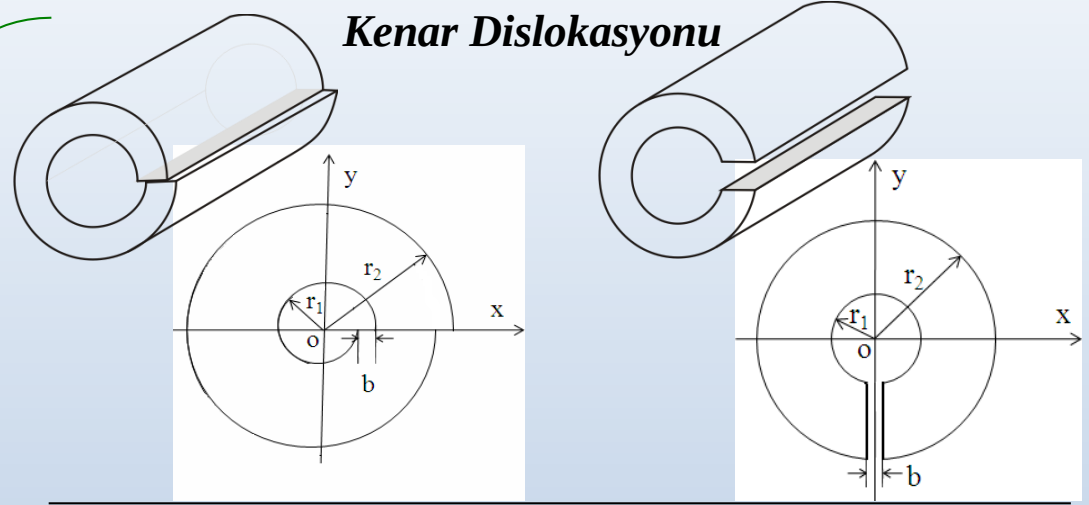
Bir dislokasyonun süreklilik tanımı

- ❑ Dislokasyonla ilgili gerilme alanlarının ve yer değiştirme alanlarının sürekli hesaplamaları, birkaç atomik aralık dahilinde geçerli olan elastik süreklilik teorilerine dayanır (yani , süreklilik tanımı yalnızca yaklaşık 5 atomik çap / Burgers vektörü içinde başarısız olur).

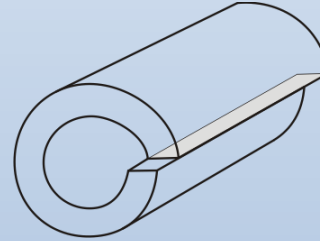
İçi boş bir silindirin deformasyonlarının Volterra konstrüksiyonları



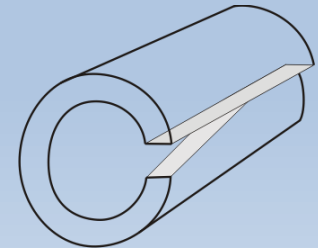
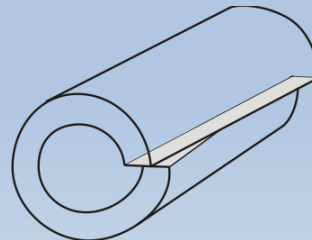
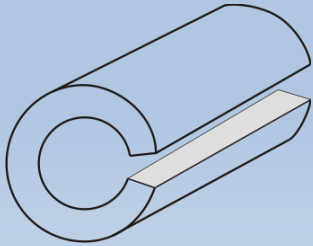
Mükemmel Silindir



Kenar Dislokasyonu



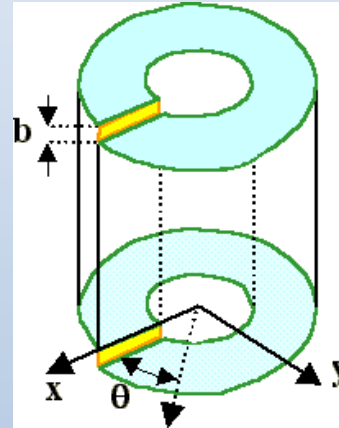
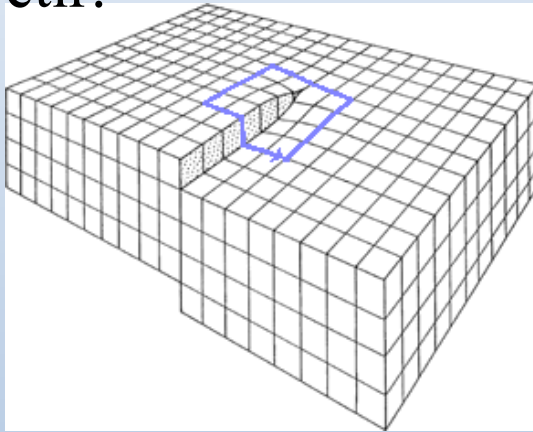
Vida dislokasyonu



Açıklamalar

Vida Dislokasyonu

Bir vida dislokasyonu, aşağıda gösterilen **kes ve kaydır** prosedürü tarafından oluşturulanla tamamen aynı genleme alanını üretir:



Çıkarılan silindirdeki elastik alan, x ve y ve z yönlerinde yer değiştirmeye sahip değildir,

$$u_z = \frac{b}{2\pi} \cdot \theta = \frac{b}{2\pi} \tan^{-1}(y/x)$$

Genleme için denklemleri kullanarak bir vida dislokasyonunun genleme alanını elde ederiz:

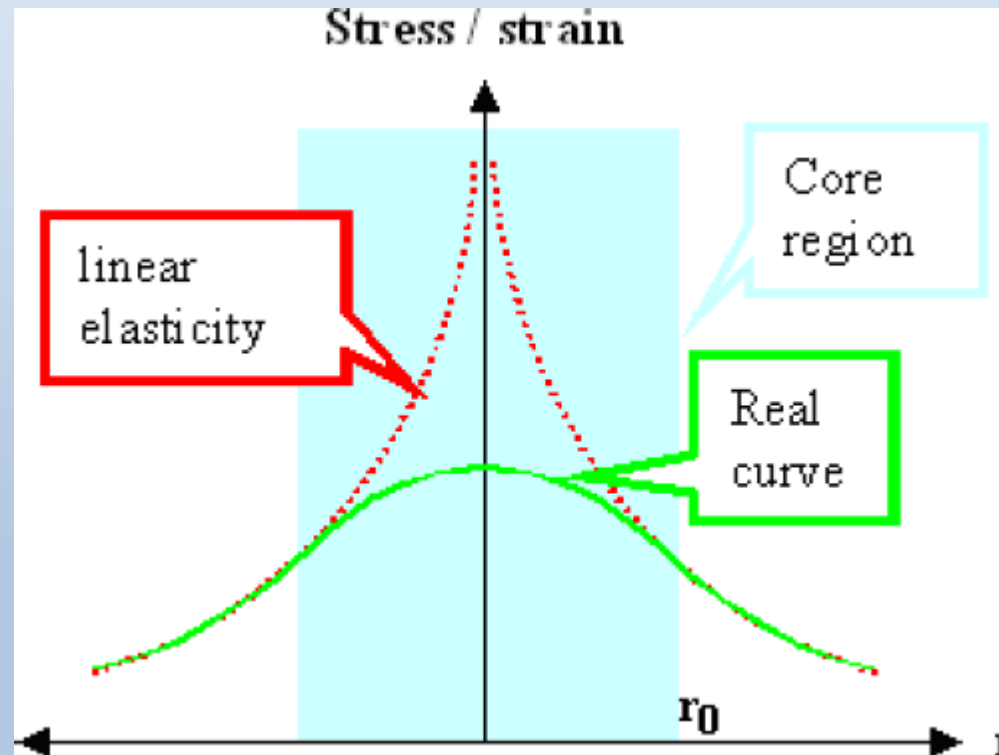
$$\begin{aligned}\varepsilon_{xx} &= \frac{\partial u_x}{\partial x} = \varepsilon_{yy} = \varepsilon_{zz} = \varepsilon_{xy} = \varepsilon_{yx} = 0 \\ \varepsilon_{xz} &= \frac{1}{2} \left[\frac{\partial u_z}{\partial x} + \frac{\partial u_x}{\partial z} \right] = -\frac{b}{4\pi} \cdot \frac{y}{x^2 + y^2} = -\frac{b}{4\pi} \cdot \frac{\sin \theta}{r} \\ \varepsilon_{yz} &= \frac{1}{2} \left[\frac{\partial u_z}{\partial y} + \frac{\partial u_y}{\partial z} \right] = \frac{b}{4\pi} \cdot \frac{x}{x^2 + y^2} = \frac{b}{4\pi} \cdot \frac{\cos \theta}{r}\end{aligned}$$

Karşılık gelen gerilme alanı da genelleştirilmiş Hooke yasasından kolayca elde edilir. ($G=C_{44}$)

$$\sigma_{\alpha} = C_{\alpha\beta} \varepsilon_{\beta} = C_{\alpha\beta}(\text{cubic}) \cdot \varepsilon_{\beta} = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{12} & 0 & 0 & 0 \\ c_{12} & c_{11} & c_{12} & 0 & 0 & 0 \\ c_{12} & c_{12} & c_{11} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & c_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & c_{44} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & c_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \frac{b}{2\pi} \cdot \frac{\cos \theta}{r} \\ -\frac{b}{2\pi} \cdot \frac{\sin \theta}{r} \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \frac{C_{44}b}{2\pi} \cdot \frac{\cos \theta}{r} \\ -\frac{C_{44}b}{2\pi} \cdot \frac{\sin \theta}{r} \\ 0 \end{bmatrix}$$

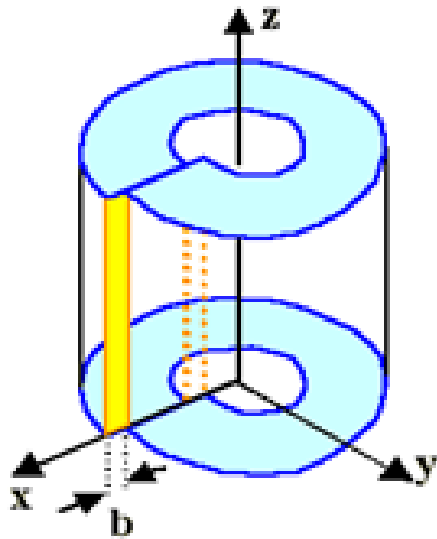
Silindirik koordinatlarda

$$\sigma_{rz} = \sigma_{xz} \cos \theta + \sigma_{yz} \sin \theta = 0, \sigma_{\theta z} = -\sigma_{xz} \sin \theta + \sigma_{yz} \cos \theta = \frac{Gb}{2\pi r}$$



Kenar Dislokasyonu

Bir kenar dislokasyonunun gerilme alanı ayrıca bir silindirde uygun bir kesim olarak gösterilebilir. Z-yönündeki yer değiştirme ve genlemeler sıfırdır ve deformasyon bir "düzlem genleme" dir.



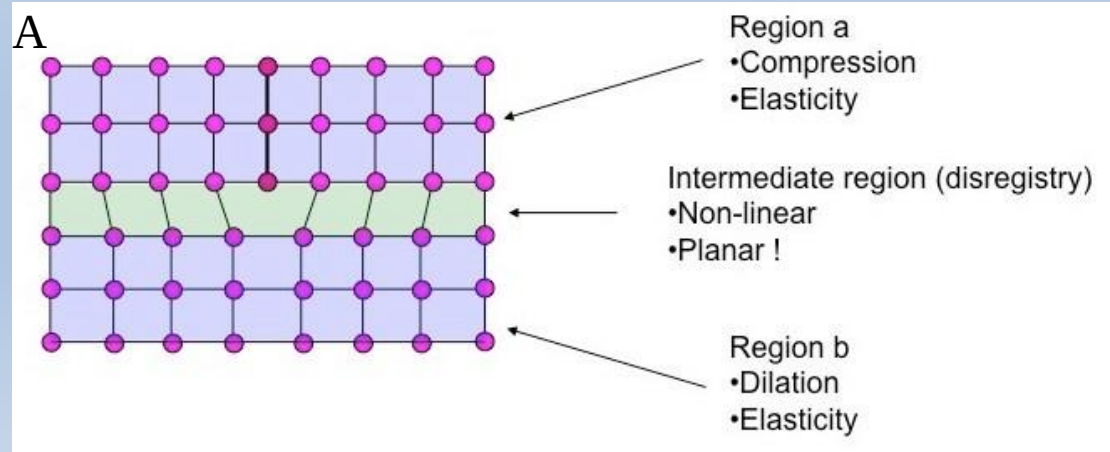
Kenar dislokasyonun gerilme alanı (hem dilatasyon hem de kesme bileşenlerine sahip olan) olarak gösterilebilir.

$$\sigma_{xx} = -D \cdot y \frac{3x^2 + y^2}{(x^2 + y^2)^2}, \quad \sigma_{yy} = D \cdot y \frac{x^2 - y^2}{(x^2 + y^2)^2}, \quad \sigma_{xy} = \sigma_{yx} = D \cdot x \frac{x^2 - y^2}{(x^2 + y^2)^2}$$

$$D = Gb / [2\pi(1 - \nu)]$$

Kenar dislokasyonunda Gerilme Alanı

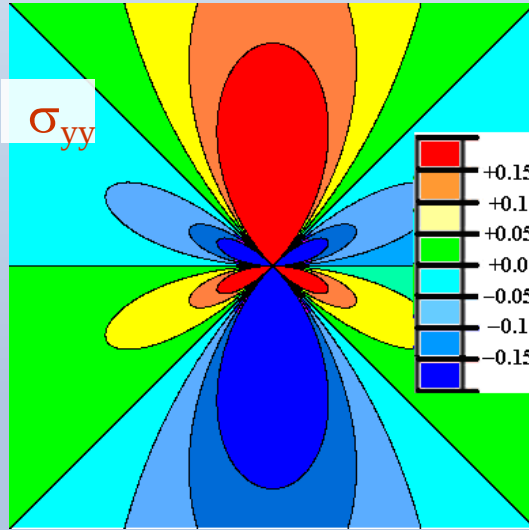
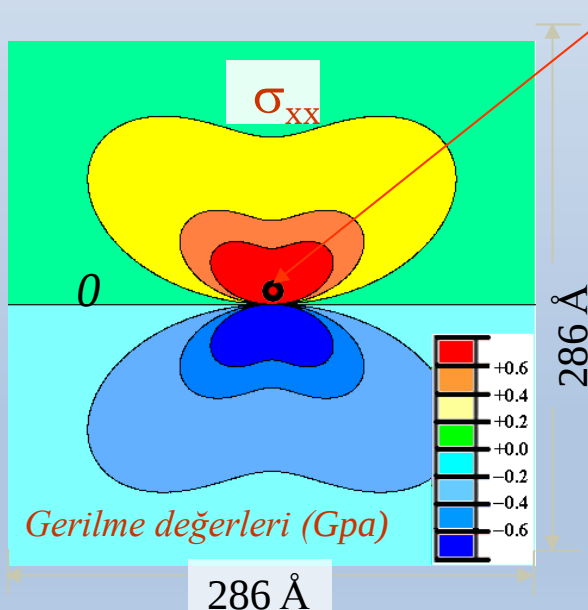
- ❑ Bir kenar dislokasyonu , *ekstra yarım düzlemin bölgesi* etrafında ve kayma düzleminin üzerinde bir **basma gerilme** alanı oluşturur ve kayma düzleminin altındaki *eksik yarı düzlemin bölgesinin* etrafında ise bir **çekme gerilme** alanı oluşturur.
- ❑ $x = 0, y = 0$ 'da tekilliğe sahip çekirdek bölge bu denklemlerde göz ardı edilir.
- ❑ Dislokasyonların gerilme alanlarının (i) dıştan uygulanan kuvvetlerle ve (ii) diğer iç gerilme alanlarıyla etkileşimi dislokasyon hareketini yönetir.



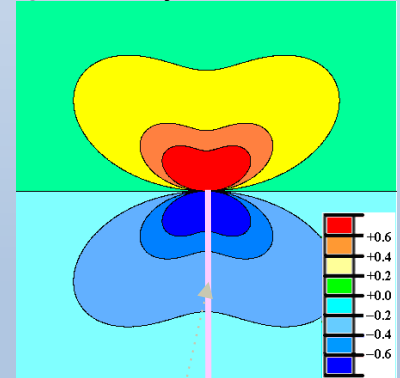
Kenar Dislokasyonu

- ❑ Dislokasyonun yakınındaki bölge, GPa mertebesinde gerilmeye sahiptir. Ancak bu gerilmeler kendi kendine streslerdir. Sonsuz bir cisimde, düz bir dislokasyon çizgisi, yalnızca kendi kendine streslerin etkisi altında hareket edemez.
- ❑ Bu nedenle, bir dislokasyon, bu 'uzun erimli' gerilme alanları aracılığıyla malzemedeki diğer kusurlarla etkileşime girmelidir.

Dislokasyon çizgisinin konumu → düzlem içinde



Çekme yarı alanı



Extra Yarı Düzlem
Basma yarı alanı

$$\sigma_{xx} = \frac{Gb}{2\pi(1-\nu)} \frac{y(3x^2 + y^2)}{(x^2 + y^2)^2}$$

$$\sigma_{yy} = \frac{-Gb}{2\pi(1-\nu)} \frac{y(x^2 - y^2)}{(x^2 + y^2)^2}$$

Bir Dislokasyonun Enerjisi

- ❑ Bir kristaldeki dislokasyon, bağları bozar ve kristale enerji harcar.
- ❑ Deformasyon enerjisi, dislokasyon çizgisinin birim uzunluğu başına Enerji olarak ifade edilir.
→ Birim: [J / m].
- ❑ Bir kenar dislokasyonu, basma ve çekme gerilme alanları oluşturabilirken, bir vida dislokasyonu yalnızca kayma gerilme alanları oluşturabilir.
- ❑ Distorsiyonlar dislokasyon çizgisini yakınında çok büyüktür ve lineer elastik tanım başarısız olur. Söz konusu kristale bağlı olarak b ile $5b$ aralığında bu çekirdek bölgesinin değiştiği tahmin edilmektedir. Çekirdeğin yapısı ve enerjisi diğer yöntemlerle hesaplanmalıdır ve çekirdeğin enerjisi dislokasyonun toplam enerjisinin yaklaşık $1 / 10$ 'u kadardır.

Bir Dislokasyonun Enerjisi

Birim uzunluk başına toplam enerji E_{ul} , elastik alan olan E_{el} 'de bulunan enerji ile çekirdek E_{core} 'daki enerjinin toplamıdır. Birim hacim elemanı için genleme enerjisi.

$$\begin{aligned} E_{el}(screw) &= \int dE_{el}(screw) = \int_{r_0}^R \pi r (\sigma_{\theta z} \varepsilon_{\theta z} + \sigma_{z\theta} \varepsilon_{z\theta}) dr = \int_{r_0}^R 4\pi r G \cdot (\varepsilon_{\theta z})^2 dr \\ &= \frac{G b^2}{4\pi} \ln \frac{R}{r_0} \\ E(edge) &= \frac{G b^2}{4\pi(1-\nu)} \ln \frac{R}{r_0} \end{aligned}$$

Çekirdek enerji için en basit değer

$$E_{core} = G b^2 / 2\pi$$

- Bir kristale bir dislokasyon koymak bir enerjiye mal olur, bu nedenle dislokasyonlar mümkün olduğunca küçük bir **b**'ye sahip olma eğilimindedir .
 - dislokasyon çizgisiyle ilişkili bir **çizgisel çekme** vardır.
 - dislokasyonlar, enerjilerini azaltmak için **Kısmi dislokasyonlara** ayrışabilir

$$E_d \sim \frac{1}{2} Gb^2$$

Dislokasyonların olabildiğince küçük bir **b**'si olacak

Dislokasyonlar
(kafes öteleme açısından)

Tam **b** → Tam kafes ötelemesi

Kısmi **b** → Kısmi kafes ötelemesi

Bir kenar dislokasyonunun enerjisi)

$$E_d^{edge} \sim \frac{Gb^2}{4\pi(1-\nu)} \left[2 + \ln \left(\frac{\gamma_0}{b} \right) \right]$$

γ_0 ; kontrol hacminin boyutu $\sim 70b$

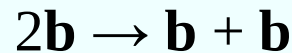
Çekirdeğin katkısı

$$E_d^{screw} \sim \frac{Gb^2}{4\pi} \left[2 + \ln \left(\frac{\gamma_0}{b} \right) \right]$$

Bir Dislokasyonun Ayrılması

Dislokasyonlar, enerji maliyetlerini düşürmek için kısmi dislokasyonlara ayrışır.

Şöyle bir reaksiyon düşünelim:



Enerjideki değişim:

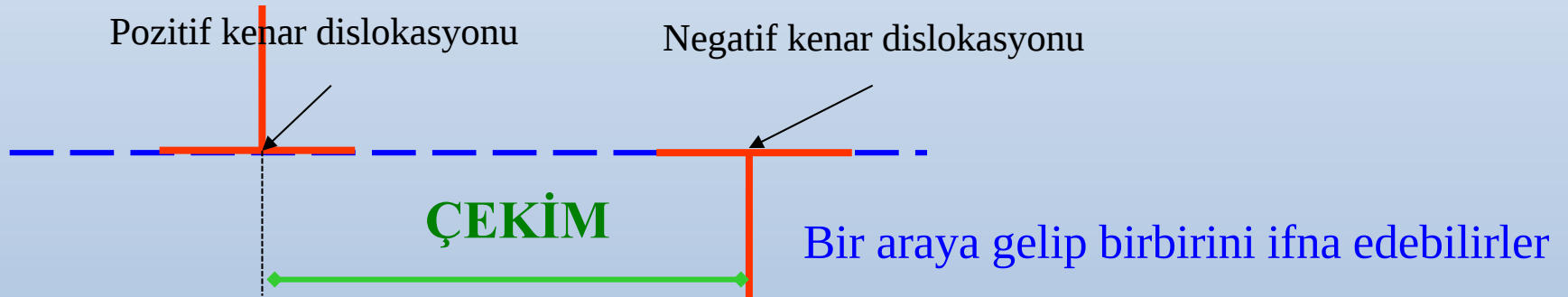
$$\begin{aligned} G(2b)^2/2 &\rightarrow 2[G(b)^2/2] \\ &= G(b)^2 \end{aligned}$$

⇒ Reaksiyon istenen yöndedir.

Dislokasyonlar arasındaki etkileşim

Kenar dislokasyonu

- ❑ Aynı kayma düzlemindeki kenar dislokasyonları arasındaki elastik etkileşimler Çekim veya İtme olabilir .
- ❑ Kayma düzleminin iki farklı tarafında ekstra yarı düzlemle aynı kayma düzleminde mevcut iki dislokasyonu düşünün. Biri pozitif, diğeri negatif.

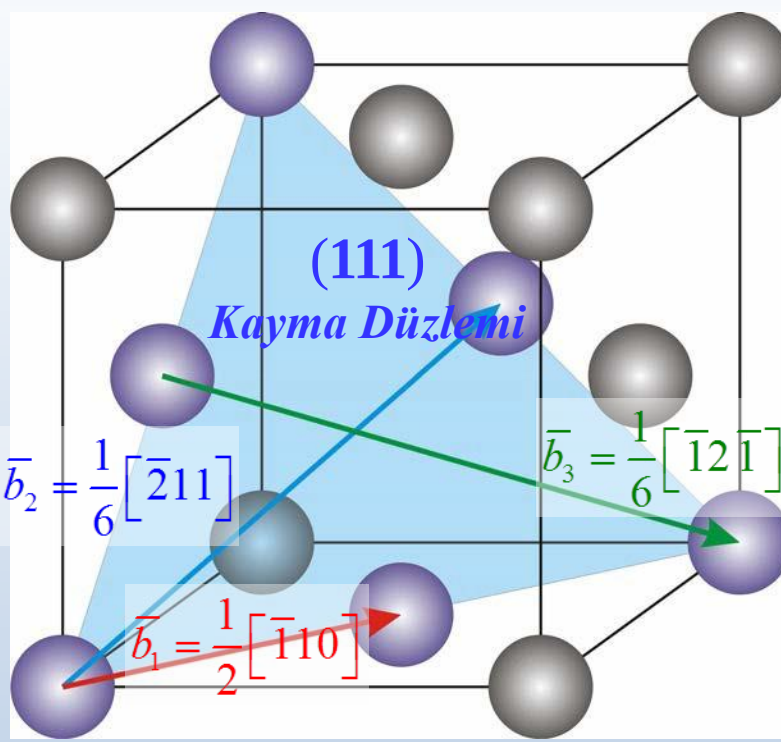


Kübik Sıkı Paket (YMK) Kristallerinde Dislokasyonlar

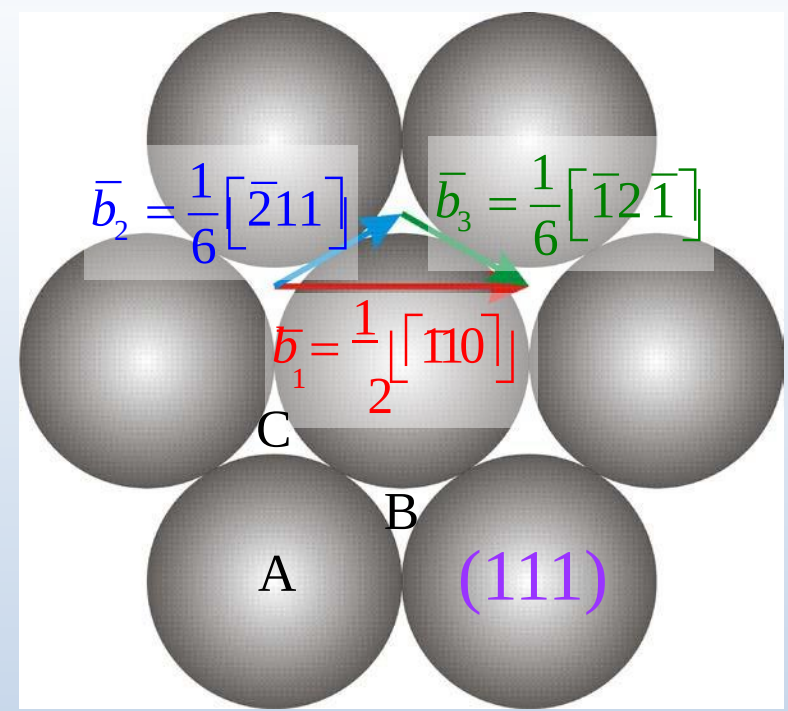
- ❑ $\langle 110 \rangle$ $\{111\}$ 'lik bir Kayma sistemini düşünün, mükemmel bir dislokasyon elastik enerjiyi azaltmak için kısmi dislokasyonlara ayrılabilir
- ❑ Bir dislokasyonun kısmi dislokasyonlara ayrılması, kayma düzlemindeki iki parça arasında bir **Dizi Hatası (Stacking Fault)** bırakır.
- ❑ İki parça birbirini iter ve olabildiğince uzağa gitmek ister, bu da enerjide artışla birlikte daha büyük bir hatalı alana yol açar. Böylelikle, Dizi hatası enerjisine bağlı olarak, kısmi dislokasyon parçaları arasında bir denge ayrımı vardır.
- ❑ Bir YMK kristalindeki Shockley kısmi dislokasyonu, B noktalarını C noktalara bağlayan veya tersini yapan, $(1/6)$ $[211]$ burgers vektörlerine sahiptir.
- ❑ Bir YMK kristalinde saf bir kenar dislokasyonu için, 'ekstra yarı düzlem' iki atomik düzlemden oluşur. Kısmi dislokasyonların her biri bir 'ekstra' atom düzleminde oluşur. **Kısmi Dislokasyonun Burgers vektörü, dislokasyon çizgisine dik değildir.**

YMK

**Kusursuz
Bir Kenar
Disl. ve
Shockley
Kısmi
Dislokas-
yonları**



Açıklık için bazı atomlar ihmal edildi



$$\left(\frac{1}{2}[\bar{1}10] \right)_{(111)} \rightarrow \left(\frac{1}{6}[\bar{1}2\bar{1}] \right)_{(111)} + \left(\frac{1}{6}[\bar{2}11] \right)_{(111)}$$

Shockley Kısmi Disl.

$$|\bar{b}_2| = \left(\frac{\sqrt{\bar{1}^2 + 2^2 + \bar{1}^2}}{6} \right)^2 = \left(\frac{\sqrt{6}}{6} \right)^2 = \frac{1}{6}$$

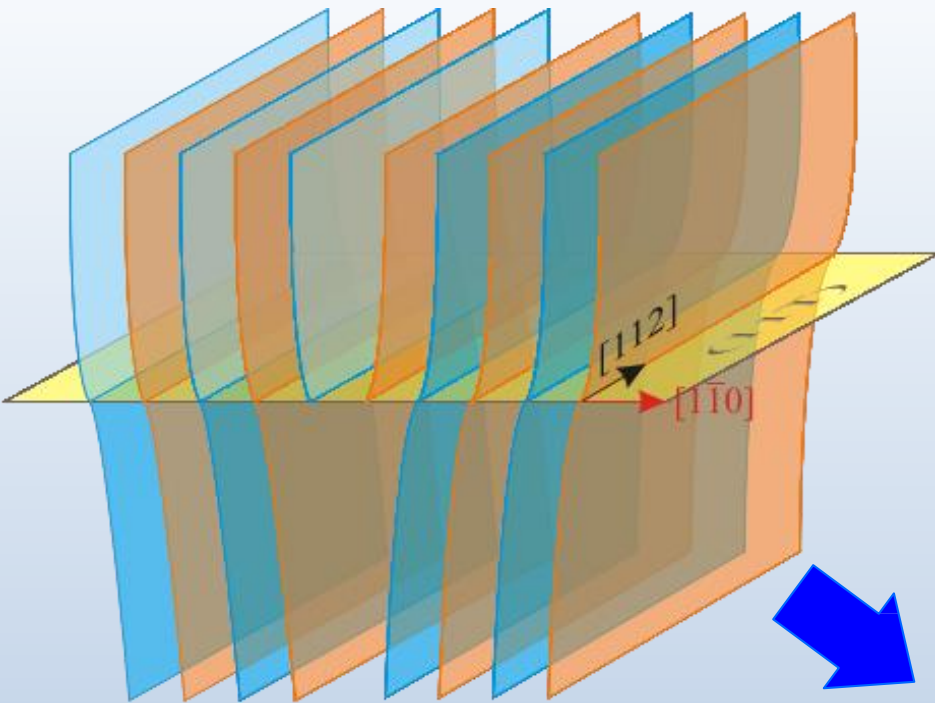
$$(b_2^2 + b_3^2) = 1/6 + 1/6 = 1/3$$

$$b_1^2 > (b_2^2 + b_3^2)$$

$$1/2 > 1/3$$

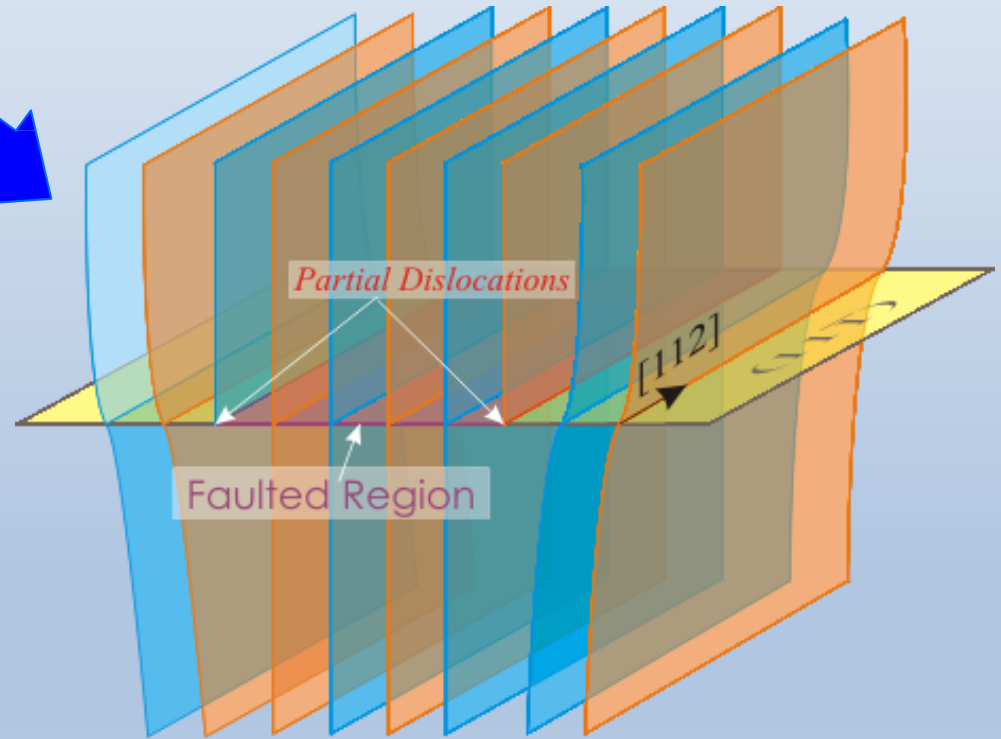
Dislokasyonun enerjisi b^2 ile orantılıdır

*Elastik enerjiyi azaltmak için,
mükemmel dislokasyon iki parçaya
bölünecektir.*



Shockley Kısmi Disl.

*İki atomik 'ekstra yarım' düzlem
ile mükemmel kenar
dislokasyonu ('tam' Burgers
vektörü)*



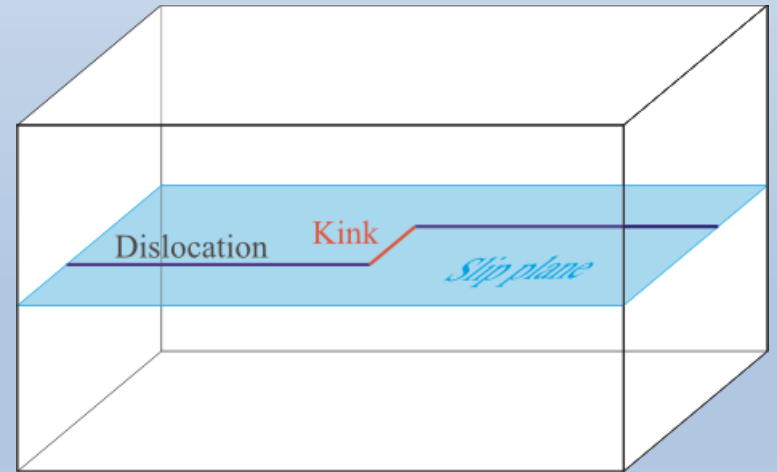
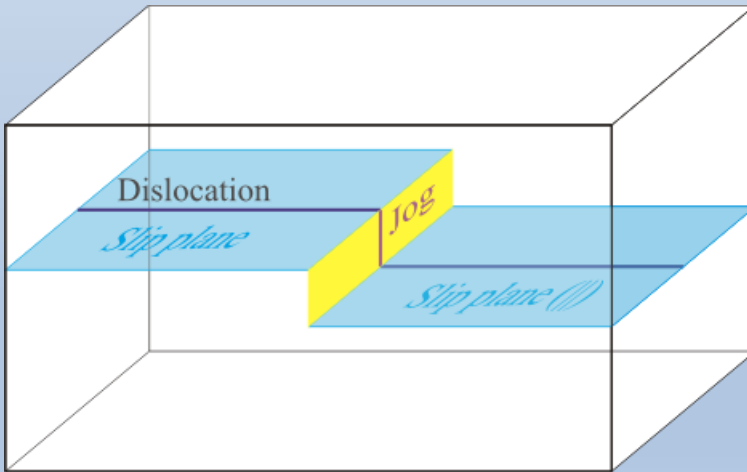
*Kısmi dislokasyonlar: her biri bir
atomik 'ekstra yarım' düzleme sahip*

Dislokasyon Yoğunluğunun Tipik Değerleri

- ❑ Dislokasyon yoğunluğu, bir malzemenin bir miktarında kaç tane dislokasyon bulunduğunun bir ölçüsüdür.
- ❑ Dislokasyon yoğunluğu: birim hacim başına toplam dislokasyon uzunluğu. Dolayısıyla birim $[m/m^3]$. 'tür.
- ❑ Tavlı kristal: dislokasyon yoğunluğu (ρ) $\sim 10^8 - 10^{10} m/m^3$
- ❑ Soğuk deforme edilmiş kristal: $\rho \sim 10^{12} - 10^{14} m/m^3$
- ❑ Dislokasyon yoğunluğu arttıkça kristalin dayanımını artar.

Jog and Kink'ler

- ❑ Düz bir dislokasyon çizgisinde bir kırılma olabilir:
 - Bir jog, dislokasyonu mevcut kayma düzleminde çıkarır (→ *paralel baka bir düzleme*)
 - Bir Kink, dislokasyonu kayma düzleminde bırakır
- ❑ Jog ve Kink, dislokasyon çizgisindeki bir kusur olarak düşünülebilir.
- ❑ Jog ve Kinkler düz dislokasyonların kesişmesiyle üretilebilir .



Jog'lar

- ❑ Bir dislokasyon çizgisinde bir jogun varlığı, kristalin enerjisini arttırır.
- ❑ Birim uzunluk başına bir jogun enerjisi, dislokasyondan daha azdır (çünkü bu, dislokasyonun çekirdeğine yakın distorsiyonlu bölgede bulunur).
- ❑ Bu enerji metaller için yaklaşık 0.5-1.0 eV ($\sim 10^{-19}$ J)'dir.

$$E_{Jog} = \alpha G b_1^2 b_2$$

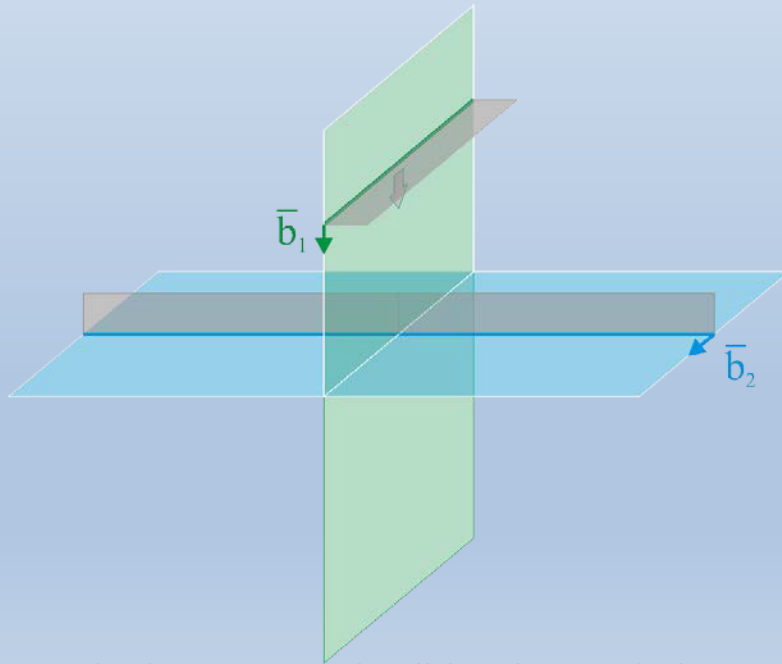
- $\mathbf{b}_1 \rightarrow$ Dislokasyonun Burger vektörü
- $\mathbf{b}_2 \rightarrow$ Jogun uzunluğu
- $\alpha \rightarrow \in (0.5-1.0)$ değerinde bir sabit

Dislokasyon- dislokasyon Etkileşimleri

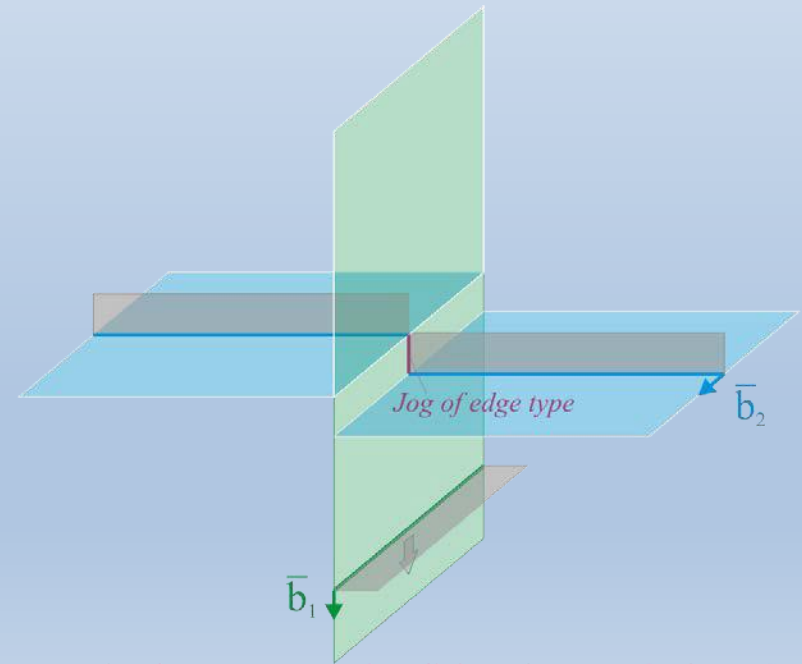
- ❑ İki düz dislokasyon, dislokasyon çizgisinde Jogs ve Kinks'i meydana getirmek üzere kesişebilir.
- ❑ Bir dislokasyon çizgisindeki bu ekstra segmentler enerjiye mal olur ve dolayısıyla malzemenin sertleşmesiyle sonuçlanacak şekilde harici kuvvet $\Rightarrow$ tarafından yapılan işin artmasını gerektirir.
- ❑ (Jog / Kink'i oluşturmak için dislokasyon hattını kaydırmak için gereken gerilmeye kıyasla ek gerilme uygulamak gereklidir).

(1) Kenar-Kenar Kesişimi *Dikey Burger vektör*

- ❑ Hareketin kenar karakteri vardır ve (Burgers vektörü = $\mathbf{b}_2$ ile) kayabilir
- ❑ Jog'un uzunluğu = $\mathbf{b}_1$.
- ❑ Kenar Dislokasyonu-1 (Burgers vektör $\mathbf{b}_1$) $\mathbf{b}_2$ 'den etkilenmez $\mathbf{b}_2 \parallel \mathbf{t}_1$
- ❑ Kenar Dislokasyonu-2 (Burgers vektörü $\mathbf{b}_2$) $\rightarrow$ Jog (Kenar karakteri) $\rightarrow$ Uzunluk $\parallel \mathbf{b}_1$



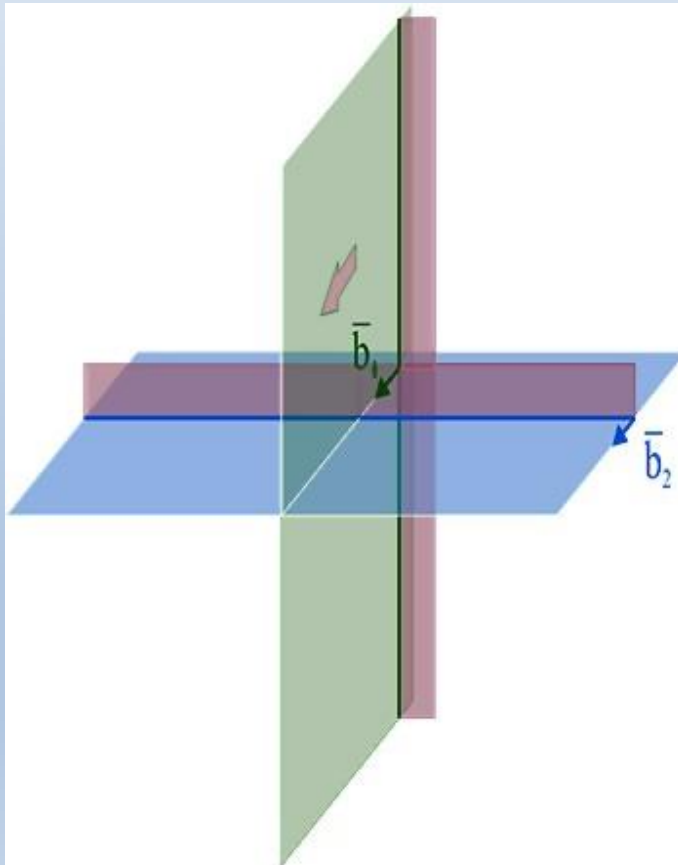
Intersection between two edge dislocations producing a Jog



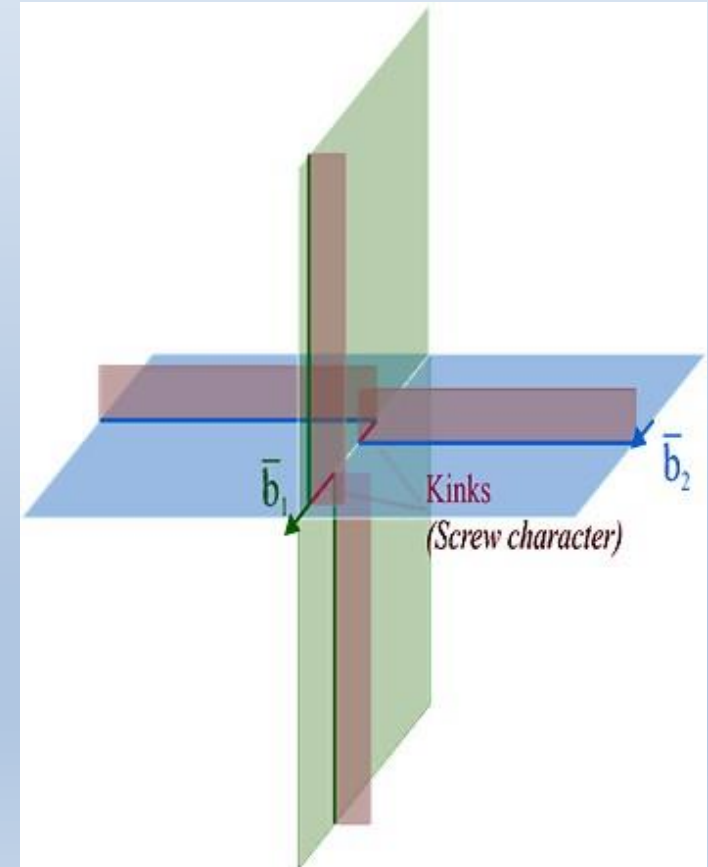
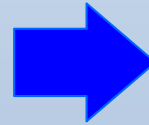
Intersection between two edge dislocations producing a Jog

(2) Kenar-Kenar Kesişimi *Paralel Burger vektörü*

- ❑ Her iki dislokasyon da kink yapmış.
- ❑ Kenar Dislokasyonu-1 ($\mathbf{b}_1$) → Bükülme (Vida karakteri) → Uzunluk $|\mathbf{b}_2|$
- ❑ Kenar Dislokasyonu-2 ($\mathbf{b}_2$) → Bükülme (Vida karakteri) → Uzunluk $|\mathbf{b}_1|$
- ❑ Kinkler kayabilir



Intersection between two edge dislocations

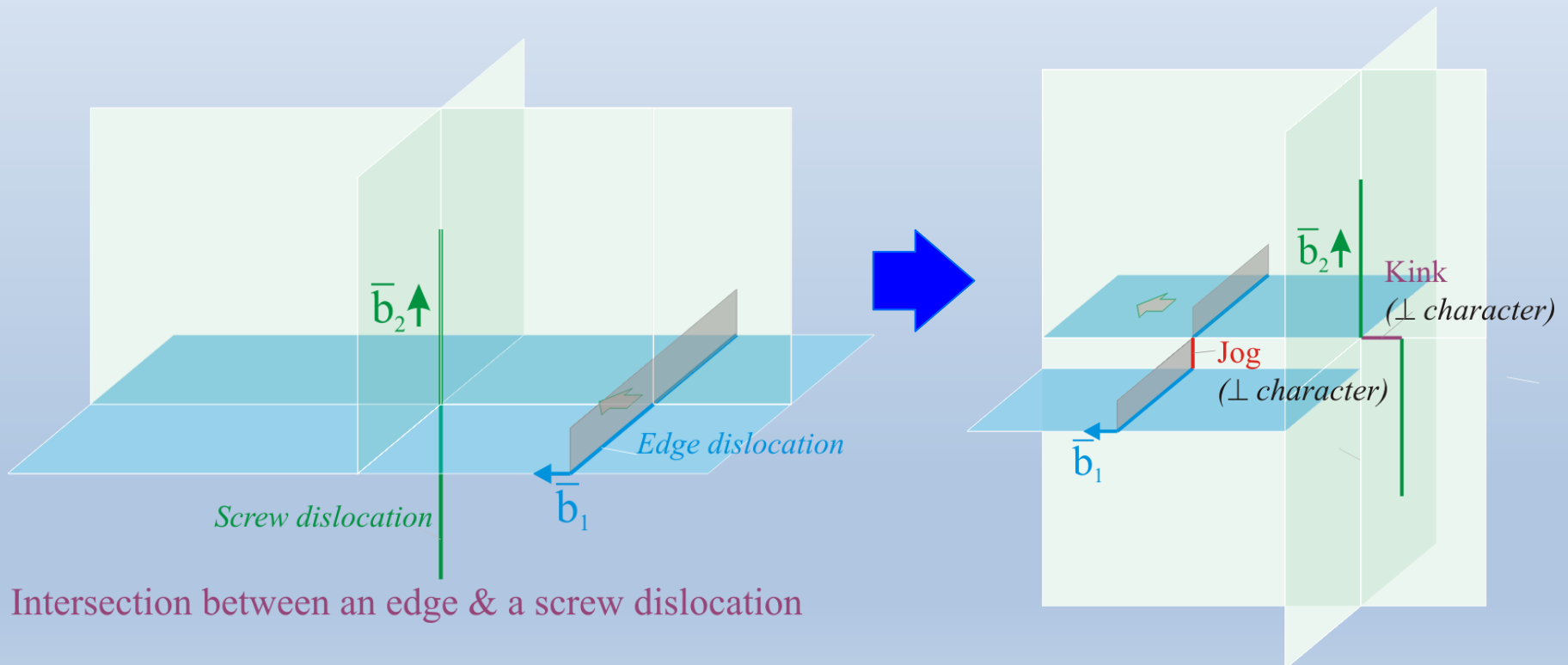


Intersection between two edge dislocations

(3) Kenar-Vida Kesişimi

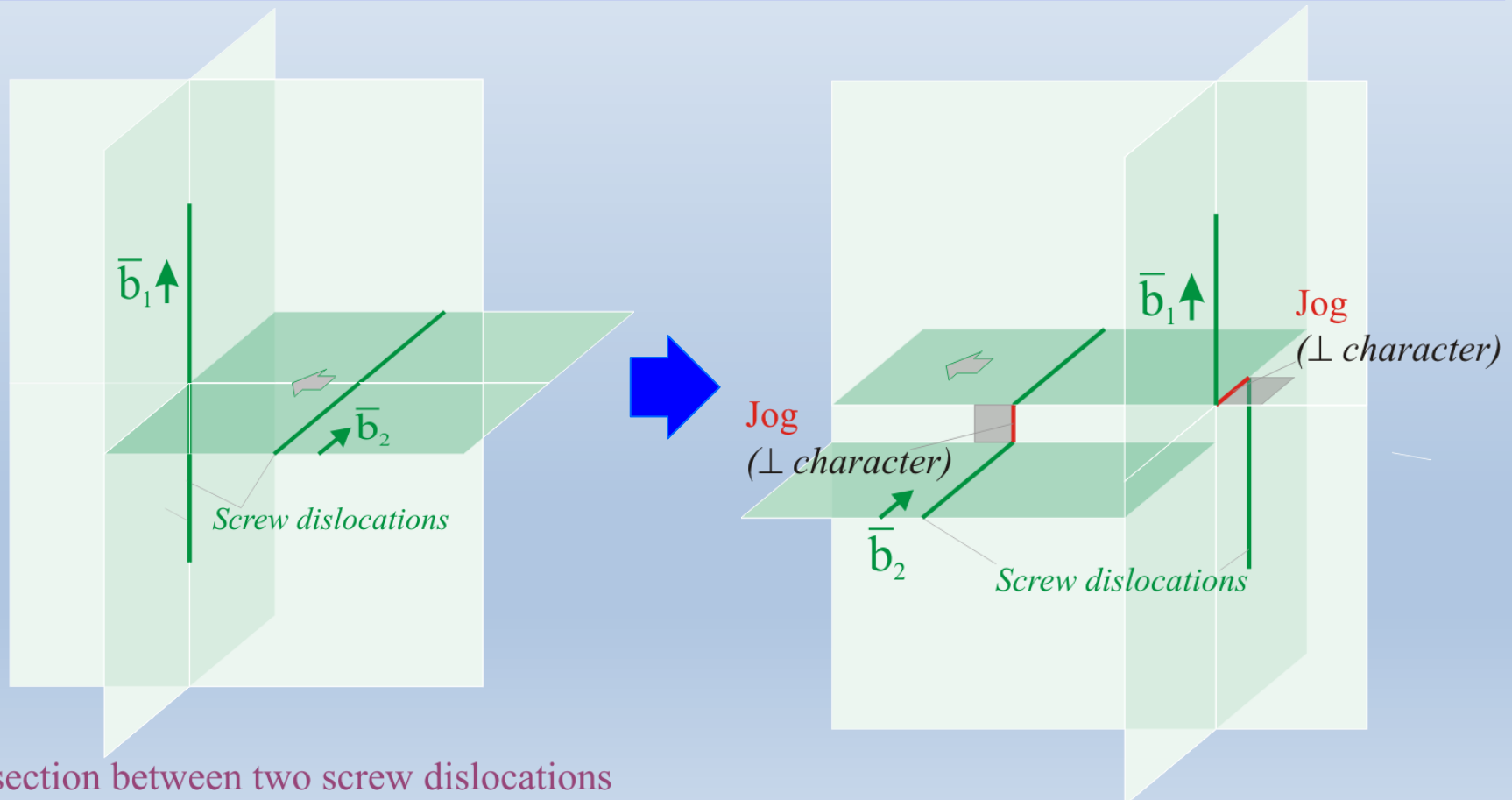
Dikey Burger vektör

- ❑ Kenar Dislokasyonu ($\mathbf{b}_1$) → Jog (Kenar Karakteri) → Uzunluk $|\mathbf{b}_2|$
- ❑ Vida Dislokasyonu ($\mathbf{b}_2$) → Kink (Kenar Karakteri) → Uzunluk $|\mathbf{b}_1|$



(4) Vida - Vida Keşışimi Dikey Burger vektörü

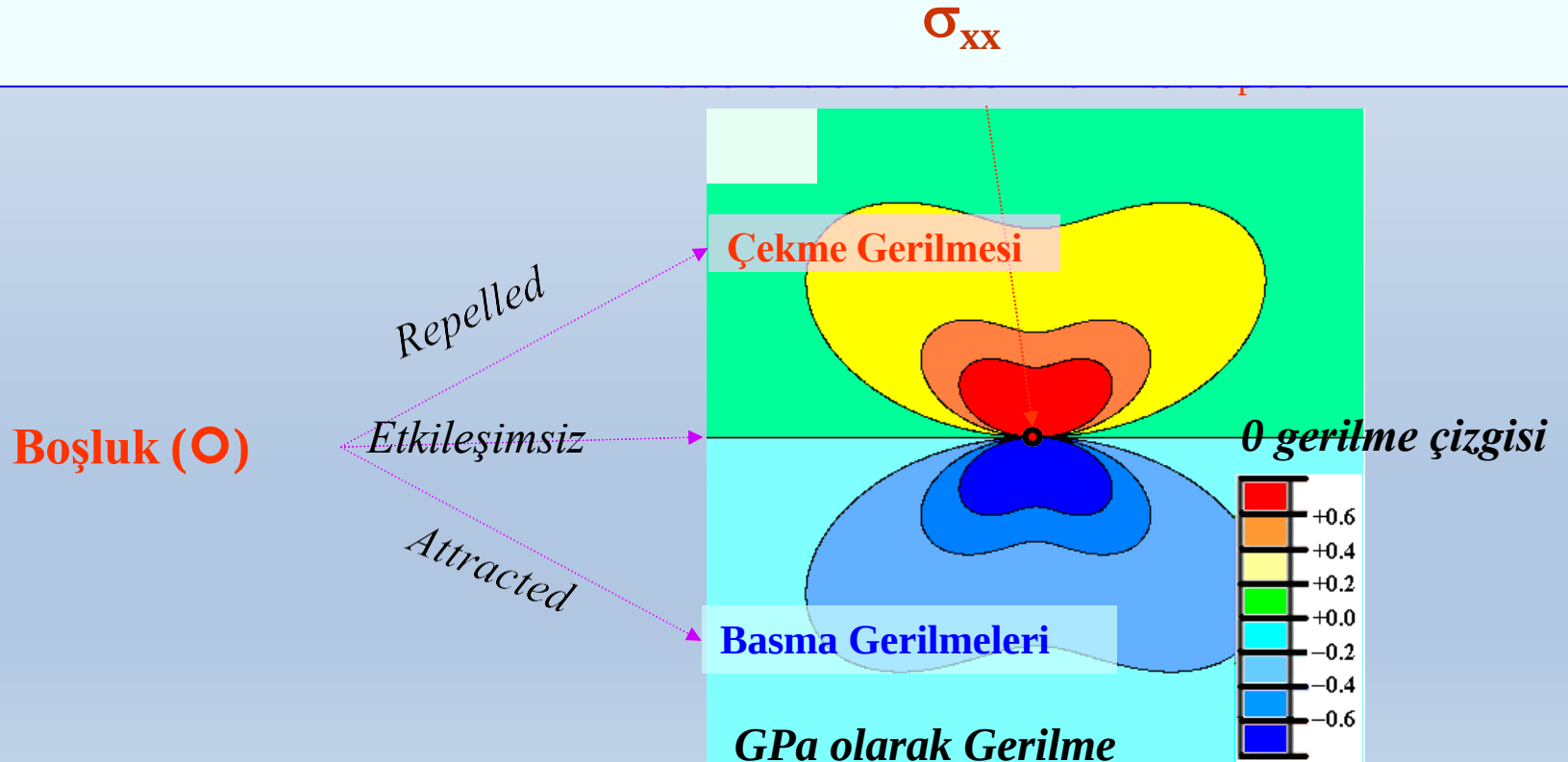
- ❑ Plastik deformasyon açısından önemli
- ❑ Vida Dislokasyonu (Burger vektörü $\mathbf{b}_1$) $\rightarrow$ Jog (Kenar Karakteri) $\rightarrow$ Uzunluk $\mathbf{b}_2$
- ❑ Vida Dislokasyonu (Burgers vektör $\mathbf{b}_2$) $\rightarrow$ Jog (Kenar Karakteri) $\rightarrow$ Uzunluk $\mathbf{b}_1$
- ❑ Her iki jog da korumacı değil-(yani dislokasyonlarla kayarak hareket edemezsiniz)



Dislokasyon-Nokta Kusur Etkileşimleri

- ❑ Dislokasyon gerilme alanı, nokta kusurlarının gerilme alanı ile etkileşime girebilir.
- ❑ Çekme gerilme alanlarıyla ilişkili kusurlar, bir kenar dislokasyonunun gerilme alanının basma bölgesine çekilir (ve bunun *tersi* de geçerlidir). Kenar dislokasyonunun merkezinde daha yüksek serbest hacim, bu ayrıştırma sürecine yardımcı olur.
- ❑ Çözünen atomlar, kenar dislokasyonunun çekirdek bölgesinde ayrılabilir → dislokasyonu hareket ettirmek için artık daha yüksek gerilme gereklidir (*sistem segregasyondan sonra düşük enerji durumundadır ve dislokasyonu enerji kuyusundan 'çekmek' için daha yüksek gerilme gereklidir.*)
- ❑ Kayma gerilmesi alanlarıyla ilişkili kusurlar (küresel olmayan bir distorsiyon alanı), bir vida dislokasyonunun gerilme alanı ile etkileşime girebilir.

- ❑ Boş yerler, bir kenar dislokasyonunun basma gerilme bölgelerine çekilir ve çekme gerilme bölgelerinden itilir
- ❑ Ana atomlardan daha küçük olan yeralan atomlarının davranışı, boş pozisyonlarınkine benzer.
- ❑ Daha büyük yeralan atomlar, kenar dislokasyonunun çekme gerilme bölgesine çekilir ve basma gerilme bölgelerden itilir.
- ❑ Arayer atomlar (basma gerilme alanları ile ilişkili) kenar dislokasyonunun çekme gerilme bölgesine doğru çekilir ve gerilme alanının basma bölgesinden itilir.

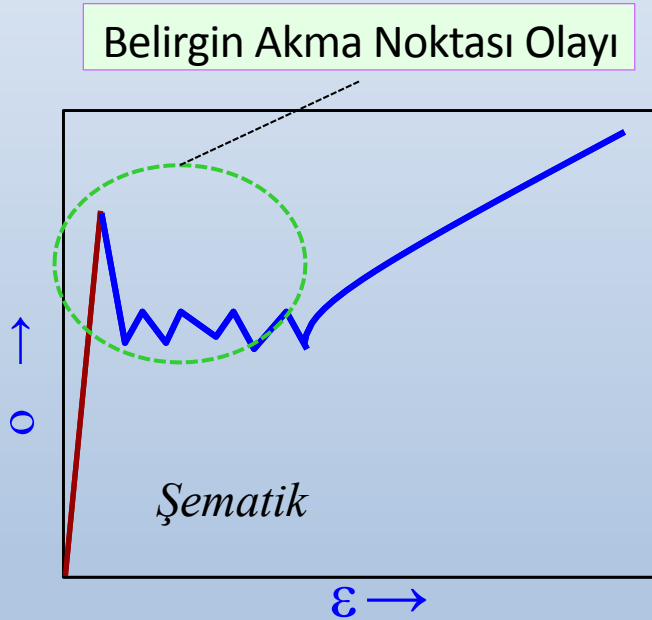


Kenar dislokasyonunun özeti - nokta kusur etkileşimleri

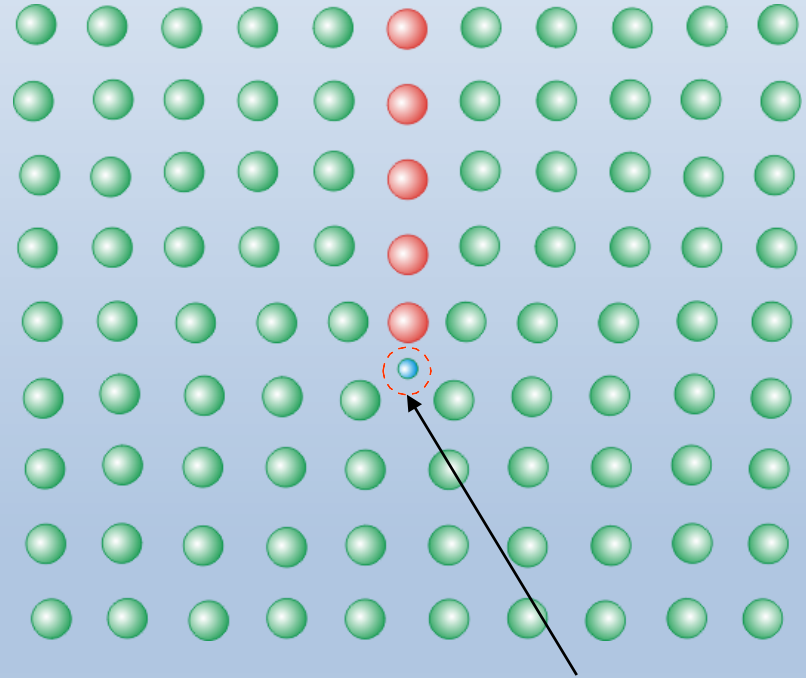
Noktasal Kusur	Çekme Bölgesi	Basma Bölgesi
Boşluk	İtilir	Çekilir
Arayer	Çekilir	İtilir
Küçük yeralan atom	İtilir	Çekilir
Büyük yeralan atom	Çekilir	İtilir

Belirgin Akma Noktası Olayı

- ❑ Yumuşak çelik numunelerin çekme testinde görülen belirgin **Akma Noktası Olayı**ndan, arayer karbon atomlarının kenar dislokasyonlarıyla etkileşimi → kenar dislokasyonlarının çekirdeğine segregasyonuna yol açar.

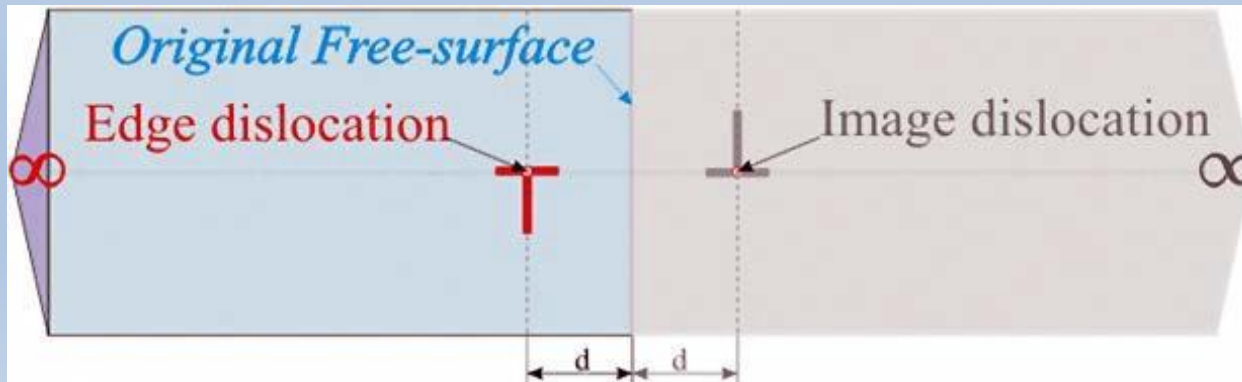


Dislokasyonların gerilme alanlarının arayer atomlarla etkileşimi



Çekirdekte arayer atom

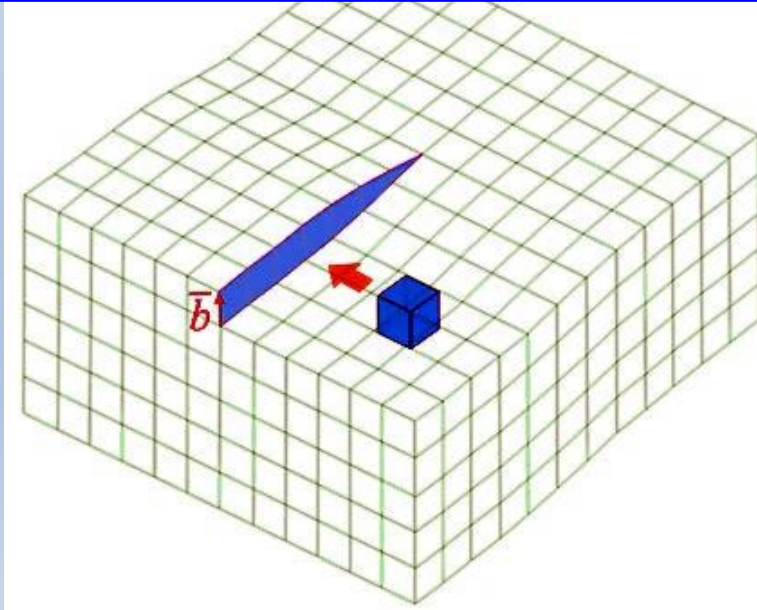
- ❑ Serbest bir yüzeyin yakınındaki bir dislokasyon, görüntü kuvveti olarak adlandırılan serbest yüzeye doğru bir kuvvet yaşar.
- ❑ Kuvvet, yüzeyin diğer tarafında negatif bir varsayımsal bir dislokasyon bulunduğu varsayılarak hesaplanabildiğinden 'görüntü kuvveti' olarak adlandırılır. Dislokasyonlar (+ & -) arasındaki çekici kuvvet bu görüntü kuvvetidir.
- ❑ Görüntü kuvveti Peierls gerilmesini aşarsa, dislokasyon kristali dış gerilme uygulanmadan kendiliğinden terk edebilir!
- ❑ Bu nedenle, serbest bir yüzeye yakın bölgeler veya nano kristaller, kendiliğinden dislokasyonsuzlaşabilir. Birden fazla yüzeyin yakınlığı nedeniyle nanokristallerde birçok görüntünün oluşturulması gerekir ve net kuvvet bu görüntü kuvvetlerinin üst üste gelmesidir.



$$F_{image} = \frac{-Gb^2}{4\pi(1-\nu)d}$$

Dislokasyon ve Kristal Büyüme

- ❑ Düşük süperdoyma altında ($\sim\%$ 1) büyüyen kristaller için büyüme hızı, ideal bir kristal için hesaplanandan önemli ölçüde daha büyüktür.
- ❑ İdeal bir kristal yüzeyinde, yeni bir tek tabakanın çekirdeklenmesindeki zorluk nedeniyle büyümedeki zorluk ortaya çıkar.
- ❑ Bir vida dislokasyonu bir kristalin yüzeyinde sona ererse, atomların eklenmesi vida dislokasyonunun yüzeyle kesiştiği nokta etrafında gerçekleşebilir (adım) $\rightarrow$ spiral (aslında sarmal) bir büyüme merdiveni modeline yol açar.



Dislokasyonların Gözlemlenmesi

Dislokasyon davranışının daha iyi anlaşılmasına yardımcı olmak için, son 25 yıl içinde çeşitli teknikler dislokasyonları gözlemlemek için kullanılmıştır.

Kimyasal(Dağlama-pit) Tekniği

- Bir dislokasyonun yüzeyle kesiştiği noktada bir çukur oluşturan dağlayıcı kullanma.
- Dislokasyonlar etrafında gerilme alanı nedeniyle kimyasal etki için tercihli bölgeler (anodik) vardır.
- Kütle örneklerde kullanılabilir ancak düşük dislokasyon yoğunluklu kristallerde sınırlı olabilir(10^4 mm^{-2}).

Not: Çukurları arasında $500 \text{ \AA}$ mesafe vardır (dislokasyon yoğunluğu 10^8 mm^{-2} iken).



Alfa pirinç kristallerindeki kayma bantlarında çukurlar

Dislokasyon tekniği ile doku oluřturma(dekorasyon)

Dislokasyon hatlarının iç yapısını elde etmek için uygun bir ısıı işleminden sonra çökelti oluşturmak üzere küçük bir miktar katışkı ilave edilir.

- Hedges and Mitchell ilk defa AgBr de
- dislokasyonları düzenlemek için fotolitik
- yöntemi kullandı.
- Nadiren metallerde kullanılır, daha çok
- iyonik kristallerde Ör. AgCl, NaCl, KCl ve CaF₂.

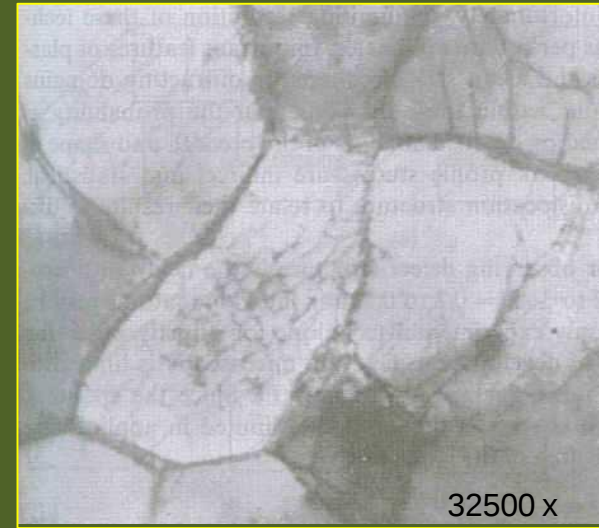


NaCl de Dekorasyon tekniği ile saptanan Hexagonal dislokasyon ağları.

Transmission electron microscope (TEM)

TEM dislokasyonlar üzerinde çalışmak için en güçlü yöntemlerden biridir.

- ~1 mm kalınlığında saçtan elektroparlatma yoluyla 100 nm kalınlığında ince bir folyo hazırlanır
- Bu ince folyo elektron mikroskopundaki elektron ışınlarına saydamdır ve tane sınırlarındaki dislokasyon ağlarının, dizi hataları, yığılmaları gözlemlemeyi mümkün kılar
- Elektron kırınımının kinematik ve dinamik teorileri kullanarak, dislokasyon sayısını, Burger vektörleri ve kayma düzlemlerini saptamak mümkündür.



Soğuk şekil değiştirmiş alüminyumda dislokasyon ağları

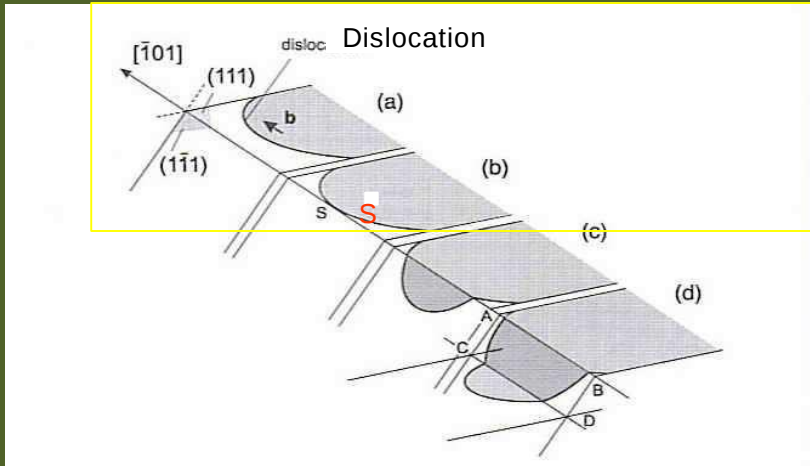
Not: örnekleme alanı küçüktür, dolayısıyla gözlenen özellikler bütün malzemeyi temsil edemez .

X-Ray Microscopy

- Bir X-ışını tekniği kullanarak dislokasyon yapısını tespit etmek.
- En yaygın teknikler Berg-Barret yansıma method ve Lang topography methodudur .
- Çözünürlük 10^3 dislokasyon/mm² ile sınırlıdır.

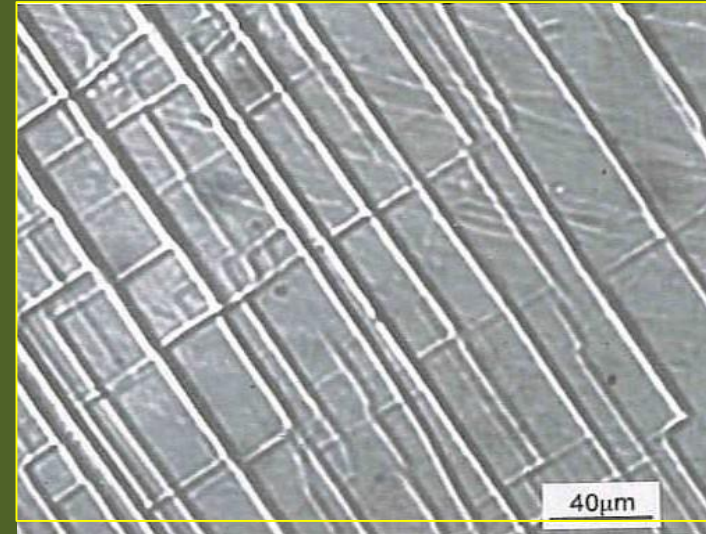
Çapraz Kayma

YMK kübik metallerde, vida dislokasyonları $\{111\}$ tipi düzlemlerde hareket ederken, eğer aynı b yönünü içeriyorsa başka bir $\{111\}$ tipi düzleme geçebilir. Bu proses **çapraz kayma** olarak bilinir



YMK kristallerde çapraz kayma

- Bir vida dislokasyonu **S** de (111) veya $(\underline{1}11)$ sıkı dizili düzlemlerden birinde kaymak için serbesttir
- Çift çapraz kayma (d) de görülmektedir



3.25% Si li demir tek kristalin parlatılmış yüzeyinde çapraz kayma

Dislokasyon ayrışması

dislokasyon ayrışması dislokasyonların enerjisi birleşik duruma göre daha fazla oluyorsa gerçekleşir. Sistem anstabil olduğunda dislokasyon iki ayrı dislokasyona ayrışır

Not: Birim enerjiye sahip bir dislokasyon, bir birim kafes aralığına eşit bir Burger vektörü olan bir dislokasyondur .

Ayrışma reaksiyonu $b_1 \rightarrow b_2 + b_3$

$b_1^2 > b_2^2 + b_3^2$ şartı gerçekleştiğinde oluşacaktır.

- Bir birim enerjili dislokasyonun burgers vektörü en yoğun atomsal dizilişin olduğu yönlere paralel olduğu zaman minimum enerjiye sahiptir.
- Yoğun dizilişe sahip kristallerde, dislokasyonların enerjisi minimum olacak şekilde ayrışması mümkün olup, kayma en kolay bu yönlerde gerçekleşir

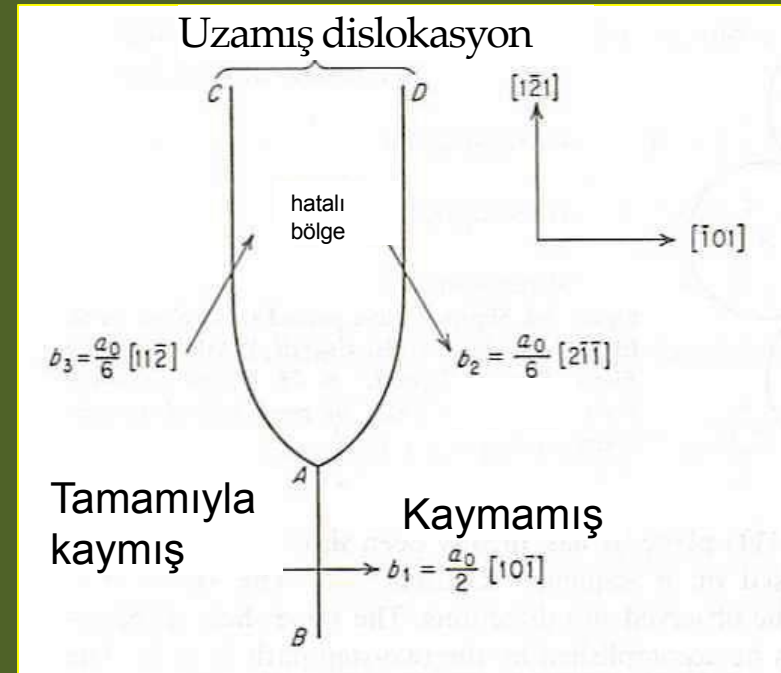
YMK kafeste Dislokasyonlar

- Kayma{111} düzlemi üzerinde $\langle 110 \rangle$ yönlerinde burgers vektörü $(a/2)[110]$ da oluşur
- {111} düzlemleri **ABCABC** sıkı paket sırasıyla dizilidir ve vektörü $b = (a_0/2)[101]$ gözlenen kayma yönlerinden birini tanımlayan dislokasyon tercihan enerjik olarak iki kısmi dislokasyona ayrışır

$$b_1 \rightarrow b_2 + b_3$$
$$\frac{a_0}{2}[101] \rightarrow \frac{a_0}{6}[2\bar{1}1] + \frac{a_0}{6}[112]$$

Shockley partials

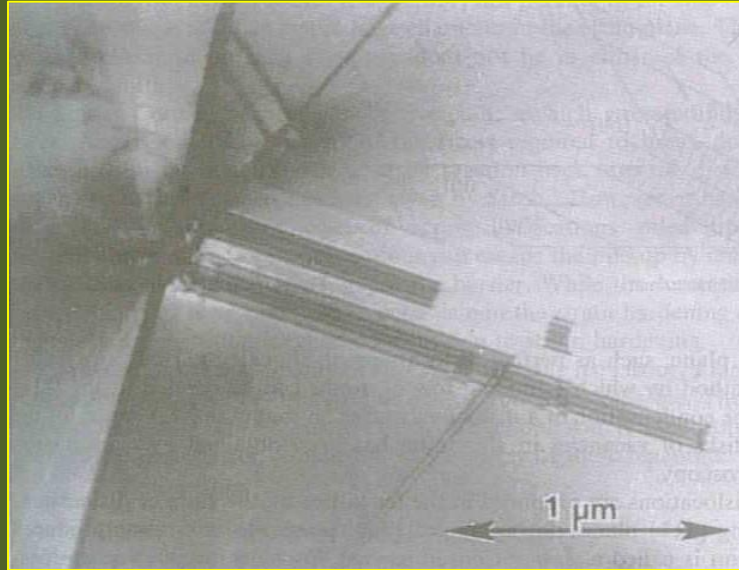
Bu **Shockley partials** bir dizi hatası olumuna yol açar **ABCAC/ABC**.



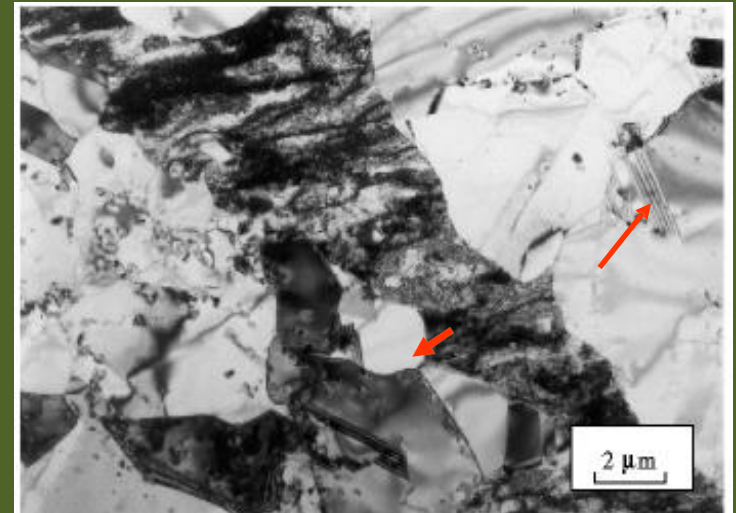
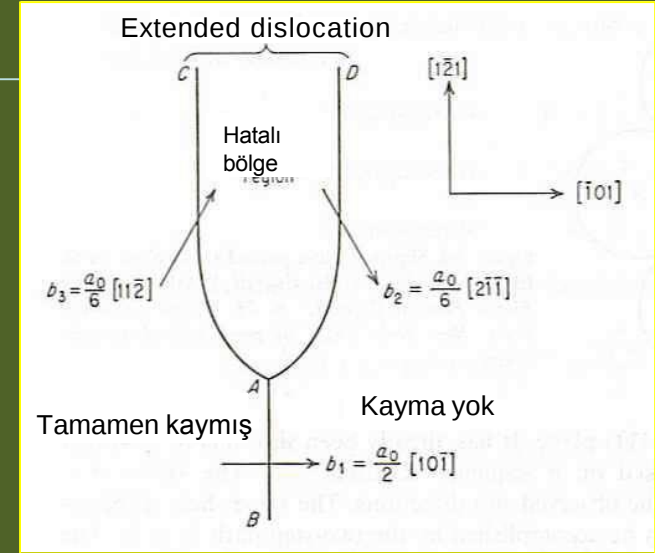
Bir dislokasyonun iki kısmi dislokasyona ayrışması

Bir dislokasyonun iki kısmi dislokasyona ayrışması

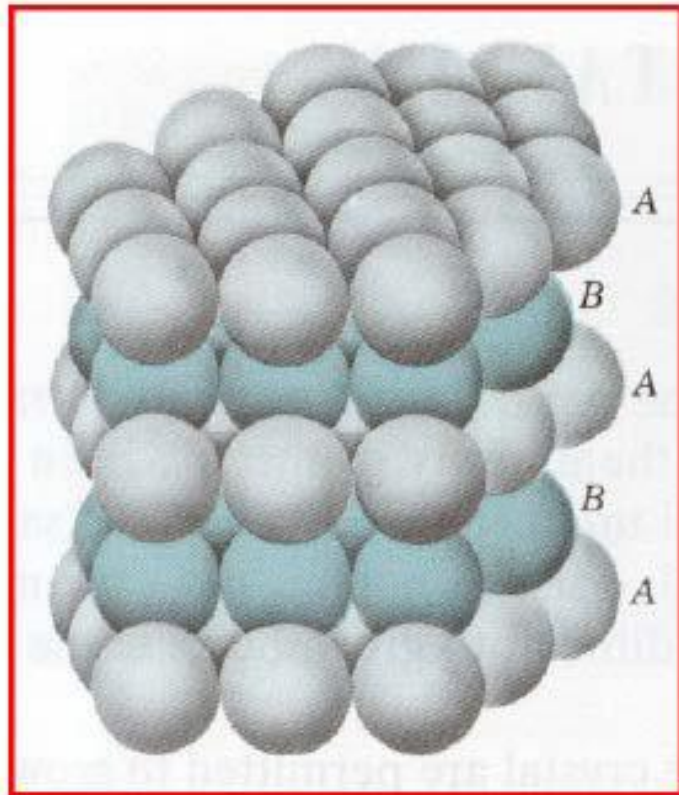
- İki kısmi parçanın kombinasyonu **AC** ve **AD** uzamış dislokasyon olarak bilinir.
- Bunların arasındaki bölge kaymaya maruz kalmış dizi hatası (**stacking fault**) denir
- Bu kısmi dislokasyonlar arası denge dizi hatası enerjisine bağlıdır



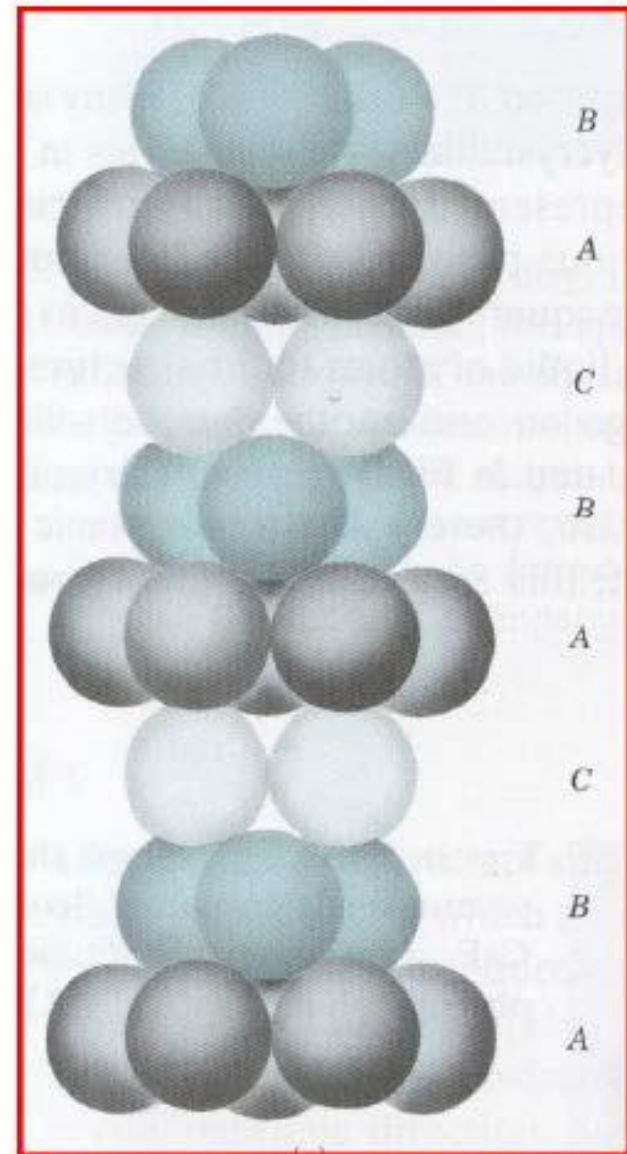
303 paslanmaz çelikte tane sınırında durmuş bir dizi stacking fault

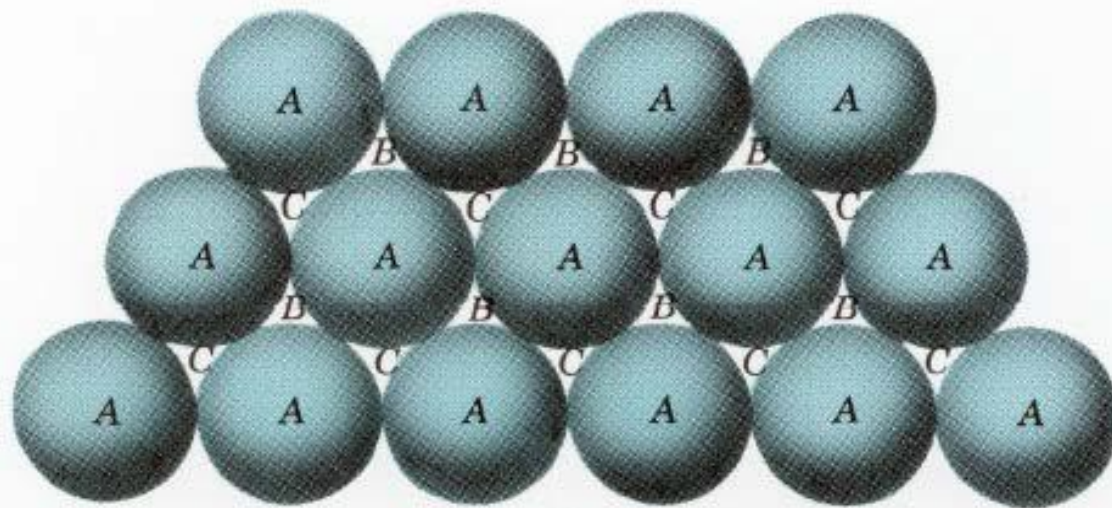


HCP



FCC



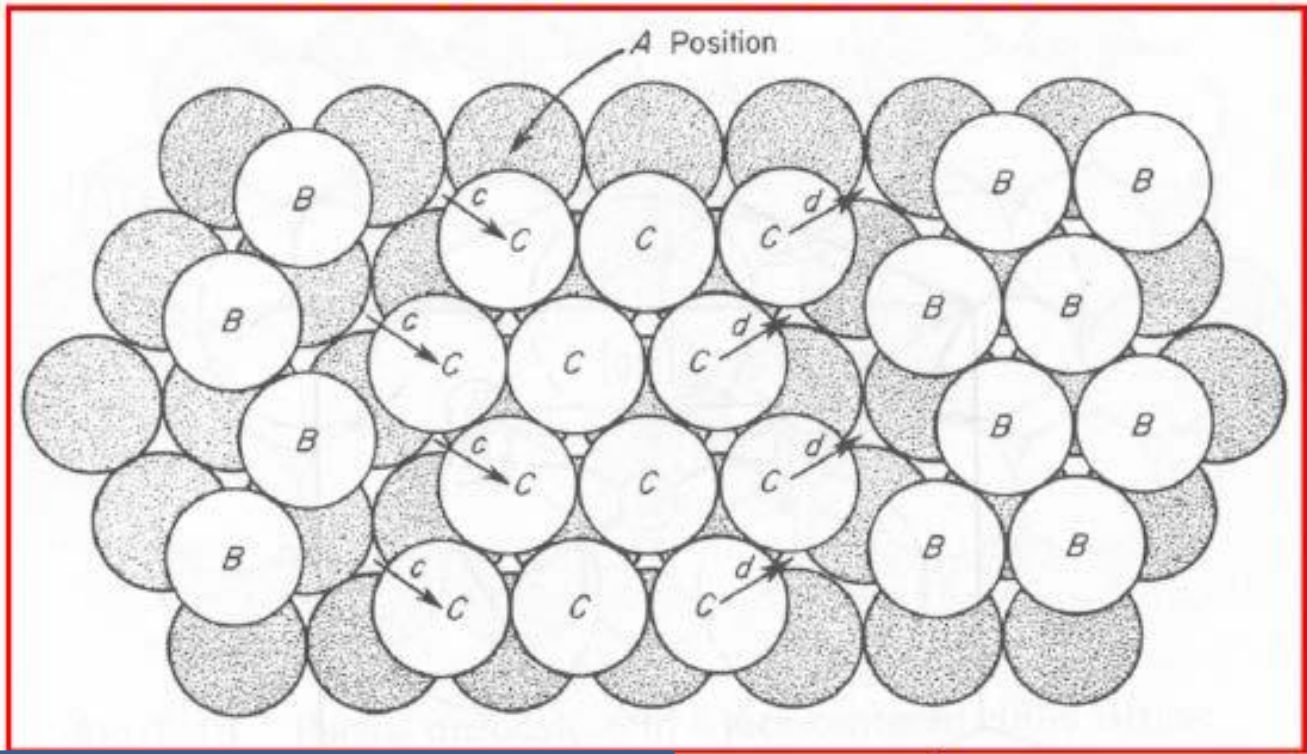


(a)



(b)

UZAMIŞ DİSLOKASYONLAR



İstiflenme Sırası,

ABCA | CABCA

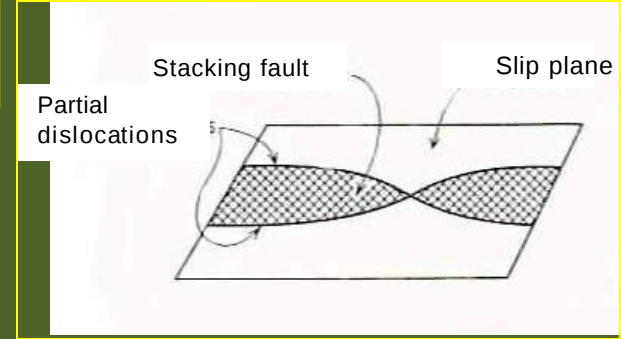
Stacking faults-dizi hatası

Kısmi dislokasyonlar arası bölge geniş olanlar düşük dizi hatası enerjisine sahiptir.

• Düşük SFE sahip metallerin özellikl

eri

- 1) Kolay pekleşirler
- 2) Tav ikizi oluşumu kolaydır
- 3) Akma gerilmesi sıcaklığa bağlıdır



İstifleme hatası modeli

Typical values of stacking fault energy

Metal m ⁻²)	Stacking fault energy (mJ
Brass	<10
303 stainless steel	8
304 stainless steel	20
310 stainless steel	45
Silver	~25
Gold	~50
Copper	~80
Nickel	~150
Aluminium	~200

• **Aluminium** – Yüksek stacking fault energy

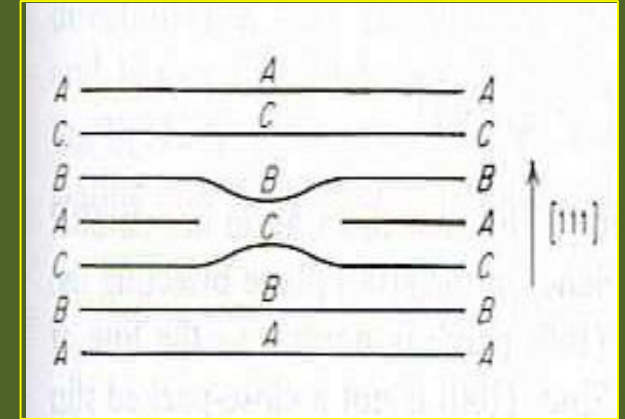
→ çapraz kayma çok etkin

• **Copper** – düşük stacking fault energy →

çapraz kayma mekanizması çalışmaz

Frank kısmi Dislokasyonları

Frank kısmi dislokasyonları diğer dislokasyonların hareketine engel sağlayan YMK kafesteki, kısmi dislokasyonların başka bir türüdür.



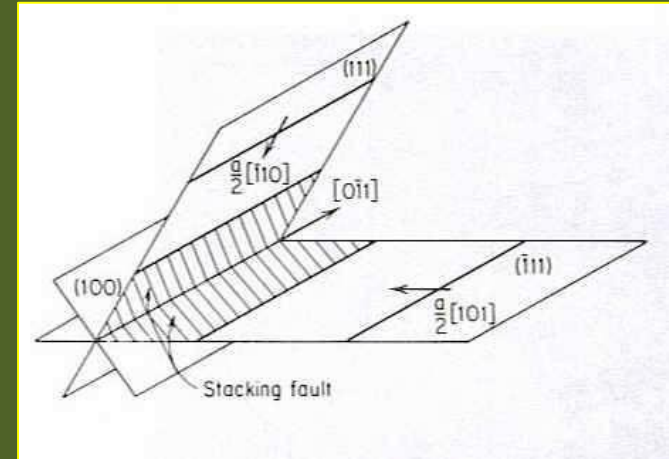
Frank kısmi dislokasyonları
yada kaymayan
dislokasyonlar.

- YMK kristal yapılarda düzlemlerden bir bölümünün yokolması veya ek olarak bir bölüm düzlemlerin dizili düzlemlerin arasına girmesiyle oluşur
- Normal dislokasyonların tersine , Frank kısmi dislokasyonlar kayamazlar ancak ısı aktivasyonu sonucu atom veya boşluk hareketiyle büyüyüp küçülürler

Lomer-Cottrell Engeli

YMK metallerde iki farklı $\{111\}$ düzleminde kayan iki farklı dislokasyonun karşılaşması /etkileşmeleri **Lomer-Cottrell engeli** olarak bilinir

Bu dislokasyonlar birbirini kitleyerek her iki düzlemde de kayamaz (pekleşme)



Lomer-Cottrell engeli

$$\frac{a_o}{2}[101] + \frac{a_o}{2}[\bar{1}10] \rightarrow \frac{a_o}{2}[011]$$

Yeni dislokasyon enerji azalması halinde oluşur

Dislokasyon kaynakları

- Tüm metaller sıvı yada buhar fazından kristal olarak katılaşıırken oluşan önemli sayıda dislokasyona sahiptir
- Sıcaklık gradyanı ve bileşim dislokasyon düzenlenmesini etkiler
- Düzensiz tane sınırlarının dislokasyonlar ürettiklerine inanılmaktadır
- Dislokasyonlar boşlukların disk yada prizmatik çevrimler meydana getirecek tarzda topaklaşması ve çökmesi sonucu oluşabilirler
- Dislokasyonların heterojen olarak üremesi ikinci faz parçalarındaki lokal gerilmeler ve faz dönüşümleri sonucu gelişebilir

Dislokasyonların Çoğalması

Frank & Read dislokasyonların mevcut dislokasyonlardan elde edilebileceğini öne sürdü

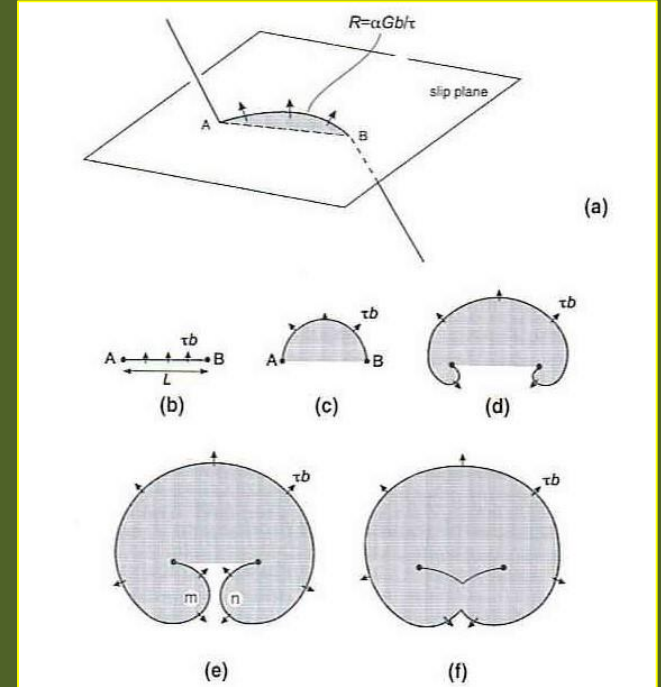
- AB dislokasyon çizgisi dışa doğru eğilir (A ve B) katışkılar tarafından sabitlenmiş-uygulanan τ kayma gerilmesi etkisiyle

- maximum τ dislokasyon çizgisinin tam yarı daire olduğunda olur

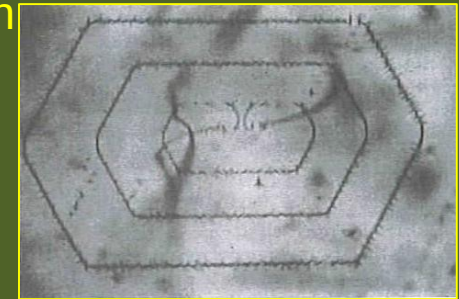
$$\tau \approx \frac{Gb}{2R} \approx \frac{Gb}{l}$$

- bu noktadan sonra dislokasyon halkası kararsız hale geçerek hızla büyüyüp genişlemesine neden olmaktadır. birbirine temas eden n noktalarında ters işaretli olduğu için birbirlerini yok etmekte segmanla halka birbirinden ayrılmaktadır

Not: tek kayma ve bir dislokasyonu halkası üreten bu sürecin tekrarı ile dis. çoğalır.



The operation of Frank-Read source



Frank Read source in a silicon crystal

Orowan Mekanizması

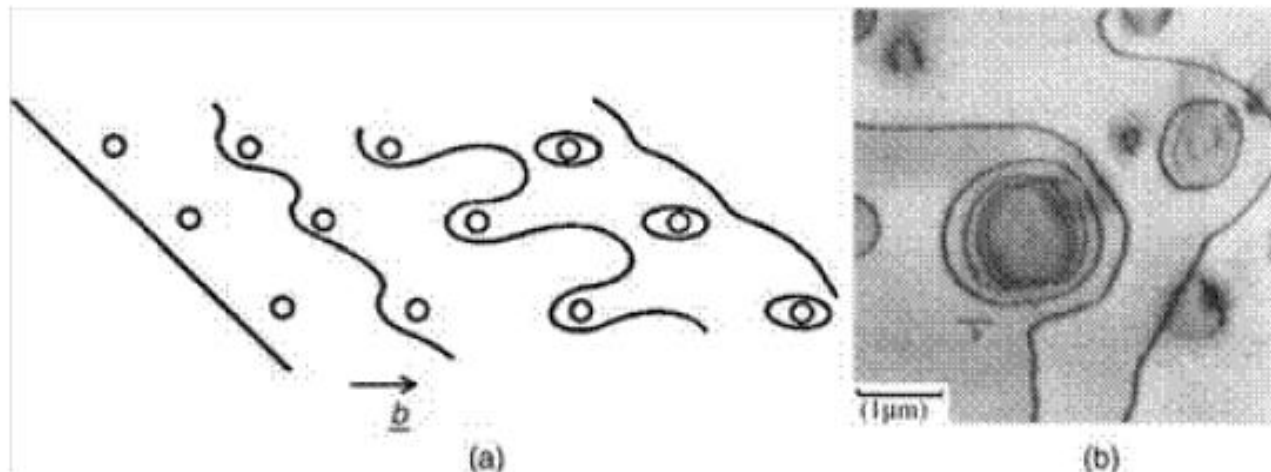
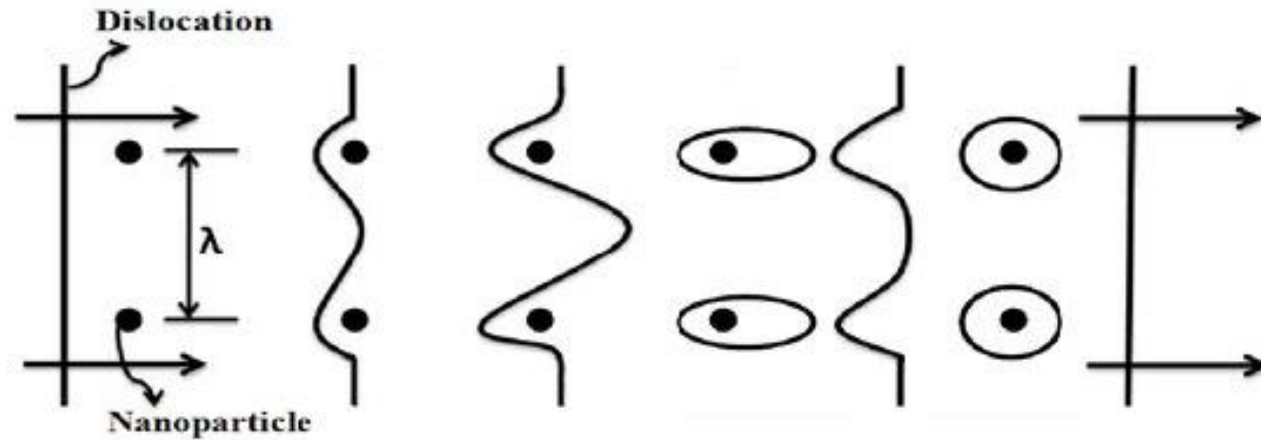


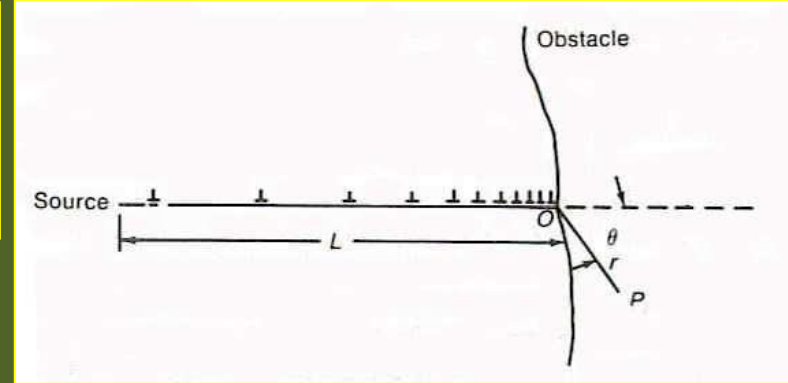
Figure 4.36 (a) A schematic illustration of dislocation line and particle interaction during the Orowan bypassing mechanism [14]. (b) A TEM image showing dislocation looping around incoherent particles [11].

Dislokasyon Yığılması

Dislokasyonlar kayma düzlemleri üzerinde tane sınırları, kayamayan dislokasyonlar, ikinci faz parçacıkları gibi engeller önünde yığılırlar.



Yüksek gerilme konsantrasyonları yığına giren dislokasyonlara etkir.



Bir engel önünde dislokasyonların yığılması

Eğer yığın gerilmesi > teorik kayma gerilmesi →→→→ AKMA

Dislokasyon kaynağına doğru gittikçe artan bir geri basınç oluşur kaynağı durdurabilir

Engelin aşılması

- 1) Yeni bir düzlemde kayma
- 2) Engel etrafında tırmanma
- 3) Engeli kesmeye yetecek yüksek bir çekme gerilmesi olması

Referanslar

- Dieter, G.E., Mechanical metallurgy, 1988, SI metric edition, McGraw-Hill, ISBN 0-07-100406-8.
- Sanford, R.J., Principles of fracture mechanics, 2003, Prentice Hall, ISBN 0-13-192992-1.
- W.D. Callister, Fundamental of materials science and engineering/ an interactive e. text., 2001, John Wiley & Sons, Inc., New York, ISBN 0-471-39551-x.
- Hull, D., Bacon, D.J., Introduction to dislocations, 2001, Fourth edition, Butterworth-Heinemann, ISBN 0-7506-4681-0.