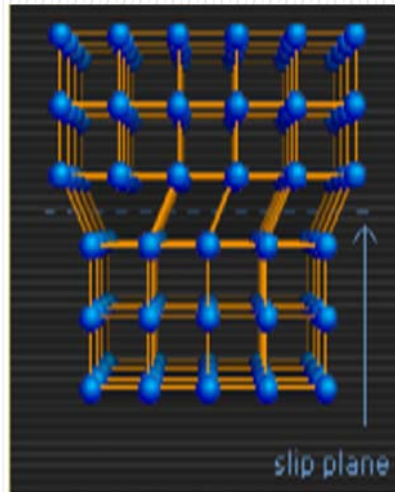


3. IMPERFECCIONES EN SÓLIDOS



MATERIALES
13/14

ÍNDICE

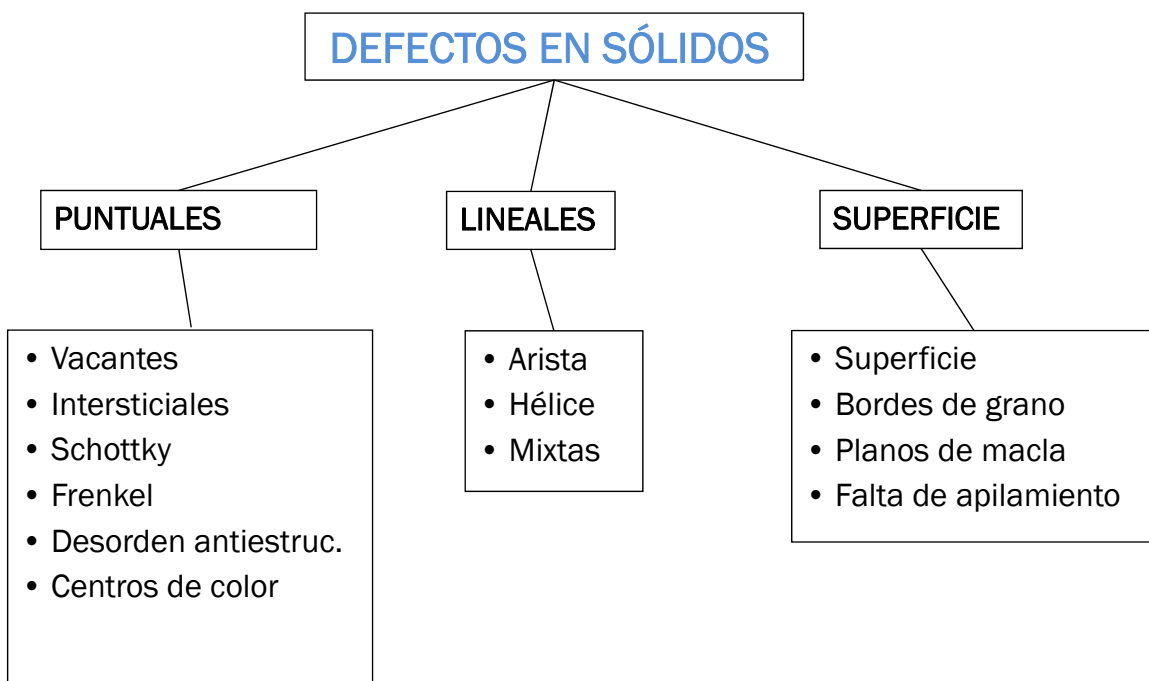
1. CONCEPTOS GENERALES
2. DEFECTOS DE PUNTO
3. DEFECTOS DE LÍNEA
4. DEFECTOS DE SUPERFICIE

1. Conceptos generales

- **Cristal perfecto:** todos los átomos en posiciones reticulares (fijas) (Sólo a 0 K)
- Cristal real:
 - Átomos vibrando
 - Existen posiciones no ocupadas
 - Átomos desplazados de posiciones ideales

3

1. Conceptos generales



4

1. Conceptos generales

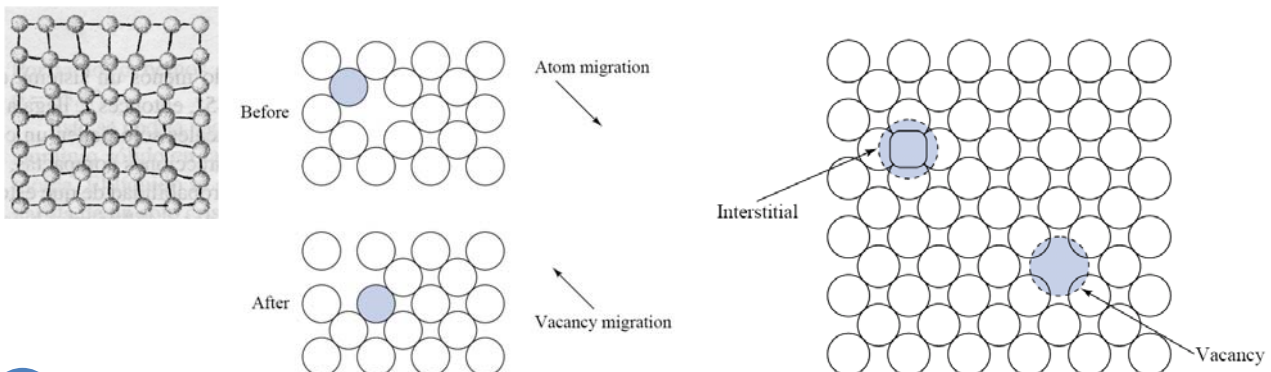
- **Defectos Puntuales:** permiten transformaciones de fase, procesos de difusión y tratamiento térmicos
- **Defectos Lineares,** dislocaciones. Permiten interpretar comportamiento de los cristales sometidos a deformación plástica
- **Defectos Extendidos:** condicionan la resistencia mecánica del cristal. Las superficies libres suponen las zonas más activas

5

2. Defectos de punto

Imperfecciones asociadas a puntos \Rightarrow DEFECTOS PUNTUALES

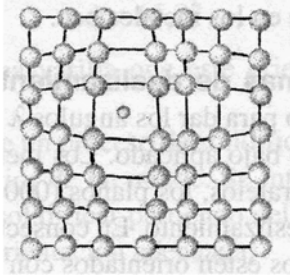
- **Vacantes** = ausencia de átomo
 - Si el cristal es iónico (vacantes, en presencia de un campo eléctrico), \Rightarrow una corriente eléctrica de signo opuesto al generado por los iones “liberados” correspondientes (*conductividad iónica*)



6

2. Defectos de punto

- **Intersticial** = átomo situado en lugar intersticial, normalmente no ocupado



Produce

- Solidificación
- Bombardeo de partículas de $\uparrow E$
- Deformación plástica
- Al $\uparrow T \Rightarrow \uparrow$ vibraciones

Diámetro de huecos intersticiales < diámetro de los sustitucionales.



La ocupación de este hueco por parte de un átomo del entorno provoca **distorsiones en la red**, \uparrow **la energía elástica** del cristal.

7

2. Defectos de punto

- **Sustitucional**

Los átomos “extraños” sustituyen a los de la red cristalina

- Radios Atómicos Similares. $R_s > 0.85\%R$
- Si hay grandes distorsiones de red \rightarrow fase nueva
- Alta diferencia de electronegatividades
- Misma estructura Cristalina

8

2. Defectos de punto

Velocidad del proceso y temperatura

El proceso de formación de defectos puntuales aumenta de forma exponencial con la temperatura.

$$V_{\text{formación defectos}} = C e^{-Q/RT}$$

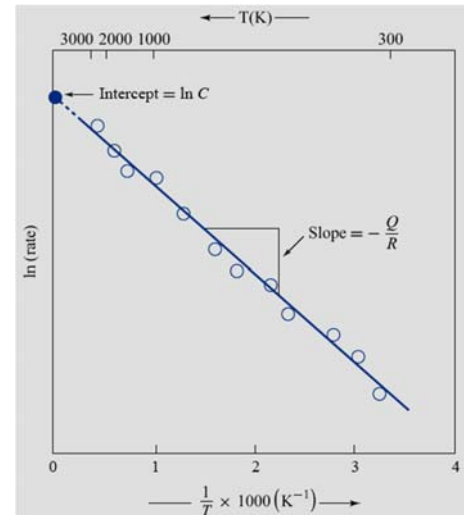
Ecuación de Arrhenius

Desarrollando la expresión anterior

$$\ln(V_{\text{formación defectos}}) = \ln C - \frac{Q}{R} \frac{1}{T}$$

C = constante

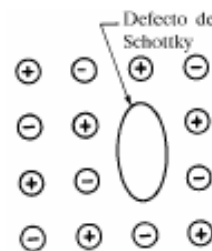
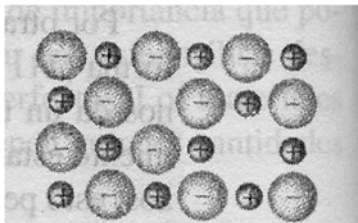
Q = energía de activación



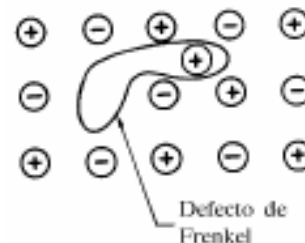
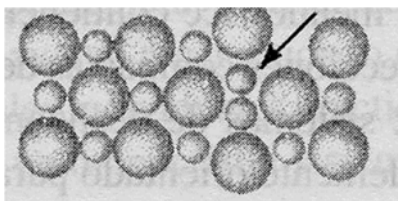
9

2. Defectos de punto

Defecto Schottky → vacante de un par de iones de carga opuesta para mantener la neutralidad

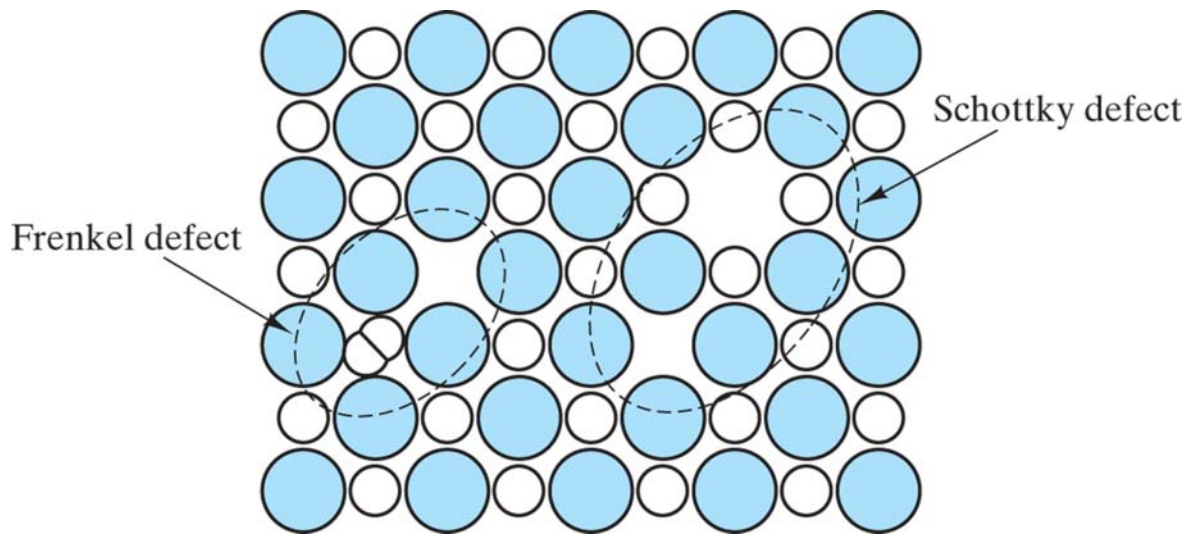


Defecto Frenkel → migración de un ión de su posición normal a posición intersticial, combinación vacante - intersticial



10

2. Defectos de punto

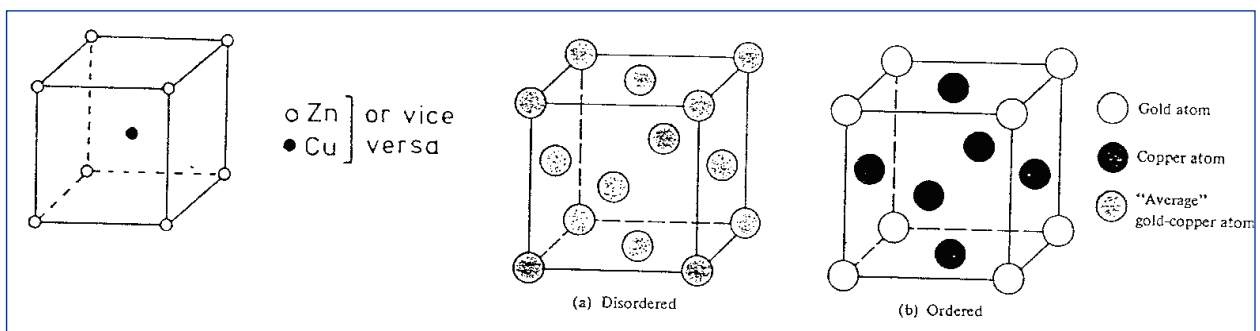


11

2. Defectos de punto

Desorden antiestructural = Átomos de una subred ocupan posiciones correspondientes a las de otra y viceversa (en aleaciones metálicas)

Latón β' \leftrightarrow Latón β $T^a = 450^\circ \text{C}$



Desorden antiestructural

12

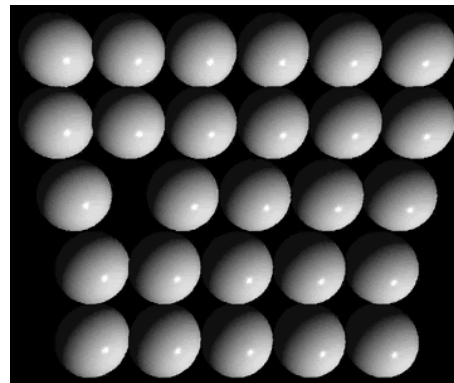
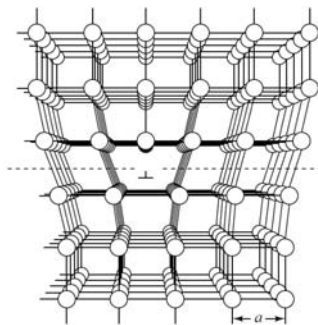
3. Defectos de línea

Defectos de línea : DISLOCACIONES = distorsión de la red alrededor de una línea

- Se desplazan en el interior del cristal con $\downarrow F \Rightarrow$ desplazamientos de planos cristalinos
- Efecto más trascendental en el sólido cristalino

- Explican

- $E_{\text{teórico}} > E_{\text{experimental}}$
- deformación plástica en metales



13

3. Defectos de línea

DISLOCACIONES

Formación

- Solidificación
- Condensación de vacantes
- Deformación plástica
- Desajuste atómico solución sólida

Se clasifican en:

- A) Dislocaciones en *arista o borde, cuña o Taylor*
- B) Dislocaciones en *hélice, tornillo o Burger*
- C) Dislocaciones *mixtas*

14

3. Defectos de línea

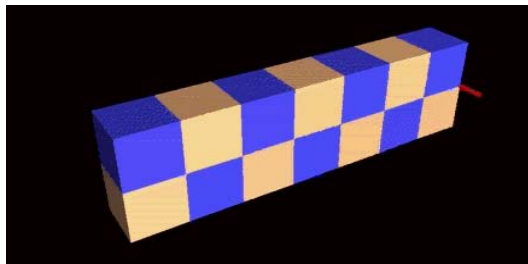
Formación y movimiento de dislocaciones



Procesos de deformación plástica

$$\sigma_{\text{real de dislocación}} < \sigma_{\text{teórica de cortadura}}$$

El mecanismo de deslizamiento de bloques se ve favorecido por la presencia de dislocaciones, que actúan como dispositivos de “engranaje” en el avance relativo de los bloques

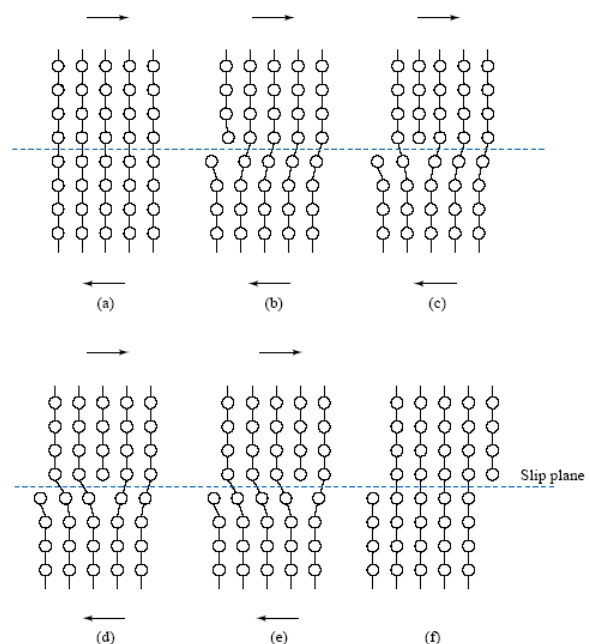


+ fácilmente en cristales ↑ densidad planar o linear atómica, ya que la distancia entre átomos es más ↓ y se requiere < energía para el “salto”

3. Defectos de línea

Deformación mecánica necesita fracción de resistencia teórica

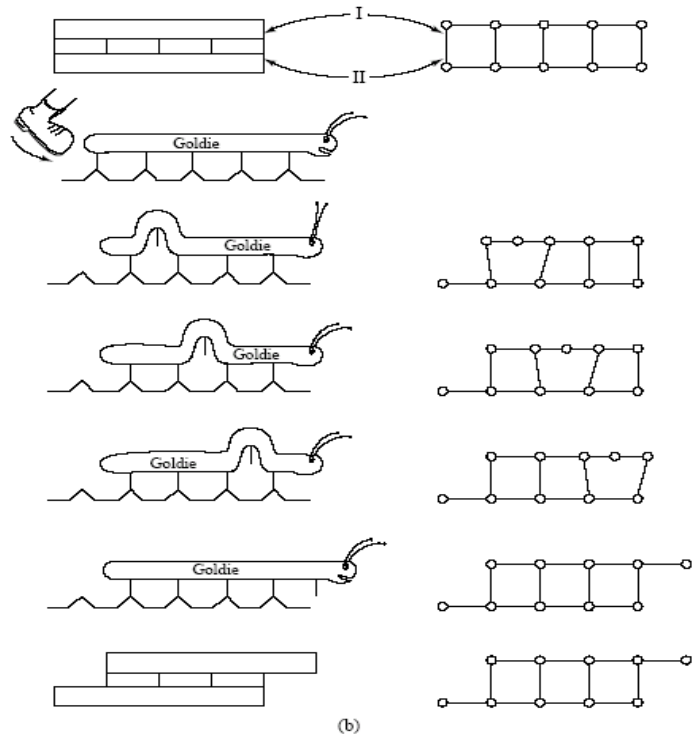
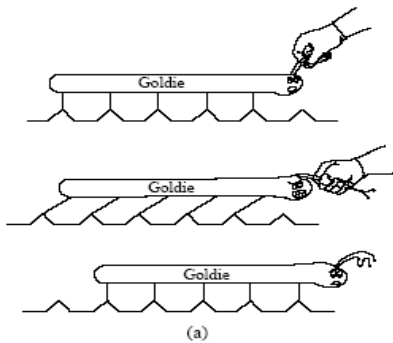
- Esfuerzo de cortadura
- Dislocación
- Genera cizalladura
- Deformación total



3. Defectos de línea

Gusano se desliza:

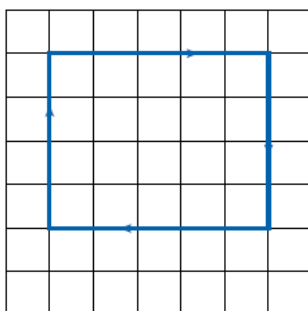
- mal, por una línea recta
- bien, pasando una dislocación a través de él



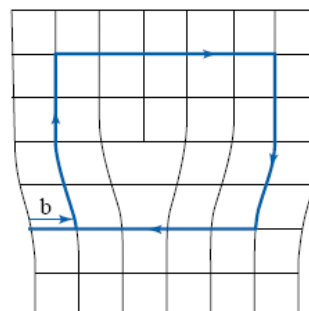
17

3. Defectos de línea

Vector de Burgers → vector desplazamiento necesario para cerrar un circuito realizado paso a paso alrededor del defecto.



Cristal perfecto
- el circuito se cierra en el punto inicial



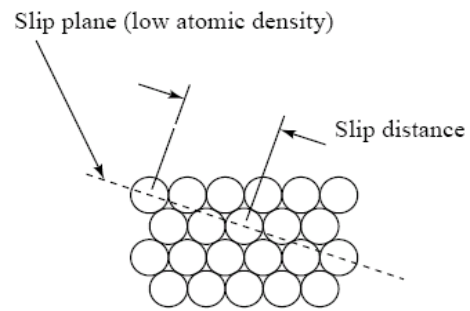
Cristal con dislocación
- el mismo circuito no se cierra
- el vector b representa la magnitud del defecto

18

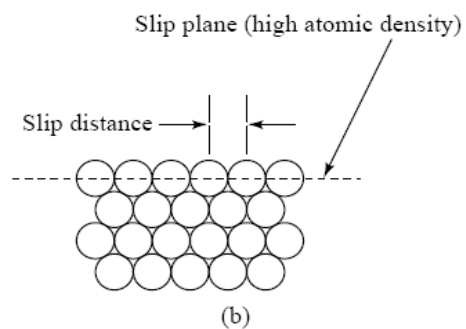
3. Defectos de línea

A > distancia atómica ⇒ > dificultad para deslizar
 - planos y direcciones de ↑ densidad atómica

Crystal structure	Slip plane	Slip direction	Number of slip systems	Unit cell geometry	Examples
bcc	{110}	$\langle \bar{1}11 \rangle$	$6 \times 2 = 12$		α -Fe, Mo, W
fcc	{111}	$\langle 1\bar{1}0 \rangle$	$4 \times 3 = 12$		Al, Cu, γ -Fe, Ni
hcp	{0001}	$\langle \bar{2}0 \rangle$	$1 \times 3 = 3$		Cd, Mg, α -Ti, Zn



$E_{\text{mover la dislocación}} = E \propto b^2$



3. Defectos de línea

Movimiento de dislocaciones

Se inicia por una tensión que produce deformación plástica en el cristal.

2 tipos:

Deslizamiento Cruzado → Dislocación Helicoidales → movimiento cortantes de las zonas de un cristal separadas por un corte

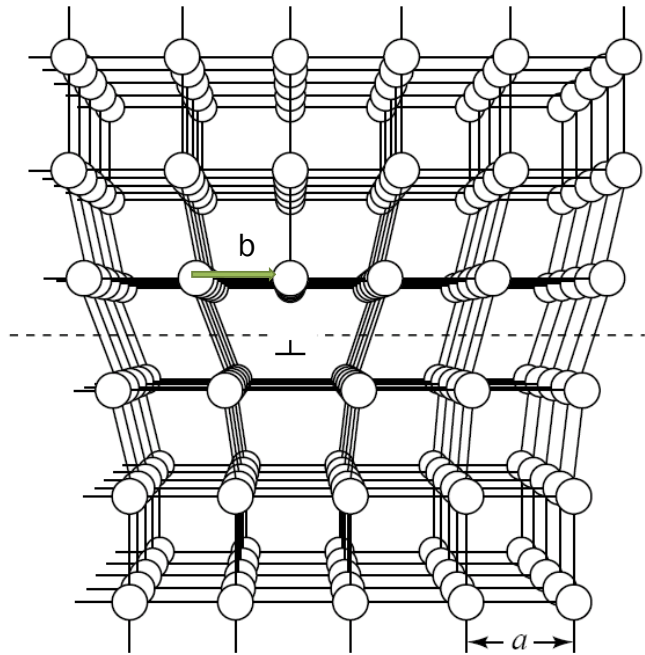
Ascenso o salto → Dislocación Bode o arista → Ligado a la presencia de vacantes

- La forma de avance es con un salto → Átomos se incorporan a posiciones vacías de la red.
- ↑T^{ra} ↑n^o vacantes en equilibrio → ascenso favorecido

3. Defectos de línea

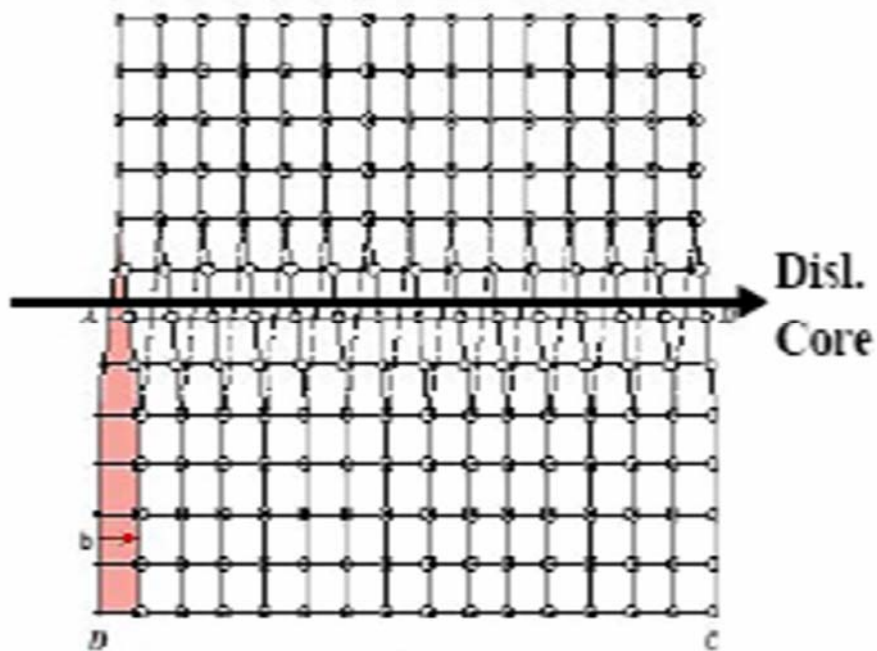
Dislocación de arista o borde o Taylor

- Dislocación a largo de una fila de átomos
- Línea de dislocación, se halla a lo largo del borde de la fila extra de átomos.
- El vector de Burgers es \perp a la línea de dislocación.
- El vector de Burgers // dirección del movimiento
- Existe un plano de deslizamiento
- El plano de deslizamiento contiene tanto al vector de Burgers como a la línea de dislocación.



21

3. Defectos de línea

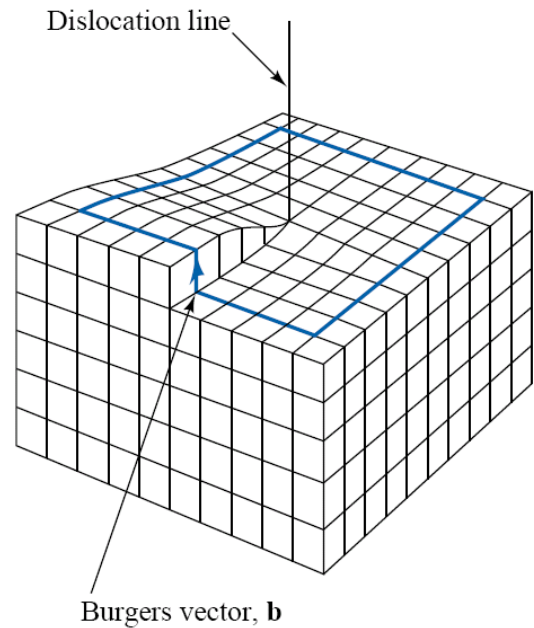


22

3. Defectos de línea

Dislocación helicoidal

- Existe un apilamiento en espiral de planos cristalinos a lo largo de la línea de dislocación.
- El vector de Burgers // línea de dislocación
- El vector de Burgers \perp dirección del movimiento

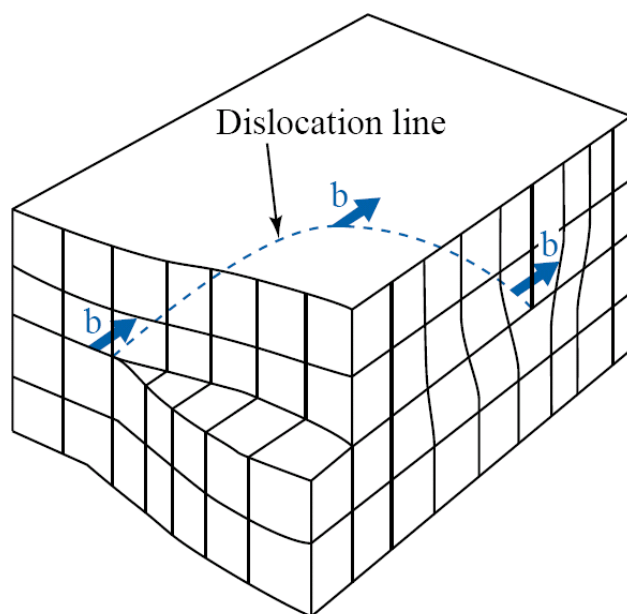


23

3. Defectos de línea

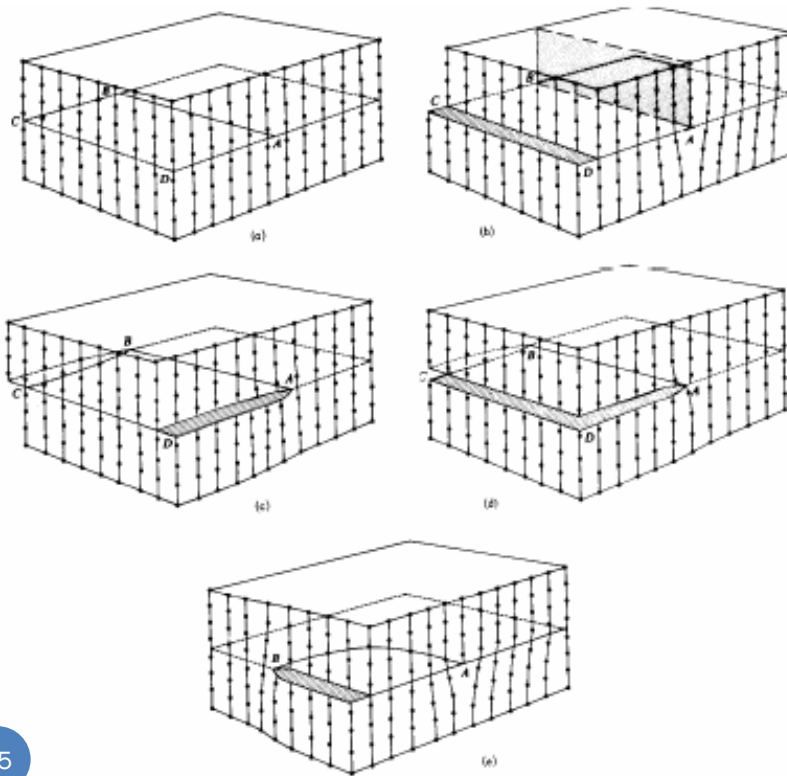
Dislocación mixta:

- Doble carácter, borde y helicoidal
- Vector de Burgers no es // ni \perp a la línea de dislocación



24

3. Defectos de línea



- a) Cristal perfecto
- b) Dislocación de borde
- c) Dislocación helicoidal
- d) Dislocación helicoidal
- e) Dislocación mixta

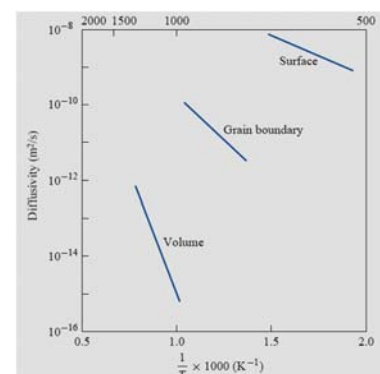
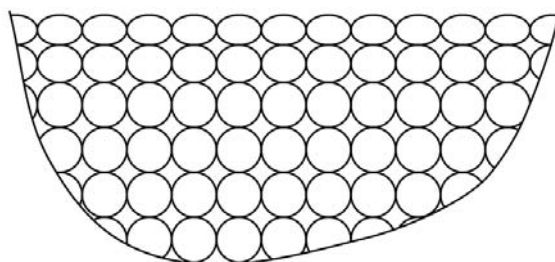
4. Defectos de superficie

Defecto de superficie:

- Es el límite de la estructura del cristal o grano.
- En la superficie, la energía es mayor que en el interior ya que el entorno de los átomos no es el mismo.

(Ej: fluidos y esfericidad de las gotas)

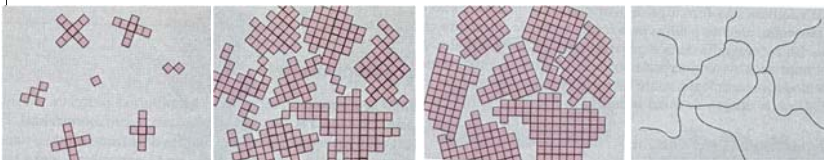
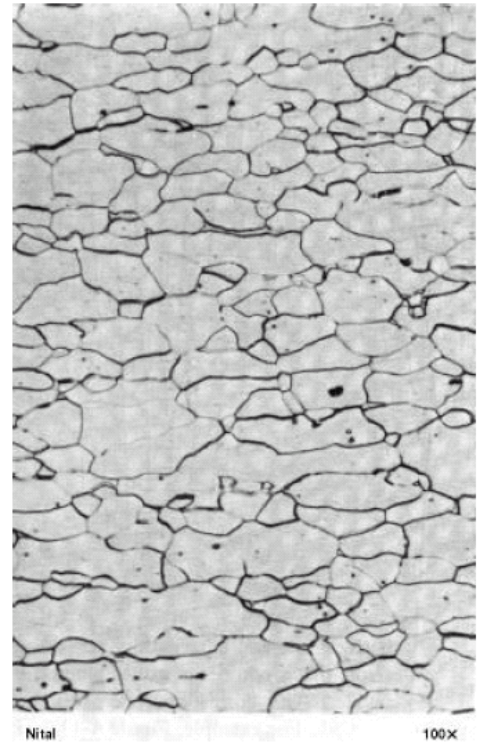
- Coordinación en superficie < que en interior $\Rightarrow E_{\text{superficial}} > E_{\text{interior}}$



4. Defectos de superficie

Borde de grano:

- Zona entre dos cristales adyacentes, misma estructura pero orientaciones diferentes
- Propiedades = f(tamaño y forma de grano)
- Forman en el proceso de solidificación
- Zonas $\uparrow\uparrow$ Energéticas
 - reacción en estado sólido
 - aparece difusión atómica



27

4. Defectos de superficie

Maclado: Orientación diferente del cristal guardando simetría debido a un esfuerzo. Las maclas son zonas de reorientación de la red.

-Cristales de deslizamiento difícil o condiciones desfavorables.

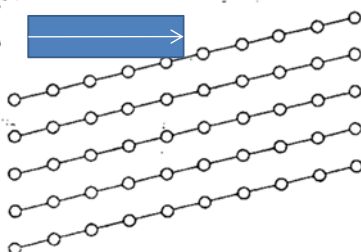
-Tensión maclado > Tensión deslizamiento

Plano de macla:

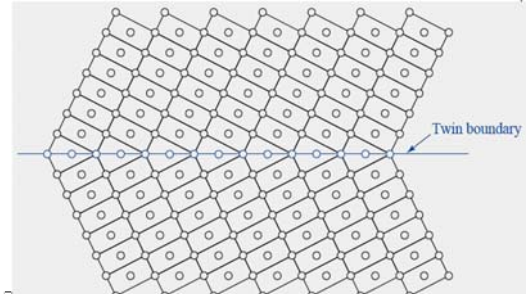
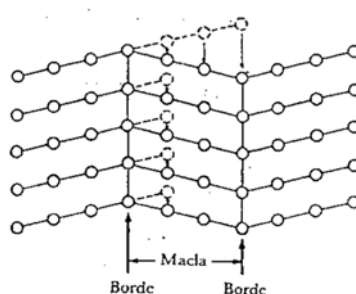
- Plano que separa dos partes de un grano que son imagen especular

Formación

- deformación BCC y HCP
- recocido FCC



(a)



4. Defectos de superficie

Falta de apilamiento:

Defecto planar que se produce cuando en una secuencia de planos determinado falta uno de ellos.

P.Ej.

FCC { red perfecta ...ABCABCABC...
falta de apilamiento ...ABCAB|ABC...

HCP { red perfecta ... ABABAB...
falta de apilamiento ...ABCABABC