

IMPERFECCIONES EN ESTRUCTURAS CRISTALINAS

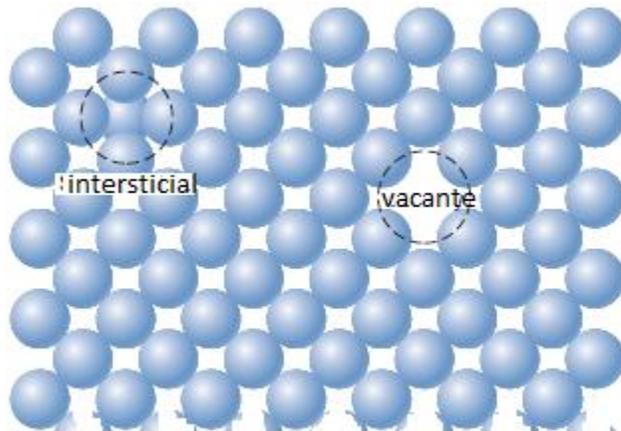
1.- INTRODUCCION:

Debido al procesamiento de los materiales, no existen estructuras cristalinas perfectas pues contienen varios tipos de defectos que afectan a muchas de las propiedades físicas y mecánicas, que a su vez afectan a muchas propiedades importantes de los materiales para ingeniería, como la conformación en frío de aleaciones, la conductividad eléctrica de semiconductores, la velocidad de migración de los átomos en aleaciones y la corrosión de los metales.

Las imperfecciones en la red cristalina se clasifican según su forma y geometría. Los tres grupos principales son: 1) defectos puntuales o de dimensión cero, 2) defectos de línea o de una dimensión (dislocaciones) y 3) defectos de dos dimensiones que incluyen superficies externas y superficies de límite de grano. Los defectos macroscópicos tridimensionales o de volumen también pueden incluirse. Ejemplos de estos defectos, son: poros, fisuras e inclusiones.

2.- DEFECTOS PUNTUALES

2.1.- VACANCIA: Es un defecto puntual donde un sitio atómico en el que ha desaparecido el átomo que lo ocupaba. Las **vacancias** pueden producirse durante la solidificación como resultado de perturbaciones locales durante el crecimiento de los cristales, o por las reordenaciones atómicas en un cristal ya existente debido a la movilidad de los



átomos. En los metales, la concentración de vacantes en el equilibrio, raramente excede de aproximadamente 1 átomo en 10 000. Las vacantes en metales son defectos en equilibrio y su energía de formación es aproximadamente de 1 eV.

En los metales pueden introducirse vacancias adicionales durante la deformación plástica, por enfriamiento rápido desde elevadas a bajas temperaturas y por bombardeo con partículas de alta energía, como son los neutrones. Las vacancias pueden moverse intercambiando su posición con sus vecinas. Este proceso es importante en la migración o difusión de los átomos en estado sólido, particularmente, a temperaturas elevadas donde la movilidad de los átomos es mayor

En equilibrio, el número de vacancias N_v de una cantidad determinada de material:

$$N_v = N \exp\left(-\frac{Q_v}{kT}\right)$$

Dónde

N: número total de lugares ocupados por átomo

Q_v : energía de activación requerida para la formación de una vacancia

K: constante de Boltzman o de los gases. El valor de $k = 1.38 \times 10^{-23}$ J/átomos-k

$k=8.62 \times 10^{-5}$ eV/átomos-k

T: temperatura absoluta

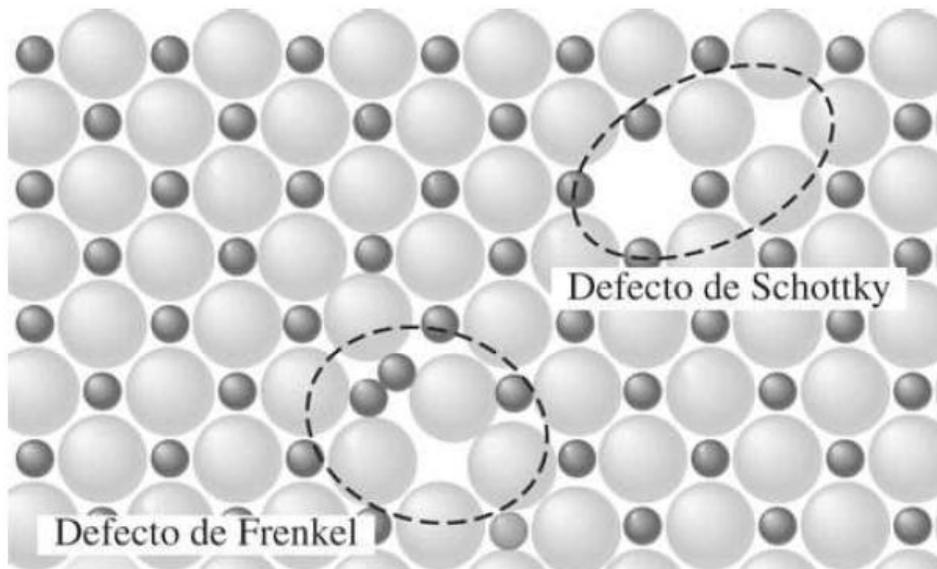
2.2.- DEFECTO INTERSTICIAL: Es un átomo de un cristal que se ha desplazado a un lugar intersticial, un espacio vacío pequeño que ordinariamente no está ocupado. Algunas veces un átomo de un cristal puede ocupar un hueco intersticial entre los átomos de su entorno que ocupan posiciones atómicas normales. Este tipo de defectos puntuales se llama autointersticial o intersticialidad.

Se crea una intersticialidad cuando un átomo idéntico a aquellos en los puntos de red normales se localiza en una posición intersticial. Estos defectos son más probables de encontrarse en las estructuras cristalinas que tienen un factor de empaquetamiento bajo

Estos defectos no ocurren generalmente de forma natural por la distorsión estructural que provocan, pero se pueden introducir en la estructura por irradiación.

2.3.- DEFECTO SCHOTTKY: En cristales iónicos los defectos puntuales son más complejos debido a la necesidad de mantener la neutralidad eléctrica. Cuando dos iones de carga opuesta faltan en un cristal iónico, se crea una divacante aniónica-catiónica que se conoce como defecto de Schottky

2.4.- DEFECTO DE FRENKEL: Si un catión se mueve a un hueco intersticial del cristal iónico, se crea una vacante catiónica en la posición inicial del catión. Este par de defectos vacante-intersticio se llama defecto de Frenkel. La presencia de estos defectos en los cristales iónicos, aumenta su conductividad eléctrica.



3.- DEFECTO DE LINEA: DISLOCACIONES

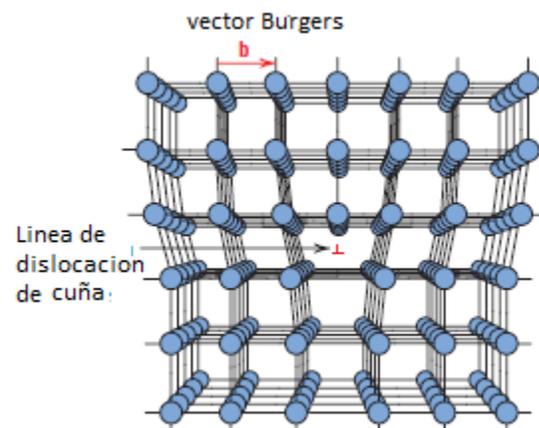
Las dislocaciones son imperfecciones lineales en un cristal. Por lo regular se introducen en el cristal durante la solidificación del material o cuando se deforma de manera permanente el material, es el fundamento para explicar la deformación y el endurecimiento en los materiales metálicos.

Los defectos lineales o **dislocaciones** en los sólidos cristalinos son defectos que provocan una distorsión de la red centrada en torno a una línea. Las dislocaciones se crean durante la solidificación de los sólidos cristalinos. También se pueden formar en la deformación plástica o permanente de los sólidos cristalinos, por condensación de vacantes y por desajuste atómico en las disoluciones sólidas.

Los dos principales tipos de dislocaciones son las de tipo de cuña o *arista* y las de tipo *helicoidal*. Una combinación de las dos da *dislocaciones mixtas*, que tienen componentes de arista y helicoidales.

VECTOR DE BURGERS: La magnitud y la dirección de la distorsión reticular asociada a una dislocación se expresa en función del vector de Burgers, designado por **b**

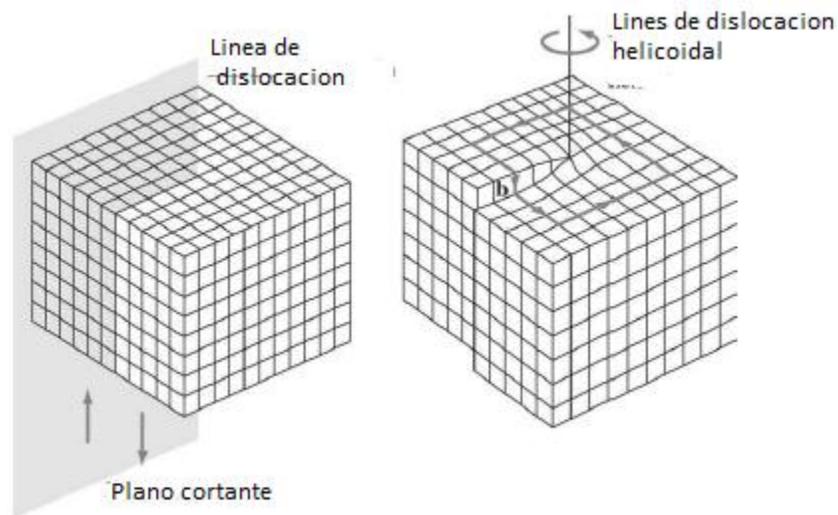
DISLOCACION DE CUÑA o ARISTA: Una dislocación de arista se crea en un cristal por la intersección de un medio plano adicional de átomos, como se muestra en la justo encima del símbolo T. La “te” invertida, indica una dislocación de arista positiva



mientras que la “te” normal, T, indica una dislocación de arista negativa.

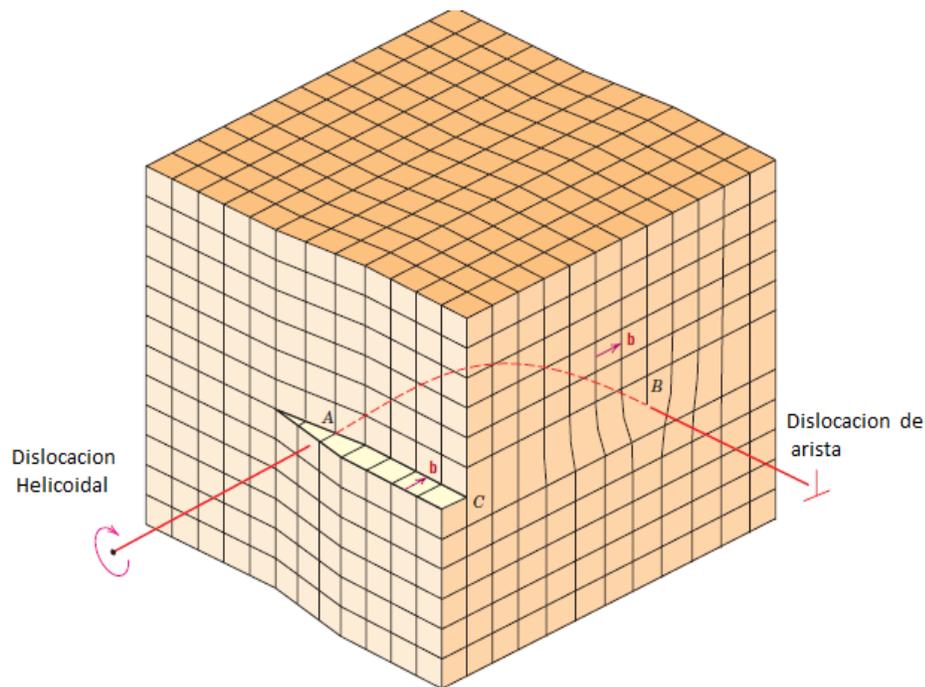
La distancia del desplazamiento de los átomos alrededor de la dislocación se llama *deslizamiento* o *vector de Burgers* \mathbf{b} y es *perpendicular* a la línea de dislocación de arista. Las dislocaciones son defectos de no equilibrio y almacenan energía en la región distorsionada de la red cristalina alrededor de la dislocación. La dislocación de arista presenta una región de tensión o compresión donde se encuentra el medio plano adicional y una región de esfuerzo a la tensión debajo del medio plano adicional de átomos

DISLOCACION HELICOIDAL: La dislocación helicoidal puede formarse en un cristal perfecto aplicando esfuerzos cortantes hacia arriba y hacia abajo en las regiones del cristal perfecto que han sido separadas por un plano cortante, como se muestra en la figura. Estos esfuerzos cortantes introducen en la estructura cristalina una región de distorsión en forma de una rampa en espiral de átomos distorsionados o dislocación helicoidal. La región distorsionada del cristal no está bien definida y tiene cuando menos varios átomos de diámetro. De esta manera se crea una región de esfuerzo cortante alrededor de la dislocación helicoidal en la que se almacena energía. El deslizamiento o vector de Burgers de la dislocación helicoidal es *paralelo* a la línea de dislocación, como se muestra en la figura



DISLOCACIONES MIXTAS: Las dislocaciones mixtas tienen componentes de arista y helicoidal, con una región de transición entre ellas. La dirección del vector de Burgers sigue siendo el mismo para todas las porciones de la dislocación mixta.

La mayoría de las dislocaciones en los cristales son de tipo mixto, y tienen componentes de arista y helicoidales. En la línea de dislocación curvada *AB* de la la dislocación es de tipo helicoidal puro a la izquierda por donde entra en el cristal y de tipo de arista pura a la derecha por donde deja al cristal. En el interior del cristal, la dislocación es de tipo mixto, con componentes en arista y helicoidales



IMPORTANCIA DE LAS DISLOCACIONES

Las dislocaciones son de mayor importancia en los metales y aleaciones dado que proveen un mecanismo para la deformación plástica. La deformación plástica es la deformación o cambio irreversible de la forma en que se lleva a cabo cuando se elimina la fuerza o el esfuerzo que le ocasiona. Cuando un esfuerzo es aplicado ocasiona el movimiento de las dislocaciones ocasionando una deformación permanente del material.

4.- DEFECTOS PLANARES

Los defectos de superficie son los límites, o planos, que separan un material en regiones. Cada región puede tener la misma estructura cristalina pero orientaciones distintas.

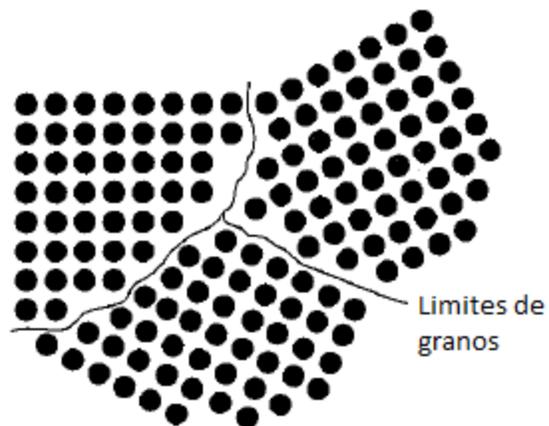
Los defectos de superficie o planares incluyen superficies externas, límites de grano, límites de macla, bordes de ángulo y defectos de apilamiento

SUPERFICIE EXTENA: Las dimensiones exteriores del material representan las superficies en las que el cristal termina de manera abrupta. Cada átomo en la superficie ya no posee el número de coordinación apropiado y se interrumpe el enlazamiento atómico. La superficie exterior también puede ser muy áspera, contener muescas diminutas y ser mucho más reactiva que la mayor parte del material.

La superficie libre o externa de cualquier material es el tipo más común de defecto planar. Las superficies externas se consideran defectos debido a que los átomos de la superficie están enlazados a otros átomos sólo por un lado. Por consiguiente, los átomos de la superficie tienen un menor número de vecinos. Como resultado de ello, estos átomos tienen un mayor estado de energía en comparación con los átomos situados dentro del cristal, con un número óptimo de vecinos. La mayor energía asociada con los átomos de la superficie de un material hace a la superficie susceptible a la erosión y a reaccionar con elementos del ambiente. Este punto ilustra con mayor claridad la importancia de los defectos en el desempeño de los materiales.

LIMITES DE GRANO: Un grano es una porción del material dentro de la cual el arreglo de átomos es casi idéntico; sin embargo, la orientación del arreglo de átomos, es distinta para cada grano vecino.

Es el límite que separa dos pequeños granos o cristales que tienen diferentes orientaciones cristalográficas. Los límites de grano son los defectos de la superficie en los materiales



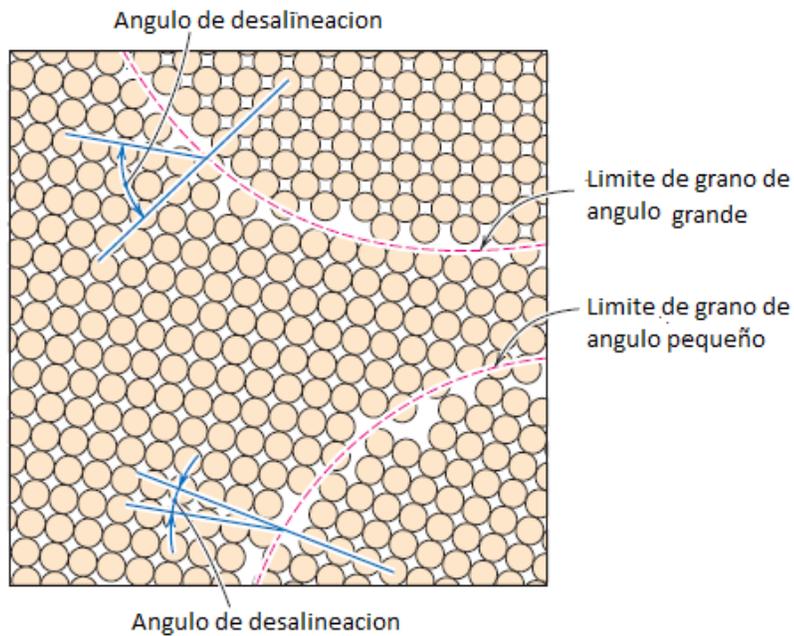
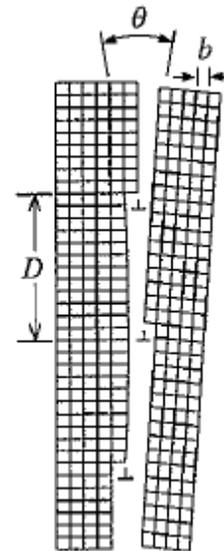
policristalinos que separan a los granos (cristales) de diferentes orientaciones. En los metales, los límites de grano se originan durante la solidificación, cuando los cristales formados desde diferentes núcleos crecen simultáneamente juntándose unos con otros. La forma de los límites de grano está determinada por la restricción impuesta por el crecimiento de los granos vecinos.

El tamaño de grano se especifica utilizando el número de tamaño de grano ASTM. El número de granos por pulgada cuadrada se determina a partir de una fotografía del metal tomada a una magnificación de 100. El número de tamaño de grano ASTM "n" se calcula como:

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

Donde N es el número de grano por pulgada cuadrada.

LIMITE DE GRANO DE ANGULO PEQUEÑO: Es un arreglo de las dislocaciones que producen una desorientación pequeña entre los cristales adyacentes. Debido que la energía de la superficie es menor que la de un límite de grano regular, los límites de grano pequeño no son efectivos al bloquear deslizamientos. A los límites de grano pequeño formado por dislocaciones de arriata se le llama límites inclinados y a los ocasionados por dislocaciones se les llama límites de giro.



LIMITE DE MACLA: Un límite de macla es un plano a través del cual hay una desorientación especial de imagen especular de la estructura cristalina. Los límites de macla pueden producirse cuando una fuerza de corte, que actúa a lo largo del límite de macla, ocasiona que los átomos se desplacen de su posición. Ocurren durante la deformación o el tratamiento térmico de ciertos metales. Estos límites interfieren con el proceso de deslizamiento e incrementa la resistencia del metal

