

CRISTALES REALES Y MICROSCOPIA

Fuentes Principales: W.F. Smith, Ciencia e ingeniería de los materiales, 3a ed., McGraw Hill, Colombia (2004); W.F. Smith, Introduction a la physique de l'état solide, Dunod, Paris (1972); e imágenes del Prof. Alejandro Zúñiga (U. de Chile).

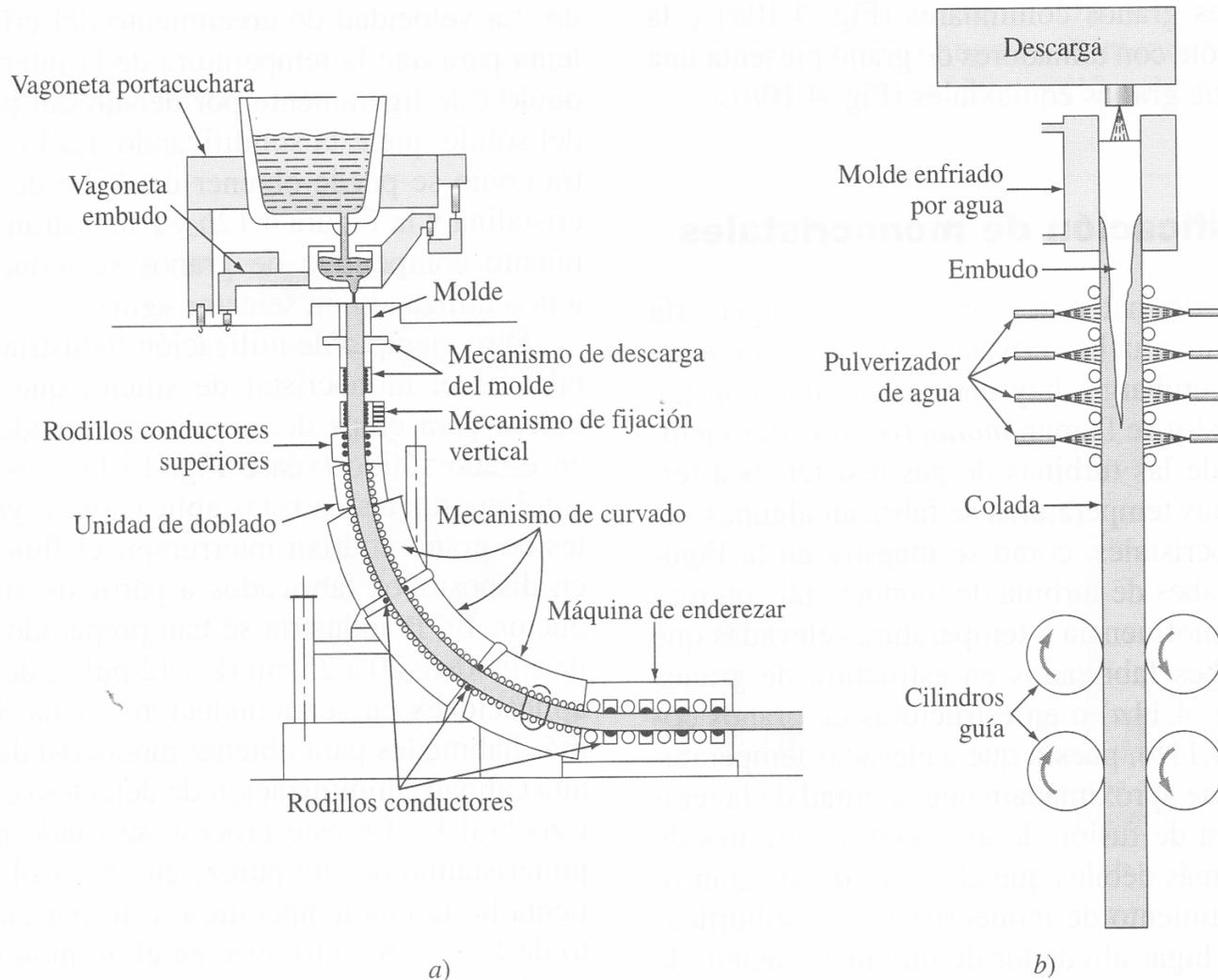
Lingote de Aluminio de Fundición



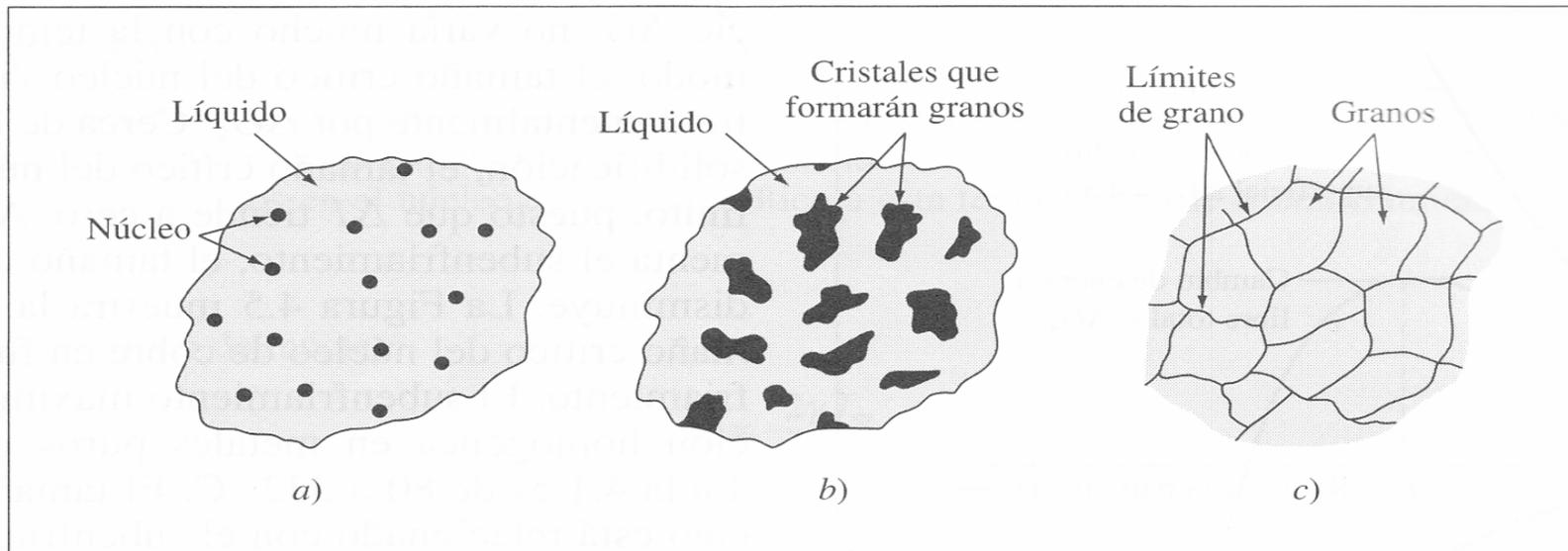
Obtenido por un proceso de fundición de colada semi-continua.

Después será laminado, extruido, etc., para obtener planchas, barras, etc.

Colada Continua de Lingotes o Barras de Acero,

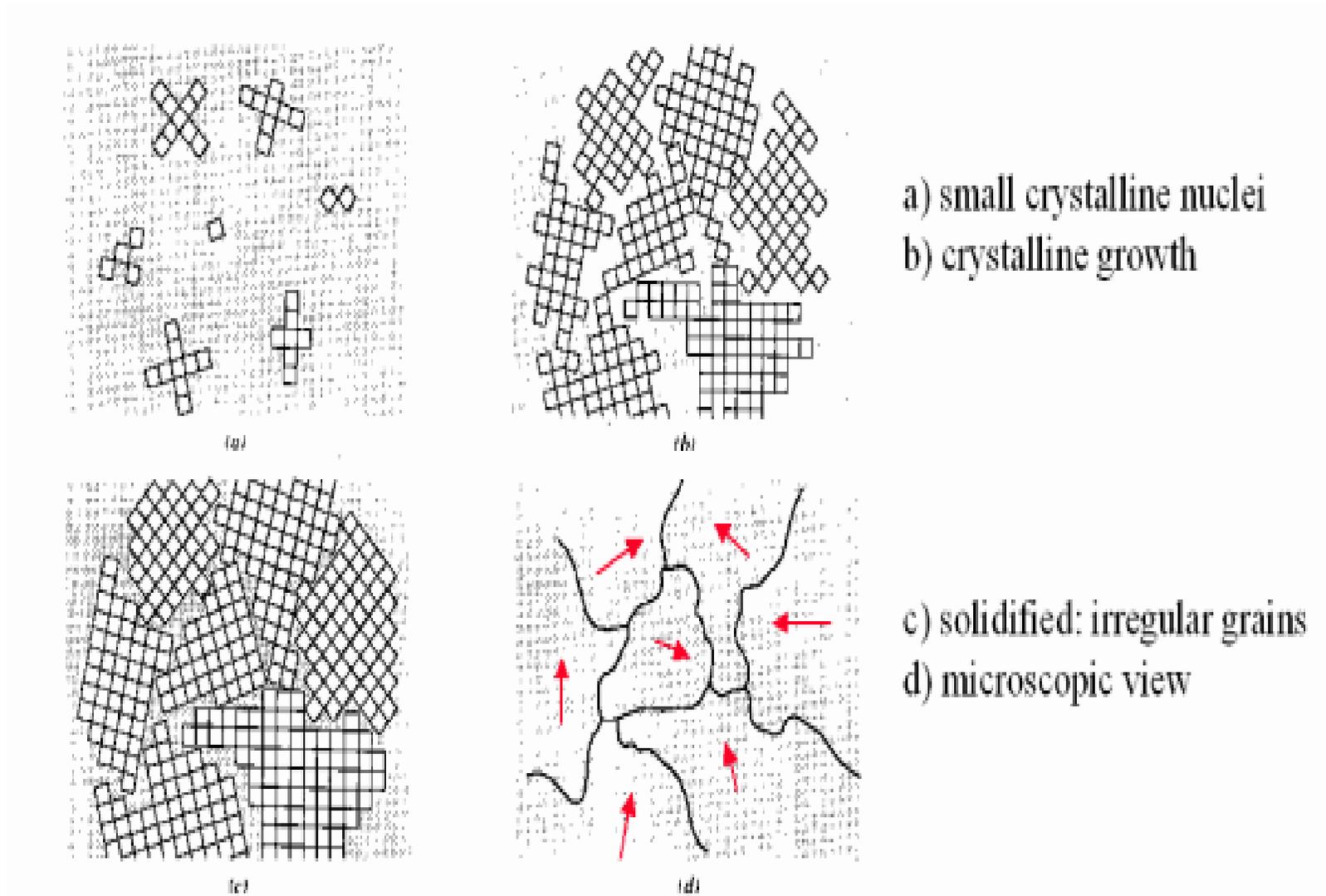


Solidificación, una Transformación por Nucleación y Crecimiento



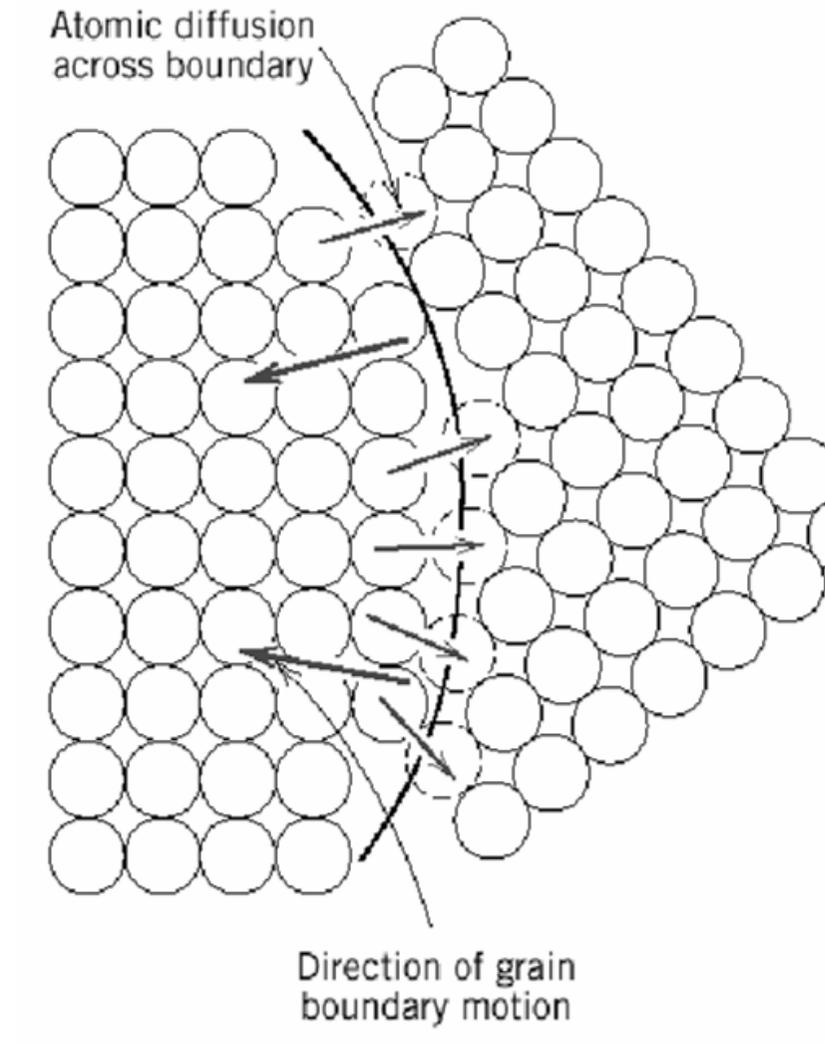
- Varios núcleos en el líquido originan varios granos en el sólido, unidos por bordes de grano. Cada grano es un monocristal.
- Por ejemplo, todos los granos podría ser de cobre puro, solo que cada grano tiene una diferente orientación cristalina, heredada del núcleo inmerso en el líquido.

Solidificación de un Policristal

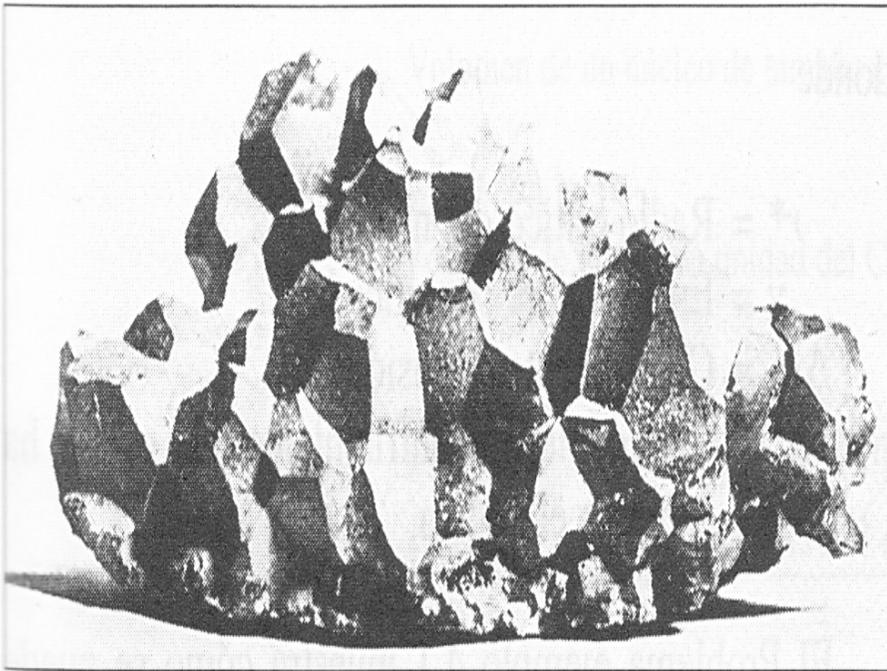


- Las flechas rojas son para ilustrar que cada grano tiene una orientación cristalina al azar, heredada de la de los núcleos.

Esquema (muy simplificado) de un borde de grano



Evidencia de los granos en una superficie de fractura



(Según W. Rostoker y J. R. Dvorak, «*Interpretation of Metallographic Structures*», Academic, 1965, p. 7.)

-Fractura por impacto, en un lingote de fundición de Titanio.

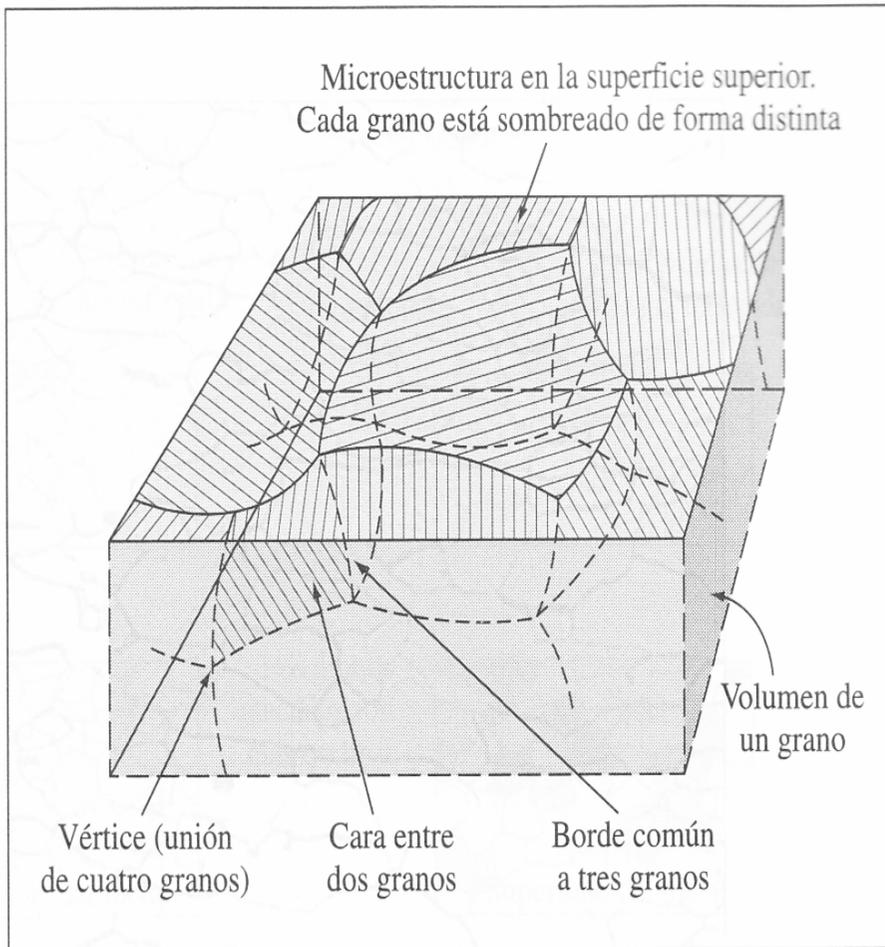
-Fractura por los bordes de grano (intergranular).

-Este tipo de fractura, por su fragilidad, es inaceptable en un componente metálico estructural de ingeniería

Granos observados sobre una superficie del policristal.

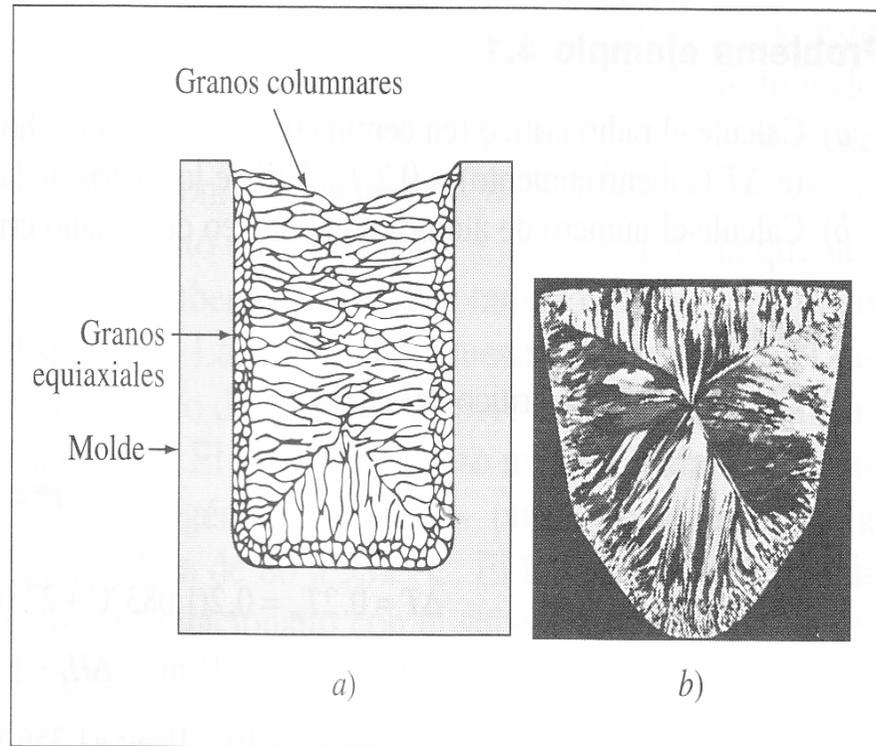
Policristales y monocristales.

Superficie pulida y atacada químicamente para la observación 2D de la estructura 3D de granos.



(Según A. G. Guy, «Essentials of Materials Science», McGraw-Hill, 1976.)

Estructura de granos en la solidificación de un lingote



(Según «Metals Handbook», vol. 8, 8.ª ed., American Society for Metals, 1973, p. 164.)

a) Esquema de la estructura de solidificación de un lingote obtenido en un molde metálico frío.

b) Macrografía (vista a ojo desnudo) de la estructura de granos en un lingote de aleación de aluminio.

Esta estructura depende fuertemente de la Transferencia de Calor.

Recristalización: permite obtener granos finos y homogéneos

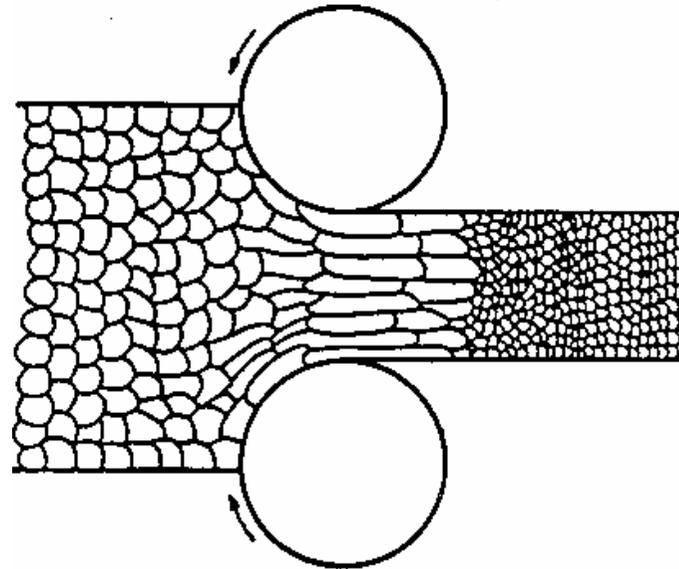
La recristalización es una transformación al estado sólido que permite obtener granos finos y equiaxiales. Tal estructura es favorable para las propiedades mecánicas.

Para recristalizar hay que deformar (introducir muchas dislocaciones) y calentar el sólido.

La recristalización también es por nucleación y crecimiento nuevos cristales, a expensas de los antiguos.

RECRISTALIZACIÓN

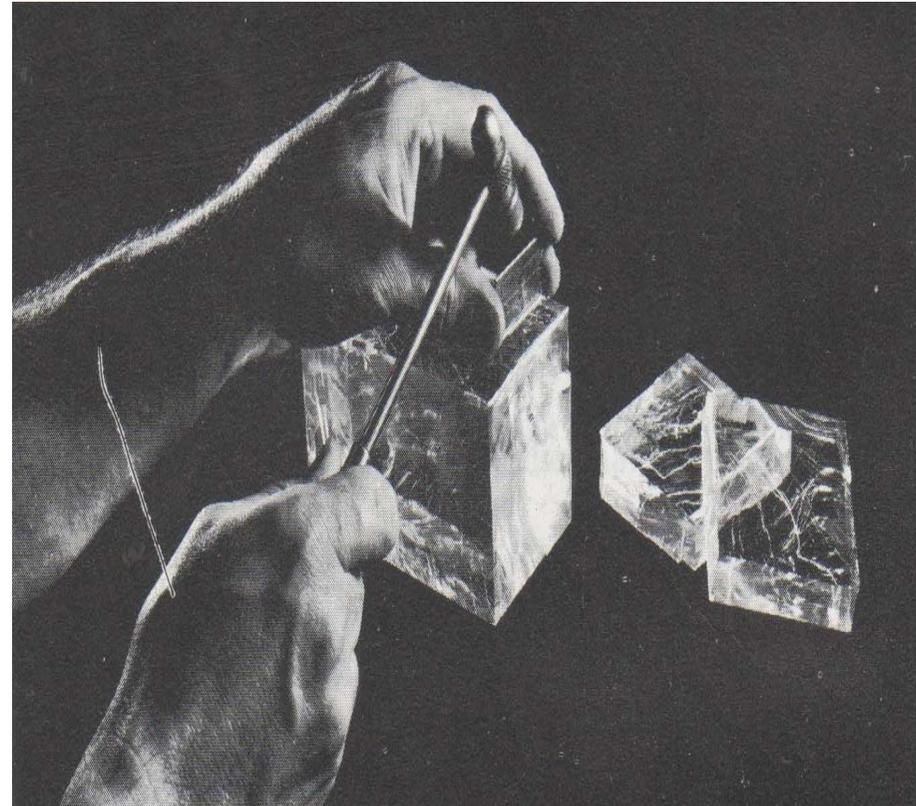
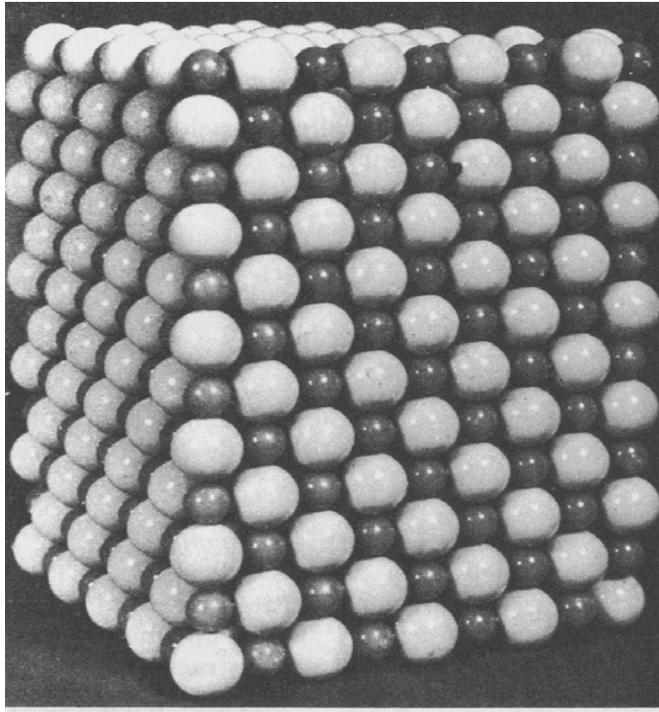
- Ejemplo de laminación en caliente.
- Al fabricar planchas/barras desde un lingote, hay que deformar y calentar: no sólo se cambia la forma externa, sino que también la microestructura de granos.



Monocristales

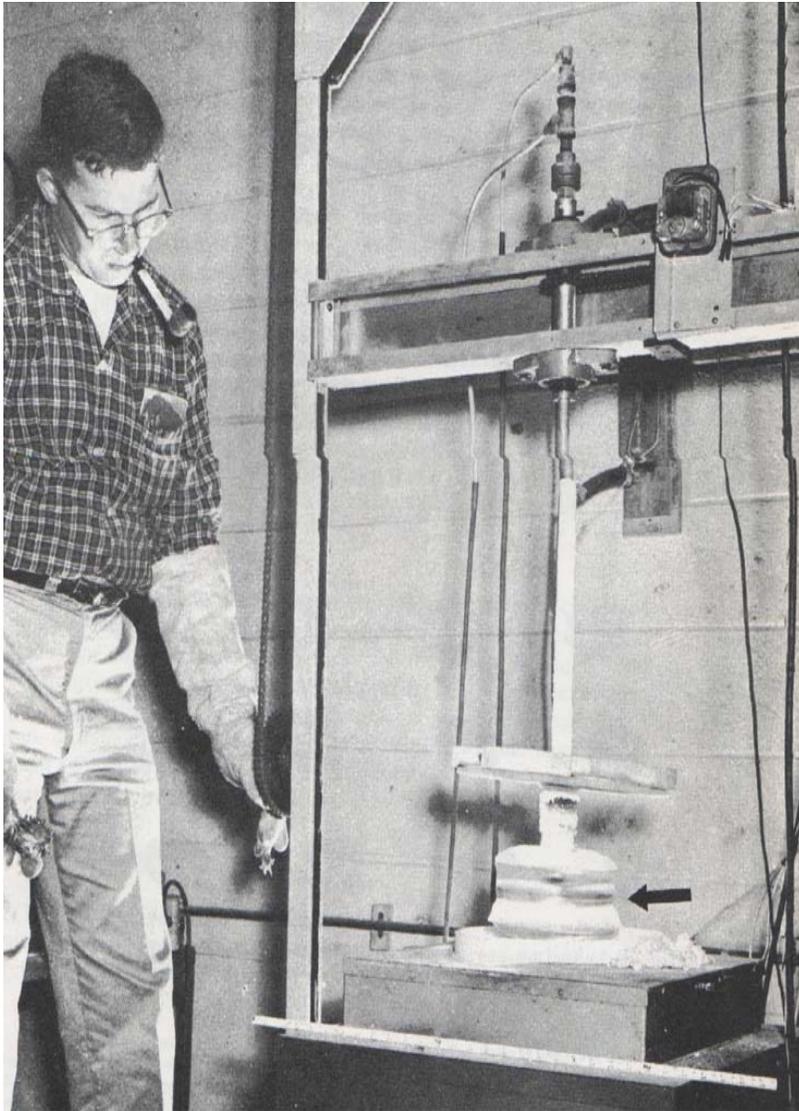
- Los materiales estructurales, que deben resistir esfuerzos, frecuentemente son policristalinos. Aún así, los monocristales se ocupan para aplicaciones especiales: (p.e., álabes monocristalinos de turbinas).
- Los monocristales se usan mucho en instrumentación y en electrónica (celdas solares, relojes de cuarzo, piezoeléctricos, etc.).
- Los monocristales también son importantes en ciencias. En particular, para comprender bien el comportamiento de los policristales es necesario conocer previamente el de los monocristales

Monocristal de NaCl



- Izq.: Modelo atómico del NaCl, un cristal iónico
- Der.: Monocristal de NaCl siendo fracturado frágilmente por clivaje

Fabricación de monocristales artificiales



- Para producir un monocristal hay que trabajar con un único germen. El crecimiento debe ser lento, para evitar defectos.

- Fabricación de monocristal de CsCl, de 30kg, a 2,6cm/día, a partir de un núcleo semilla.

La flecha negra muestra el monocristal que es traccionado desde el líquido hacia arriba. Abajo hay un horno.

Solidificación por crecimiento de dendritas (ramitas)

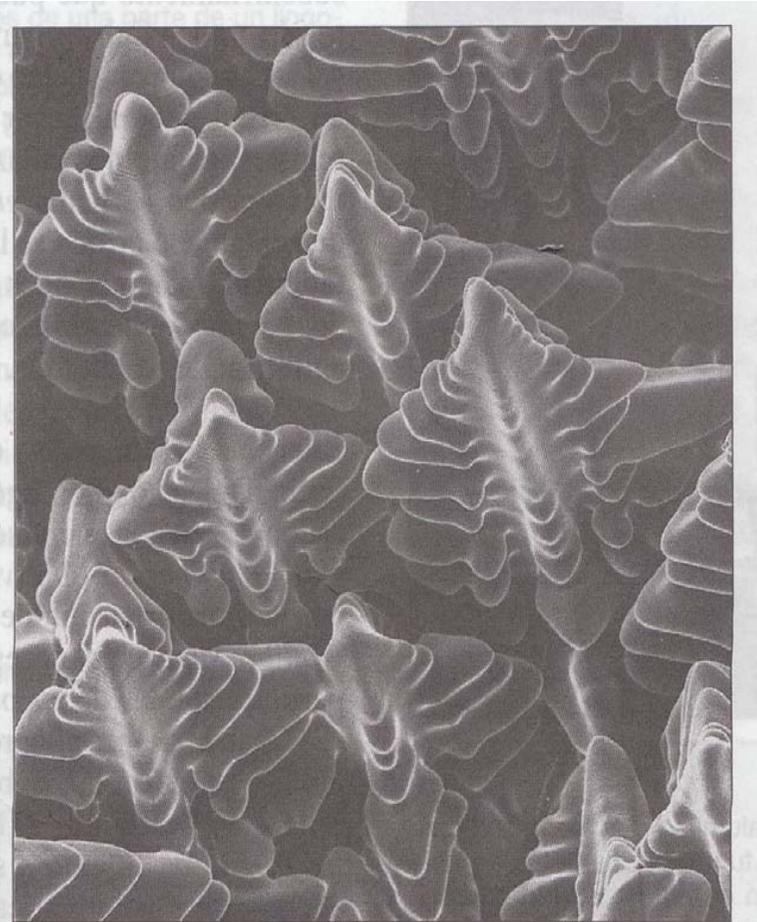
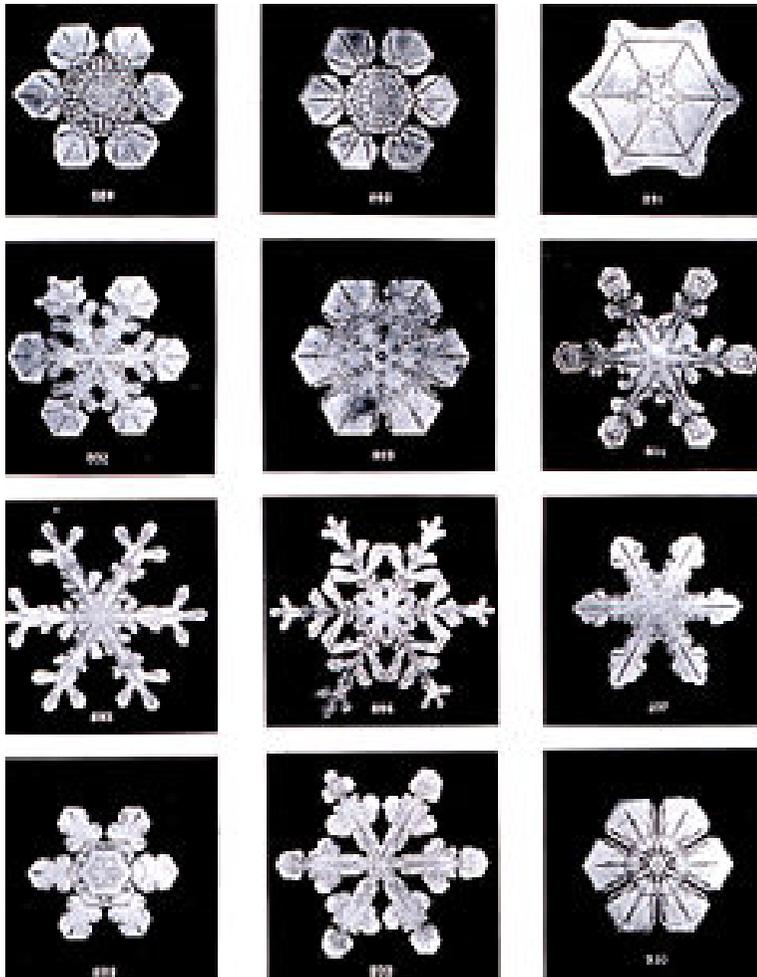


Foto cortesía de Stan David y Lynn Boatner, Oak Ridge National Laboratory.

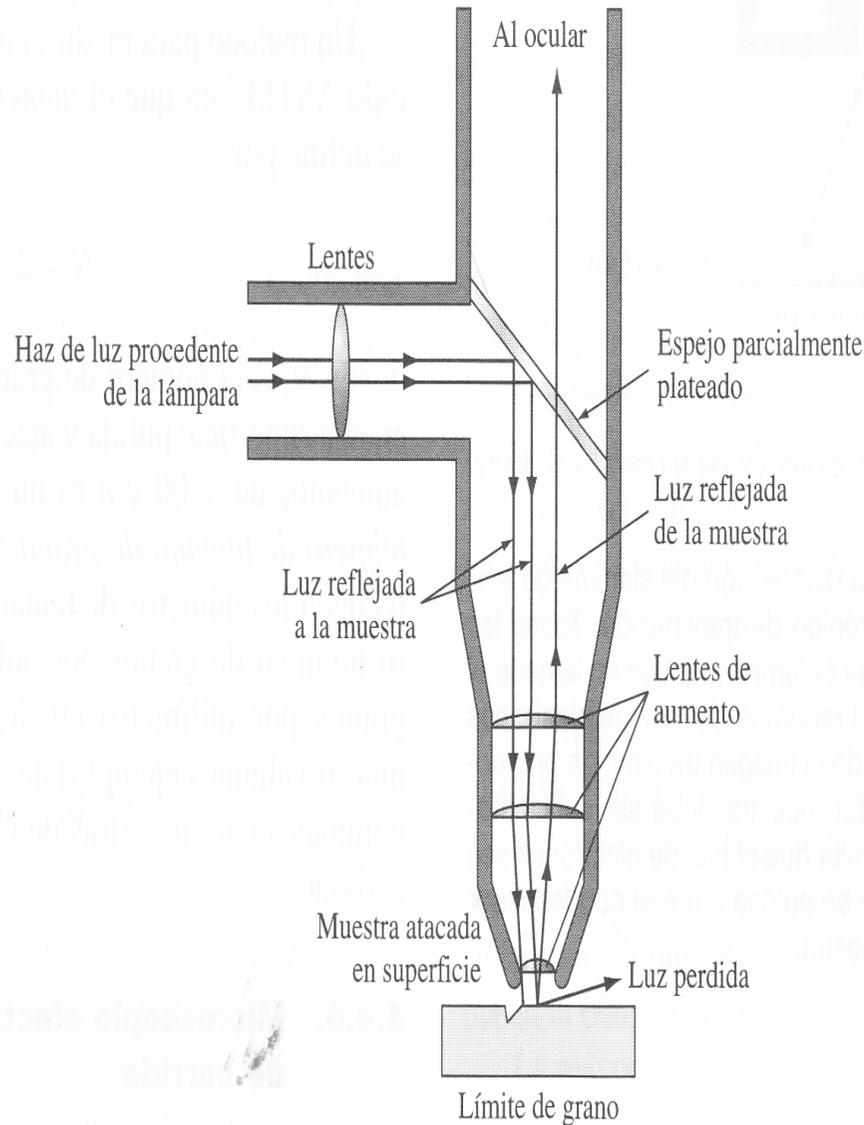
- Solidificación dendrítica, en metales y otros materiales.
- La fotografía corresponde a una aleación metálica.
- Otro ejemplo son los cristales (copos) de nieve.

Monocristales de Nieve



- Las moléculas de agua se unen entre sí por enlaces de dipolo permanente.
- Este cristal molecular tiene simetría de orden 6 en rotación, lo cual se manifiesta macroscópicamente en los copos de nieve.

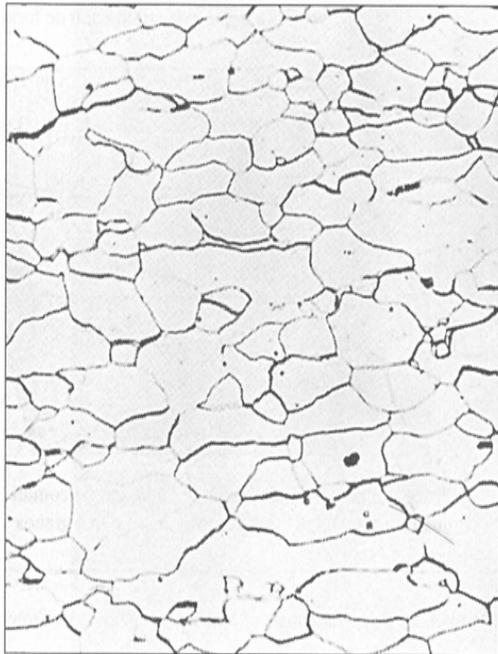
Microscopía Óptica para Materiales



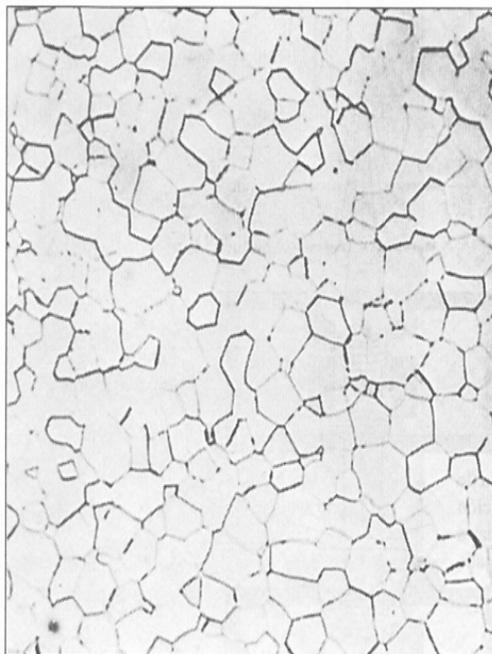
Esquema de un microscopio óptico de luz reflejada. Hasta unos 1000X.

Permite observar una superficie de material pulida a espejo, y atacada con un reactivo químico apropiado

Metalografías Ópticas de Bordos de Grano



a)



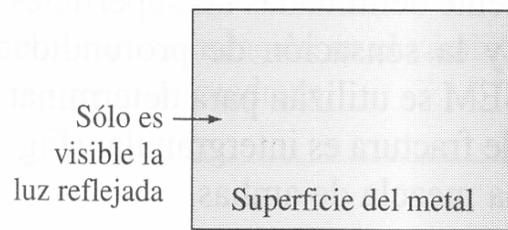
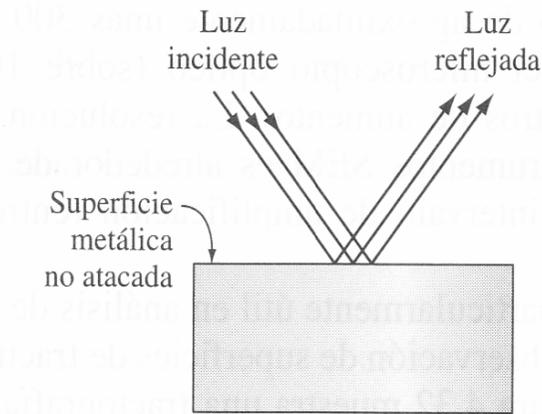
b)

- Acero de Bajo Carbono (aleación metálica).
- Oxido de Magnesio (cerámica).

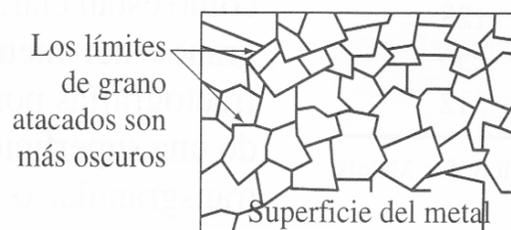
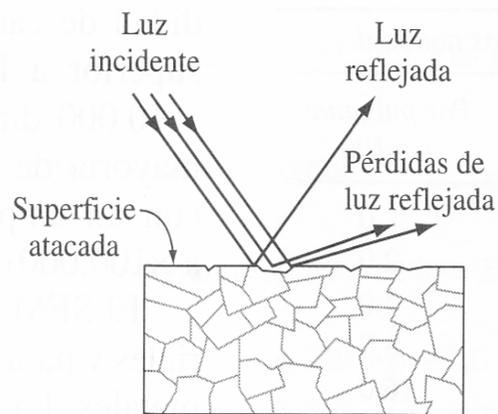
Ancho aproximado de la región fotografiada (escala):

a) 0,5 mm y b) 0,2 mm

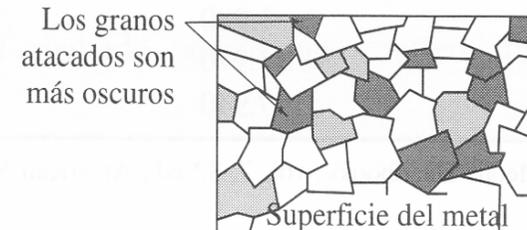
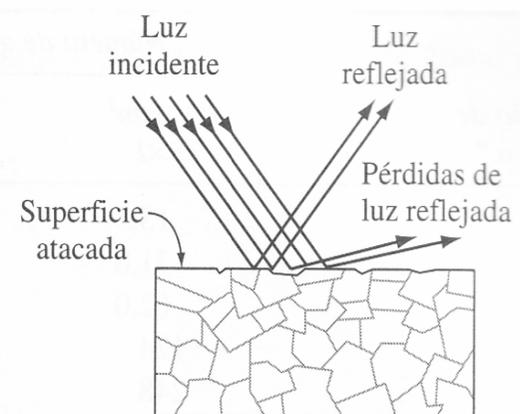
Efecto de la intensidad del ataque químico sobre la imagen por microscopía óptica. Material monofásico.



a)



b)



c)

Microscopía Electrónica de Barrido. (Scanning Electron Microscopy (SEM))



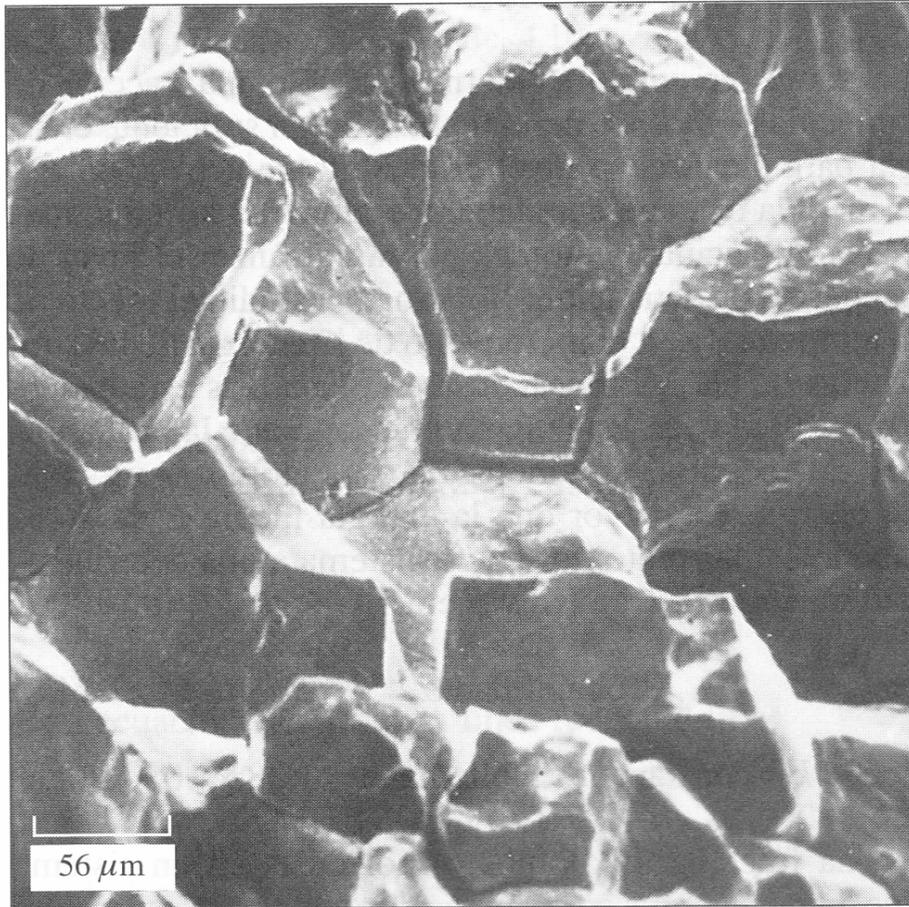
(Cortesía de JEOL Ltd.)

Mayores aumentos que el óptico y mayor profundidad de campo.

En ambiente de vacío. Se le puede acoplar microsondas químicas.

También sirve para muestras biológicas que deben ser preparadas (por evaporación de agua y conductividad eléctrica).

Fractografía electrónica de barrido



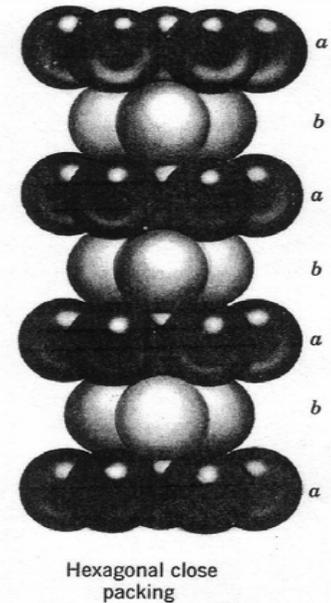
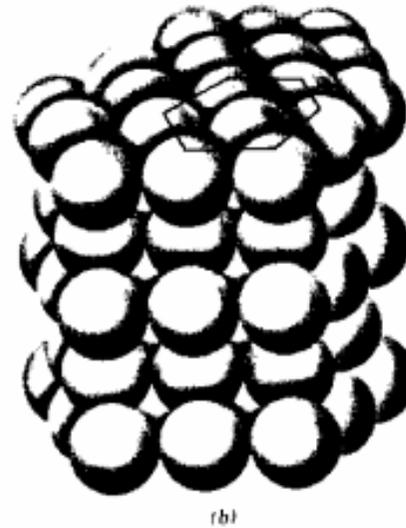
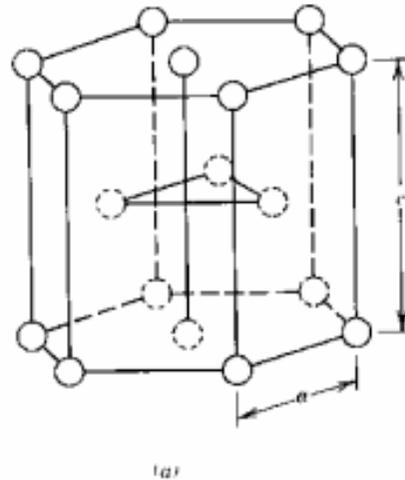
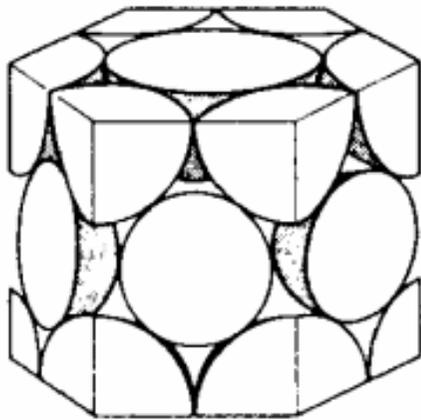
La fractografía, por el relieve de una superficie de fractura, requiere una gran profundidad de campo.

Se trata de una material que ha fallado por corrosión intergranular.

Ancho aproximado de la zona observada: 0,25 mm

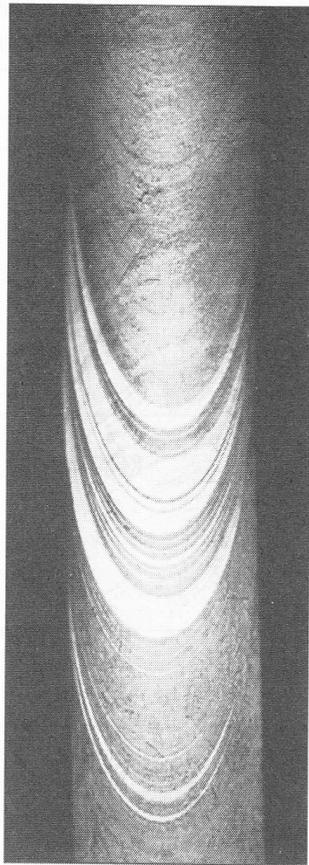
(Según «Metals Handbook», vol. 9, «Fractography and Atlas of Fractographs», 8.ª ed., American Society for Metals, 1974, p. 77.)

Deformación de cristales, por deslizamiento de planos cristalinos densos



- Estructura cristalina hexagonal compacta (HC) de metales, y sus planos cristalinos densos.
- El Zinc es un cristal HC.

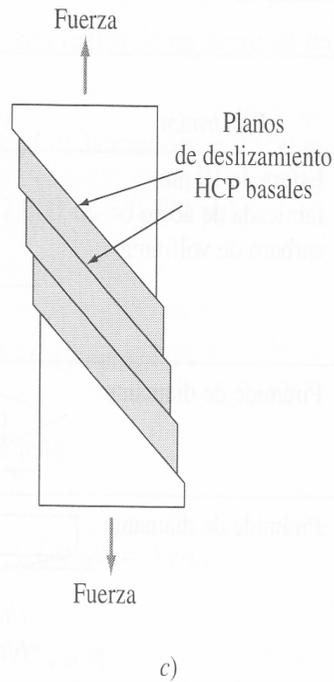
El mecanismo más importante de: Deformación plástica en metales.



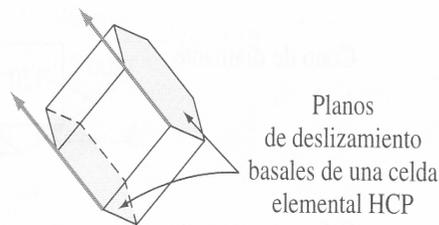
a)



b)



c)



d)

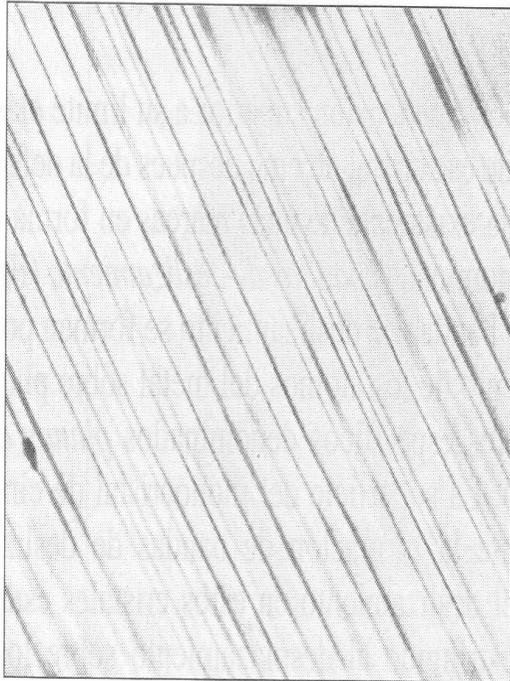
-Tracción.

-Deformación plástica (irreversible) de un monocristal de Zinc, apropiadamente orientado.

-El mecanismo de deformación es por deslizamiento de los planos más densos del cristal.

-Bandas de deslizamiento.

Bandas de deslizamiento en superficies planas pulidas de probetas deformadas plásticamente por tracción



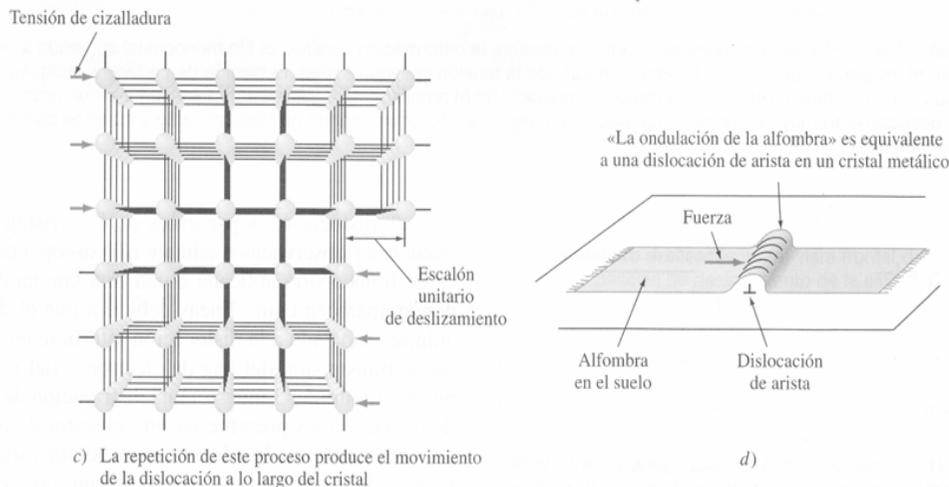
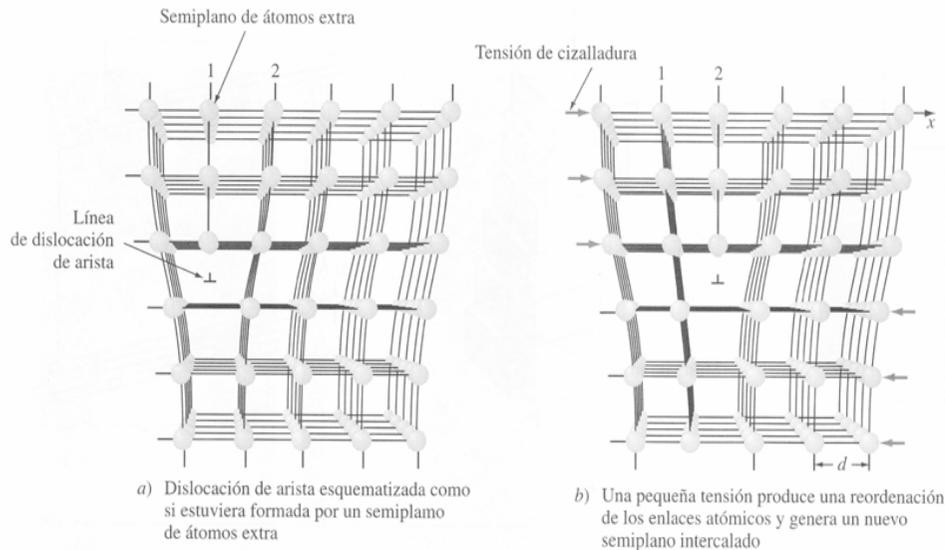
Cu monocristalino



Al policristalino

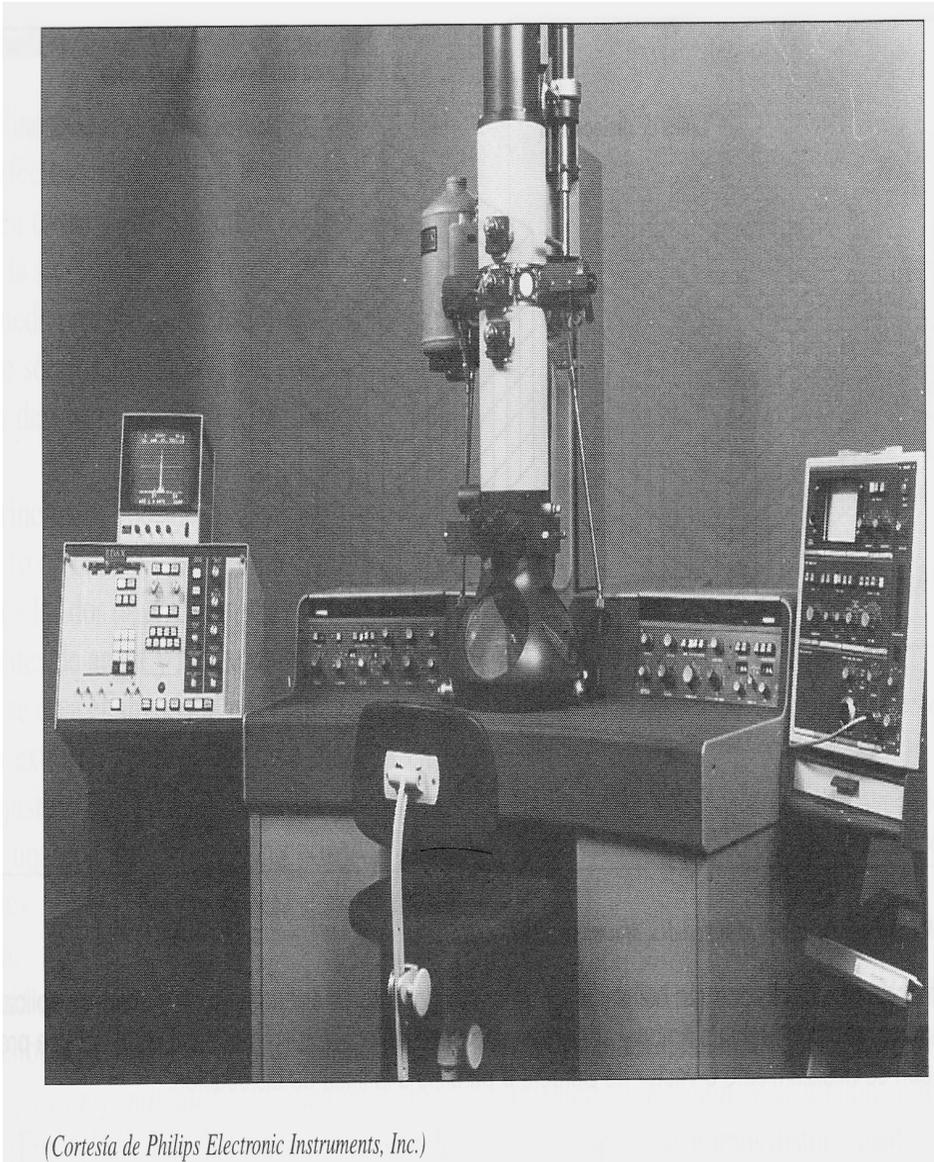
Mismo mecanismo de deformación plástica por deslizamiento que en la anterior probeta de Zn. Tal mecanismo se da en todos los metales.

Dislocaciones, defectos cristalinos lineales



- Ellas permiten explicar el deslizamiento a los esfuerzos experimentales.
- Hay de varios tipos.
- La figura corresponde al tipo de borde o de cuña.

Microscopía Electrónica de Transmisión (Transmission Electron Microscopy (TEM)).



(Cortesía de Philips Electronic Instruments, Inc.)

Columna de vacío:

- cañón electrónico
- lentes electrónicos
- portamuestra y muestra
- cámaras y pantalla

Muestras delgadas (unos 300 átomos de espesor), para poder trabajar por transmisión

Microscopía Electrónica de Transmisión. Observación de dislocaciones

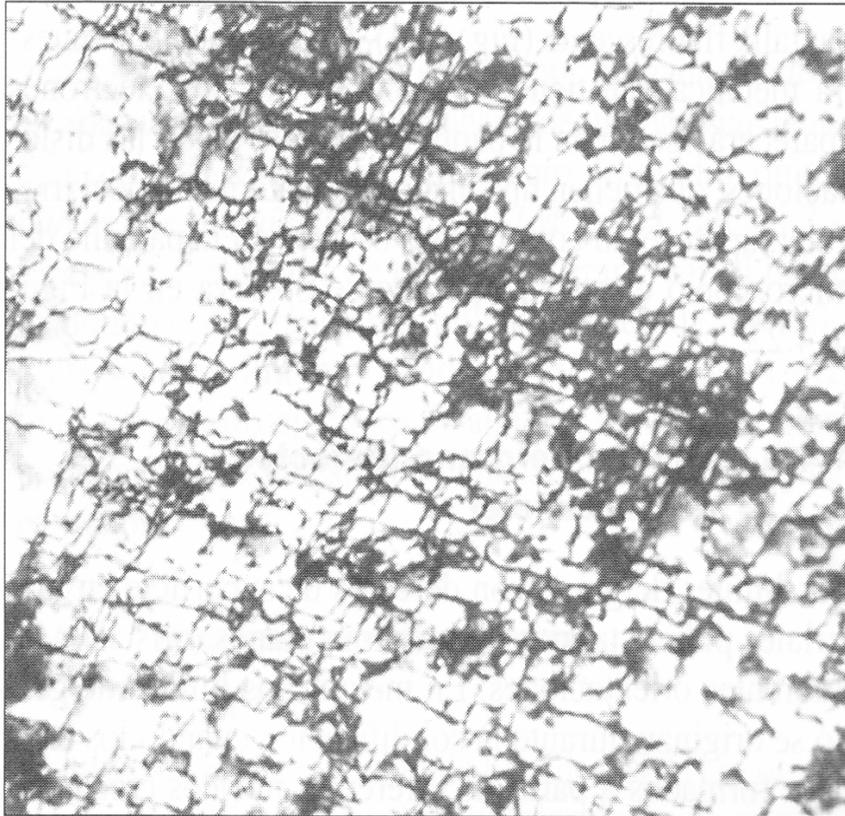


FIGURA 4.22. Estructura de dislocaciones en hierro deformado un 14 por 100 a $-195\text{ }^{\circ}\text{C}$. Las dislocaciones se muestran como líneas oscuras porque los electrones se han dispersado a lo largo de las disposiciones atómicas lineales irregulares de las dislocaciones. (Lámina fina; ampliación: $\times 40.000$.)

Grandes aumentos por alta resolución.

El mismo haz de electrones permite hacer difracción: determinación de estructuras cristalinas.

También se pueden incorporar sondas para microanálisis químico.

Laboratorio de Microscopía Electrónica de Transmisión

<http://www.labmet.cl/>
Zócalo de Geología, FCFM

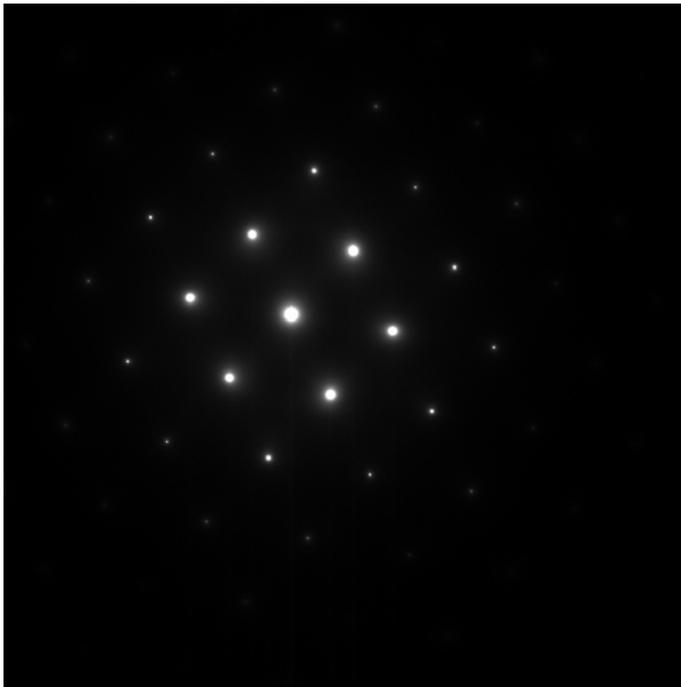
Programa MECESUP UCH-0205

“Red Nacional de Programas de Doctorado en Ciencias de los Materiales”

Microscopio FEI TECNAI F20:

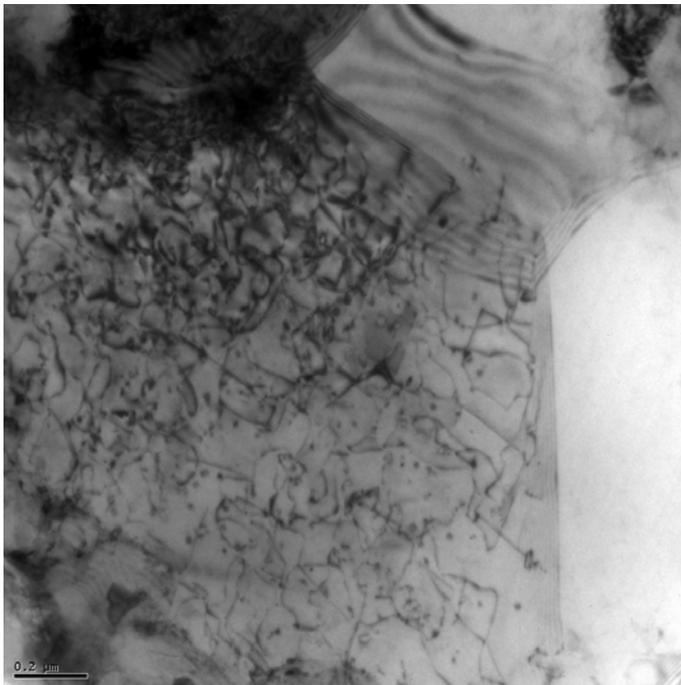
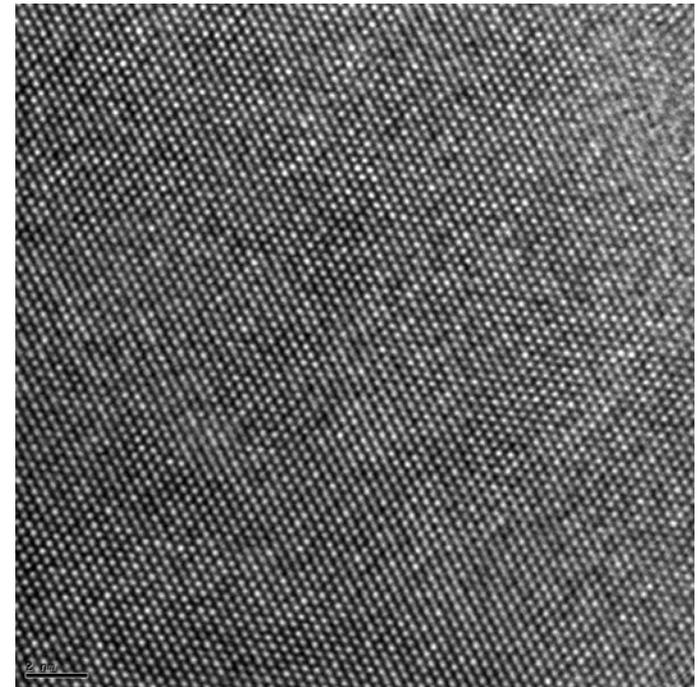
- FEG (Field Emission Gun)
- Resolución 0.2 nm
- Límite de información 0.1 nm
- Modos TEM, HRTEM, STEM, HR-STEM, EDS, SAD, CBED





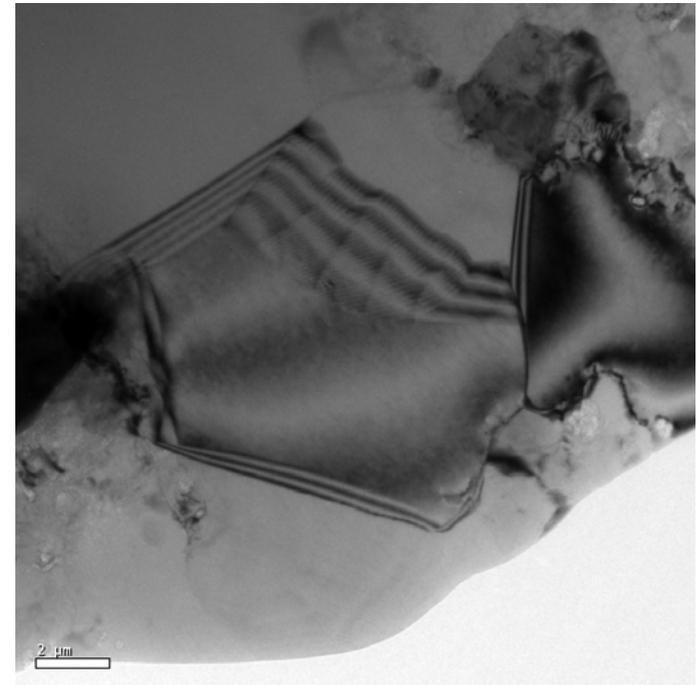
← Difracción de electrones

Alta resolución
HR-TEM →

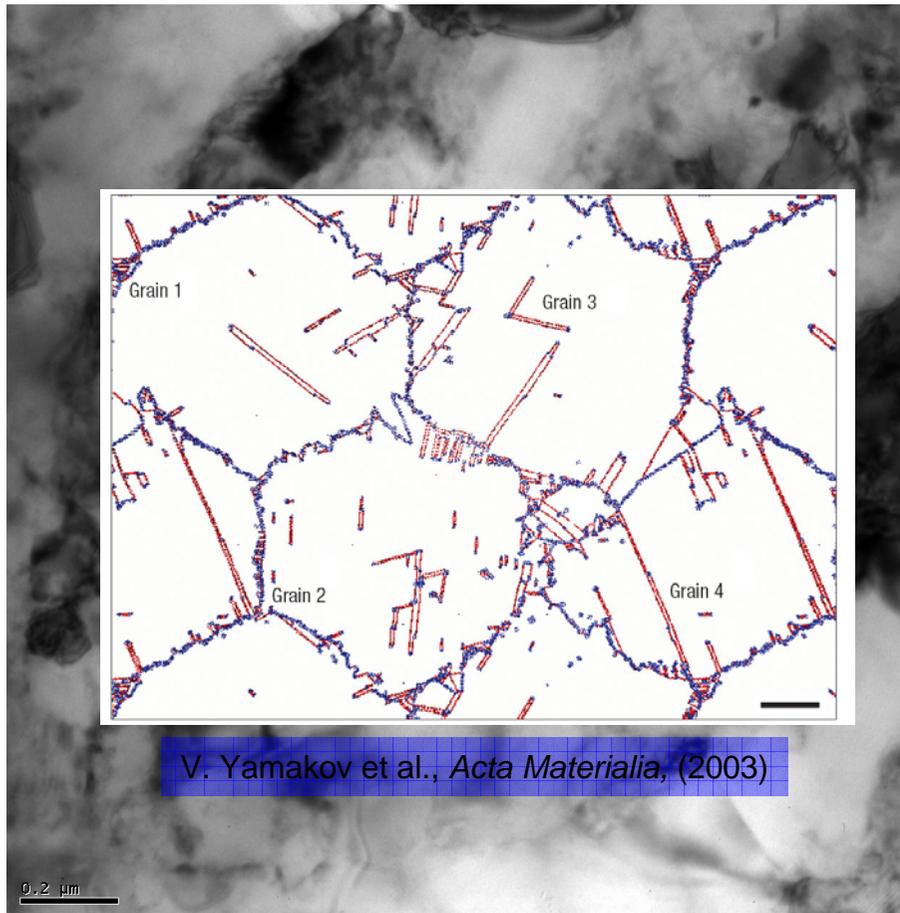


← Defectos cristalinos

Estructura de granos →

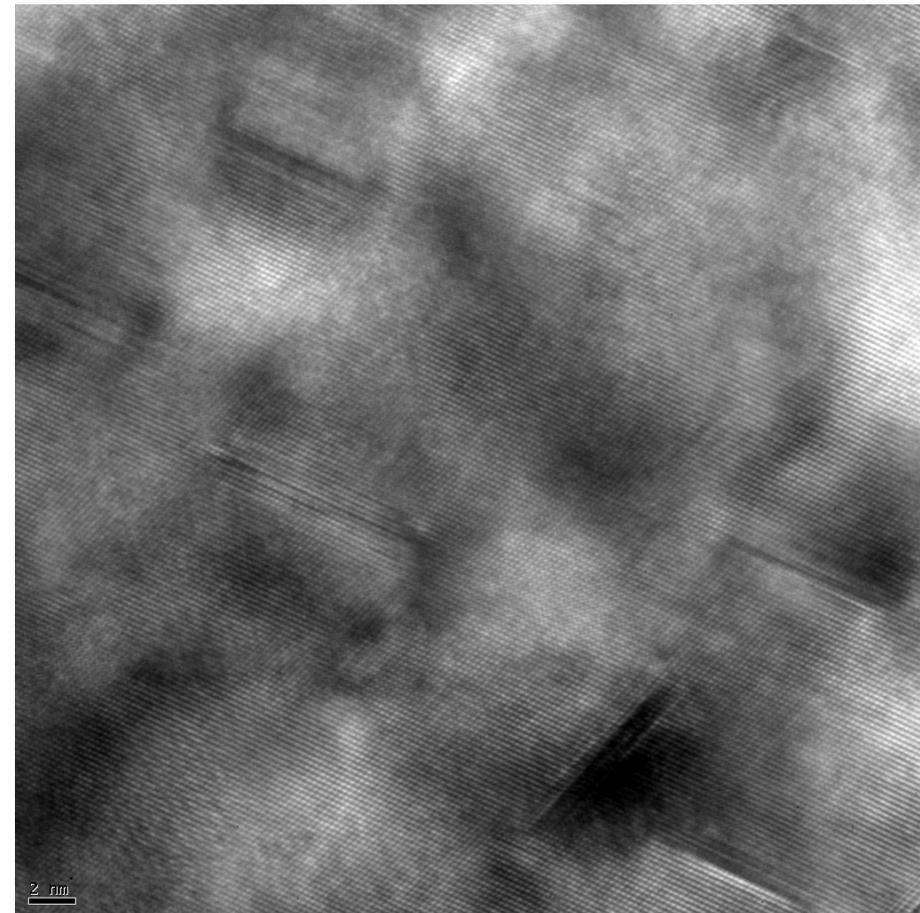


Comportamiento Mecánico de Al Nanocristalino



Campo Claro

Estructura de grano nanométrica



HRTEM

Defectos cristalinos

Conclusiones (1)

- Cristales ideales y cristales reales.
- Cristales reales: monocristales, policristales y bordes de grano. Más otros defectos cristalinos.
- Al solidificar industrialmente, lo más usual es obtener policristales.
- La solidificación es una transformación por Nucleación y Crecimiento.
- Además de la solidificación hay otros mecanismos para obtener cristales (condensación desde un vapor, etc.), que también son por nucleación y crecimiento.

Conclusiones (2)

- Los defectos cristalinos, como bordes de grano y dislocaciones, también son factores de la estructura en la trilogía Estructura-Procesos-Propiedades.
- La estructura de los granos en policristales se puede modificar por recristalización, una transformación al estado sólido que incluye deformación plástica y alta temperatura.
- En la Ciencia de Materiales las técnicas experimentales son fundamentales.

Conclusiones (3)

- Se presentaron tres técnicas complementarias de microscopía: i) m. óptica, ii) m. electrónica de barrido y iii) m. electrónica de transmisión.
- (Ya antes vimos espectroscopía, para análisis químico, y falta ver difracción, para la caracterización de la estructura cristalina).
- La Facultad cuenta con un moderno microscopio de transmisión de alta resolución (HRTEM).

FIN