

# Pauta Control 1 – Primavera 2021

## Ingeniería de Materiales II – Materiales para la Ingeniería

Profesor: Ali Akbarifakhrabadi, Auxiliar: Matías Bahamondes

Ayudantes: Gaspar Fábrega, Vania González

**P1) Describa, en palabras, con un ejemplo o un esquema apropiados, qué significan los siguientes términos:**

**a) Diseño adaptativo (5%)**

Corresponde a tomar un producto existente y rediseñarlo para poder satisfacer alguna necesidad, la cual puede ser reducir el costo de producción, cambiar las propiedades mecánicas, mejorar el rendimiento o adaptarlo a las condiciones del mercado.

Ejemplos: Utilizar fibra de vidrio en vez de madera en artículos deportivos. (se pueden utilizar otros ejemplos)

**b) La fuerza impulsora en crecimiento de granos (5%)**

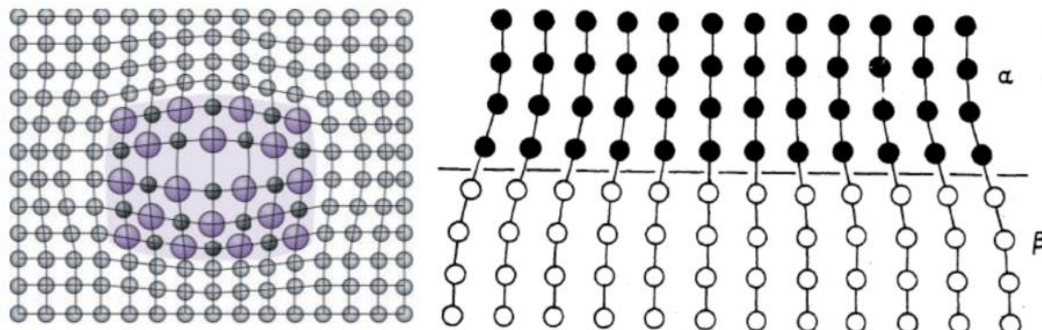
La fuerza impulsora del crecimiento de grano corresponde a la energía almacenada en los bordes de grano del material. Cuando los granos crecen, se reduce el área de estos ya que los más grandes crecen y los más pequeño desaparecen, por ende, el área correspondiente a bordes de grano también disminuye, reduciendo la energía contenida en estos.

**c) La fuerza impulsora en recristalización (5%)**

La fuerza impulsora de la recristalización es la energía almacenada en la red por la distorsión que genera la gran cantidad de dislocaciones provenientes del trabajo en frío. Los nuevos granos nuclean en bordes de grano anteriores y zonas donde hay concentración de dislocaciones, reduciendo la densidad de estas y la energía contenida.

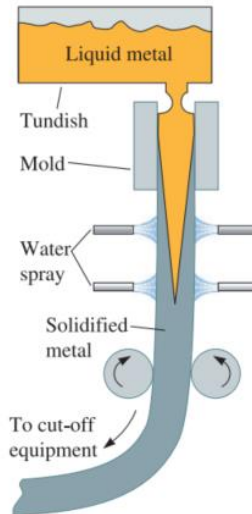
**d) Un límite de interfase coherente (a coherent interphase boundary) (5%)**

Un límite de interfase coherente se genera cuando los planos cristalinos del precipitado coinciden en gran medida o de forma perfecta con los planos presentes en la matriz. En este caso se genera una gran distorsión en la matriz. La microestructura de una interfase coherente se puede ver en las siguientes imágenes:

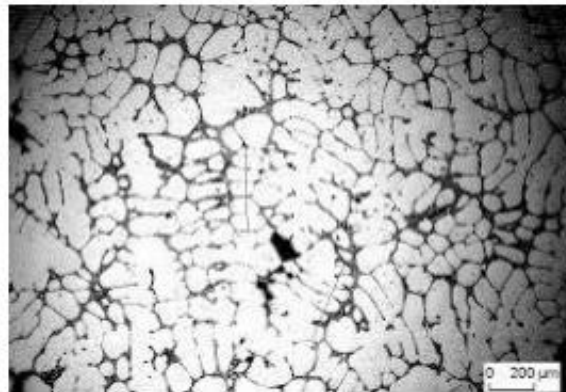


**e) Colada continua (continuous casting) (5%)**

El método de colada continua tiene como objetivo una producción continua de piezas casi terminadas como lingotes (slab, billet and bloom). Se vierte material líquido de forma continua en un molde, para posteriormente solidificarlo a medida que va avanzando. Este proceso se realiza de forma ininterrumpida siempre y cuando se siga vertiendo material fundido dentro del molde. El proceso se puede ver con el siguiente esquema:



**P2) La micrografía se ha tomado de la microestructura de una aleación de aluminio y silicio.**



**a) Explica lo que ves (5%)**

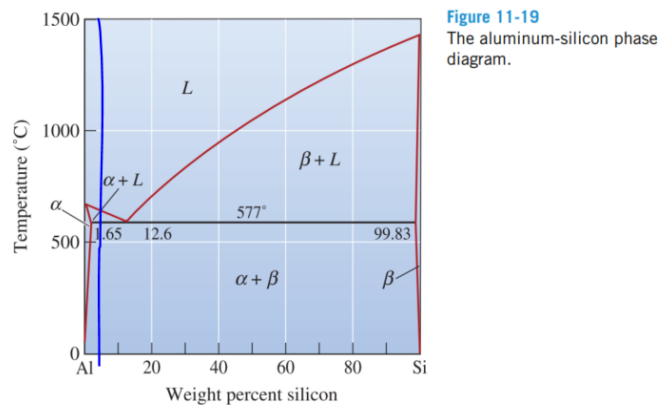
Es una microestructura dendrítica después de solidificación de una aleación hipoeutéctica. Se pueden apreciar dos estructuras, una correspondiente a la matriz en color más oscuro (estructura eutéctica) y una correspondiente a la fase primaria en color más claro. La fase primaria posee forma dendrítica, mientras que la matriz aparece entre estas. Además, se puede ver una zona de color aún más oscuro que la matriz, lo cual podría corresponder a una cavidad dentro del material. La estructura más clara es una

fase singular de Alpha ( $\alpha$ ). Tiene una composición mayor de aluminio, mientras que la más oscura incluye estructura eutéctica y dos fases, Alpha ( $\alpha$ ) y Beta ( $\beta$ ).

**b) ¿Cómo se puede relacionar esta microestructura a las propiedades de la aleación? (5%)**

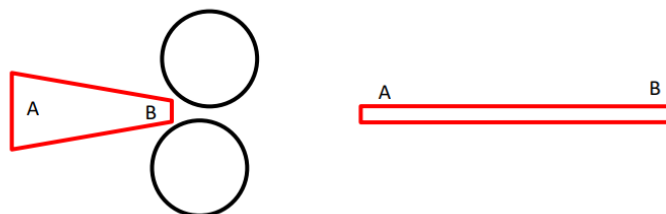
De esta microestructura, la matriz, la cual incluye una mayor cantidad de silicio, corresponde a estructura eutéctica. Por otra parte, la fase de color más claro corresponde a la fase  $\alpha$  del material, la cual posee mayor cantidad de aluminio. Como la mayoría de la microestructura es  $\alpha$  con estructura dendrítica, se puede relacionar SDAS de esta fase con las propiedades mecánicas

**c) Dibujando el diagrama de fase de Al-Si, muestre dónde está la posición de su composición aproximadamente. (5%)**



La aleación de la imagen corresponde a una aleación de tipo hipoeutéctica, ya que presenta una fase  $\alpha$  con una mayor cantidad de aluminio, y una matriz de composición eutéctica, la cual es más oscura porque posee una mayor cantidad de silicio, al contener fases  $\alpha$  y  $\beta$ .

**P3) Como se muestra en esquemas, una cuña se deforma por laminación y paso el proceso de recosido. Compara propiedades mecánicas de dos puntos A y B antes y después de recristalización. (20%)**

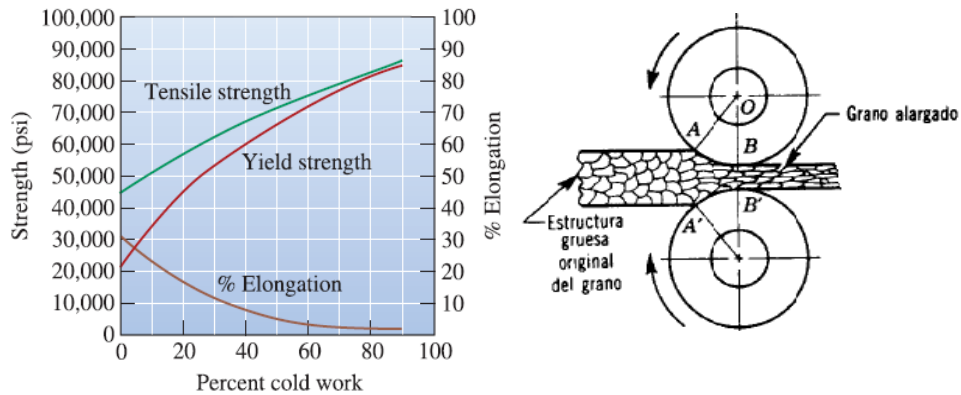


1. Antes de la recristalización (o después de la laminación)

$$\%CW = \frac{t_0 - t_f}{t_0} * 100$$

Como en el punto B inicialmente hay menor espesor, el porcentaje de trabajo en frío será menor que en el punto A.

Debido a esto, la densidad de dislocaciones en el punto B es menor luego del laminado, por tanto, tendrá menor resistencia a la tracción y resistencia a la fluencia, pero mayor ductilidad o porcentaje de elongación antes de la recrystalización. En el punto A hay mayor endurecimiento por deformación, mayor resistencia y menor ductilidad. El punto B tendrá granos menos alargados que el A.



## 2. Después de recrystalización

Después de la recrystalización, en ambos puntos se han eliminado los efectos del trabajo en frío por lo que disminuye la resistencia a la tensión y fluencia junto con un aumento en la ductilidad.

Sin embargo, el tamaño del grano recrystalizado disminuye al aumentar el % de trabajo en frío ya que hay más zonas de nucleación, por lo que A tendrá menor tamaño de grano que B y aunque no haya endurecimiento por deformación, puede haber endurecimiento por tamaño de grano, entonces A será más duro que B después de la recrystalización y tendrá una mayor resistencia.

**P4) Con templado en agua desde 550°C y tratamiento térmico de tres muestras de una aleación AA2024 a 180 °C durante 5 min, 15 min y 20 minutos, las durezas obtenidas fueron de 140 Hv, 170 Hv y 150 Hv, respectivamente. Explique qué sucedió en las microestructuras de estas muestras y por qué cambia la dureza. (20%)**

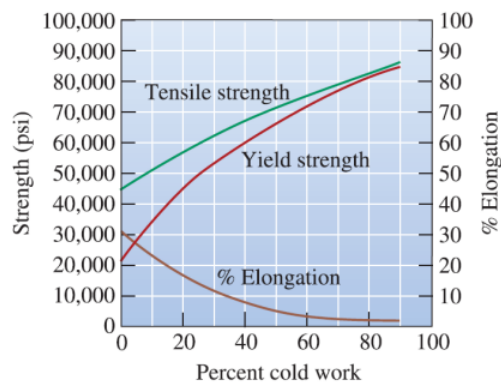
La aleación AA2024 corresponde a una aleación de aluminio con cobre. El enfriamiento rápido produce que no se alcance el equilibrio al disminuir la temperatura, por lo que hay energía para el cambio de fase contenida dentro del material y hay una fuerza impulsora para una nueva fase de equilibrio  $\theta$ .

Luego del templado, la resistencia al movimiento de las dislocaciones es por endurecimiento por solución sólida, el material se deforma fácilmente y la dureza es baja. Posteriormente, debido al tratamiento térmico, se forman zonas GP en el material, las cuales son coherentes con la red. La dureza sube debido al aumento en el esfuerzo necesario para mover las dislocaciones a través de la red distorsionada debido a estas zonas GP. Este punto corresponde a los 5 minutos con 140 Hv.

Antes de llegar a la fase  $\theta$ , por lo general se tienen fases de transición, las cuales se forman debido a que tienen una menor barrera energética que la fase  $\theta$  al poseer una microestructura intermedia entre la matriz y dicha fase de equilibrio.

Primero ocurre una transformación de las zonas GP a una fase de transición  $\theta''$  en las mismas zonas donde estaban las zonas GP. La dureza aumenta porque las dislocaciones ahora se deben mover a través de una matriz muy deformada por las placas de fase  $\theta''$ . Por último, se produce una formación de la fase de transición  $\theta'$ . Una combinación de  $\theta''$  con  $\theta'$  entrega la mayor dureza, lo cual podría corresponder a los 15 minutos con 170 HV. Al aumentar la cantidad de  $\theta'$  aumenta la separación entre los precipitados, disminuyendo la dureza porque las dislocaciones se mueven más fácilmente. Este punto corresponde a los 20 minutos con 150 HV.

**P5) Diseñe un proceso de manufactura (desde colada de lingote con espesor: 12cm) para producir una hoja de cobre de 0.5 cm de espesor que tenga al menos una resistencia a la tensión de 60,000 psi. (20%)**



Se verifica que no se puede realizar el procedimiento con una etapa de trabajo en frío, el ancho de la placa se asume constante, por lo que %CW queda determinado por el espesor:

$$\%CW = \frac{t_0 - t_f}{t_0} * 100\% = \frac{12 - 0.5}{12} * 100 = 95.83\%$$

Según la imagen, el límite de %CW es 90%. Como  $95.83\% > 90\%$ , entonces el proceso no se puede realizar en una sola etapa de trabajo en frío.

Para poder encontrar el proceso necesario para obtener las propiedades requeridas, primero se ve el último paso, el cual se sabe que será un trabajo en frío.

Según la figura, para poder obtener una resistencia a la tensión de 60,000 psi, el %CW a utilizar debe ser como mínimo de un 25% aproximadamente. Sabiendo el espesor final requerido, se calcula un espesor intermedio, que corresponde al espesor con el cual se comienza el trabajo en frío final:

$$25\% = \frac{t_0 - 0.5}{t_0} * 100\% \rightarrow 0.25 * t_0 = t_0 - 0.5$$

$$t_0 = \frac{0.5}{0.75} = 0.667[cm]$$

El espesor al inicio del trabajo en frío debe ser de 2[cm] por lo menos. Un espesor mayor aumenta el trabajo en frío y entrega más resistencia a la tracción, por lo que también es correcto, considerando siempre que %CW<90%.

Con esto, el proceso anterior al trabajo en frío podría ser un trabajo en caliente, el cual tiene capacidad de deformación ilimitada. Este trabajo en caliente estaría determinado por:

$$\%HW = \frac{t_0 - t_f}{t_0} * 100\% = \frac{12 - 0.667}{12} * 100 = 94.44\%$$

Como se recomienda un %HW no mayor al 95%, el proceso de manufactura para producir la hoja de cobre con resistencia a la tracción de 60,000 psi estaría determinado por:

*Etapa I: 94.44% de trabajo en caliente; de  $t_0 = 12[cm]$  a  $t_f = 0.667[cm]$*

*Etapa II: 25% de trabajo en frío; de  $t_0 = 0.667[cm]$  a  $t_f = 0.5[cm]$*