

Duraluminio

Otro ejemplo de aplicación en ingeniería de las estructuras metaestables corresponde al caso del duraluminio, una entre varias aleaciones base aluminio. A modo de ejemplo, tomemos el caso de la sencilla aleación fundamental Al-4,5%p.Cu. Ver diagramas Cu-Al adjuntos, Figs. 1 y 2.

Los duraluminios fueron importantes aleaciones de aviación. Aún se utilizan en algunas aeronaves, si bien las más modernas se fabrican con aleaciones de Titanio.

La estructura de equilibrio a temperatura ambiente, $\alpha + \theta$ es indeseable, por el pobre comportamiento mecánico de la fase θ , ver Fig. 3. La fase θ corresponde al intermetálico CuAl_2 , (Al-52,5%p.Cu), con un fuerte carácter iónico. Por otra parte, la fase α es una solución sólida de sustitución, de carácter metálico y, por ende, es relativamente dúctil y blanda.

En la aleación Al-4,5%p.Cu a 520 °C se tiene rápidamente la fase de equilibrio a esa temperatura; a este tratamiento térmico se le llama solubilización. En seguida, por temple, es posible retener la fase α a temperatura ambiente, en forma metaestable, ver Fig. 4. Esta fase α está sobresaturada en Cu, respecto del Cu que debería contener de estar al equilibrio; (el valor de equilibrio se lee en la línea de solvus a la izquierda del campo bifásico $\alpha + \theta$). En tal estado metaestable, el material es dúctil y puede ser ventajosamente mecanizado por arranque de viruta y conformado plásticamente.

Después, ya terminada la pieza a fabricar, el material se puede endurecer a través de un tratamiento térmico denominado de “envejecimiento”. Durante este tratamiento se forman

finísimas partículas de una segunda fase en la matriz α ; cuando estas partículas son las adecuadas, el material endurece. Este envejecimiento se puede hacer ya sea en forma natural (y poco controlada), p.e. poniendo el material al sol durante algunas decenas de horas, o bien en forma artificial en hornos (y controlada), p.e. a 230 °C, por algunas horas. Ver. Fig. 5. La práctica de endurecer naturalmente ya no se usa industrialmente. Nótese que el rango de temperaturas, en torno a los 230°C, donde se tiene el campo monofásico α Para una aleación Cu-2.5%p.Al es bastante estrecho en temperatura, lo cual significa que el control de la temperatura de los hornos industriales de solubilización es muy crítico en estas aleaciones.

Lo que ocurre al calentar el material templado, es que el sistema evolucionará desde la fase α sobresaturada, hacia las dos fases de equilibrio, $\alpha + \theta$. Aquí la transformación se iniciará en muchos puntos de transformación, por lo que la segunda fase aparecerá como muchas partículas finas. El proceso es complicado, pues hay varios precipitados intermedios antes de llegar al precipitado de equilibrio final que es θ . De hecho las mejores propiedades mecánicas en términos de buen compromiso entre dureza y ductilidad se logra con uno de los precipitados intermedios; de hecho, cuando aparece tal precipitado, hay que detener el tratamiento. Si se continúa con el tratamiento térmico, el material disminuye sus propiedades mecánicas y entonces se habla de sobre-envejecimiento.

El proceso de manufactura consiste entonces en:

-Primero, el metal se temple y luego es conformado plásticamente y/o mecanizado en el blando estado de temple.

-Después, una vez que ya se le ha dado la forma adecuada, se procede a endurecer el material por envejecimiento.

Para evitar que el material templado aún no trabajado mecánicamente endurezca en las bodegas, se procura trabajarlo poco después del temple, o bien hay que guardarlo en refrigeradores.

Las transformaciones de precipitación durante el envejecimiento son bastante complejas, pues aparece una secuencia de varios precipitados. El envejecimiento de dureza máxima y óptima corresponde a la formación de una fina fase θ'' metaestable (o zonas GP2). Si el tratamiento se prolonga demasiado, indeseablemente la dureza disminuye: los precipitados de fase θ'' crecen y se transforman gradualmente primero en precipitados θ' y después en la fase de equilibrio θ (sobreenvejecimiento).

La secuencia de las transformaciones de precipitación en el horno de envejecimiento es la siguiente:

- Solución sólida sobresaturada en Cu.
- Zonas GP1
- Zonas GP2 o fase θ'' . Son especies de discos de 1-4 nm de espesor y de 10-100 nm de diámetro.
- Fase θ'
- Fase de equilibrio θ (CuAl_2).

Los precipitados que aparecen en estas aleaciones θ'' son muy finos como para poder observarlos por microscopía óptica. El endurecimiento que presentan las aleaciones envejecidas se debe a estos finos precipitados de θ'' , especialmente. Se requiere Microscopía Electrónica de Transmisión; esta misma técnica es la que permite ver los finos carburos precipitados en la martensita revenida. En la industria es posible evitar el uso de microscopía electrónica utilizando materias primas y procesos muy controlados, además de mediciones de propiedades mecánicas y de conductividad eléctrica.

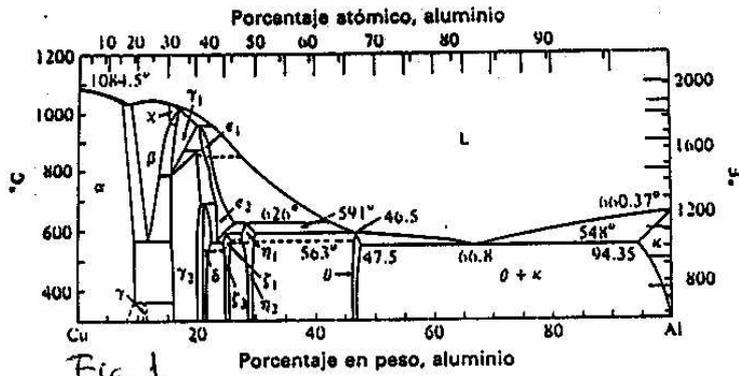


Fig. 1

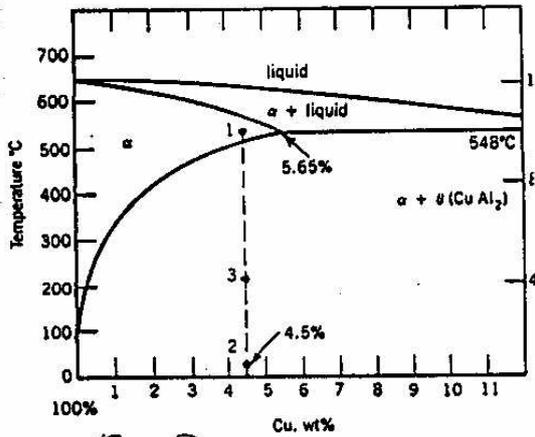


Fig. 2



Al principio:
 $\alpha + \theta$ gruesa
 (equilibrio a
 temperatura ambiente)

Fig. 3 Estructura indeseable,
 por su mal comportamiento.
 Resulta de un enfria-
 miento lento desde los
 520°C

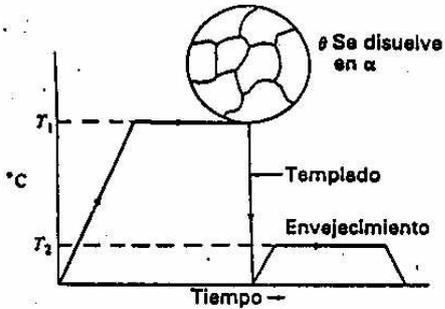


Fig. 4

Esquema del tratamiento
 de temple y envejecimiento, y
 de las estructuras resultantes de ellos,
 en el duraleminio.

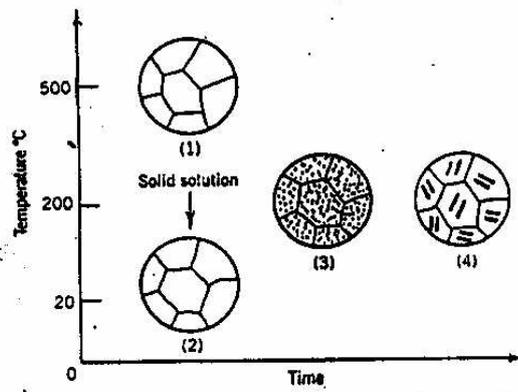


Fig. 5