

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, abordaremos el caso de la sencilla aleación fundamental Al-4,5%p.Cu. Ver diagramas Cu-Al adjuntos, Figs. 1 y 2.

Las aleaciones tipo duraluminio son importantes aleaciones livianas empleadas, por ejemplo, en vehículos, debido a su buen compromiso resistencia mecánica/masa. Todavía se utilizan bastante en aeronaves, si bien estas aleaciones están siendo reemplazadas por aleaciones de Titanio y materiales compuestos.

La estructura bifásica de equilibrio a temperatura ambiente, $\alpha + \theta$, es frágil en relación con la forma y tamaño de la dura fase θ , ver Fig. 3. La fase θ corresponde al intermetálico CuAl_2 , (Al-52,5%p.Cu). 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 α 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 la solución de estar ella 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 mecanizada la pieza a fabricar, a través de procesos como doblado, arranque de viruta, etc., el material puede ser endurecido 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 sin alcanzar una excesiva fragilidad. Este envejecimiento se puede hacer ya sea en forma natural (y menos controlada, p.e. poniendo el material al sol durante algunas centenas de horas), o bien en forma artificial en hornos (y controlada), p.e. a 230 °C por algunas horas. Ver. Fig. 5.

Lo que ocurre a unos 230°C, el sistema evolucionará desde la fase α sobresaturada, hacia las dos fases de equilibrio a esa temperatura, $\alpha + \theta$. Aquí la transformación se iniciará (nucleará) 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 esta manera, cuando aparece tal precipitado, hay que detener el tratamiento. Si se continúa con el tratamiento térmico, el material disminuye significativamente su dureza 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, fase α metaestable .

-Después, una vez que ya se le ha dado la forma adecuada, se procede a

endurecer el material por envejecimiento. Se trata de tener una estructura final de finas partículas de unprecipitado intermedio, duro, reforzando a la dúctil matriz base Al. Esa matriz es una solución sólida que contiene algo de Cu disuelto.

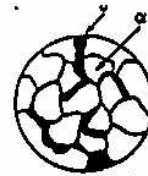
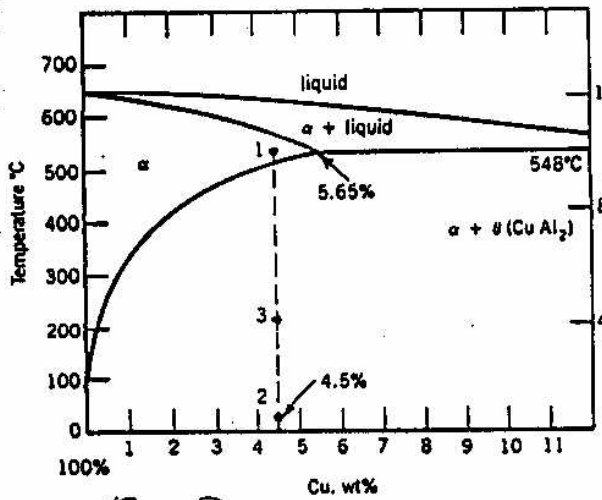
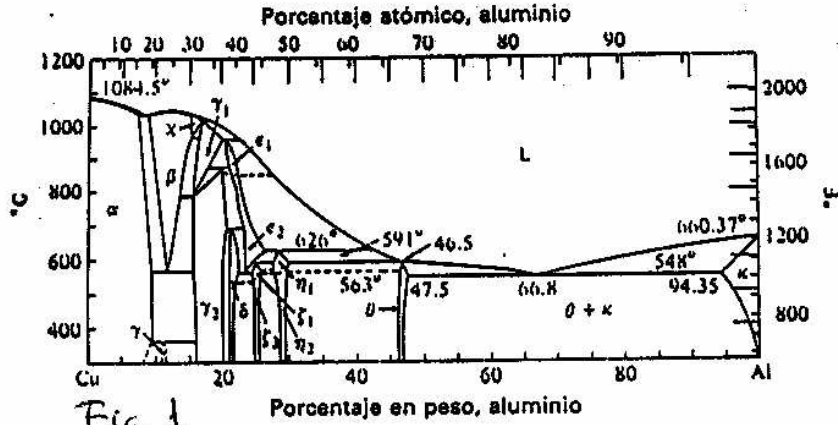
Para evitar que el material templado aún no trabajado endurezca en las bodegas, se procura trabajarlo poco después del temple, o bien hay que guardarlo en refrigeradores.

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. Se requiere Microscopía Electrónica de Transmisión; esta misma técnica de observación es la que permite ver los finos carburos precipitados en la martensita revenida. En la industria se evita el uso de microscopía electrónica utilizando materias primas y procesos muy controlados, además de mediciones de propiedades mecánicas y de conductividad eléctrica.



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

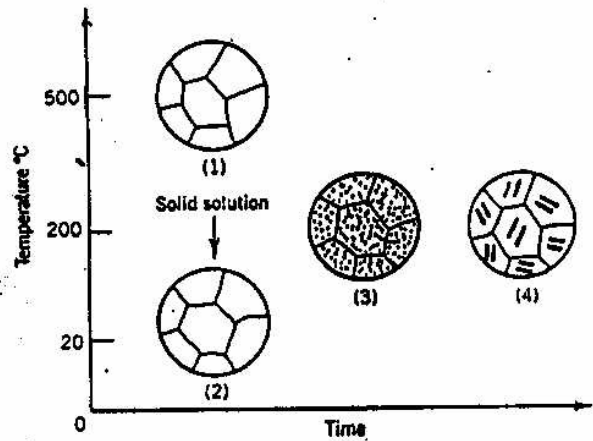
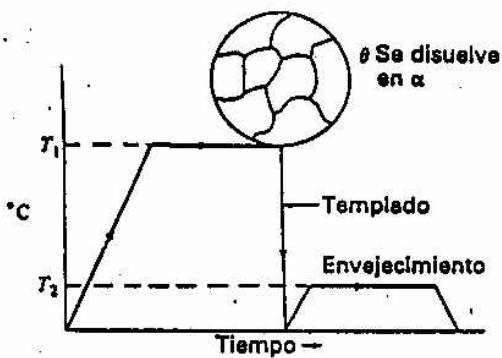


Fig. 4 Esquema del tratamiento
 de temple y envejecimiento, y
 de las estructuras resultantes de ellos,
 en el duralexinio.