

SÚPER PLASTICIDAD EN ALEACIONES DE ALUMINIO Y NÍQUEL*

ROSA GONZÁLEZ GALLEGO**

Introducción

Gracias al fenómeno de la superplasticidad, se puede estirar un material; esta propiedad la presentan ciertos metales cuando se encuentran a una temperatura cercana a su punto de fusión.

Cuando las aleaciones de aluminio y algunos otros metales son calentadas a 982 C, se pueden estirar hasta formar una lámina bien delgada. Así esta lámina delgada y caliente se puede poner alrededor de un molde. Cuando la lámina de metal se enfría mantiene la forma del molde. El resultado es una pieza de máquina extremadamente fuerte, pero delicadamente detallada. Por lo anterior, se puede llamar superplástico a un metal que puede deformarse con tensión, sin que aparezcan en la región extendida constricciones o cuellos, esto

quiere decir que la parte deformada no presenta cambios en su diámetro.

¿Qué aporta la afirmación de que el metal tiene superplasticidad y puede moldearse? Por ejemplo, las piezas de los aviones necesitan ser fuertes y livianas. Hasta hace poco el armazón de muchos aviones se construía con piezas de metal. Las piezas se cortaban para formar el molde y luego se soldaban. Todas las piezas y la soldadura hacían que el avión fuera muy pesado. Se necesita mucha energía para mantener en vuelo un avión construido en esa forma. Por esta y muchas otras razones, los científicos buscan la manera de transformar el metal en láminas delgadas que se puedan moldear como piezas fuertes y livianas.

Las primeras publicaciones sobre el comportamiento superplástico de un metal aparecieron entre 1912 y 1940; a partir de entonces se conoce información que describe el estiramiento de latones fabricados con aleaciones de cobre y cinc; una probeta, de solo 10 cm, de una aleación de bismuto y estaño, se había deformado

* Ponencia presentada en el Seminario de Química. Octubre de 2003.

** Estudiante del Departamento de Química de la U. P. N.

sin fracturarse hasta alcanzar casi dos metros de longitud.

En 1945 Bochvar comenzó una intensa investigación sobre la superplasticidad; fue el inicio de numerosos trabajos y nacimiento del primer Instituto dedicado exclusivamente a la superplasticidad. Fue a partir de estos estudios que el mundo occidental, en los años sesenta, comenzó a interesarse por esta propiedad, abordando algunas aleaciones de Zn-Al, y Pb-Sn. Se demostró que era posible dar forma a láminas de estas aleaciones mediante aire a presión, obteniéndose así esferas y otros cuerpos geométricos.

Teniendo en cuenta lo anterior, acerca de los metales, se plantean las siguientes afirmaciones:

- Las aleaciones se deforman en mayor porcentaje que sus respectivos componentes puros (metales), es decir, tienen mayor efecto superplástico.
- La súper plasticidad se presenta en los metales por deslizamiento de granos, mas no por defectos de la red cristalina.

Para demostrar lo anterior se analizará una aleación de aluminio y níquel, a partir de las propiedades de los metales que la forman, y se explicará con base en el fenómeno de deslizamiento de granos.

Defectos de la red cristalina

Los defectos de estructura cristalina pueden ser de dos clases:

- Defectos de punto: entre ellos se encuentran los llamados defectos por vacante, por impureza sustitucional e impureza intersticial.

- Defectos de línea o dislocaciones: pueden ser por: dislocación de arista, helicoidal y dislocación mixta.

Dislocamiento de grano: al observar al microscopio una estructura metálica bien pulida y atacada químicamente, se encuentra que los metales no son continuos sino que se constituyen mediante la unión de mosaicos denominados granos. En algunos casos, como en la lámina galvanizada, estos granos pueden observarse a simple vista. El tamaño del grano puede modificarse para mejorar la resistencia mecánica.

Cuando se calientan los pequeños granos del metal, ruedan uno encima de otros como esferas y luego se dispersan. Los científicos pueden usar esta técnica para estirar una lámina de metal a más de diez veces su longitud inicial. Entre más pequeños sean los granos más rápido ruedan unos encima de otros. Por esto es más fácil trabajar con nanocristales, es decir con granos de diámetro del orden de 10-9 cm de radio.

Propiedades de los metales

Las propiedades de los metales se clasifican en:

Físicas: dependen del tipo de aleación y las más importantes son peso y calor específico, dilatación térmica, temperatura de fusión y solidificación y resistencia al ataque químico.

Mecánicas: son aquellas que expresan el comportamiento de los metales frente a esfuerzos o cargas que tienden a alterar su forma y son: la resistencia, dureza, elasticidad, plasticidad, tenacidad y fragilidad.

Tecnológicas: determinan la capacidad de un metal a ser conformado en piezas o partes útiles o aprovechables, ellas son: ductilidad, fusibilidad, colabilidad, soldabilidad y facilidad de mecanizado.

Los metales pueden ser frágiles o dúctiles, duros o blandos, de fácil fusión o capaces de soportar temperaturas extremadamente elevadas. De una manera casi paradójica, las propiedades de los metales se acrecientan con frecuencia exponiéndolos a diversos esfuerzos: un metal puede endurecerse por deformación, por exposición a un grado de calor adecuado, puede hacerse más difícil la disminución de la resistencia mecánica a elevadas temperaturas. La clave de estas propiedades radica en la estructura cristalina característica de los metales.

Si se imagina que los átomos de un metal se distribuyen apretadamente, como esferas en una caja, estos tienden a formar planos de máximo empaquetamiento. El modo de colocación de estos planos condiciona muchas de las propiedades de un metal determinado. Aleando un metal, es decir, agregándole átomos de otro metal, se cambia la disposición de los planos de los átomos, incrementando, a menudo, la resistencia mecánica del conjunto. Así, el bronce es más resistente que el cobre y que el cinc, sus dos metales componentes.

En 1930, los metalurgistas empezaron a observar que la red cristalina perfecta no podía explicar todas las propiedades atribuidas a los materiales y a las aleaciones. Hoy resulta evidente que los defectos de la red (lugares donde los átomos del plano no encajan perfectamente), desempeñan normalmente un papel preponderante en la determinación de propiedades, ta-

les como: ductilidad, fragilidad y comportamiento a elevada temperatura. Más recientemente, la metalurgia ha aprovechado estos conocimientos para desarrollar una nueva generación de aleaciones. Para crearlas, los investigadores de materiales han manipulado deliberadamente la compleja estructura de heterogeneidades e imperfecciones en la estructura cristalina de los metales.

Los metales que se usan cotidianamente, representan un hito en la metalurgia. Anteriormente los metalúrgicos se basaban principalmente en ensayos y pruebas, para averiguar qué ingrediente debía añadirse y qué etapas del proceso debían seguirse para obtener las mejores aleaciones. Actualmente, se diseñan aleaciones mediante técnicas basadas en el conocimiento profundo de la microestructura y de la micro-mecánica.

Aleación Cobre - Níquel

En una aleación convencional, todos los átomos están distribuidos según una estructura cristalina particular; es decir, todos los planos de átomos están colocados según una secuencia determinada. Corrientemente, una muestra consta de muchos granos, o cristales individuales unidos entre sí. Las estructuras cristalinas de diferentes granos no están mutuamente alineadas, pero sí lo están los átomos de los distintos cristales, siguiendo siempre la misma pauta. Por su parte, los átomos de una superaleación están distribuidos en dos o más fases, o tipos de disposición. En las superaleaciones basadas en el níquel, las fases se denominan γ y γ' . Los cristales, diminutos y normalmente cúbicos de la fase γ' se incrustan en una matriz formada por la fase γ . La principal diferencia entre las dos fases radica en que los átomos en la γ' están

mucho más ordenados que en la γ' . Es decir, si bien es verdad que los planos de átomos siguen la misma disposición en ambas fases, también es cierto que los átomos de níquel ocupan lugares específicos en cada plano de la fase γ' y que otros lugares específicos están ocupados por los átomos del otro metal, que suele ser aluminio. (En la fase γ' de la superaleación níquel-aluminio, existen tres átomos de níquel por cada átomo de aluminio.) En la fase γ cada tipo de átomo puede ocupar cualquier sitio.

Para comprender las especiales propiedades de las superaleaciones, es necesario entender primero cómo se comporta la microestructura de un metal frente a una fuerza aplicada. Suponga que se aplica una fuerza de corte a una muestra metálica simple; así, un plano imaginario, llamado plano de cizallamiento, la divide en dos partes imaginarias: mientras la parte superior se ve empujada hacia la derecha por la fuerza aplicada, la parte inferior se mantiene estacionaria: ¿Cuál es el efecto de tal fuerza en la microestructura del metal? Imagine planos de átomos a cada lado de la muestra que sean aproximadamente perpendiculares a la fuerza aplicada y, por tanto, al plano de cizallamiento. La mitad superior del plano situado en el extremo izquierdo de la muestra se desplazará hacia la derecha, pero la mitad inferior no. Si se aplica una fuerza suficiente, el plano se romperá en dos; la mitad superior izquierda se desplazará un poco dentro de la muestra. Podrá ocurrir que se empuje tanto que fuerce el semiplano vecino, el semiplano en el interior de la muestra y ocupando su lugar en el cristal ordenado. El semiplano desplazado desplaza, a su vez, al semiplano vecino, ocupando su lugar.

De este modo, un semiplano adicional se propaga a través de la muestra, con lo que la mitad

superior de la muestra acaba por desplazarse hacia la derecha una distancia atómica interplanar. Si la fuerza se mantiene constante, la muestra continuará deformándose. El plano extra que se desplaza a través de la muestra se denomina línea de dislocación.

Un metal duro ofrece dificultades para el desplazamiento de las dislocaciones en su interior y no se deforma tan fácilmente como un metal que permita el libre movimiento de las dislocaciones. La microestructura de las superaleaciones basadas en el níquel dificulta el movimiento de las dislocaciones; por cuyo motivo, las superaleaciones son más resistentes que la mayoría de las aleaciones ordinarias.

La clave de la resistencia de las superaleaciones de níquel reside en la presencia de cristales de la fase γ' . Esta fase está ordenada: los átomos de níquel y de aluminio ocupan posiciones específicas dentro de la red cristalina. Cuando un semiplano se desplaza, ocupando el lugar del vecino, ciertas posiciones atómicas que en el semiplano original estaban ocupadas por átomos de aluminio lo están ahora por átomos de níquel, y viceversa. Esta disposición atómica tiene mayor *energía interna* que la fase γ' sin deformar, dificultando el desplazamiento de una dislocación a través de la fase γ' . (Las dislocaciones se desplazan a través de la fase γ' por pares; una segunda dislocación debe moverse a través del material suprimiendo el desorden causado por la primera).

En una muestra de una superaleación que contenga ambas fases, las dislocaciones se

mueven con relativa facilidad a través del material en la fase γ , pero se frenan y se anclan en los cristales de la γ' . Por tanto, las superaleaciones resisten la deformación y son más rígidas que una aleación convencional. Una superaleación se fabrica fundiendo una pieza de níquel y agregando aluminio; normalmente se agrega cierto porcentaje de cromo para proteger de la corrosión al producto final, y pequeñas cantidades de otros metales, como titanio y tungsteno, para aumentar aún más la estabilidad; luego la mezcla líquida se enfría y aparece una masa de fase γ de níquel-aluminio puesto que el punto de solidificación de la fase γ es superior al de la fase γ' . Cuando la aleación experimenta un posterior enfriamiento en su estado sólido, precipitan pequeños cubos de fase γ' dentro de la matriz de fase γ . El tamaño final de las partículas de γ' se controla variando la velocidad de enfriamiento del material.

Las piezas de superaleaciones presentan la máxima resistencia mecánica cuando contienen una elevada proporción (cerca del 60 %, en volumen) de diminutos cristales de γ' . Sin embargo, cuando las piezas en servicio se exponen a elevadas temperaturas, los pequeños cristales de γ' tienden a crecer.

Para conseguir ciertas propiedades mecánicas, a elevada temperatura, y mantenerlas a pesar de su exposición a muchos ciclos de uso, se han ideado complejos tratamientos térmicos. Un procedimiento típico consiste en calentar la aleación a una temperatura relativamente elevada, enfriarla rápidamente y luego envejecerla a baja temperatura, con el fin de conseguir el adecuado tamaño y la oportuna

distribución de los cristales de γ' . En los últimos años, ha despertado gran interés en metalurgia cierta modificación de las superaleaciones de níquel-aluminio. Desde hace algún tiempo, se sabe que la resistencia mecánica de la fase γ' pura, de níquel-aluminio crece drásticamente con la temperatura. Durante décadas, este efecto ha intrigado a los investigadores, pero los intentos de sacar partido de esta propiedad se han visto sistemáticamente frustrados por otra propiedad de la fase γ' relacionada con su dureza: su extrema fragilidad. Al fabricar una muestra pura de fase γ' de níquel-aluminio, los granos individuales, o cristales, de γ' mantienen dura la muestra, pero los granos se separan de sus vecinos por el límite de grano (las fronteras entre granos) y la muestra tiende a pulverizarse.

En 1963, Joseph B. Moore y Roy L. Athey, de Pratt & Whitney, informaron que ciertas superaleaciones de níquel, con grano muy pequeño, podían fabricarse gracias a su superplasticidad. El pequeño tamaño de grano necesario se consigue deformando vigorosamente el material a una temperatura por debajo de la que permite la cristalización de la fase γ' . Es fundamental la presencia de partículas de γ' para evitar la recrystalización de la matriz de fase γ y, por tanto, el crecimiento de los granos. Una vez se ha llevado el material a la condición superplástica, es posible deformarlo, como si fuera una masilla, en la forma prevista. Después, las piezas así deformadas se tratan térmicamente, se enfrían rápidamente y se envejecen, para conseguir una microestructura más resistente y estable a elevada temperatura que la ofrecida por granos pequeños de la estructura superplástica.

Conclusiones

La deformación de los metales o superplasticidad se produce por deslizamiento de un grano sobre otro, tal como sucede con los granos de arena o de sal y no por deslizamiento de planos atómicos, asistidos por dislocaciones.

Las aleaciones tienen mayor efecto superplástico que sus componentes puros, pues al combinarse los átomos de los dos metales, hay una mejor acomodación entre ellos, esto contribuye positivamente a las propiedades mecánicas de los metales.

BIBLIOGRAFÍA

TORRES VILLASEÑOR, G. 1997. Metales que se comportan como plásticos. Revista Investigación y Ciencia, No. 248.

SHACKELFOR, J, F. 1998. Introducción a la ciencia de los materiales para ingenieros, 4 Ed. Prentice Hall. España.

SIEGEL, W. R (1997). Creación de materiales nanofásicos. En: Revista Investigación y Ciencia. No. 245

www.Metalunivers.com/1pm/PmO2/Pmo2