

Caracterización de una aleación con memoria de forma NiTiCu

Cruz Guerrero Harum Hueman¹, Garfias García Elizabeth^{2*}, Aguilar Sánchez Miriam²

¹División de Ciencias Básicas e Ingeniería, Maestría en Ciencias e Ingeniería de Materiales, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco. Av. San Pablo No. 180, Azcapotzalco, Ciudad de México. C.P. 02200. México.

²Universidad Autónoma Metropolitana, Departamento de Materiales. Av. San Pablo No. 180, Azcapotzalco, Ciudad de México. C.P. 02200. México.

*Autor para correspondencia: elgg@uam.azc.mx

Recibido:

04/agosto/2019

Aceptado:

03/septiembre/2019

Palabras clave:

Aleaciones Memoria de form, microestructura, NiTiCu

Keywords:

Shape memory alloy, microstructure, NiTiCu

RESUMEN

Las aleaciones NiTiCu pertenecen a una clase de materiales con excelentes propiedades de memoria de forma, que se han venido desarrollando para diferentes aplicaciones en ingeniería, el presente trabajo muestra el estudio de la caracterización microestructural y composicional de la aleación NiTiCu mediante la microscopía óptica, electrónica de barrido, MEB, y por medio de la técnica de EDS, los resultados muestran las fases presentes de acuerdo al porcentaje en peso de Cu.

ABSTRACT

NiTiCu alloys belong to a class of materials with excellent shape memory properties, which have been developed for different engineering applications, the present work shows the study of the microstructure and compositional characterization of the NiTiCu alloy by means of optical microscopy, scanning electron microscopy, SEM, and by means of the EDS technique, the results show the phases present according to the percentage by weight of Cu.

Introducción

Las aleaciones con memoria de forma son aleaciones metálicas que, pueden deformarse de forma plástica, pero vuelven a su forma original tras un calentamiento. Distintas aleaciones base NiTi pueden ser deformadas hasta un 10% y dentro de un determinado intervalo de temperaturas pueden recuperar su forma original al ser descargados (Alkan, 2019). Ya sea el efecto de memoria de forma o bien la memoria de forma elástica, también llamada superplasticidad, se presentan debido al cambio de transformación martensítica termoelástica (Salinas, 2011).

La memoria de forma se manifiesta cuando, después de una deformación plástica, el material recupera su forma tras un calentamiento suave. Las transformaciones de fase en los sólidos pueden producirse por mecanismos muy diferentes. El mecanismo más común consiste en el desplazamiento de átomos de sus posiciones de equilibrio, mediante un proceso conocido como difusión, para adoptar una nueva estructura más estable en las condiciones de presión y temperatura a las que se encuentra el material. Este tipo de transiciones se produce generalmente de forma lenta.

La martensita al calentarse da inicio a la formación de austenita A_s (Austenita *start*), y cuando esta finaliza lo hace a una temperatura A_f (Austenita *final*). Cuando la austenita se enfría aparece la formación de martensita a una temperatura M_s (Martensita *start*), el cambio termina en la temperatura de finalización de la martensita M_f (Martensita *final*) (De la Flor, 2005).

Este mecanismo más común, se puede explicar su efecto de manera esquemática para un cristal de austenita en la figura 1, y a nivel macroscópico mediante la figura 2. Llamado efecto de memoria de forma simple (De la Flor, 2005).

1.- Primero, el material se enfría sin aplicar ningún esfuerzo, partiendo desde una temperatura A_f , hasta llegar a una temperatura inferior a M_f . Este paso es el que produce la transformación directa de austenita a martensita, al ser un enfriamiento súbitamente rápido, la martensita se forma de una manera auto-acomodada para minimizar la energía del sistema, de manera que la forma macroscópica del material no cambia.

2.- Seguido del enfriamiento se aplica un esfuerzo creciente de manera que la aleación se deforma. Esta distorsión es el resultado de la deformación elástica de la martensita, así como la reorientación de las variantes formadas durante el enfriamiento. Las cuales se mueven con facilidad, de manera que se acomodan al esfuerzo aplicado. Cabe destacar que si el esfuerzo es muy grande se puede introducir deformación plástica que haga que el proceso no sea totalmente reversible.

3.- El esfuerzo se relaja conservándose una distorsión residual. Así, la estructura cambiar mediante una deformación que se da por la reorientación de acomodamiento de los átomos.

4.- La aleación recupera su forma original mediante la elevación de la temperatura por encima de A_f .

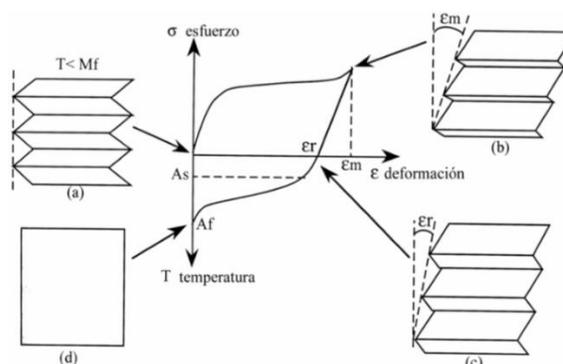


Figura 1. Esquema de un cristal de Austenita, descripción en el siguiente párrafo.

En la imagen (d) se observamaterial esta inicialmente en estado austenítico, en (a), se enfría hasta llegar a la fase martensita, en (b), se aplica un esfuerzo provocando una deformación macroscópica, en (c), el esfuerzo se relaja conservándose solamente la deformación residual. Y finalmente se calienta el material para llegar a la forma inicial de manera espontánea (d).

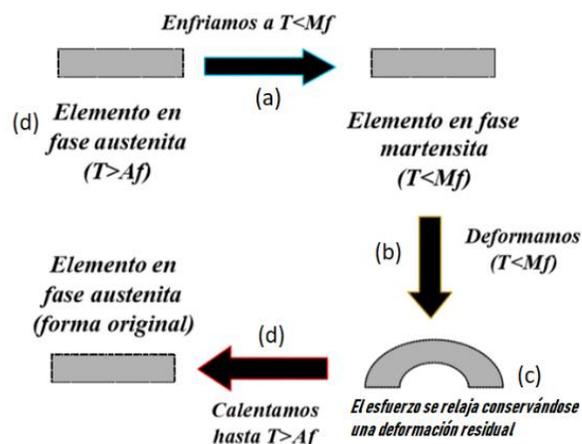


Figura 2. Esquema a nivel macroscópico con descripción arriba.

Metodología

Las probetas fueron obtenidas a partir de un alambre entregado para su caracterización por parte de una comercializadora, inicialmente nominado como NiTi, 50%/50% en peso por la empresa. Se cortaron dos tramos del alambre comercial, uno longitudinal de 3.5mm y otro transversal de 2 mm, para su estudio.

Metalografía

Una muestra transversal y otra longitudinal fueron montadas en baquelita termoendurecible para su estudio. Posteriormente se procedió a realizar el desbaste de acuerdo a los papeles abrasivos de números 80, 180, 220, 320, 400, 600, 1000, 1500 cambiando el sentido de la probeta 90° en cada cambio. Esto se llevó a cabo hasta obtener el desbaste de las probetas uniforme al llegar a la lija de 1500. Como siguiente paso y con ayuda de una pulidora con disco giratorio, se trabajó con paño de microfibra montado en el disco, junto con el abrasivo usado que fue alúmina de granulometría 1.0, 0.3 y 0.05 micrómetros. Hasta llegar a un acabado especular, donde las líneas de desbaste ya no fueran visibles. Posteriormente se realizó un ataque químico para revelar la microestructura.

Durante el ataque químico para revelar la microestructura, fueron empleados diferentes reactivos referidos en la literatura para NiTi, sin embargo, el reactivo que dio los mejores resultados fue: 25% de agua, 25% de ácido fluorhídrico, 50% de ácido nítrico; se realizó mediante inmersión por 3 segundos, posteriormente se limpió con acetona seguido de secado con aire caliente forzado y se observó con un microscopio óptico, MO, invertido para materiales marca Zeiss, modelo Axio Vert A1.

Para la caracterización mediante MEB se limpió la muestra atacada, mediante baño de ultrasonido en acetona y alcohol isopropílico durante 5 minutos respectivamente, el equipo utilizado fue un FESEM Field Emission Scanning Electron Microscope (por sus siglas en inglés), modelo SURPA 55pV, marca Carl Zeiss. Los análisis químicos elementales obtenidos por la técnica de EDS, se realizaron con un equipo acoplado al MEB marca Oxford modelo X-Max y una ventana de 20mm². Para el análisis químico composicional, se calibró el detector con un estándar de Cu, bajo una apertura de 60 micrómetros a un voltaje de aceleración de 20 kV, todos los análisis químicos elementales se realizaron de la misma forma.

Resultados y discusión

Los resultados que se muestran en este trabajo son los primeros obtenidos a partir de la muestra comercial que inicialmente fue entregada como Nitinol, 50% Ni, 50%Ti, sin embargo, una vez realizada la caracterización por el detector de EDS fue posible observar que la aleación tenía un porcentaje de cobre, dicha diferencia promueve otro tipo de propiedades.

La figura 3 muestra la probeta en su sección transversal de la aleación NiTiCu después del ataque químico: (a) la microestructura mediante microscopía óptica, MO, a

100X; en (b) la microestructura por microscopía electrónica de barrido, MEB, a 500X.

Como se puede observar en la figura 3(a) la microestructura tipo Widmastatten está formada por agujas de martensita, como se puede ver a mayores aumentos en el MEB, figura 3(b) en donde se pueden observar tanto agujas amplias y alargadas y otras de menor tamaño en el fondo de la microestructura.

Las microestructuras de la sección longitudinal presentaron las mismas fases que lo que se muestra para la sección transversal. Mediante el estudio de MEB a mayores aumentos fue posible observar precipitados de segunda fase que son ricos en Cu.

Micrografías

La figura 4 muestra precipitados de segunda fase en color blanco, partículas alargadas y semiesféricas, así como una partícula de segunda fase ovalada en color gris, observados por MEB a 4,000 X.

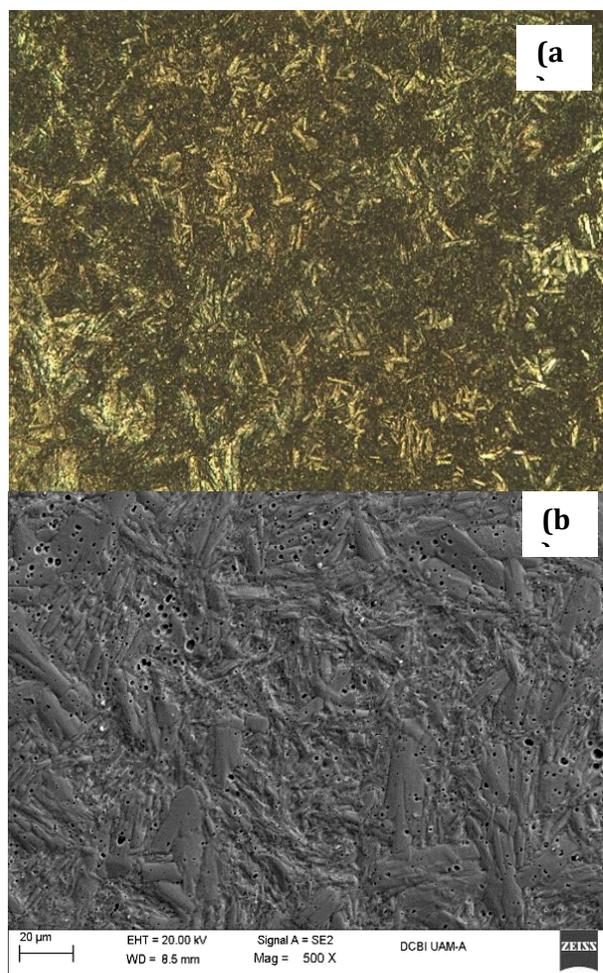


Figura 3. Microestructura de la aleación de memoria de forma NiTiCu, mediante MO y MEB.

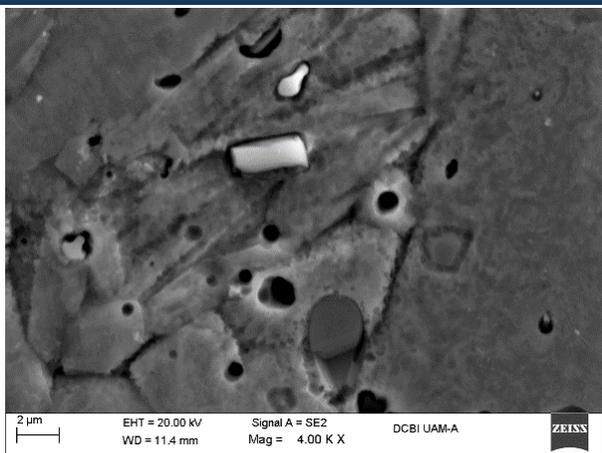


Figura 4. Segundas fases presentes en la aleación.

El análisis químico elemental de la aleación fue obtenido mediante un espectrómetro marca OXFORD, acoplado al FESEM y mediante la técnica de EDS se obtuvieron la composición química de la muestra de estudio; la tabla 1 muestra los resultados del promedio de cinco puntos seleccionados a lo largo de la probeta longitudinal y se comprobó que la muestra transversal mostraba la misma composición química.

Tabla 1. Análisis químico cuantitativo de la aleación NiTiCu.

Elemento	% en peso	% atómico
Ni	47.71	43.35
Ti	46.26	51.52
Cu	5.62	4.72

Conclusiones

Mediante la técnica de MO, fue posible caracterizar microestructuralmente la aleación NiTiCu se observaron agujas de martensita debido a la transformación de fase de la austenita. La caracterización del aguja de martensita y precipitados de segunda fase fue posible mediante MEB y la composición química cuantitativa de la aleación fue determinada mediante EDS y gracias a esta técnica fue posible determinar que la muestra de estudio se trataba de una aleación NiTiCu y no de una aleación de Nitinol como inicialmente fue entregada.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Laboratorio de Microscopía Electrónica Divisional por los resultados obtenidos mediante el equipo SURPA 55 pV de la marca Zeiss.

Referencias

Alkan S., Sehitoglu H., (2019). Plastic flow resistance of NiTiCu shape memory alloy-theory and experiments. *Acta Materialia* 163, 173-188.

De la Flor S. (2005). Simulación numérica y correlación experimental de las propiedades mecánicas en las aleaciones con memoria de forma. Tesis de Doctorado, Universidad Politécnica de Catalunya.

Salinas Chávez J.A. (2011). Caracterización de aleaciones NiTi y NiTiCu elaboradas por fusión inducida al vacío y por inducción de plasma. Tesis de Maestría, Facultad De Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Universidad Autónoma De Nuevo León.