

Materiales inteligentes

EDVCAATIO PHYSICORVM



ISSN 1870-9095

Juan Carlos Guzmán Olgúin, José Guzmán Mendoza

Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada, Unidad Legaria del Instituto Politécnico Nacional, Calzada Legaria 694, Col Irrigación, Alc. Miguel Hidalgo, 11500, Ciudad de México, México.

E-mail: juan_carlos321a@hotmail.comx

(Recibido el 19 de julio de 2022, aceptado el 28 de agosto de 2022)

Resumen

En este trabajo se presenta un artículo de divulgación sobre distintos materiales “inteligentes” los cuales presentan el efecto de memoria de forma, es decir, que pueden “recordar” una forma pre-establecida cuando se les aplica un estímulo externo, normalmente calor. Estos materiales pueden ser aleaciones metálicas, polímeros y aún cerámicos. El factor común en estos materiales es la transformación martensítica, en donde los átomos sufren un reordenamiento para formar una nueva estructura cristalina, pero sin presentar difusión; esta nueva fase se forma durante el enfriamiento, desde una fase de alta temperatura. Son diversas las aplicaciones de cada uno de estos materiales, las cuales van desde diseño de sistemas de empaquetamiento, hasta materiales capaces utilizarse en implantes inteligentes. Estos implantes, se pueden insertar en el cuerpo humano en una forma temporal comprimida, para posteriormente expandirse y lograr el objetivo relevante de aplicación, cuando se calientan a la temperatura corporal.

Palabras clave: Transformación martensita, Aleaciones con memoria de forma.

Abstract

In this work, a divulgation article on intelligent materials is reported. These materials present the shape memory effect, that is, they can “remember” a pre-established shape when an external stimulus is applied to them, usually heat. These materials can be metal alloys, polymers and even ceramics. The common factor in these materials is the martensitic transformation, where the atoms undergo a rearrangement to form a new crystalline structure, but without presenting diffusion; this new phase forms during cooling, from a high-temperature phase. The applications of each of these materials are diverse, ranging from the design of packaging systems, until materials capable of being used as intelligent implants. These implants can be inserted into the human body in a temporarily compressed form, to later expand and achieve the relevant purpose of application, when heated to body temperature.

Keywords: Martensitic transformation, Shape memory alloys.

I. INTRODUCCIÓN

Cuando hablamos de inteligencia, normalmente pensamos en los seres humanos, sin embargo algunos estudios han demostrado que la inteligencia también se presenta en especies animales [1], incluso podríamos hablar de inteligencia en algunas plantas como las llamadas carnívoras, que abren sus hojas para atraer algunos mosquitos y posteriormente las cierran para atraparlos y alimentarse. Sin embargo no solamente los seres con vida muestran estas características particulares, sino que también existen algunos materiales diseñados por el ser humano que presentan propiedades que podríamos llamar inteligentes. Estos materiales presentan la particularidad de poder ser deformados, y posteriormente “recordar” su forma original al aplicar un estímulo externo. Los llamados materiales con memoria de forma, pueden recuperar su forma original, después de sufrir una deformación; su singularidad radica en que cuando la fuerza que provoca la deformación desaparece, su forma deformada se mantiene, pero cuando se le aplica calor, para elevar su temperatura, el material regresa a su estado original, es decir, el material tiene la capacidad de “recordar” una forma después de ser deformado [2].

A. Subsección 1.

Los primeros reportes de aleaciones metálicas inteligentes, se remontan hacia 1930 cuando Arne Ölander reportó el comportamiento pseudoelástico de una aleación Oro-Cadmio y posteriormente otros investigadores reportaron la formación y desaparición de la fase martensita en una aleación Cobre-Zinc, durante el ciclo de temperatura. Este efecto posteriormente fue llamado memoria de forma (SM), y se le asoció a un cambio de fase conocido como transformación martensítica; el auge de estas aleaciones se dio entre los años 1960 y 1980. Las aleaciones metálicas con memoria de forma (SMA) son materiales que después de una deformación vuelven a una forma inicial cuando son calentados por encima de una temperatura crítica (T_c). Esta recuperación de la forma original de la aleación con la temperatura se debe al cambio de la estructura interna del material, el cual está regido por el efecto termoelástico de la fase martensita. El tema central en las SMA es la transformación martensita, en donde los átomos sufren un reordenamiento para formar una nueva estructura cristalina, pero sin presentar difusión. Esta nueva fase se forma durante el enfriamiento, desde una fase de alta

temperatura, llamada Austenita [3]. La fase de baja temperatura es la fase martensita, la cual suele presentar una microestructura de plaquetas, que permite los movimientos de unas placas respecto de otras, dando lugar a deformaciones. Al calentarse el material, se genera una transformación a la fase Austenita, la cual presenta una microestructura granular, con estructura cristalina cúbica, mucho más rígida, que no permite a los granos desplazarse fácilmente y por lo tanto, tampoco las deformaciones. Una vez que se regresa a la baja temperatura, el material vuelve a ordenarse de forma laminar y puede volver a ser deformado, permaneciendo así hasta que sea calentado por encima de su T_c , con lo cual el material regresará espontáneamente a la forma original que tenía antes de la deformación. Este proceso puede repetirse muchas veces sin que se vea afectado su comportamiento. Esta transición de la fase Martensita a la fase Austenita es capaz de generar la energía suficiente como para modificar la forma macroscópica del material y devolverle su forma original. La transformación martensita es una transformación de primer orden en la cual se libera calor, pero no presenta difusión (situación no común), entonces al calentarse el material, los átomos de su estructura recorrerán el mismo camino en sentido inverso, volviendo los átomos a las posiciones iniciales, y el material recuperará la forma original. Para que la aleación "recuerde" una forma predeterminada, se requiere darle un proceso de "educación" el cual consiste en aplicarle un ciclo térmico desde bajas temperaturas (temperatura ambiente) hasta altas temperaturas, por encima de su temperatura crítica, la cual es característica de cada aleación.

Este ciclo térmico se le aplica a la aleación, manteniendo la forma que se requiere que el material recupere cuando se someta a la temperatura crítica. Una de las aplicaciones de las SMA es el desarrollo de uniones de tubos con aplicaciones marítimas. La idea es maquinarse un coplee con un diámetro menor al diámetro que se requiere unir. Entonces el coplee se enfría hasta el estado martensítico, y luego se expande para luego ser colocado en la unión y posteriormente se calienta hasta lograr sellar la unión, la cual desarrolla una enorme fuerza [4].

B. Subsección 1.

En los últimos 20 años, han surgido nuevos materiales inteligentes con propiedades totalmente diferentes a las SMA, los llamados polímeros inteligentes. Estos polímeros responden a cambios en el medio ambiente como el pH y la temperatura. Sin embargo, hasta ahora, el grupo más investigado de polímeros inteligentes con memoria de forma (SMP) ha sido el de los que son inducidos térmicamente.

Podemos decir que el efecto de memoria de forma en polímeros, inducido por temperatura es la capacidad que presentan algunos polímeros de modificar su forma, hacia una forma predeterminada, como respuesta al calentamiento.

Esta recuperación del polímero, hacia la forma predeterminada, es impulsada por la entropía asociada a la deformación mecánica que es necesaria para establecer la transformación. Una vez establecida la forma predeterminada, el SMP puede ser deformado mediante la aplicación de un esfuerzo externo y fijarlo en una segunda forma temporal.

Esta forma temporal es estable hasta que el polímero recibe el estímulo de calor, aplicado al cuerpo moldeado, induciéndose la recuperación de la forma requerida [5].

Para habilitar el efecto de memoria de forma en el polímero se requiere de la combinación de una arquitectura de red del polímero molecular, junto con un proceso termo mecánico que define la forma final para la aplicación tecnológica. Este último se denomina "proceso de creación de forma dual" (DSCP). Durante el DSCP, los polímeros son calentados y se deforman en estado amorfo mediante la aplicación de un esfuerzo externo. Cuando el polímero se enfría por debajo de la temperatura de transición térmica de cambio de dominios (T_{trans}), los dominios se solidifican, formando entrecruzamientos físicos. Estos enlaces cruzados adicionales, generados por la aplicación del esfuerzo externo, dominan los puntos de cruce que determinan la forma permanente del polímero, permitiendo la fijación temporal de una deformación elástica, que se puede recuperar recalentando. El proceso de creación de la forma dual requiere de un ciclo térmico, en donde, mediante la recuperación de la forma original y la forma permanente de manera alternada, pueden ser cuantificadas las propiedades del SMP. La recuperación de la forma en el SMP está impulsada por la entropía elástica de los segmentos que están formando los dominios de conmutación. En los polímeros amorfos, las cadenas poliméricas presentan una conformación de espiral aleatoria, que es el estado de mayor entropía de acuerdo con la ecuación de Boltzmann. Entonces, si se aplica una tensión, las cadenas del polímero se orientan y liberan la entropía; cuando se libera la tensión externa, el polímero recupera su longitud original, recuperando la entropía. Una interesante aplicación de los SMP es en implantes inteligentes. Estos implantes, se pueden insertar en el cuerpo en una forma temporal comprimida a través de una pequeña incisión, para posteriormente expandirse y lograr el objetivo relevante de aplicación, cuando se calientan a la temperatura corporal [6].

C. Subsección 1.

Hasta ahora, los materiales que hemos mencionado con esta capacidad "inteligente" han sido esencialmente metales y algunos polímeros, nunca cerámicos. Las cerámicas no son conocidas como un material flexible; se rompen con facilidad cuando se las somete a un esfuerzo, sin embargo ahora se han desarrollado cerámicas de tamaño micrométrico, que por ser cuerpos pequeños, son más resistentes a la ruptura y no sólo son flexibles, sino que también presentan el fenómeno de "memoria" sobre su forma. Así, al ser sometida a una carga, la estructura molecular del material cerámico se deforma en vez de quebrarse, recobrando su forma original, cuando se le calienta [7]. Las cerámicas con memoria de forma también se basan en la transformación martensita, similar a las que presentan las aleaciones metálicas con memoria de forma, es decir, presentan la transformación de la fase Austenita a la martensita. Sin embargo, las cerámicas ofrecen algunas ventajas, como mayores tensiones de transformación y altas temperaturas de funcionamiento; esta propiedad le da a las cerámicas una gran ventaja sobre las aleaciones metálicas, siendo las cerámicas más refractarias que los metales. Esto

explica su uso como materiales con memoria de forma a alta temperatura para aplicaciones en las industrias automotriz y aeroespacial.

Aunque algunos cerámicos presentan las propiedades de memoria de forma, hasta la fecha, todo el comportamiento de memoria en las cerámicas se ha visto obstaculizado por la fractura frágil después de varios ciclos de transformación. Una cerámica que ha resultado interesante es la zirconia (ZrO_2), dado que presenta propiedades de memoria de forma limitada cuando se encuentra en forma policristalina. La alta temperatura de fusión de la zirconia y la alta temperatura de transformación a la fase tetragonal ($\sim 1100^\circ C$) hacen que la zirconia sea prometedora para aplicaciones de alta temperatura. Por el momento se trabaja en la optimización de la estructura cristalina del material, para mejorar su resistencia a las grietas. Con este material se han creado filamentos de cerámica con un diámetro de solo $1\mu m$ y una deformabilidad que permite que se doblen una extensión equivalente a cerca del 7 por ciento de su tamaño, repetidas veces y sin ninguna ruptura. La perspectiva de una nueva clase de materiales basados en cerámicas con memoria de forma a escala micrométrica es tecnológicamente intrigante porque las cerámicas ofrecen un conjunto de propiedades que difieren de otros materiales con memoria de forma. Se espera que las grandes tensiones que se requieren para impulsar la transformación en las cerámicas se traduzcan en grandes tensiones de salida en las aplicaciones. Debido a esto último, los filamentos de cerámica como los recién desarrollados podrían ser de gran utilidad en aplicaciones biomédicas. Por ejemplo, las cerámicas con memoria de forma podrían ser usadas como microaccionadores para ejecutar acciones dentro de tales dispositivos, como por ejemplo liberar fármacos desde implantes diminutos [8].

II. ILUSTRACIONES

La figura 1 muestra ilustraciones de la fase austenita (izquierda) constituida por granos de diferente forma y tamaño y de la fase martensita (derecha) formada por plaquetas.



FIGURA 1. Se muestran los esquemas de la fase austenita (izquierda) y la fase martensita (derecha), en una aleación con memoria de forma.

La figura 2 muestra ilustraciones del proceso de transformación hacia una forma predeterminada (cubo) del efecto memoria de forma en un polímero inteligente, cómo respuesta al calentamiento por encima de una temperatura crítica.

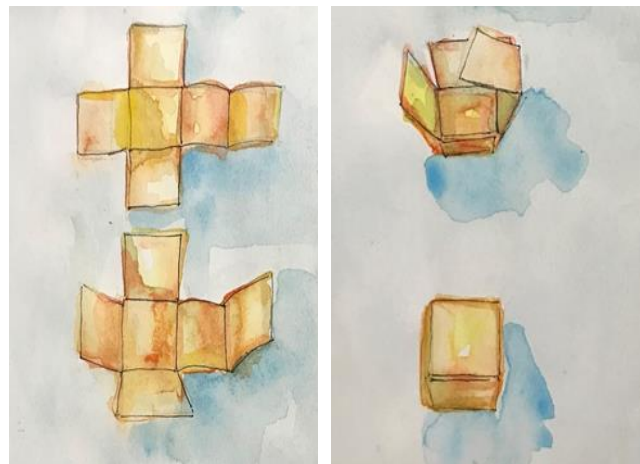


FIGURA 2. Ilustraciones del proceso de memoria de forma en un polímero inteligente, transformándose hacia una forma predeterminada, como respuesta al calentamiento [5].

IV. CONCLUSIONES

De acuerdo a la información obtenida, podemos decir que los materiales inteligentes los podemos encontrar en los diferentes tipos de materiales, metales, cerámicos y polímeros. El factor común en estos materiales es que todos ellos presentan la transformación martensítica. Hasta ahora, es posible obtener los polímeros inteligentes y las aleaciones metálicas con memoria de forma en tamaños macroscópicos permitiendo sus posibles aplicaciones en sistemas de gran tamaño, sin embargo, los cerámicos con memoria de forma sólo se han podido obtener en tamaño micrométrico, y aunque esto podría ser una limitante, esto podrían representar una gran ventaja en las aplicaciones biomédicas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la M. en A.V. Ruth Martínez Pamatz por los esquemas presentados. Este trabajo fue realizado con apoyo del proyecto de investigación SIP-IPN 20220726.

REFERENCIAS

- [1] Daly N., *Estos 14 animales han demostrado una inteligencia asombrosa*, National Geographic, (2020).
- [2] Lampert C. M., *Chromogenic Smart Materials*, Materials today **7**, 28-35 (2004).
- [3] Estefania Sepúlveda E., *Aleaciones con memoria de forma*, Remetalica **36**, 47-54 (2021).
- [4] Tabash-Matamoros, A. & González-R. B., *Desarrollo de acople con memoria de forma*. Revista Tecnología en Marcha **26**, 74–82 (2013).
- [5] Marc Behl, M., Yasar Razzaq Y., and Lendlein A., *Multifuntional Shape-Memory Polymers*, Advanced Materials **22**, 3388-3410 (2010).
- [6] Aguilar M. R., C., C. E., Gallardo A., Vázquez B., and J.S. Román, *Smart Polymers and their applicatioins as biomateriales*, Topics in Tissue Engineering, III Biomateriales, chapter 6 **3**, (2007).
- [7] Lai A., *Shape Memory Ceramics in Small Volumes*, Doctoral thesis of philosophy in Material Science and Engineering, Massachusetts Institute of Technology, (2016).
- [8] Malgorzata M. Lencka and Riman E. R., *Intelligent Synthesis of Smart Ceramic Materials*, Encyclopedia of Smart Materials **15**, (2002)