

Materiales inteligentes para robótica

Masiá Vañó J.*, Rufino Valor J.R., Tormo García F.J., Ferri Sáez J., Mansilla Álvarez B.

GROMEP, Universitat Politècnica de València (Campus d'Alcoi)

Plaza Ferrándiz y Carbonell s/n, 03801 Alcoy (Alicante)

*e-mail: jmasia@mcm.upv.es**

Palabras clave: Memoria de forma; SMA; SMP; MEMS; Actuador; Micro-robótica

Keywords: Shape memory; SMA; SMP; MEMS; Actuator; Micro-robotics

RESUMEN

Desde este artículo se pretende hacer una revisión sobre el estado del arte de los materiales inteligentes aplicados en la robótica. El punto de vista será observar desde la Ingeniería de Materiales a la Robótica y que aportaciones puede realizar en este campo.

Actualmente existen gran cantidad de materiales inteligentes, desde aleaciones o polímeros con memoria de forma, polímeros reticulados (geles), bimetales, etc. Todos ellos normalmente utilizados como actuadores en sistemas robotizados o en extremidades de robots. Las líneas de investigación más activas que podemos encontrar son las basadas en estos como músculos o como sistema motriz de robots o robots biológicamente inspirados, micro robótica o MEMS donde gracias a las técnicas empleadas en microelectrónica se abre todo un abanico de posibilidades, robótica modular o reconfigurable, prótesis inteligentes o exoesqueletos ya vayan desde el campo médico, para la ayuda a la rehabilitación o la sustitución de miembros dañados, o el militar / industrial para el transporte de cargas pesadas.

Yendo mas allá del campo de aplicación de estos materiales en la robótica convencional encontramos el campo de la telerobótica y los dispositivos hápticos, en estos sistemas de realidad virtual o de realidad inducida la ingeniería de materiales no tiene mucha incidencia, debido a que la mayor parte de estos dispositivos se basa en los clásicos servomotores y otros mecanismos, la aplicación de las aleaciones o los polímeros con memoria de forma puede ser una alternativa ya que como se puede prever aligerarían el peso y no restringirían los movimientos ni las sensaciones generadas por estos para conseguir así una mejor interacción hombre-máquina o una mejor inmersión en el sistema de teleoperación o telepresencia.

1. INTRODUCCIÓN

Los materiales inteligentes, activos, o también denominados multifuncionales son materiales capaces de responder de modo reversible y controlable ante diferentes estímulos físicos o químicos externos, modificando alguna de sus propiedades.

De entre estos materiales destacaremos las aleaciones con memoria de forma y los polímeros con memoria de forma. Éstos son objeto de numerosas investigaciones y desarrollo de numerosos dispositivos robóticos, abarcando desde las más novedosas ramas de la robótica (robótica modular, robótica blanda, micro/nano robótica, MEMS, etc.) a las más clásicas (robótica industrial o robótica móvil) o el campo de la robótica asistencial y las prótesis inteligentes.

2. ALEACIONES CON MEMORIA DE FORMA (SMA)

2.1 Introducción

Las aleaciones con memoria de forma (abreviado como SMA “Shape Memory Alloy”) son aleaciones metálicas que, después de una deformación aparentemente plástica, vuelven a su forma original tras un calentamiento. Los mismos materiales, dentro de un determinado rango de temperaturas, pueden ser deformados hasta casi un 10% volviendo a recuperar su forma original al ser descargados. Estos inusuales efectos son llamados memoria de forma térmica (o Efecto memoria de forma) y memoria de forma elástica (o Superelasticidad) respectivamente. Ambos efectos son debidos a un cambio de fase llamado transformación martensítica termoelástica.

Dado que las SMA responden de una forma peculiar a los cambios de temperatura y tensión, han sido clasificados como “materiales inteligentes (“smartmaterials”). Las aplicaciones potenciales de estos dos principales comportamientos son enormes, pudiendo ser usados para generar fuerza o movimiento (mediante el efecto memoria de forma) o almacenar energía (superelasticidad).

El movimiento se consigue al enfriarse. La fase de austenita de alta temperatura, con una red cúbica centrada en las caras, se convierte en la fase martensítica de baja temperatura. Debido a los esfuerzos experimentados durante el enfriamiento, la martensita producida a partir de la austenita experimenta un proceso de maclado de cristales: la formación de capas adyacentes relacionadas por simetría especular. La deformación remueve el maclado. La martensita demaclada posee una red cristalina tetragonal. El calentamiento de la martensita demaclada deformada la convierte nuevamente a la fase de austenita.

Las aleaciones NiTi tienen mayor capacidad de memoria (hasta un 8% mientras que sólo se alcanza un 4- 5% en las de base Cu), son mucho más estables térmicamente, tienen una excelente resistencia a la corrosión comparadas con las de cobre, tienen mayor resistividad eléctrica (siendo pues su activación eléctrica más simple), pueden ser aleadas y extruidas con facilidad y tienen un mayor rango de posibles temperaturas de transformación.

2.2. Estado del arte

Dentro de la investigación actual sobre los SMA’s existen muchas líneas activas, las cuales son necesarias para el desarrollo de nuevas aplicaciones ya que estamos hablando de una nueva herramienta de la cual debe conocerse todo a la precisión para su posterior puesta en marcha dentro de la industria. En el campo de la robótica las líneas que podemos encontrar van desde su control, desarrollos protésicos, actuadores clásicos en extremidades robotizadas (pinzas, garras, etc.) o para la generación de movimiento dentro de un sistema móvil o de inspiración biológica, y su réplica a micro-escala.

Así pues, podemos encontrar trabajos como el realizado por el Grupo de Robótica y Cibernética de la Universidad Politécnica de Madrid [1], donde trabajan en la implementación de un actuador muscular inteligente aplicado a un micro-robot aéreo bioinspirado tipo murciélago (Figura 1). Este proyecto abarca su modelado, control y actuación. Otros ejemplos interesantes son el desarrollo de prótesis para brazos como el realizado en el Laboratorio de Robótica y Mecatrónica de la Universidad de Rutgers y de la Universidad Estatal de Nueva Jersey [2] donde están diseñando prótesis ligeras y una metodología óptima para la distribución de los cables y así encontrar un rango de movimiento deseado.

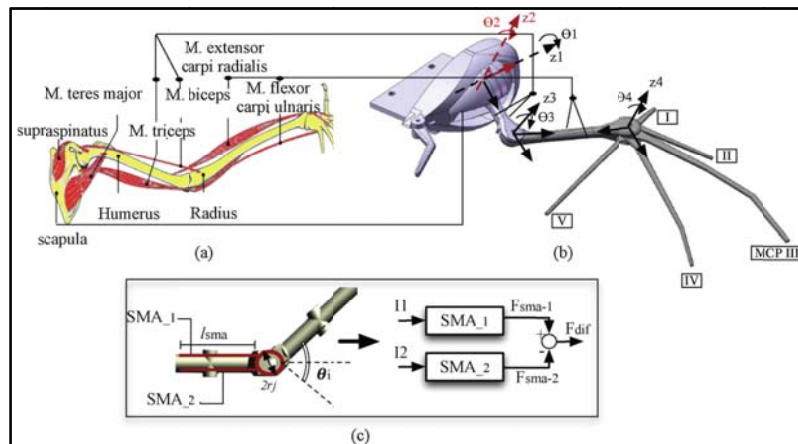


Figura 1. Alas mórficas para micro-robot aéreo.

Otras reseñas que encontramos hacen referencia a trabajos como la aplicación de estos materiales como actuadores clásicos o para el control de la deformación o micro deformación de la aleación mediante la implementación de redes neuronales como es el caso de la UPV/UHE [3] donde presentan una estrategia de control en lazo cerrado capaz de controlar con precisiones en torno a la micra la contracción y relajación de este tipo de materiales, y se propone un actuador basado en un hilo de nitinol que funcionaría como garra en un robot ligero (Figura 2), o en el Instituto Tecnológico de Oaxaca (México) [4] en la implementación de un sistema motriz basado en SMA's.

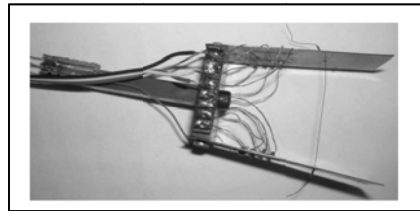


Figura 2. Prototipo de garra para robot ligero basada en SMA controlada por red neuronal (UPV/UHE).

Haciendo referencia a los SMA como actuadores clásicos “todo o nada” en pinzas para extremidades en robots industriales encontramos el trabajo realizado por el Grupo de Robótica y Mecatrónica de la Escuela Politécnica Superior de Alcoy (GROMEP) [5] en el que se diseñó un actuador para una pinza robótica en el cual se pretende reducir elementos mecánicos en el dispositivo, encontrar una relación óptima entre consumo y velocidad de recuperación, basada en un muelle, evitando la refrigeración líquida o por aire.

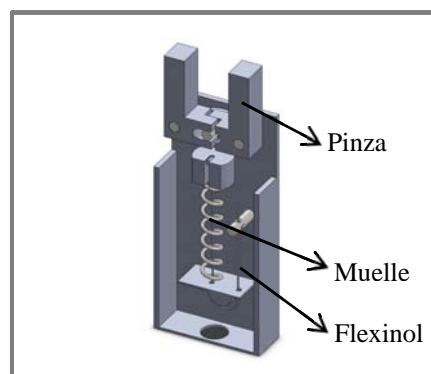


Figura 3. Pinza accionada por SMA (UPV GROMEP).

La réplica de estos diseños los podemos encontrar en el desarrollo de dispositivos MEMS o micro máquinas, comentar que los MEMS (Sistemas Micro Electro Mecánicos), como bien dice la palabra, son sistemas que integran parte mecánica y parte electrónica, aportando una respuesta eléctrica a una deformación mecánica, o una respuesta mecánica a una señal eléctrica. Estos dispositivos encontraron un buen aliado en su construcción gracias a la infraestructura de fabricación extensiva desarrollada con la manufactura de circuitos integrados de silicio, que hizo posible el desarrollo de máquinas y dispositivos de dimensiones nano y micrométricas, y por ende el diseño de robots o sistemas robotizados en estas escalas, lo cual nos lleva a la nano-robótica y la micro-robótica, temas de candente interés por su aplicación en medicina. Estos dispositivos ofrecen una serie de ventajas las cuales recaen en la miniaturización, la multiplicidad y la habilidad de integrar directamente el dispositivo en la microelectrónica. Todo esto se resume en un tamaño menor y un menor consumo, aplicaciones más variadas y áreas que antes no podían ser abordadas son ahora campos de investigación muy activos.

Como en los desarrollos hechos por el Laboratorio de Ingeniería Mecánica, AIST, el MITI en Japón [6] donde se ha desarrollado un robot auto-reconfigurable, el cual basa su movimiento en dos dimensiones de rotación mediante el uso de un mecanismo actuador con dos muelles helicoidales de torsión SMA. El módulo pesa 15 g y el tamaño conseguido es la mitad del modelo anterior desarrollado hasta ahora.

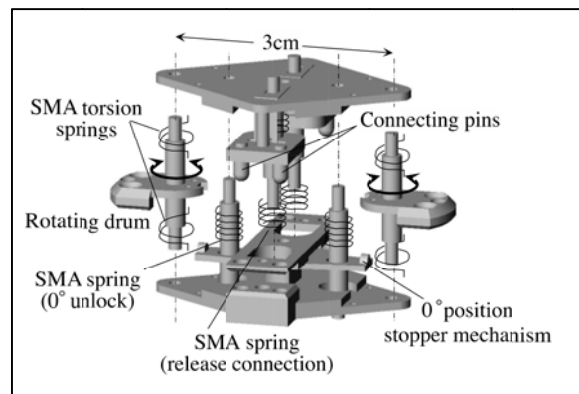


Figura 4. Robot reconfigurable.

En el Instituto de Investigación de Robótica e Ingeniería Mecánica de la Universidad Jiaotong de Shanghai China [7] han creado un micro-robot que basa su sistema motriz accionado por un actuador SMA aprovechando la contracción del muelle y una goma elástica para ayudar a la recuperación de este y así generar el movimiento (como se muestra en la figura 5), siendo capaz de alcanzar una velocidad de 50 mm/min y subir una cuesta de al menos 30°.

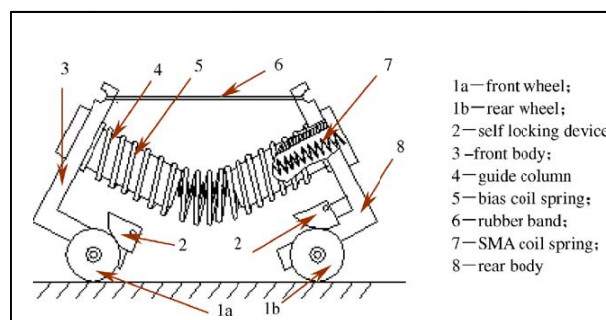


Figura 5. Micro-robot accionado por muelle SMA

Dentro del campo de los MEMS podemos encontrar desarrollos tales como los realizados por Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Tufts en Medford MA USA [8] en el cual se presenta un proceso de fabricación de actuadores MEMS basados en aleaciones con memoria de forma en un sustrato de polímero elastomérico para su uso en robótica blanda o de cuerpo blando.

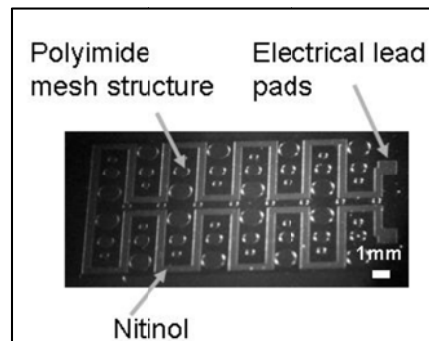


Figura 6. Microactuador MEMS SMA.

Otras líneas se basan en la creación de capas finas de Ni-Ti para su aplicación en dispositivos MEMS, todos ellos de impacto en la robótica, en su mayoría como actuadores para micro robótica.

3. POLÍMEROS CON MEMORIA DE FORMA (SMP)

3.1. Introducción

Al igual que las aleaciones con memoria de forma, los polímeros con memoria de forma son materiales capaces de recordar su forma original, si bien el mecanismo por el que se produce dicho efecto difiere completamente del mecanismo involucrado en el caso de las aleaciones metálicas.

Si bien existen diferentes mecanismos de inducción del efecto (térmicamente, químicamente y foto-inducido) dependiendo de la estructura y composición del polímero, el efecto termo-inducido es el más común y el que presenta mayores oportunidades en el campo textil. En este caso, al igual que para las aleaciones, el efecto se basa en procesos de calentamiento y enfriamiento del material por encima o debajo de una cierta temperatura de transición.

En el análisis de la capacidad de memoria de forma en polímeros es imprescindible considerar la gran diversidad de tipos de arquitectura molecular y de estados de agregación en los materiales poliméricos que derivan de las innumerables posibles composiciones químicas, distribuciones de pesos moleculares, morfologías de las cadenas, tipos de uniones entre cadenas, etc. Por lo tanto, conceptos tales como constitución, configuración o conformación deben considerarse a la hora de valorar la posibilidad, por parte de un polímero, de presentar el efecto de memoria de forma.

Frente a las aleaciones, donde el fenómeno de recuperación de forma tiene lugar de forma entálpica, en los polímeros, la capacidad de memoria de forma se basa en la elasticidad intrínseca de los polímeros, es decir, el efecto aparece por simples razones entrópicas, lo que permite deformaciones mucho mayores. En resumen, las cadenas actúan a modo de “interruptor” molecular gracias a la variación de la flexibilidad y movilidad de los segmentos frente a la temperatura. De este modo, se define una temperatura de transición, T_{trans} , por debajo de la cual la movilidad y flexibilidad de los segmentos de cadena están muy restringidas, mientras que por encima dicha flexibilidad y movilidad aumentan drásticamente. Esta temperatura de transición puede ser la temperatura de transición vítrea, T_g o la temperatura de fusión, T_m .

A su vez, en función de los diferentes mecanismos de fijación y recuperación de la forma, los sistemas poliméricos pueden clasificarse en redes termoestables vítreas entrecruzadas químicamente, elastómeros semicristalinos químicamente entrecruzados, termoplásticos físicamente entrecruzados y copolímeros en bloques semicristalinos físicamente entrecruzados.

3.2. Estado del arte

Como se ha comentado antes los SMP son una alternativa a los SMA, ya que podemos encontrarlos en las mismas aplicaciones que los SMA's. Al igual que con otros elementos mecánicos o constructivos en la industria, los polímeros son la alternativa a otros materiales dada la facilidad de proceso y obtención, manipulación de sus propiedades y su consiguiente ahorro energético debido a la reducción de peso en los elementos diseñados.

Podemos encontrar trabajos como réplica de los SMA como el realizado en el Centro de Colaboración para la Investigación de la Interacción Humano-Robot (RTC) [9] en Japón donde han desarrollado un músculo artificial que se puede fijar en una forma rígida, sin la necesidad de un control continuo. Esto se logra impregnando la superficie del músculo con una resina SMP y una vez se alcanza la longitud del músculo o la posición deseada se enfría este, funcionando como un bloqueo del músculo y así posicionándolo sin ningún sistema de control.

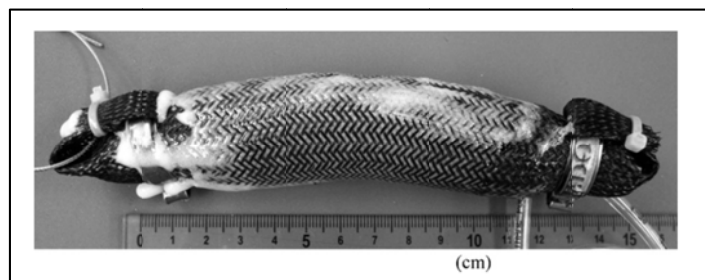


Figura 7. Resina SMP aplicada sobre músculo artificial.

Haciéndonos eco sobre una de las ventajas anteriormente citadas, su ligereza, encontramos el trabajo realizado en la Universidad del Estado de Carolina del Norte [10] sobre robótica modular. La robótica modular es un área de investigación nueva en la que se diseñan módulos y a partir de ellos se crean robots modulares. Donde han creado un prototipo de pinza con dos actuadores reconfigurables basados en este tipo de polímero.



Figura 8. Robot modular basado en SMP.

Gracias a esto es posible realizar trabajos a escalas micrométricas entrando de nuevo en los MEMS o micro robots, micro actuadores o sensores de alta precisión. Comentar también que las técnicas de prototipado rápido como la micro y nano estereolitografía o la estereolitografía convencional, están aportando su granito de arena al campo robótica, permitiendo el rápido desarrollo de prototipos funcionales con una tecnología, llamémosle “barata” siendo una alternativa factible al desarrollo de la robótica a diferentes escalas.

En el trabajo realizado por el Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Colorado, Boulder, CO, EE.UU [11] están investigando sobre la deposición en capas delgadas de SMP para aplicaciones en MEMS aprovechando las grandes deformaciones que como a continuación les mostraremos en una tabla comparativa se pueden obtener en estos polímeros.

4. COMPARATIVA ENTRE SMP Y SMA

Aquí adjuntamos una pequeña tabla comparativa de las principales características de estos dos materiales:

Tabla 1. SMP vs SMA

Propiedades	SMP	SMA
Densidad (g/cm ³)	0,9 ~ 1,1	6 ~ 8
Módulo a T < T _{tran} (GPa)	0,01 ~ 3	83 (NiTi)
Módulo a T > T _{tran} (GPa)	(0,1~ 10) x 10 ⁻³	28 ~ 41
Deformación recuperable (%)	250 ~ 800	6 ~ 10
Temperatura de recuperación (°C)	-10 ~ 100	-10 ~ 100
Fuerza requerida para la deformación (MPa)	1 ~ 3	50 ~ 200
Fuerza de recuperación (MPa)	1 ~ 3	150 ~ 300
Velocidad de recuperación	<1 s ~ varios minutos	< 1 s
Conductividad térmica (Wm ⁻¹ K ⁻¹)	0,15 ~ 0,30	18 (NiTi)
Biocompatibilidad y biodegradabilidad	Pueden ser biocompatibles y/o biodegradables	Pueden ser biocompatibles pero no biodegradables
Condiciones de procesado	< 200°C, baja presión	Alta temperatura (> 100°C), altas presiones
Coste	bajo	alto

5. CONCLUSIONES

Como podemos observar existen replicas de aplicaciones e investigaciones en los dos tipos de materiales, lo que posibilita el desarrollo de técnicas y aplicaciones más avanzadas dado el gran número de investigaciones en curso. Como punto destacable decir que el desarrollo entorno a los materiales poliméricos está ganando terreno debido a las ventajas ya citadas en el texto.

6. REFERENCIAS

- [1] Colorado, J., Barrientos, A., Rossi, C., *Músculos Inteligentes en Robots Biológicamente Inspirados: Modelado, Control y Actuación.*
- [2] Pfeiffer C., DeLaurentis K., Mavroidis C., *Shape Memory Alloy Actuated Robot Prostheses: Initial Experiments.*
- [3] Asua E., Etxebarria V., García-Arribas A., *Diseño y control de actuadores basados en materiales con memoria de forma.*
- [4] Martínez y Cárdenas, J.R., Diego Nava, F., Claris Soriano, T.B., Murcio González, I.A., *Implementación de un sistema motriz con alambres musculares y controlado con un microcontrolador Atmega16.*
- [5] Tormo F.J., Masiá J., Rufino J.R., Ferri J., Mansilla B., *Diseño de un actuador para pinza robótica basada en un sma.*
- [6] Yoshida E., Murata S., Kokaji S., Tomita K., Kurokawa H., *Micro Self-reconfigurable Modular robot using Shape Memory Alloy.*
- [7] Chang-jun Q., Pei-sun M., Qin Y., *A prototype micro-wheeled-robot using SMA actuator.*
- [8] Fallon P.D., Gerratt A.P., Kierstead B.P., White R.D., *Shape Memory Alloy and Elastomer Composite MEMS Actuators.*
- [9] Takashima K., Rossiter J., Mukai T., *McKibben artificial muscle using shape-memory polymer.*
- [10] Smith J., *Material testing of shape memory polymers for modular robotics applications and development of a prototype SMP gripper for mini-PR2 robot.*
- [11] Gall K., Kreiner P., Turner D., Hulse M., *Shape-Memory Polymers for Microelectromechanical Systems.*