

DISEÑO DE UN ACTUADOR PARA PINZA ROBÓTICA BASADA EN UN SMA

Francisco Javier Tormo
fratorg7@epsa.upv.es

Jaime Masiá
jmasia@mcm.upv.es

Juan Ramón Rufino
jrufino@eln.upv.es

José Ferri
joferse2@epsa.upv.es

Borja Mansilla
bormanlv@epsa.upv.es

Universidad Politécnica de Valencia, Campus De Alcoi. Plaza Ferrándiz y Carbonell s/n, 03801 Alcoy (Alicante)

Resumen

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.

El objetivo del presente artículo es la implementación de un actuador basado en una aleación níquel-titanio comercial llamada Flexinol. Con este material se pretende reducir elementos mecánicos en el dispositivo, encontrar una relación óptima entre consumo y velocidad de recuperación, la cual estará basada en la de un muelle, que en nuestro caso hacemos uso de unos pesos normalizados que determinaran la fuerza del muelle, evitando la refrigeración por aire o líquida.

Palabras Clave: SMA, Flexinol, actuador.

1 ANTECEDENTES

1.1 HISTORIA DE LAS SMA

Los primeros pasos en el descubrimiento del efecto memoria de forma fueron, según Miyazaki y Otsuka [MIY, 1989] en los años 1930, cuando A.Ölander descubrió el efecto super elástico en una aleación Au-Cd en 1932 y, más tarde, Greninger y

Mooradian observaron la aparición y desaparición de fase martensita a medida que crecía y decrecía la temperatura en una aleación de Cu-Zn. Los fundamentos del efecto memoria gobernado por el comportamiento termoelástico de la martensita fue extensamente explicado una década más tarde por Kurdjumov y Khandros y también por Chang y Read.

Pese a estos descubrimientos, el más importante se realizó en 1962, cuando Buehler y sus colaboradores, en el Naval Ordnance Laboratory (ahora Naval Surface Warfare Center), desarrollaron una aleación de níquel y titanio (NiTi) con un efecto memoria de forma aún más acusado que el descubierto con el AuCd y denominaron el nuevo material como Nitinol (derivado de Nickel Titanium Naval Ordnance Laboratory). El descubrimiento de Buehler abrió una gran puerta a la investigación en la búsqueda de nuevas aleaciones con capacidades de memoria de forma así como al estudio de su comportamiento mecánico y sus posibles aplicaciones. Pero, pese a todos los avances realizados en el descubrimiento de nuevas aleaciones metálicas con estas propiedades, el Nitinol sigue siendo la aleación más comercial y más extendida debido a su buena estabilidad al ciclado, biocompatibilidad, resistencia a la corrosión y capacidad de recuperar grandes deformaciones[1].

1.2 CARACTERÍSTICAS

Las aleaciones con memoria de forma (abreviado como SMA “ShapeMemoryAlloy”) 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 llamada transformación martensítico-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).

A continuación brevemente comentaremos el movimiento atómico que provoca el movimiento a escala macroscópica [1].

1.3 RAZÓN CRISTALOGRÁFICA

Al enfriarse, la fase de austenita de alta temperatura, con una red cúbica centrada en la cara, 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 maclada posee una red cristalina tetragonal. El calentamiento de la martensita maclada deformada la convierte nuevamente a la fase de austenita.

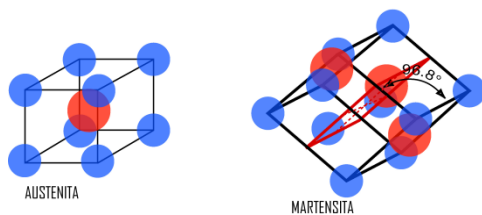


Figura 1: Mecanismo del efecto memoria de forma.

1.4 ALEACIONES NiTi

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 INTRODUCCIÓN

El objetivo del desarrollo es implementar una pinza para un manipulador o robot SCARA, esta pinza se accionará por la contracción de un hilo de Flexinol y un muelle de recuperación que abrirá la pinza y estirará el Flexinol.

Se tiene que la contracción se realiza en el cambio de fase metalográfica al alcanzar la temperatura A_f y se relaja al llegar a la temperatura H_f , de esta forma para nuestra aplicación se ha de calentar el filamento lo más rápidamente posible y de manera uniforme, de esta forma la respuesta en contracción y par serán las más altas así como la reducción del tiempo de histéresis.

3 METODOLOGÍA

Se realizaron pruebas con distintos grosores de Flexinol, comprobando su comportamiento ante distintas corrientes en las que se modula en ancho de pulso, teniendo en cuenta las características marcadas por el fabricante. El que mejor cumplió las expectativas de diseño fue el de 300 μm teniendo en todos los casos una longitud de 10 cm. Para realizar los ensayos se coloca el cable estirado por una pesa con una parte unida a la célula de carga y por otra se fija a la regla digital. Para adquirir datos de fuerza y desplazamiento se dispone del hardware de Mitutoyo DMX-2 USB conectado a los sensores mencionados.

El transmisor de datos multicanal se conecta al PC mediante un puerto USB. Este dispositivo manda la información adquirida por los sensores a una frecuencia dada por la señal de muestreo, esta señal y la que realizan la activación del hilo provienen de una placa de control, la tarjeta ArduinoDiecimila.

La potencia necesaria para la activación del material así como la diferencia de potencial necesaria para hacer circular la corriente provienen de una etapa de potencia y una fuente de alimentación de PC.

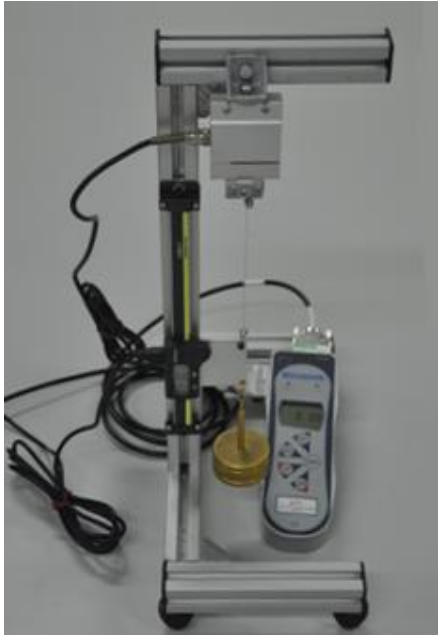


Figura 2: Montaje experimental, Flexinol con carga y sensores.

3.1 ACTIVACIÓN

Se generan dos señales desde el timer interno del microcontrolador Atmega168, tenemos una señal PWM al 50% de 20ms con lo que tenemos pulsos de 10ms a nivel alto, esta señal será la que active la adquisición de datos. Por otro lado se genera otra señal PWM con periodo 500ms, se varía el ciclo de trabajo para realizar comparativas entre la respuesta del material y consumo de potencia [5].

3.1.1 Señal PWM

Para activar los SMA se requiere cambiar su temperatura interna hasta llegar al cambio de fase durante este cambio muchas de las propiedades físicas del material varían. Se intenta llevar a la fase de austenita lo antes posible para así evitar no linealidades y retardos por la histéresis. En el caso del artículo se requiere activar el material para que desplace un émbolo anclado a las garras de la pinza, con lo que el material realizará una contracción y se mantendrá en ese estado, posteriormente se abrirá la pinza cuando se requiera soltar lo que se agarró. Para este caso concreto se tiene que la mejor manera de activar el flexinol será haciendo pasar una corriente por su interior [8].

Para mejorar la distribución del calentamiento a causa de la resistencia del flexinol se aplicarán los pulsos generados desde el Atmega168. Fig.4 Ya que aplicando pulsos cortos y no corriente continua se mejora la respuesta y vida del material.

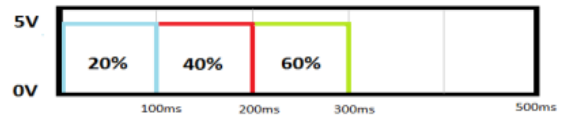


Figura 3: Distintos pulsos para un periodo de 500ms.

Por otro lado cargamos al flexinol con pesos diferentes para poder estudiar su respuesta, simulando un posible resorte para ayudar a la recuperación de la posición original.

Ha de tenerse cuidado con la recuperación del material cuando se le carga un peso sin tope, ya que podría dilatarse demasiado perdiendo sección y modificando su funcionamiento. En nuestro caso el muelle y la propia estructura de la pinza limitarían el movimiento hasta la longitud máxima preestablecida.

3.1.2 Driver de potencia

Se tiene la señal PWM de amplitud 5V como control para la alimentación del cable flex300 como la alimentación deseada para el experimento son 12V y la corriente aportada por el arduino no son suficientes se requiere de un driver; en el caso del artículo se utiliza un L298 que regula la corriente aportada a la carga de esta manera conseguimos trasladar el consumo de potencia a este circuito diseñado para tal fin.

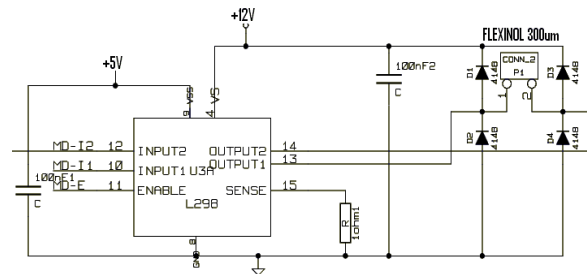


Figura 4: Driver de potencia.

La tensión de +5V se obtiene de un regulador de tensión integrado en la placa y los +12V se obtienen de una fuente de PC. En el esquema se observa la patilla 12 saliéndose de la figura, se activa por el arduino con una configuración parecida a la mostrada en la figura 6; por otro lado comentar que la patilla 11 habilita el dispositivo y ha de estar a nivel alto, la 10 a nivel bajo.

3.2 ADQUISICIÓN DE DATOS

Se dispone del montaje físico pero han de configurarse tanto el control, como la escritura de datos en fichero, mediante distintos programas sobre

una plataforma Windows, con dos puertos usb, estos puertos serán utilizados como puertos serie virtuales.

3.2.1 Tarjeta de control Arduino

Se requiere instalar el software para programar el arduino, posteriormente se programa el microcontrolador para acceder a las interrupciones, de esta manera conseguimos la máxima fiabilidad en la señal. Se declaran dos pines digitales de salida, que para cada una de las señales alternará su valor de 1 a 0 a la frecuencia deseada [3].

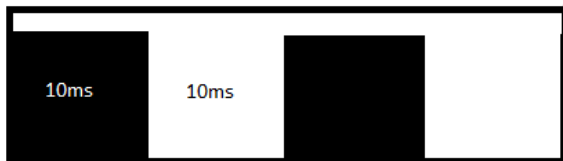


Figura 5: Frecuencia de muestreo

3.2.2 Transmisor de datos DMX-2 USB

Para comunicar el Pc con los sensores ha de instalarse el software del fabricante y darle los parámetros del tipo de comunicación a virtualizar por el USB. En nuestro caso se configura el puerto con el protocolo serie RS-232 asíncrono con 8 bits de datos y uno de stop. El DMX tiene varios modos de funcionamiento, se probó a utilizar la comunicación directa escribiendo y leyendo datos mediante labview. Posteriormente se decidió utilizar el “footswitch” con el cual cada vez que se presiona se realiza una lectura. Bastó un cable Jack y un octocoplador para automatizar la toma de datos por parte del labview.

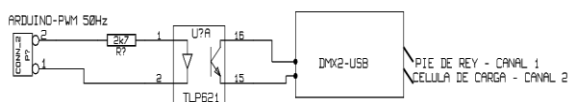


Figura 6: Esquemático “footswitch” automatizado.

3.2.3 Labview

Plataforma de programación gráfica desde la cual adquirimos los datos y los pasamos a fichero. Pudiendo tratar los valores obtenidos para realizar gráficas, realizar acciones de control y demás. En este artículo se utiliza solamente el labview como sistema de adquisición. Como se aprecia se configura el puerto serie y se le envía al DMX la activación de los dos canales, al entrar en en bucle se leen los datos y se introducen en un fichero.

4 RESULTADOS

Se tiene que la aplicación requiere de un desplazamiento de 3.5mm. Se utilizan tres cargas de 1kg, 750g y 500g desechando la primera por su baja deformación, ya que esta no alcanza el mínimo de 3mm.

En cuanto a las otras gráficas se tiene que ambas superan los 3.5mm de desplazamiento, como la frecuencia de la señal es la misma para todos los pesos vemos que existen pequeñas diferencias entre ambos, la recuperación en el caso de menor peso es un poco más lenta sobre todo al final del recorrido. Para la aplicación deseada sería suficiente con un pulso al 20% mejorando también la respuesta térmica para los momentos en los que el actuador ha de estar activo durante cierto tiempo; nos planteamos en este punto el bajar el ancho de pulso para mantener la contracción sin seguir aumentando la temperatura del material, ayudando así a la rápida recuperación al mantenernos en el límite térmico del cambio de fase.

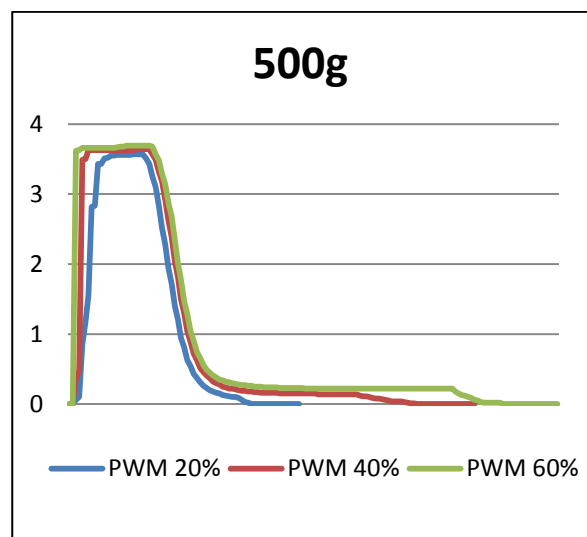


Figura 7: Deformación en milímetros para carga de 500g

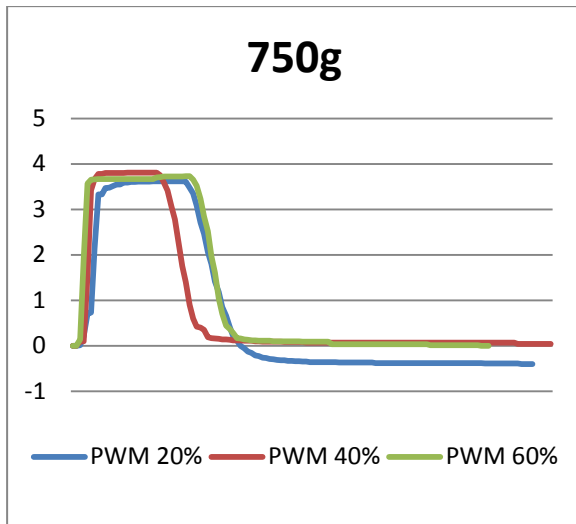


Figura 8: Deformación en milímetros para carga de 750g

5 DISEÑO MECÁNICO

Se propone el diseño de un actuador mecánico en el que el hilo de Flexinol genera el cierre de la pinza. La compresión del hilo se consigue por el calentamiento generado mediante el paso de pulsos de corriente. La recuperación o apertura se consigue mediante un muelle a compresión a medida que se enfría el material.

El alambre se ancla por un lado al émbolo que genera el cierre de la pinza y por otro al bastidor de la pinza a través de una polea de renvío con el fin de reducir la longitud total de la pinza. La corriente se aplica en los anclajes aislados.

En función de los resultados obtenidos se propone el uso de un cable de $300\mu\text{m}$ y 10 cm de longitud. La contracción para esta longitud está alrededor de 3.5mm. Esto permite la apertura y cierre completo de la pinza, estando limitada en ambos casos mecánicamente.

La fuerza disponible de cierre de la pinza para el diámetro de cable elegido resulta aproximadamente 7.5N

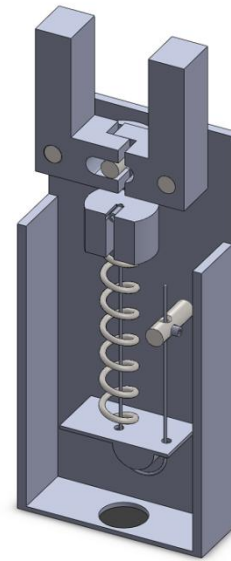


Figura 9: Diseño 3D de la pinza.

6 CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO

Se ha obtenido para un cable de Flexinol de $300\mu\text{m}$ HT una deformación de unos 3.5 mm con una diferencia de fuerza entre el reposo y la activación que oscila en torno a los 3.5N de pico en ambos casos. Se aprecia que el aumento de tensión en el cable al comenzar a calentarse precede la deformación con el tirón que moverá el embolo y cerrará la pinza. Se tiene que la pinza servirá para robots ligeros que agarren cuerpos sólidos o con suficiente rigidez para no ser deformados por la presión de las pinzas, para ello el material posee propiedades pseudoelásticas que permiten realizar una fuerza controlada.

Se da la posibilidad de realizar el cierre de la pinza de manera controlada y no de forma “todo-nada” así como el variar el ancho de pulso según convenga, si la pinza se mantiene cerrada o si no se pretende cerrar del todo, pudiendo coger otro tipo de elementos. Para ello se plantea utilizar el arduino como tarjeta de adquisición de datos, teniendo la posibilidad de comunicarlo con software de control como podría ser Matlab o siguiendo la línea de este artículo LabVIEW. Introduciendo control proporcional integral modelizando la respuesta térmica del hilo o la variación de resistencia. Siendo esta última la magnitud de más fácil acceso y medición.

Se plantea realizar una comparativa entre una pinza hidráulica y el desarrollo realizado, en la que por el momento se observa que la pinza por Flexinol será

mucho más ligera, con mecanismos de actuación más sencillos y en cuanto a la activación de la pinza, los instrumentos de tipo hidráulico van acompañados de compresores y demás, al contrario el hilo de Flexinol no necesita más que una diferencia de tensión y un driver que controle el paso de corriente.

Referencias

- [1] De La Flor López, Sílvia “Simulación numérica y correlación experimental de las propiedades mecánicas en las aleaciones con memoria de forma.”.Universitat Politècnica de Catalunya. Departament de Resistència de Materials i Estructures a l'Enginyeria.
- [2] López Fernández R.F. et al., (2000) “PID control of SMA fibers. Hysteresis consideration, and time extension reduction using electrical resistance measurement”, Vol. 23, N°3, pp. 195-205.
- [3] Gómez A. Restrepo C.A., (2005) “Cables musculares” Revista EIA, N° 4 pp. 103-111.
- [4] <http://arduino.cc/es/Main/Software>
- [5] Cano Sánchez A., (2010) “Estudio e implementación de actuadores basados en aleaciones SMA”, Universidad Carlos III de Madrid.
- [6] Gilbertson R.G., “Muscle Wires project book”
- [7] <http://www.smaterial.com/SMA/sma.html>
- [8] Manual de referencia Atmega168