

Si usted no puede visualizar correctamente este mensaje, [presione aquí](#)



Medellín, enero 21 de 2010

No.91

MATERIALES INTELIGENTES



**Autor: Ingeniera Laima Klemas
Ingeniera de Proyectos
INDISA S.A.**

Cuando se habla de la palabra inteligencia son muchos los significados y connotaciones que nosotros le podemos dar. Sin embargo, todos coincidimos en referirlo como una capacidad cerebral gracias a la cual podemos memorizar, percibir, actuar y reaccionar, según los sucesos del entorno. También entendemos

la inteligencia como esa estructura etérea que nos faculta el poder pensar, aprender, razonar y crear, para en última instancia resolver un problema.

Teniendo en cuenta lo anterior, a los materiales “*inteligentes*” les podríamos otorgar las facultades de memorizar, percibir, **actuar y reaccionar**. Sin embargo, las otras facultades, aquellas asociadas a la capacidad de abstracción y manejo de símbolos, son por ahora únicas de los cerebros y hasta cierto punto de la “inteligencia artificial”.

Entrando en materia, podemos referirnos a los “materiales inteligentes” como aquellos que poseen la capacidad de mostrar algún tipo de respuesta en presencia de estímulos externos físicos tales como un campo magnético, pH, calor, corriente eléctrica, presión, o una fuerza de deformación mecánica. Acorde a lo anterior, los materiales inteligentes forman parte de alguna de las siguientes clases: electro y magnetostrictivos, fluidos electro y magnetoreológicos, piezoeléctricos, electrocrómicos, aleaciones metálicas y compuestos poliméricos.

Las aplicaciones de esta familia de materiales son múltiples, pero todas ellas de alguna manera dependen de los tipos de “acción-reacción” del material, así como las condiciones bajo las cuales se tenga un evento. Estos aspectos hacen que los materiales inteligentes sean más que un bello fenómeno de observación, una entidad totalmente funcional;- sensores, mecanismos, sistemas micro-electromecánicos (micro-electromechanical systems, MEMS) etc.:- al darse en ellos una conversión de energía (electro-mecano-química) que, a nuestros ojos, se observa como una acción o un movimiento ***predeterminado***.

MATERIALES CON MEMORIA DE FORMA: LA FAMILIA DE LAS ALEACIONES METÁLICAS (SMA: SHAPE MEMORY ALLOYS)

De las aleaciones metálicas dotadas con la propiedad de memoria de forma, hay hoy en día un amplio abanico de las mismas; v.g. aleaciones de Cu-Al-Ni, Fe-Mn-Si, Fe-Ni-Co-Ti, Cu-Sn, Fe-Pt, Au-Cd, Ni-Ti, Ti-Nb, etc.

Como se explicará más adelante en este artículo, la memoria de forma se debe a la aparición y desaparición de entidades o formas cristalinas de diferente especie, asociadas todas ellas a cambios en la temperatura (aumento o disminución); en otras palabras, se debe al desplazamiento o reorientación de estas estructuras cristalinas en el material al estar entre dos fases sólidas diferentes (martensítica y austenítica). El proceso de pasar de una fase a otra es conocido como la transición martensítica, en la cual se forma una martensita termoelástica a partir de una austenita estable.

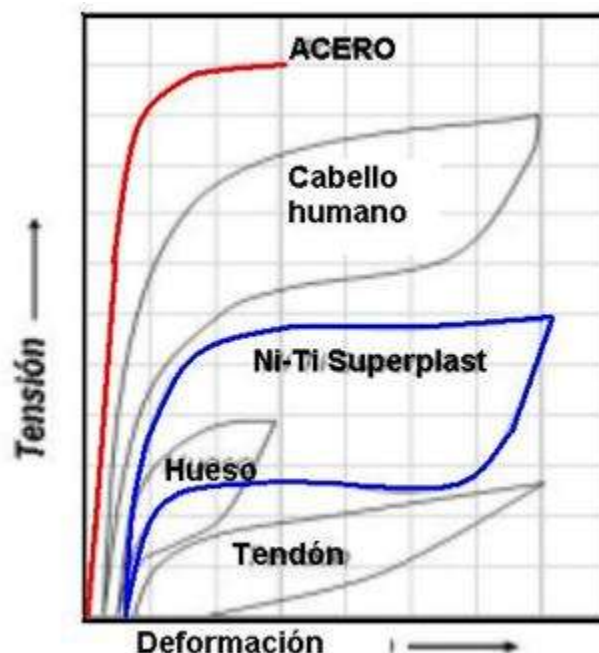
Entre las aleaciones anteriormente citadas, es la aleación Ni-Ti la más versátil por la cantidad de aplicaciones que ha tenido como material de ingeniería dada su mayor ductilidad, notable resistencia a la corrosión y mayor capacidad de recuperación de deformaciones o movimientos en comparación con las otras, razón por la cual en este artículo nos enfocaremos en ésta.

Aleación de Ni-Ti (conocidas en el comercio como NITINOL,- Niquel Titanium Naval Ordinance Laboratories)

A esta aleación básica de Ni-Ti se le incluyen pequeñas cantidades de otros metales, creándose así una familia de aleaciones de composición similar, donde cada miembro exhibe comportamientos únicos “preprogramados” gracias a las variables introducidas durante ciertos procesos tales como los tratamientos térmicos (heat treatmentannealing) y tratamientos mecánicos (cold working). Mediante estos procesos metalmecánicos se busca el graduar la ductilidad del material así como sus relaciones de Deformación-Tensión y temperatura de formación o conversión martensítica (que cómo se explicará más tarde es primordial en el comportamiento de recuperación de forma).

Características Físicas

1. Capacidad de recuperación reversible de deformaciones: se menciona en la literatura una capacidad del 8.5% acompañadas de altas tensiones
2. Relación peso/potencia: en la figura de más abajo se puede observar algunos ejemplos, de los cuales se puede deducir que la aleación de Ni-Ti presenta la mayor relación de peso/potencia, convirtiéndolo como una opción interesante cuando se requiera de un actuador con un peso menor a los 100gr (esto es de gran importancia en la industria aeronáutica, donde se usa este material como actuadores para los alerones). Es esta característica lo que lo hace interesante en componentes miniaturizados y en la industria aeroespacial.



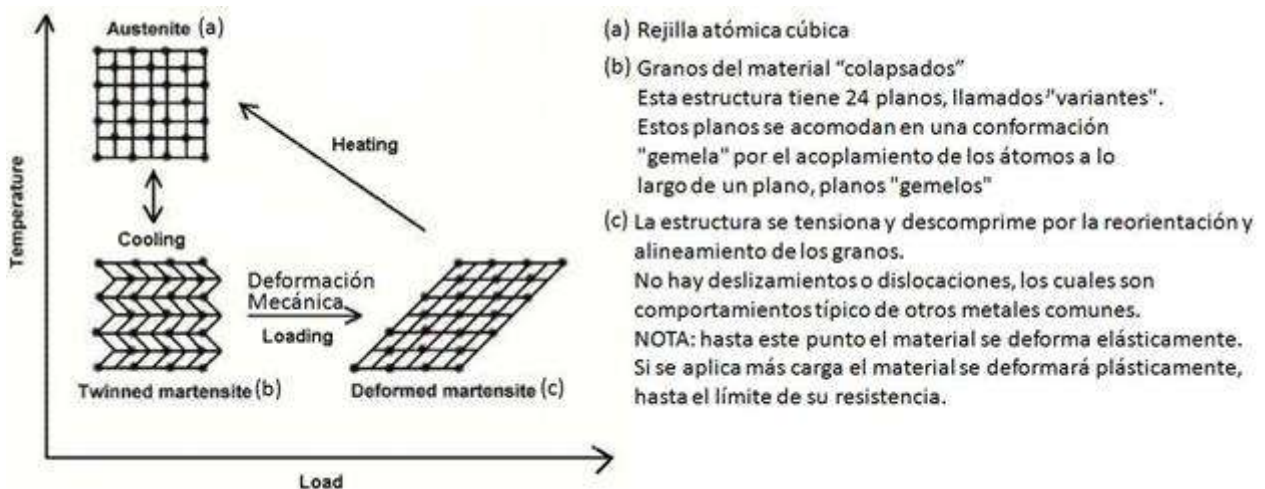
Un ejemplo numérico de esta sorprendente capacidad:

Aleación 55Ni-45Ti, posee una tensión de actuación de 500MPa y una contracción del 8.5%; si se toma un alambre de 10cm de largo con un diámetro de 1,5mm su peso será de 11,4 miligramos. Dicho alambre tiene entonces la capacidad de aplicar una fuerza de 8.8N y contraerse 0.85cm. Si se hace un actuador con este alambre se puede elevar un objeto casi a un centímetro de altura con un peso que es 78.000 veces mayor al propio.

Principio de “funcionamiento” desde un vago punto de vista cristalográfico

Para entender cómo se da el proceso de “transformación de forma” se debe empezar por conocer qué este material posee tres formas diferentes:

1. Martensita, térmicamente inducida (M1-M2)
2. Martensita Súper Elástica (M3), inducida por tensión en un rango delimitado de alta temperatura, es decir, aquel por encima de una temperatura crítica,- temperatura de transformación martensítica sea cuando el material al ser calentado pasa a ser 100% austenítico,- y a partir de cierta tensión crítica. Es de anotar que esta temperatura de transformación martensítica es ajustable por los fabricantes del material, quienes pueden hacer que se de a un determinado valor el cual oscila entre -100°C y los 200°C.
3. Austenita (A1), la cual es la forma estable de la aleación en su rango de alta temperatura.



NOTA 1: cuando el material está en su forma de “baja temperatura”, martensítico, éste es blando y muy dúctil lo que permite su deformación y conformación sin mayores dificultades.

Bien, teniendo todo lo anterior en mente, podemos ahora si profundizar en el fenómeno de la “mágica” transformación. Antes que nada es conveniente aclarar que hay dos posibles rutas para alcanzar este objetivo.

La primer ruta, donde hay calor como “creador” de la memoria, es en la cual la martensita se genera mediante el enfriamiento de una muestra en su estado austenítico y por ende la deformación que se le imponga será de tipo plástico y se conservará como tal hasta que dicha muestra sea calentada por encima de su temperatura de transformación, momento en el cual, habrá recuperado su forma original (la que poseía antes de la deformación impuesta).

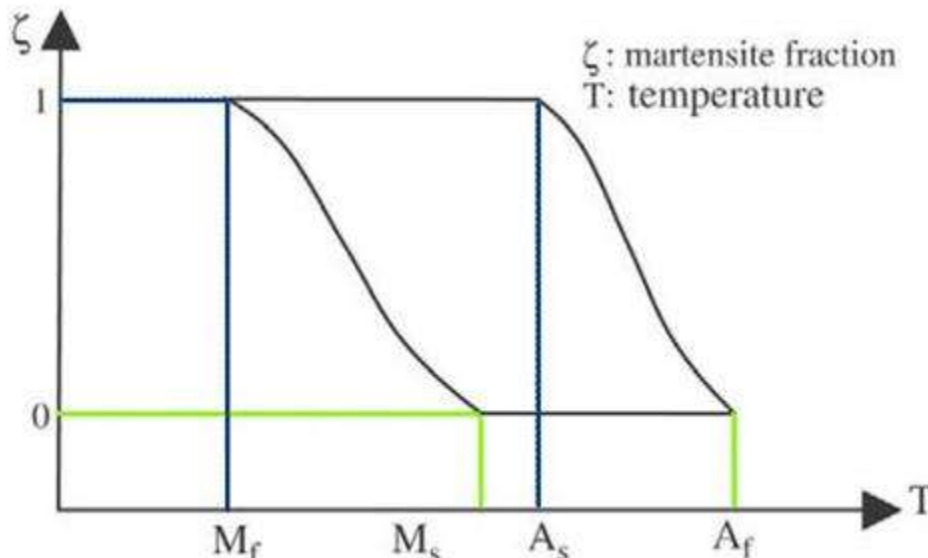


Figura 3. Stress-free martensitic phase transformation

La segunda ruta, en donde hay una aplicación de una fuerza como generadora de la memoria, es aquella donde la transformación martensítica es inducida por una tensión deformativa. En este caso sólo será funcional en un rango de temperaturas ligeramente superiores a la Temperatura de Terminación Austenítica (AF). Esto conlleva a obtener un material fantástico, de lo que podría llamarse del tipo superelástico (M3).

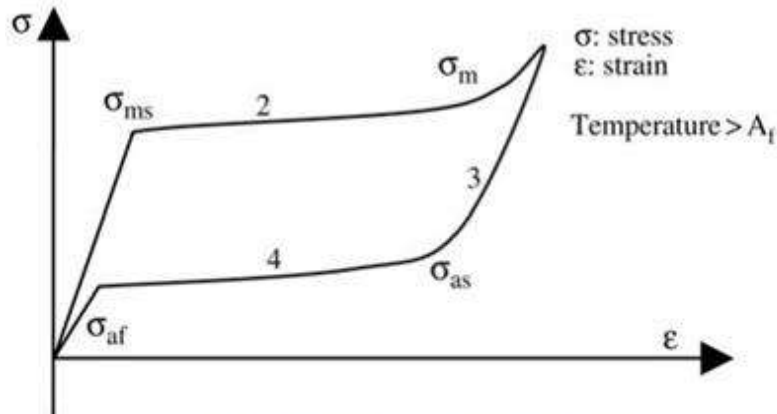


Figura 4 (a) Isothermal stress-induced martensitic phase transformation.

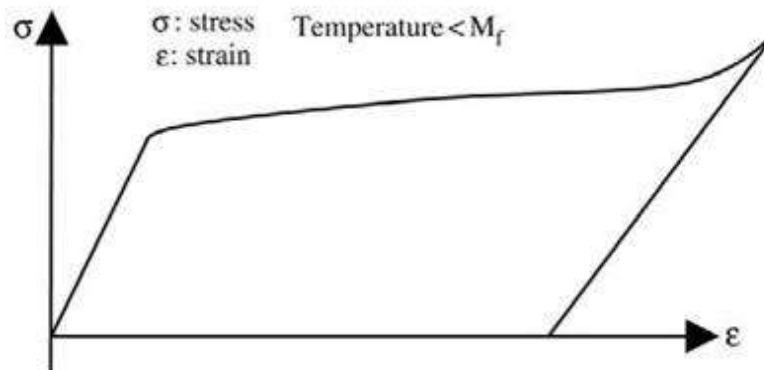


Figura 4 (b) Stress-strain relationship of the martensitic SMAs ($T < M_f$).

NOTA 2: si el material, por alguna razón, es calentado a temperaturas superiores a la de transformación martensítica, el resultado será un material austenítico cuya morfología cristalina corresponde a un material de altísima tenacidad, duro y muy fuerte mecánicamente hablando, alcanzando valores muy similares a los del titanio puro.

Este fenómeno, el de la transformación martensítica, sigue reglas simples del universo y su termodinámica, donde se buscan estados mínimos de energía por parte de las estructuras cristalinas acorde a unas temperaturas dadas.

Resumiendo, la memoria de forma obedece al juego entre dos formas del material, la austenítica y la martensítica (independiente de cómo ésta última hubiera sido obtenida). Ahora bien, la transformación martensítica es un proceso reversible y ocurre en un intervalo de temperaturas (entre los 1°C y 20°) llamado “Banda de la Transformación Térmica” la cual tiene, naturalmente, un límite superior, definido y

especificado por el fabricante del material, en el cual la totalidad de la martensita ya se transformó en austenita.

Entonces, el sentido de la transformación es BIDIRECCIONAL; (i) Ciclo de Calentamiento desde martensita a austenita, y (ii) Ciclo de Enfriamiento desde austenita a Martensita, y se presenta en ellos lo que en materiales se denomina como histéresis térmica (dado que los recorridos de los dos ciclos no son iguales y están desfasados entre sí) gracias a la diferencia entre las temperaturas medias de transición correspondientes a cada uno de los ciclos. Es de anotar que la histéresis térmica está asociada a una histéresis dimensional.

Fenómeno de Memoria Simple (One way Memory).

Retornando a la observación del fenómeno desde el punto de vista cristalográfico, una muestra de NiTi en estado martensítico se podrá deformar hasta convertirse en una sola variante cristalográfica con una determinada capacidad de soportar un cierto valor máximo de tensión. Si se pasa de este nivel el material seguirá deformándose, pero ya plásticamente (deslizamiento entre capas) hasta alcanzar el límite último de resistencia y finalmente fracturándose o rompiéndose.

La deformación plástica, es decir, la que se da después de la deformación elástica, no es recuperable y por tanto ya en esta zona no se podrá tener el efecto de memoria.



Por esta última observación se sabe que si se interrumpe la deformación del material en su estado martensítico antes de llegar a este punto crítico, de no retorno en el cual ya se da una deformación plástica, el material “conserva” su cristalografía, y si además en este punto se aplica calor llevando al material a que tenga una temperatura mayor a aquella de la transformación martensítica, se

logra el cambio de fase a austenítico, lo que claro está, hace que cambie su configuración cristalográfica, recuperando su forma original.

A esto es lo que se llama memoria simple, lo que quiere decir que así se aplique un nuevo ciclo de enfriamiento, éste no generará cambios dimensionales en la muestra tratada.

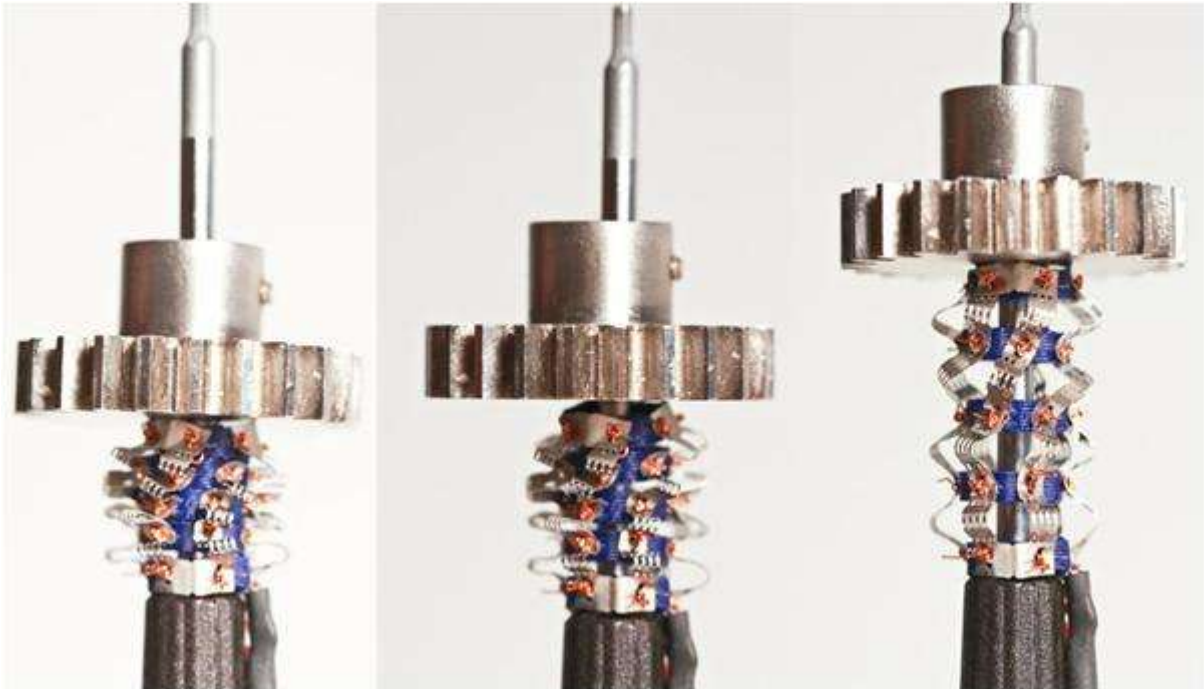
EJEMPLOS PRÁCTICOS ACTUALES DE IMPLEMENTACIÓN DE ESTOS MATERIALES EN EL MUNDO.

1. La US Navy está desarrollando un proyecto basado en la idea de crear una red de medusas robóticas que nadan por los océanos tomando datos que puedan ser interesantes para distintas investigaciones. Dentro del proyecto, el Instituto UTD NanoTech es el encargado de la creación del músculo artificial que propulsa a las medusas.

Los músculos están formados de un cable fabricado con una aleación con memoria de forma que se expande y contrae en respuesta a ciertos niveles de calor. Estos cables están recubiertos de partículas de platino que actúan como catalizadores para una mezcla de combustible de hidrógeno y oxígeno. Cuando el combustible se introduce en el músculo, la temperatura sube, causando la flexión de éste.



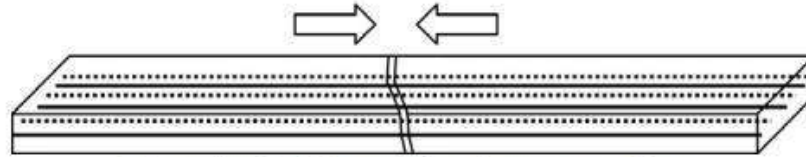
2. Unos investigadores del MIT (Massachusetts Institute of Technology) han encontrado una nueva aplicación para las aleaciones con memoria de forma. Éstos materiales podrían utilizarse para crear pequeños “músculos” mecánicos para dispositivos electrónicos ya que pueden producir un par motor entre tres y seis veces mayor que un motor eléctrico de dimensiones similares pero con un peso veinte veces menor.



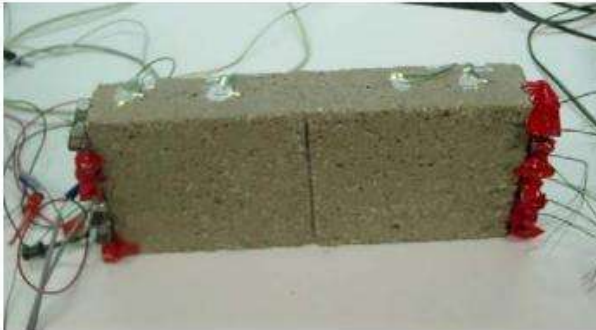
3. Concreto Reforzado Inteligente (Intelligent Reinforced Concrete,- IRC): este material, que se trata de un compuesto, se compone de una matriz de concreto reforzada con alambres o cables SMA en fase martensítica.

Se habla de concreto reforzado inteligente porque este compuesto permite conocer la distribución de la tensión a lo largo y dentro del hormigón gracias a las mediciones y monitoreo de la resistencia eléctrica que se hace a los cables SMA.

En caso tal que una grieta se presente debido a una explosión o terremoto, los cables SMA cambien de forma ya que son calentados mediante la aplicación de una corriente eléctrica, contrayéndose y así, o reduciendo el tamaño de las grietas, o cerrándolas totalmente. A esta habilidad se le denomina autorehabilitación, ya que el compuesto formado tiene la capacidad de sensar y la capacidad de autorehabilitarse.



Schematic of intelligent reinforced concrete specimen.



A small concrete block post-tensioned with SMA wires.



The three-point bending test of the specimen.



During the loading: the crack can be obviously seen.



After the loading: the crack almost disappears.

PÁGINAS WEB DE INTERÉS:

Characteristics and applications of Fe-Mn-Si-based shape memory alloys en http://www.awaji-m.jp/english/r_and_d/pdf/memory_alloy.pdf

Efecto Térmico de Memoria (polímeros) en [http://es.wikipedia.org/wiki/Efecto_t%C3%A9rmico_de_memoria_\(pol%C3%ADmeros\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Efecto_t%C3%A9rmico_de_memoria_(pol%C3%ADmeros))

<http://web.mit.edu/newsoffice/2010/actuators-slideshow-0406.html>

http://webdocs.cs.ualberta.ca/~database/MEMS/sma_mems/sma.html

<http://www.energyharvestingjournal.com/articles/robot-jellyfish-00001667.asp?sessionid=1>

<http://www.explainthatstuff.com/how-shape-memory-works.html>

<http://www.northwestern.edu/newscenter/stories/2009/09/memoryfoam.html>

<http://www.smaterial.com/SMA/sma.html>

INDUSTRIAL APPLICATIONS FOR SHAPE MEMORY ALLOYS en

http://www.memry.com/resources/files/SMST00_IndApplic.pdf

INTRODUCTION TO SHAPE MEMORY ALLOYS en

<http://smart.tamu.edu/overview/overview.html>

Microstructure of rapid solidified Cu-Al-Ni shape memory alloy ribbons en

http://www.journalamme.org/papers_amme05/1433.pdf

Molecular Dynamics of a two-dimensional Model of the Austenite-to-Martensite Phase Transition en

http://www.smaterial.com/SMA/simulation/md_simul/MD_start.html

Shape memory alloy en http://en.wikipedia.org/wiki/Shape_memory_alloy

SMART MATERIALS AND SMART SYSTEMS FOR THE FUTURE en

<http://www.journal.forces.gc.ca/vo1/no3/doc/25-32-eng.pdf>

STRESS STRAIN RELATION OF Cu-Al-Ni SMA SINGLE CRYSTAL UNDER BIAXIAL LOADING CONSTITUTIVE MODEL AND EXPERIMENTS

<http://users.monash.edu.au/~wyan/acta2.pdf>

Tutorial <http://www-personal.umich.edu/~btrease/share/SMA-Shape-Training-Tutorial.pdf>

Artículos Científicos relacionados:

BRAGA, Newton C. Robotics, mechatronics, and artificial intelligence : experimental circuit blocks for designers: solenoids, servomotors, and shape memory alloys. Boston, Massachusetts: Newnes, 2002. p 119-137.

BRAM, M., AHMAD-KHANLOU. A., HECKMANN, A., FUCHS, B., BUCHKREMER, H. P. and STÖVER, D. Powder metallurgical fabrication processes for NiTi shape memory alloy parts. En: Materials science and Engineering. Vol. A337. (2002), p. 254-263

KLEMAS, Jonas. Materiales inteligentes, aleaciones metálicas y polímeros con memoria de forma. CES Medicina. Vol. 16, No. 2. (Abr-Sep 2002), p. 21-25

MAJI, Bikas C. y KRISHNAN, Madangopal. The effect of microstructure on the shape recovery of a Fe-Mn-Si-Cr-Ni stainless steel shape memory alloy.

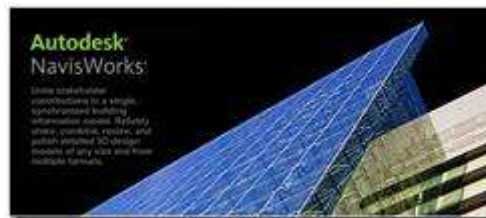
Materials Science Division, Bhabha Atomic Research Centre, Mumbai 400 085, India

SEHITOGLUA, Huseyin, KARAMANA, I., ZHANGA, X. Y., CHUMLYAKOV, Y. y MAIER, H. J.. Deformation of FeNiCoTi shape memory single crystals. University of Illinois, Department of Mechanical and Industrial Engineering, 1206 W. Green St., Urbana, IL 61801, USA, Siberian Physical-Technical Institute, Revolution Sq. 1, Tomsk, 634050, Russia y University of Paderborn, Paderborn, Germany.

SONG, G., MA, N. y LIA H.-N. Applications of shape memory alloys in civil structures. Department of Mechanical Engineering, University of Houston, Houston, TX 77204, USA y School of Civil and Hydraulic Engineering, Dalian University of Technology, Dalian, 116024, China

ZHUA, Ting y LIB, Ju. Ultra-strength materials. Woodruff School of Mechanical Engineering, Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA 30068, USA y Department of Materials Science and Engineering, University of Pennsylvania, Philadelphia, PA 19104, USA

NOVEDADES



La experiencia de revisar un proyecto en 3D ahora es real...

Autodesk® Navisworks® Freedom

Este programa permite navegar y explorar de manera interactiva y en tiempo real los más grandes y complejos modelos en 3D, permite que los profesionales del diseño, ingeniería, y construcción de proyectos unan sus contribuciones en un solo modelo de plantas de procesamiento o edificios logrando mejorar la calidad y comprimir el proceso de revisión sin esfuerzo. El profesional de diseño encuentra mejoras en la producción de diseño al operar en un entorno interactivo para visualizar, revisar y presentar los conceptos de

diseño detallado para que el equipo del proyecto se oriente, opine y compruebe el diseño detallado.

Modelos de proyectos enteros pueden ser publicados y libremente vistos en NWD y formatos DWF™. Para dar una idea del potencial de este programa al hacer una prueba en un proyecto donde los archivos en 3D cargados completamente tendrían un tamaño en disco aproximado de 280Mb, luego de ser procesados en Navisworks Manage y crear el archivo para visualizarlos con la versión Freedom ocupó un espacio de 4Mb.

Autodesk® Navisworks® Freedom es un software libre, que se puede descargar directamente desde la pagina de Autodesk. La familia Autodesk Navisworks está compuesta de tres productos de revisión de proyectos de diseño 3D y una aplicación de visor gratuito:

Autodesk® Navisworks® Manage

Autodesk® Navisworks® Simulate

Autodesk® Navisworks® Review

Autodesk® Navisworks® Freedom

Para mas información, visitar la página de Autodesk.

Si usted no recibe esta publicación directamente de INDISA S.A. o si desea recomendarnos a alguien para que la reciba, [presione aquí](#)

Para consultar las ediciones anteriores del boletín INDISA On line, puede entrar a <http://indisaonline.8m.com/>.

En esta página se encuentran todos los boletines en formato de página web, para que usted pueda grabarlos en su computador e imprimirlos.



Tel: (574) 444 61 66
Medellín-Colombia
mercadeo@indisa.com.co <http://www.indisa.com/>