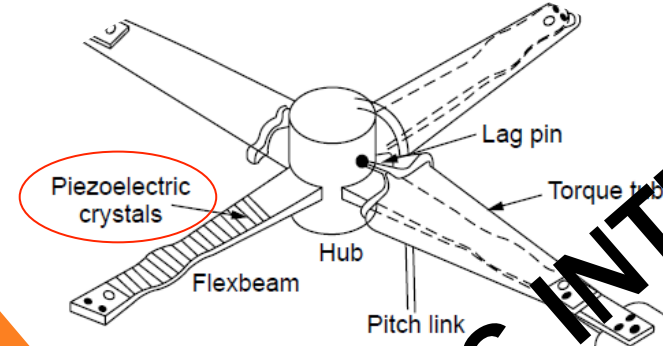


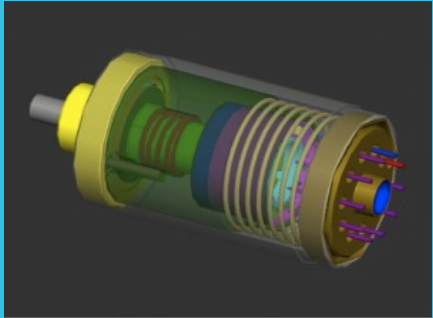
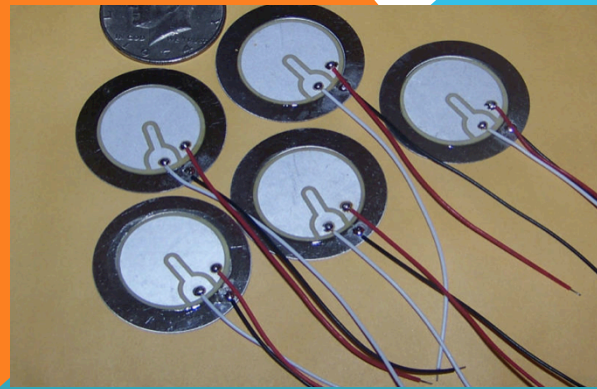


UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
Covilhã | Portugal



MATERIAIS INTELIGENTES

MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO AEROSPAÇIAL - DCA
PROF. DOUTOR PEDRO V. GAMBOA



Trabalho elaborado por:
Diogo Bento Sousa
nº 29774

INTRODUÇÃO

- Era da Pedra ... Bronze ... Ferro ... Vivemos agora na era dos plásticos e dos compósitos.
- Entre os finais do séc. XX e o início do séc. XXI, surge uma nova era de materiais revolucionários, materiais esses capazes de adaptação a todo o tipo de necessidades, quer tecnológicas, quer humanas. Nasce, então, a Era dos Materiais Inteligentes.

SMART MATERIALS VS INTELLIGENT STRUCTURES

“smart responds to a stimulus with one predictable action”

- Materiais normais têm respostas limitadas;
- “Smart materials” têm respostas adequadas;
- ... mas a resposta é a mesma em qualquer momento.

“intelligent responds to a stimulus with a calculated response and
different possible actions”

- Compósitos manufacturados a baixa temperatura;
- Pode incorporar componentes adicionais;
- O controlo pode decidir sobre diversas respostas possíveis.

MATERIAIS INTELIGENTES

- Não existe uma definição standardizada. Uma das apresentadas nomeia “Materiais que alteram uma ou mais das suas propriedades como resposta a um estímulo exterior”.
- A definição de "materiais inteligentes" foi ampliada para os materiais que recebem, transmitem ou processem um estímulo e respondam a este mesmo, produzindo um efeito útil.
- A forma como funcionam é análoga ao comportamento de seres vivos. O estímulo é detectado por meio de um conjunto de sensores e a resposta fornecida pelos actuadores.
- A sua proximidade ao ramo da biomimética, deve-se à Natureza ser aqui não só uma fonte de inspiração, mas também um conjunto de exemplos reais que cientistas e engenheiros tentam recolher, compreender e reproduzir.

MATERIAIS INTELIGENTES

- Portanto, Materiais Inteligentes são materiais capazes de efetuar uma determinada resposta, em função de um estímulo.
- Este estímulo pode ser de várias naturezas, tais como uma mudança de temperatura, a aplicação de uma tensão, a alteração de um campo eléctrico ou magnético, a incidência de luz, a mudança de pH, entre outros.
- Desta forma, materiais inteligentes podem também ser definidos como materiais capazes de efetuar uma determinada resposta, previamente conhecida pelo engenheiro ou cientista, em função de um estímulo controlado pelo operador.
- A atratividade dos materiais inteligentes, na seleção de um material provém da sua diferenciação aos materiais ‘não inteligentes’, os quais embora sejam conhecidas as muitas propriedades, não é possível conhecer a forma como estes vão responder a um estímulo muito específico, nem quanto tempo o demoram a fazer e a voltar à forma inicial.

MATERIAIS INTELIGENTES

- Na indústria aeroespacial, os materiais adoptam uma especial importância.
- A descoberta de novos materiais, como é o caso dos materiais inteligentes, leva à inovação do sector aeronáutico, dadas as suas capacidades especiais de executar uma determinada função. Hoje em dia, a área dos materiais inteligentes é alvo de muitos estudos e de muita atenção, dada a sua capacidade de melhorar a performance de uma aeronave.
- Com o constante desenvolvimento da tecnologia, torna-se razoável questionar se será possível criar-se mecanismos capazes de interagir de uma forma inteligente com o ambiente que os rodeia. Quando a nossa mão entra em contacto com um objecto quente, sentimos o calor, o cérebro envia um comando e os músculos do braço atuam, retirando a mão do objecto.

MATERIAIS INTELIGENTES

- Estruturas inteligentes, que incorporam unidades de processo e de controlo, são sistemas capazes de efetuar ambas as operações de sensor e actuador, podendo assim ter aplicações mais sofisticadas que materiais convencionais.
- Componentes fundamentais destas estruturas: os materiais sensores e os actuadores.
- Sensor: estímulo exterior (e.g., deformação mecânica) -> sinal de saída “output” (e.g., uma tensão).
- Actuador: estímulo exterior, i.e. um sinal de entrada (input) -> acção consoante o tipo de actuador.

CLASSES DE MATERIAIS INTELIGENTES

TYPE OF SENSITIVE MATERIAL
Electroluminescent Materials
Photoluminescent Materials
Chemoluminescent Materials
Thermoluminescent Materials
Light-emitting Diodes
Photovoltaic Materials
Piezoelectric Materials
Pyroelectric Materials
Thermoelectric Materials
Electrostrictive Materials
Magnetorestrictive Materials

Sensors

Actuators

Material Class	Stimulus	Response
Pyroelectrics	Temperature Change	Electric Polarization
Piezoelectrics	Mechanical Strain	Electric Polarization
Electrostrictors	Mechanical Strain	Electric Polarization
Magnetostrictors	Mechanical Strain	Change in Magnetic Field
Electroactive Polymers	Mechanical Strain	Electric Polarization
Electroluminescent Materials	Electric Field	Light Emission
Photoluminescent Materials	Incident Light	Light Emission
Electrochromic Materials	Electric Field	Color Change
Piezoelectrics	Electric Current	Mechanical Strain
Electrostrictors	Electric Current	Mechanical Strain
Magnetostrictors	Magnetic/Electric Field	Mechanical Strain
Shape Memory Alloys	Temperature Change	Mechanical Strain
Electroactive Polymers	Electric Field/pH change	Mechanical Strain
Electrorheological Fluids	Electric Field	Viscosity Change
Magnetorheological Fluids	Magnetic Field	Viscosity Change

Tabela com as “Classes de Materiais Actuadores e Sensores”

Input	Output
Table 1 Property-changing	
Temperature difference	Color change
Radiation (Light)	Color change
Deformation	Color change
Chemical concentration	Color change
Electric potential difference	Color change
Electric potential difference	Color change
Electric potential difference	Color change
Electric potential difference	Stiffness/viscosity change
Electric potential difference	Stiffness/viscosity change
Temperature	Deformation

CLASSES DE M.I. ABORDADOS

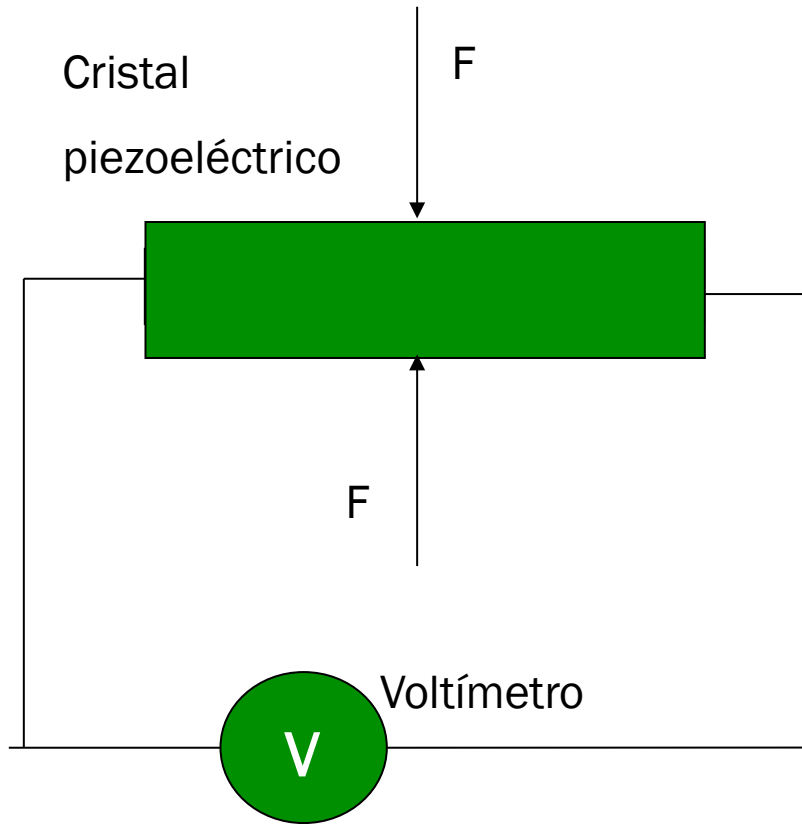
Iremos enfatizar aos seguintes tipos de materiais inteligentes e suas aplicações Aeroespaciais:

1. Piezoelétricos (PZT);
2. Materiais de memória de forma (SMA e SMP)
 - Efeito térmico de memória;
 - Efeito magnético de memória;
3. Electro-estritivos (EE);
4. Magneto-estritivos (ME);
5. Electro-reológicos (ER);
6. Magneto-reológicos (MR);
7. Polímeros Inteligentes.

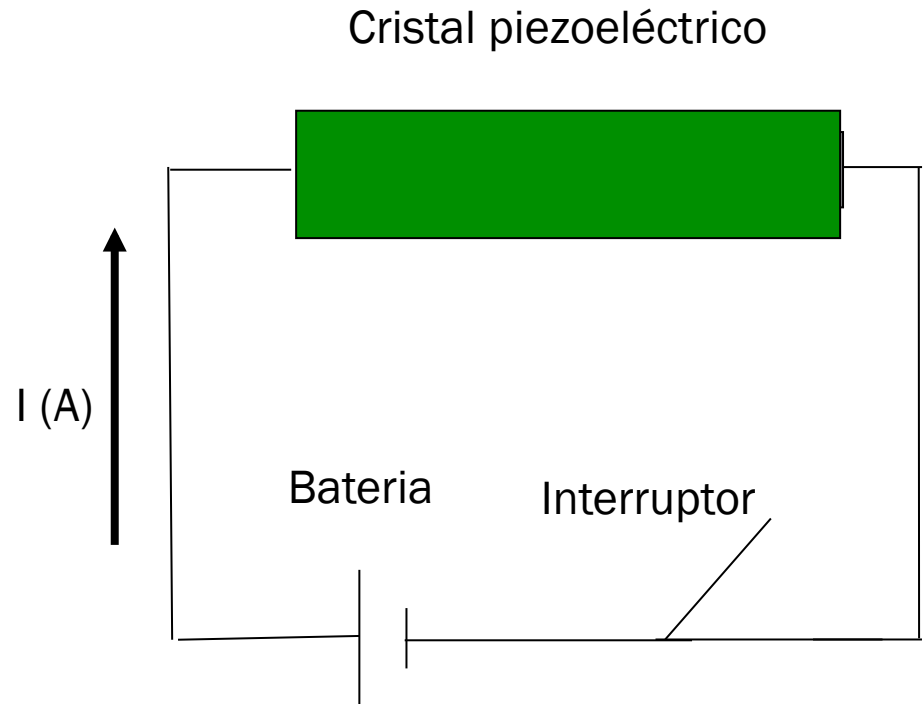
PIEZOELÉCTRICOS

- Os materiais piezoelétricos apresentam o chamado efeito piezoelétrico. Este efeito descreve a relação entre uma tensão mecânica e uma tensão eléctrica, isto é, alguns materiais como minerais, cerâmicas e polímeros têm a capacidade de produzir uma carga eléctrica em resposta a um esforço mecânico.
- Observar-se igualmente o efeito inverso, em que os materiais piezoelétricos se deformam na presença de um campo eléctrico.
- Na presença do efeito piezoelétrico direto, com uma deformação mecânica a originar um campo eléctrico, na presença de uma compressão ou em oposição uma expansão, geram-se cargas opostas.

PIEZOELÉTRICOS



Efeito piezoelétrico directo



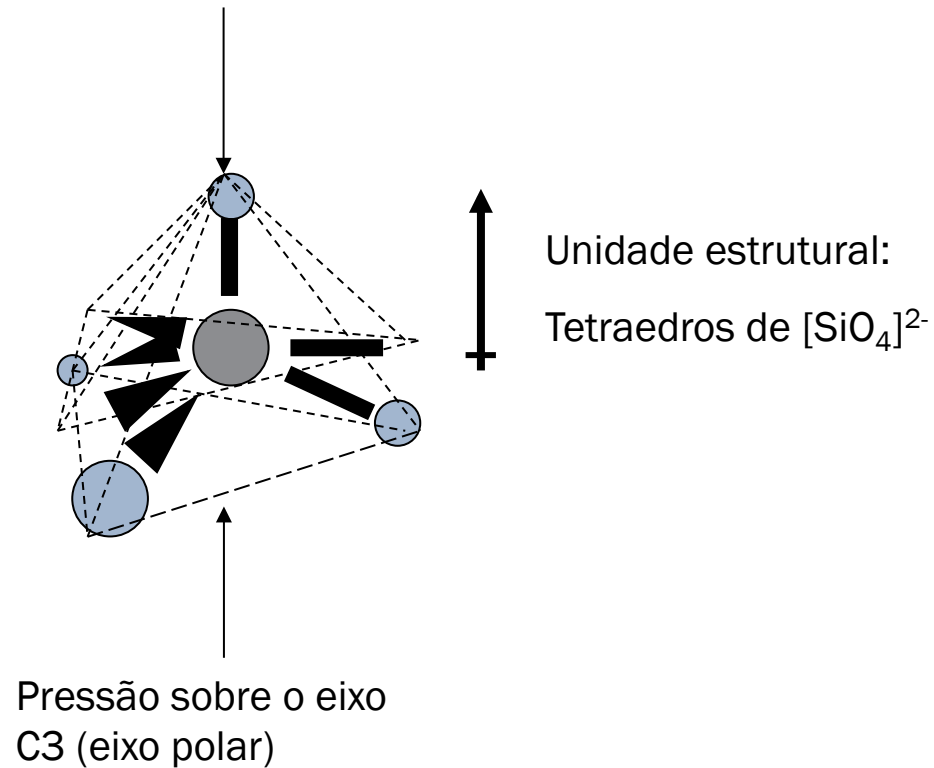
Efeito piezoelétrico inverso

MATERIAIS PIEZOELÉCTRICOS

- Os materiais piezoelétricos foram descobertos pelos irmãos Jacques e Pierre Curie no ano 1880, sendo estes materiais como o quartzo, turmalina ou o topázio.
- Os primeiros piezoelétricos eram monocristalinos.
- Para apresentar o efeito, devem cristalizar em sistemas sem centro de simetria e portanto, com eixo polar.
- Das 32 classes cristalinas, 21 não têm centro de simetria e 20 apresentam propriedades piezoelétricas em maior ou menor grau.
- Na atualidade, grande parte dos piezoelétricos são obtidos de forma artificial, sofrendo uma polarização.

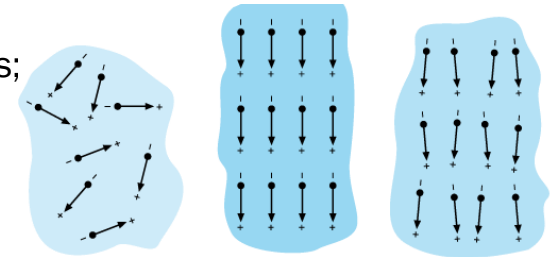
ESTRUTURA PIEZOELÉTRICOS

Exemplo: estrutura do quartzo (SiO_2)



POLARIZAÇÃO

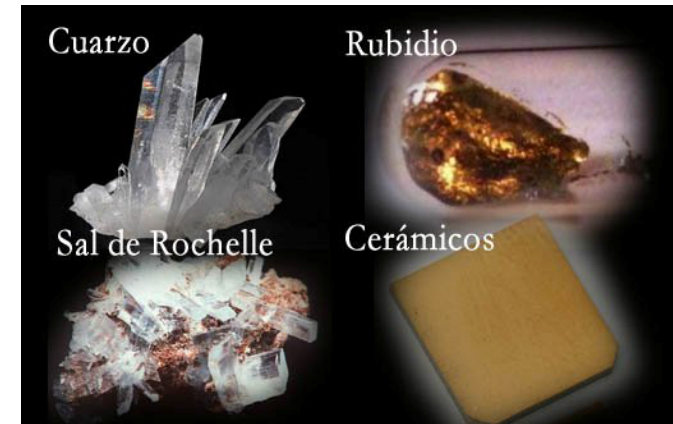
- Nos materiais que apresentam grandes propriedades piezoelétricas os dipolos com orientação paralela estão agrupados nos chamados domínios de Weiss, mas em cerâmicas piezoelétricas. Estes domínios estão orientados aleatoriamente, portanto as respostas dos dipolos a um campo elétrico exterior tendem a cancelar-se.
- Necessário polarizar o material:
 1. Elevar a temperatura acima da temperatura de Curie;
 2. Aplicar um potente campo elétrico para alinhar os dipolos;
 3. Arrefecer o material conservando o campo elétrico;
 4. Não ficam totalmente paralelos os dipolos, mas é suficiente para ter propriedades piezoelétricas.



TIPOS MATERIAIS

Monocristalinos

- Constituídos por apenas um tipo de rede cristalina. São sistemas homogêneos de grão único e não apresentam descontinuidades. Alta resistência e baixa capacidade de deformação.
- Naturais: Quartzo, turmalina, sales de Rochelle.
- Ferroelétricos (precisam de polarização): Nitrato de lítio, tantalio de lítio, berlinita.



Policristalinos cerâmicos

- Entre as suas propriedades destaca a rigidez e a ductilidade, portanto apresentam um elevado módulo de elasticidade, o que facilita o acoplamento mecânico na estrutura.
- PZT: titanato zirconato de chumbo.

Polímeros

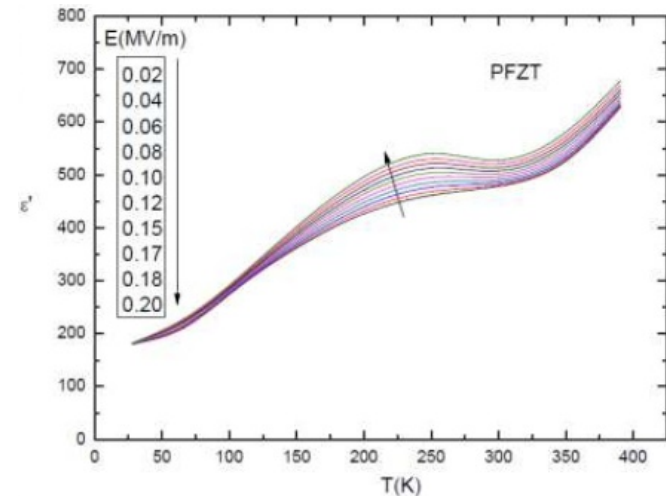
- Alta flexibilidade e fácil elaboração, portanto são utilizados como sensores de contacto ou transdutores acústicos.
- PVDF: polifluoruro de vinilideno

FABRICAÇÃO DE CERÂMICAS PIEZOELÉCTRICAS

1. Seleciona-se e pesa-se o material;
2. Moído num moinho de bolas até obter um grão muito fino;
3. Eleva-se a temperatura até o 75% da temperatura de síntese para acelerar a reação;
4. O pó é moído novamente para aumentar a reatividade;
5. Prensa-se e elimina-se o sobranço;
6. Aquecimento até a temperatura de síntese entre 1.000°C e 1.500°C;
7. Corte, polimento e forma final;
8. Submete-se ao processo de polarização.

PZT

- Fabricação com baixo custo;
- Alta resistência e quimicamente inerte;
- Elevado efeito piezoelétrico que varia segundo a temperatura;
- PZT Hard: Temperatura de Curie acima dos 300°C e difíceis de polarizar excepto a altas temperaturas;
- PZT Soft: Temperatura de Curie menor que 200°C e possibilidade de polarização a temperatura ambiente.
- **Investigação em adicionar Fe e Sr:**
 - Altas quantidades de Fe (2%) produzem um efeito endurecedor
 - Altas quantidades de Sr (2%) aumenta a constante dielétrica ao substituir o Sr por Pb
 - A 120°C os PZT com maior nível de Sr são polarizados com 38KV/cm e os PZT com maior nível de Fe com 45KV/cm



Constante dielétrica em função da temperatura

Material	PZT-4	PZT-8	PZT-5A	PZT-5J	PZT-5H
k_p	0,60	0,50	0,61	0,60	0,63
k_{33}	0,68	0,63	0,70	0,71	0,73
d_{33} (10^{-12} C/N)	300	215	400	460	550
d_{31} (10^{-12} C/N)	-11,5	-9,5	-170	-210	-265
g_{33} ($\times 10^{-3}$ Vm/N)	26	25	25	22	19
g_{31} ($\times 10^{-3}$ Vm/N)	-11	-11	-11	-9	-9
K^T_3 (señal baja) C. dieléctrica relativa	1250	1000	1750	2450	3100

Propriedades de diferentes PZT

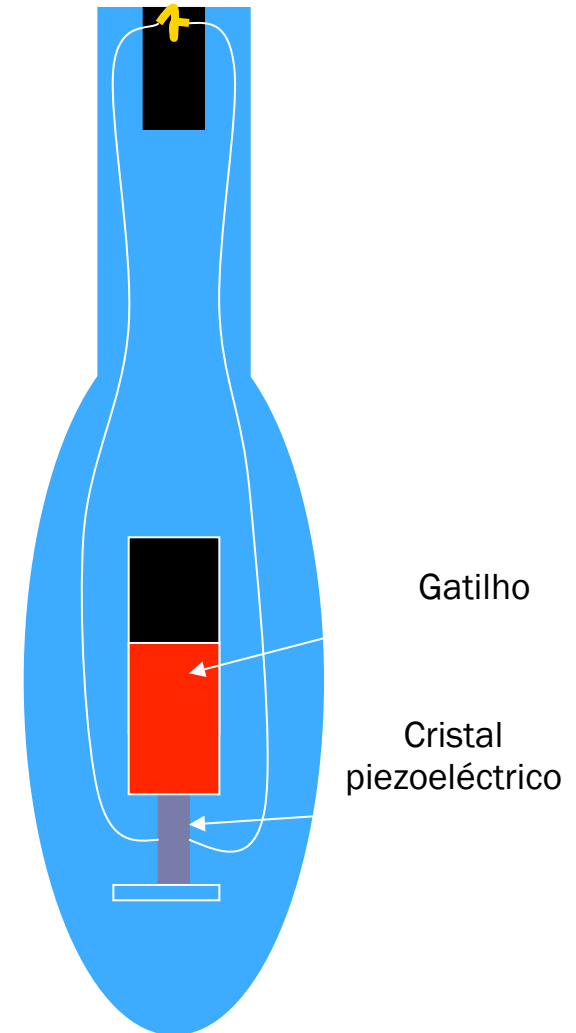
PVDF

- O PVDF é um polímero termoplástico especial na família dos fluoropolímeros;
- Utiliza-se geralmente em aplicações que precisam de alta pureza e resistência aos solventes, ácidos, bases, propriedades ignífugas e baixa emissão de fumos durante um incendio;
- Baixo ponto de fusão, em torno dos 177°C;
- Coeficiente piezoelétrico de 6.7 pC/N para lâminas finas, 10 vezes maior que outros polímeros;
- Coeficiente piezoelétrico negativo (contração);
- Ao alternar dois campos eléctricos vibra;
- Fabricação por meio de uma polimerização de radicais livres do monomero, tanto por processo de fundição como em dissolução (solution casting, spin coating and film casting) similares a outros termoplásticos.

PROPRIEDADES	VALOR	UNIDADE
Densidade	1.78	g/cm3
	0	%
Absorção de humidade	0	
Ponto de fusão	170	°C
Condutividade térmica	0.2	W/Km
Temperatura máxima	+150/-50	°C
Resistência à tração	55	N/mm2
Módulo de elasticidade	2000	N/mm2
Rigidez dieléctrica	60	Kv/mm

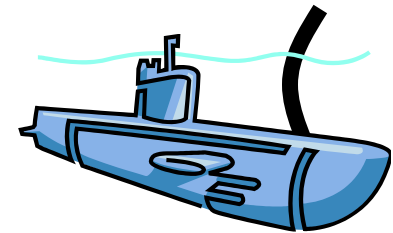
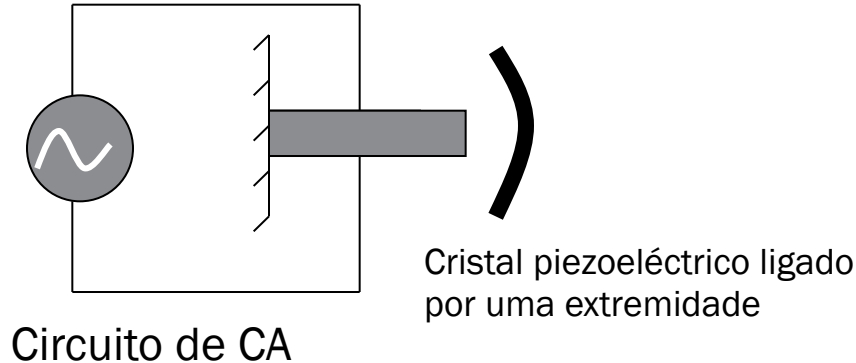
APLICAÇÕES:

- O seu primeiro uso foi na Primeira Guerra mundial no sonar;
- Durante a Segunda Guerra Mundial fabricaram-se as primeiras cerâmicas (PZT), que permitiram melhorar o sonar assim como simplificar circuitos eléctricos. Também aparece o primeiro transdutor cerâmico;
- Uma aplicação muito importante (maioritariamente do quartzo) é o seu uso em osciladores electrónicos de precisão. Estes são dispositivos que utilizam a frequência natural de ressonância do cristal excitada por uma tensão sendo aplicáveis em relógios, rádios ou relógios internos do computador.
- Sensores de vibração e Acelerómetros, sensores de pressão, microfones;
- Detectores de fumo, comandos remotos, sensores de movimento, sensores tácteis, espuma de célula fechada reticulada;
- Medidores de nível e distância pelo sistema pulso-eco (os sensores de estacionamento são ultrassónicos);
- Máquinas de solda por ultra-som;
- Transdutores ultrassónicos para ensaios não destrutivos (END);
- Atuadores e motores piezoelétricos;
- Painéis piezoelétricos fabricados com PVDF utilizam-se num instrumento científico da sonda espacial New Horizons, que mede a densidade de pó no sistema solar exterior.



O SONAR E O ECÓGRAFO

- O sonar consiste numa sonda (piezoelétrica) que é um transdutor, isto é, funciona com a seguinte sucessão de eventos:
 - Emite vibrações que produzem ondas ultrassónicas na água em direção ao eixo polar, isto é, recebe o seu eco.
 - O emissor move-se para que a onda emitida varra o espaço até localizar a direção onde está o obstáculo.
 - O eco recebido golpeia o cristal piezoelétrico e produz uma corrente elétrica.
 - Finalmente a distancia a que está o obstáculo que reemite um eco, obtém-se aplicando os cálculos derivados da teoria do efeito Doppler.



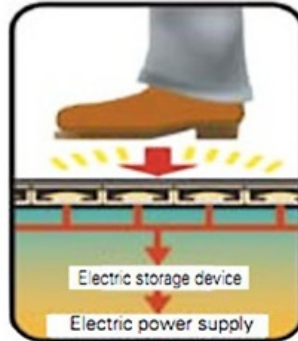
PIEZOELÉTRICOS NO SOLO

- Energia renovável com alto potencial de utilização produzida pelo trânsito de pessoas, veículos ou vibração da maquinaria.
- A East Japan Railway Company instalou um pavimento piezoeléctrico para a geração de energia eléctrica no passo de tornos e portas de entrada do metro. A superfície total utilizada no sistema é de aproximadamente 25 m² e produz mais de 1400kW por dia.
- A empresa Pavegen System projetou um azulejo que recolhe energia das pisadas. Ao pisar produz-se uma flexão na sua superfície de cerca de 5 mm, convertendo a energia cinética da pisada em 5-7 W segundo a deformação produzida. Esta energia pode ser utilizada para aplicações de baixa potência não conectadas à rede eléctrica como instalações de iluminação LED, sinalização ou publicidade, também pode ser armazenada em baterias instaladas no próprio elemento.
- O Instituto de investigação Technion e posteriormente a empresa Innowatech, projetaram sistemas piezoeléctricos para a obtenção de energia tanto em tráfico de pessoas como automóvel ou ferroviário.
 - <http://www.youtube.com/watch?v=AEpiDulKc8s#t=50>
 - http://www.youtube.com/watch?v=CfnyJO_XarI#t=0

PIEZOELÉTRICOS NO SOLO



Demonstration experiment at Tokyo Station



Mechanism of the power-generating floor



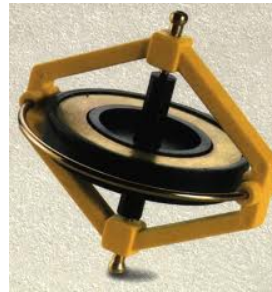
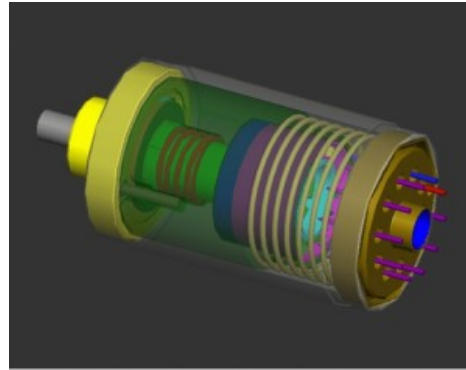
PINTURA PIEZOELÉCTRICA

- A pintura autoadesiva, sensível à pressão, avisará quando uma ponte estiver em vias de colapsar. O VTT Technical Research Centre de Helsinki, adicionou cristais piezoelétricos a uma resina, que produzem uma tensão quando sofrem um esforço.
- Os eléctrodos em cada extremidade da ponte detectam as alterações de tensão conforme as pessoas cruzam a ponte. Os cristais podem usar-se para detectar alterações de pressão devido a falhas estruturais.
- Grande utilidade na monitorização de estruturas pela sua fácil utilização.
- Composição da pintura mais utilizada é o PZT como pigmento em forma de pó, com resina Epoxi.

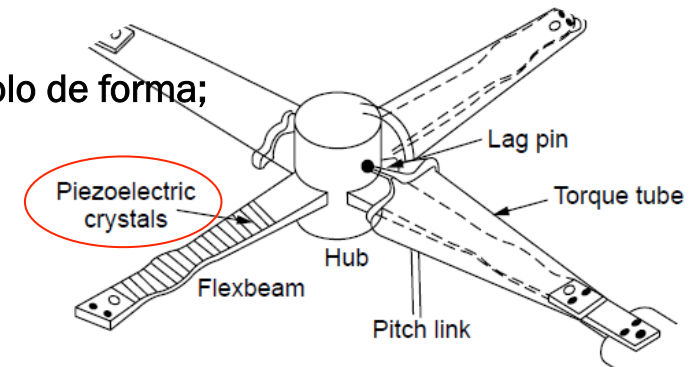
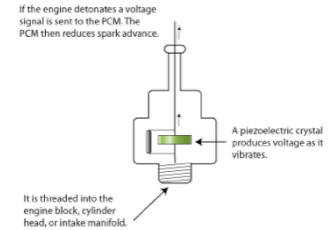


PIEZOELÉCTRICOS - APLICAÇÕES AEROESPACIAIS:

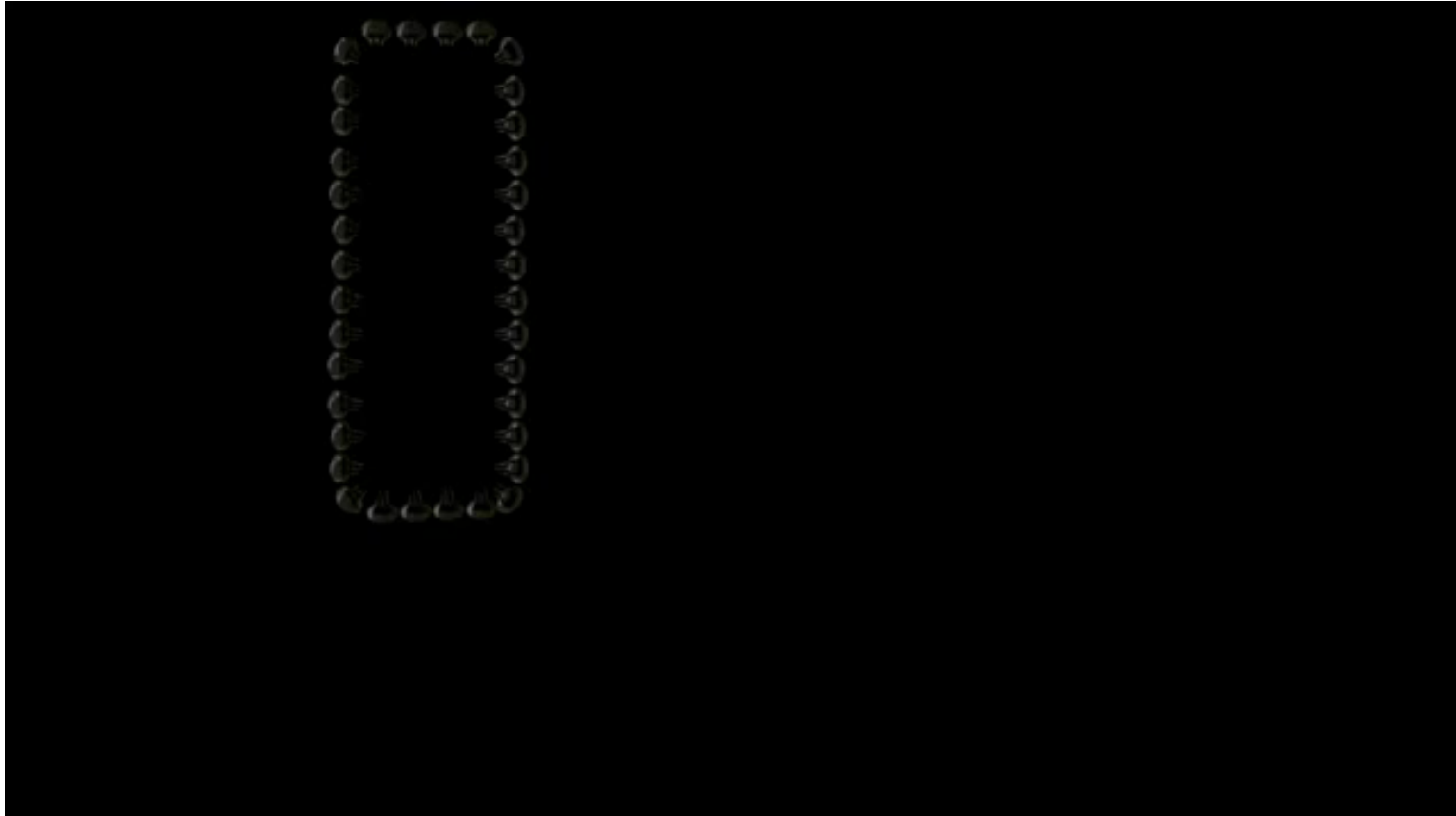
- Sonares;
- Acelerómetros;
- Giroscópios;
- Sensores de nível;
- Sondas de combustível;
- Detecção de falhas estruturais;
- Actuadores
- ...



- Knock Sensors (informações sobre combustão);
- Injectores de Combustível;
- Geradores de Ultra-sons;
- Controlo de Vibrações;
- Controlo de Ruído;
- Controlo de forma;



PIEZOELÉCTRICOS - APLICAÇÕES AEROESPACIAIS:



PIEZOELÉTRICOS - APLICAÇÕES AEROESPACIAIS:



10 de Abril de 2015

Utilização de Materiais Inteligentes em
Estruturas Aeroespaciais

MATERIAIS COM MEMÓRIA DE FORMA

- Diferenciação das SMA (shape memory alloy) dos SMP (shape memory polymer).

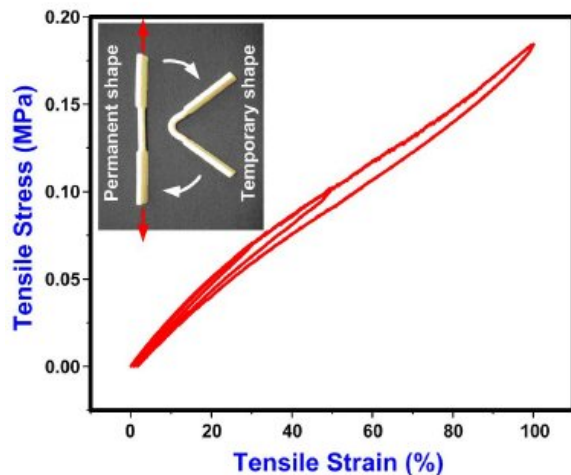
	SMPs	SMA
Density (g/cm ³)	0.9–1.2	6–8
Extent of deformation	up to 800%	<8%
Required stress for deformation (MPa)	1–3	50–200
Stress generated upon recovery (MPa)	1–3	150–300
Transition temperatures (°C)	–10..100	–10..100
Recovery speed	1s – minutes	<1s
Processing conditions	<200 °C low pressure	>1000 °C high pressure
Costs	<\$10/lb	~\$250/lb

A sua diferenciação consiste na sua transição de vidro ou transição de fusão de um disco para uma fase mole, que é responsável para o efeito de memória de forma. Em ligas com memória de forma martensítica/transições austeníticas são responsáveis pelo efeito de memória de forma. Existem diversas vantagens (com reduzidas desvantagens) que tornam os SMPs mais atraente ao nível de mercado do que as SMAs. Os SMPs em relação aos SMAs têm:

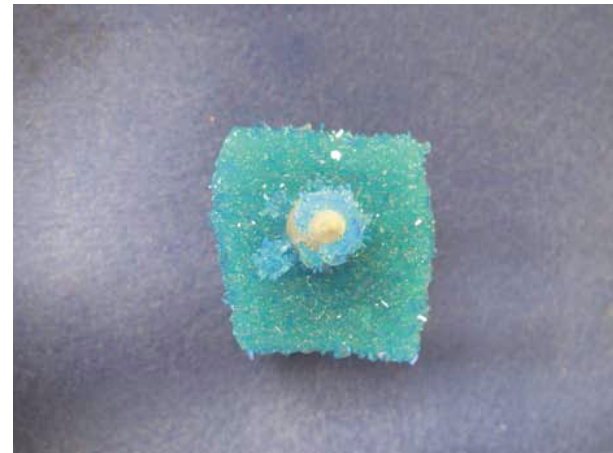
- Elevada capacidade de deformação elástica;
- Baixa densidade;
- Menor custo;
- Ampla gama de temperaturas de aplicação que pode ser adaptada;
- Fácil processamento, com fabricação mais simples, incluindo geometrias e propriedades mais complexas;
- Biocompatibilidade e biodegradabilidade potencial;
- Problema de alta reatividade com outros polímeros na fase de fabrico;
- Reduzida força em comparação com as SMA;
- Irreversibilidade do processo de memória de forma, exceto o *Nafion* que permite adotar três formas distintas.

MATERIAIS COM MEMÓRIA DE FORMA

- Inovação emergente na área dos SMH (shape memory hybrid).



SMH de borracha (carregamento ciclico a baixa temperatura e alta velocidade).



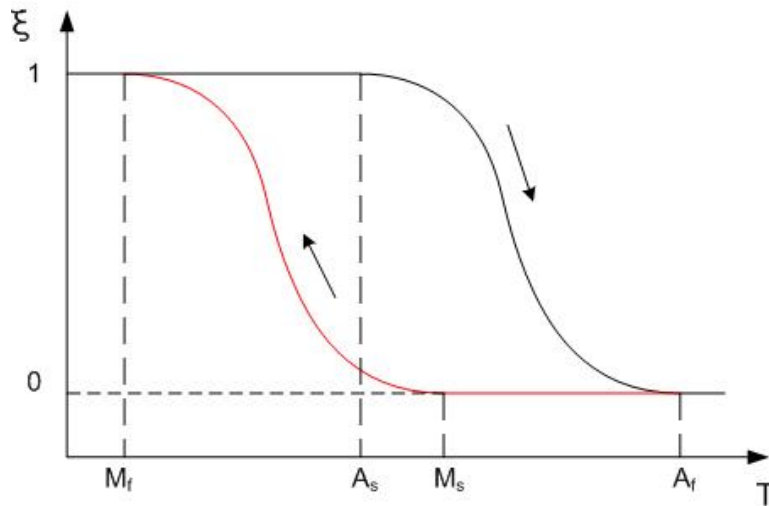
Esponja com cone de aluminio após cristalização do *cupric sulphate pentahydrate*.

MATERIAIS COM MEMÓRIA DE FORMA - COM EFEITO TÉRMICO DE MEMÓRIA

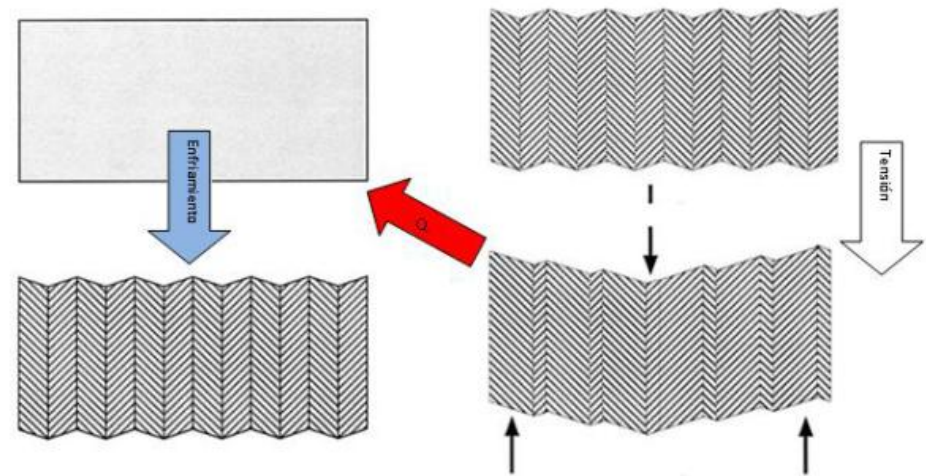
- Ligas metálicas (SMA):
 - As ligas com memória de forma (Shape Memory Alloy - SMA) têm a capacidade de recuperar uma forma previamente definida quando são submetidas a um procedimento de tratamento térmico apropriado. Ao retornar à sua forma original, estes materiais também podem aplicar forças. A maior parte das aplicações práticas correspondem às SMA que apresentam a capacidade de recuperar-se após uma grande deformação (superelasticidade) ou as que aplicam grandes forças ao recuperar a sua forma original.
 - O efeito através do qual as SMA recuperam a sua forma original é resultado da transformação martensítica.
 - Nesta transformação têm-se uma fase a temperatura elevada, chamada austenita, fase geratriz ou de estrutura cúbica. Se arrefecer-se o material este altera-se e passa a uma estrutura de folhas entrelaçadas e dispostas em cortes alternos, chamada martensita. A martensita conserva a forma geral do cristal.

EFEITO TÉRMICO DE MEMÓRIA

- No estado martensita, as SMA são muito fáceis de deformar mediante a aplicação de tensões, mas ao eliminar-se a carga a deformação permanece na liga. Contudo, se aquecemos o material este passa à sua forma austenita, recuperando assim a sua forma original.



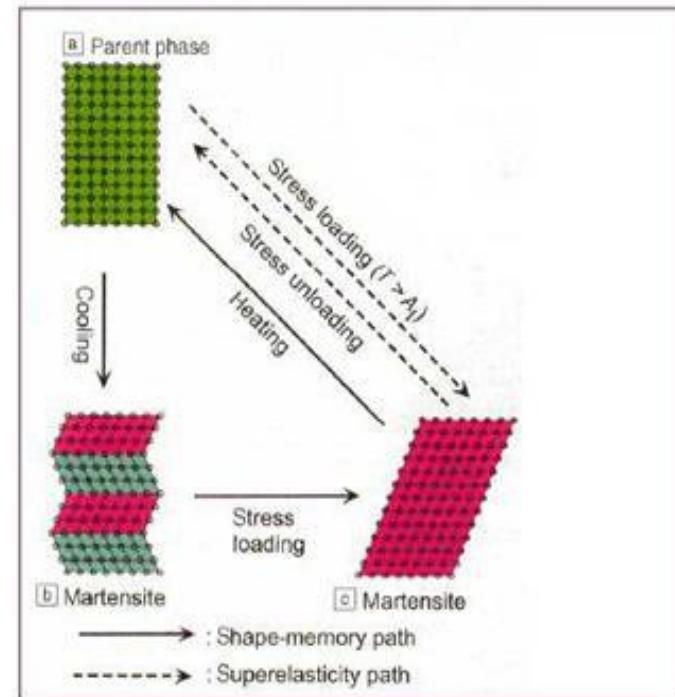
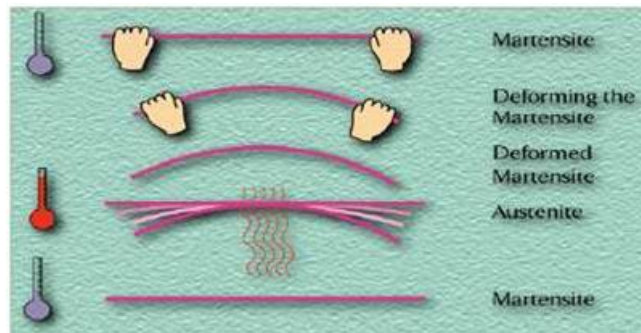
*Variação da fração martensita
(similar à histerese)*



Processo de deformação e recuperação da forma original

EFEITO TÉRMICO DE MEMÓRIA

- Efeito de memória de tipo I: de a) a b) pode-se aplicar uma carga e deformar o material na fase martensita, mas ao aquecer volta-se à fase austenita recuperando a forma inicial. Deste modo não se pode recuperar a forma deformada da martensita.
- Se após o arrefecimento pode-se recuperar a forma martensita é um efeito de memória de tipo II.
- Superelasticidade: é preciso deformar o material acima da A_F . Ao terminar o carregamento, voltará à sua forma austenita original, passando pela forma martensita. Note-se a importância que A_F seja a menor possível.



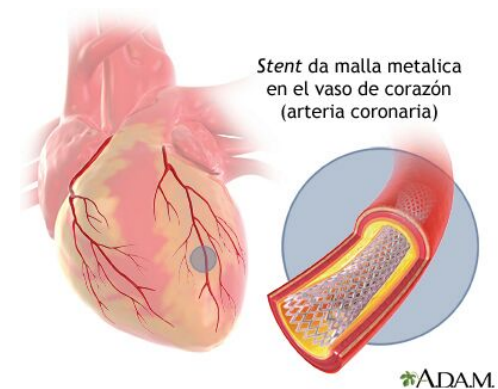
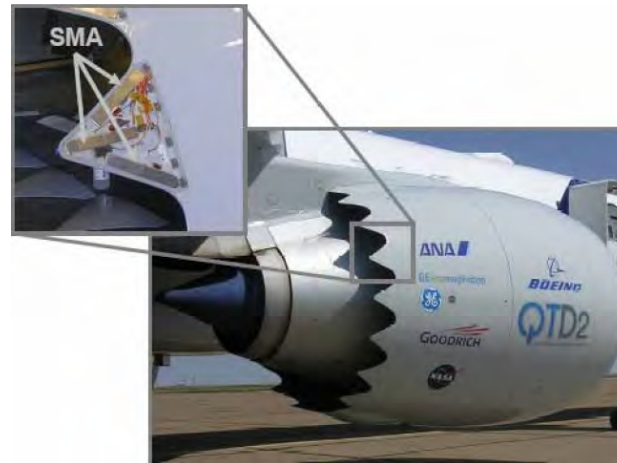
Efeito de memória de forma tipo I e superelasticidade

Efeito de memória de forma tipo II

EFEITO TÉRMICO DE MEMÓRIA

Aplicações:

- Fase martensita têm grande capacidade de absorção de energia e de resistência à fadiga;
- Utilização mais extensiva em amortecedores e em material cirúrgico;
- Bocal de jacto de geometria variável utilizando actuadores SMA (Boeing).
 - Redução de ruído;
 - Melhoria do desempenho em cruzeiro;
 - Desenho simples e completamente integrado;
 - Baixo custo;



EFEITO TÉRMICO DE MEMÓRIA

- Polímeros (SMP):
 - Materiais relativamente novos e de diferentes composições;
 - Materiais que variam a sua forma segundo um estímulo externo;
 - Fabricados por processos habituais como a moldagem por injeção ou extrusão e a termoformação, até atingir uma forma chamada “forma permanente”;
 - Aquecimento até alcançar T_{trans} onde o polímero é deformado atingindo uma forma “temporal”. Arrefece-se imediatamente;
 - Aquece-se novamente até T_{trans} e o polímero irá recuperar a sua forma original;

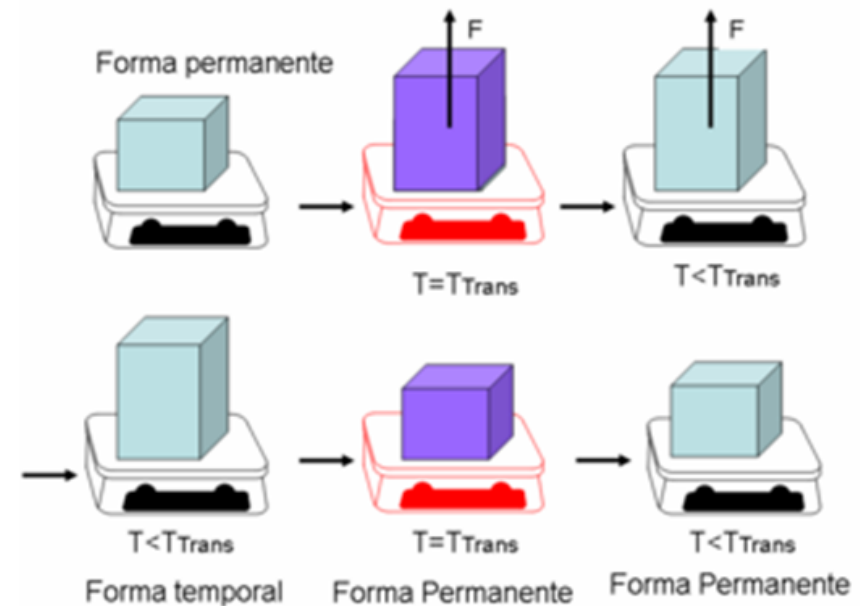
EFEITO TÉRMICO DE MEMÓRIA

- Alongamentos até 200%, entanto que as ligas metálicas apenas alongam 8 a 10%;
- Não depende de uma alteração estrutural, mas por forças entrópicas e pontos de fixação;
- Propriedades definíveis segundo a sua aplicação: biodegradáveis, antibacterianas, entre outras;
- **Polímeros cristalizáveis;**
 - Os polímeros cristalizáveis (salvo o PP) garantem o efeito de memória devido principalmente à sua capacidade de organização, sendo os cristais os pontos de fixação da forma temporal.
 - Medida do nível de cristalização por WASX (*Wide Angle X-ray Scattering*) e DSC (*Differential Scanning Calorimetry*). Se houver um excesso de entrecruzamento o polímero não irá fundir, i.e. é termoestável.
- **Polímeros amorfos;**
 - Não têm estrutura cristalina, pelo que a forma temporal é fixada segundo os nós das cadeias. Grão de polimerização.
- Os polímeros apresentam fadiga logo após poucos ciclos.

EFEITO TÉRMICO DE MEMÓRIA

Funcionamento

- Ao ultrapassar um determinado carregamento crítico, as cadeias deslizam entre si e formam uma estrutura metaestável, onde a organização das cadeias é maior (menor entropia). Ao eliminar a carga, os pontos de fixação atuam como mecanismo de armazenamento de energia.
- No estado vítreo, os movimentos moleculares estão impedidos, mas ao aumentar a temperatura este movimentos são libertados e o polímero começa uma fase de relaxamento com um estado de menor energia.
- Reticulação ou entrecruzamentos no processo de fabrico para que atuem como pontos de fixação, tanto físicos (enredos das cadeias, cristais) como químicos (entrecruzamento químico, curado, vulcanização).



EFEITO TÉRMICO DE MEMÓRIA

- Ausência de modelos termomecânicos exatos e de bases de dados;
- Aplicações aeronáuticas:
 - Proteções para veículos, têxteis inteligentes ou sensores-actuadores.
- Aplicações biomédicas:
 - Emprego combinado de tecnologias de inspeção pré-operatórias e tecnologias CAD-CAM-CAE que permite a obtenção de próteses e dispositivos personalizados.
 - É possível programar a sua temperatura de “ativação” e as suas propriedades pela grande quantidade de polímeros que se podem utilizar.
 - Cateteres intravenosos, implantes degradáveis de invasão mínima, microelementos para sutura inteligente.

MATERIAIS COM MEMÓRIA DE FORMA – COM EFEITO MAGNÉTICO DE MEMÓRIA

- Ao nível dos SMA, o tipo de estrutura interna é um aglomerado, portanto devido à alta simetria pode-se deformar em diferentes direções e em diferentes regiões. Deste modo, a fase inicial estará dividida na parte martentística.
- Materiais caracterizados por momentos magnéticos locais e, na ausência de campos magnéticos, por uma orientação preferente segundo a rede cristalina, chamada direção de eixo fácil.
- Ao aplicar um campo magnético externo os momentos magnéticos alinham-se na direção do campo. Se a energia requerida para rodar a magnetização até à direção fácil é maior do que a requerida para mover o aglomerado, então é energeticamente favorável mover a estrutura produzindo grandes alterações de forma.

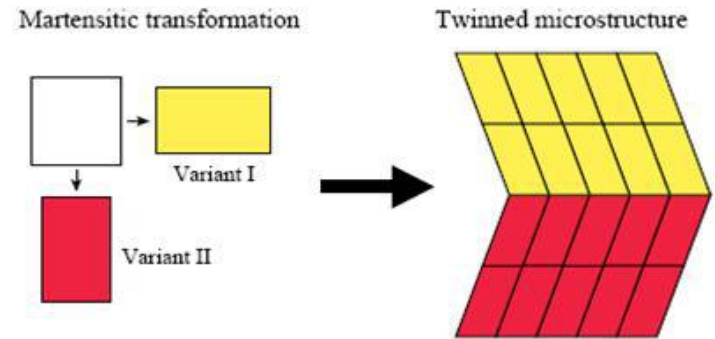


Fig. 1. Schematic illustration of the martensitic transformation and twinning in two dimensions.

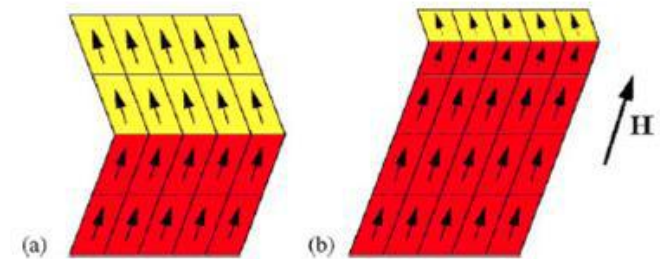
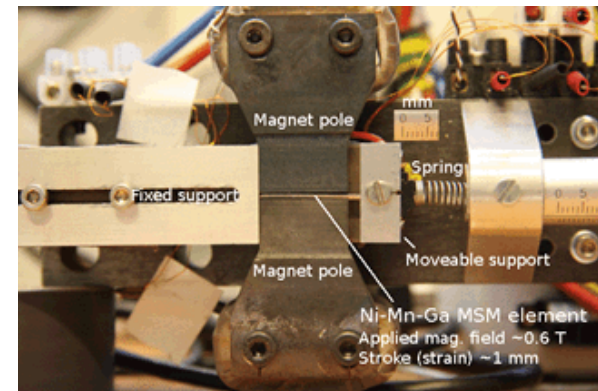
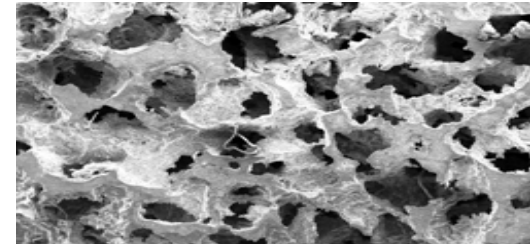


Fig. 2. (a) Magnetic moments without the external field. (b) Redistribution of the variants in an applied field.

Fig. 1. Schematic illustration of the martensitic transformation and twinning in two dimensions.

EFEITO MAGNÉTICO DE MEMÓRIA

- Facilidade de manipular a forma segundo o campo magnético aplicado;
- Investigação nos últimos 15 anos;
- A maior utilização é através da liga Ni-Mn-Ga em forma de espuma desenvolvida por Peter Müllner da Boise State University e David Dunand de Northwestern University;
 - Deformação até um 10%;
 - Material poroso como liga policristalina;
 - Elevada resistência a fadiga ($>10^5$);
 - Grande resistência e baixa densidade;
- Actuadores, comutador/fusível, sensores e outros;
- “Recolectores” de energia;
- Amortecedores de vibrações.



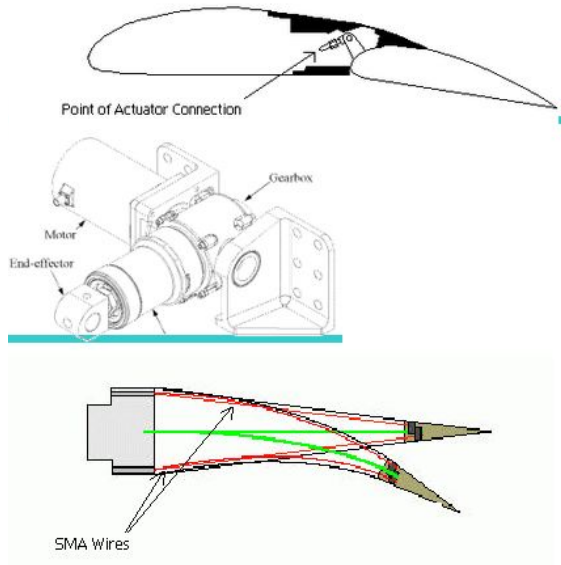
MATERIAIS DE MEMÓRIA DE FORMA

Aplicações Aeroespaciais:

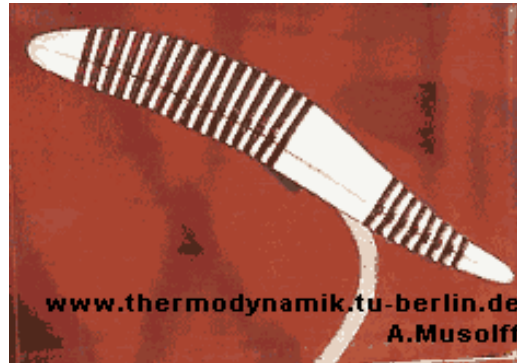
- Atuadores e sensores elétricos;
- Transporte de cargas ajustável;
- Controlo de turbulência e vibrações;
- A utilização de SMA no nozzle de um motor permite reduzir a ruído, emissões e consumo de combustível, através de variações no diâmetro;
- Controlo estrutural – substituição de um mecanismo hidráulico por fios com liga de memória de forma no controlo do “flap”;
- “Morfing” – permite adaptar a forma de vários componentes ao ambiente, velocidade, tipo de operação ou manobra, em plena atividade de voo;
- Auto-regeneração de componentes.

MATERIAIS DE MEMÓRIA DE FORMA

Aplicações:



Exemplo da substituição do controle de um *flap* hidráulico por fios de SMA;

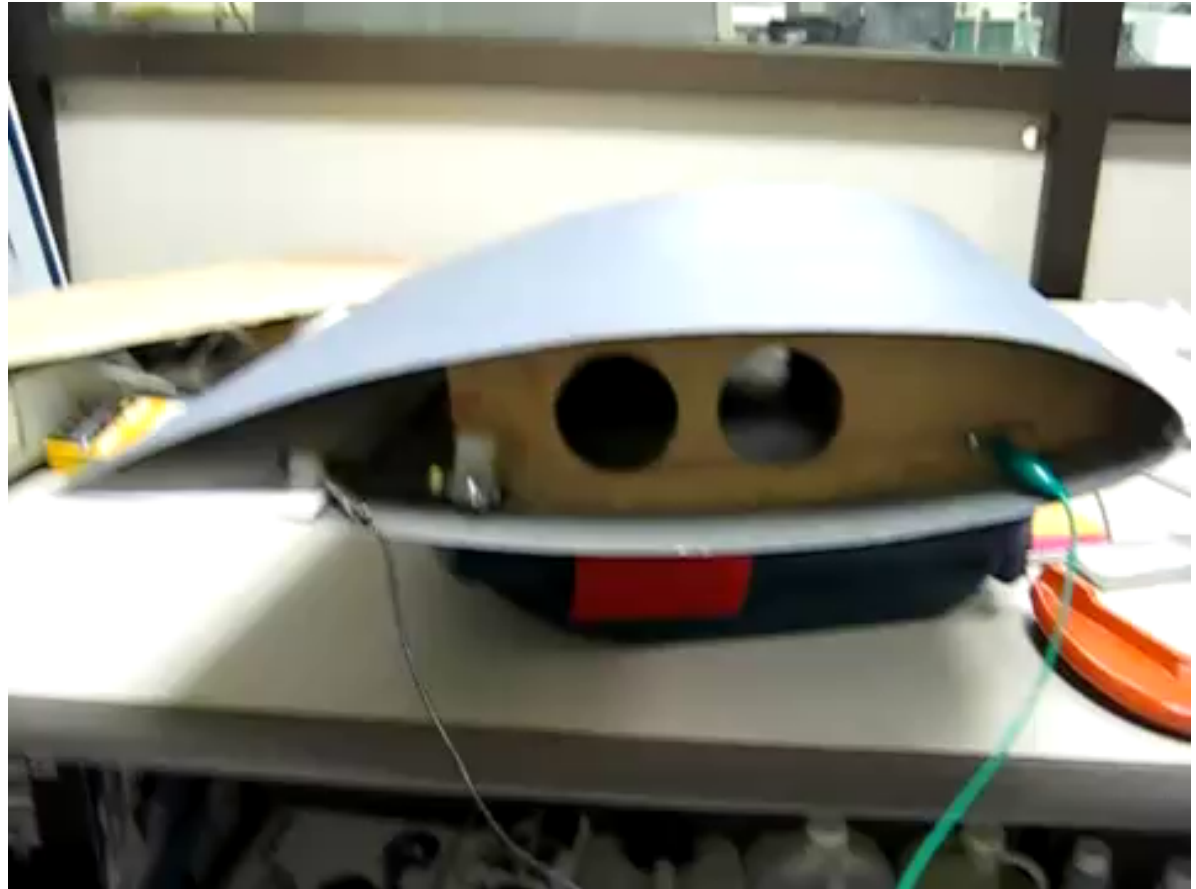


Redução de turbulência através da mudança de perfil alar;

MATERIAIS DE MEMÓRIA DE FORMA

Aplicações:

Estudo de controlo de componentes de uma asa realizado no DCA;



MATERIAIS DE MEMÓRIA DE FORMA

Aplicações:

Variação do diâmetro
do *nozzle*;



10 de Abril de 2015

Utilização de Materiais Inteligentes em
Estruturas Aeroespaciais

MATERIAIS DE MEMÓRIA DE FORMA

Aplicações:

Auto-regeneração de
um polímero;



MATERIAIS DE MEMÓRIA DE FORMA

Aplicações:

Adaptabilidade
futurista com base em
tecnologia Morphing;



MAGNETOSTRIÇÃO VS EFEITO MAGNÉTICO DE MEMÓRIA

- O fenómeno de magnetostrição, através do qual um campo eléctrico externo pode alterar as dimensões da amostra, foi observado no ano 1842 por Joule. Nos materiais ferromagnéticos habituais como Fe e Ni as deformações são da ordem de 10^{-4} % entanto que materiais com elevada magneto-estrição alcançam deformações do 0.1%, por exemplo nas ligas de Terfenol-D (Tb-Dy-Fe).
- Por outro lado, os materiais com memória de forma magnética podem alcançar deformações induzidas através de campos magnéticos da ordem do 10%.
- Diferentes mecanismos, portanto diferentes estruturas:
 - A magneto-estrição ocorre em amostras estruturalmente homogéneas.
 - MSMA precisam de uma estrutura especial, obtida por uma transformação martensítica.

MATERIAIS ELECTRO-ESTRITIVOS

- Materiais electro-estritivos exibem uma mudança de dimensão, quando sobre eles é aplicado um campo eléctrico, ou uma polarização eléctrica, ou ainda quando sofrem uma tensão mecânica.
- São materiais muito semelhantes aos materiais piezoeléctricos, no entanto, oferecem uma quase inexistente histerese, um rápido tempo de resposta e maiores deslocamentos.

MATERIAIS ELECTRO-ESTRITIVOS

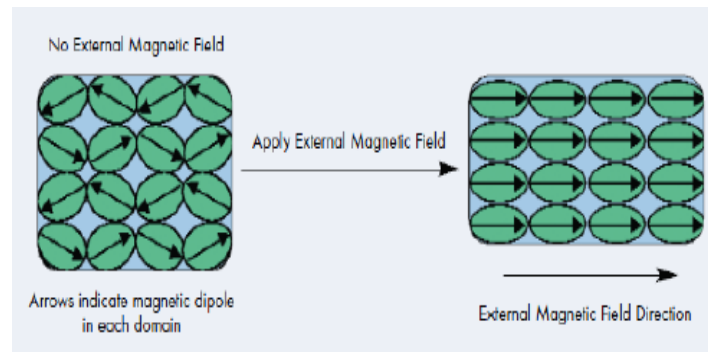
Aplicações:

- A sua principal aplicação, na indústria aeroespacial, é na correção de componentes ópticos de telescópios.
- Durante a Guerra Fria, os satélites que sobrevoavam a União Soviética utilizavam sistemas de óptica ativa para eliminar efeitos de turbulência atmosférica. Uma vez que os electro-estrutivos têm um menor ciclo de histerese do que os piezoelétricos, eram utilizados para ajustar os componentes ópticos.
- O desenvolvimento de sistemas ópticos ativos continuou e componentes similares aos usados durante a guerra foram introduzidos no telescópio Hubble, para corrigir as posições dos componentes ópticos.



MATERIAIS MAGNETO-ESTRITIVOS

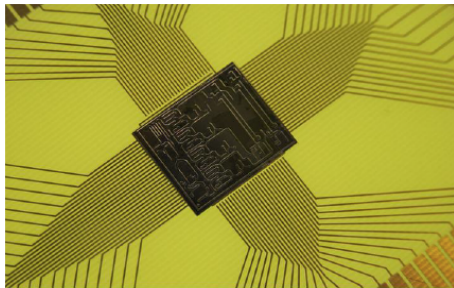
- Os materiais Magneto-estritivos alteram as suas dimensões, quando sobre eles é aplicado um campo magnético. Estas mudanças de forma são maiores em materiais ferromagnéticos e ferrimagnéticos.
- O efeito contrário, ou seja, a geração de um campo magnético, após uma deformação, é designado por piezomagnetismo. Enquanto os primeiros (magneto-estritivos) são utilizados como actuadores, os segundos (piezomagnéticos) são utilizados como sensores.



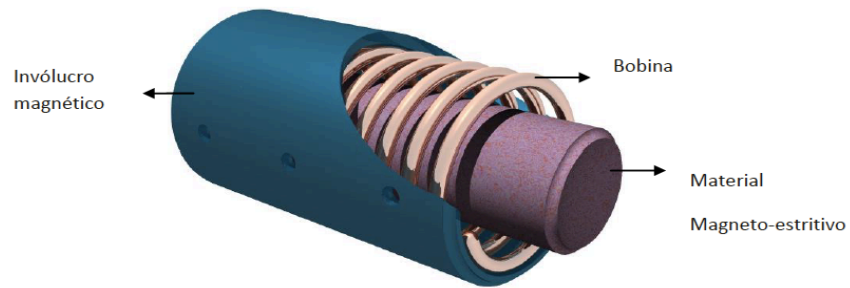
MATERIAIS MAGNETO-ESTRITIVOS

Aplicações:

- Sensores e actuadores magneto-estritivos são geralmente utilizados em transdutores – mecanismos que recebem um sinal e o retransmitem, independentemente da conversão de energia - em MEMS (micro electro mechanical systems), em altifalantes, bombas, sensores de posição e binário e, mais especificamente, na indústria aeroespacial, em controlo de vibração e ruído.
- As vantagens de utilização deste tipo de actuadores magneto-estritivos para o controlo de vibração são o seu baixo peso, a boa estabilidade e a rigidez necessárias em qualquer condição.



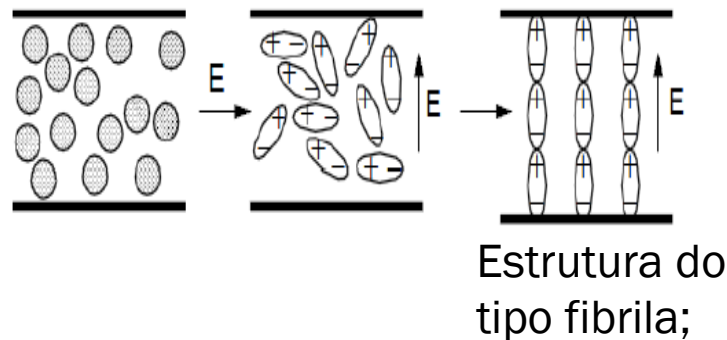
MEMS



Transdutor

MATERIAIS ELECTRO-REOLÓGICOS

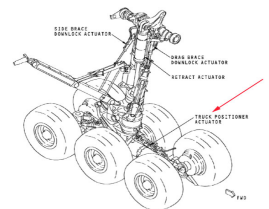
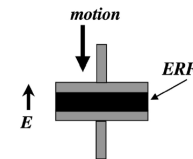
- Os materiais electro-reológicos (mais especificamente os fluidos) alteram a sua viscosidade na presença de um campo eléctrico, isto é, um líquido pode ser transformado num sólido e vice-versa.
- Quando o campo eléctrico está a ser aplicado, as partículas orientam-se numa estrutura do tipo fibrila. Quando se desliga o campo eléctrico, as partículas ficam desorientadas.



MATERIAIS ELECTRO-REOLÓGICOS

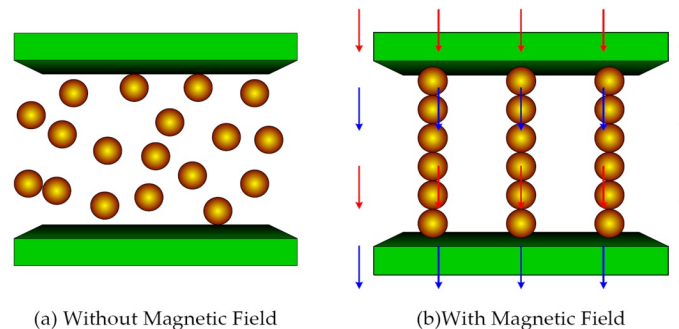
Aplicações:

- A maioria das aplicações deste tipo de material tem como objectivo aproveitar a sua capacidade de mudança das propriedades do fluido, que são rápidas e reversíveis. O ponto de maior incidência consiste no controlo de vibração de estruturas.
- Criação de amortecedores ajustáveis ou, até mesmo, apoios para o motor.
- Compósitos do tipo sanduíche, que permitem variar a rigidez de alguma parte da aeronave, em função do campo eléctrico aplicado. Este compósito é formado por dois eléctrodos entre os quais está o fluido electrorreológico.
- Conforme é aplicada ou desligada uma corrente eléctrica entre os eléctrodos, a rigidez do fluido varia, assim como a rigidez da viga onde está aplicado. Este último exemplo pode ter vários pontos de aplicação numa aeronave, pontos estes onde é necessária a mudança da rigidez da estrutura, em função das condições e do ambiente em que esta se encontra. Como aplicação aeronáutica prática, temos o trem de aterragem, onde se começa a tentar utilizar este tipo de material, para um melhor controlo da vibração e do choque.



MATERIAIS MAGNETO-REOLÓGICOS

- Materiais magneto-reológicos (fluidos) são o equivalente magnético dos electro-reológicos. A sua principal característica é a capacidade de passar de líquido para sólido, quando exposto a um campo magnético exterior.
- Os fluidos magneto-reológicos mais comuns, consistem em micro-partículas que são praticamente ferro puro, suspensas em óleos à base de hidrocarbonetos. Quando um campo magnético externo é aplicado ao fluido magneto-reológico, este desenvolve uma resistência ao escoamento que é proporcional à força do campo magnético aplicado.



MATERIAIS MAGNETO-REOLÓGICOS

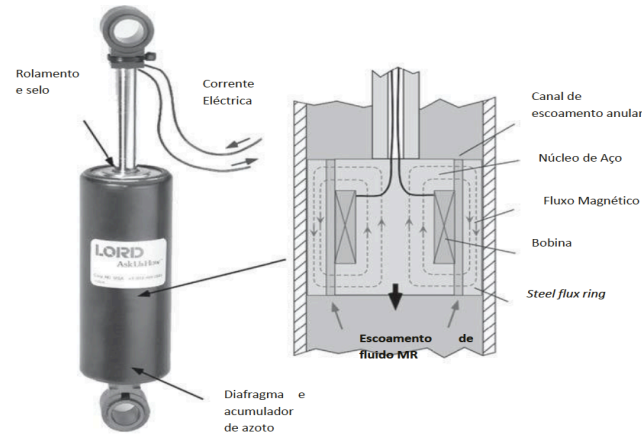
Aplicações:

- Os fluidos MR evoluíram até serem utilizados de forma rotineira a uma escala comercial, pois as suas propriedades fornecem uma capacidade de controlo semi-activo, numa larga variedade de aplicações, no ramo automóvel e outras indústrias. Estes fluidos estão a ser utilizados comercialmente, desde os anos 90. Hoje em dia, esta tecnologia é aplicada em sistemas de suspensão.
- Amortecedores baseados em fluidos MR estão hoje incorporados em vários modelos de automóveis, incluindo o Cadillac, o Chevrolet (Corvette), o Buick (Lucerne), o Ferrari (599 GTB Fiorano), o Audi (TT e R8), o Holden (HSV Commodore), o Honda Acura (MDX) e muitos outros que estão para vir.
- O objectivo destas empresas é levar este equipamento para a indústria aeroespacial, acontecimento esse muito provável num futuro próximo e que, muito provavelmente, será direccionado para o trem de aterragem de uma aeronave.

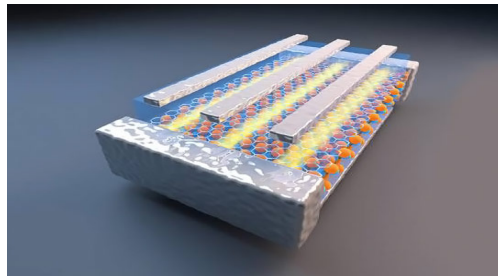
MATERIAIS MAGNETO-REOLÓGICOS

Aplicações:

- Amortecedor de fluido MR com geometria de válvula assimétrica.

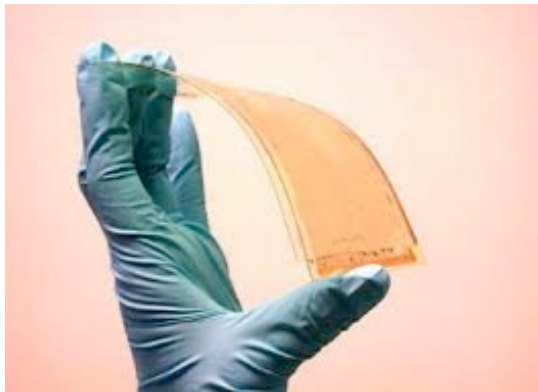


- Material magneto-reológico aplicado em sandwich, em estudo no MIT.



POLÍMEROS INTELIGENTES

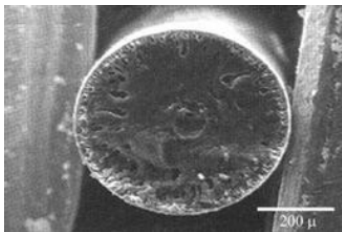
- Um polímero inteligente é aquele que altera as suas propriedades, de acordo com o ambiente em que se encontra.
- São sensíveis a vários factores, como por exemplo, a mudança de temperatura, a humidade, o pH, a intensidade da luz ou a aplicação de um campo magnético ou eléctrico.
- Às alterações do ambiente, os polímeros inteligentes podem responder de várias formas, como por exemplo, alteração da cor ou transparência, tornarem-se condutores, ganharem permeabilidade ou mudarem de forma.



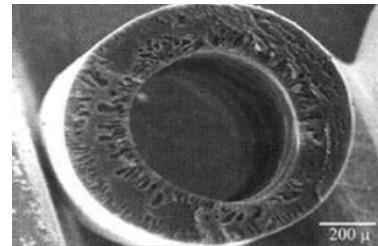
POLÍMEROS INTELIGENTES

Aplicações:

- Uma das aplicações de polímeros condutores é o revestimento da fuselagem. Desta forma, previne-se a corrosão e desgaste dos materiais utilizados para construir a fuselagem. O método antigo envolvia o uso de zinco onde havia a necessidade de se substituir constantemente a camada de revestimento na superfície do metal, resultando num aumento da frequência de tempo de reparação da aeronave.
- E.g.: A poli anilina é um polímero condutor utilizado na proteção da corrosão. Uma vez aplicada no metal, a poli anilina aceita os electrões que o metal fornece e transmite-os ao oxigénio. É formada uma camada de óxido de ferro puro na superfície da poli anilina, o que faz com que não seja necessária uma aplicação constante deste polímero inteligente. Além de uma maior efetividade na prevenção da corrosão do que o zinco, a poli anilina apresenta outras vantagens, pois é um material mais leve, tem um custo mais reduzido e não apresenta qualquer toxicidade para a saúde humana.



Fibra de poli anilina sólida

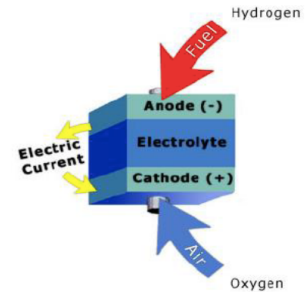


Fibra de poli anilina oca

POLÍMEROS INTELIGENTES

Aplicações:

- Uma outra aplicação de polímeros condutores é em sistemas de células de combustível. Esta nova tecnologia é uma célula electroquímica, onde são consumidos um combustível e um comburente, com o objectivo de gerar energia eléctrica e foi utilizada em sistemas de fornecimento de energia do shuttle. O sistema de células de combustível é mais eficiente que motores por combustão, uma vez que não está limitado pela temperatura e não emite gases de efeito de estufa. Desta forma, desde os anos 90 que a NASA tenta aplicar esta tecnologia a estações espaciais, balões e aeronaves que voam a grandes altitudes.
- A estrutura de uma célula de combustível é constituída por um electrólito, que está colocado entre um ánodo e um cátodo. O electrólito é geralmente constituído por carbono. No entanto, o carbono tem uma baixa condutividade de protões e, para melhorar este aspecto, são introduzidos polímeros condutores os quais ajudam a melhorar as propriedades das células de combustível.
- Um exemplo de uma aplicação real desta tecnologia é o motor híbrido do Hybrid Ultra Large Aircraft. Ao utilizar o motor híbrido com células de combustível, o peso da aeronave é menor, quando comparado com os dirigíveis a hélio.



CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS:

- Materiais Inteligentes são materiais capazes de efetuar uma determinada resposta, em função de um estímulo.
- Estes materiais possuem inúmeras aplicações, embora a grande maioria apenas apresente utilização mais ampla no domínio dos piezoelétricos e das ligas de memória de forma.
- A influência dos materiais inteligentes na indústria aeroespacial, pode ser aplicada em factores-chave de projeto, contando com diversos conceitos já possíveis de executar e outros mais inovadores, tais como na capacidade de auto-adaptabilidade, auto-monitorização e de autorreparação das aeronaves.
- Tomou-se consciência da lacuna tecnológica ainda por ultrapassar, antes de se conseguir aproveitar verdadeiramente a totalidade das vantagens que os materiais inteligentes podem facultar na indústria aeroespacial. Uma das grandes restrições à sua aplicação provém do elevado consumo energético de que ainda necessitam para atuação.

OBRIGADO PELA VOSSA ATENÇÃO..!

QUESTÕES ?

