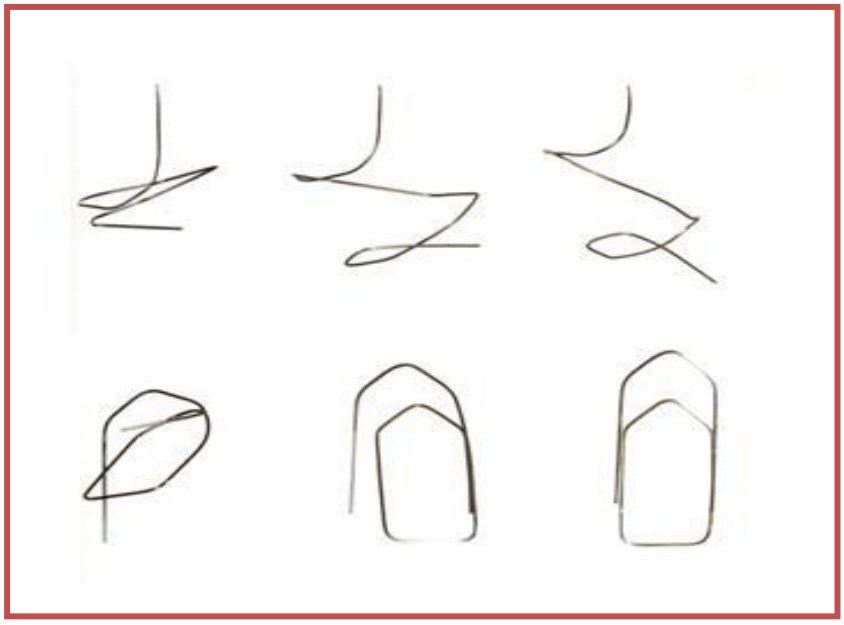
Ano letivo 2012/2013

Universidade do Porto
FEUP Faculdade de Engenharia

Ligas com Memória de Forma

Como se educa uma liga com memória de forma?



Mestrado Integrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais

&

Licenciatura em Ciências de Engenharia - Engenharia de Minas e Geo-Ambiente

Grupo 1EMM-1_04

Diogo Amadis Mota Marques Guimarães Rocha

Gustavo Alexandre Gonçalo de Brito

José Nicolau Avides Moreira Pinto Osório

Marta Luís Allen Celestino da Silva Castanheira

Pedro Filipe Pereira Ferreira

Projeto FEUP

Sumário

Este relatório foi desenvolvido no âmbito da Unidade Curricular Projeto FEUP, no qual iremos falar das ligas com memória de forma, dando ênfase à liga TiNi (Nitinol), sendo esta a que é mais comercializada.

Subjacente a este relatório encontra-se um esquema de o nosso trabalho prático que consistia em educar uma liga com memória de forma, uma introdução acerca das ligas de memória de forma e algumas aplicações destas ligas.

Agradecimentos

Primeiro de tudo queríamos agradecer à Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto como instituição que nos ofereceu as melhores condições para efetuarmos este nosso trabalho.

Queríamos também expressar a nossa gratidão ao nosso coordenador de Curso o Eng º Manuel Vieira bem como ao nosso monitor Bruno Duarte por todo o seu apoio e esclarecimentos prestados ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

Índice

Sumário ii

Agradecimentos iii

1. Introdução 1

1.1. Ligas com Memória de Forma 1

1.2. Ligas TiNi 2

2. Como se educa uma liga com memória de forma? 3

2.1. Trabalho prático 5

3. Aplicações para ligas com memória de forma 6

3.1. Aplicações na medicina 6

3.2. Aplicações na Aeronáutica 7

3.3. Aplicações na Odontologia 8

3.4. Outras aplicações 9

3.4.1. Tubos, fios e fitas 9

3.4.2. Armações para óculos 9

4. Conclusão 10

5. Referências Bibliográficas 11

Índice de Figuras

Figura 1 - Representação dos vários estados de uma SMA 1
Figura 2 - Representação de uma SMA quando sujeita a situações de tensão 1
Figura 3 - T-shirt com memória de forma 2
Figura 4 - Molas de TiNi 3
Figura 5 - Fios de TiNi 3
Figura 6 - Fase "martensitica" e fase "austenitica" 4
Figura 7 - Processo de “educação” de uma SMA 4
Figura 8 - Prótese da anca feita com ligas de memória de forma 6
Figura 9 - Modelo básico de avião com *flap* 7
Figura 10 - *Flap* com fio de SMA 7
Figura 11 - Aparelho ortodontico 8
Figura 12 - Diferentes tamanhos de Tubos de nitinol 9
Figura 13 - Caraterísticas de óculos feitos com a liga TiNi. 9

1. Introdução

1.1. Ligas com Memória de Forma

As ligas com memória de forma, também conhecidas como SMA (Shape Memory Alloys) são materiais metálicos que têm a capacidade de, depois de serem sujeitos a deformações, voltar ao seu estado inicial como resultado do aumento de temperatura, aumento de pressão ou outras condições de tensão. Os efeitos de memória de forma ocorrem devido a mudanças na estrutura cristalina do material, que são dependentes da temperatura e/ou da tensão às quais estas ligas estiverem sujeitas.

Por exemplo, quando uma liga com memória de forma se encontra num estado de arrefecimento ou abaixo da sua temperatura de transformação, esta apresenta um limite de elasticidade muito baixo e pode ser facilmente trabalhada e forçada a sua adaptação a qualquer forma que irá manter. Mas quando este material é exposto a temperaturas muito altas, acima da sua temperatura de transformação, a sua estrutura cristalina sofre varias alterações provocando o retorno à sua forma inicial.

Este tipo de material foi inicialmente usado e explorado nos anos 60, com a criação de uma liga metálica denominada de Nitinol (Níquel-Titânio) que veio revolucionar a forma e a aplicação deste material no quotidiano. Já existiam anteriormente ligas com memória de forma (como as ligas de ouro e cádmio) mas o seu manuseamento e tratamento eram bastantes difíceis [1,4].

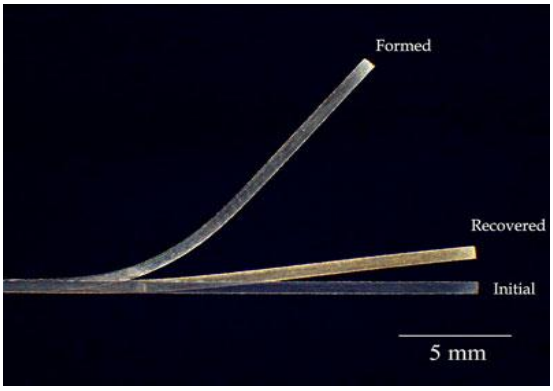


Figura 2 - Representação dos vários estados de uma SMA

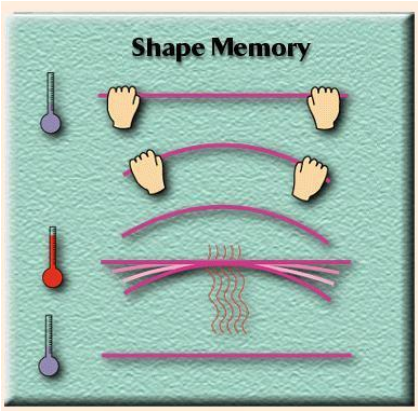


Figura 1 - Representação de uma SMA quando sujeita a situações de tensão

Hoje em dia, com o seu avançado estado de desenvolvimento pode encontrar-se este tipo de ligas nos mais variados objetos, como em tubos, válvulas ou até em aparelhos dentários e próteses.

Algumas dessas ligas são:

- **Níquel-Titânio**
- Cobre-Zinco-Alumínio
- Cobre-Zinco-Níquel
- Prata-Cadmio
- Ouro-Cadmio
- Cobre-Estanho
- Cobre-Zinco
- Níquel-Alumínio
- Ferro- Platina
- Magnésio-Cobre
- Ferro-Magnésio

Figura 3 - T-shirt com memória de forma

1.2. Ligas TiNi

As ligas TiNi são bastante populares pelas suas propriedades de memória de forma e também pelo seu efeito pseudoelástico que lhes permite uma recuperação de forma até 8 %. Estas ligas podem ser aplicadas em várias áreas como a medicina ou a aeronáutica por serem bastante resistentes à corrosão e pela sua biocompatibilidade. São também bastante dúcteis em comparação com outras ligas e apresentam uma solubilidade de outros metais que não o níquel ou o titânio.

Com a solubilidade de outros metais, as ligas sofrem algumas modificações nas suas propriedades mecânicas e de transformação. Como exemplo de elementos que modificam as propriedades das ligas temos o Ferro e o Crómio.

Existem outros elementos cuja presença pode ser prejudicial para a formação da liga metálica, como o oxigénio e o carbono que alteram as temperaturas de transformação e degradam as propriedades mecânicas das ligas.

Como o Titânio possui uma elevada reatividade, a fusão destas ligas deve ser realizada sob vácuo ou em atmosfera inerte. Depois de realizada a fusão, os lingotes obtidos serão conformados através de processos como o forjamento, a extrusão ou a laminação.

A frio, podem ser aplicados quase todos os processos de deformação a estes materiais. A boa resistência à corrosão e aos efeitos memória de forma pode ser explorada de várias maneiras até que o limite de fadiga afete o seu uso [1,3].

Figura 4 - Molas de TiNi

Figura 5 - Fios de TiNi

2. Como se educa uma liga com memória de forma?

Estas ligas possuem duas fases no estado sólido, ou seja, dá-se um rearranjo da sua estrutura molecular com a alteração da temperatura da liga (portanto uma mudança de fase) mas esse rearranjo passa-se sempre com a liga no estado sólido, já que as moléculas estão fortemente ligadas umas às outras em ambas as configurações. Essas duas fases têm o nome de Martensite e Austenite. A Martensite é a fase de baixa temperatura, com estrutura com pouca simetria e muito deformável, enquanto a Austenite é a fase de alta temperatura, dura e de estrutura geralmente cúbica [2,3].

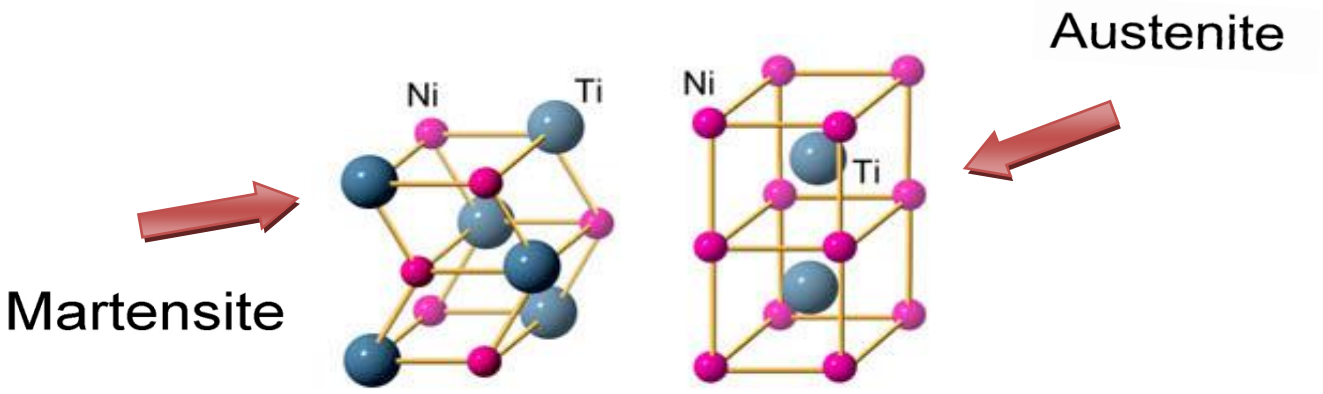


Figura 6 - Fase "martensitica" e fase "austenitica"

À temperatura ambiente estes materiais estão geralmente na sua fase "martensitica" e são facilmente deformáveis. Assim quando lhes é aplicada uma força eles adquirem uma nova forma. Ao serem aquecidos estas ligas passam para a sua fase "austenitica" recuperando a forma original. Ao arrefecer passa de novo para martensite, modificando de novo a sua estrutura cristalina, mas sem se alterar a sua forma macroscópica. Este fenómeno tem o nome de memória de forma simples e é apenas possível alterar a forma do objeto (permanentemente) se a Austenite for alterada [2,3].

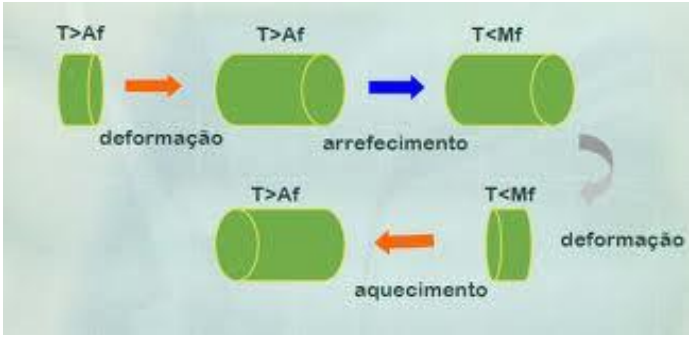


Figura 7 - Processo de "educação" de uma "SMA"

Se o objeto à temperatura ambiente estiver na fase da austenite irá comportar-se como uma mola. È possível, através tratamentos termomecânicos, produzir objetos com memória dupla, que possuem uma forma distinta em ambas as fases.

2.1. Trabalho prático

Dar forma desejada ao tubo de cobre e colocar a liga TiNi dentro.

Colocar a liga no forno durante 15mins a 500°C.

Depois do aquecimento colocar a liga na água para arrefecer rápido.

Retirar a liga da água.

Retirar a liga TiNi de dentro do tubo de cobre.

Liga de TiNi ainda sem a forma dada.

Usar uma fonte de calor para aquecer a liga.

Liga de TiNi já com a forma dada devido à ação do calor (isqueiro).

3. Aplicações para ligas com memória de forma

3.1. Aplicações na medicina

- **Ossos:** Os ossos quebrados podem ser consertados com ligas de memória de forma. A chapa de liga tem uma temperatura de transferência de memória que é próxima da temperatura do corpo, e está ligado a ambas as extremidades do osso partido. A partir do calor do corpo, a placa quer a contrair-se e manter a sua forma original, portanto, exercendo uma força de compressão sobre a fractura no local da tal fractura. Depois de o osso estar curado, a placa continua a exercer a força de compressão, e auxilia no fortalecimento durante a reabilitação. Metais de memória também se aplicam a substituição da anca, considerando o alto nível de super-elasticidade [7].

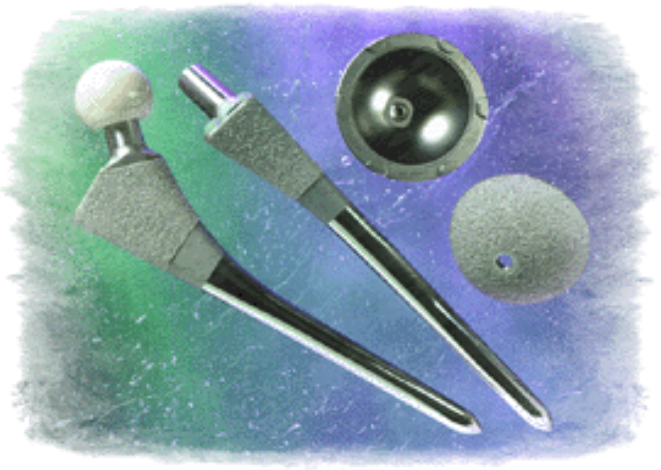


Figura 8 - Prótese da anca feita com ligas de memória de forma

- **Reforço para Artérias e Veias:** Para vasos sanguíneos obstruídos, um tubo de liga é esmagado e inseridos nas veias obstruídas. O metal de memória tem uma temperatura de transferência de memória muito próxima da temperatura do corpo, de modo que metal de memória se expande para abrir artérias obstruídas.
- **Fios dentais:** usado para cintas e fios arcada dentária, ligas com memória de manter a sua forma, uma vez que estão a uma temperatura constante, e em virtude da elasticidade do metal super-memória, os fios conservam a sua forma original após a tensão ter sido aplicada e removida [7].

3.2. Aplicações na Aeronáutica

Os *flaps* são estruturas móveis, inseridas nas asas, que promovem o ganho ou perda de altitude ou a mudança de direção de um avião.

A manobra de aeronaves depende da eficiência dos *flaps*. Estas estruturas utilizam extensos sistemas hidráulicos que necessitam de bombas e atuadores, elevando o custo e o peso, dois pontos críticos do projeto de aeronaves. Muitas alternativas na indústria aeroespacial estão sendo pesquisadas para contornarem esse problema, e potenciais soluções são as SMA.

A Fig.10 mostra as formas básicas dos *flaps* das asas, com o sistema hidráulico conectado ao atuador. Com o uso das SMA, as asas poderiam ter a configuração mostrada na Fig.11, o que possibilita o projeto de sistemas mais otimizados em relação ao custo, ao peso e à eficiência [6].

Figura 9 - Modelo básico de avião com *flap*

No sistema mostrado na Fig.11, fios de SMA são inseridos na parte superior e na inferior do *flap*. Assim, com um sistema de aquecimento por corrente elétrica dos fios de "SMA", a geometria do *flap* pode ser controlada [6].

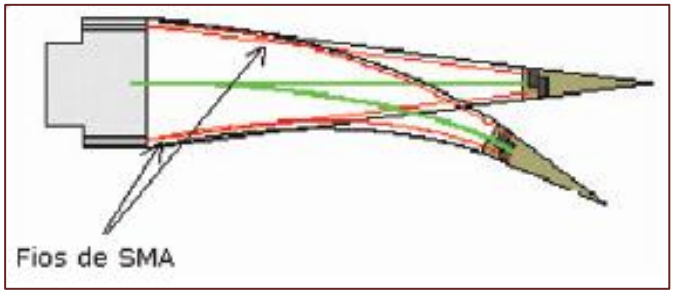


FIgura 10 - *Flap* com fio de SMA

3.3. Aplicações na Odontologia

Em 1975, Andreasen, da Universidade de Iowa, fez o primeiro implante de um dispositivo ortodontico explorando a pseudoelasticidade de uma SMA para correção da posição dos dentes.

Esta correção é imposta através de uma pequena variação de tensão quase constante que resulta em grande deformação, tomando como parâmetro os materiais convencionais.

Consequentemente, o incómodo é mínimo para o paciente. A grande vantagem da liga TiNi é o facto de permitir deformações de cerca de 8 a 10% sem entrar no regime plástico, explorando o fenómeno da pseudoelasticidade. É possível ainda conciliar este efeito, com a transformação de fase imposta pela temperatura [6].

Figura 11 - Aparelhos ortodonticos

3.4. Outras aplicações

3.4.1. Tubos, fios e fitas

Para muitas aplicações que lidam com um líquido aquecido que flui através de tubos, ou arame e aplicações de fita em que é crucial que as ligas mantenham a sua forma no meio de um ambiente aquecido, as ligas de memória de forma são ideais [7].

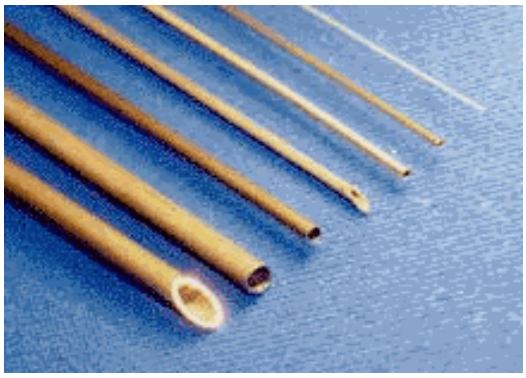


Figura 12 – Diferentes tamanhos de Tubos de nitinol

3.4.2. Armações para óculos

A super elasticidade que carateriza estas ligas com memoria de forma é utilizada, por exemplo no fabrico de armações para óculos onde a leveza, a flexibilidade e a durabilidade são requisitos.

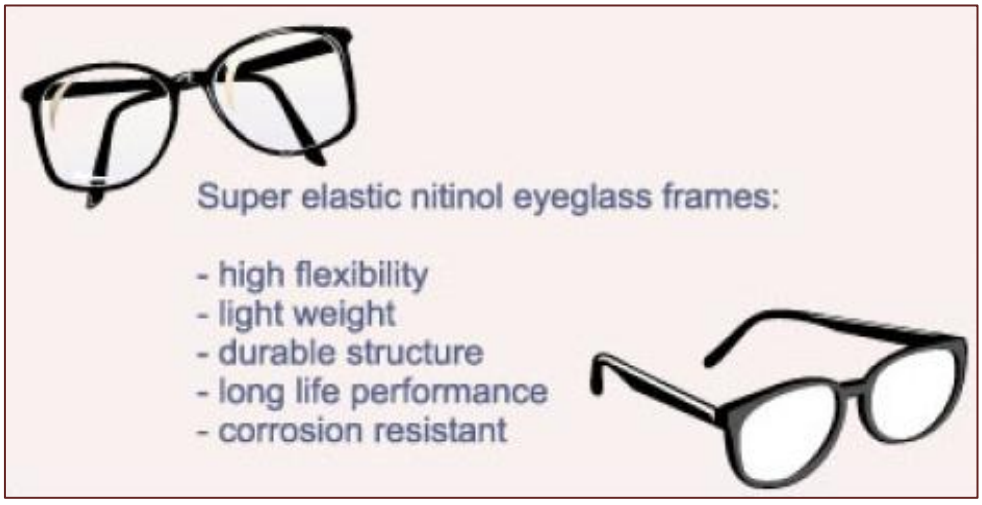


Figura 13 - Caraterísticas de óculos feitos com a liga TiNi

4. Conclusão

Este trabalho apresentou uma discussão sobre as ligas com memória de forma, apontando alguns aspetos relacionados com os seus comportamentos termomecânicos e com as suas aplicações. De uma maneira geral, observa-se que a modelagem destas ligas possui duas abordagens distintas: uma microscópica e outra macroscópica.

Em suma, este tipo de ligas tem comportamentos e propriedades que lhes permitem poder ser usadas no dia-a-dia. Um conhecimento mais profundo destas ligas é importante, permitindo o seu melhoramento e maior aperfeiçoamento quanto às técnicas e empregabilidade possíveis.

5. Referências Bibliográficas

1. FERNANDES, F. M. B. Ligas com memória de forma. Departamento de Ciência dos Materiais / CENIMAT, Universidade Nova de Lisboa, 2003.
2. Shik Hoi-yin, The characteristics and applications of SMA, http://www.hk-phy.org/iq/memory_alloy/memory_alloy_e.html (29/09/2012).
3. Richard Lin, Shape Memory Alloys, http://www.stanford.edu/~richlin1/sa/sma.html (29/09/2012)
4. AZoM.com, http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=1744 (30/09/2012).
5. A.Musolff , http://www.smaterial.com/SMA/model/model.html (30/09/2012).
6. Weimar Silva Castilho e Edson Paulo da Silva http://www.cefetsp.br/edu/prp/sinergia/complemento/sinergia_2011_n1/pdf_s/segmentos/artigo_11_v12_n1.pdf (01/10/2012).
7. http://depts.washington.edu/matseed/mse_resources/Webpage/Memory%20metals/applications_for_shape_memory_al.htm (01/10/2012).