



F-609C - Tópicos de Ensino de Física I

Relatório Final

Ligas Metálicas com Memória de Forma

Aluno: Lucas Costa Soares ra:024373
Email: navisf@gmail.com



Orientador: Adelino Aguiar Coelho – DFA - Grupo de preparação e caracterização de materiais.
Email: coelho@ifi.unicamp.br

Resumo:

Neste projeto será demonstrado o efeito de memória de forma na liga de níquel-titânio, chamada Nitinol, onde uma amostra de forma definida em temperatura ambiente se torna completamente maleável em temperaturas baixas e retorna ao seu formato original com o aumento da temperatura. Assim será ampliado o conceito de fase de um material, além do que aprendemos no ensino médio: Sólido-Líquido -Gasoso.

Introdução:

Para se entender o que significa o efeito de memória de forma primeiramente temos que saber que um sólido cristalino é aquele material cuja estrutura cristalina é definida através do arranjo periódico tridimensional de átomos e, nesta classe, estão os metais e as ligas metálicas.

Normalmente nos metais e nas ligas metálicas mudanças de fase se dão quando se aquece o material até seu ponto de fusão, forçando-os a uma mudança de estrutura molecular, mas as ligas metálicas com memória de forma ao sofrerem uma alteração de temperatura, passam por uma mudança de fase, enquanto estão no estado sólido, bem abaixo de seu ponto de fusão.

Para essa mudança de fase, em particular, dá-se o nome de transformação martensítica. Essa transformação se caracteriza principalmente por modificar a estrutura cristalina da amostra que leva à formação de uma nova fase, mais estável, através de uma reordenação atômica a distâncias curtas. Esta mudança de fase acontece em temperaturas bem definidas que dependem da composição de cada material. As duas fases recebem os nomes de Martensita e Austenita. A Martensita é a fase de baixa temperatura, de estrutura com pouca simetria, geralmente romboédrica e muito deformável, enquanto a Austenita é a fase de alta temperatura, dura e de estrutura geralmente cúbica.

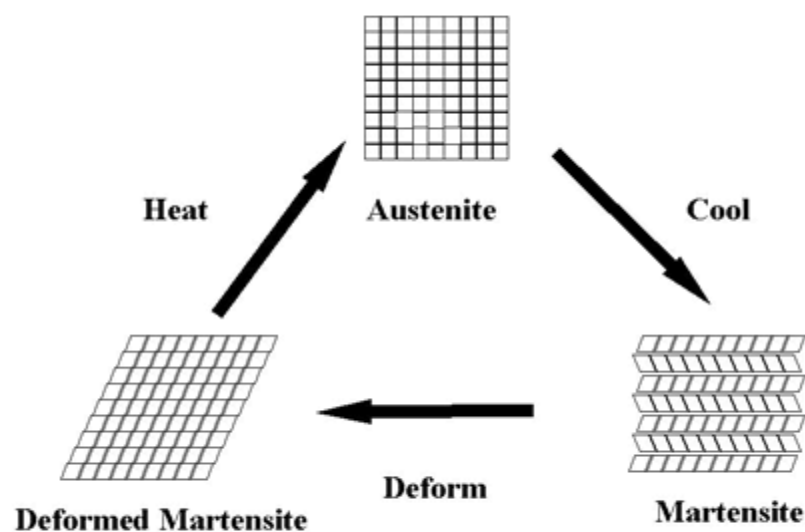


Fig.1: Mudança de fase austenita para martensita e novamente para austenita, com ênfase na rede cristalina de pouca simetria e deformável da fase martensita.

O efeito de memória de forma acontece quando esfriamos a liga até atingir sua fase martensita **(a)**. Nesta fase o material se torna extremamente maleável e é facilmente deformável. Aplicando uma força externa a amostra adquire uma nova forma **(b)**, mas ao ser aquecida a liga passa para sua fase austenita recuperando sua forma original **(c)**. Ao ser novamente resfriada ela passa novamente para sua fase martensita, modificando sua estrutura cristalina sem alterar sua forma macroscópica **(d)**. Também se dá o nome de Efeito de memória de forma de 1 caminho para este tipo de efeito.

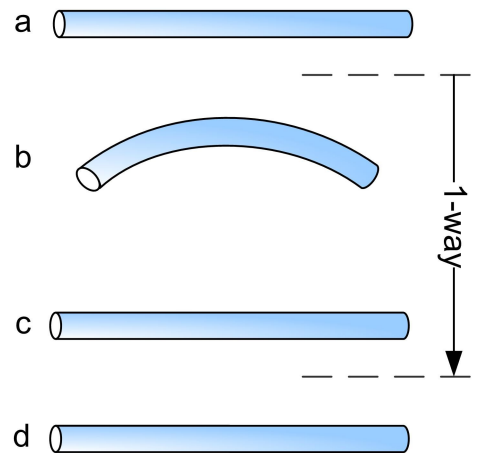


Fig.2: Efeito memória de forma.

A propriedade de memória de forma é conhecida desde a década de 30 basicamente em ligas compostas principalmente de cobre, mas foi o efeito de memória de forma na de liga de níquel-titânio, descoberta por William Buehler no Laboratório de Material Bélico Naval dos EUA, (sigla NOL em inglês, dando origem ao nome comercial da liga: Nitinol) em 1962, que permitiu o desenvolvimento destes materiais, pelo fato de serem mais fáceis de trabalhar e menos prejudiciais à saúde que as outras ligas conhecidas.

O Nitinol apresenta uma gama muito grande de aplicações:

Devido a sua grande biocompatibilidade, sua resistência mecânica e resistência a corrosão o nitinol é utilizado em várias áreas da medicina:

- Placas ósseas utilizadas para substituir ossos fraturados
- Cateteres
- Filtros para veia cava que retém coágulos
- Fios ortodônticos para utilização em aparelhos de correção dentária
- Instrumentação Médica

Também é utilizada a liga em outras áreas como:

- Aeronáutica
- Robótica
- Juntas para tubos
- Armações de óculos

Algumas outras ligas que também apresentam o efeito de memória de forma são(em porcentagem atômica):

Ag-Cd com 44/49% de Cd

Au-Cd com 46,5/50 de % Cd

Cu-Sn com 15% de Sn

Fe-Pt com 25% de Pt

Mn-Cu com 5/35% de Cu ; Entre outras...

Parte Experimental:

O trabalho realizado pode ser dividido em 2 partes:

1- Fabricação da liga:

Para fundir as amostras de níquel e de titânio, foi utilizada a técnica de fundição por arco voltaico em ambiente inerte, isto é, em uma câmara onde se coloca os metais em um cadinho de cobre refrigerado, é feito vácuo por uma bomba mecânica. Feito o vácuo, preenche-se a câmara com gás argônio e estabelece-se uma diferença de tensão (em torno de 40kV) entre um eletrodo móvel e as amostras até obtermos a passagem de corrente elétrica. Assim uma alta temperatura é atingida e obtemos a liga NiTi ou Nitinol.

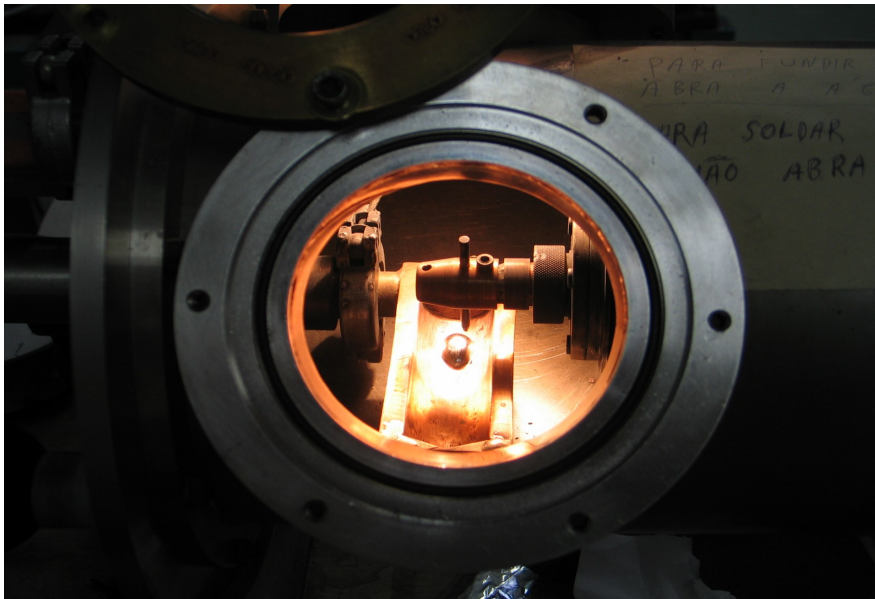


Fig.3: Câmara de fusão do Laboratório De Baixas Temperaturas.



Fig.4: Amostra sendo fundida dentro da câmara.

Foram realizadas três tentativas de produção da liga. A primeira e a segunda

tentativa foram feitas na câmara do Laboratório de Baixas Temperaturas. Foram produzidos nestes casos dois lingotes de 5 gramas, de porcentagem atômica 50-50%. No primeiro lingote foi tentada uma laminação a temperatura ambiente, mas a amostra se mostrou muito dura e acabou se fragmentando em pedaços. O segundo lingote saiu da câmara com uma camada superficial bastante oxidada e por isso foi descartado, pois a contaminação com oxigênio destrói a propriedade de memória de forma.



Fig.5: Amostras 1 e 2 produzidas.

O terceiro lingote foi produzido da mesma maneira dos anteriores, mas em um forno da Faculdade Engenharia Mecânica. Neste caso produzimos um lingote de 30 gramas de NiTi, de porcentagem atômica 50-50%. Antes de trabalharmos na peça produzida fizemos alguns testes na amostra para confirmar que realmente produzimos Nitinol.

Primeiramente cortamos 2 pequenos pedaços da amostra utilizando uma serra de diamante. Um dos pedaços foi lixado e polido nas máquinas do Laboratório de Baixas Temperaturas(LBT) para ser feita uma metalografia e determinar se a amostra é monofásica. O outro pedaço foi lixado até ter o formato de uma pequena lâmina onde foi feita uma difração de raios-x para determinação das fases da amostra.

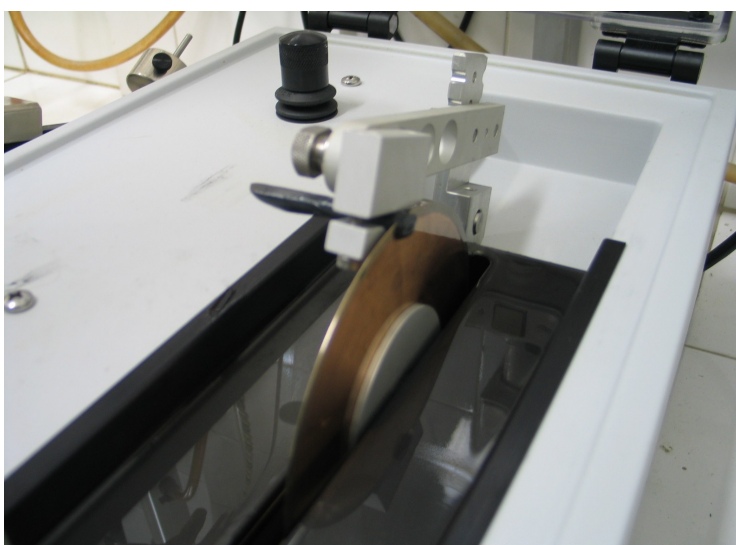


Fig.6: Amostra 3 sendo cortada para análise de metalografia e difração de raios-x.

A metalografia, realizada também no LBT, inicialmente mostrou uma amostra bem uniforme, portanto monofásica, mas após um ataque químico em sua superfície, foi

observada claramente a presença de duas ou mais fases.



Fig.7 : Metalografia da amostra 3 antes do ataque químico, onde vemos uma grande uniformidade e assim, apenas uma fase .

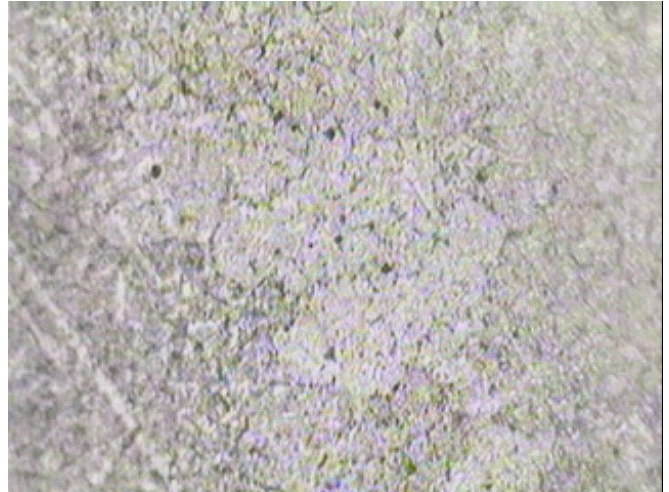


Fig.8: Metalografia após ataque químico onde se observa grãos que mostram, aparentemente, duas fases distintas na amostra.

A difração de raios-x, foi realizada no Laboratório de Difração de raios-x do Prof. Lisandro Pavie Cardoso com a ajuda do Pesquisador Colaborador Adenilson.

O resultado, observado no gráfico abaixo, concordou com a metalografia, pois vemos logo abaixo do espectro de difração linhas azuis que mostram onde estão os picos do NiTi concordando bem com o espectro, sendo o deslocamento entre eles apenas diferenças no parâmetro de rede das amostras, mas vemos também que os picos são largos e que outros picos pouco intensos não correspondentes as linhas do Nitinol aparecem no espectro. A partir disso podemos inferir que a amostra tem outras fases. Através de uma pesquisa na base bibliográfica do programa **X'Pert Phillips** não foi possível identificar a fase extra, mas tivemos evidências de ser níquel não fundido entre a amostra.

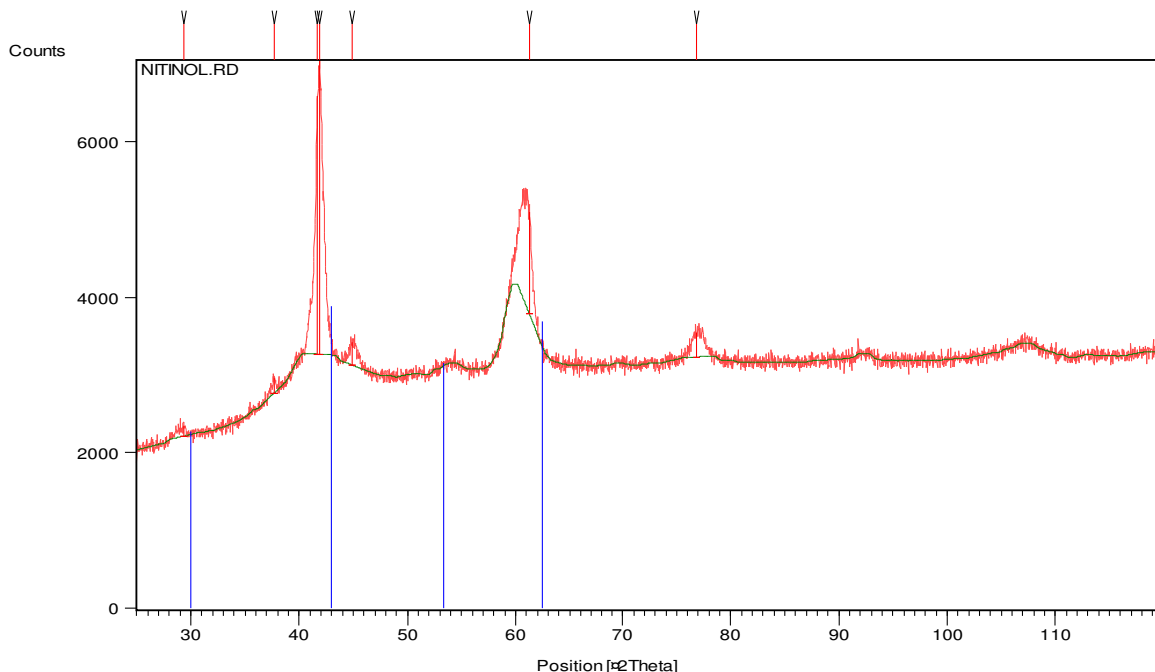


Fig.9: Espectro de difração da amostra 3, com linhas de intensidade do NiTi em azul. Consultando o diagrama de fases dos compostos binários de níquel-titânio

observa-se que a o composto NiTi funde de maneira congruente na temperatura de 1310°C.

Foi feito então um tratamento térmico na amostra 3 a 1300°C, por 4 dias, para uma tentativa de eliminar fases que não nos interessam. Após o tratamento uma nova difração de raios-x foi feita. Este tratamento térmico foi realizado nos fornos de alta temperatura do DFA.



Fig.10: Forno de alta temperatura do DFA a 1300°C.

Contrariando as expectativas observa-se que os picos do espectro ficaram ainda menos parecidos com os picos indicados pelas linhas azuis, correspondentes ao NiTi. Foi possível identificar a fase Ti_2Ni formada na amostra, com seus picos correspondendo as linhas pretas, mostrando que o tratamento térmico piorou a qualidade da amostra.

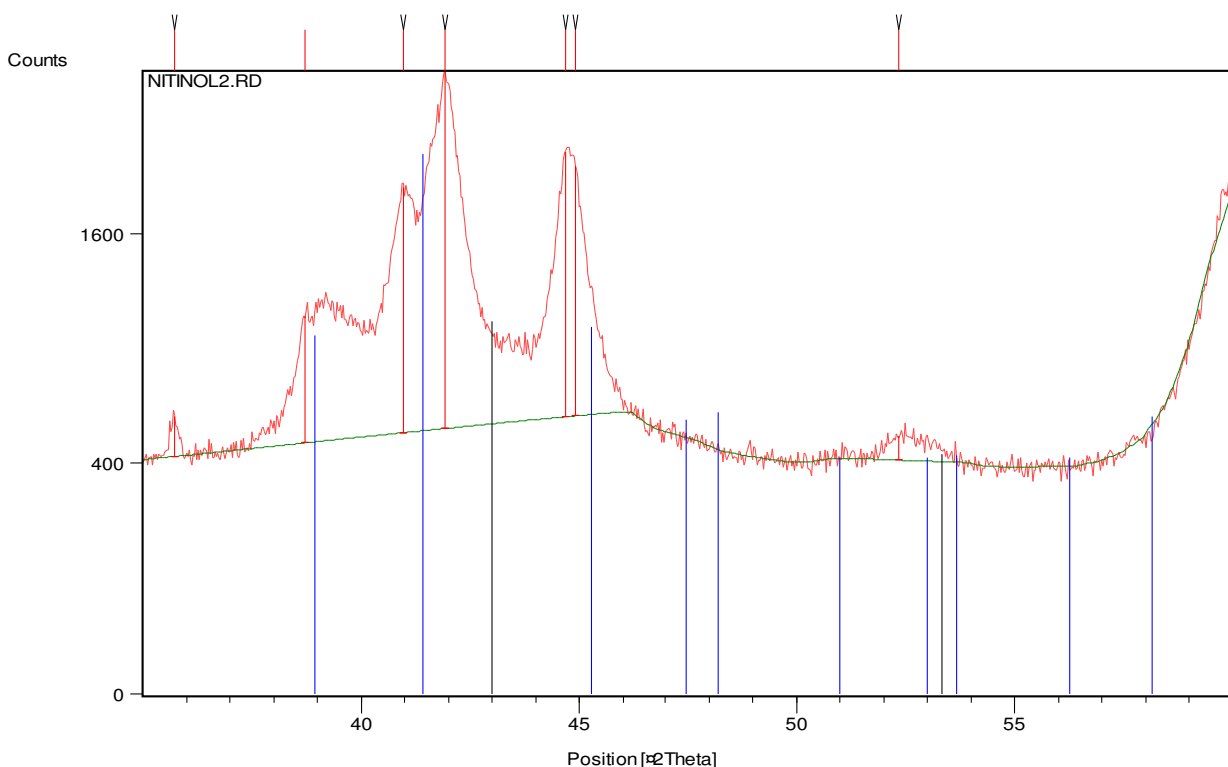


Fig.11:Espectro de difração da amostra 3 após o tratamento térmico.

Assim não foi possível a fabricação do Nitinol, de onde iríamos obter lâminas para a demonstração do efeito de memória de forma, como proposto no projeto inicial.

Como sugestão para tentativas de futuros projetos de fabricação do Nitinol, aconselho utilizar o forno a arco voltaico para fundir o níquel e o titânio, pois este oferece uma baixa contaminação de oxigênio e de carbono na liga, e a proporção de peso de 55% de níquel. Com o lingote produzido é necessário trabalhar a quente a amostra alternando com o processo de recozimento, isto é, deve-se aquecer a amostra a pelo menos 800°C para fazer a laminação e a esse procedimento alternar com o aquecimento da amostra a também 800°C deixando-a resfriar lentamente. Isto é necessário para a eliminação da fase Ti_2Ni e assim a homogenização da amostra. Informações mais detalhadas pode ser encontrada em [1].

Este procedimento não foi tentado neste projeto pelo fato de ser difícil a realização do trabalho de laminação a quente, exigindo muito tempo e maquinário específico disponível, o que não dispúnhamos no momento.

2- Moldes atrativos para apresentação do projeto, feitos com fios de Nitinol comprados:

Foram adquiridos fios de Nitinol, gentilmente, fornecidos pra empresa Dental Morelli Ltda, de características:

- 55,94% de níquel em proporção de peso
- diâmetro: 0,5 mm
- comprimento: 2,5 metros
- temperatura de mudança austenita para martensita: $-17^{\circ}C$

Os moldes foram feitos em latão, a partir do projeto feito no programa AutoCAD, com a ajuda do funcionário Orival, da Oficina Mecânica do Instituto de Física. Figuras como molas, bonecos e cliques de papel, puderam ser moldadas para demonstrar o efeito de memória de forma de maneira mais atrativa e educativa ao público da apresentação.

O fio de Nitinol foi preso ao molde, e para ele adquirir o formato do molde foi necessário aquecê-lo a $550^{\circ}C$ por 5 minutos e resfriá-lo rapidamente em água. Isto foi realizado utilizando os fornos de alta temperatura do DFA.

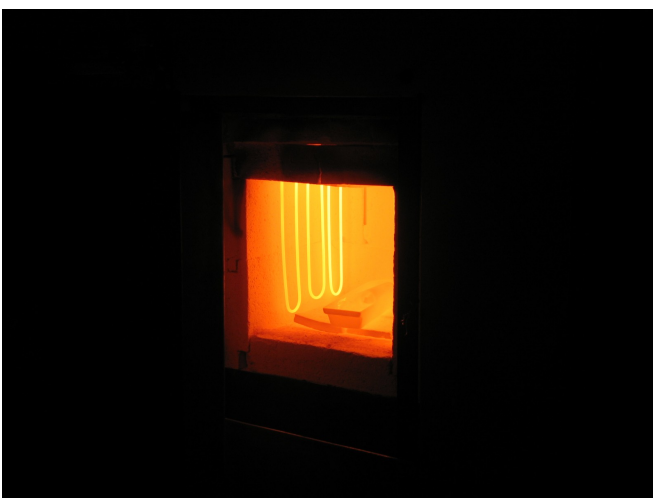


Fig.12 : Amostra dentro do forno do DFA a $550^{\circ}C$



Fig.13 :Fio de Nitinol utilizado nos moldes



Fig.14: Arco de nitinol.



Fig.15: Molde de mola e fio moldado.



Fig.16: Molde de cliques e fio moldado.

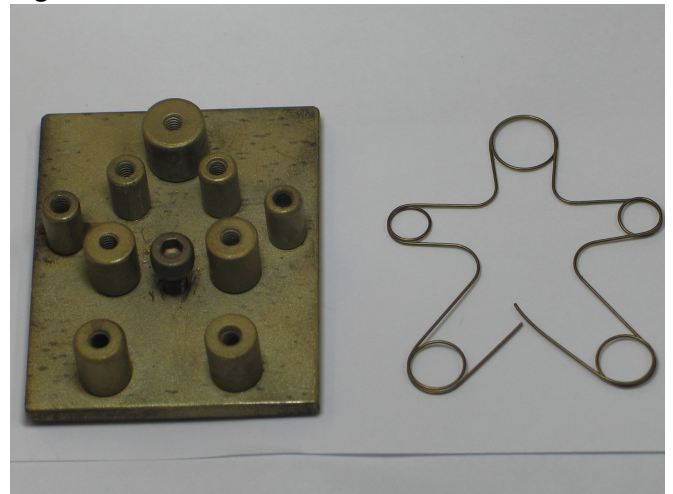


Fig.17: Molde de boneco e fio moldado.

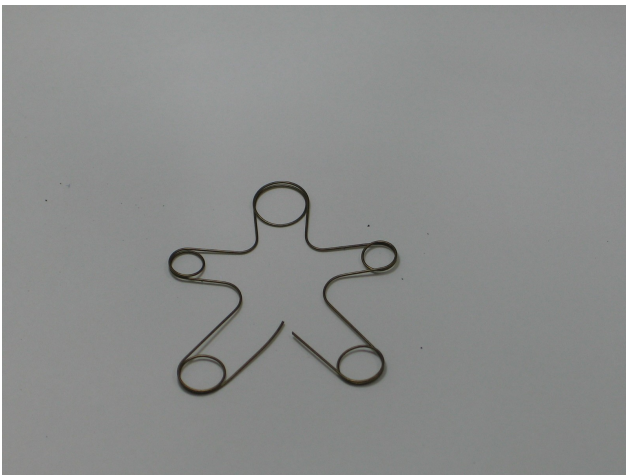
Vídeos:

Videos sobre o experimento poderão ser vistos no site Youtube, podendo ser acessados a partir de meu canal no site: <http://www.youtube.com/user/navisf>

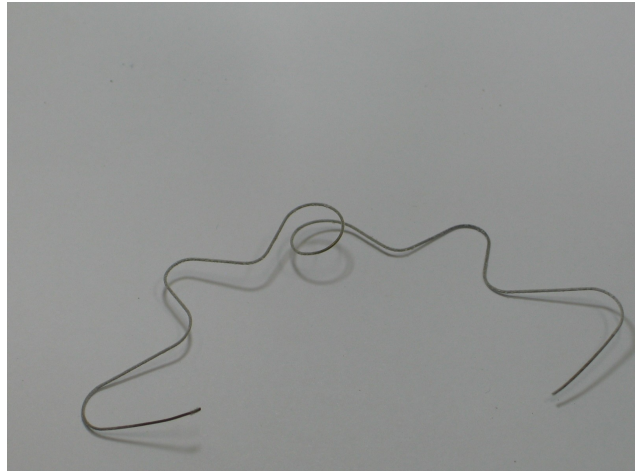
Descrição do experimento:

Colocamos o fio de Nitinol, em um de seus formatos, em nitrogênio líquido por alguns segundos, para assim deixarmos a liga em sua fase martensita. Retira-se o fio do N_2 e com as mãos o deformamos. Com o fio deformado espera-se o mesmo retornar à temperatura ambiente, mudando para a fase austenita, e conseqüentemente, recuperando sua forma original.

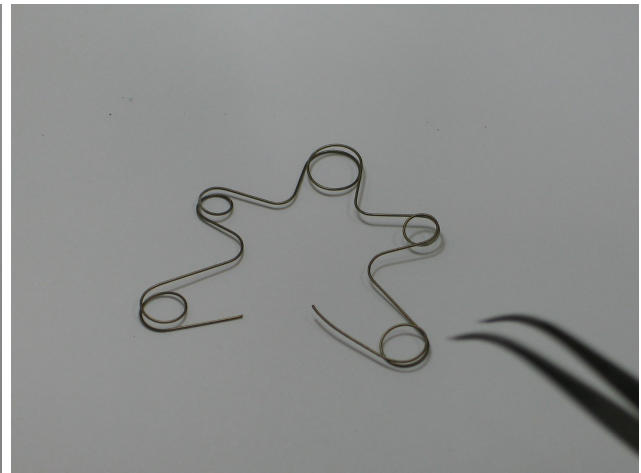
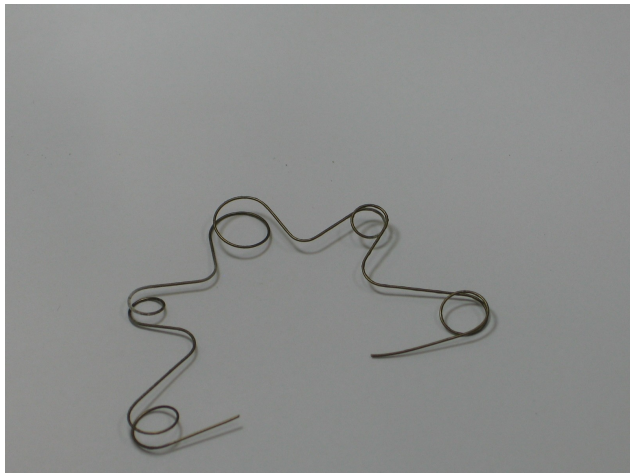
Seqüência de fotos do experimento do efeito de memória de forma:



Início: fio em sua forma original



Após colocarmos o fio em N_2 deformamos, o mesmo, com as mãos.



A medida que o fio retorna à temperatura ambiente ele volta à sua forma original.



Conclusão:

Neste projeto tive a oportunidade de trabalhar com um material de alta tecnologia que é aplicado em várias áreas da ciência e inédito para muitas pessoas.

As ligas com memória de forma ainda são pouco estudadas e difundidas entre as faculdades brasileiras, e o Nitinol ainda menos, pelo fato de ser caro e de difícil fabricação. A forma mais comum de se encontrar, no Brasil, Nitinol é na forma de pequenos fios para aparelhos ortodônticos de correção dentária.

Os moldes feitos com o fio mostram o efeito memória de forma de maneira bem explícita e impressionante, e como o experimento é bastante simples de se realizar, ocupando pouco espaço, ele pode ser facilmente feito em futuras apresentações em escolas ou eventos em geral.

Gostei muito da realização deste trabalho, pois tive a oportunidade de aprender muitas técnicas, utilizando muitos recursos do Instituto de Física e conhecer muitas pessoas ligadas ao Instituto. Infelizmente não foi possível a fabricação da liga, sendo este um bom tema para projetos de Iniciação Científica ou até de Mestrado, pois em minha pesquisa na internet não encontrei nenhum grupo brasileiro que pesquisa ou fabrica Nitinol por este método, apesar de ser bastante difundido no exterior sendo publicado muitos papers na área.

Agradecimentos:

Agradeço a todos os funcionários e pesquisadores do Instituto que me ajudaram e ensinaram muitas coisas para a realização do projeto, e ao meu orientador Adelino Coelho pela atenção e apoio dado em todas as partes do projeto e pelo esforço realizado para a conclusão do mesmo.

Meu orientador, **Adelino de Aguiar Coelho** concorda com o expressado neste relatório final e deu a seguinte opinião:

O aluno Lucas demonstrou grande interesse pelo trabalho, se empenhando muito na preparação da liga e na análise das amostras por metalografia e difração de raios-X, apesar da fase TiNi fundir de maneira congruente, a sua formação é mais complicada do que o esperado, necessitaríamos de um prazo maior para desenvolver a técnica de produção de amostras monofásicas.

O Lucas idealizou as formas que daria ao fio de Nitinol, fez os tratamentos térmicos e obteve os fios com a geometria desejada. Fez também um estudo da literatura para entender a transformação de fase martensítica envolvida no efeito de memória de forma.

Ele está de parabéns pelo trabalho desenvolvido.

Referências:

[1] Nasa report: 55-NITINOL- THE ALLOY WITH A MEMORY:ITS PHYSICAL METALLURGY,PROPERTIES, AND APPLICATIONS; C.M. Jackson, H.J. Wagner, and R.J. Wasilewski, pode ser encontrado em:

<http://ntrs.nasa.gov/search.jsp?R=672120&id=2&qs=Ntt%3Dnitinol%257C55%252Bnitinol%26Ntk%3Dall%7Call%26Ntx%3Dmode%2520matchall%7Cmode%2520matchall%26N%3D123%26Ns%3DHarvestDate%257c1>

(relatório muito completo e aprofundado sobre o Nitinol, sobre todas as suas propriedades e maneiras de produção)

[2] NITINOL MELTING AND FABRICATION; Russell, S.M.

[3] Fabrication of Nitinol Materials and Components; Ming H. Wu, Proceedings of the International Conference on Shape Memory and Superelastic Technologies, Kunming, China, P.285-292 (2001)

(estas duas referências são muito importantes pois falam sobre os métodos de fabricação da liga)

[4] MATERIAIS INTELIGENTES (SMART MATERIALS); Atualpa Albert Carmo Braga e Silvio Luis Toledo de Lima, Revista Científica do IMAPES, ANO 1, N. 1, ABRIL DE 2003

[5] Seminário: Metais com memória de forma, Rui F. Silva, Departamento de Engenharia Cerâmica e do Vidro, Universidade de Aveiro , Portugal

[6] <http://br.youtube.com/watch?v=rZpZhSdgdSI&feature=related>

(vídeo-aula de um professor Universidade de Berkeley onde se explica tudo sobre as propriedades do nitinol de maneira bem instrutiva)

[7] http://en.wikipedia.org/wiki/Shape_memory_alloy

[8] <http://en.wikipedia.org/wiki/Nitinol>

Apêndice:

Diagrama de fases do níquel-titânio:

