

## FRESAMENTO DE ROSCAS DE NIQUEL-TITÂNIO PARA FABRICAÇÃO DE CORPOS DE PROVA DE TRAÇÃO

**Lucy Vidinha Martins, lucyvidinha@poli.ufrj.br**

Universidade Federal do Rio de Janeiro, Centro de Tecnologia (CT), CEFCON, Cidade Universitária, RJ

**Francisco Fernando Roberto Pereira, franciscofernando1989@hotmail.com**

Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia (CCT), Unidade Acadêmica de Engenharia Mecânica (UAEM), Av. Aprígio Veloso, 882 - Bairro Universitário, PB

**Carlos Jose de Araujo, carlos.araujo@ufcg.edu.br**

Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia (CCT), Unidade Acadêmica de Engenharia Mecânica (UAEM), Av. Aprígio Veloso, 882 - Bairro Universitário, PB

**Anna Carla Monteiro de Araujo, anna@mecanica.ufrj.br**

Universidade Federal do Rio de Janeiro, Centro de Tecnologia (CT), Bloco G - Sala 204. Gabinete 14, Cidade Universitária, RJ

**RESUMO:** A liga de Níquel-Titânio (NiTi) possui a propriedade de memória de forma, que é a habilidade de retornar à sua forma (não deformada) após uma deformação aparentemente plástica por meio do aquecimento. Assim, um parafuso com tal propriedade funcionaria como um absorvedor de cargas variáveis, sofrendo grandes deformações que são recuperadas, ao contrário do parafuso convencional que gera uma união de elevada rigidez. Para uma colaboração de uma tese de mestrado da UFCG, que propõe a fabricação de parafusos a partir desse material ativo, foram realizadas usinagens de 13 corpos de prova de NiTi, feitas através do fresamento de roscas por comando numérico; estudando: duas diferentes seqüências de programação, adaptações de centralização e fixação e as respectivas análises dos perfis obtidos. O processo de fabricação obteve êxito e o perfil das roscas produzidas obteve a conformidade exigida para os testes mecânicos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Liga de memória de forma, Fresamento de Rosca, Ensaio de Tração

**ABSTRACT:** *The Nickel-Titanium (NiTi) alloy has the shape memory (SM) property which is the ability to return to its original shape (not deformed) after an apparently plastic deformation by heating. So a screw with this property works as an absorber of variable loads, suffering high deformation levels that are recovered as a comparison with conventional screws, which generates a union of high rigidity. For a collaboration of a master's thesis from the Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) which proposes to manufacture screws from that active material, machining operations were performed into 13 samples of NiTi made through the thread milling numerical control; studying: two different programming sequences, adjustments and fixing centering and their analysis of the obtained profiles. The manufacturing process was successfully completed and the profiles of the produced threads were obtained with the required compliance for the mechanical test.*

**KEYWORDS:** *Shape Memory Alloy, Thread Milling, Tensile Test*

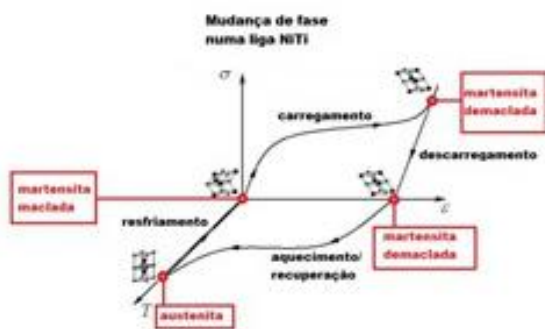
### INTRODUÇÃO

Elementos de união não permanentes (no caso, parafusos de rosca helicoidal) normalmente são utilizados de forma equivocada, sendo muitas vezes submetidos a cargas variáveis e cíclicas e a torques de aperto exagerados devido à falta de utilização de ferramentas adequadas. O resultado dos equívocos cometidos é o aparecimento de deformações plásticas, tendo em vista que os parafusos são fabricados a partir de materiais metálicos comuns, com limite de deformação elástica muito limitado (~0,2%). A repetição de operações de montagem e desmontagem acarreta também um acúmulo de deformações permanentes, o que pode levar a uma ruptura prematura do parafuso (Pereira, 2014a). É proposto a fabricação de parafusos de ligas de memória de forma, que permitem uma faixa de deformação elástica em torno de 6%. Em tubulações, por exemplo, onde os elementos de união estão sujeitos à variação de

temperatura e possuem elevado comprimento, esta proposta seria bastante adequada, sabendo que tais ligas apresentam efeito de memória de forma e superelasticidade, funcionando como um absorvedor de cargas variáveis. Dentre os materiais com memória de forma foi escolhida uma liga de Níquel-Titânio (NiTi), objetivando realizar tal estudo acerca desse novo conceito de elementos de união com este material. Se mostrou necessário usinar roscas em corpos de prova para fazer análises em ensaio de tração em diferentes temperaturas, comparando os resultados com os de modelos convencionais, de materiais clássicos, averiguando o comportamento termomecânico de ambos modelos de rosca, para enfim verificar a viabilidade da fabricação de parafusos de liga NiTi. Este tem a finalidade de tratar da usinagem desses corpos de prova mencionados, que foi realizada a partir do fresamento de rosca por comando numérico.

### MATERIAL DE MEMÓRIA DE FORMA

Ligas de memória de forma são as ligas com capacidade de recuperarem sua forma original após sofrerem deformações permanentes através do aquecimento até uma determinada temperatura (Rego, 2013a). Essa seria a explicação mais simples do que é o chamado efeito de memória de forma, que acomete tal material, onde as fases predominantes são austenítica e martensítica. A fase martensítica se apresenta a baixas temperaturas, possui estrutura cristalina monoclinica dúctil e é facilmente deformável, enquanto que a fase austenítica é formada em altas temperaturas, apresenta estrutura cristalina cúbica e tem um comportamento mecânico diferenciado, em temperaturas elevadas (maiores que a temperatura final de formação da austenita) o material apresenta uma pseudoelasticidade, um processo reversível onde observa-se uma deformação grande comparada com a pequena variação de tensão, Fig.(1), e a volta do formato inicial após o descarregamento.



**Figura 1.** Mudanças de fase numa liga NiTi (Adaptado de Rego, 2013b)

### Liga Nitinol

Ligas de memória de forma NiTi tem recebido uma atenção considerável em pesquisas e são amplamente utilizadas porque combinam propriedades funcionais especiais com uma elevada resistência mecânica. Essas características ocorrem devido à transformação martensítica e sua reversão, que podem ser ativadas por cargas térmicas ou mecânicas. As ligas NiTi mostram uma boa resistência à corrosão, ao desgaste e elétrica e podem ser utilizadas muitas vezes antes do limite de fadiga funcional ou estrutural de vida de serviço. Além disso, sua biocompatibilidade permite aplicações em biomecânica, como fios ortodônticos, *stents* e componentes cirúrgicos minimamente invasivos (Mehrabi et al, 2006).

### METODOLOGIA

A usinagem foi realizada no Centro de Estudos em Fabricação e Comando Numérico (CEFCON) e com auxílio do Laboratório de Tecnologia Mecânica (LTM), ambos do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (CT-UFRJ).

#### Procedimento Experimental

Foram utilizados treze corpos de prova de NiTi para serem fresados com geometria de uma rosca M6. A velocidade de avanço utilizada foi de 40mm/min (F40) e rotação de 1275 rpm.

Foi utilizada uma fresadora CNC, que não realiza interpolação circular helicoidal, apenas circular sem movimento no eixo z. Isto impossibilitava a fabricação da geometria da rosca no fresamento. Como solução foram apresentadas duas propostas de programação. A primeira trajetória (nomeada T1) trata-se de uma aproximação por interpolação linear dos pontos de uma hélice com trajetória de apenas um passo, onde todo o corpo da ferramenta (16mm) usina todo o comprimento da rosca em apenas uma volta. A segunda trajetória (T2) também foi feita por uma interpolação linear, porém com 16 passos de 1mm, descendo durante a usinagem do comprimento do corpo de prova (CP).

O primeiro CP foi usinado seguindo T1 e foi preso diretamente na placa de três castanhas, isso gerou muita vibração levando em conta o formato do CP, pois as castanhas se fixaram somente na cabeça do parafuso. A força que a ferramenta exerceu seguindo T1 foi grande e isso deslocou o centro da peça de acordo com a posição da ferramenta, o resultado foi um perfil de rosca cônico.

Para o segundo CP já foi utilizada a T2, visto o resultado anterior, porém a fixação direta no CP foi mantida. O novo formato do programa melhorou a rosca, porém a fixação ainda manteve um grau menor de conicidade.

Para resolver o problema de fixação foi feita uma peça partida, no torno, com um furo de 6mm do tamanho do CP e um outro furo em que coubesse a cabeça da peça com uma folga, assim o aperto se daria no diâmetro da rosca, diminuindo a vibração. No terceiro CP essa peça de fixação foi utilizada e cumpriu o esperado, porém no momento de soltar o CP a folga da partição não foi o suficiente, isso acarretou na perda dos dois primeiros dentes da rosca. Então, foi feita na peça uma bipartição Fig.(2), para auxiliar a desmontagem do CP pronto.



**Figura 2.** Peça de fixação bipartida

A centralização dos CPs era feita utilizando relógio comparador, para averiguar a inclinação, e um apalpador de contato, calculando através das médias de quatro pontos medidos o ponto de centro. Com a

utilização da peça bipartida de fixação, essa centralização ficou mais complicada devido a diferenças de centro com sua movimentação. Foi definido então fazer furos de centro em todos os CPs (novamente no torno) e, utilizando uma ponteira, centralizar a máquina de acordo com o centro do furo do parafuso, Fig.(3). Isso agilizou bastante o processo e não traria diferença nas análises realizadas posteriormente.



**Figura 3.** Centralização por furo de centro

Para aumentar a precisão a placa de três castanhas foi trocada por outra da retífica.

Durante todo o fresamento foi utilizado fluido de corte. O programa usado foi testado com quatro diferentes profundidades de entrada da fresa, 0,69; 0,89; 0,99 e 1,09(mm). O primeiro CP foi feito com a profundidade de 0,69mm, o segundo com 0,89mm, o terceiro com 1,09mm, do quarto em diante foi escolhida a profundidade de 0,99mm, pois foi a que o resultado final mais se aproximou de uma rosca M6 e garantiu um aperto com a porca.

Por percepções sensoriais notou-se o desgaste da ferramenta após as usinagens, Fig.(4).



**Figura 4.** Detalhe da ferramenta e do CP preso com a peça bipartida

Após as usinagens foram feitas análises dos perfis de três das roscas no rugosímetro, a fim de comparar os perfis obtidos de acordo com as alterações na usinagem.

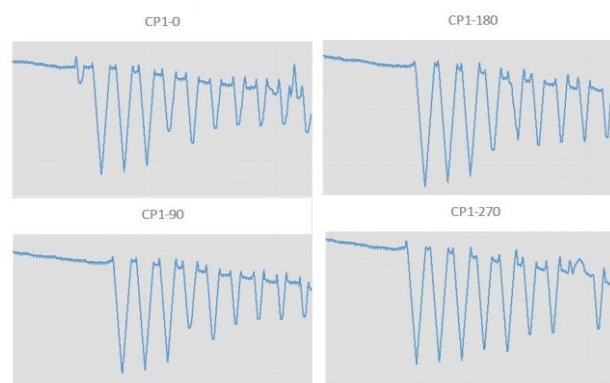
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dois primeiros corpos de prova (CPs) não atenderam à necessidade do aperto da porca, pois a mesma não passou pela rosca feita, devido a vibrações e à baixa profundidade de entrada da ferramenta imposta no programa. Os outros 11 CPs foram realizados dentro dos parâmetros passados e foram enviados para análise termomecânica em ensaios de tração na UFCG, para conclusão de projeto de dissertação (Pereira, 2014b), apresentado na Fig.(5).

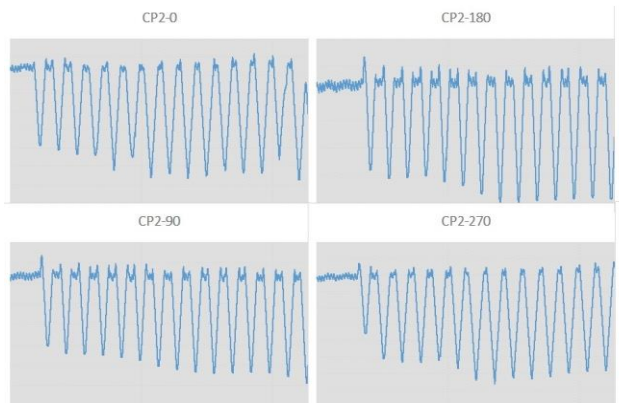


**Figura 5.** Rosca pronta

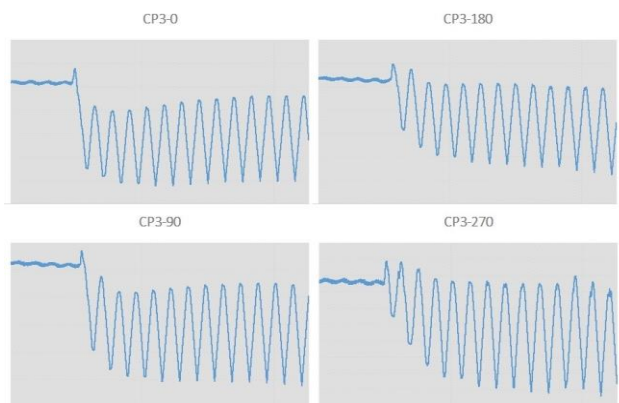
A seguir são mostrados os gráficos dos perfis de três dos CP's, cada um em quatro angulações ( $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$  e  $270^\circ$ ). O primeiro CP (CP1), Fig.(6), feito sem peça de fixação, a partir de T1, com o programa de profundidade 0,69mm. O segundo CP (CP2), Fig.(7), sem peça de fixação, a partir de T2, profundidade 0,89mm. E o último CP usinado (CP3), Fig.(8), com peça de fixação bipartida, placa da retífica, centralização por furo de centro e programa de 0,99mm.



**Figura 6.** Análise dos perfis do CP1 no rugosímetro em diferentes posições angulares



**Figura 7.** Análise dos perfis do CP2 no rugosímetro em diferentes posições angulares



**Figura 8.** Análise dos perfis do CP3 no rugosímetro em diferentes posições angulares

Observando os perfis percebemos claramente a conicidade mencionada anteriormente no CP1 devido à vibração ocasionada pela trajetória de apenas um passo somada à fixação feita apenas pela cabeça do CP. No CP2 este formato afunilado é notavelmente reduzido graças à T2, porém a profundidade da fresa não foi suficiente para usinar o suficiente para que a porca entrasse. Analisando os perfis de CP3, a vibração é menor que em CP2, pela peça de fixação.

## CONCLUSÃO

Este artigo relata o procedimento do fresamento de rosca numa liga NiTi, com suas etapas e dificuldades encontradas e análises dos perfis dos parafusos, mostrando que alterações no processo da usinagem, como trajetórias feitas pela programação, modo de fixação e centralização, geram significativas diferenças no produto final. É também uma etapa para estudo futuro nas análises termomecânicas realizadas nos ensaios de tração, comparativos aos de parafusos de materiais metálicos comumente utilizados.

## AGRADECIMENTOS

Ao Vladimir Calisto do CEFCON que preparou a máquina e usinou os corpos de prova. Ao Carlos Henrique do LTM que usinou a peça de fixação.

## REFERÊNCIAS

- Mehrabi, K., Bahmanpour, H., Shokuhfar, A. and Kneissl, A., 2006, "Influence of chemical composition and manufacturing conditions on properties of NiTi shape memory alloys", Department of Physical Metallurgy and Materials Testing, University of Leoben, Leoben, Austria and Department of Materials Science and Engineering, K.N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran.
- Pereira, F.F.R., 2014, "Análise Experimental do comportamento Termomecânico de Parafusos de Nitinol com Propriedades de Memória de Forma", Projeto de Dissertação ainda em andamento do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Centro de Ciências e Tecnologia - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.
- Rego, E.B., 2013, "Análise da microestrutura de uma liga com memória de forma submetida ao processo de sangramento radial", Projeto Final de Graduação em Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Mecânica da Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

## DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE

O(s) autor(es) é(são) o(s) único(s) responsável(veis) pelo redigido.