

FABRICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO TERMOMECÂNICA DE ARRUELAS BELLEVILLE DE LIGAS COM MEMÓRIA DE FORMA

Francisco Fernando Roberto Pereira, franciscofernando1989@hotmail.com¹

Jackson de Brito Simões, eng_jacksonsimoes@hotmail.com¹

Emerson Jerônimo, emerson.jeronimo@hotmail.com¹

Adelaide Costa de Melo, adelaide.mecanica@hotmail.com¹

Neilor Cesar dos Santos, neilor@ifpb.edu.br¹

Rômulo Pierre Batista dos Reis, soromulo@hotmail.com¹

Carlos José de Araújo, carlos@dem.ufcg.edu.br¹

¹Laboratório Multidisciplinar de Materiais e Estruturas Ativas (LaMMEA)

Unidade Acadêmica de Engenharia Mecânica (UAEM)

Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

Av. Aprígio Veloso, 882 – Bodocongó, Cep: 58109-970, Campina Grande – PB

Resumo: Atuadores de Ligas com Memória de Forma (LMF) estão recebendo um interesse especial, devido às variadas possibilidades de aplicação em diversos setores industriais (petróleo e gás natural, energia, médico-odontológico e aeronáutico). Esse interesse decorre do fato dessas LMF constituírem materiais metálicos especiais capazes de recuperar deformações plásticas de grande intensidade (da ordem de 5 % em tração uniaxial) por intermédio de um simples aquecimento. Este trabalho teve por objetivo geral fabricar atuadores do tipo arruela Belleville de LMF base Ni-Ti e avaliar seu desempenho em termos geração de força, visando sua aplicação em juntas aparafusadas inteligentes. Para isso selecionou-se uma LMF Ni-Ti de composição equiatômica e a partir dela produziu-se os atuadores através da adaptação do processo de fusão e conformação Plasma Skull Push Pull (PSPP). Uma vez aprimorada a técnica de fabricação dos atuadores de LMF, obteve-se uma arruela Belleville de Ni-Ti com a qual foram realizados ensaios preliminares de geração de força em função da temperatura utilizando uma máquina universal de ensaios. Os resultados obtidos demonstraram a geração de picos de força de até 6 kN e de forças residuais de pré-carga da ordem de 1 kN, indicativos do potencial destes materiais para o desenvolvimento de aplicações concretas, principalmente no setor de petróleo e gás.

Palavras-chave: Ligas com memória de forma, arruelas Belleville, juntas aparafusadas inteligentes.

1. INTRODUÇÃO

As Ligas com Memória de Forma (LMF) constituem um grupo seletivo de materiais metálicos que têm a capacidade de regressar a forma original após sofrer uma deformação plástica com aquecimento subsequente. De uma forma geral, a recuperação de forma destes materiais especiais está diretamente associada à aplicação de um campo de temperatura ou a simples retirada do carregamento mecânico que origina a deformação. Esses fenômenos de recuperação de forma, estando relacionado à temperatura em que o material se encontra, provoca importantes alterações em uma série de propriedades físicas e mecânicas.

Atuadores eletro-termomecânicos fabricados a partir de LMF estão recebendo um interesse especial, devido às variadas possibilidades de aplicação. Por exemplo, há uma grande tendência internacional de se desenvolver juntas aparafusadas inteligentes, constituídas de atuadores de LMF do tipo arruelas, que são teoricamente capazes de recuperar um nível de pré-carga eventualmente reduzido devido a um relaxamento de uma união aparafusada (Andersen *et al*, 1997; Andersen *et al*, 1999; Ghorashi *et al*, 2004; Hesse *et al*, 2004; Peairs *et al*, 2004; Antonios *et al*, 2006). Deste modo, atuadores de LMF do tipo arruelas Belleville possivelmente podem ser capazes recuperar um nível de pré-carga eventualmente reduzido devido a um eventual relaxamento de uma união aparafusada. Para isso esta união deve ser equipada com um sistema contendo o atuador de LMF do tipo arruela pré-deformada em compressão, um sistema de aquecimento e um sistema de monitoramento. Assim, o sistema de monitoramento seria capaz de detectar um nível crítico, pré-determinado, da força de acoplamento e acionar o sistema de aquecimento de modo a ativar a expansão do atuador por efeito memória de forma e, conseqüentemente, recuperar a força de acoplamento (pré-carga) da junta

aparafusada (Andersen *et al.*, 1997; Andersen *et al.*, 1999; Ghorashi *et al.*, 2004; Hesse *et al.*, 2004; Peairs *et al.*, 2004; Antonios *et al.*, 2006).

Uma vez desenvolvida uma técnica de fabricação de arruelas Belleville de LMF, obtém-se um importante componente para recuperação de pré-carga, que montado junto com um conjunto mecânico apropriado e aliado a um sistema de monitoramento, pode formar um sistema mecânico ativo. Esse sistema pode ser instalado em máquinas e/ou estruturas que necessitam de intensa manutenção, devido a folga de alguns componentes, causada por fatores como vibração do sistema, auto-relaxamento, etc. Dessa forma, a nova manutenção pode tornar-se mais simples e esporádica, influenciando positivamente em questões de projeto, tais como redução de custos com manutenções e simplificação da estrutura do sistema.

Portanto, tendo em vista o grande potencial aplicativo de atuadores de LMF do tipo arruela Belleville em várias áreas, o objetivo deste trabalho foi selecionar ligas de Ni-Ti com memória de forma passíveis de serem usadas na fabricação de arruelas Belleville, projetar e fabricar um molde metálico e um acessório específico para adaptação do molde em uma máquina de fusão a plasma e moldagem por injeção pelo processo *Plasma Skull Push-Pull* (PSPP) e levantar características preliminares do comportamento termomecânico das arruelas fabricadas.

2. ANÁLISE PROSPECTIVA

2.1. Arruelas Belleville

As arruelas Belleville, patenteadas na França por J. F. Belleville em 1867, são arruelas de disco cônico que possuem uma relação não-linear entre força e deflexão que as torna muito úteis em algumas aplicações. Estes elementos mecânicos são extremamente compactos e capazes de resistir a grandes esforços de compressão, com deflexões bastante limitadas.

Quando instaladas em uma superfície plana, arruelas Belleville devem ser operadas apenas quando entre 15% e 85% da deflexão de achatamento. Estas arruelas são utilizadas quando cargas altas ocorrem junto a pequenas deflexões e se requerem pequenos espaços como, por exemplo, em mecanismos de ricocheteamento de armas de fogo, onde essas arruelas exercem a função de molas, amortecendo o impacto depois do disparo. Na condição de constante de mola zero (força constante), são utilizadas para carregar embreagens e vedadores, os quais necessitam de carga uniforme em um intervalo de pequenas deflexões (Norton *et al.*, 2006).

2.2. Aplicação de arruelas de LMF como dispositivo de pré-carga para juntas flangeadas

O dispositivo de pré-carga para juntas flangeadas baseado em atuadores de LMF consiste de uma arruela deste material, inicialmente pré-deformada em compressão que, quando aquecida, tende a recuperar sua forma original gerando uma força axial de restauração e provocando uma carga nos parafusos da junta (Park *et al.*, 2003). Um esboço e protótipo dessa aplicação podem ser visualizados na Fig. (1). Desse modo, o aperto do flange pode ser realizado minimizando a introdução de tensões de cisalhamento resultantes do torque de aperto em juntas tradicionais. Essa pré-carga é obtida aquecendo-se localmente o dispositivo após a sua instalação nas juntas.

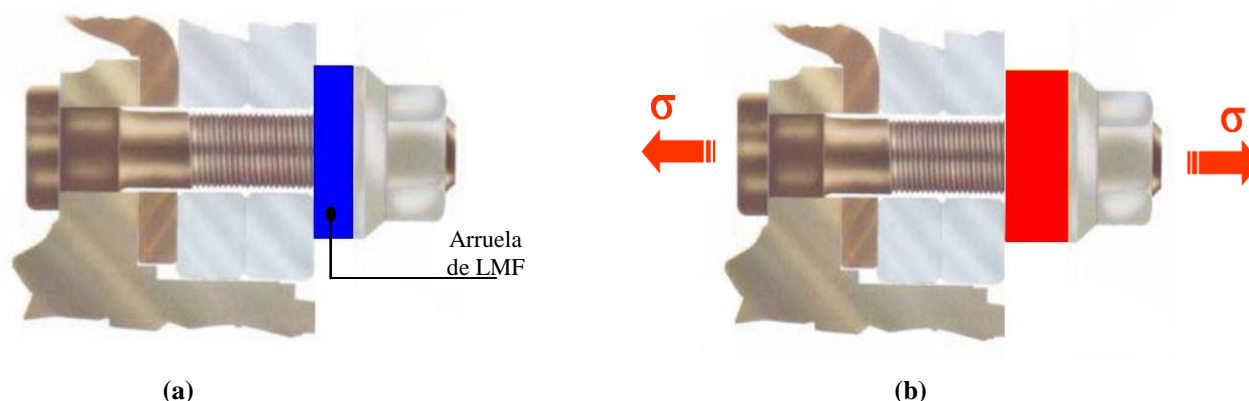


Figura 1. Flange com o arruela “lisa” com memória de forma. Em (a), efeito memória de forma não ativado. Em (b), efeito memória de forma ativado, com detalhe para tração no parafuso.

Utilizando-se arruelas Belleville de LMF, no lugar da arruela lisa ilustrada na Fig. (1), pode-se aumentar o desempenho da união flangeada já que, devido à sua forma cônica, estas arruelas possuem uma maior capacidade de resistir a grandes esforços com deflexões bastante limitadas, além de serem extremamente compactas.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Viabilidade da técnica Plasma Skull Push Pull (PSPP) para fabricação de arruelas Belleville

Com o objetivo de analisar a viabilidade técnica do conceito apresentado, decidiu-se confeccionar e testar um dispositivo de pré-carga de LMF, na forma de arruela Belleville, para estudo de caso. Assim, selecionou-se uma LMF Ni-Ti de composição equiatômica, que corresponde a composição nominal em peso de 55Ni-45Ti.

Os elementos comercialmente puros (Ni e Ti) foram fundidos em uma máquina de fusão a plasma Discovery All Metal, da EDG Equipamentos e Controles, cuja seqüência de fusão é mostrada na Fig. (2). A fusão foi realizada com os elementos empilhados, visualizados na Fig. (2a), em um cadinho de cobre e sob um eletrodo de tungstênio, através do processo *Plasma Skull Push-Pull* (PSPP) (Araújo *et al*, 2009). Nesse processo, fecha-se a porta da máquina, como mostra a Fig. (2b), e o metal é fundido sobre uma fina camada dele mesmo, em atmosfera protetora de argônio, ficando com o aspecto de “botão” da Fig. (2c). Esse “botão” é fundido quatro vezes, visando atingir uma melhor homogeneidade do produto final, ocorrendo, na quinta fusão, a injeção no molde metálico, que se encontra na parte inferior da máquina (não visualizada), levando à obtenção da forma final previamente projetada. A Fig. (2d) ilustra uma fina camada do material que fica, ao final da injeção, levemente presa ao cadinho.

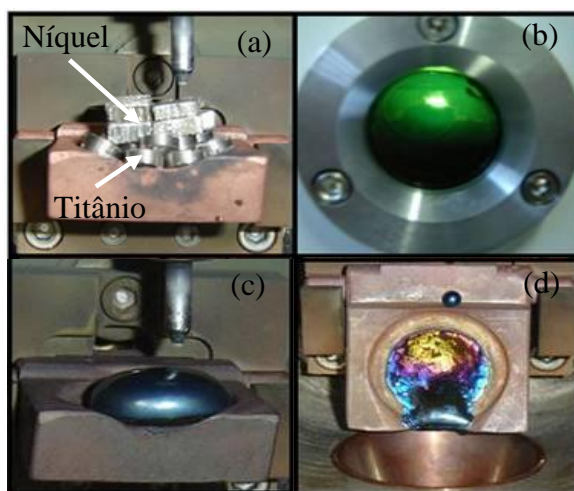


Figura 2. Seqüência de fabricação de LMF Ni-Ti pela técnica PSPP. (a) Ni e Ti puros no cadinho de cobre. (b) Tocha rotativa de plasma. (c) Botão de Ni-Ti obtido. (d) Injeção do botão de Ni-Ti fundido em molde metálico (não mostrado).

3.2. Adaptação da técnica PSPP para fabricação de arruelas Belleville

Para se obter a forma desejada de arruela Belleville foi preciso realizar adaptações ao processo de fusão e conformação PSPP mostrado na Fig. (2). Assim, uma nova coquilha de alumínio para receber um molde de aço inox para formação da arruela Belleville foi projetada usando a ferramenta CAD SolidWorks, conforme indica a Fig. (3). Conforme ilustra a Fig. (3a), a tampa da coquilha é fixada usando quatro parafusos. Para garantir uma boa vedação, em termos de vácuo na coquilha, utilizou-se também um anel de borracha do tipo “o-ring”.

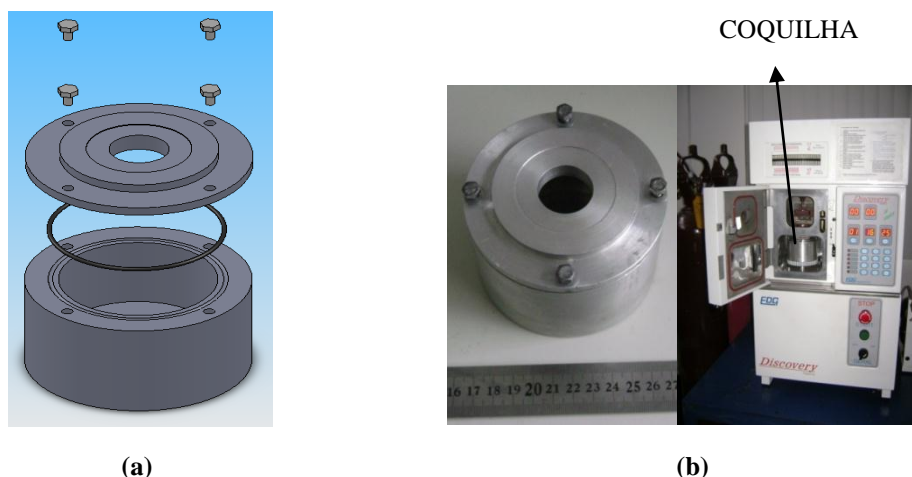


Figura 3. Em (a), vista explodida da nova coquilha de alumínio, projetada em SolidWorks. Em (b), detalhe da coquilha de alumínio e montagem na máquina de fusão a plasma.

Antes do procedimento de fusão mostrado na Fig. (2), a coquilha da Fig. (3) foi pré-aquecida a uma temperatura de 300 °C e o molde de aço inox para forma a arruela Belleville foi pré-aquecido a 550 °C. Assim, diminui-se o choque térmico entre o metal líquido e o molde, aumentando o tempo que o metal líquido permanece em contato com o molde, melhorando o acabamento do produto final.

3.3. Projeto e dimensionamento de um molde para fabricação de arruelas Belleville

A etapa do projeto do molde consistiu da busca pelas dimensões padronizadas das arruelas Belleville. Isso foi realizado com base no comportamento descrito pelo gráfico apresentado na Fig. (4a), onde se podem verificar as curvas de diversas razões h/t para as arruelas Belleville, tendo em vista a carga aplicada em função do achatamento. Sendo assim, construiu-se a Tab. (1) tendo como base os parâmetros dimensionais mostrados na Fig. (4).

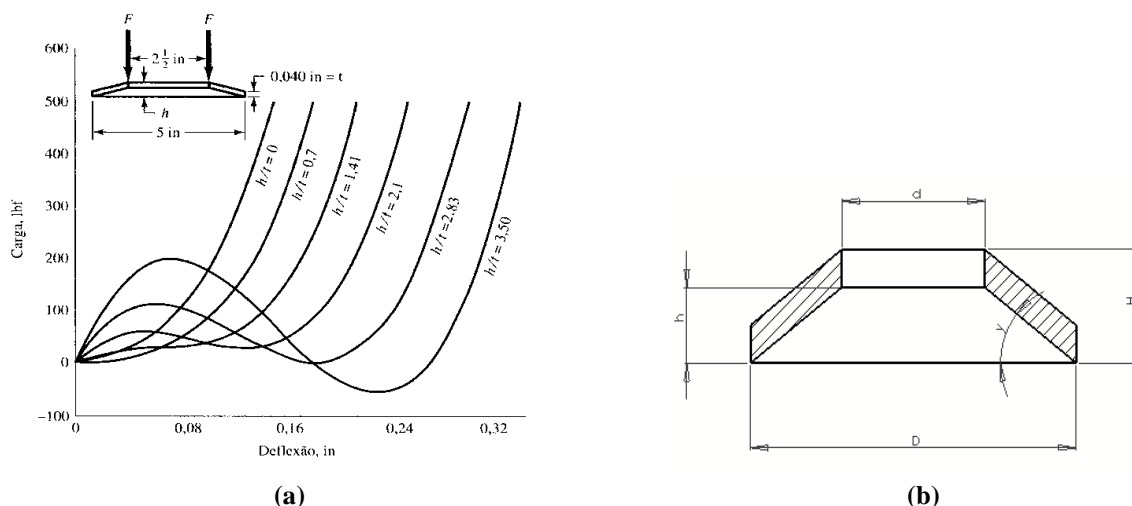


Figura 4. Em (a), características normalizadas de força-deflexão de molas Belleville para várias razões h/t . Fonte: Shigley et al.; 2006. Em (b), parâmetros dimensionais para uma arruela Belleville.

Assim sendo, escolheu-se uma razão h/t igual a 2,83, obtendo assim uma curva S que deve ser útil para mecanismos de atuação de pressão. Espera-se assim que a resposta da arruela Belleville seja bastante considerável para os experimentos de geração de força. Com base, na razão h/t especificada, nas relações entre os diâmetros da arruela e em relações trigonométricas, definiu-se as outras dimensões apresentadas na Tab. (1). Os valores iniciais de entrada foram o diâmetro maior (D) e a espessura (t).

Tabela 1. Parâmetros dimensionais para uma arruela Belleville.

Nota: medidas em milímetros e ângulos em graus.

Diâmetro maior (D)	Espessura (t)	Diâmetro menor (d)	Altura menor (h)	Altura maior (H)	Ângulo interno (γ)
25	2.5	12.5	7.1	10.8	48.5

Uma vez definidas as dimensões da arruela Belleville, foi projetado o molde em aço inox para sua fabricação, usando a ferramenta computacional CAD SolidWorks, conforme ilustra a Fig. (5). O arranjo dos quatro componentes mostrados é tal que quando ocorre o acoplamento dos mesmos origina-se uma cavidade cônica que é preenchida pela LMF Ni-Ti e forma a arruela desejada.



Figura 5. Em (a), vista explodida, em projeção dimétrica, dos componentes do novo molde. Em (b), componentes separados do molde, fabricados em aço inoxidável.

Com o molde visualizado na Fig. (5) instalado na coquilha da Fig. (3), aplicou-se o processo PSPP descrito na Fig. (2), para a composição em peso de 55Ni-45Ti e uma massa total de 34 gramas. O resultado do produto obtido é mostrado na Fig. (6).



Figura 6. Em (a), produto final inacabado da fusão. Em (b), arruela Belleville da LMF Ni-Ti cortada e acabada.

3.4. Procedimento para testes de geração de força com a arruela Belleville confeccionada

A arruela Belleville mostrada na Fig. (6), confeccionada a partir das adaptações do processo PSPP, foi testada através de ensaio de geração de força em função da temperatura. Para esse teste utilizou-se uma máquina universal de ensaios eletromecânica, marca Instron, modelo 5582, mostrada na Fig. (7).

Para a realização do teste de geração de força é necessário primeiramente deformar a arruela, em compressão, a temperaturas inferiores a 273K (0 °C). Isto é, a arruela de LMF precisa ser resfriada para temperaturas em que as mesmas se encontram em estado martensítico, e assim podem sofrer deformações plásticas termicamente reversíveis. Este procedimento é indispensável para se obter a posterior tendência de expansão da arruela através do efeito memória de forma durante o aquecimento.

Para possibilitar esses ensaios, projetou-se um conjunto de acessórios específicos para a medição da geração de força através do EMF da arruela utilizando-se a máquina Instron 5582. Nesse conjunto, apresentado na Fig. (8), a arruela é montada entre o pino de uma base de bronze e um punção de aço inoxidável. Foi previsto também um copo que serve de recipiente do nitrogênio líquido (N_2) usado no resfriamento da arruela para o estado martensítico.

Nestes ensaios o punção é pressionado por um dispositivo circular que está conectado a célula de carga da máquina de ensaios. Um microtermopar tipo K é instalado na arruela Belleville em teste para o acompanhamento de sua temperatura durante o resfriamento e o aquecimento utilizando fluxo de ar quente advindo de um soprador térmico. Esse arranjo experimental pode ser visualizado na Fig. (8b).



Figura 7. Máquina universal de ensaios Instron 5582 usada nos ensaios de geração de força da arruela Belleville de Ni-Ti.

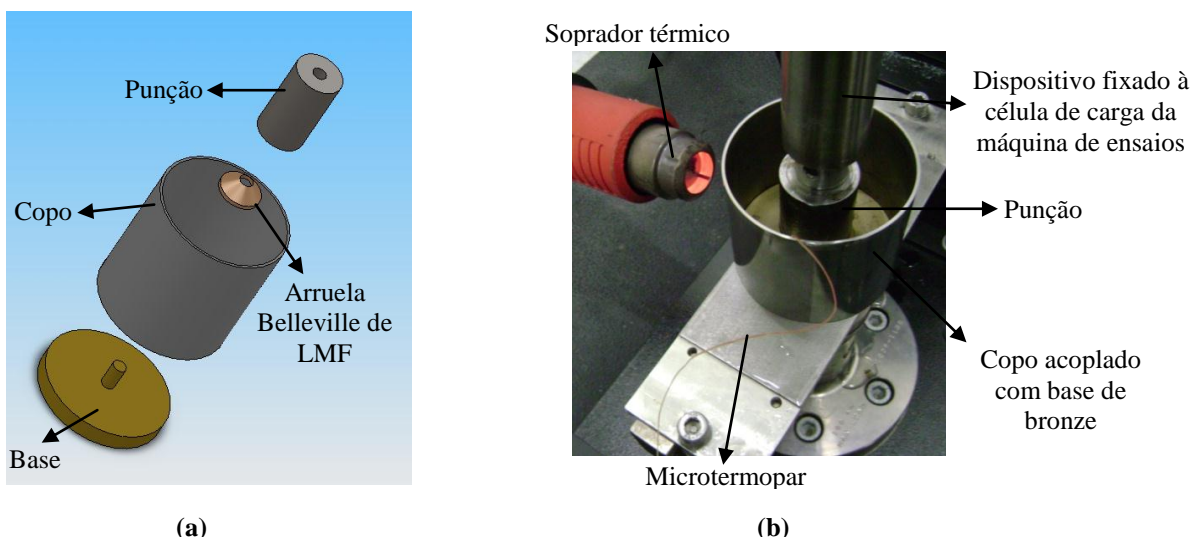


Figura 8. Em (a), vista explodida dos componentes acessórios para o ensaio de geração de força. Concepção em SolidWorks. Em (b), Detalhe de montagem para o ensaio de geração de força da arruela Belleville.

As etapas do ensaio de geração de força podem ser resumidas no desenho esquemático da Fig. (9). Como se pode verificar, no item 1 está sendo depositado N_2 líquido no copo, para que a arruela Belleville atinja temperaturas inferiores a $0^\circ C$, em que a mesma encontrará o estado martensítico. A arruela é submetida ao carregamento mecânico de compressão, e quando for atingida uma deformação de 3% (relativa à altura da arruela), no item 2, cessa-se a alimentação do copo por N_2 . Nesse momento, um soprador térmico é ativado (item 3) até a temperatura da arruela Belleville atingir aproximadamente $60^\circ C$. Nesse intervalo de temperatura a arruela Belleville começa a gerar força pela tendência de expansão por efeito memória de forma. A partir daí, no item 4, a arruela se resfria naturalmente até a temperatura ambiente (aproximadamente $25^\circ C$) e uma força residual é medida neste instante.

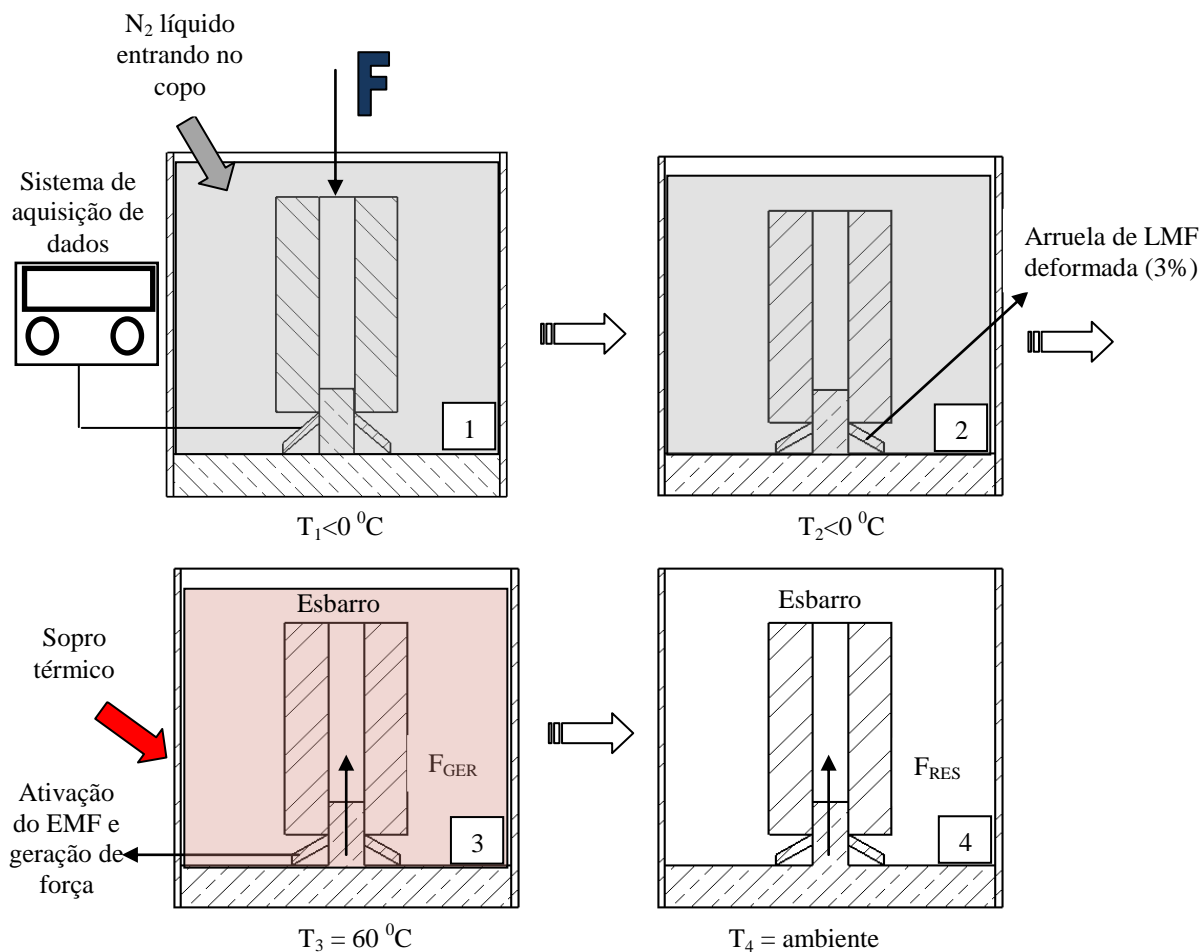


Figura 9. Diagrama esquemático do experimento para geração de força em arruelas Belleville de LMF.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O ensaio para geração de força, segundo o procedimento descrito na Fig. (9), foi realizado com a arruela Belleville da Fig. (6). O resultado geral pode ser visualizado na Fig. (10). Nesta figura observa-se que o experimento foi realizado para uma deformação de 3,2% de pico, com uma força máxima (F_{MAX}) gerada, pela tendência de EMF durante o aquecimento, de aproximadamente 6 kN. Após a relaxação “forçada”, permaneceu-se com uma deformação de 2,871% durante todo o aquecimento e retorno à temperatura ambiente, onde se constata uma força residual (F_{RES}) de aproximadamente 1kN.

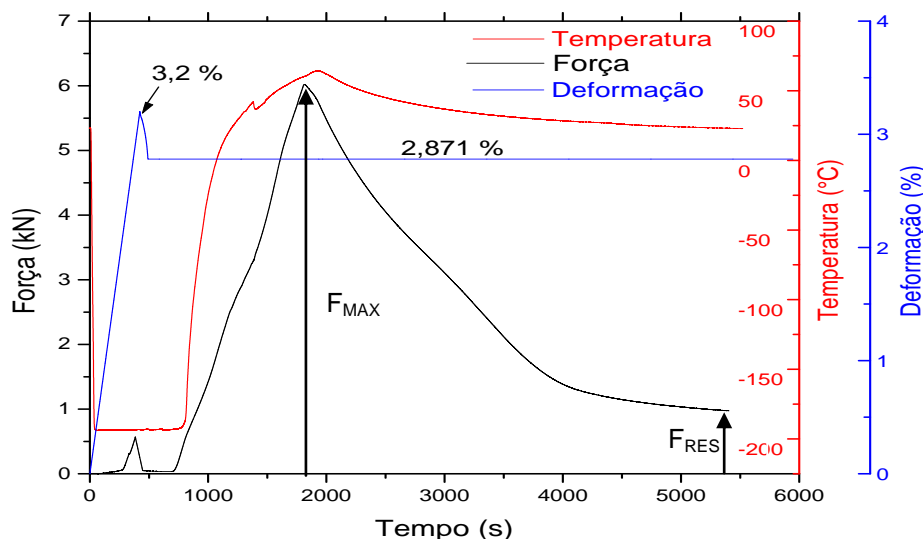


Figura 10. Gráfico de geração de força para uma arruela Belleville da LMF Ni-Ti, apresentando eixos de força, temperatura e deformação.

Na realidade, o pico de força (F_{MAX}), observado na Fig. (10), não é gerado apenas pela ativação do EMF, mas também pelas diferenças de coeficientes de dilatação térmica dos componentes da máquina de ensaio (ou membros da união). Assim, durante o resfriamento até a temperatura ambiente observa-se uma redução da força gerada até a sua estabilização. A razão desta redução é que os diferentes coeficientes de dilatação térmica dos membros da união resultam em diferentes deformações durante o resfriamento do conjunto à temperatura ambiente (Hesse *et al*, 2004).

O resultado do valor de força residual (F_{RES}) deste teste de geração de força foi comparado com aquele obtido por Silva *et al* (2008) com uma arruela lisa, que está apresentado na Fig. (11a). Observa-se nessa figura que, com o corte do aquecimento ocorre um decremento exponencial da temperatura até 297 K (24 °C), que é acompanhado pela estabilização da força residual (F_{RES}) em aproximadamente 935 N. Assim, constata-se que este resultado é bastante próximo daquele obtido neste trabalho.

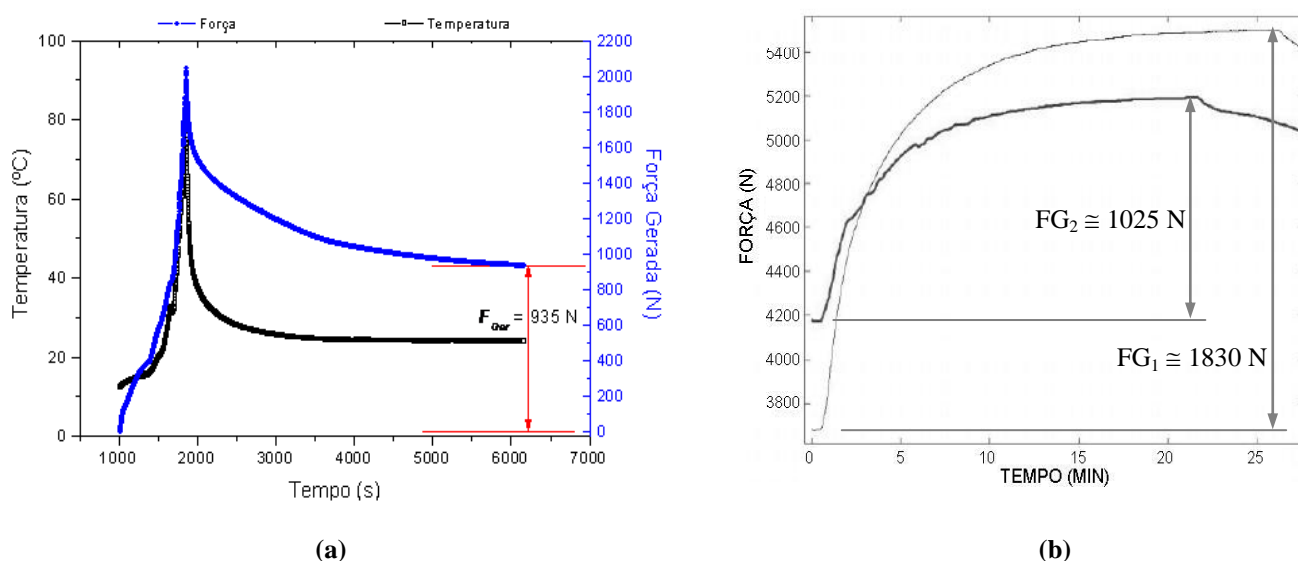


Figura 11. Em (a), geração de força através da ativação do EMF em uma arruela lisa da mesma LMF Ni-Ti. Fonte: Silva et al, 2008. Em (b), geração de força através de uma arruela de LMF para dois níveis de pré-cargas iniciais diferentes. Fonte: Hesse et al, 2004.

Comparando-se também o valor de F_{MAX} obtidos neste trabalho com aqueles obtidos por Hesse *et al* (2004), que utilizou uma LMF 55,7Ti-Ni (% peso), verifica-se que a arruela confeccionada neste trabalho gerou uma força de pico (F_{MAX}) muito superior. Os valores de forças máximas (FG_1 e FG_2) obtidos por Hesse *et al* (2004), estão apresentados na Fig. (11b). Nota-se também que, para o dispositivo (arruela) obtido neste trabalho, o EMF foi ativado na ausência de qualquer pré-carga inicial (P_i). Hesse *et al* (2004) também identificaram uma queda da força em função do tempo (Fig. 11b). No entanto, as forças FG_1 e FG_2 foram geradas a partir de pré-cargas iniciais diferentes de zero ($P_{i1} \approx 3700N$ e $P_{i2} \approx 4200N$), e as suas reduções com o tempo foram mais suaves (não foram exponenciais).

Labrecque *et al* (1996) obteve uma arruela Belleville de uma LMF Cu-Al-Ni-Mn-Ti, e este dispositivo foi capaz de gerar forças de pico da ordem de 2,0 kN. Já Antonios *et al* (2006) alcançaram forças máximas da ordem de 2135 N com uma arruela lisa de uma LMF Ni-Ti.

5. CONCLUSÕES

A liga com memória de forma do sistema Ni-Ti utilizada neste trabalho foi adequada para gerar força através da restrição do fenômeno de memória de forma. A adaptação da técnica *Plasma Skull Push Pull* (PSPP) para fabricação dos atuadores, do tipo arruela Belleville, de LMF foi realizada com sucesso, e desse modo, a sua confecção, a partir da liga equiatômica e de alguns estudos e planejamentos, foi obtida com êxito, tendo em vista uma combinação de processos de fabricação (PSPP e usinagem) para a obtenção da forma final desejada para o atuador.

A análise prospectiva do conceito aplicativo para arruelas Belleville de LMF foi realizada com sucesso, visto que a aplicação demonstrada apresentou relevante importância no que diz respeito à segurança do transporte de petróleo e gás, com potencial para a redução da probabilidade de falhas. Isto pode ser ratificado tendo-se em vista que a arruela Belleville obtida gerou uma força de pico (F_{MAX}) da ordem 6,0 kN e força residual (F_{GER}), a temperatura ambiente, da ordem de 1,0 kN. Estas forças podem ser usadas para recuperar as pré-cargas em parafusos de uniões flangeadas.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo financiamento dos projetos: INCT de Estruturas Inteligentes em Engenharia (Processo nº 574001/2008-5), Casadinho UFCG-ITA (Processo nº 620091/2008-8) e Universal 2007 (Processo nº 478651/2007-4), durante o tempo de realização das pesquisas.

7. REFERÊNCIAS

- Andersen, A., Herfjord, H. J., Martinsen, A. M., Sangesland, S., Sivertsen, Å., 1997, "Feasibility study of shape memory alloys in oil well applications". SINTEF Petroleum, IKU Report nº 32.0896.00/01/97, 107p.
- Andersen, A., Pedersen, D., Sivertsen, Å., Sangesland, S., 1999, "Detailed study of shape memory alloys in oil well applications". SINTEF Petroleum, Report nº 32.0924.00/01/99, 103p.
- Antonios, C., Inman, D. J., Smali, A., 2006, "Experimental and Theoretical Behavior of Self-healing Bolted Joints". Journal of Intelligent Material Systems and Structures, Vol. 17, pp. 499-509.
- Araújo, C. J., Gomes, A.A.C., Silva, J.A., Cavalcanti, A.J.T., Reis, R.P.B., Gonzalez, C.H., 2009, "Fabrication of shape memory alloys using the plasma skull push-pull process". Journal of Materials Processing Technology, Vol. 209, pp. 3657-3664.
- Ghorashi, M., Inman, D. J., 2004, "Shape Memory Alloy in Tension and Compression and its Application as Clamping-force Actuator in a Bolted Joint: Part 2 – Modeling". Journal of Intelligent Material Systems and Structures, Vol. 15, pp. 589-600.
- Hesse, T., Ghorashi, M., Inman, D. J., 2004, "Shape Memory Alloy in Tension and Compression and its Application as Clamping-force Actuator in a Bolted Joint: Part 1 – Experimentation". Journal of Intelligent Material Systems and Structures, Vol. 15, pp. 577-587.
- Labrecque, C., Brauinovic, M., Terriault, P., Trochu, F., Schetky, M., 1996, "Experimental and Theoretical Evaluation of the Behavior of a Shape Memory Alloy Belleville Washer under Different Operating Conditions", pp. 195-204.
- Norton, R. L., 2006, "Projetos de Máquinas: uma abordagem integrada". 2 ed. São Paulo: Bookman Companhia Editora S. A., pp.738-742.
- Peairs, D. M., Park, G., Inman, D. J., 2004, "Practical issues of activating self-repairing bolted joints". Journal Smart Materials and Structures, Vol. 13, pp. 1414-1423.
- Shigley, J. E., Mischke, C. R., Budynas, R. G., 2006, "Projeto de Engenharia Mecânica". 7 ed. São Paulo: Bookman Companhia Editora S. A., 526p.
- Silva, Marcos Mesquita da., 2006, "Fabricação de uma liga Ti-Ni-Cu com memória de forma pelo processo plasma skull push-pull: comparações com a liga Ti-Ni equiatômica", Campina Grande: Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Campina Grande. 52 p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso).

8. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.



VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA
VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING
18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil
August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil

FABRICATION AND THERMOMECHANICAL CHARACTERIZATION OF SHAPE MEMORY ALLOY BELLEVILLE WASHERS

Francisco Fernando Roberto Pereira, franciscofernando1989@hotmail.com¹

Jackson de Brito Simões, eng_jacksonsimoes@hotmail.com¹

Emerson Jerônimo, emerson.jeronimo@hotmail.com¹

Adelaide Costa de Melo, adelaide.mecanica@hotmail.com¹

Neilor Cesar dos Santos, neilor@ifpb.edu.br¹

Rômulo Pierre Batista dos Reis, soromulo@hotmail.com¹

Carlos José de Araújo, carlos@dem.ufcg.edu.br¹

¹Multidisciplinary Laboratory of Active Materials and Structures (LaMMEA)
Department of Mechanical Engineering (UAEM)
Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)
Av. Aprígio Veloso, 882 – Bodocongó, Cep: 58109-970, Campina Grande – PB

Abstract. *Shape Memory Alloys (SMA) actuators are receiving a special interest, due to various applications in various industries (oil and gas, energy, medical, dental and aerospace). This interest comes of the fact of SMAs constitute a special metallic materials capable of recovering plastic deformations of high intensity (about 5% in uniaxial tensile) using a simple heating. This work had the main objective of manufacturing Belleville washer shape memory actuators of Ni-Ti SMA and evaluates their performance, aiming applications in smart bolted joints. For this, it has been selected a Ni-Ti SMA of equiatomic composition, which corresponds a weight nominal composition of 55Ni-45Ti. From this SMA, the actuators have been produced by adapting the Plasma Skull Push Pull method (PSPP). Once improved the manufacturing technique of SMA actuators, tests of force generation as a function of temperature were accomplished using a universal testing machine. The obtained results shown maximum force generation of 6kN and a residual force around 1kN, indicating a large potential for application of these materials for development of real applications, mainly in the oil and gas Industry.*

Keywords: *Shape memory alloys, Belleville washers, smart bolted joints.*