

## Aplicação

# Estudo norteia a estampagem de peças médicas em ligas de níquel-titânio

Este trabalho apresenta um estudo da confecção de grampos de Judet – órteses metálicas para correção de tórax instável – pelo do processo de corte por cisalhamento de chapas de liga biocompatível à base de níquel e titânio (Nitinol). Inicialmente foi realizada uma caracterização do material utilizado, tendo em vista sua importância para a definição do ferramental. Na seqüência, a confecção de uma matriz de corte e o experimento da fabricação das órteses. O estudo demonstrou a eficácia e a viabilidade do processo de estampagem na fabricação dessas peças.

V. Martins, W. C. Rodrigues, A. F. Bueno, F. L. Knewit, G. de A. Mundstock e L. Schaeffer

O traumatismo torácico, nos dias atuais, assume grande importância devido à sua incidência e ao aumento da gravidade e mortalidade provocadas pelas lesões. O aumento dos traumatismos torácicos é resultante das condições da vida urbana moderna, especialmente no que se refere aos acidentes com automóveis em altas velocidades<sup>(8)</sup>.

O presente trabalho visa ao aprimoramento das órteses do tipo grampo, também conhecidas

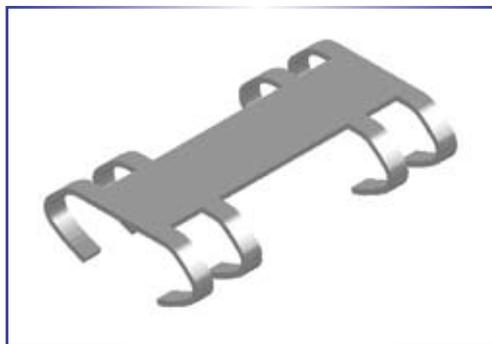


Fig. 1 – Grampo de Judet em aço inoxidável 316 L

como grampos de Judet. Estas usualmente são confeccionadas em aço ASTM 316 L (figura 1) e possuem como inconveniente o fato de que, ao serem colocadas, necessitam do auxílio de instrumentos especiais (figura 2) e de

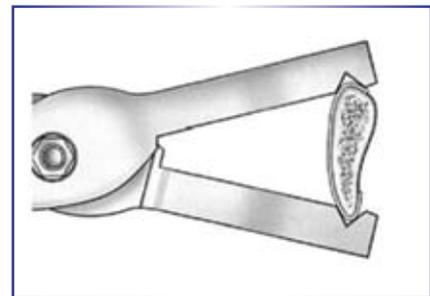


Fig. 2 – Instrumento para colocação do grampo de Judet

uma maior abertura da incisão. A utilização do instrumento é dificultada pela força que deve ser aplicada para a conformação local do grampo.

Devido às características de memória de forma apresentadas por certas ligas, idealizou-se a fabricação de uma órtese que pudesse ser posta sem o emprego de instrumento específico,

Vinicius Martins, Wilson Corrêa Rodrigues e Alex Fabiano Bueno são mestrandos do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, no Laboratório de Transformação Mecânica – LdTM (contato por e-mail: [viniciushiper@yahoo.com.br](mailto:viniciushiper@yahoo.com.br)). Fábio Luis Knewit é mestre pelo mesmo programa. Gustavo de Almeida Mundstock é engenheiro Metalúrgico pela UFRGS. Lírio Schaeffer é coordenador do LdTM. Este artigo foi apresentado na 13ª Conferência Internacional em Forjamento, realizada em Porto Alegre, RS de 14 a 16 de outubro de 2009. Reprodução autorizada pelos autores.

para redução dos inconvenientes citados anteriormente. A liga de NiTi (Nitinol) se torna interessante neste caso, pois apresenta características que condizem com as condições requeridas pelo grampo, como alta resistência mecânica, biocompatibilidade e efeito de memória de forma.

## Revisão bibliográfica

Biomateriais são materiais usados para substituir ou reparar tecidos vivos danificados. Estes são usados em contato com o sangue ou outros tecidos, por isso devem ser criteriosamente escolhidos e testados. Devem ser suficientemente resistentes aos impactos, para evitar rupturas ou fraturas durante o uso, e não devem reagir quimicamente com os componentes. Além disso, devem ter um coeficiente de absorção de água muito baixo ou nulo<sup>(10)</sup>.

A liga metálica denominada Nitinol foi introduzida no início dos anos 1960, pelo engenheiro metalúrgico William F. Buehler, do antigo Laboratório de Material Bélico Naval dos Estados Unidos (*Naval Ordnance Laboratory* – NOL). É constituída, principalmente, de



Fig. 3 – Mecanismos da memória de forma do NiTi (Fernandes, 2006)

níquel e titânio. Sendo assim, Nitinol é uma sigla criada a partir da junção dos termos *Nickel*, *Titanium* e *Naval Ordnance Laboratory*. Esta liga possui ótimas propriedades elétricas e mecânicas, alta resistência à corrosão e à fadiga – sendo estas iguais ou superiores às do aço inoxidável ABNT 316L e da liga de titânio ASTM F136 – e apresenta uma excelente biocompatibilidade<sup>(5)</sup>.

O termo memória de forma refere-se à habilidade de certos materiais de “lembrar” um determinado formato, mesmo que deformações severas lhes sejam aplicadas: o NiTi, deformado a baixas temperaturas, permanecerá com o novo formato até que seja aquecido e, com isso, retornará espontaneamente à sua forma original. Este efeito está vinculado a duas fases es-

pecificamente, a austenítica e a martensítica<sup>(3)</sup>.

O comportamento de superelasticidade tem esse nome em razão das ligas com memória de forma sofrerem uma deformação elástica muito extensa, mais de 20 vezes superior em comparação com os materiais convencionais, sendo total ou parcialmente recuperável. O efeito é baseado em uma transformação interna da estrutura cristalina, denominada de austenita, na condição inicial, e que necessita de uma força externa ao material para transformar-se em martensita<sup>(6)</sup>.

Chamamos de trauma torácico a lesão caracterizada por alteração estrutural ou desequilíbrio fisiológico decorrente de exposição aguda a várias formas de energia, tais como a energia mecânica<sup>(1)</sup>. Judet descreveu em 1972 um sistema de osteossíntese costal por grampo. Cada grampo imobiliza uma base de fratura. Diferentes modelos de grampos estão disponíveis, de várias larguras e comprimentos, com dois ou três pares de garras (figura 5) em cada extremidade. As garras são assimétricas, formando, de um lado, um ângulo agudo destinado à borda inferior da costela e do outro, um ângulo aberto, perfeitamente adaptado à morfologia costal lateral, que não permite um bom ajuste dos grampos<sup>(4)</sup>.

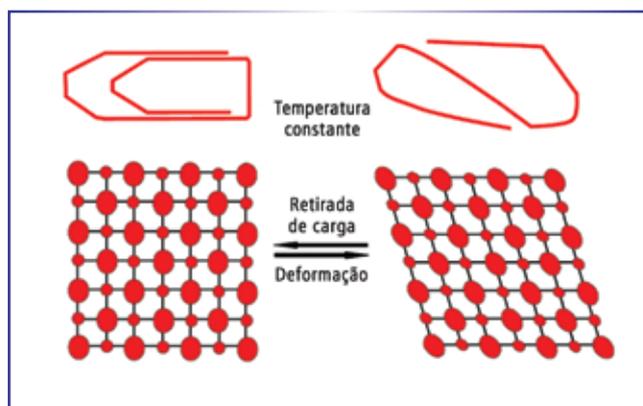


Fig. 4 – Efeito da superelasticidade do NiTi<sup>(6)</sup>

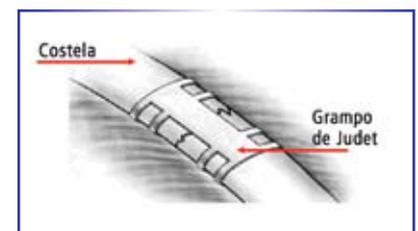


Fig. 5 – Grampo de Judet colocado em uma costela<sup>(4)</sup>

## Aplicação

O processo de corte por cisalhamento é uma das mais frequentes operações em processos de fabricação de componentes. O corte ocorre na preparação da geratriz e também nos acabamentos após o corte de chapas (retirada de rebarba)<sup>(7)</sup>.

A folga é um importante parâmetro no processo de corte, pois uma folga maior resulta em uma zona de arredondamento maior e uma folga menor resulta em uma zona cisalhada maior. A folga adequada depende da espessura do material, que varia em uma faixa de 2 a 7%, isto é, quanto maior a espessura, maior a folga. Assim como a folga depende da espessura do material, o tipo de material também terá sua influência, pois a folga será maior para materiais duros<sup>(2)</sup>.

### Procedimentos experimentais

As chapas de NiTi foram compradas da empresa Memory-Metalle

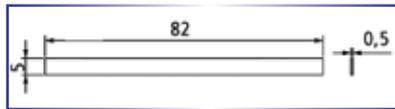


Fig. 6 – Dimensões do corpo-de-prova para ensaio de tração

GmbH (MMG), com espessura de 0,5 mm. A liga escolhida foi a do tipo S (superelástica, devido à disponibilidade comercial) em estado de fornecimento austenítico, recozido e com superfície polida. Para a caracterização da liga foram realizados ensaios de tração, metalográfico e de microdureza.

Para a realização do cálculo da força de corte é necessário conhecer alguns dados fornecidos pelo ensaio de tração, como a tensão de resistência do material ( $R_m$ ), entre outros. A geometria utilizada para o corpo-de-prova (figura 6) foi escolhida em função da quantidade de material disponível para o estudo. O ensaio foi realizado em um equipamento da marca Instron com capacidade máxima de 250 kN, com par de garras hidráulico, à velocidade

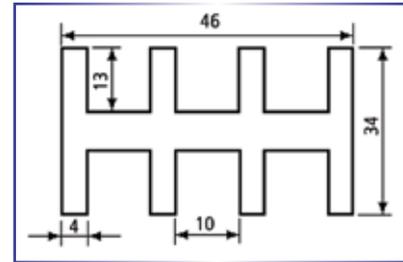


Fig. 7 – Geometria e dimensões do grampo de Judet



Fig. 8 – Matriz de corte para grampos de Judet, na qual o punção é fixo na placa superior e a matriz na placa inferior

constante de 1,5 mm/s e temperatura de 22°C.

O ensaio de microdureza Vickers foi realizado no microdurômetro Struers Duramin. Foram usados no ensaio os parâmetros de 15 segundos com carga de 200 g na

## Referência mundial para alimentação de prensas

Há mais de 50 anos a P/A é líder de projetos e construção de equipamentos para a indústria de corte e conformação de metais.

A MAIS COMPLETA LINHA COMPACTA DE ALIMENTAÇÃO, AGORA:

PRODUZIDA NO BRASIL E A ÚNICA COM CERTIFICAÇÃO



FINANCIADA PELO



DESBOBINADOR ENDIREITADOR CONJUGADO



DESBOBINADORES DE ARAME



DESBOBINADOR HORIZONTAL DE PALLETS



ALIMENTADOR ELETRÔNICO MICRO



P/A Brasil Ltda  
Tel.: 55 (11) 4617-5497  
Fax: 55 (11) 4612-6186  
campello@pa.com  
www.pa.com



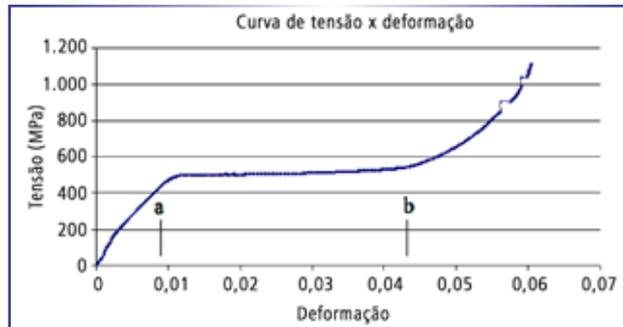


Fig. 9 – Curva tensão x deformação obtida pelo ensaio de tração em uma chapa

temperatura ambiente de 20°C. As amostras foram atacadas durante, aproximadamente, 45 segundos com solução composta de: 30 ml de ácido acético glacial, 5 ml de ácido nítrico e 2 ml de ácido fluorídrico. A análise metalográfica foi realizada em um microscópio óptico da marca Olympus.

Após a caracterização da chapa comercial de NiTi foi definida a geometria do grampo e foram realizados os cálculos de corte por ci-

salhamento e o projeto da matriz. Para a definição da forma (figura 7, pág. 38) do grampo estudado, buscou-se junto ao Hospital de Clínicas de Porto Alegre as dimensões, baseadas nas geometrias dos grampos comerciais testados.

#### Projeto da matriz de corte do grampo de Judet

Para o projeto da matriz de corte do grampo foi necessário estimar um valor de força máxima para servir

de parâmetro para a utilização da ferramenta e permitir o estudo. Este valor foi definido como a força necessária para cortar uma chapa de NiTi com espessura de 0,5 mm. O valor da tensão de ruptura ao cisalhamento –  $\tau_c$  – do NiTi pode ser calculado pela equação:

$$\tau_c = 0,8 \times R_m \quad (1)$$

Da curva de escoamento foram retirados os dados de tensão máxima de escoamento do material  $R_m$  (tensão de resistência do material), que é igual a 1.037 MPa. Substituindo na equação 1:

$$\tau_c = 829 \text{ MPa} \quad (2)$$

Um dos objetivos deste trabalho foi projetar e construir um



# LINHAS SGH E DHS | SOLUÇÕES EM TECNOLOGIA DE ALTA PRODUTIVIDADE

# SORG

#### NOVO ENDEREÇO

Sorg Indústria e Comércio de Máquinas LTDA  
Via Antônio Cruanes Filho, 4430 • Colinas de São João  
CEP: 13481-287 | Limeira/SP | Fone/fax: 55.19.3404.2737  
Site: [www.sorg.com.br](http://www.sorg.com.br) | E-mail: [info@sorg.com.br](mailto:info@sorg.com.br)

## Aplicação



Fig. 10 – Metalografia da chapa de NiTi (aumento: 50 x; ataque: 30 ml de ácido acético glacial, 5 ml de ácido nítrico e 2 ml de ácido fluorídrico)

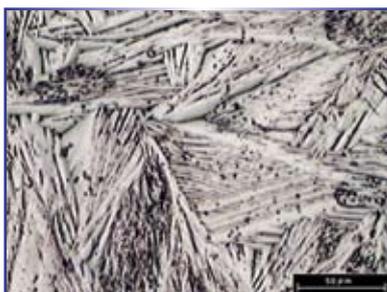


Fig. 11 – Metalografia da chapa de NiTi (aumento: 200 x; ataque: 30 ml de ácido acético glacial, 5 ml de ácido nítrico e 2 ml de ácido fluorídrico)

equipamento que permitisse o desenvolvimento de pesquisas sobre o projeto do grampo para possibilitar uma abordagem de engenharia ao processo de corte por cisalhamento para a confecção de um grampo de Judet. A solução encontrada foi projetar uma ferramenta de corte utilizando apenas componentes convencionais de ferramentas para estampagem, de forma a aproximar-se o máximo possível de uma ferramenta de produção utilizada na indústria. Para determinação da folga entre punção e matriz buscou-se informações na literatura, que indicou, para uma espessura de 0,5 mm, uma folga de 0,02 mm para uma chapa de NiTi, e tensão máxima de escoamento do material ( $R_m$ ) igual a 103,66 Kg/mm<sup>2</sup>.

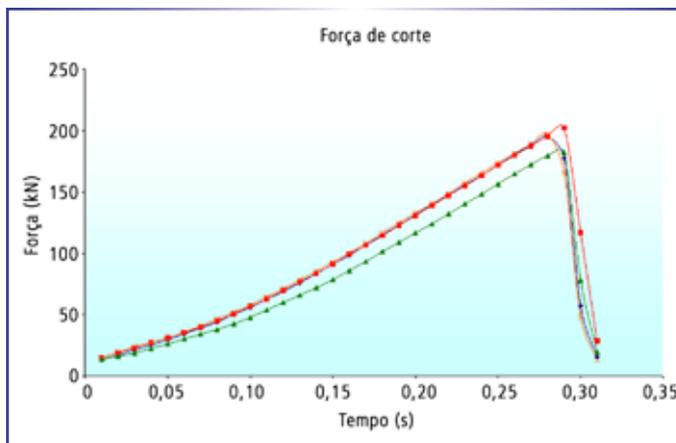


Fig. 12 – Dado experimental de força medida durante o corte por cisalhamento com uma célula de carga de 80 tf

A figura 8 (pág. 38) mostra a ferramenta construída. Devido à dificuldade de obter precisão envolvendo pinos-guia e insertos, optou-se por fazer a guia da matriz diretamente no punção para garantir precisão dimensional. O punção da ferramenta foi fabricado com aço ABNT D6 temperado e revenido com dureza final de 55 RC. A cavidade da matriz foi fabricada com aço SAE 4340 temperado e revenido com uma dureza final de 45 a 50 RC e o restante da matriz em aço SAE 1045 temperado e revenido com dureza final de 38 RC.

Após a finalização da matriz foram realizados ensaios de corte da chapa de NiTi. Para o ensaio utilizou-se uma prensa de capacidade máxima de 40 tf e a força foi medida com o uso de uma célula de carga de 80 tf de capacidade, calibrada. O sistema de aquisição de dados utilizado foi o Spider 8, da empresa HBM, com o *software* Catman Express versão 3.1, que possibilitou a aquisição de dados da curva média de força *versus* tempo.

## Discussão dos resultados

Os resultados preliminares apresentados são baseados na caracterização da chapa comercial de NiTi e do grampo obtido por corte por cisalhamento. A caracterização da chapa comercial de NiTi engloba a apresentação da curva de escoamento e a avaliação da propriedade de superelasticidade. Também são apresentadas algumas micrografias e dureza. A figura 9 (pág. 39) apresenta a curva de tensão *versus* deformação obtida até a ruptura da chapa com espessura de 0,5 mm.

A superelasticidade é caracterizada por um patamar de deformação elástica total entre 5 e 8% e está representada pelo trecho *a-b*. A curva obtida na figura 8 possui o referido patamar *a-b* bem definido. O catálogo do fabricante mostra dados de tensão de ruptura do material de 900 MPa e o ensaio de tração realizado na chapa resultou em 1.036,66 MPa.

As medições de microdureza Vickers realizadas na seção trans-

# TECNO PAMPA

INDÚSTRIA DE MÁQUINAS LTDA

## OXICORTE/PLASMA CNC

### Tecnocut 2000/2500



Fabricação Nacional

[www.tecnopampa.com.br](http://www.tecnopampa.com.br)

Sensor eletrônico de Altura para plasma e Sistema magnético Anti-Colisão.      Garantia Total de 06 meses para a máquina e 1 ano para comando e motores.

Tamanhos :  
2000x3000mm  
2500x6000mm  
2500x12000mm

Opção de venda pelo sistema Cartão BNDES em até 48X.

**Tel: (55) 3214.1752- 3226.5281**  
**tecnopampa@tecnopampa.com.br**

Eixo Secundário 1 nº 900A - Distrito Industrial - Santa Maria - RS  
97030-440 - Cx. Postal 21891

## Aplicação



Fig. 13 – Grampos de NiTi após processo de estampagem

versal da chapa de NiTi apresentaram um valor médio de 371,70 HV, com um desvio-padrão de 10,97. A amostra de NiTi estudada apresentou uma estrutura em forma de agulhas, o que indicaria uma estrutura de fase martensítica (figuras 10 e 11). No entanto, a informação do fabricante é de que a chapa de NiTi encontra-se na fase austenítica na temperatura ambiente. Estima-se que a presença de martensita no material pode ter sido causada pelo lixamento das amostras no processo de metalografia.

O processo de corte engloba todo o projeto do grampo de Judet, desde a definição do grampo até o resultado final, que é a obtenção do grampo por corte de chapas por cisalhamento. Os dados calculados estão próximos aos dados obtidos durante o processo de corte, pois a força calculada é de 131,03 kN contra os 194,40 kN obtidos experimentalmente. Os grampos cortados na figura 13 não apresentaram fraturas frágeis, mantendo a sanidade do material.

No projeto da matriz, a folga comprovou ser adequada, pois o grampo cortado não apresentou um contorno defeituoso nem rebarbas, além de pouca deformação. A dureza do material mostrou ser adequada para o processo, não havendo trincas ou ruptura do material da matriz.

## Conclusões

A caracterização do material demonstrou sua importância para o projeto do ferramental e a definição dos equipamentos. Os ensaios preliminares de corte da chapa comprovaram a eficiência para a validação dos cálculos anteriormente realizados, com vistas à confecção de um ferramental específico e à geometria dos grampos.

# ALIMENTADORES PARA PRENSAS




MONITORES PARA PROTEÇÃO DE FERRAMENTAS

ALIMENTADORES PNEUMÁTICOS E ELETRÔNICOS

ENDIREITADORES

DESBOBINADORES



# STAMPCO

[www.stampco.com.br](http://www.stampco.com.br)  
vendas@stampco.com.br  
Tel.: (11) 5507-3636 / 5507 - 4030

As características mecânicas e metalúrgicas mantiveram-se constantes por tratar-se de um processo mecânico. O método de cálculo para a força de corte demonstrou ser confiável, comparando-se aos experimentos realizados. O processo de corte por cisalhamento para confecção de órteses de NiTi do tipo grampo para tórax instável demonstrou eficácia e viabilidade.

## Agradecimentos

Os autores agradecem ao LdTM (Laboratório de Transformação Mecânica) e à Escola de Engenharia da UFRGS, pelo uso dos laboratórios e da infra-estrutura da universidade. Os autores agradecem também ao Capes (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) de Porto Alegre (RS), pelo apoio financeiro e o investimento na área de pesquisa.

## Referências

- 1) ABATEPIETRO, C. *Tratamento Pneumo-Funcional No Tórax Flácido Agudo Em Pacientes Internados Em Unidade De Terapia Intensiva*. São Paulo: Instituto Brasileiro de Terapia Intensiva e Hospital Santa Cruz, 2006.
- 2) BRITO, O. *Estampos de Corte*. São Paulo: Hemus, 1989.
- 3) DUEG, T. W.; MELTON, K. N.; STÖCKEL, D.; WAYMAN, C. M. *Engineering Aspects of Shape Memory Alloys*. London: Butterworth-Heinemann, 1990.
- 4) MARCHEIX, B.; BROUCHET, L.; RENAUD, C.; BERJAUD, J.; DAHAN, M. *Technique de l'ostéosynthèse costale – Surgical treatment of chest osteosynthesis*. Centre Hospitalier Universitaire Larrey. França, 2005.
- 5) MICHELON, M. D. *Estudo para obtenção de Fios de NiTi através de metalurgia do pó*. Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2006.
- 6) MMG. Superelasticidade. Disponível em: <[http://www.memory-metalle.de/html/03\\_knowhow/PDF/MM\\_05\\_introduction\\_e.pdf](http://www.memory-metalle.de/html/03_knowhow/PDF/MM_05_introduction_e.pdf)>. Acesso em: 3 Mai. 2008.
- 7) SCHAEFFER, L. *Conformação de Chapas Metálicas*. Porto Alegre: Imprensa Livre, 2004.
- 8) SIATE/CBPR. Manual do Atendimento Pré-Hospitalar, capítulo 15. Disponível em: <[http://manualaphcbpr.sites.uol.com.br/Cap-15\\_Trauma\\_Torax.pdf](http://manualaphcbpr.sites.uol.com.br/Cap-15_Trauma_Torax.pdf)>. Acesso em: 3 Mai. 2008.
- 9) SOUZA, J. H. *Estudo Do Processo De Corte De Chapas Por Cisalhamento*. Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001.
- 10) SOUZA, M.; ELIAS, D. *Fundamentos da Circulação Extracorpórea*; capítulo 8, Materiais e Biocompatibilidade. Rio de Janeiro: Centro Editorial Alfa Rio, 2006.

**CIMHSA**  
MÁQUINAS OPERATRIZES

15 ANOS DE SUCESSO

ACOMPANHANDO A INDÚSTRIA BRASILEIRA

15  
anos



Guilhotina Hidráulica | GH63200



Pressas Woodruff Hidráulicas | PVH125T/3200

