

AValiação DE ENSaIO ARCAN COM CORRELação DIGITAL DE IMaGENS EM CHaPAS DA LIGa Ti6Al4V PRoCESSaDA POR FSP

Adalto de Farias, afarias@fei.edu.br¹

Gilmar Ferreira Batalha, gfbatalha@usp.br²

Sérgio Delijaicov, segiode@fei.edu.br¹

¹ Centro Universitário da FEI, Av. Humberto de Alencar Castelo Branco, 3972 – 09580.901, São Bernardo do Campo, SP, Brasil

² Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, Av. Prof. Mello Moraes, 2231, Cidade Universitária, 05508-900 São Paulo, SP, Brasil

Resumo: Este trabalho tem por objetivo apresentar a avaliação das propriedades mecânicas da liga de titânio Ti6Al4V com uma região processada com a técnica de FSP (Friction Stir Processing - Processamento por Atrito Linear). Derivado da solda por atrito linear (FSW - Friction Stir Welding), é um processo relativamente recente desenvolvido na década de 90 para união de alumínio. Sua aplicação em outros tipos de materiais como aços e ligas de alto desempenho, em especial o titânio, tem interessado a indústria. A metodologia utilizada neste artigo para avaliar o processamento por atrito linear, consistiu na execução de ensaios mecânicos em um equipamento de ensaios universal em condições mistas de carregamento (ensaio ARCAN em tração, cisalhamento e em ângulos específicos) e em corpos de prova especiais característicos para este tipo de ensaio. Além da condição de carregamento a temperatura do ensaio também foi modificada, variando entre temperatura ambiente até temperaturas moderadas (340°C). A medição da deformação do corpo de prova foi efetuada com um sistema aquisição e análise de imagens digitais em função da complexidade do dispositivo de ARCAN e geometria não padronizada dos corpos de prova. A técnica de correlação digital de imagens se mostrou muito eficiente e versátil para este experimento onde as condições inerentes do ensaio (dispositivo e geometria do corpo de prova) não permitiram a utilização de sistemas convencionais para medição das deformações. Através da técnica de correlação digital de imagens (Digital Image Correlation - DIC) foi possível determinar a deformação em todas as condições de ensaio testadas, sendo possível efetuar o levantamento das curvas de tensão-deformação dos corpos de prova.

Palavras-chave: correlação digital de imagem, DIC, Ti6Al4V, FSW, ARCAN

1. INTRODUÇÃO

1.1. Sistema de correlação de imagem digital

Um sistema de correlação de imagem digital trabalha a partir de imagens obtidas por câmeras fotográficas (dedicadas ou não) associadas a um software para efetuar a medição de uma grandeza específica. Para medição de deformações utiliza-se uma câmera ou um conjunto de câmeras para detectar os deslocamentos e uma vez que o deslocamento foi determinado as deformações do material podem ser calculadas. O sistema de medição óptico chamado Aramis® (GOM, 2013)(GOM, 2001) foi escolhido para medir a deformação do corpo de prova nos ensaios de tração. Demonstrou-se que o desempenho de tal sistema é ideal para a medição de deformação em situações complexas (FLORES, 2005) (ORTEU, 2009). Além disso, um sistema óptico evita os possíveis erros que aparecem devido aos escorregamentos existentes entre as garras e o corpo de prova.

O software detecta deslocamentos utilizando técnicas de medição óptica. Uma vez que o deslocamento foi determinado a deformação do material pode ser calculada. O software reconhece a estrutura superficial em imagens digitais e pode alocar coordenadas para cada pixel da imagem. As coordenadas iniciais são contabilizadas como a imagem de referência, indicando o objeto de medição em seu estado não deformado. Após o objeto de medição ser deformado, uma segunda imagem é gravada. Nesse ponto, o software compara as imagens e pode registrar qualquer deslocamento característico do objeto (GOM, 2001). Todas as imagens de correlação usam um padrão aleatório de modo que os aspectos da superfície, em um ponto, são únicos. Em seguida, é possível reconhecer e localizar um determinado ponto em várias imagens. Na prática, as imagens são divididas em pequenos quadrados chamados "facetas". Essas facetas são caracterizadas pela sua distribuição dos níveis de cinza. Este processo pode ser resumido como se segue ((KNOCKAERT, 2001) apud (FLORES, 2005)): Imagens da peça são tomadas antes e depois da deformação. Como mencionado anteriormente, uma imagem de configuração não deformada é feita como uma referência e dividida em pequenos quadrados chamados "facetas". O tamanho das facetas deve ser escolhido com respeito ao aspecto da superfície. Em seguida, o sistema tenta corresponder a distribuição dos níveis de cinza destas facetas com a distribuição cinza nível em torno de um ponto da imagem deformada. Esta operação de harmonização é possível graças a uma transformação aplicada às facetas. Esta transformação é uma combinação de uma tradução, uma rotação e uma distorção. A análise pode ser feita em 2D ou 3D. Para o caso 2D, a superfície analisada deve permanecer plana e a uma distância constante da câmara como na Figura 1.

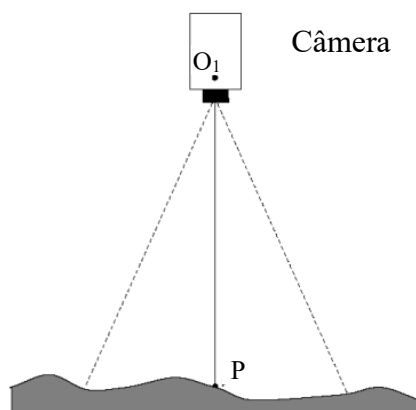


Figura 1 Princípio funcional do Aramis®. (GOM, 2001).

As medições em 3D exigem duas câmeras, que reconstituem uma imagem 3D usando imagens 2D como na Figura 2 (a). As localizações dos pontos no espaço, são determinados por triangulação de feixes direcionais. As coordenadas 3D de um ponto-objeto podem ser determinadas pelo ponto de intersecção das linhas retas, Figura 2 (b).

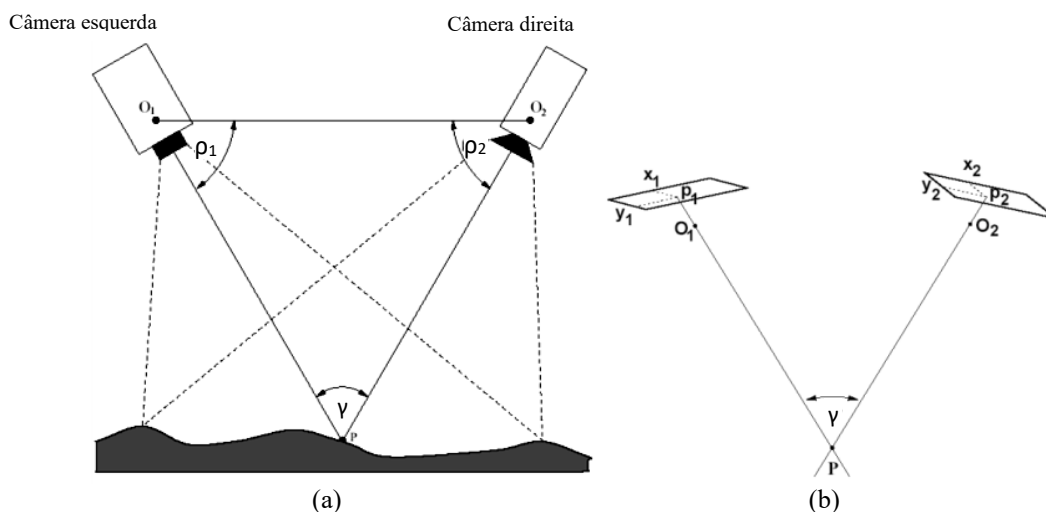


Figura 2 Montagem para uma medição 3D em (a) e em (b) determinação do ponto de medição. (GOM, 2001)

Onde O_1 é a câmera 1, O_2 é a câmera 2, P é o ponto de medição, P_1 ponto relativo 1 do ponto P , P_2 ponto relativo 2 do ponto P , x_1y_1 plano de medição 1, x_2y_2 plano de medição 2, γ é o ângulo entre as câmeras O_1 e O_2 , ρ_1 é o ângulo complementar da câmera O_1 e ρ_2 é o ângulo complementar da câmera O_2 .

É necessário calibrar antes de efetuar uma aquisição de imagem. A calibração é utilizada para identificar os parâmetros geométricos necessários para a transformação (distância e ângulo entre câmeras), e para quantificar os erros ópticos, a fim de levá-los em conta no cálculo de deslocamentos ou deformações. Um objeto para calibração similar ou o próprio corpo de provas com uma determinada disposição dos pontos é medido e registrado a partir de posições diferentes no que diz respeito ao sistema de medição. Os pontos individuais do objeto de calibração são identificados e as suas respectivas coordenadas são determinadas com precisão de subpixels. Em seguida, os parâmetros das câmeras e as coordenadas de todos os pontos envolvidos na calibração são determinados usando o método de ajuste dos mínimos quadrados.

Os deslocamentos relativos dos pontos são utilizados para o cálculo das deformações exercidas sobre a superfície do corpo de prova. Vários métodos estão disponíveis no software Aramis®. Uma delas consiste em calcular o comprimento dos lados constituídos de linhas (*splines*) de uma faceta definida por quatro nós. Esta abordagem permite um cálculo preciso do comprimento real dos lados. Estes comprimentos são utilizados para construir um quadrilátero no espaço bidimensional. O gradiente de deformação $\mathbf{D}$ é então calculado para o centro de gravidade da faceta pelo método dos mínimos quadrados (KNOCKAERT, 2001) apud (FLORES, 2005),

Figura 3.

Uma decomposição polar de $\mathbf{D}$ torna possível calcular o tensor $\mathbf{U}$ de deformação, que tem a seguinte forma definida por (GOM, 2001):

$$U = \begin{bmatrix} u_{11} & u_{12} \\ u_{21} & u_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 + \varepsilon_{xx} & \varepsilon_{xy} \\ \varepsilon_{xy} & 1 + \varepsilon_{yy} \end{bmatrix} \quad (1)$$

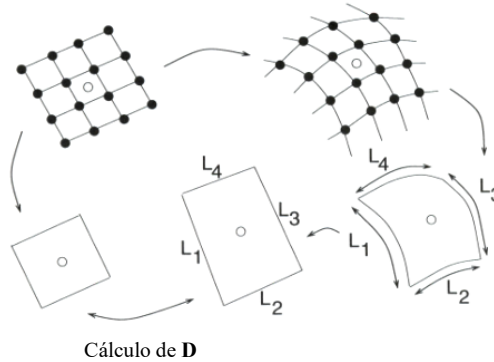


Figura 3 Medição da distorção de uma faceta usando interpolação de *spline*. (KNOCKAERT, 2001) apud (FLORES, 2005).

A transformação de **U** em forma diagonal leva ao cálculo das taxas de estiramento principais:

$$\lambda_1 = 1 + \frac{\varepsilon_{xx} + \varepsilon_{yy}}{2} + \sqrt{\left(\frac{\varepsilon_{xx} - \varepsilon_{yy}}{2}\right)^2 + \varepsilon_{xy}^2} \quad (2)$$

E,

$$\lambda_2 = 1 + \frac{\varepsilon_{xx} + \varepsilon_{yy}}{2} - \sqrt{\left(\frac{\varepsilon_{xx} - \varepsilon_{yy}}{2}\right)^2 + \varepsilon_{xy}^2} \quad (3)$$

As deformações principais podem ser então obtidas para as várias definições a seguir:

Deformação de engenharia (*Technical strains*):

$$\varepsilon_i^t = \lambda_i - 1 \quad (4)$$

Deformação real ou logarítmica (*Logarithmic strains*):

$$\varepsilon_i^{ln} = \ln(\lambda_i) \quad (5)$$

Deformação de Green-Lagrange (*Green-Lagrange strains*):

$$\varepsilon_i^{GL} = \frac{1}{2}(\lambda_i^2 - 1) \quad (6)$$

Onde $i = 1$ ou 2 .

O terceiro componente é calculado assumindo a conservação de volume durante a deformação plástica, isto é:

$$\lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 = 1 \quad (7)$$

1.2. Soldagem por Atrito Linear

Soldagem por Atrito Linear (FSW) do original *Friction Stir Welding* (FSW), foi inventada em 1991 no TWI (*The Welding Institute*), Reino Unido, inicialmente para união de alumínio. O conceito básico do FSW consiste na rotação de uma ferramenta de material não consumível com uma geometria especialmente concebida, composta por um pino e um rebaixo (ombro). Esta ferramenta é inserida girando em seu eixo de rotação nas bordas adjacentes de chapas ou placas a serem unidas, e, posteriormente, percorre o trajeto ao longo da linha de união. A

(a) (b)

(c) (d) (e)

Figura 4 ilustra o processo e apresenta definições para a ferramenta e peça. (MISHRA e MAHONEY, 2007).

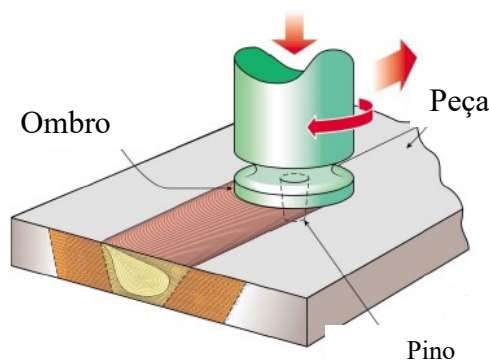


Figura 4 – Detalhes do Processo FSW (ELBANHAWY et al., 2015).

Figura 5 apresenta as etapas típicas de um processo por atrito linear: a) movimento de descida para penetração no material; b) penetração no material; c) tempo para geração de calor para deformação; d) movimento linear sobre a peça no sentido do processamento; e) fim do processamento e retração da ferramenta.

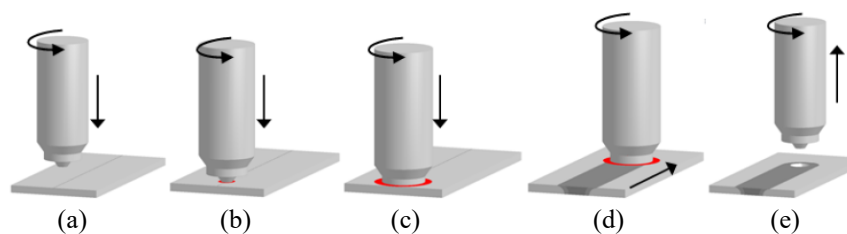


Figura 5 – Etapas do processo de FSP e FSW (MASHININI, 2010).

O eixo de rotação da ferramenta define com as peças a soldar um ângulo de ataque. Este ângulo serve para receber o material que vai ser processado sob a base da ferramenta e aumentar gradualmente o efeito de forjamento imposto pela base durante a passagem da ferramenta. Este procedimento evita que o material em fluxo plástico escape, garantindo um fecho do cordão na parte de trás do pino.

1.3. Teste "ARCAN"

O ensaio de Arcan (ARCAN et al., 1978) consiste em um dispositivo que possibilita obter uma carga de tração, cisalhamento ou uma combinação de ambos (Fig. 6- modos I, II e misto) utilizando uma máquina de ensaios de tração convencional. Dessa forma é possível, por exemplo, caracterizar o comportamento não linear de materiais heterogêneos (BLANCHARD et al., 2006). Segundo o trabalho realizado, no ensaio de Arcan, é possível caracterizar o comportamento do material e identifica parâmetros para modelos constitutivos; entretanto alguns parâmetros, como o coeficiente de Poisson, não podem ser identificados. Esse dispositivo permite o ajustes em diferentes ângulos, fazendo com que o ensaio varie de uma condição de cisalhamento puro até o ensaio de tração puro (KAVAMURA; BATALHA, 2008). Na Fig. 7 pode-se observar um projeto de dispositivo para ensaio de Arcan.

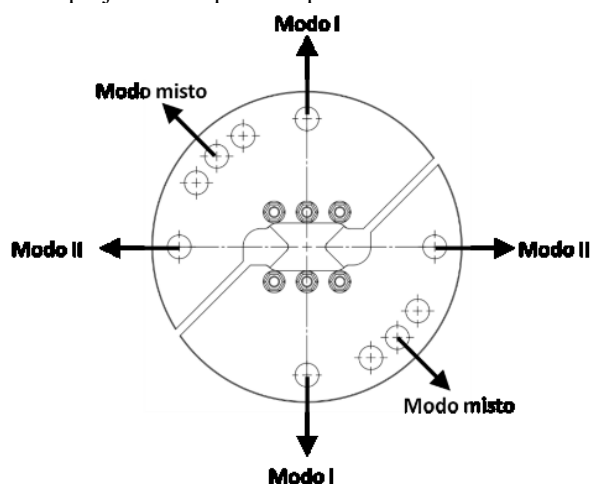


Figura 6- Possibilidades de ensaio Arcan, modos I, II e misto, adaptado de (CERVEIRA, 2008)

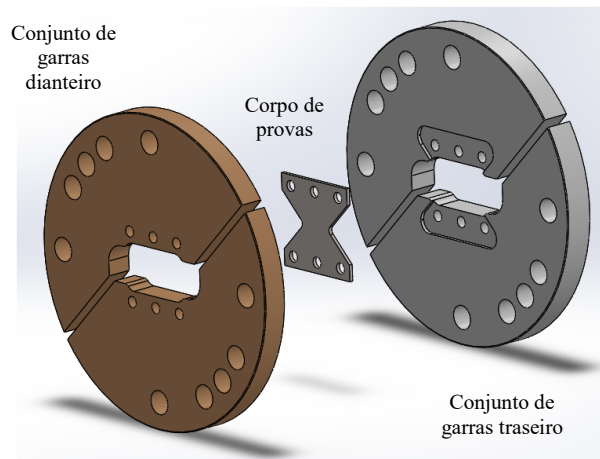


Figura 7 - Exemplo de dispositivo de ensaio Arcan.

Outra utilização comum do ensaio de Arcan é a análise de deslocamento de abertura da trinca, como por exemplo em (MAHGOUB et al., 2003). Os autores utilizam uma simulação em MEF do ensaio de Arcan para avaliar trincas planas e oblíquas sob carregamento em modo I em ligas AA2024-T3 e entender o fato da trinca plana carregada em modo I tender a crescer de forma oblíqua. Segundo Blanchard et al. (BLANCHARD et al., 2006) ficou provado que o ensaio de Arcan permite a caracterização do comportamento do material com FSW e a identificação de parâmetros de modelos constitutivos pode ser feita através do ensaio na configuração de tração pura.

2. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

Os ensaios de tração multiaxial foram executados com corpos de prova retirados de tiras processadas com FSP para identificação das propriedades mecânicas. Das chapas processadas foram retirados corpos de prova com a geometria apresentada na Fig. 8, a área sujeita ao FSP é indicada pela região hachurada.

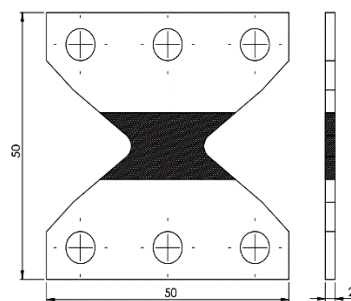


Figura 8 Corpo de prova para ensaio de ARCAN, dimensões em mm.

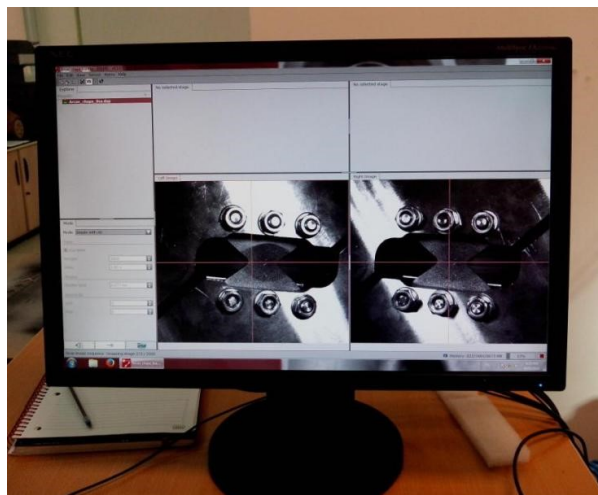
A máquina utilizada no ensaio de tração foi uma Instron modelo 3369 com capacidade para 50 kN (5ton), Fig. 9 (a). O controle da temperatura do ensaio foi executado com o auxílio de uma resistência elétrica de 900W de potência, com termopar tipo J embutido, montada na base da máquina e direcionada diretamente sobre o corpo de provas. Um controlador de potência da marca Polimold foi empregado para modular a temperatura da resistência elétrica. Para o controle da temperatura da peça foi utilizado um pirômetro infravermelho com mira laser montado em um pedestal na frente da máquina de ensaios. O controle da temperatura foi executado de forma manual e mantido dentro de uma faixa de variação de $+10^{\circ}\text{C} / -10^{\circ}\text{C}$ para os testes mais longos, e $+5^{\circ}\text{C} / -5^{\circ}\text{C}$ para os testes mais rápidos.

A medição da deformação do corpo de prova foi efetuada com o sistema Aramis de aquisição e análise de imagens digitais apresentado nas Figs. 7 (a) e 7(b). Todas as imagens foram capturadas a uma taxa de 1 imagem por segundo para todos os ensaios.

A força de tração foi registrada pelo programa da máquina Instron a uma taxa de amostragem de 10 leituras por segundo, posteriormente convertida em arquivo de texto simples. Devido ao fato dos dois equipamentos não estarem interligados estas duas medições de deformação e força necessitaram passar por um tratamento de sincronização executada pelo software GOM Aramis. Devido ao fato da taxa de leitura da Instron ser 10 vezes maior em relação à do GOM Aramis (10x1), este procedimento pode ser executado de forma precisa e confiável.



(a)



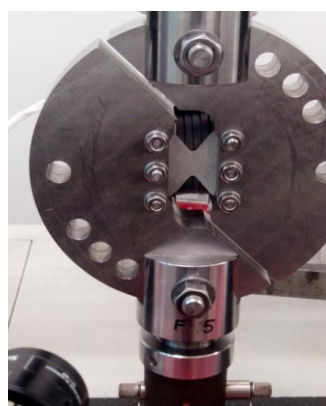
(b)

Figura 9. (a) sistema de câmeras e iluminação do Aramis, (b) software para aquisição de imagens. Medição em tração pura (taxa de tração 0.1mm/s e temperatura de ensaio de 200°C).

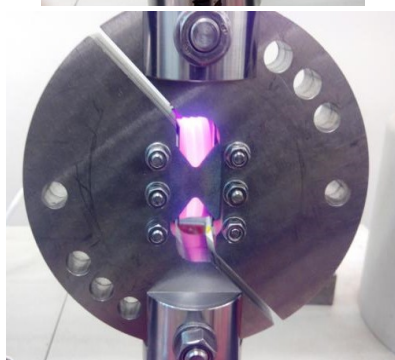
A Fig. 10 ,apresenta uma amostragem de todos os ensaios executados nas diversas condições ensaiadas, condição de tração pura Fig. 10 (a), condição de cisalhamento puro Fig. 10 (b), condição de cisalhamento com temperatura de 340°C Fig. 10 (c) e condição mista a 45°, rompida Fig. 10 (d).



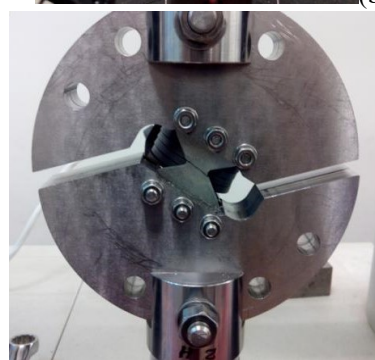
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 10.(a) Condição de tração pura. (b) Condição de cisalhamento puro. (c) Condição de cisalhamento com temperatura de 200°C. (d) Condição mista a 45°, rompida.

Após a aquisição das imagens dos ensaios com o software Aramis, procedeu-se o pós-processamento de cada condição para o levantamento das curvas de tensão x deformação. Através do módulo de avaliação do software Aramis as imagens capturadas são processadas e os diversos possíveis resultados de deformação são analisados. A Figura 11 apresenta a avaliação para uma condição de tração pura, é apresentado na tela os valores de deformação máxima no momento de Máxima Tensão. Através de uma sub-rotina própria criada para o levantamento da curva de tensão x deformação se executam os levantamentos de todas as curvas dos ensaios executados. Para o levantamento das curvas de tensão x deformação é necessário que a força medida externamente pelo programa da máquina Instron, transformada em um arquivo de texto, seja sincronizada com as imagens capturadas pelo Aramis. Este procedimento é executado

internamente pelo Aramis com o auxílio de uma sub-rotina própria onde é informado o ponto para sincronização dos arquivos, o ponto escolhido para sincronização em todos os casos é o momento de ruptura do corpo de provas, por ser de fácil observação visual em ambos os arquivos, de imagens e de texto (queda brusca dos valores de força).

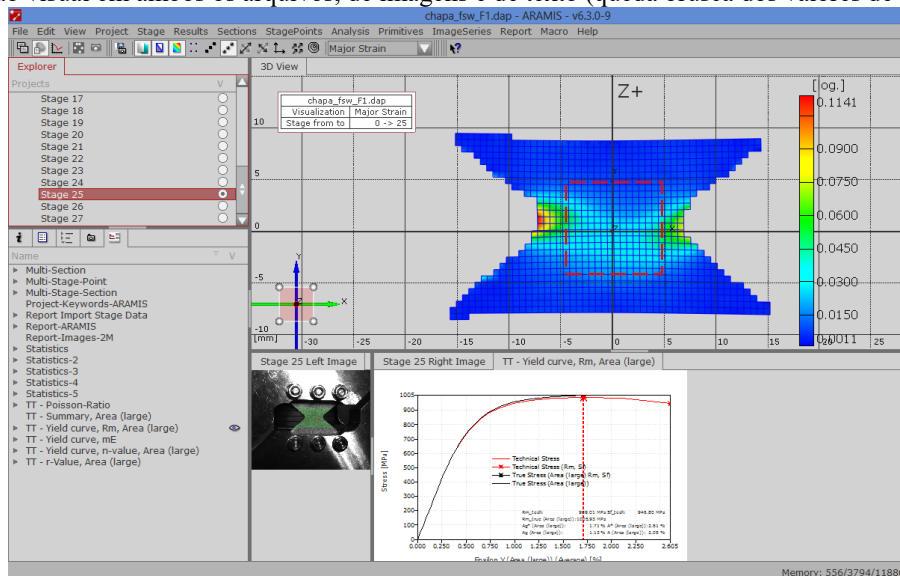


Figura 11 Módulo de avaliação do software GOM Aramis.

Após a aquisição das imagens, o software GOM Aramis possibilita a criação de janelas de seleção para regiões específicas do corpo de provas, em geral as regiões de interesse no estudo das deformações e tensões. É um recurso bastante útil na existência de restrições, como por exemplo, imperfeições na peça ou defeitos na aquisição das imagens. Em geral, qualquer condição que pode alterar ou distorcer significativamente os resultados deve ser eliminada do estudo. No caso dos corpos de provas utilizados neste estudo, uma janela de 10mmx10mm centralizada no corpo de provas, indicada pelas linhas tracejadas em vermelho na Figura 11 foi empregada. A seleção desta região minimizou a influência da concentração de tensão causada pela geometria do corpo de provas, o entalhe em "V". Na região compreendida pela janela de 10mmx10mm a tensão foi considerada como uniforme para efeito das análises posteriores.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As Fig. 12 apresenta dois conjuntos de resultados dos ensaios de tração em todas as condições do Dispositivo de ARCAN, tração pura, 30°, 45°, 60° e cisalhamento puro.

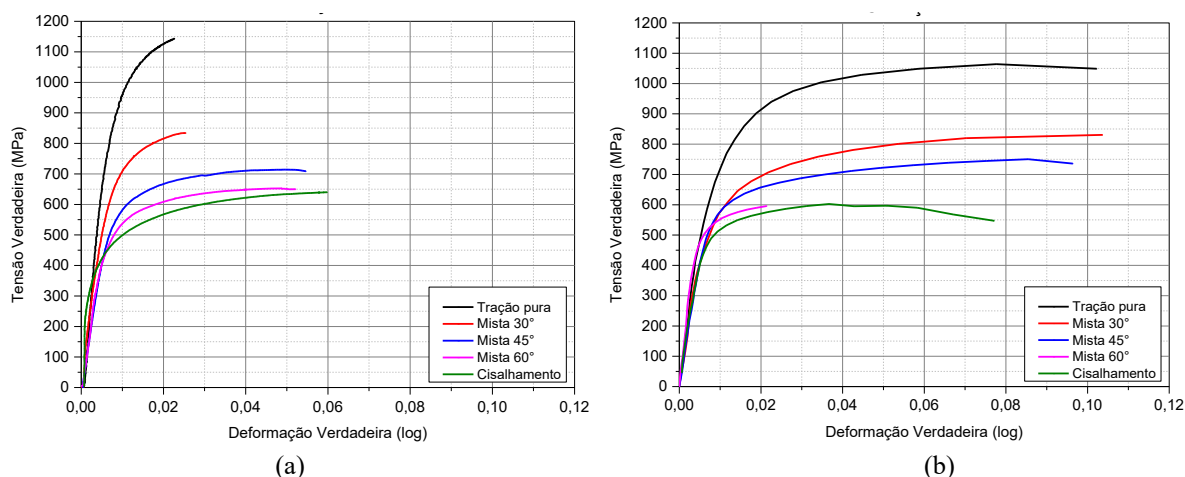


Figura 12 (a) Curvas do ensaio Arcan com temperatura de ensaio de 25°C. (b) Curvas do ensaio Arcan com temperatura de ensaio de 200°C.

Para fins de validação, um pré-modelo em elementos finitos (EF) foi criado para simular o comportamento da condição em tração pura com taxa de tração 0.1mm/s e temperatura de ensaio de 200°C. O modelo foi criado e simulado no software Abaqus do Laboratório de Engenharia de Fabricação da Escola Politécnica da USP. Este modelo foi baseado na geometria dos corpos de prova ensaiados com ARCAN, porém somente a área de ruptura foi modelada

visando economia computacional. A malha do modelo foi criada com 1288 elementos do tipo triangular-linear CPS3, este elemento conta com três nós e é próprio para modelos de tensão plana. Os dados utilizados para modelar a curva de plasticidade do material foram retirados da condição de tração a 200°C ensaiada. O Módulo de Young: 176.766 MPa e o Coeficiente de Poisson: 0,3.

A Fig. 13 (a) apresenta o resultado da simulação. Quando comparada com a imagem real relativa à medição de deformação com as imagens (Fig. 13 (b)) é possível verificar correspondência entre os valores. Em ambos os casos a legenda de valores se encontra na escala logarítmica de deformação. Observa-se uma clara correlação de comportamento mecânico, entre o cálculo da deformação pelas imagens digitais e a simulação em elementos finitos. O valor de tensão para referência de comparação utilizado foi de aproximadamente 1000MPa em ambas as figuras. O erro apresentado na simulação foi de 18%, indicando a necessidade de uma reavaliação do modelo a fim de diminuir a discrepância dos valores.

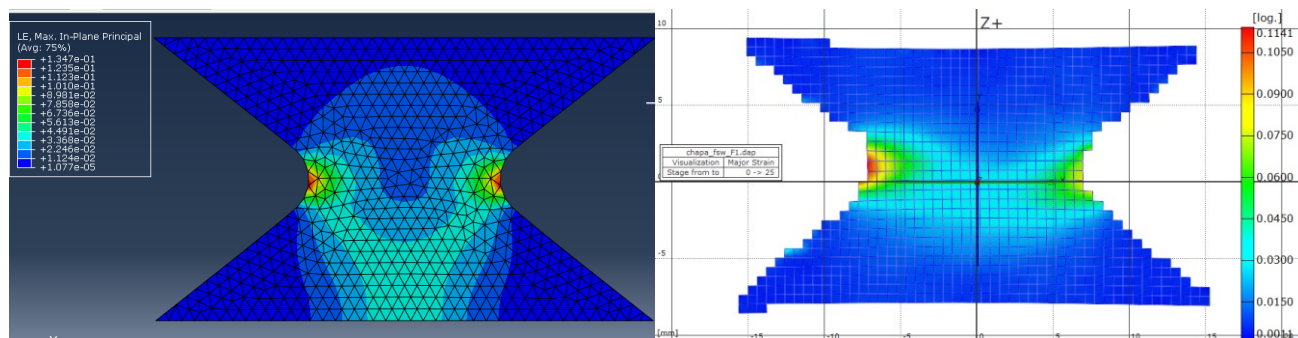


Figura 13 (a) Simulação em EF da condição em tensão plana (temperatura de ensaio de 200°C). (b) Medição real com correlação de imagens da condição para comparação com EF.

4. CONCLUSÃO

As características mecânicas foram avaliadas em um ensaio não convencional de tração com o uso de um dispositivo que possibilitou a aplicação de cargas mistas de tração e cisalhamento nos corpos de prova. Para esta proposta foi projetado e construído um dispositivo especial (Garra para ensaio ARCAN) que possibilitou o posicionamento da seção principal do corpo de prova em ângulos diferentes no ensaio.

A medição da deformação do corpo de prova foi efetuada com um sistema aquisição e análise de imagens digitais em função da complexidade do dispositivo de ARCAN e geometria não padronizada dos corpos de prova. A técnica de correlação digital de imagens se mostrou muito eficiente e versátil para este experimento onde as condições inerentes do ensaio (dispositivo e geometria do corpo de prova) não permitiram a utilização de sistemas convencionais para medição das deformações. Através da técnica de correlação digital de imagens (Digital Image Correlation - DIC) foi possível determinar a deformação em todas as condições de ensaio testadas, sendo possível efetuar o levantamento das curvas de tensão-deformação dos corpos de prova.

5. AGRADECIMENTOS

À equipe do Laboratório de Impacto em Estruturas (GMSIE) pelo apoio no uso da máquina de tração, à Polimold Ind S/A pelo auxílio com a usinagem dos corpos de provas e dispositivos.

6. REFERÊNCIAS

- ARCAN, M.; HASHIN, Z.; VOLOSHIN, A. A Method to Produce Uniform Plane-stress States with Applications to Fiber-reinforced Materials. *Experimental Mechanics*, v. 18, p. 141–146, 1978.
- BLANCHARD, S.; LANGRAND, B.; FABIS, J.; DENQUIN, A. Arcan test and strain field measurement to study material behaviour in 6056T78 FSW specimens. 6th International FSW Symposium Montréal, Canada. p.16, 2006.
- CERVEIRA, L. R. P. L. Caracterização experimental do comportamento mecânico sob solicitação multiaxial em junções de chapas aa2024-t3 soldadas por fricção-mistura (“fsw”). Dissertação de mestrado Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2008.
- ELBANHAWY, A.; CHEVALLIER, E.; DOMIN, K. Numerical investigations of friction stir welding of high temperature materials. Disponível em: <<http://www.twi-global.com/technical-knowledge/published-papers/numerical-investigations-of-friction-stir-welding/>>. Acesso em: 2/2/2015.
- FLORES, P. Development of Experimental Equipment and Identification Procedures for Sheet Metal Constitutive Laws PhD Thesis presented by Paulo FLORES. , v. 1, n. November, 2005.
- GOM. ARAMIS, Deformation Measurement using the Grating Method. GOM mbh, Braunschweig, 2001.
- GOM. Aramis user M manual - Software. 2013.

- KAVAMURA, H. A.; BATALHA, G. F. Mechanical strength evaluation for Nd-YAG laser and electric resistance spot weld (ERSW) joint under multiaxial loading. *Journal of Materials Processing Technology*, v. 201, n. 1-3, p. 507–514, 2008.
- KNOCKAERT, R. Numerical and Experimental Study of the Strain Localization During Sheet Forming Operations. Ph. D. Thesis, Ecole National Supérieure des Mines de Paris, 2001.
- MAHGOUB, E.; DENG, X.; SUTTON, M. A. Three-dimensional stress and deformation fields around flat and slant cracks under remote Mode I loading conditions. *Engineering Fracture Mechanics*, v. 70, n. 18, p. 2527–2542, 2003.
- MASHININI, P. M. Process window for Friction Stir Welding of 3 mm Titanium (Ti-6Al-4V). 2010. 143 p. Dissertação de Mestrado: Faculty of Engineering, the Built Environment and Information Technology. Port Elizabeth, South Africa, 2010.
- MISHRA, R. S.; MAHONEY, M. W. (Eds.). *Friction Stir Welding and Processing*. 1ª. ed. Materials Park: ASM International, 2007. 353 p.
- ORTEU, J.-J. 3-D computer vision in experimental mechanics. *Optics and Lasers in Engineering*, v. 47, n. 3-4, p. 282–291, 2009.

7. DIREITOS AUTORAIS

O autor é o único responsável pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

ARCAN TEST EVALUATION WITH DIGITAL IMAGE CORRELATION ON THIN SHEET Ti6Al4V PROCESSED BY FSP

Adalto de Farias, afarias@fei.edu.br¹

Gilmar Ferreira Batalha, gfbatalha@usp.br²

Sérgio Delijaicov, segide@fei.edu.br¹

¹ Centro Universitário da FEI, Av. Humberto de Alencar Castelo Branco, 3972 – 09580-901, São Bernardo do Campo, SP, Brasil

² Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, Av. Prof. Mello Moraes, 2231, Cidade Universitária, 05508-900 São Paulo, SP, Brasil

Abstract: This work presents the evaluation of mechanical properties of titanium Ti6Al4V sheets processed with the Friction Stir Processing (FSP) technique. Derived from linear friction stir welding (FSW - Friction Stir Welding), it is a relatively recent process developed in the 1990s for aluminum joining. Its application in other types of materials such as high performance steels and alloys, especially titanium, has interested the industry. The methodology used in this article to evaluate the linear friction stir processing, consisted in the execution of mechanical tests in a universal test equipment under mixed loading conditions (ARCAN test in traction, shear and at specific angles). In addition to the loading condition the test temperature was also modified, ranging from room temperature to moderate temperatures (340 °C). The deformation measurement of the samples was performed with digital image correlation acquisition and analysis system due to the complexity of the ARCAN fixture device and non-standard sample geometry. The digital image correlation technique was very efficient and versatile for this experiment where the inherent conditions of the test (fixture device and sample geometry) did not allow the use of conventional measurement systems. By means of the Digital Image Correlation (DIC) technique, it was possible to determine the deformation in all the test conditions, and it was possible to perform the stress-strain curves for all the specimens.

Key words: digital image correlation, DIC, Ti6Al4V, FSW, ARCAN