

15º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP - 2024

DESENVOLVIMENTO DE DISPOSITIVO PARA ENSAIO DE TRAÇÃO E TRAÇÃO-COMPRESSÃO CÍCLICA PARA APLICAÇÃO EM CHAPAS METÁLICAS DE LIGA DE ALUMÍNIO

LUCA DE PAULO FERREIRA¹, GABRIEL DE OLIVEIRA ALBUQUERQUE¹, FERNANDO HENRIQUE DA SILVA¹, TAMIRES DE SOUZA NOSSA¹

¹ Instituto Federal de São Paulo campus Itapetininga, Laboratório de Materiais (LabMat), Vila Asem, 18202-000 Itapetininga, SP, Brasil

Área de conhecimento: 3.03.00.00-2 Engenharia de Materiais e Metalúrgica

RESUMO:

Avanços em tecnologias dentro da engenharia de materiais e metalurgia, propiciaram ganhos significativos quanto ao uso específico de determinadas ligas em diversos segmentos industriais, espaciais, entre outros. Ligas como a de alumínio ganham destaque devido às suas propriedades vantajosas, como baixa densidade, resistência mecânica e resistência à corrosão. Em se tratando de uma liga específica como a da Série 6000, esta atende a um amplo segmento de aplicação. Estudos quanto a estas aplicações se fazem necessários de forma a caracterizar comportamentos mecânicos do metal, o modelo matemático Yoshida Uemori é bem estabelecido para tal caracterização, demandando a realização de ensaios cíclicos de tração-compressão. Neste estudo desenvolveu-se duas alternativas de dispositivo para uso em uma máquina universal de ensaios com o auxílio de uma célula de contenção que permitiu a realização de ensaio cíclico em chapa de alumínio de maneira a evitar a minimizar e evitar a flambagem da chapa.

PALAVRAS-CHAVE: Liga de Alumínio; modelo Yoshida-Uemori; tração-compressão, dispositivos mecânicos

DEVELOPMENT OF A DEVICE FOR TENSILE AND CYCLIC TENSILE-COMPRESSION TESTING FOR APPLICATION ON ALUMINUM ALLOY METAL PLATES

ABSTRACT: Advances in materials engineering and metallurgy technologies have provided significant gains in the specific use of certain alloys in various industrial and space segments, among others. Alloys such as aluminum stand out due to their advantageous properties, such as low density, mechanical strength and corrosion resistance. In the case of a specific alloy such as the 6000 Series, it serves a wide range of applications. Studies on these applications are necessary in order to characterize the mechanical behavior of the metal. The Yoshida Uemori mathematical model is well established for such characterization, requiring the performance of cyclic tensile-compression tests. In this study, two alternative devices were developed for use in a universal testing machine with the aid of a containment cell that allowed the performance of cyclic tests on aluminum sheets in order to minimize and prevent sheet buckling.

KEYWORDS: Alluminum alloy; Yoshida-Uemori model; tension-compression, mechanical device

INTRODUÇÃO

O Alumínio é um dos metais não ferrosos mais amplamente utilizados em diversas indústrias, como aeronáutica, aeroespacial, automotiva entre outras, sendo um dos principais a abundância na crosta terrestre.

Devido à sua versatilidade, o alumínio é altamente adequado para a formação de ligas metálicas, tendo com isso uma baixa densidade, facilidade para usinagem, soldagem, maleabilidade e conformabilidade entre outras características (LEMA-LOJA; MORENO-ZULCA; LLANES-CEDEÑO, 2020). Essas propriedades são alcançadas por meio de ligas que conferem ao alumínio propriedades diversificadas, são classificadas com base na adição de elementos de liga e tratamentos térmicos.

Na Série 6000, é comum encontrar o composto MgSi, resultado da combinação de Mg e Si durante o tratamento térmico do alumínio. Esta adição condiciona as propriedades da liga, melhorando suas características mecânicas, como resistência à tração e deformação (RIOS, 2012), neste estudo utilizou-se a liga AA6005 cuja composição está descrita na Tabela 1.

Elementos	Al	Mg	Si	Fe	Cr, Cu, Mn, Ti, Zn	Outros (individual)	Outros (total)
Quantidade (%)	97.5 - 99	0.40 - 0.60	0.60 - 0.90	Máx 0.35	Máx 0.10 (cada)	Máx 0.05	Máx 0.15

TABELA 1: Composição da liga de alumínio AA6005. Fonte: (DAVIS; ASM INTERNATIONAL, 2007)

Durante os processos de conformação, como a estampagem de chapas de alumínio, ocorre um fenômeno conhecido como recuo elástico, no qual a peça metálica tende a retornar parcialmente à sua forma original após ser deformada plasticamente. Este retorno pode afetar a qualidade e precisão do produto final, sendo necessário entender e prever esse comportamento (KORKMAZ; TOROS; KALYONCU, 2021).

Em geral três tipos de ensaios podem ser utilizados para verificar o comportamento do material em regime elasto-plástico, sendo eles: ensaio de cisalhamento no plano, teste de flexão e reversão de flexão e tensão de uniaxial de tração e tração-compressão no plano, onde o terceiro é mais aceito na literatura pela amplitude de tensão da qual possibilita a análise e menor interferência na distribuição de tensão no corpo de prova (CHANG et al., 2020).

O maior desafio para realização do teste cíclico em chapas está em conter a flambagem na fase de compressão. Chang et al., 2020 apresenta um dispositivo metálico robusto e de baixo custo capaz de contornar o fenômeno. Chen et al., 2023 desenvolveu um modelo mais simples utilizando uma célula de contenção de acrílico acoplada a uma pequena garra, o material transparente possibilita posterior análise de imagem por meio de correlação digital de imagem (DIC – *Digital Image Correlation*), Agha; Abu-Farha, 2022 propõe um dispositivo sofisticado que utiliza chapas de suporte juntamente de sistema pneumático que faz o balanço de forças horizontais sobre a chapa durante o ensaio. Em termos gerais a literatura aponta que para realização deste tipo de teste é necessário aplicar forças laterais que possam estabilizar o corpo de prova durante o teste.

Portanto, este estudo visa o projeto e desenvolvimento de dispositivos para aplicação em máquina universal de ensaios, possibilitando a caracterização mecânica de chapas, de maneira a evitar a flambagem em chapas finas e a aplicação do modelo modelo Yoshida Uemori.

MATERIAIS E MÉTODOS

PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

Os corpos de prova foram confeccionados por processo de corte por eletroerosão utilizando a AR13000 eletrocut da Novick. As amostras serão cortadas segundo a norma ASTM E8, sendo a área útil a ser analisada de $l = 70 \times 12,5$ mm, espessura 1mm, conforme ilustrado na Figura 1.

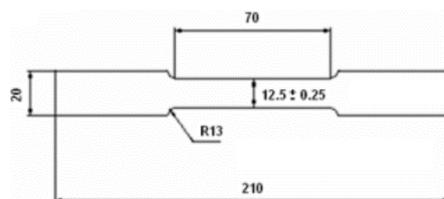


FIGURA 1. Geometria do corpo de prova de tração (mm). Fonte: (E28 COMMITTEE, [s.d.])

DESENVOLVIMENTO DAS CÉLULAS DE CONTEÇÃO (i)

Inicialmente estudou-se o modelo proposto por (CHEN et al., 2023) pela simplicidade de sua confecção, o dispositivo é composto por uma pequena peça metálica o corpo de prova à máquina de ensaios e chapa de acrílico como seguimento de suporte lateral. para garantir conforme a Figura 3.

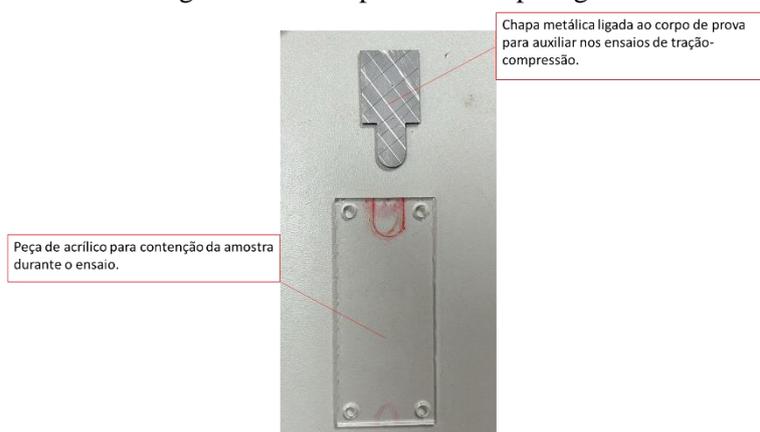


FIGURA 3: Célula de contenção composta por uma peça de fixação metálica e suporte de acrílico adaptada de (CHEN et al., 2023). Fonte: Próprio autor

Este conjunto foi então montado em uma garra da EMIC com fechamento por fuso e mordentes e com célula de carga de 2 toneladas.

DESENVOLVIMENTO DE DISPOSITIVO DE FIXAÇÃO COM CÉLULA ACOPLADA(ii)

Um novo modelo de célula de contenção foi desenvolvido a fim de contornar alguns desafios encontrados no modelo anterior e que serão discutidos posteriormente com base no dispositivo proposto por (CHANG et al., 2020) que utiliza-se de chapas de teflon como suporte anti-flambagem acopladas a um suporte metálico mais robusto. A ferramenta é composta por duas partes principais, (1) peças de fixação da amostra conectadas diretamente à célula de carga que serviram de canal para (2) chapas de acrílico que devem atuar como suporte/célula para evitar a flambagem do corpo de prova (Figura 4a). Optou-se pela utilização de chapas de acrílico às de teflon, por sua facilidade de confecção, suficiência quanto a aplicação de forças transparência que possibilita análise de imagens conforme relatado por (CHEN et al., 2023). As ferramentas foram pressionadas lateralmente por quatro parafusos (Figura 4) para gerar o balanço de forças horizontal analogamente ao modelo anterior.

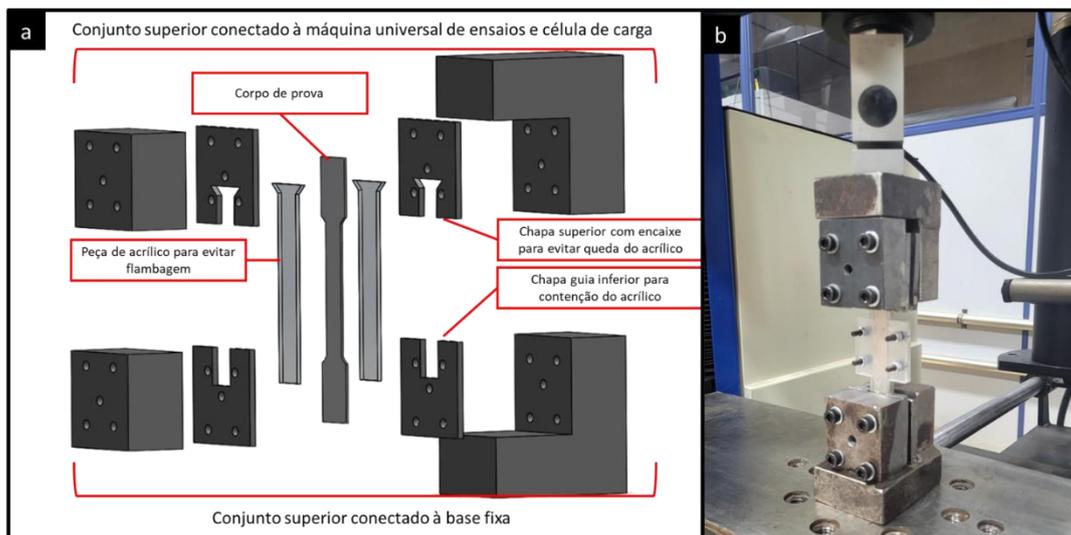


FIGURA 4: Projeto de ferramental ante flambagem para fixação dos corpos de prova e chapas de acrílico baseado em (CHANG et al., 2020) (a) e Protótipo em fase final de desenvolvimento. Fonte: próprio autor (b).

Para confecção, utilizou-se blocos e chapas de aço disponíveis na instituição. Para furação os componentes foram soldados simulando a futura posição de montagem a fim de garantir o alinhamento das peças. Posteriormente as chapas que prendem o corpo de prova e suportam as chapas de acrílico foram cortadas por eletroerosão. Os blocos superiores e inferiores responsáveis pela acoplagem à máquina de ensaios foram soldados a um paralelepípedo de com dimensões compatíveis com o modelo, formando o assim a peça com formato de “L” da Figura 4. Por fim o acabamento das peças foi realizado utilizando uma fresa.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O primeiro modelo de célula de contenção (i) apresentado mostrou-se ineficaz na maioria dos testes, apenas em um caso a curva de tração-compressão obteve o aspecto desejado conforme a Figura 5, nos demais casos obteve alto índice de flambagem e escorregamento, invalidando os resultados.

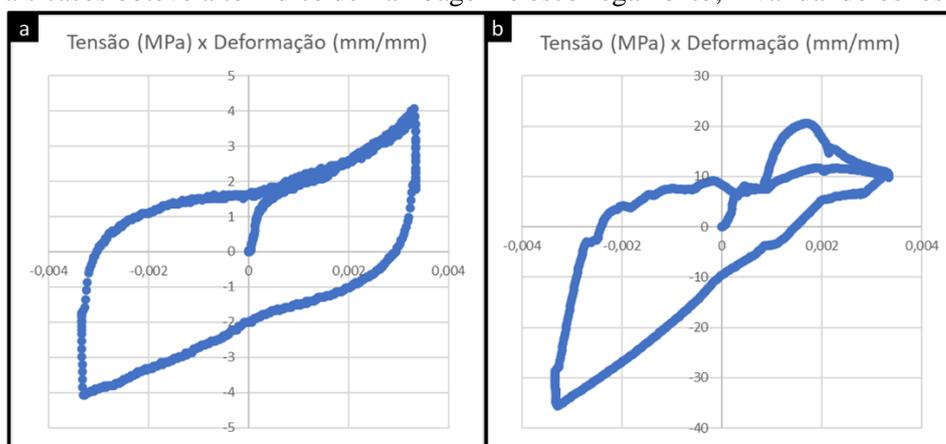


FIGURA 5: Gráfico de tração-compressão (a) com flambagem e gráfico influenciado por flambagem e escorregamento (b).

O segundo dispositivo (ii) foi confeccionado com sucesso, pequenos imprevistos dimensionais foram enfrentados devido às limitações no ferramental utilizado, porém tais anormalidades não afetam a fixação do corpo de prova e não permitem nenhuma folga entre os componentes que possam interferir na troca de tração para compressão durante o ciclo.

A ferramenta encontra-se em fase de teste com resultados preliminares promissores. Conforme a Figura 6, os testes de tração realizados obtiveram características de uma curva ideal para um corpo de prova cortado à 90° com relação à direção de laminação, a parametrização da ferramenta para os testes cíclicos ainda estão em andamento atualmente e a interface de acrílico está sendo refinada pois o corpo de prova ainda se desloca dentro da célula de contenção, ajustes dimensionais na espessura das chapas de fixação ainda se faz necessária.

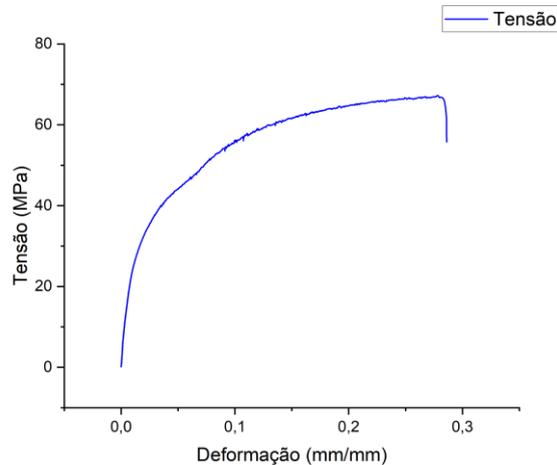


FIGURA 6: Teste de tração realizada com dispositivo baseado na proposta de Chang et. al. 2020 em um corpo de prova cortado à 90° em relação à direção de laminação. Fonte: Próprio autor.

Porém foi possível observar uma melhora significativa no perfil das curvas de tração e de tração-compressão para a chapa de alumínio. a aplicação de uma força externa se faz necessária. Atualmente o aparato consegue uma curva próxima do ideal conforme a Figura 7a, a flambagem ocorre no final do ciclo e na extremidade da peça onde a pressão exercida pelos parafusos é menor (Figura 7b). No entanto o aspecto geral do gráfico aponta para um futuro sucesso do método.

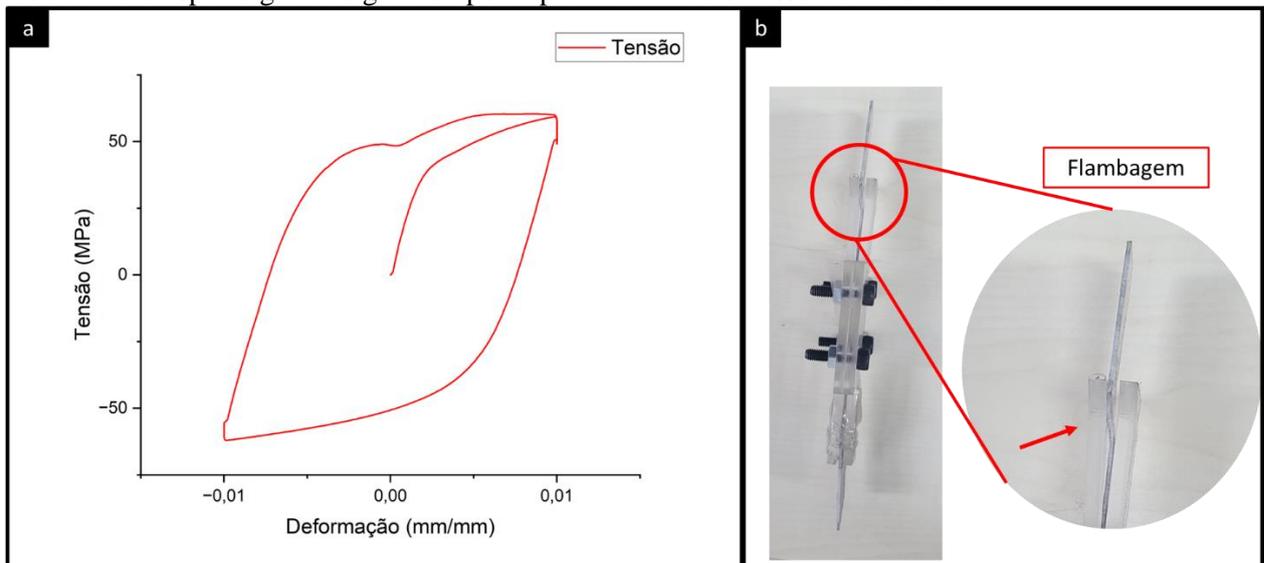


FIGURA 7: Gráfico de tração-compressão cíclico utilizando a ferramenta I (a) e região do corpo de prova que sofreu flambagem (b). Fonte: Próprio autor.

CONCLUSÕES

Os testes de tração monotônica realizados estão dentro do esperado para o material, mostrando eficácia do método para determinação destes parâmetros.

Embora os testes cíclicos ainda não tenham gerado os resultados desejados, o desenvolvimento da ferramenta aponta para o sucesso futuro do método possibilitando reprodutibilidade para outros materiais e outras análises.

A aplicação do segundo dispositivo é importante pois a integração do acrílico como suporte ante flambagem possibilitará as análises de DIC dos testes cíclicos, resultados estes escassos na literatura.

CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Luca de Paulo Ferreira: redação, pesquisa, desenvolvimento do ferramental e ensaios. Gabriel de Oliveira Albuquerque: pesquisa, desenvolvimento do ferramental e ensaios. Fernando Henrique da Silva: pesquisa, corte e pintura das amostras. Tamires de Souza Nossa: curadoria, treinamentos e metodologia.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA) pelo envio das amostras de alumínio e inclusão de bolsista de iniciação científica no projeto DESCAAL - Demonstrador de Estampagem de Superfície Classe A em Alumínio À colaboração dos Técnicos Mecânicos do IFSP-Campus Itapetininga pelo auxílio na confecção dos dispositivos.

REFERÊNCIAS

AGHA, A.; ABU-FARHA, F. Advanced Anti-Buckling Device Coupled with Real-Time Digital Image Correlation for Complex Cyclic Tension-Compression Testing of Lightweight Materials. Em: KANG, J. et al. (Eds.). **Evaluation of Existing and New Sensor Technologies for Fatigue, Fracture, and Mechanical Testing**. 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959: ASTM International, 2022. p. 40–54.

CHANG, Y. et al. A new continuous tensile-compressive testing device with friction-counteracting and anti-buckling supporting mechanism for large strain. **Journal of Materials Processing Technology**, v. 278, p. 116540, abr. 2020.

CHEN, G. et al. Research on the 2A11 Aluminum Alloy Sheet Cyclic Tension-Compression Test and Its Application in a Mixed Hardening Model. **Metals**, v. 13, n. 2, p. 229, 26 jan. 2023.

DAVIS, J. R.; ASM INTERNATIONAL (EDS.). **Aluminum and aluminum alloys**. 6. print ed. Materials Park, Ohio: ASM International, 2007.

E28 COMMITTEE. **Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials**. ASTM International, , [s.d.]. Disponível em: <<http://www.astm.org/cgi-bin/resolver.cgi?E8E8M-13A>>. Acesso em: 9 set. 2024

KORKMAZ, H. G.; TOROS, S.; KALYONCU, M. Prediction of Yoshida Uemori model parameters by The Bees Algorithm and Genetic Algorithm for 5xxx series aluminium alloys. **Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi**, 5 maio 2021.

LEMA-LOJA, J. L.; MORENO-ZULCA, P. A.; LLANES-CEDEÑO, E. A. Características del proceso de conformado en láminas de aluminio de la serie 6000 Characteristics of the 6000 Series Aluminum Sheet Forming Process Características do processo de formação de folha de alumínio da série 6000. v. 5, n. 09, 2020.

RIOS, C. T. AVALIAÇÃO DE LIGA DE ALUMÍNIO COMERCIAL DA SÉRIE 6000. 2012.