



II Encontro de Iniciação Científica e Tecnológica
II EnICT
ISSN: 2526-6772
IFSP – Câmpus Araraquara
26 e 27 de Outubro de 2017



ANÁLISE EXPERIMENTAL DOS RESULTADOS OBTIDOS NO ENSAIO DE COMPRESSÃO EM ALUMÍNIO NO ESTUDO DA FLAMBAGEM E DO “EFEITO BARRIL”

ANA PAULA NOGUEIRA SANTANA¹

SÍLVIO APARECIDO VERDÉRIO JÚNIOR²

¹ Graduanda em Mecatrônica Industrial, IFSP Campus Araraquara, anapaulasantana@hotmail.com

¹ Mestre em Engenharia Mecânica, Docente, IFSP Campus Araraquara, silvioverderio@ifsp.edu.br

Área de conhecimento (Tabela CNPq): Processos de Fabricação – 3.05.05.00-3

RESUMO: O Ensaio de Compressão é amplamente utilizado na indústria, especialmente nos projetos que envolvem análises de deformações plásticas apreciáveis, usualmente em concreto, cerâmicas, metais, plásticos e compósitos. Como o ensaio de tração, o ensaio de compressão pode ser executado na máquina universal de ensaios, com a utilização de pratos de compressão lisos (um fixo e um móvel). O objetivo deste trabalho foi estudar o processo de flambagem e abaulamento central gerado em barras de alumínio através de esforços de compressão. Das curvas obtidas e formulações utilizadas, calcularam-se as tensões limite de proporcionalidade e de escoamento, módulo de elasticidade e avaliaram-se os comportamentos quanto ao aumento de resistência e falha por flambagem do alumínio. O Módulo de Elasticidade calculado para a liga de alumínio em estudo mostrou-se divergente dos valores obtidos na literatura e trabalhos futuros são incentivados a fim de analisar melhor e justificar tais divergências.

PALAVRAS-CHAVE: Efeito Barril; Ensaio de Compressão; Flambagem; Ligas de Alumínio.

INTRODUÇÃO

Os Ensaio Mecânicos surgiram pela necessidade de avaliação e quantificação das características, propriedades e limites físicos dos materiais. São métodos de se avaliar um material (chamado corpo de prova), calcular e mensurar valores sobre suas propriedades mecânicas. Dados que serão utilizados mais tarde nos cálculos de projetos para a construção de peças, prédios, aviões, pontes, tudo o que exige do material suportar uma alta carga sem que se deforme de maneira permanente (plástica).

De acordo com Davim (2010), as propriedades dos materiais estão relacionadas à natureza das ligações que existem entre os átomos, sejam eles metálicos ou não metálicos. Na engenharia é fundamental o conhecimento do comportamento do material com que se trabalha, isto é, suas propriedades mecânicas em várias condições de uso, que envolvem: temperatura, tipo de cargas e sua frequência de aplicação, desgaste e deformabilidade. Os ensaios são formas de controlar a qualidade, comparar e selecionar materiais.

Conforme o material a ser ensaiado seja dúctil ou frágil, as condições de ensaio variam significativamente. Em materiais dúcteis, por exemplo, só é possível determinar com boa precisão as propriedades referentes à zona elástica (em que o material se deforma durante a tensão, mas volta ao seu estado inicial quando essa tensão é retirada), sendo impossível medir a carga máxima (ou de ruptura) exigida (SOUZA, 1982).

O presente trabalho tem como objetivo compreender melhor o processo de preparação, realização e análise de resultados obtidos pelo ensaio de compressão para o alumínio, especialmente quanto aos fenômenos de flambagem e de compressão com abaulamento central (“Efeito Barril”).

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os ensaios mecânicos permitem obter o conhecimento sobre como os materiais se comportam quando recebem esforços como a tração, compressão, flexão, torção, dobramento ou cisalhamento; bem como detectar suas falhas internas. Geralmente esses ensaios são destrutivos, que promovem a ruptura ou

inutilização do material, como é o caso do ensaio de compressão. Há também os ensaios não destrutivos, característicos por não inutilizar a peça ou corpo de prova ensaiado, como é o caso do ensaio de líquido penetrante (DAVIM, 2010).

A partir do ensaio de tração, é possível determinar parâmetros que se correlacionam com o comportamento de um material em compressão, mas o contrário não tem resultados positivos. Por esse motivo, o ensaio de compressão não é tão utilizado quanto o ensaio de tração. Estas distorções acontecem porque o ensaio de compressão apresenta algumas limitações, como o atrito entre o corpo de prova e as placas da máquina, a possibilidade de flambagem, a dificuldade de medida dos valores numéricos do ensaio, e por alguns outros fatores que provocam incidência considerável de erros (SOUZA, 1982).

Materiais dúcteis e materiais frágeis, especificamente em metais, comportam-se de modo diferente no ensaio de compressão. Enquanto que os metais frágeis não tem deformação lateral apreciável e se rompem por cisalhamento e escorregamento ao longo de um plano inclinado de aproximadamente 45°, praticamente sem fase elástica, os metais dúcteis sofrem grande deformação na fase plástica, às vezes sem atingir a ruptura (SOUZA, 1982 e Centro de Informação Metal Mecânica – CIMM).

Conforme Souza (1982), Callister (2005) e Costa e Silva e Mei (2010) o módulo de elasticidade é função apenas do material e da temperatura; sendo aproximadamente constante e igual a 69 GPa para o Alumínio. Ressaltando que composição química da liga de alumínio tem influência direta no módulo de elasticidade do material trabalhado.

Segundo Souza (1982) e o Centro de Informação Metal Mecânica (CIMM), o corpo de prova adotado para o ensaio de compressão tem a forma cilíndrica com relação comprimento/diâmetro variando de 3 até 8.

METODOLOGIA

Para a realização do ensaio de compressão utilizou-se uma Máquina de Ensaio Universais EMIC, modelo DL 10000, com sistema de aquisição de dados por meio do *software* Tesc versão 1.10 (presente em um computador acoplado à máquina) e um par de pratos fixos de compressão.

Foram utilizados 2 corpos de prova em liga de alumínio, usinados nas dimensões iniciais conforme Figura 1.



FIGURA 1. Dimensões dos CP utilizados no Ensaio de Compressão para análise da (a) Flambagem (CP1) e do (b) “Efeito Barril” (CP2).

Para a realização do ensaio de compressão os corpos de prova foram posicionados no centro dos pratos de compressão e uma carga axial foi gradualmente aplicada até que a carga máxima de 90 kN fosse alcançada ou, no caso da flambagem, que a estabilidade axial fosse comprometida; conforme configurações definidas pelo usuário. Ressaltando que a limitação da carga máxima em 90 kN objetiva não sobrecarregar a célula de carga, que tem limite de 100 kN.

Após a realização do ensaio, os dados coletados foram tratados, organizados e plotados com o auxílio do *software* Microsoft Excel 2010.

Das curvas carga x contração e tensão x deformação, avaliou-se o comportamento e a resposta do material quanto às solicitações de compressão impostas, os regimes de deformação ocorridos, o início do

processo de falha (quando presente) e o cálculo do módulo de elasticidade (E); conforme metodologias e equacionamentos propostos por Souza (1982).

A tensão de compressão (σ) pode ser obtida da equação (1), através dos resultados da curva carga x alongamento. As tensões limite de proporcionalidade (σ_p) e limite de escoamento (σ_E) são obtidas de análises gráficas da curva tensão-deformação. O Módulo de Elasticidade (E) foi calculado através do coeficiente angular da reta de regressão linear para a região elástica da curva tensão-deformação, através do software Microsoft Excel 2010. Tudo, conforme proposições e hipóteses derivadas das formulações de Souza (1982) e Callister (2006).

$$|\sigma| = \frac{4|Q|}{\pi D_0^2} \quad (1)$$

Definindo-se:

D_0 – diâmetro inicial, mm.

Q – módulo da carga aplicada, N.

σ - módulo da tensão de compressão, MPa.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A curva carga (Q) x contração (ΔL), para o CP1, conforme Figura 1 (a), encontra-se disponível na Figura 2. A Figura 3 (a) e (b) ilustra a configuração final deformada do corpo de prova após o término do ensaio.

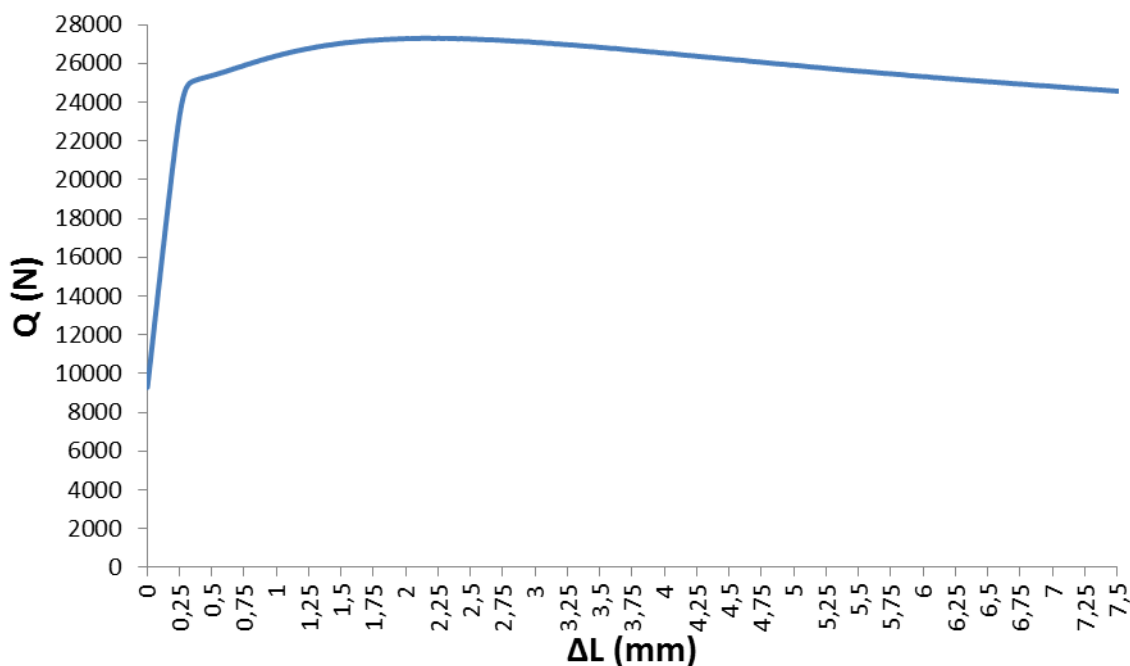


FIGURA 2. Curva Carga x Contração para o CP 1 no estudo da Flambagem.

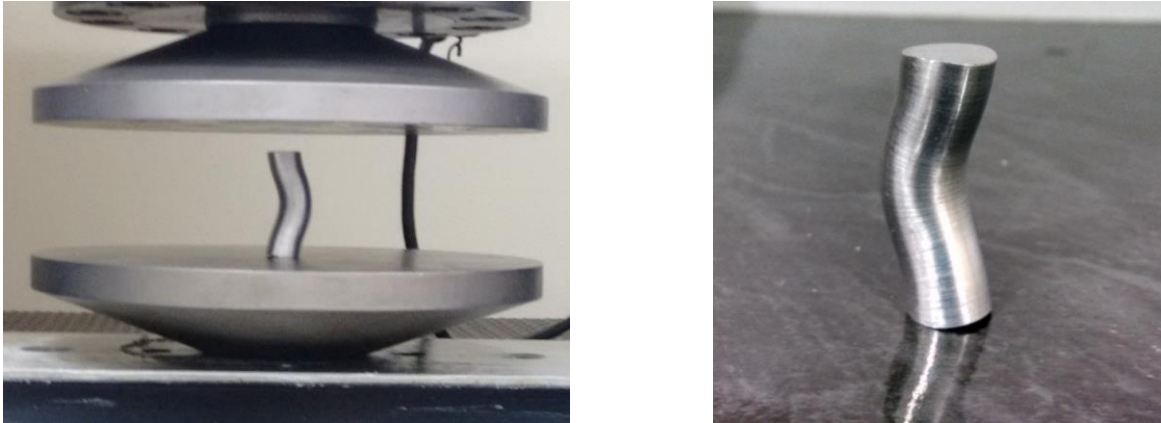


FIGURA 3. Configuração deformada do CP1 (a) imediatamente após o término do ensaio e (b) em ampliação frontal para estudo de Flambagem.

Da Figura 2 observa-se que o CP1 se mantém no regime linear-elástico até uma carga aproximada de 24000 N, com contração de 0,25 mm e tensão limite de proporcionalidade igual a $\sigma_p = 305,58MPa$, conforme equação (1). Observa-se que após o término do regime linear o material rapidamente atinge a carga crítica de 27500 N e falha por perda da estabilidade lateral, pelo fenômeno da flambagem. A Figura 3 ilustra a configuração deformada final, onde claramente se observa o deslocamento lateral do CP1 e a causa da falha.

As curvas carga x contração (ΔL) e tensão x deformação (ϵ) para o CP2, conforme Figura 1 (b), encontram-se disponíveis nas Figuras 4 e 5. A Figura 6 (a) e (b) ilustra a configuração final deformada do corpo de prova após o término do ensaio.

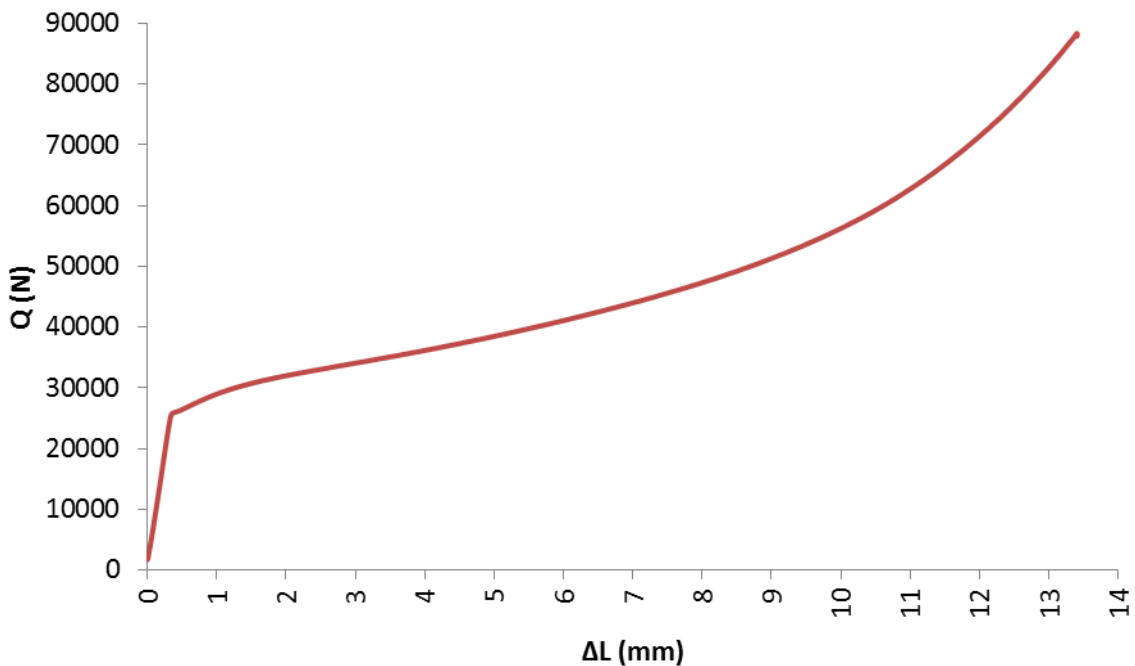


FIGURA 4. Curva Carga x Contração para o CP 2 no estudo do “Efeito Barril”.

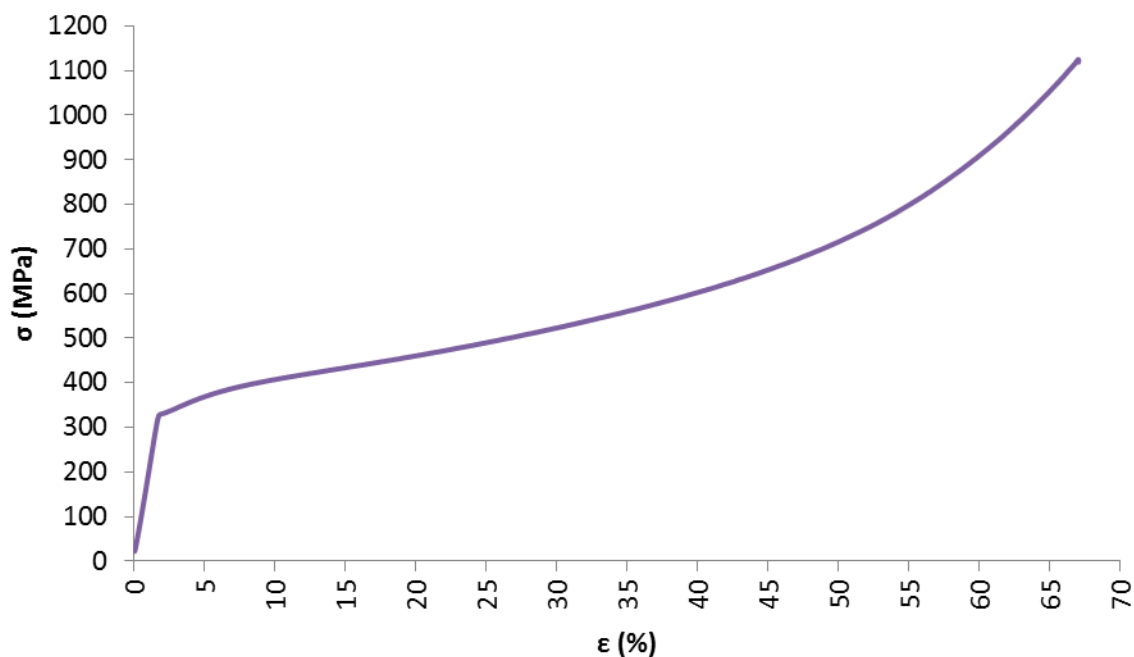


FIGURA 5. Curva Tensão x Deformação para o CP 2 no estudo do “Efeito Barril”.



FIGURA 6. Configuração deformada do CP2 (a) imediatamente após o término do ensaio e (b) em ampliação frontal para estudo do “Efeito Barril”.

Das Figuras 5 observa-se que o CP2 se mantém no regime linear-elástico até uma carga aproximada de 25000 N, com contração de 0,3 mm e tensão limite de proporcionalidade igual a $\sigma_p = 325 MPa$. Dessa forma observa-se uma boa concordância de resultados dos CP1 e CP2 em relação a tensão limite de proporcionalidade, ou seja, em relação as características de deformação linear elástica da liga de alumínio estudada.

Ainda das Figuras 5 e 6 observa-se que as curvas são côncavas para cima, visto que com a compressão o diâmetro e a seção transversal do material vão continuamente aumentando, ou seja, o material progressivamente vai tornando-se mais resistente em compressão até a ruptura em 45°; fato inverso ao que ocorre no ensaio de tração. Observando-se que o ensaio terminou pela limitação da célula de carga e não pela ruptura do material.

Em relação à tensão limite de escoamento utiliza-se a recomendação de norma de 0,2% de deformação percentual, visto que a liga de alumínio não apresenta patamar de escoamento visível. Dessa forma, conforme Figura 5, tem-se aproximadamente $\sigma_E = 330 MPa$.

A Figura 6 ilustra a configuração deformada final, onde claramente se observa a formação do abaulamento lateral ou o chamado “Efeito Barril”. Tal efeito é explicado pelas forças de atrito nas superfícies

em contato com os pratos de compressão que impedem o deslocamento dessas superfícies e forma o abaulamento central; o que pode ser reduzido pela utilização de lubrificantes.

Em relação ao cálculo do módulo de elasticidade, da Figura 5, obtém-se da reta de regressão linear no regime elástico $E = 18,53 \text{ GPa}$. Valor bastante discordante das referências bibliográficas, exatamente 3,7 vezes menor. Tal erro pode estar relacionado a diversos fatores, especialmente a (a) não utilização de extensômetros, que reduziriam os erros presentes no sistema de aquisição de dados pelas folgas, movimento dos fusos, etc. e melhorariam a qualidade dos resultados alcançados e (b) composição da liga de alumínio, que é desconhecida neste trabalho e cujo conhecimento forneceria maior precisão na busca de valores de referência.

CONCLUSÕES

A partir da metodologia aplicada e da análise dos resultados pode-se compreender melhor o processo de realização e análise de resultados no ensaio de compressão, especialmente quanto aos fenômenos de flambagem e de compressão com abaulamento central (“Efeito Barril”).

Comprovou-se, quantitativamente e qualitativamente, que o maior resultado da relação comprimento/diâmetro favorece o processo de falha por instabilidade lateral, por flambagem.

Das curvas obtidas podem-se avaliar as tensões limite de proporcionalidade e de escoamento, o início do processo de falha por flambagem, o comportamento de aumento de resistência do material pelo aumento da área em compressão e análise das configurações deformadas.

Em relação ao cálculo do módulo de elasticidade, o desconhecimento do tipo/código da liga de alumínio e a impossibilidade de realização da análise química do material limitaram a precisão e dificultaram a análise e justificativa dos resultados obtidos. Uma maior precisão foi obtida no CP1, em relação ao fenômeno da flambagem e uma divergência acentuada foi encontrada no CP2, em relação ao “Efeito Barril”. Dessa forma, maiores estudos e investigações em trabalhos futuros, a fim de entender melhor a causa de tais divergências, são estimulados.

REFERÊNCIAS

CALLISTER, W. D.; “**Materials Science and Engineering - An Introduction**”. John Wiley & Sons: New York, 2ª Ed, 2005.

CENTRO DE INFORMAÇÃO METAL MECÂNICA – “**ENSAIO DE COMPRESSÃO**”. Disponível em: < https://www.cimm.com.br/portal/material_didatico/6519#.Wa3MTrKGPIV > Data de Acesso: 31/08/2017.

DA COSTA E SILVA, A. L. V. e MEI, P. R.; “**Aços e Ligas Especiais**”. Blucher: São Paulo, 3ª Ed, 2010.

DAVIM, J. P.; MAGALHÃES, A. G. “**Ensaio mecânicos e tecnológicos**”, 3ª edição, 2010, p.56-60.

SOUZA, Sérgio Augusto de. “**Ensaio Mecânicos de materiais metálicos - fundamentos teóricos e práticos**”, 5ª edição, São Paulo, Blucher, 1982, p.163-171.