



ANÁLISE TEÓRICO-EXPERIMENTAL DOS RESULTADOS OBTIDOS NO ENSAIO DE TRAÇÃO PARA O AÇO SAE 1045 TEMPERADO E REVENIDO

SÍLVIO APARECIDO VERDÉRIO JÚNIOR¹

¹ Mestre em Engenharia Mecânica, Docente, IFSP Câmpus Araraquara, silvioverderio@ifsp.edu.br
Área de conhecimento (Tabela CNPq): Processos de Fabricação – 3.05.05.00-3

RESUMO: O ensaio de tração consiste na aplicação de uma força de tração uniaxial em um corpo de prova com dimensões normalizadas até a ruptura. É um ensaio destrutivo e pela facilidade de execução, reprodutividade dos resultados e elevado custo-benefício é um dos mais importantes meios de determinação das propriedades mecânicas dos materiais. O presente trabalho objetiva apresentar uma metodologia de avaliação das principais propriedades mecânicas e das dimensões finais do corpo de prova através dos resultados da curva tensão x deformação para o aço SAE 1045 temperado e revenido, sem a necessidade de medição das dimensões do corpo de prova ao final do ensaio. Objetiva também discutir as principais implicações dessa metodologia nas questões didático-pedagógicas no ensino de Ensaio de Materiais. Da curva os principais parâmetros das propriedades mecânicas foram avaliados e as dimensões finais do corpo de prova obtidas foram $L = 55,9$ mm e $D = 9,46$ mm. A metodologia de cálculo mostrou-se adequada, destacando-se, no entanto, a necessidade de maiores estudos para avaliação da qualidade e dos erros presentes nas hipóteses e formulações assumidas.

PALAVRAS-CHAVE: Ensaio de Tração; Propriedades Mecânicas; Deformações; Tensão x Deformação.

INTRODUÇÃO

De acordo com Bluhm e Morrissey (1965), Souza (1982) e Garcia (2012) o ensaio de tração é um dos mais importantes meios para determinação e avaliação de propriedades mecânicas, qualitativas e quantitativas, de materiais em Engenharia; visto a facilidade de execução, reprodutividade dos seus resultados e o maior custo-benefício em comparação a ensaios semelhantes.

Souza (1982) enuncia que o ensaio de tração consiste na aplicação de uma carga de tração uniaxial em um corpo de prova, com dimensões estabelecidas por normas específicas, onde as deformações distribuem-se uniformemente ao longo do corpo de prova até a tensão máxima suportada pelo material – tensão limite de resistência à tração (σ_r), onde pelo aparecimento do fenômeno da estrição (diminuição da seção transversal do corpo de prova) e o processo de encruamento não uniforme, a uniformidade de deformações termina. A ruptura ocorre na faixa de maior estrição do material, a não ser que defeitos internos promovam a ruptura em algum ponto fora dessa região, que é um fenômeno de rara ocorrência.

A precisão e qualidade dos resultados obtidos no ensaio de tração é função de diversos fatores, dentre eles a precisão dos equipamentos utilizados, taxas de deformações atingidas e técnicas/procedimentos de condução do ensaio. Materiais frágeis, com pequenas deformações, tendem a apresentar maior precisão de resultados numéricos e experimentais que materiais com grandes deformações, onde a grande variação da deformação em função da tensão aplicada torna mais complexo o processo de leitura numérica dos resultados, além de limitar a aplicação das hipóteses simplificadoras e reduzir a precisão das equações utilizadas na estimativa das dimensões finais do corpo de prova propostas por Souza (1982). Na montagem e execução do ensaio cuidados devem ser tomados para centrar bem o corpo de prova na máquina, garantindo-se que a carga seja efetivamente aplicada na direção axial, evitando que esforços assimétricos apareçam e ocasionem falsas leituras das deformações para uma mesma carga aplicada. Por fim, a velocidade do ensaio também é determinada por normas e métodos de ensaio específicos, utilizando-se velocidades da ordem de 1 kgf/mm²/s.

O presente trabalho objetiva, partindo-se da curva tensão x deformação obtida do ensaio de tração para o aço SAE 1045 temperado e revenido e das dimensões iniciais úteis do corpo de prova utilizado, apresentar uma metodologia para estimar quantitativamente e com boa precisão, as principais propriedades mecânicas e as dimensões finais do corpo de prova após a ruptura; sem a necessidade de medição das dimensões do corpo de prova ao final do ensaio. Objetiva também discutir as principais implicações dessa metodologia nas questões didático-pedagógicas no ensino de Ensaios Mecânicos e Propriedades Mecânicas dos Metais.

METODOLOGIA

Para a realização do ensaio de tração utilizou-se uma máquina de ensaios universais EMIC, modelo DL20000, com sistema de aquisição de dados através do Software Tesc versão 1.10, presente em um computador acoplado à

máquina. O corpo de prova de aço SAE 1045 temperado e revenido foi usinado e tem comprimento inicial útil de 50 mm e diâmetro transversal inicial de 10 mm. A Norma ABNT NBR ISO 6892-1: 2003 definiu os procedimentos de confecção do corpo de prova e técnicas para realização do ensaio. Após a realização do ensaio de tração, os dados coletados foram tratados, organizados e plotados através do software Microsoft Excel 2010.

Da curva tensão x deformação obtida avaliou-se os principais parâmetros de definição das propriedades mecânicas e as dimensões finais do corpo de prova, utilizando-se as metodologias e equacionamentos propostos por Souza (1982) e Callister (2000).

A tensão limite de proporcionalidade, tensão limite de escoamento (σ_E), tensão limite de resistência à tração, tensão de ruptura (σ_R) e o alongamento de fratura são obtidos de análises gráficas da curva tensão-deformação. O Módulo de Elasticidade 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.

A tensão limite de resistência à tração real (σ_i^{REAL}); obtida da curva tensão x deformação real ao considerarem-se as variações instantâneas da seção transversal durante o ensaio, foi calculada através da equação (1). A estimativa do comprimento final (L) e diâmetro da seção transversal final (D) do corpo de prova, bem como do coeficiente de estricção (Z) podem ser obtidas através das equações (2), (3) e (4). Para o cálculo da Dureza Brinell (HB) e do Módulo de Resiliência (U_R) utilizou-se, respectivamente, as equações (5) e (6). Todas, conforme proposições e hipóteses formuladas por Souza (1982) e Callister (2000).

$$\sigma_i^{REAL} = \sigma_i (1 + A_F') \quad (1)$$

$$A_F' = \left(\frac{L - L_0}{L_0} \right) \cdot 100\% \quad (2)$$

$$D^2 = \frac{D_0^2}{1 + A_F'} \quad (3)$$

$$Z = \left(\frac{D_0^2 - D^2}{D_0^2} \right) \cdot 100\% \quad (4)$$

$$\sigma_i \cong 3,45 \cdot HB \quad (5)$$

$$U_R = \frac{\sigma_p^2}{2E} \quad (6)$$

em que,

A_F' – alongamento de fratura, %.

D_0 – diâmetro inicial do corpo de prova, mm.

D – diâmetro final do corpo de prova após a estricção, mm.

E – módulo de elasticidade ou módulo de Young, MPa.

L_0 – comprimento útil inicial do corpo de prova, mm.

L – comprimento final do corpo de prova, mm.

σ_p – tensão limite de proporcionalidade, MPa.

σ_i – tensão limite de resistência à tração convencional, MPa.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A curva tensão x deformação convencional ou de engenharia obtida da plotagem dos resultados do ensaio de tração do aço SAE 1045 temperado e revenido encontra-se presente na Figura 1.

Da análise gráfica e numérica da curva e conforme a norma ABNT NBR ISO 6892-1: 2003 e Souza (1982) têm-se $\sigma_p = 840 \text{ MPa}$, $\sigma_E = 950 \text{ MPa}$, $\sigma_i = 1040 \text{ MPa}$, $\sigma_R = 760 \text{ MPa}$, $A_F' = 11,8\%$ e $E = 193620 \text{ MPa}$.

Das equações (1) a (6) obtêm-se $\sigma_i^{REAL} = 1162,72 \text{ MPa}$, $L = 55,9 \text{ mm}$, $D = 9,46 \text{ mm}$, $Z = 10,51\%$, $HB \cong 302$ e $U_R = 1,822 \text{ MJ} / \text{m}^3$. Ou seja, observa-se que o corpo de prova, até a ruptura e considerando-se a restituição elástica, alongou-se 11,8% em comprimento e sofreu uma estricção ou redução localizada de área transversal de 10,51%.

Necessário ressaltar que a avaliação das dimensões finais do corpo de prova, conforme equações (2) e (3), apresentou erros consideráveis, visto não considerar as variações de massa específica ocorridas no material pelo

fenômeno do encruamento e aproximar o volume final do corpo de prova em um cilindro regular. No entanto, a hipótese é bastante razoável e frequentemente utilizada em materiais frágeis, que apresentam baixíssimas deformações e cuja forma final do corpo de prova após a ruptura não se afasta muito da hipótese assumida. Maiores investigações e uma comparação teórico-experimental fazem-se necessárias para avaliação da qualidade das hipóteses e equações utilizadas e dos erros presentes.

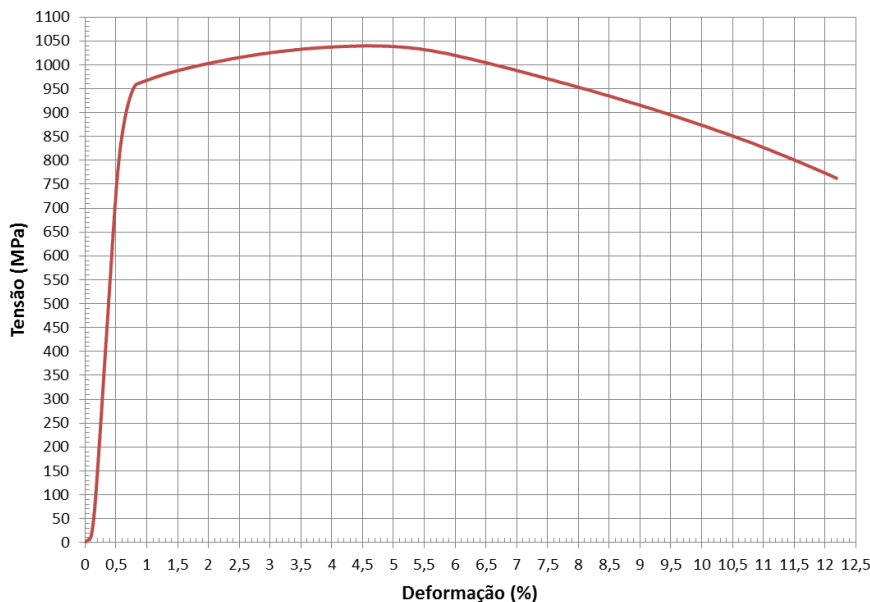


FIGURA 1. Curva Tensão x Deformação para o aço SAE 1045 temperado e revenido.

Através de comparação do valor fornecido pelo Software Tesc versão 1.10 para o Módulo de Elasticidade, observa-se a existência de um erro da ordem de 1,95% em comparação ao obtido pela análise estatística da reta de regressão linear na região elástica.

Pelas maiores dificuldades de cálculo e pela necessidade de software específico para integração numérica da área compreendida entre a curva tensão x deformação e a reta linear-elástica transportada ao ponto de ruptura, optou-se pela não avaliação da tenacidade neste trabalho. No entanto, cabe ressaltar, que poderia ser facilmente avaliada através da realização do ensaio de impacto Charpy e Izod.

CONCLUSÕES

Da metodologia aplicada e da análise dos resultados pode-se compreender o processo de avaliação das principais propriedades mecânicas dos metais através da curva tensão x deformação, sem a necessidade de medições e análises experimentais no corpo de prova após a ruptura, conforme descrito em Souza (1982). As limitações da utilização dessa abordagem e os principais erros associados foram discutidos. Como proposta para trabalhos futuros, uma comparação teórico-experimental seria importante na validação e avaliação dos erros presentes na formulação utilizada.

Com base na estimativa dessas propriedades, um maior conhecimento do material foi alcançado; o qual se mostra útil nos processos de seleção econômica e técnica de materiais e dimensionamentos em projetos de engenharia.

Por fim, em relação às questões didático-pedagógicas, a realização do ensaio de tração e a metodologia de análise dos resultados permitiu identificar e aplicar de forma clara o significado físico das principais propriedades mecânicas, bem como mostrou a utilização e necessidade prática de toda a formulação conceitual discutida durante as aulas e na literatura. Dessa forma, os discentes estariam mais estimulados e interessados nos conteúdos de Propriedades Mecânicas dos Metais e Ensaio Mecânicos.

REFERÊNCIAS

ABNT NBR ISO 6892-1: 2003; **Materiais Metálicos – Ensaio de Tração, Parte 1: Método de ensaio à temperatura ambiente.**

BLUHM, J. I., MORRISSEY, R. J.; **Fracture in a Tensile Specimen.** First International Conference on Fracture: Japan, pp. 1739-1780, 1965.

CALLISTER, W. D.; **Materials Science and Engineering - An Introduction.** John Wiley: New York, 5ª Ed, 2000.

GARCIA, A.; **Ensaio dos Materiais.** LTC: Rio de Janeiro, 2ª Edição, 2012.

SOUZA, S. A.; **Ensaio Mecânicos de Materiais Metálicos.** Edgard Blucher: São Paulo, 5ª Edição, 1982.