

ESTUDO COMPARATIVO DAS TENSÕES RESIDUAIS POR MESA DE COORDENADAS E DR-X NUMA JUNTA SOLDADA

A. V. Siqueira Filho¹, T.L. Rolim¹, Y. P. Yadava¹, F.I.B. Cardoso², P. B. Guimarães³,
R. A. S. Ferreira¹

¹Universidade Federal de Pernambuco; Departamento de Engenharia Mecânica, Av. Ac. Hélio Ramos s/n, Cidade Universitária, CEP 50740-530, Recife-PE.
anibal_siqueira@yahoo.com.br

²Escola Politécnica-POLI, Universidade de Pernambuco, Rua Benfica, 445, Madalena CEP 50.750-470 Recife-PE,

³Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco, Av Professor Luiz Freire, 500, Cidade Universitária-PE, CEP 50740-540, Recife-PE.

RESUMO

As tensões residuais de uma junta soldada do aço naval ASTM AH-32 foram medidas pelos deslocamentos (extensão) de pontos numa mesa de coordenadas (MC) antes e depois da soldagem, e por difração de raios-x (DR-X) após a mesma. Para todos os ensaios, a soldagem foi realizada com eletrodo revestido AWS E 7018 na posição G3 ascendente, por um soldador qualificado. Antes da soldagem, os corpos de prova foram submetidos à marcação, feita através de pequenos furos regularmente espaçados e mapeados numa mesa de coordenadas. Após a marcação, os corpos de prova foram submetidos ao processo de soldagem e a novas medições por (MC) para avaliar os deslocamentos produzidos pelas tensões geradas. Paralelamente, medições das tensões residuais foram feitas por DR-X para validação desta nova metodologia de medição.

Palavras-chave: Tensões Residuais, Mesa de Coordenadas, Difração de Raio-X

INTRODUÇÃO

Os métodos tradicionais de soldagem produzem alterações na camada superficial proporcionais a severidade das condições de processo. O processo de soldagem tende a gerar altas temperaturas e deformações plásticas excessivas.

As tensões residuais são tensões auto-equilibradas existentes nos materiais, em condições de temperatura uniforme e sem carregamento externo. Tais tensões são sempre produzidas, se regiões de um material sofrem deformação, plástica ou elástica, heterogênea de um modo permanente, segundo Macherauch et al ⁽¹⁾.

O conhecimento do nível de tensões residuais, presente nas peças de aplicações na engenharia, é sobretudo um fator de segurança para evitar problemas de acidentes e desastres. A quantificação do estado de tensões residual presente num componente, isto é, sua magnitude, orientação e distribuição, tornam possível determinar a performance do material sob diferentes condições de carregamento estático ou dinâmico. Este conhecimento é sempre vantajoso e primordial para a otimização de projetos, redução de peso e redução de custo. Em algumas situações, deseja-se conhecer o nível de tensões residuais simplesmente para qualificar processos que, normalmente, introduzem grande quantidade de tensões residuais, como o jateamento, granalhamento, soldagem, processos de trabalho a frio, fundição, conformação, usinagem e tratamentos térmicos, entre outros, segundo Rodacoski ⁽²⁾.

Para o desenvolvimento de uma metodologia experimental de medições de baixo custo foram preparados corpos de prova de juntas soldadas. Em seguida efetuado medições de tensões residuais pelos Métodos de Difração de Raio-X e Mesa de Coordenada.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os corpos de prova que foram utilizados para o trabalho experimental foram chapas de aço naval de classificação ASTM AH32 com dimensões de 200,00mm X 200,00mm X 19,00mm, bipartidas, com ângulos de Bixel de 25 graus.

As propriedades mecânicas do metal de base estão representadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Propriedades mecânicas do metal de base, segundo o Bureal Veritas ⁽³⁾.

	Limite de Escoamento (N/mm ²)	Limite de Resistência (N/mm ²)	Alongamento (%)
ASTM AH32	315 mín.	440-590	22 mín.

O metal de adição utilizado na soldagem foi o eletrodo revestido de classificação E7018, conforme norma AWS/ASME SFA 5.1 ⁽⁴⁾, com diâmetro de 3,25mm.

Para se medir a extensão dos deslocamentos de pontos da junta soldada foram feitos pequenos furos nos corpos de prova com uma furadeira de mesa, com broca de centro de 1/8 polegadas (3,125mm) de diâmetro por 2mm de profundidade. Dez pontos marcados em cada corpo de prova, para serem mapeados numa mesa de coordenadas antes do procedimento de soldagem. Estes pontos marcados em linha distavam entre si 10 mm. Duas linhas marcadas distando uma a 2,5 mm e outra a 5 mm da junção do cordão de solda com chapa, conforme mostrado esquematicamente na Figura 1.

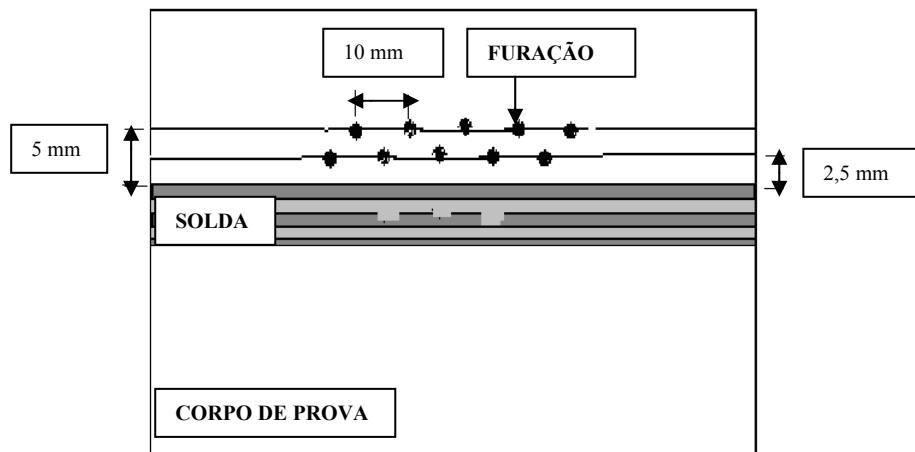


Figura 1 – Esquema de furação do corpo de prova

Depois do processo de soldagem, foram realizadas novas medições. Estes pontos foram determinados por estarem na ZTA (zona termicamente afetada). Os pontos com numeração ímpar são os mais próximos ao cordão de solda.

Antes de realizar a medição das tensões residuais por difração de raio-X, os corpos de prova passaram por um processo de decaagem eletrolítica. O equipamento utilizado para medição das tensões residuais foi um difratômetro portátil para medição em condições de campo, pertencente à Universidade Federal de Campina Grande UFCG – Campina Grande - PB.

Para obter os melhores resultados, a maior variação de pico $\Delta\theta$ possível para uma dada deformação no reticulado cristalino foi escolhido o mais alto ângulo θ possível para determinar o pico de difração. Em aços ferríticos ou martensíticos, uma excelente condição de análise é a determinação da deformação dos planos {211}, utilizando um feixe monocromático com comprimento de onda $\lambda=2,2911 \text{ \AA}$ conforme Lu et al ⁽⁵⁾. Este comprimento de onda é justamente o produzido por tubos de raio-X com anodo de cromo. A tensão de operação foi de 25 kV e a corrente de 50 mA. O método de medição utilizado foi o do $\sin^2\psi$, com medidas realizadas para $\psi = 0^\circ$, 20° , 30° , 35° e 45° . O Conjunto tubo de raio-X/detector foi montado sobre o corpo de prova a ser medido.

Foram medidas as tensões residuais após a soldagem com o difratômetro portátil no sentido transversal e longitudinal nos dez pontos.

Dos pontos medidos na mesa de coordenada foram encontradas as deformações geradas pelo processo de soldagem e calculada as tensões pela Eq. (A) e (B) segundo Okumura , ⁽⁶⁾.

$$\sigma_x = \frac{E}{1-\nu^2} (\varepsilon_x + \nu\varepsilon_y) \quad (\text{A})$$

$$\sigma_y = \frac{E}{1-\nu^2} (\varepsilon_y + \nu\varepsilon_x) \quad (\text{B})$$

Onde:

$E \rightarrow$ Modulo de elasticidade

$\sigma_x \rightarrow$ Tensão residual longitudinal - direção da solda [Pa];

$\sigma_y \rightarrow$ Tensão residual transversal - direção normal à linha da solda [Pa];

$\varepsilon_x \rightarrow$ Deformação na direção da solda;

ε_y → Deformação na normal a linha da solda;

ν → Coeficiente de Poisson.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

As medições das tensões nos dez pontos com o difratômetro portátil apresentaram-se compressivas e com valores independentes das distâncias em relação ao cordão de solda já que todas estão dentro da ZTA. Estes resultados obtidos por difração de raios-x estão de acordo com George et al ⁽⁷⁾ que encontram tensões da mesma ordem de valor. Entretanto, as medições das tensões residuais feitas a partir dos deslocamentos mapeados na mesa de coordenadas, previamente à soldagem, apresentaram valores discordantes em relação aos raios-X. A discrepância dos resultados justifica-se pelo fato da solda ter sido realizada em múltiplos passes, onde a cada passe era produzida a plastificação (deformação heterogênea na solda e adjacências); onde as tensões residuais eram, total ou parcialmente, aniquiladas no passe seguinte.

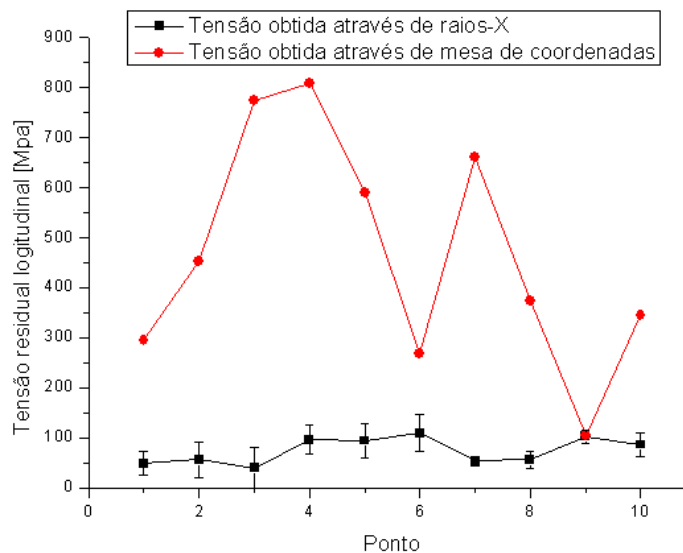


Figura 2 – Tensões residuais longitudinais obtidas por difratômetro de raios-X e deslocamentos em mesa de coordenadas após a soldagem.

Num processo feito em 10 passes, com plastificação e recristalizações sucessivas, era de se esperar que os deslocamentos sofridos pelos pontos mapeados previamente não expressassem exatamente o valor das tensões residuais, conforme mostrado na Figura 2.

Entretanto, quando as tensões residuais foram medidas a partir dos deslocamentos dos pontos mapeados por mesa de coordenadas após tratamento térmico de recozimento na junta já soldada, os resultados obtidos por este método aproximaram-se mais daqueles obtidos por difração de raios-X; conforme mostra a Figura 3.

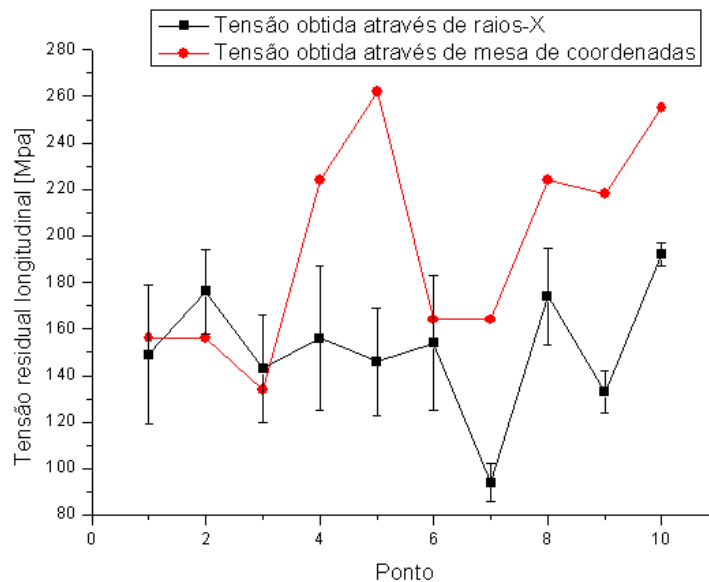


Figura 3 – Tensões residuais longitudinais obtidas por difratômetro de raios-X e deslocamentos em mesa de coordenadas após o tratamento térmico.

Estas divergências de valores sugerem uma mudança de rumo nesta metodologia. Para soldagem multi-passes devem ser considerados apenas os deslocamentos finais dos pontos referenciados, após o tratamento térmico para alívio de tensões conforme resultados apresentados na Figura 3. Para isto, os pontos para análise serão marcados e referenciados numa mesa de coordenadas somente após o processo de soldagem. Nestas condições serão incluídos pontos sobre o cordão.

Feito isto, a junta soldada será submetida a um tratamento para alívio de tensões e assim os deslocamentos produzidos pelo tratamento serão medidos numa mesa de coordenadas a partir dos quais as tensões serão calculadas.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos com a mesa de coordenadas mostraram que ainda necessitam ajustes, comparativamente aos valores obtidos por difração de raios-X. Para se melhorar a diferença entre os valores dos deslocamentos, deve-se realizar medições das coordenadas dos pontos mapeados no corpo de prova soldado e, após o tratamento térmico com temperatura próxima à temperatura de cristalização, então medir os desvios sofridos pelos respectivos pontos. Isto é, depois de tratadas, as juntas soldadas serão submetidas a novas medições por mesa de coordenada para avaliar os deslocamentos dos pontos previamente mapeados. Devem-se considerar ainda as alterações da circularidade dos furos produzidos pela recristalização.

REFERÊNCIAS

1. MACHERAUCH, E., WOHLFAHRT, H., “Different Sources of Residual Stress as Result of Welding”. In: *Proceedings of the International Conference on Residual Stress in Welded Construction and their effect*, v.1, pp. 267-280, London, 1997.
2. RODACOSKI, M. Roberto. Medição de tensões residuais com holografia eletrônica 2002.
3. BUREAU VERITAS Rules and Regulation for the Classification of Ships and Offshore Installation-Materials. Section 2. NR. 216DNCRO2E. 1997
4. ESAB, Catálogo de Produtos. Disponível em: www.esab.com.br acesso em: 11 de março 2010.

5. LU, J., BOUHELIER, C., LIEURADE, H. P., BARALLE, D., MIEGE, B., FLEVANOT, J. F. (1994). Study of Residual Welding Stress Using Step-by-step Hole Drilling and Xray Diffraction Method. **Welding in the World**, v. 33, n. 2, pp. 118-128.
6. OKUMURA, T.; TANIGUSGI, C. **Engenharia de soldagem e aplicações**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 1982.
7. GEORGE L. O.; HÉLIO C. M.; JESUALDO P. F. Avaliação das tensões residuais em tubos de pequeno diâmetro soldados pelo processo TIG orbital, In: Soldag. insp. (Impr.) vol.14 no.2 São Paulo Apr./June 2009. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0104-92242009000200003&script=sci_arttext acesso em: 23 de agosto 2010.

COMPARATIVE STUDY OF RESIDUAL STRESS BY TABLE OF COORDINATES AND DR-X IN A WELDED JOINT

ABSTRACT

Residual stresses in a welded joint of naval steel ASTM AH-32 was measured either by the displacements of referenced points with a coordinated table (CT) or by x-ray diffraction (X-DR) after welding. For all tests, the welding was performed by a certified welder in the SMAW process, using an AWS E 7018 G3 electrode. Before welding, small holes evenly spaced were made in the specimens to be mapped on a coordinated table (CT). After labeling, the specimens were submitted to the welding process and new measurements by (CT) to evaluate the displacements produced by the tensions generated. In parallel, residual stress were measured by DR-X for validation of this new measurement methodology.

Keywords: Residual Stress, Coordinate Table, X-Ray Diffraction