ANÁLISE DE DEFORMAÇÕES GERADAS PELO PROCESSO DE SOLDAGEM EM PEÇAS DE AÇO

Prof. Me. Fábio Goedel
Professor do curso de Engenharia Mecânica, Universidade de Passo Fundo.
goedel@upf.br
Diego Loregian
Acadêmico do curso de Engenharia Mecânica, Universidade de Passo Fundo.
diego.loregian@gmail.com

Resumo. *Este estudo visa analisar as deformações geradas pelo processo de soldagem em peças de aço, onde a ocorrência provoca atrasos nos cronogramas de fabricação. O conhecimento dos fatores que influenciam na deformação, por sua vez, permite análises preliminares, sendo as tensões residuais localizadas no interior dos elementos metálicos as principais responsáveis por tais imperfeições. A correção das distorções, processo também conhecido como calibração, é utilizada quando identificadas peças com o desempenho e a funcionalidade prejudicados por desvios dimensionais, ou seja, no processo de calibração são ajustadas as medidas das peças para que as mesmas atinjam tolerâncias aceitáveis. Como as distorções são problemas de processo, análises preliminares ao envio de projetos à fabricação e nos pontos de provável ocorrência de distorções permitem ações de controle antes que elas ocorram.*

Palavras-chave: *Soldagem. Deformações. Elementos finitos.*

1. INTRODUÇÃO

É objetivo deste estudo, verificar se as deformações podem ser previstas em análises de elementos finitos, relacionando situações reais com simulações virtuais na busca de resultados satisfatórios. Caso sejam, permitirão estender a situações de maior complexidade.

O conhecimento, com antecedência, do comportamento de uma peça após o processo de soldagem pode ser aplicado em estudos de controle das distorções.

A confirmação de qualidade e confiabilidade dos resultados obtidos em análises de elementos finitos possibilitará simular diversas situações antes de serem colocadas em prática, tendo então, já definida a melhor forma de execução.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Tensões residuais

As tensões residuais são definidas como tensões que existem em um determinado componente na ausência de qualquer esforço provocado por elementos exteriores (Wainer et al., 2010).

O conhecimento de sua existência é essencial para evitar falhas de execução do projeto, tais como, distorções dimensionais, falhas por fadiga, fraturas e corrosões. Ao mesmo tempo, podem ser utilizadas em correções, aplicando-as para obtenção do equilíbrio de tensões em um determinado elemento (Ribeiro, 2000).

Uma peça somente apresentará tensões residuais em seu interior se: a peça sofrer dilatação sobre efeito da elevação da

temperatura; o aquecimento não for uniforme; e o valor das tensões, obtidas através dos efeitos térmicos, exceder o valor do limite de escoamento do material aquecido (Wainer et al., 2010).

As tensões residuais podem ainda ser definidas como deformações plásticas não uniformes obtidas de forma mecânica ou térmica, uma vez que são encontradas em peças fabricadas pelos processos de: laminação, forjamento, conformação, corte, tratamentos térmicos e solda (Wainer et al., 2010).

2.2 Deformações ou distorções

São desvios permanentes que ocorrem em função de esforços aplicados ou desenvolvidos sobre determinados elementos, os quais ultrapassam o limite de escoamento do material, fazendo com que o mesmo se deforme plasticamente. (Marques et al., 2011).

A existência de distorções pode causar: imprecisões nos componentes; dificuldade de automação e redução da eficiência nos processos de fabricação; e perda da resistência estrutural (Amante, 2006).

As distorções foram classificadas por Masubuchi, em 1980, com relação ao tipo de perfil apresentado: transversal, longitudinal, angular, rotacional, flexão e de instabilidade (Amante, 2006).

3. RESULTADOS

3.1 Ensaios práticos

Os ensaios realizados nos corpos de prova foram executados no laboratório de soldagem e laboratório dimensional da Universidade de Passo Fundo (UPF), onde o cordão de solda foi desenvolvido utilizando um processo de soldagem com fluxo contínuo do metal de deposição, GMAW (Gas Metal Arc Weldin). A qualidade do material utilizados nos corpos de prova é de um aço estrutural ASTM A36.

Em uma primeira etapa foram executadas as montagens de três corpos de prova idênticos. Após foram medidas as dimensões em equipamento tridimensional, modelo PRISMO 10 Zeiss, e as peças unidas pelo processo de soldagem em um sistema robótico SULMIG, modelo AF-4011, reduzindo, desta forma, ao máximo as influências operacionais do processo. Novamente as dimensões foram conferidas em sistema de medidas tridimensional e os resultados iniciais de cada corpo de prova comparados com os resultados finais para avaliar quais distorções ocorreram.

Tanto as medições anteriores ao processo de soldagem quanto as medições posteriores, respeitam o sistema de referências apresentado na Figura 1.

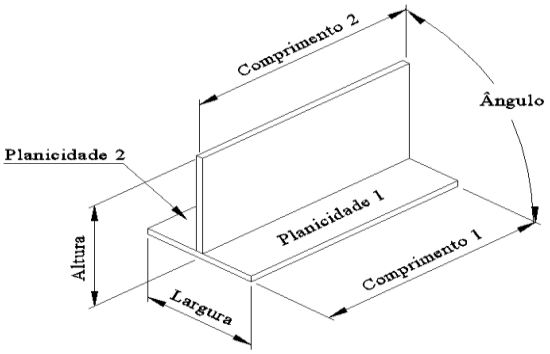

Figura 1. Referências de medição

Os resultados apresentados na Tabela 1 permitem a identificação dos tipos de distorções que ocorreram devido ao aquecimento da peça durante o processo de soldagem.

Tabela 1. Distorções medidas devido o processo de soldagem

Referências	Variação da dimensão antes e após o processo
Largura	0,0009 mm
Ângulo	0,2805 mm
Planicidade 1	-0,0948 mm
Planicidade 2	-0,1584 mm
Comprimento 1	0,1496 mm
Comprimento 2	0,2612 mm
Altura	-0,9414 mm

Os valores positivos indicam as regiões que apresentaram expansão do material após a soldagem, os valores negativos indicam as regiões com contração do metal soldado.

O gráfico apresentado na Figura 2, auxilia na identificação dos tipos de distorção que ocorreram. Este gráfico foi elaborado no sistema tridimensional, após o sistema realizar uma leitura de varredura da superfície dos planos um e dois.

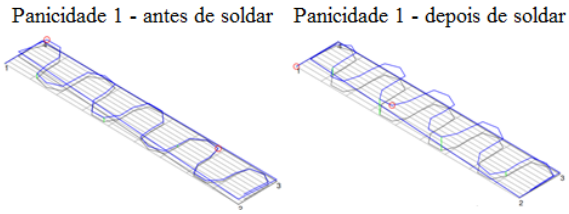

Figura 2: Representação gráfica da deformação no plano 1

3.2 Ensaios com o Método dos Elementos Finitos (MEF)

Com o auxílio do software ANSYS foram reproduzidas as principais condições do ambiente do laboratório de soldagem e dos corpos de prova, verificando, com os resultados gerados, se é possível prever quais distorções ocorrerão antes mesmo de uma peça entrar no processo de fabricação.

As análises foram elaboradas nos sistemas: “Transient Thermal” e “Static Structural”, permitindo visualizar de forma gráfica as tensões geradas e os sentidos das deformações durante o aquecimento da peça. Estas análises somente são possíveis se informadas as temperaturas e os pontos aquecidos com o arco elétrico gerado pelo processo de soldagem.

Os resultados gerados pelo sistema térmico foram vinculados à análise estrutural estático, permitindo desta forma verificar as tensões e deformações geradas.

Foram utilizadas as seguintes condições de contorno para os modelos dos ensaios com o MEF: 250 MPa, para o limite de escoamento do metal base; velocidade da solda de 45 cm/min; temperatura ambiente de 22 °C; três geometrias (duas peças de metal base e um cordão de solda); e malha com sistema tetraédrico com dez nós. Para o tamanho dos elementos finitos, foi aplicado no software o tamanho default, o qual gerou 12.006 elementos e 42.060 nós.

A Figura 3 apresenta a distribuição não uniforme das temperaturas. Tal distribuição de temperaturas é consequência do aquecimento da peça devido o arco elétrico gerado pelo processo de soldagem.

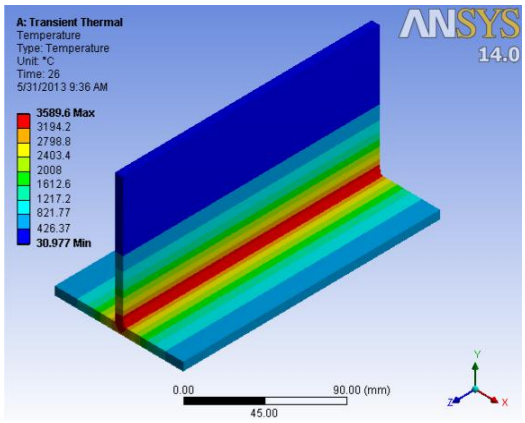

Figura 3. Não uniformidade das temperaturas durante o período de soldagem

A interface entre os resultados gerados através da análise térmica e análise estática estrutural geram por sua vez os resultados apresentados na Figura 4, tensões residuais geradas pelo aquecimento não uniforme da peça.

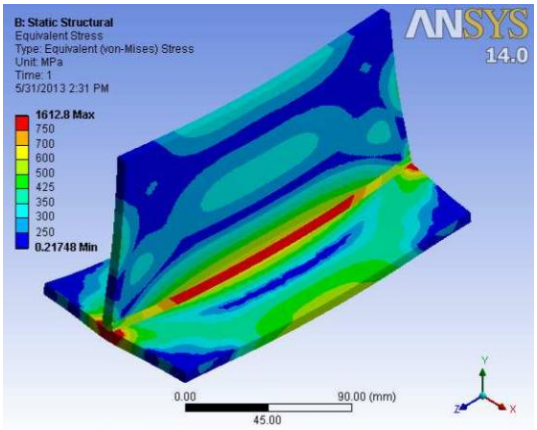

Figura 4. Tensões geradas no modelo devido a não uniformidade das temperaturas

As tensões residuais geram as deformações visualizadas na figura 5. Estes

valores apresentam o deslocamento do ponto analisado em relação a sua posição inicial.

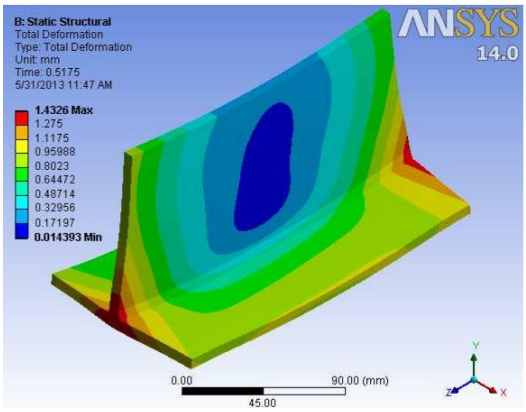

Figura 5. Deformação total gerada durante o aquecimento da peça.

4. CONCLUSÕES

Através do estudo da distribuição de calor é possível comprovar a não uniformidade das temperaturas em uma peça soldada. Este fato, segundo Wainer, Brandi e Mello, é uma das causas do surgimento de tensões residuais. Também é possível comprovar tal fato se desenvolvida uma análise em MEF com temperaturas uniformes, nesta será observado que as tensões residuais geradas não ultrapassam o limite de escoamento do material.

Para melhor análise das deformações geradas nos corpos de prova as medições dos resultados práticos deveriam ser realizadas em um scanner 3d, havendo a possibilidade de registrá-las em dois momentos, com a peça aquecida (segundos após a soldagem) e após a soldagem em temperatura ambiente. Através desta técnica de medição, é esperada uma melhora, na identificação dos tipos de deformação que ocorreram, juntamente com a precisão da intensidade apresentada pelas mesmas.

Mesmo com a deficiência de alguns resultados e medições é possível identificar os tipos de deformações que ocorreram e quais as regiões deformadas, identificando os locais da peça que ultrapassaram o limite de escoamento. É importante lembrar, que o limite de escoamento de um material é alterado com a variação da velocidade de resfriamento.

Analisando as deformações registradas nos experimentos realizados nos laboratórios da UPF, e os pontos de possível ocorrência verificados nos modelos de tensões gerados pelo software ANSYS, é possível perceber uma coerência entre os resultados do MEF e ensaios práticos, mesmo sem informações suficientes para validar as intensidades das deformações apontadas pelo MEF.

Não foi possível validar a intensidade das deformações obtidas através da análise do MEF, pois durante a análise não puderam ser associadas as tensões geradas pelo aquecimento com as tensões que permaneceram na peça após o resfriamento.

5. REFERÊNCIAS

AMANTE, Diogo do Amaral Macedo. **Imperfeições de fabricação na construção naval e offshore**. 2006. Dissertação de obtenção do grau de bacharel – Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/ CapitalHumano /Arquivos/PRH03/Diogo-Amaral-Macedo-Amante_PRH03_UFRJ-CO PPE_G .pdf>. Acesso em: 2 jul. 2012.

MARQUES, Paulo Villani; MODENESI, Paulo José; BRACANENSE, Alexandre Queiroz. **Soldagem: Fundamentos e Tecnologia**. 3ª edição atualizada. Belo Horizonte: UFMG, 2011.

RIBEIRO, Duperron Marangon. **Tecnologia da Solda**. Disponível em: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAABRE4AG/apostila>. Acesso em: 18 out. 2012.

WAINER, Emílio; BRANDI, Sérgio Duarte; MELLO, Fábio Décourt Homem de. **Soldagem: Processos e metalurgia. 7ª reimpressão**. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 2010.