



XIX Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica - 13 a 17/08/2012 – São Carlos-SP
Artigo CREEM2012

Análise das distorções ocorridas em peças submetidas à soldagem a ponto por resistência utilizando software de elementos finitos.

Renan Padovani^{1,2}; Eduardo T. Galvani¹; Carlos Sakuramoto³; Anderson Vicente Borille¹

¹ITA, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, Centro de Competência em Manufatura.
Praça Marechal Eduardo Gomes 50 – São José dos Campos – SP

²UNIFESP, Universidade Federal de São Paulo, Curso Engenharia de Materiais.
Rua Talin 330 – São José dos Campos – SP

³GMB, General Motors do Brasil.
Av. Goiás 1805 – São Caetano do Sul – SP

E-mail para correspondência: renanpadovani@gmail.com

Introdução

No processo de soldagem a ponto por resistência, a resistência elétrica que todo material metálico oferece à passagem de corrente elétrica é usada para geração de calor pelo efeito Joule.

As chapas de metal são submetidas simultaneamente a vários parâmetros, objetivando a geração do calor necessário para a fusão do material com a finalidade de junção das zonas fundidas (André V. Wentz, 2008). Os parâmetros que são controlados durante o período da soldagem são normalmente corrente, tempo e pressão do eletrodo. A passagem da corrente gera calor devido a resistência elétrica do material, efeito representado pela Eq. (1) (I. Ranjbar, 2007).

$$H = I^2 R T K \quad (1)$$

Onde H representa a geração de calor, I a corrente, R a resistência, T o tempo e K a perda de calor.

A etapas do processo consistem na preparação das chapas a serem soldadas, aproximação das chapas pelos clamps, início da pressão do eletrodo, passagem da corrente, geração de calor, a formação da zona fundida (ZF) e da zona termicamente afetada (ZTA) e a soltura dos *clamps* e eletrodos.(Dean Deng, 2008).

Devido a distribuição não uniforme de calor, tensões residuais são introduzidas no material ocorrendo forças de tração e compressão (Anastassiou,1990) que causam na peça distorções em relação ao formato estrutural inicial.

Observando que muitas das distorções são prejudiciais à finalidade do conjunto soldado, esforços são realizados no sentido de modificar a distribuição das tensões, e com isso suavizar deslocamentos. Uma das ações consiste na alteração da sequência de soldagem, objetivando uma alteração da tendência dos deslocamentos para regiões mais rígidas e menos suscetíveis a alterações conformacionais.

Com a finalidade de prever os deslocamentos e aperfeiçoar o processo de soldagem, softwares com base em elementos finitos são empregados para simular diferentes sequências e parâmetros de soldagem.

Objetivo

Analisar a distorção de determinado modelo, com base na simulação de elementos finitos, que foi submetido a duas sequências diferentes de soldagem, observando as distorções globais e pontuais durante o processo, definindo a melhor sequência.

XIX Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica - 13 a 17/08/2012 – São Carlos-SP
Artigo CREEM2012

Modelo

Na Figura 1 é ilustrada a peça tridimensional cujas dimensões são 550 mm no eixo X, 250 mm no eixo Y e 235,95 mm no eixo z. As chapas que compõem a peça são nomeadas como “Superior” e “Inferior”, com espessuras de 1,3 mm e 1,0 mm, respectivamente.

A soldagem é composta por 32 pontos de solda com espaçamento de 35 mm entre os centros destes e um espaçamento das laterais de 12,5 mm no eixo X e 8 mm no Eixo Y.

O modelo é formado, primeiramente, como sólido e na preparação do processo é gerada uma malha de elementos finitos com 96574 elementos, do tipo quadrado-triangular-linear.

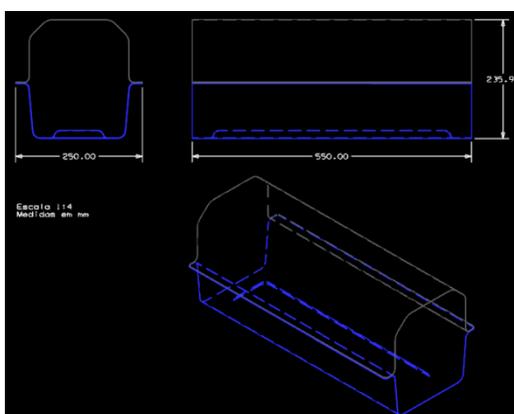


Figura 1 – Modelo tridimensional

Software

O software utilizado para a simulação foi o Weld Planner V3.0 da empresa ESI-Group. Para o cálculo da distorção provocada pela soldagem são usados os parâmetros mostrados na Tab. 1 e na Fig. 2. A Fig. 2 mostra a curva de tração do material que é o principal item incluído nas equações base para o cálculo da distorção.

Propriedade	Valor
Módulo de elasticidade(N/mm ²)	210000
Coefficiente de Poisson	0.3
Coefficiente de expansão térmica(1/K)	0.00001210
Temperatura de fusão do material(°C)	1550
Diâmetro da zona fundida(mm)	4

Tabela 1 – Parâmetros usados nos cálculos.

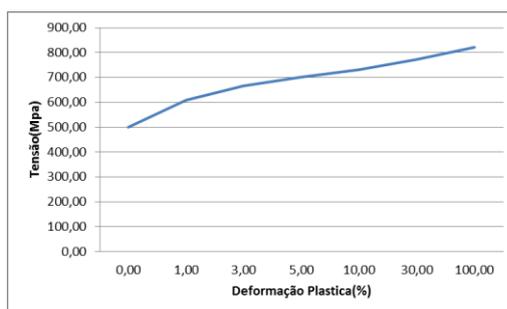


Figura 2 – Curva tensão-deformação

XIX Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica - 13 a 17/08/2012 – São Carlos-SP
Artigo CREEM2012

Os métodos utilizados para a formação dos resultados de distorção não consideram a transferência de calor. A temperatura somente é necessária para impor um valor de início do efeito de encolhimento do material no ponto de solda.

Metodologia

A metodologia adotada foi a criação de um modelo com o mesmo padrão de elementos, localização dos pontos de solda e parâmetros do processo de soldagem. Foram realizadas alterações somente na sequência de soldagem.

A primeira sequência consiste na soldagem em formato de X, iniciando a soldagem com duas garras de solda, com os primeiros pontos sendo em extremidades e lados diferentes e seguindo linearmente, como mostra a Fig. 3. A Tabela 2 apresenta quais pontos foram soldados em cada etapa do processo, sendo que a primeira etapa consiste no fechamento dos *clamps*, e a última a abertura dos *clamps* e o efeito de retorno elástico.

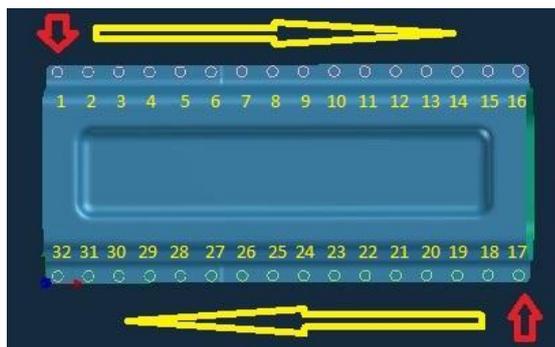


Figura 3 – Primeira sequência de soldagem.

Etapa	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Pontos Soldados	x	1; 17	2; 18	3; 19	4; 20	5; 21	6; 22	7; 23	8; 24	9; 25	10; 26	11; 27	12; 28	13; 29	14; 30	15; 31	16; 32	x

Tabela 2 – Pontos soldados em cada etapa.

Na segunda sequência de soldagem foram usadas quatro garras de soldagem, onde cada uma inicia o processo em uma extremidade e lado diferente da peça, chegando até o ponto posicionado na metade do modelo, onde o próximo ponto já foi soldado pela garra que iniciou na outra extremidade devido a limitações físicas do processo, como traz a Fig. 4. Na Tabela 3, observa-se quais pontos foram soldados em cada etapa, mostrando também na primeira etapa o fechamento dos *clamps* e na última sua abertura e o efeito de retorno das deformações plásticas.

XIX Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica - 13 a 17/08/2012 – São Carlos-SP
Artigo CREEM2012

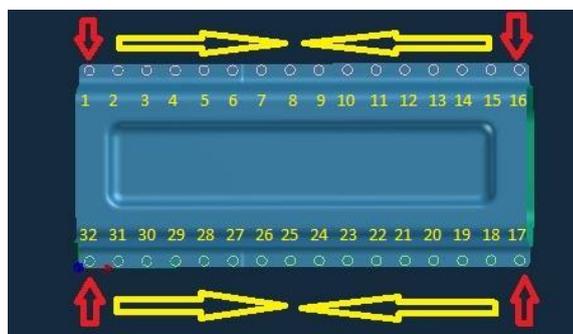


Figura 4 – Segunda sequência de soldagem.

Etapa	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Pontos Soldados	X	1; 32	16; 17	2; 31	15; 18	3; 30	14; 19	4; 29	13; 20	5; 28	12; 21	6; 27	11; 22	7; 26	10; 23	8; 25	9; 24	X

Tabela 3 – Pontos soldados por etapa durante o processo.

Resultados

As distorções podem ocorrer para todos os eixos, porém analisou-se os resultados no eixo Y, já que as distorções do modelo foram mais significativas para os objetivos da pesquisa.

A Figura 5 mostra o resultado da simulação no eixo Y da peça submetida à soldagem pela primeira sequência realizada. A Figura 6 traz os valores da distorção por etapa da soldagem após a primeira sequência de soldagem proposta ser realizada.

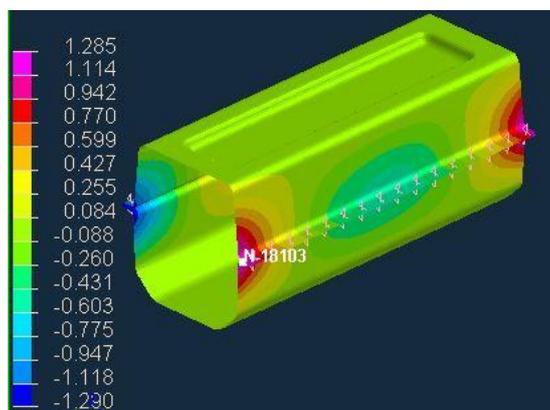


Figura 5 – Deslocamento em milímetros da primeira sequência no eixo Y.

XIX Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica - 13 a 17/08/2012 – São Carlos-SP
Artigo CREEM2012

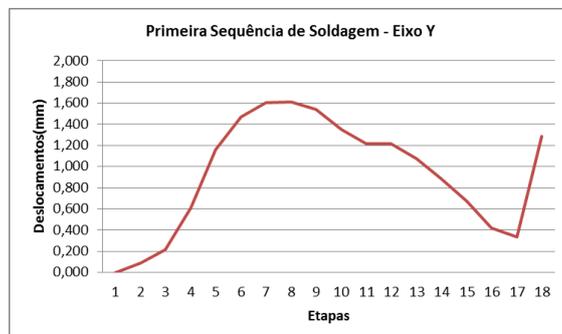


Figura 6 – Gráfico das distorções por etapa de soldagem

Na Figura 7, tem-se demonstrado a distorção do modelo para o qual foi realizada a segunda sequência de soldagem, usando quatro garras para realização dos pontos e na Fig. 8 tem-se o gráfico das distorções por etapas no processo.

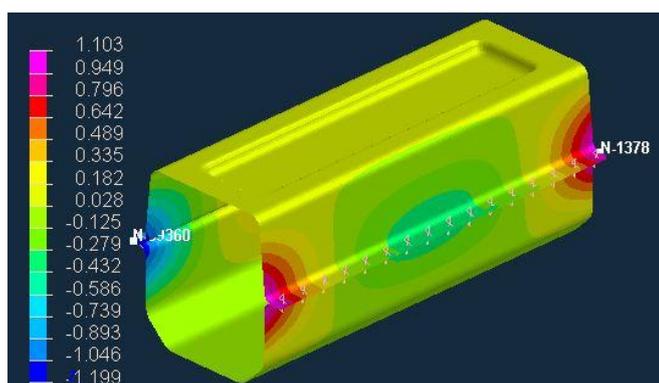


Figura 7 – Distorções em milímetros da segunda sequência no eixo Y.



Figura 8 – Gráfico da sequência dois mostrando a distorção por etapa.

Discussão

As duas sequências de soldagem foram realizadas com modelos de características iguais e mesmos padrões de preparação dos elementos.

Comparando os valores absolutos das duas sequências observa-se uma diferença numérica entre a primeira e a segunda simulação mostrando que a sequência número dois apresentou menor valor máximo de distorção.

XIX Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica - 13 a 17/08/2012 – São Carlos-SP

Artigo CREEM2012

Examinando os resultados mostrados na Tabela 4, observa-se que na primeira sequência existe, durante o processo, um valor que é maior em relação ao valor final de distorção, mostrando que esta sequência pode gerar mais distorções elásticas.

Sequência realizada	Primeira	Segunda
Maior Valor de distorção	1,611 mm	1,103 mm
Valor Final da distorção	1,285 mm	1,103 mm

Tabela 4 – Resultados das distorções finais e durante o processo.

Analisando os gráficos da distorção por etapa de soldagem, que consiste em mostrar a cada ponto feito pelos eletrodos usados no processo o deslocamento resultante, observou-se uma menor variação das distorções por etapa na segunda sequência, que utiliza quatro garras de soldagem no processo.

Na transição da etapa dezessete para a dezoito apresentou-se um pico no valor da distorção que pode ser explicado pela soltura dos *clamps* ocasionando uma redistribuição do deslocamento visto que ocorre uma liberação da pressão exercida anteriormente pelos *clamps*.

Uma comparação dos resultados com o objetivo de saber qual a sequência que traz menor distorção final e menor variação por etapas mostra que a segunda sequência foi a melhor para o modelo estudado.

Conclusões

Todos os resultados mostraram uma tendência de que a segunda sequência de soldagem apresentou melhor desempenho para o conjunto soldado, tanto quanto na análise global, como na pontual do valor final das distorções.

Outros estudos podem levar em consideração questões comerciais para definir o melhor processo para a soldagem deste conjunto.

Agradecimentos

Os autores agradecem o Centro de Competência em Manufatura do Instituto Tecnológico de Aeronáutica pela disponibilização da infraestrutura para realização do trabalho, a ESI-Group pela disponibilização do software e ao Ronaldo Zolin, da General Motors do Brasil pela confecção do modelo de simulação utilizado neste trabalho.

Referências Bibliográficas

Anastassiou, M., Babit, M., Lebrun, J.L., 1990. Residual stress and microstructure distribution in spot welded steel sheets: relation with fatigue behavior. Mater. Sci. Eng. A 123, 141–156.

André V. Wentz, 2008, Tese de Mestrado: Simulações de soldagem por arco e resistência elétrica usando o método de elementos finitos, UFRGS.

Dean Deng, 2007, FEM prediction of welding residual stress and distortion in carbon steel considering phase transformation effects, Materials e Design.

Ranjbar Nodeh et al, 2007, Simulation of welding residual stresses in resistance spot welding, FE modeling and X-ray verification, Elsevier.