

EFEITO DA REFRIGERAÇÃO FORÇADA DA POÇA DE FUSÃO NAS DISTORÇÕES ANGULARES EM CORDÕES DE SOLDA SOBRE CHAPA DE AÇO DE BAIXO CARBONO¹

Leonardo Horta Miranda²
Alexandre Queiroz Bracarense³

Resumo

O objetivo desse trabalho foi verificar a evolução da distorção angular em chapas de aço baixo carbono, ASTM A-36, com diferentes geometrias e utilizando ou não refrigeração forçada da poça de fusão com dióxido de carbono. Realizando-se cordões de solda sobre chapa, engastada em uma das extremidades, sendo que a evolução da distorção angular monitorada por sensor ótico (laser). O processo de soldagem utilizado foi o FCAW (Flux Cored Arc Welding) robotizado. A análise dos resultados mostrou que é possível utilizar resfriamento da poça de fusão para redução da distorção angular. No início da soldagem, a chapa distorce-se no sentido negativo (expansão) e posteriormente começa a distorcer-se no sentido positivo (contração) e algum tempo após a soldagem a distorção é estabilizada. Com o resfriamento as tensões térmicas geradas devido o processo de soldagem proporcionam uma redução significativa nas tensões compressivas nas extremidades das chapas, que estão afastadas do cordão de solda, ocorrendo também um aumento da largura da zona de tração próximo ao cordão de solda. Isto foi atribuído ao aparecimento de uma zona de compressão ao redor da solda por causa do rápido resfriamento da mesma, gerando uma menor distorção da chapa (van der Aa et al.).

Palavras-chave: Distorção angular; Tensões térmicas; Resfriamento.

EFFECT OF FORCED REFRIGERATION OF THE FUSION POOL IN THE ANGULAR DISTORTION IN BEAD ON PLATE WELDING IN LOW ALLOY STEEL

Abstract

The objective this work was verify the evolution of angular distortion on low alloy steel plates, ASTM A-36, with different geometry and using or don't forced refrigeration of fuion pool with dioxide of the carbon. Achieving bead on plate welding, fixed on one extremity, being that the evolution of angular distortion monitor by optical sensor (laser). The welding process utilizy was FCAW (Flux-Cored Arc Welding) robot. The analyses of the results showed that is possible utilizy refrigeration of pool of the fusion for redution of angular distortion. In the start of welding, the plate distortion in the negative sense (expansion) and after starts the distortion in the positive sense (shrinkage) and some time after welding the doistortion was estabilized. With the refrigeration the thermal tensions generate due welding process proposed a significate redution in the compressives tensions in the extremity of plates, that are away of the weld bead, occurence a increase of width of tension zone near in the weld bead. This was atribuite at appearence of the a compression zone near weld by cause of the fast refrigeration of the weld, generate a minor distortion of plate (van der Aa et al., 2005).

Key words: Angular distortion; Thermal tensions; Refrigeration.

¹ Contribuição técnica apresentada na 61º Congresso Anual da ABM, de 24 a 27 de julho de 2006, Rio de Janeiro – RJ

² MSc., Laboratório de Robótica, Soldagem e Simulação, Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Mecânica. lehortamir@yahoo.com.br

³ PhD Laboratório de Robótica, Soldagem e Simulação, Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Mecânica. bracarense@ufmg.br

1 INTRODUÇÃO

Atualmente a soldagem é aplicada não somente a metais. Um conceito antigo a definiu como sendo, “união de metais por fusão”, entretanto hoje já existem processos que as peças se unem sem se fundir. Os processos de soldagem consistem na deposição do material sobre uma superfície ou uma junta para a união de peças ou recuperação daquelas desgastadas. Os processos de corte ou recobrimento possuem características bem semelhantes aos de soldagem em relação aos aspectos térmicos.⁽¹⁾

O campo de pesquisa em relação à soldagem é ampliado diariamente, pois surgem novas ligas de materiais, os quais necessitam de ser unidos. Estes estudos objetivam o aperfeiçoamento dos equipamentos e consumíveis de soldagem e ainda a diminuição dos efeitos térmicos provocados pelos processos de soldagem, buscando os melhores parâmetros para um cordão de solda de boa qualidade e que assegure a qualidade do produto final.

Outra área que está revolucionando e trazendo grande avanço tecnológico na soldagem é a robótica. Ela torna o processo muito mais produtivo, ou seja, maior número de peças produzidas em determinado tempo, além de garantir maior repetitividade das soldas e o produto final possuir melhor acabamento comparando-se a processos manuais.

Processos manuais quanto os automatizados devem buscar parâmetros de soldagem que proporcionem uma diminuição dos efeitos térmicos provocados pela soldagem, tais como: distorções e tensões residuais. Os parâmetros de soldagem devem ser monitorados e controlados durante o processo.

Tensões térmicas podem originar tensões residuais em estruturas soldadas. O nível de tensões residuais e de tensões térmicas depende do nível de restrição a qual a peça estiver submetida. Quando o material apresenta baixo nível de restrição, as tensões térmicas se manifestarão em distorções e em tensões residuais. Quando o material soldado não possuir restrição ele ficará somente distorcido.⁽²⁾

A distorção é um problema antigo em soldagem devido ao aporte térmico introduzido pelo processo. Existem algumas técnicas para minimizá-la, tais como: pré-deformação, pré-aquecimento e seqüência de soldagem.

Logo, este trabalho visa à diminuição da distorção angular em chapas de aço de baixo carbono utilizando-se dióxido de carbono para resfriar a poça de fusão, o dióxido de carbono foi injetado através de um bico acoplado a uma mangueira presa a tocha de soldagem.

2 METODOLOGIA

Foram realizados testes experimentais no laboratório de robótica, soldagem e simulação da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Utilizou-se o processo de soldagem de arame contínuo e proteção gasosa Flux Cored Arc Welding FCAW⁽³⁾ e um robô Motoman, no qual foi acoplado uma tocha de soldagem.

Para monitoração das distorções angulares utilizou-se um sensor de deslocamento (laser), este foi colado a uma chapa dobrada de aço galvanizado com um cola resistente a altas temperaturas e na sua base inferior foi fixado um imã. Posicionou-se este dispositivo em uma das extremidades do corpo de prova e a outra ficou engastada. O feixe de laser varia de posição de acordo com a evolução das distorções devido à operação de soldagem. Essas variações do feixe de laser

projetadas sobre um papel milimetrado foram monitoradas com uma filmadora digital, antes, durante e após soldagem, sendo assim, teve-se o histórico das distorções em um ponto afastado do cordão de solda.

A Figura 1 mostra a descrição geométrica dos corpos de prova em formato retangular (testes 1 a 10) e a Figura.2 mostra os corpos de prova de formato “halter” (testes 11 a 20) e a Tabela 1, mostra o procedimento experimental adotado para ambos os casos. Utilizou-se uma máquina de soldagem MotoArc 450 de fabricação da Motoman, de tensão constante, corrente contínua e tocha de soldagem conectada no pólo positivo da fonte de energia (polaridade inversa) para a execução do cordão de solda. Para permitir a comparação entre os testes, manteve-se inalterados os parâmetros de soldagem: corrente de 220 ± 5 ampères, tensão de 21,5 volts, gás de proteção Star Gold Tub da White Martins (25% CO₂ e 75% Ar) com vazão de 17,5 l/ min, a velocidade de soldagem utilizada foi de 3mm/s, o arame utilizado foi o tubular ET1T-1 da ESAB de diâmetro de 1,2 mm, temperatura ambiente de 25°C, distância entre a extremidade do bico de contato da tocha e a peça de trabalho (*stick out*) de 14 mm. Nos testes 21 a 30, utilizou-se um cilindro de dióxido de carbono conectado a uma mangueira flexível de aço inoxidável resistente a baixas temperaturas em torno de -200°C. Na ponta da mangueira foi rosqueado um bico de aço com diâmetro de saída de 0,4mm, com o objetivo de aumentar a pressão de saída e o dióxido de carbono liquefeito transformar-se em um gelo seco solidificado, sendo que esta mangueira foi presa à tocha de soldagem. O bico injetor ficou a uma distancia de 25 mm da tocha de soldagem e a altura de 7mm do corpo de prova, como apresentado na Figura.3.

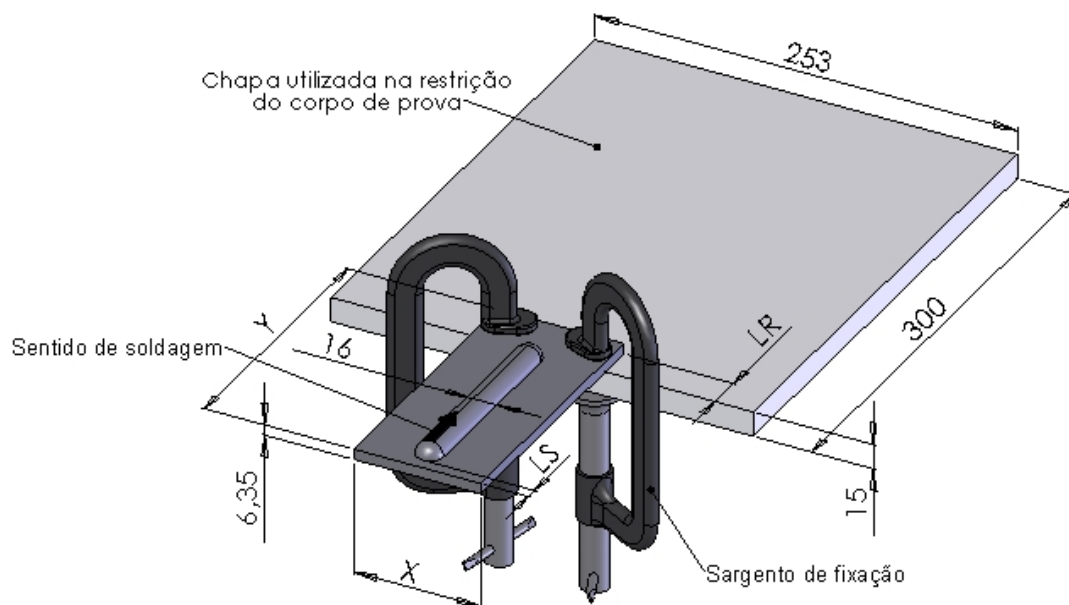


Figura 1. Geometria dos corpos de prova dos testes de 1 a 10 (Chapa retangular)

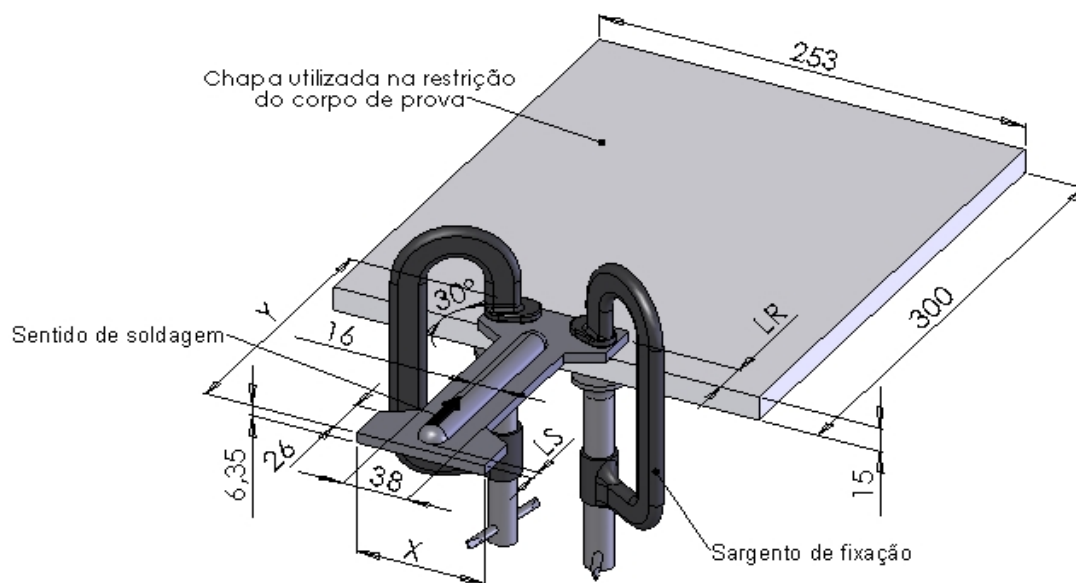


Figura 2. Geometria dos corpos de prova dos testes de 11 a 30 (Chapa “halter”)

Tabela 1. Procedimento experimental

Corpos de prova	1 a 30
Tempo de soldagem (s)	40
Comprimento do cordão de solda (mm)	127
Comprimento do corpo de prova engastado "LR" (mm)	28
Distância do início do cordão de solda a extremidade do corpo de prova "LS" (mm)	7
Largura do corpo de prova "X" (mm)	76
Comprimento do corpo de prova "Y" (mm)	164

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Realizou-se os testes de 1 a 10, utilizando chapas de formato retangular (Figura.1), mantendo-se constante os parâmetros de soldagem. A análise direta dos resultados (Figura 3), mostra que após o início da soldagem a chapa distorce-se no sentido negativo (expansão) e posteriormente distorce-se angularmente no sentido positivo (contração) até um pouco depois da operação de soldagem a qual possui distorção angular máxima. A continuidade do monitoramento, mostrou que a distorção angular vai diminuindo sentido negativo até atingir um ponto estável quando termina-se o monitoramento.

Nos primeiros 2s de soldagem dos testes de 1 a 10, verificou-se que a chapa sofre uma distorção angular negativa (expansão), isto é com o início da soldagem, o arco elétrico forma uma poça de fusão na chapa,⁽⁴⁾ promovendo uma relaxação de tensões neste local⁽⁵⁾ e como estes materiais geralmente já possuem tensão residual devido a processos de fabricação, este relaxamento somado as tensões térmicas geradas pela poça de fusão com o metal de base, promovem a expansão da chapa.



Figura 3. Montagem experimental dos testes 21 a 30

Com a continuidade do cordão de solda após os 2s iniciais, este trecho começa a se resfriar e tensões térmicas longitudinais de tração⁽³⁾ começam a surgir e superam as tensões térmicas longitudinais de compressão que a poça de fusão gera, promovendo a contração ou distorção angular positiva desse material.

A contração do material permanece até em torno de 43s, um pouco após o término da soldagem (40s). Posteriormente o cordão de solda começa a se solidificar e produz tensões térmicas transversais de compressão e tensões longitudinais de tração,⁽³⁾ reduzindo assim a distorção angular.

Em torno de 80s as chapas atingiram o ponto de estabilidade, a qual elas não mais distorciam.

Os testes 11 a 20, foram realizados para verificar se a evolução da distorção angular varia em diferentes geometrias de corpos de prova, utilizando os mesmos parâmetros de soldagem. O formato desses corpos de prova, cuja denominação nesse trabalho foi “halter” estão descritos na Figura.2. A análise direta dos resultados, Figura 7, mostra que a distorção angular máxima com essa geometria de corpo de prova foi significativamente maior que a distorção angular máxima com a geometria retangular, pois com essa geometria, o calor teria maior massa para se propagar por condução, estas regiões mais frias da vizinhança funcionariam como restrições e a distorção angular seria menor, ou seja, a geometria do corpo de prova funciona como restrição à distorção.⁽⁶⁾

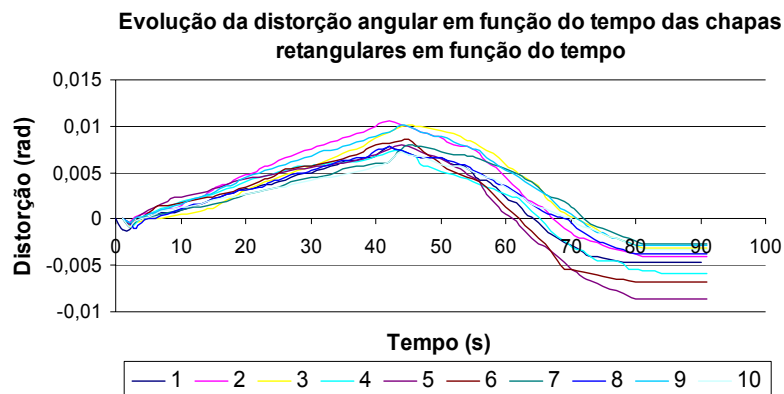


Figura 4. Evolução da distorção angular das chapas retangulares em função do tempo. (Testes de 1 a 10)

Nos testes 11 a 20, observou-se expansão no corpo de prova somente no 1s inicial, comportamento relativamente próximo às chapas retangulares.

Após o tempo de 3s de início da soldagem, as peças começaram a se contrair (expansão angular positiva), até aproximadamente 60s, a região central dessas chapas tinha a largura reduzida, portanto as regiões da vizinhança que são mais frias por onde o calor poderia se propagar eram menores, promovendo então um maior acúmulo de calor numa menor massa e resultando em uma maior distorção angular. O tempo de contração dessa geometria foi superior a da geometria retangular, pois o calor pode ter se concentrado nas extremidades dessa região central e sendo a propagação mais lenta.

Após aproximadamente 60s e com o arco elétrico já extinto, a chapa distorce-se no sentido negativo, com mesmo comportamento da chapa retangular.

Após aproximadamente 120s, ocorre à estabilização da distorção da chapa.

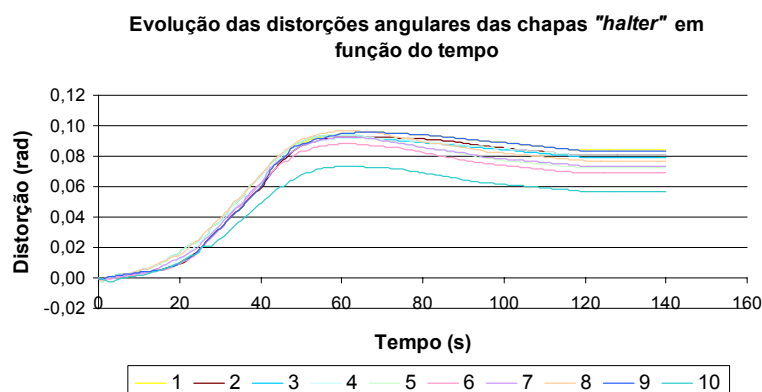


Figura 5. Evolução da distorção angular das chapas "halter" em função do tempo. (Testes 11 a 20)

Evolução das distorções angulares das chapas "halter" com refrigeração em função do tempo

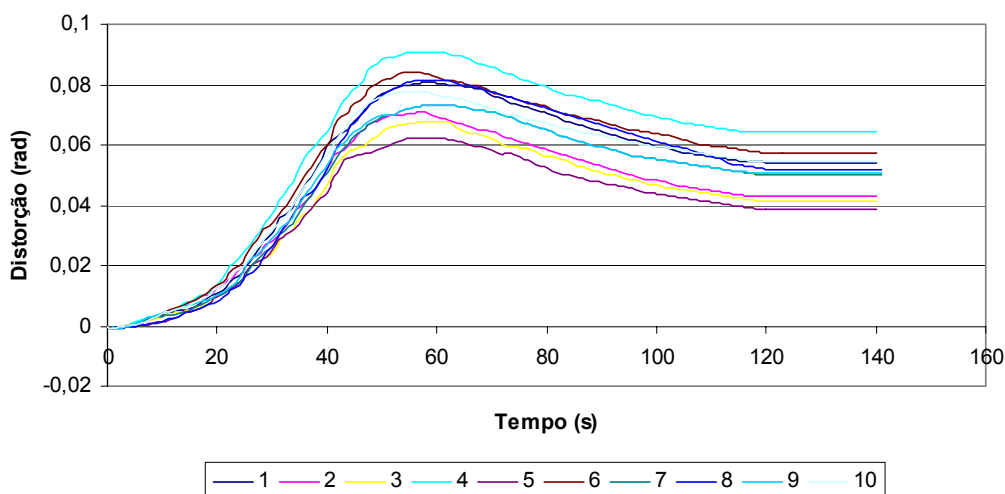


Figura 6. Evolução da distorção angular das chapas "halter" com refrigeração em função do tempo (Testes 11 a 20)

Os testes 21 a 30, foram realizados com a mesma geometria dos corpos de prova dos testes de 11 a 30, pois foi a geometria que teve maior distorção angular comparando-se aos testes 1 a 10. Para isso, utilizou-se os mesmos parâmetros de soldagem e acoplou-se um bico a uma mangueira flexível de aço inoxidável presa a tocha de soldagem. O objetivo foi injetar dióxido de carbono liquefeito que sob expansão se solidificaria formando uma "neve" para promover um resfriamento da poça de fusão e sendo assim, diminuir a distorção angular da chapa. A análise direta dos resultados, Figura 6, mostra que a distorção angular diminuiu aproximadamente vinte e cinco por cento utilizando resfriamento da poça de fusão considerando a distorção já estabilizada. Com o resfriamento, as tensões térmicas geradas devido ao processo de soldagem, proporcionam uma redução significativa nas tensões compressivas nas extremidades das chapas, que estão afastadas do cordão de solda, ocorrendo também um aumento da largura da zona de tração próximo ao cordão de solda. Isto foi atribuído ao aparecimento de uma zona de compressão ao redor da solda por causa do rápido resfriamento da mesma, gerando uma menor distorção da chapa.⁽⁷⁾

No início da soldagem em torno de 1s, as chapas dos testes 21 a 30, distorcem-se angularmente no sentido negativo (expansão), como nos outros testes.

A partir do 1s, ela começa a distorcer-se no sentido positivo (contração), como nos outros experimentos. A distorção angular máxima é reduzida, principalmente por diminuir as tensões térmicas longitudinais de tração que surgem na contração da chapa em relação aos testes 11 a 30, devido à injeção de dióxido de carbono solidificado (gelo seco), cuja temperatura de trabalho é de aproximadamente -75°C sobre a poça de fusão. Com esse resfriamento o tempo de distorção angular positiva (contração) é menor em relação aos testes 11 a 20, em torno de 53s.

Após aproximadamente 53s a chapa distorce-se no sentido negativo, sendo a distorção estabilizada aproximadamente em 115s, que é menor que nos testes 11 a 20, como observado na Figura 7.

Evolução das médias das distorções angulares das chapas retangulares, "halter" e "halter" com refrigeração em função do tempo

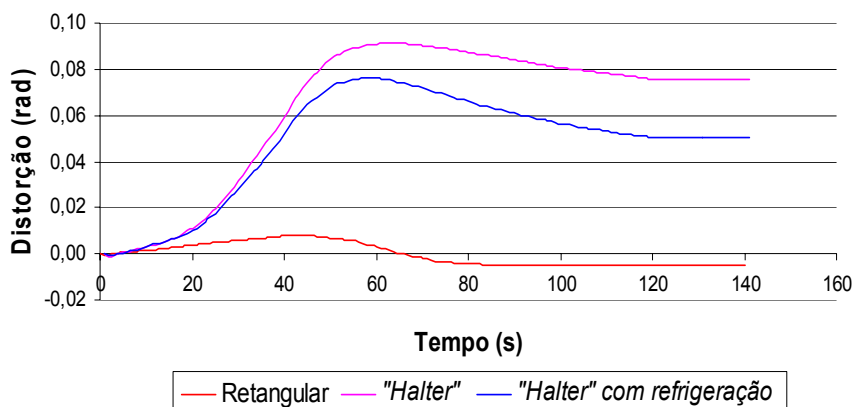


Figura 7. Evolução das médias das distorções angulares em função do tempo (Chapas retangular, "halter" e "halter" com refrigeração)

O dispositivo empregado para medir a distorção angular mostrou-se repetitivo, mantendo-se todos os parâmetros de soldagem inalterados. A não consideração dos pesos dos corpos de prova e do peso do laser e seu respectivo dispositivo de fixação, podem ter gerado uma fonte de erros assim como o perfeito posicionamento da chapa e travamento com "sargentos" e a força do arco elétrico sobre o corpo de prova podem ter influenciado na evolução das distorções angulares.

4 CONCLUSÕES

Os ensaios experimentais confirmaram que é possível diminuir a distorção angular injetando dióxido de carbono na forma de "gelo seco" para resfriar a poça de fusão. A geometria do corpo de prova influencia no nível de distorção angular da chapa. Isto pode ser observado comparando-se os resultados das distorções angulares dos testes 1 a 10 e 11 a 20 (Figura 7).

Agradecimentos

Os autores agradecem a CAPES pelo apoio financeiro, a USIMINAS pelo fornecimento das chapas de aço e a WHITE MARTINS pelo fornecimento dos cilindros com os gases.

REFERÊNCIAS

- 1 **Felizardo**, I. Estudo da evolução dos campos de temperatura gerados durante a soldagem. Belo Horizonte: UFMG, 110p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica, área processos de Fabricação) – Centro de Pós-Graduação da Escola de engenharia da UFMG, **1997**.
- 2 **Radaj**, Dieter. Heat effects of welding.[s.l.]: Springer- Verlag, **1992**.
- 3 **American Welding Society**, Miami. Welding handbook: Welding technology. 8ed.[s.n]: V1, **1991**.
- 4 **Kim**, S.- D., NA, S. – J. Effect of weld pool deformation on weld penetration in stationary gas tungsten arc welding, Welding journal, Miami, p.174-193, May, **1992**.
- 5 **Michaleris**, P., Sun, X. Finite element analysis of thermal tensioning techniques mitigating weld buckling distortion Welding Journal, Miami, p.451-456, Nov, **1997**.
- 6 **Dong**, Y. and Tsai, C.L. Finit element modeling of residual stresses in pipe girth welds. AWS Convection: Welding Mechanic and Design, p.44-52, **1996**.
- 7 **Aa**, E. M. vander, M.J.M. Hermans, M.J.M, Richardson, I.M. Welding with a Trailing Heat Sink: How to Optimise the Cooling Parameters? Netherlands Institute for Metals Research, Delft, The Netherlands and Delf University of technology, Delft, the Netherlands, **2005**.