

INFLUÊNCIA DE PARÂMETROS DE SOLDAGEM COMO TENSÃO E CORRENTE NA TAXA DE DEPOSIÇÃO PARA DIFERENTES ESPESSURAS DE CHAPA

P. H. Ogata; D. Silva; D. Moraes; F. Conte;

paulo.ogata@fatec.sp.gov.br

Faculdade de Tecnologia de Itaquera – Miguel Reale

RESUMO

O presente trabalho estudou a influência de parâmetros de soldagem como tensão e corrente na taxa de deposição para diferentes espessuras de chapa.

As chapas de aço S355J0 foram soldadas usando processo a arco com eletrodo tubular (E71T-1C) na posição plana para espessuras de 25, 50 e 75 mm.

A junta soldada foi avaliada usando microscopia óptica, lupa estereoscópica, ensaios de dobramento e líquido penetrante. A análise micrográfica foi realizada para verificar alterações microestruturais na junta soldada e a análise macrográfica para quantificar a extensão da zona afetada pelo calor, a área da junta soldada, extensão do cordão de solda. Cálculos serão realizados para a determinação da velocidade de soldagem, volume do cordão de solda, taxa de deposição e a diluição.

Ensaio de dobramento e líquido penetrante serão usados para evidenciar problemas na junta soldada.

Palavras chave: Microestrutura, arame tubular, macroestrutura e soldagem.

INTRODUÇÃO

Em um processo industrial, reduzir o tempo de produção e o preço final do produto é o objetivo a ser alcançado. Uma alternativa para obter êxito na produção é aumentar a espessura da chapa sem reduzir a qualidade do produto final.

O processo de soldagem a arco usando eletrodo tubular (fluxo interno), FCAW em inglês (*flux core arc welding*), pode ser usado para aumentar a taxa de deposição de

uma região a ser soldada. A taxa de deposição do metal de adição no processo FCAW pode ser aumentada mudando a energia de soldagem ou alterando a velocidade do arame. Alterações nos parâmetros de processo como: a tensão e a corrente elétrica pode significar um aumento na taxa de deposição.

O processo FCAW tem como princípio a fusão do eletrodo por arco elétrico. O fluxo presente no interior do eletrodo protege a solda dos agentes externos a soldagem, não só isso os elementos químicos presentes na sua composição podem atuar como refinadores ^(1,2).

Os testes foram realizados em chapas de 25, 50 e 75 mm de espessura, sendo estas avaliadas por ensaios não destrutivos. Este estudo contribuirá para análise das variáveis do processo que influenciam nas propriedades mecânicas, físicas e na qualidade da soldagem, possibilitando, deste modo, a readequação do procedimento de soldagem aplicado na fabricação dos componentes produzidos em aço carbono. Sendo assim, o presente trabalho tem como objetivo verificar a influência da soldagem em diferentes espessuras de chapas através de ensaios mecânicos, qualificando o procedimento de soldagem na produção de equipamentos.

MATERIAIS E MÉTODOS

O material usado no estudo foi um S355J0, cuja composição química: C:0,22; Mn+Mo: 0,16; Cr+Cu: 0,0275; Ni: 0,00025; No total foram utilizadas 6 chapas de aço carbono com as seguintes dimensões 400 x 200 mm.

O procedimento de soldagem foi realizado em diferentes espessuras de chapas sendo utilizado diferentes configurações de chanfro segundo a norma ASME IX ⁽³⁾. Para a chapa de 25 mm - Junta de topo, o chanfro V a 60°, para 50 mm - Junta de topo, chanfro em X a 60°, para 75 mm- Junta de topo, chanfro X a 50°. 25 a 30°.

O arame tubular E71T-1C foi usado para fazer a união entre as chapas.

Os parâmetros fixos para o trabalho foram vazão de gás, tipo de gás interpasse, pré-aquecimento, posição, comprimento.

Para o corpo de prova de 25 mm realizou-se a soldagem utilizando-se 35 volts em uma corrente de 341,8 ampères, a velocidade de soldagem resultante foi de 35,4 cm/min.

Na execução do corpo de prova de 50 mm adotou-se 37 volts, corrente de 405 amperes e velocidade de 30,8 cm/min.

O corpo de prova de 75 mm foi soldado com parâmetros de 39 volts, 426 ampères e velocidade de 22,5 cm/min.

O tratamento térmico de alívio de tensões foi realizado em todas as chapas soldadas a 580 °C durante 8 h.

A preparação dos corpos de prova para o ensaio de dobramento foi realizada conforme ASME IX QW-462.2 e o critério de aceitação descrito no QW-163. Quatro corpos de prova foram utilizados para as espessuras de chapa: 25, 50 e 75 mm respectivamente.

Os corpos de prova foram preparados metalograficamente e atacados com Nital 2%. A macrografia foi realizada em uma lupa estereoscópica e com o auxílio do software ImageJ foram efetuadas as medições de altura, largura e espessura da zona afetada pelo calor (ZAC). A análise microestrutural foi realizada em um microscópio óptico ZEISS objetivando caracterizar a microestrutura na ZAC.

O cálculo da diluição foi realizado pela equação (1).

$$\delta(\%) = \frac{A}{(A+B)} \times 100 \text{ Equação (1)}$$

Onde

δ = diluição

A= área depositada do cordão

B=área fundida do cordão

O cálculo de Energia de soldagem foi realizado pela equação (2).

$$Hi = \frac{T (V) \times I (A) \times 60}{Vs (cm)} \times 1000 \text{ Equação (2)}$$

Onde:

T - Tensão de soldagem (volts)

I – Corrente de soldagem (ampères)

Vs - Velocidade de soldagem (centímetros por minuto)

O cálculo do pré- aquecimento foi realizado pela equação (3).

$$CET = C + \frac{Mn+Mo}{10} + \frac{Cr+Cu}{20} + \frac{Ni}{40} \text{ em \% Equação (3)}$$

Onde:

CET – Carbono equivalente total %

O cálculo do pré- aquecimento foi realizado pela equação (4).

$$T_{pcet} = 350 \times \sqrt{C_{eqtotal}} - 0,25 \text{ Equação (4)}$$

Onde:

T_{pcet} – Temperatura de pré – aquecimento em função do carbono equivalente total em °C.

O cálculo de volume foi realizado pela equação (5).

$$V (\text{mm}^3) = A (\text{mm}^2) \times L (\text{mm}) \text{ Equação (5)}$$

Onde:

V- Volume (mm³)

A – Área do cordão (mm²)

L- largura do cordão (mm)

O cálculo do peso do material depositado foi realizado pela equação (6).

$$PMD = V (\text{mm}^3) \times \mathcal{P} (\text{g/mm}^3) \text{ Equação (6)}$$

Onde:

PMD – Peso do material depositado (g)

V- Volume (mm³)

\mathcal{P} - Densidade do material (g/mm³)

A qualidade da junta soldada foi avaliada pelo ensaio de dobramento. A preparação foi realizada conforme ASME IX QW-462.2 e o critério de aceitação descrito no QW-163. - O corpo de prova de dobramento não deve ter nenhuma descontinuidade no metal de solda ou na zona afetada pelo calor excedendo 3 mm, medido em qualquer

direção na superfície convexa do corpo de prova após o ensaio de dobramento. Os corpos de prova ensaiados foram de 4 para cada espessura de chapa.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Ensaio de líquido penetrante

A superfície da junta soldada (Figura 1) foi analisada usando líquido penetrante e foi verificado que a superfície não apresentou nenhuma descontinuidade ou defeito.



Figura 1 – Ensaio de líquido penetrante na superfície da solda.

Análise macroestrutural

As macrografias das juntas soldadas (Figura 2a-c) correspondem às espessuras: 25, 50 e 75 mm respectivamente. Cálculos foram realizados a partir das equações (1-6) e os resultados foram apresentados na tabela 1.

Tabela 1 - Parâmetros de soldagem e resultado dos cálculos realizados a partir das equações (1-6).

Parâmetros de Soldagem			
Corpo de Prova	25 (mm)	50 (mm)	75 (mm)
Tensão (V)	35,00	37,00	39,00
Corrente (A)	341,80	405,00	426,00
Área do cordão (A+B) (mm ²)	774,87	1.471,30	2.718,25
Área do metal base (B) (mm ²)	169,22	444,21	1.018,65
Espessura da ZAC (mm)	4,74	3,41	3,37
Largura (mm)	38,64	45,86	55,15
Comprimento (cm)	40,00	40,00	40,00
Tempo por filete de solda (min)	1,13	1,30	1,78
Velocidade de Soldagem (cm/min)	35,40	30,80	22,50
Cálculos de Soldagem			
Corpo de Prova	25 (mm)	50 (mm)	75 (mm)
Energia de soldagem (KJ/cm)	20,30	29,10	44,30
Diluição (%)	21,84	30,19	37,47
Volume do Cordão (mm ³)	30996,00	58852,00	108728,00
Peso Mat. Dep. (g)	243,32	461,99	853,51
Taxa de Deposição (Kg/h)	3,29	3,97	4,40

A junta soldada da chapa com 25 mm (Figura 2a) apresentou a maior espessura da ZAC (4,74 mm) em decorrência do grande aporte térmico empregado no processo; a menor espessura de chapa (25 mm) possui a maior velocidade de soldagem (35,40 cm/min) e a menor energia de soldagem comparada à espessura de 50 e 75 mm. A diluição encontrada 21,84% é a mínima para arame tubular e a menor comparada às outras espessuras analisadas. A taxa de deposição foi a mais baixa dentre as chapas (3,29 KJ/cm).

A junta soldada da chapa com 50 mm (Figura 2b) - Apresenta à espessura da ZAC (3,41 mm), devido ao grande aporte térmico empregado no processo, e a menor espessura de chapa (25 mm) possui a maior velocidade de soldagem e a menor energia de soldagem comparada à espessura de 50 e 75 mm. A diluição de 30,19 % é mediana comparada às outras espessuras. A taxa de deposição foi mediana (3,97 KJ/cm).

A junta soldada da chapa com 75 mm (Figura 2c) - Apresenta a menor espessura da ZAC, a menor velocidade de soldagem devido a maior espessura de chapa (75 mm), ocasionando a maior energia de soldagem comparada à espessura de 25 e 50 mm. A diluição de 37,47% é quase a máxima para o processo, a taxa de deposição nesta chapa foi a maior (4,4 KJ/cm), devido o aumento dos parâmetros de soldagem.



Figura 2 – macrografia dos corpos de prova na secção transversal da chapa. Reagente químico utilizado: Nital 2%. a) espessura 25 mm; b) 50 mm e c) 75 mm.

Análise microestrutural

A análise microestrutural foi realizada em todas as espessuras de chapa na posição transversal. As micrografias podem ser acompanhadas na Figura 3, Figura 4 e Figura 5, onde as letras a, b e c correspondem as regiões próxima a zona fundida, ZAC e metal base, respectivamente.

A microestrutura da zona fundida, ZAC e metal base, para as diferentes espessuras de chapa é composta por ferrita e perlita, como pode ser observado na Figura 3, Figura 4 e Figura 5 respectivamente.

A chapa de 25 mm (Figura 3) apresentou possivelmente uma maior concentração de elementos químicos, como pode ser observado na figura do metal base (Figura 3c). Comparando as microestruturas do metal base entre as diferentes espessuras de chapa, Figura 3c, Figura 4c e Figura 5c, respectivamente, percebe-se um alinhamento de estruturas mais pronunciado na chapa de menor espessura. A possível justificativa para este resultado é que o grau de deformação para estas espessuras de chapa não foi suficientemente alta para que houvesse uma concentração de elementos químicos nesta região, e esta menor concentração dos elementos de liga favoreceu uma maior homogeneização das fases formadas.

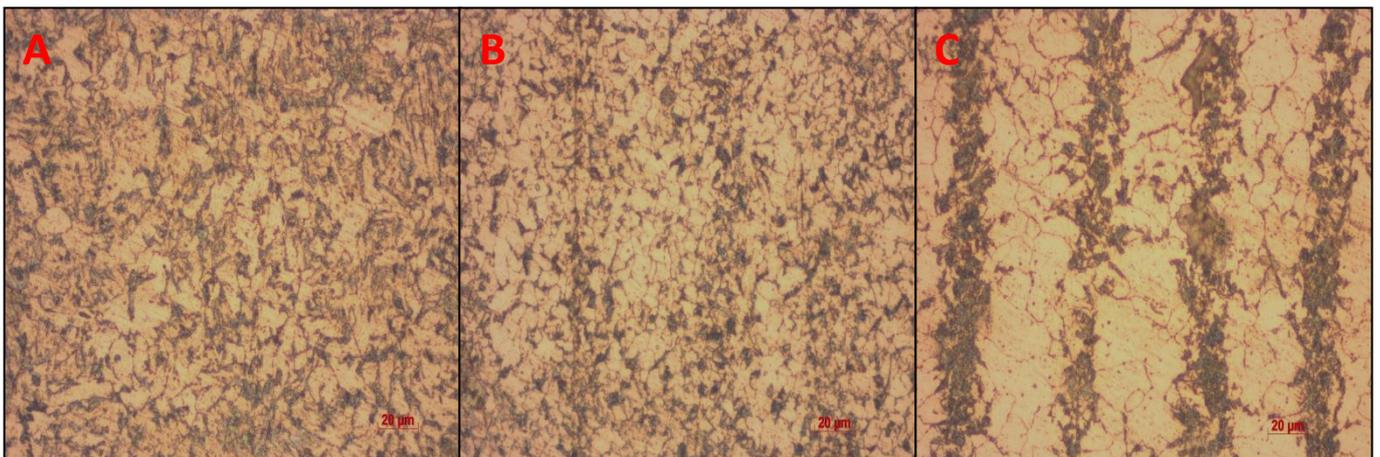


Figura 3 – junta soldada do aço com espessura 25 mm. a) próximo a zona fundida; b) ZAC; c) metal base.

Possivelmente a chapa de menor espessura apresenta uma maior concentração de elementos químicos nesta chapa. O alinhamento das microestruturas, assim como, a morfologia das fases presentes podem possivelmente ser resultado desta

concentração de elementos químicos. O aço estudado apresenta manganês na sua composição química e segundo Honeycombe⁽⁴⁾, o manganês oferece maior tendência para particionar a fase austenítica. No entanto a presença de manganês pode retardar a formação de ferrita, em razão de o soluto substitucional modificar a estabilidade termodinâmica da fase austenítica em relação à fase ferrita.

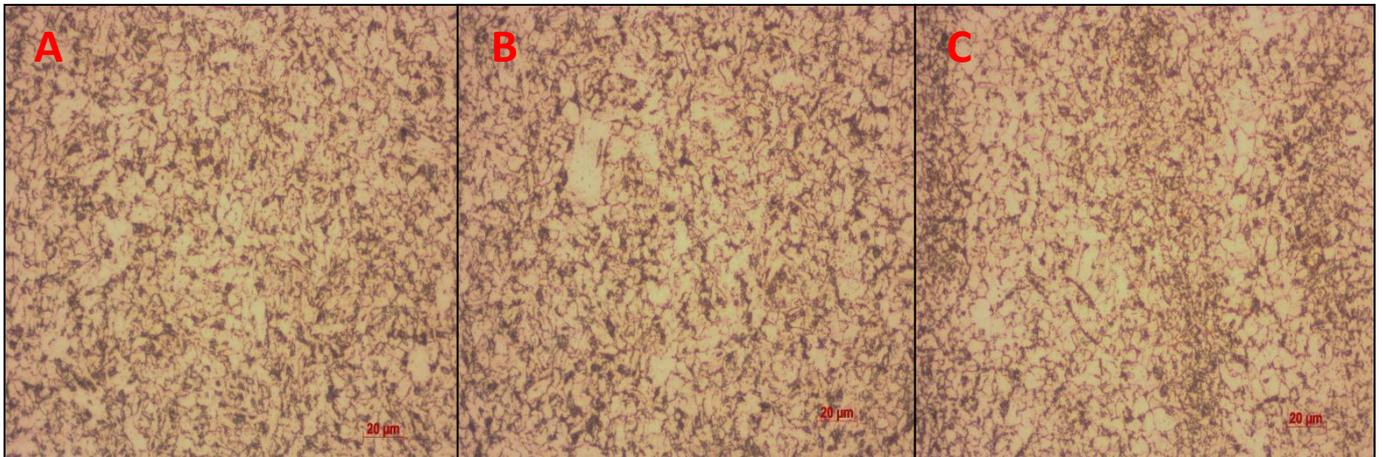


Figura 4 – junta soldada do aço com espessura 50 mm. a) próximo a zona fundida; b) ZAC; c) metal base.

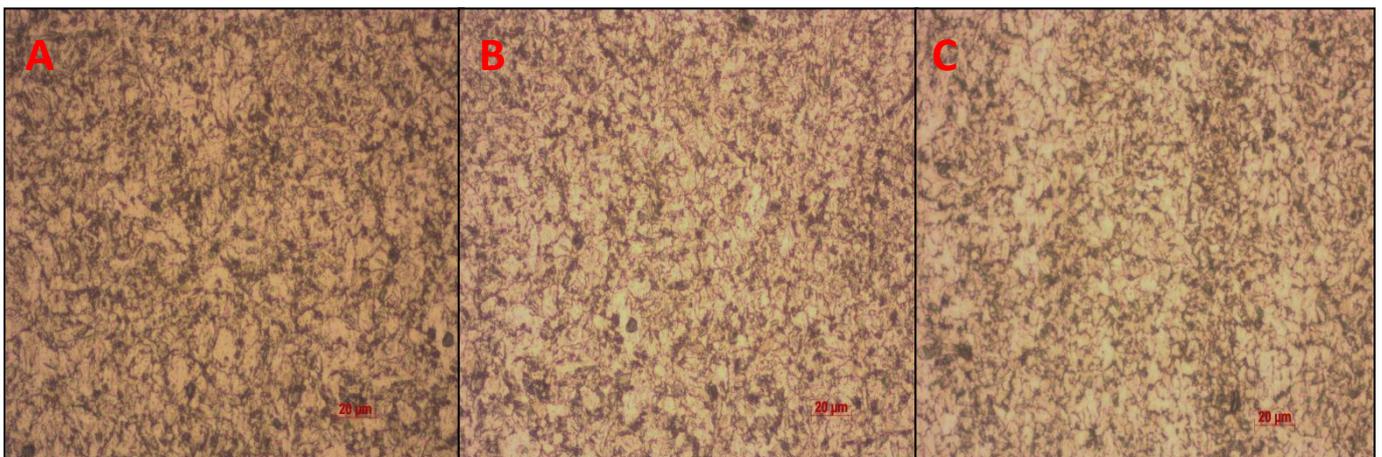


Figura 5 – junta soldada do aço com espessura 75 mm. a) próximo a zona fundida; b) ZAC; c) metal base.

Ensaio de dobramento

As amostras usadas nos ensaio de dobramento podem ser acompanhadas na Figura 6. A Figura 6a representa as amostras antes do ensaio de dobramento e a Figura 6b as amostras após o ensaio de dobramento. Avaliando os corpos de prova após o ensaio de dobramento verificou-se que todos passaram no teste. O terceiro corpo de prova da chapa com espessura de 50 mm apresentou uma

descontinuidade de 2,9 mm, no entanto segundo a seção IX do código ASME, corpo de prova foi aprovado.

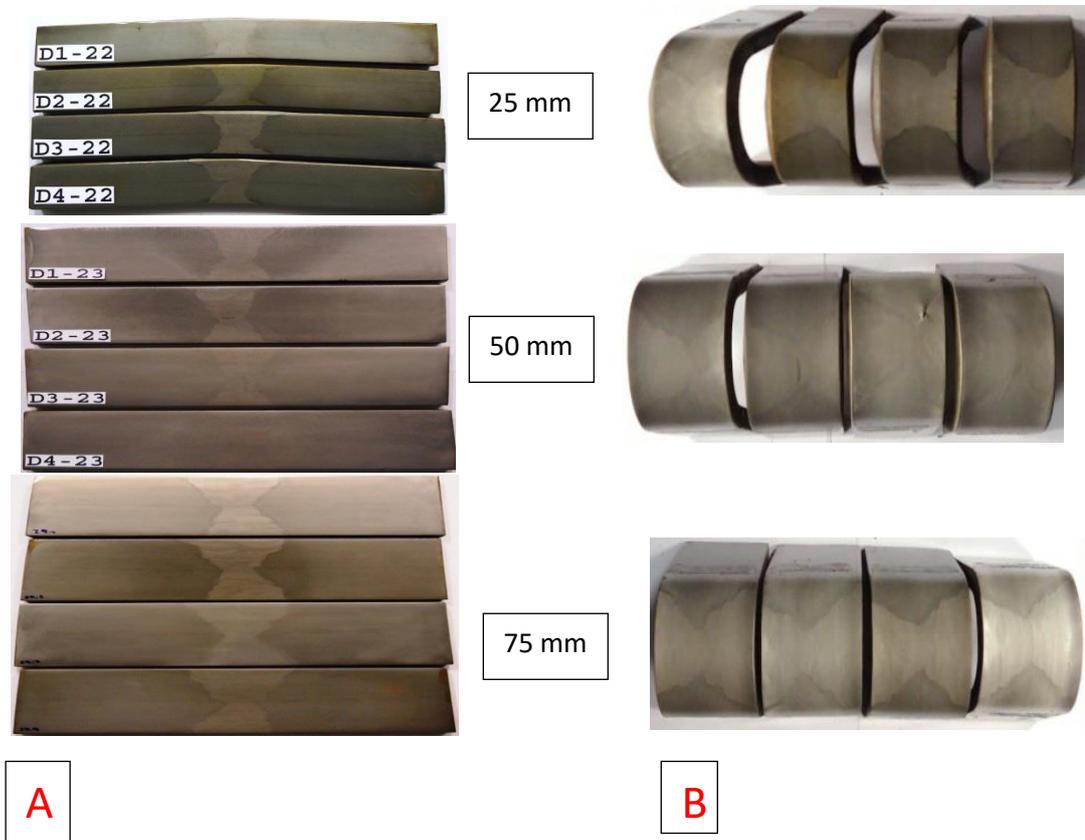


Figura 6 – Amostras de dobramento. a) corpo de prova antes do ensaio; b) amostras dobradas.

CONCLUSÃO

- A maior Energia de soldagem foi na chapa de 75 milímetros;
- A microestrutura resultante do procedimento de soldagem e tratamento térmico não influenciou nos resultados de propriedades mecânicas;
- A modificação dos parâmetros de soldagem resultou no aumento da taxa de deposição.
- Ao analisar a junta soldada conclui-se que a qualificação do Procedimento de soldagem foi aprovada segundo os critérios de aceitação reconhecidos e padronizados pela SEÇÃO IX do CÓDIGO ASME EDIÇÃO 2013.

REFERÊNCIAS

1 JONES, R. L. **An Evaluation of The Production Welding Aspects of Flux-cores Wires**. Cambridge: Welding Institute, 1982.

2 BRANDI, S. D.; WAINER, E.; MELLO, F. H. **Soldagem, Processos e Metalurgia**. São Paulo: Edgard Blucher, 2010.

3 ASME, A. S. O. M. E. **AN INTERNATIONAL CODE 2013 ASME Boiler & Pressure Vessel Code**. New York, 2013.

4 HONEYCOMBE, S. R.; H., B. H. K. D. **Steel Microstructure and properties**. Cambridge: Elsevier Ltd., 2006. ISBN Third edition.

ABSTRACT

This study investigated the influence of welding parameters such as voltage and current in the deposition rate for different sheet thicknesses. The S355J0 steel plates were welded using arc process with a tubular electrode (E71T-1C) in the flat position for thicknesses 25, 50 and 75 mm. The welded joint was assessed using optical microscopy, stereomicroscopy, bending tests and penetrating liquid. Micrographic analysis was performed to verify the weld joint microstructural changes and macrographic analysis to quantify the extent of the heat affected zone, the area of the weld, the weld extension. Calculations are made for determining the welding speed, weld bead volume, deposition rate and dilution. Folding testing and penetrant will be used to highlight problems in the welded joint.

Key-words: microstructure, tubular electrode, macrostructure, welding.