

Efeito da conservação de energia e temperatura no revestimento duro aplicado pelo processo SAW em aço de construção mecânica

Effect of energy conservation and temperature on hard coating applied by the SAW process in mechanical steel

Júlio Cesar da Silva Leite Junior

Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá - UNESP, Guaratinguetá, SP
julio.junior6@outlook.com

Marcelino Pereira Nascimento

Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá - UNESP, Guaratinguetá, SP
pereira@feg.unesp.br

Resumo: Revestimento duro é amplamente utilizado pela indústria metal mecânica para manutenção de chapas de aço quando há o caso de corrosão ou falha mecânica. A eficiência e a resistência do revestimento duro estão relacionadas a diluição do cordão de solda, definida como a porcentagem do metal de base no depósito, ou seja, a porcentagem do metal de base que participa da zona fundida. A diluição é geralmente mais problemática em revestimentos com processo ao arco elétrico, na faixa de 5% para soldagem a arco plasma, até 60% na soldagem por arco submerso, razão pela qual se torna fundamental as análises deste estudo. O objetivo deste trabalho é analisar a relação entre diluição, microestrutura e propriedades mecânicas do cordão de solda, a maior porcentagem para cada cordão e qual o número do cordão para corresponder com aporte térmico. O revestimento foi realizado pelo processo SAW sobre chapas de aço SAE 1020, com metal de adição AWS F7AZ-EM12K (teor médio de manganês) e fluxo ligado 10.81. Os parâmetros utilizados foram de 300 A e 25 V, com velocidade de soldagem em 0,01 m/s. Os resultados obtidos indicaram que a diluição e a microdureza da junta soldada aumentaram com a sequência de cordões de solda prévios, devido à temperatura entrecordões que atuou como pré-aquecimento, conservando a energia localmente.

Palavras-chave: soldagem; aporte térmico; diluição.

Abstract: Coating hard is widely used by the metalworking industry for maintenance of sheet steel when there is the case of corrosion or mechanical failure. The efficiency and strength of the hard coating are related to the dilution of the weld bead, defined as the percentage of the base metal in the shell, i.e. the percentage of the base metal that participates in the melt zone. Dilution is generally more problematic in coatings with an arc arc process, in the range of 5% for plasma arc welding, up to 60% in submerged arc welding, and which is why the analysis of this study becomes fundamental. The objective of this work is to study the correspondence between dilution and mechanical properties of the joint welded by the SAW process considering the energy conservations generated by the adjacent and parallel weld pools. The coating were done by the SAW process on SAE 1020 steel plates, with AWS F7AZ-EM12K (average manganese content) addition metal and bound

flux 10.81. The parameters used were 300 A and 25 V, with a welding speed of 0.01 m / s. The results obtained indicate that the dilution and the microhardness of the welded joint increased with the sequence of previous weld beads due to the interpass temperature which acted as preheating, conserving the energy locally.

Key words: welding; thermal input.

1 Introdução

A aplicação de revestimento por soldagem vem sendo altamente empregada desde século passado, muito em função da sua alta variedade de aplicações e prevenção para as mais diversas intempéries como corrosão e abrasão dos metais. Mais especificamente revestimento contra desgaste (*hardfacing*) é aplicado como uma camada tendo a finalidade de proteção como um metal de sacrifício [1]. Inicialmente e tradicionalmente, o revestimento duro é aplicado por eletrodo revestido (SMAW) [2], porém, desejando garantir alta deposição do substrato e também uma análise satisfatória, o estudo foi feito com soldagem a arco submerso (SAW).

A partir da utilização do revestimento duro, é possível o estudo da conservação da temperatura de soldagem com base na diluição do metal-base no metal fundido da solda, uma vez que a diluição está estritamente vinculada à largura e à penetração de metal fundido e ao aporte térmico empregado [3].

A diluição ocorre sempre em soldagem por fusão para garantir homogeneidade do conjunto soldado [4]. É importante nesse caso, uma vez que a diluição resulta numa transformação do metal de adição pelo aporte térmico do metal base. Mais adentro do cordão de solda se localiza a região que começa a liquação do cordão de solda, denominada ZTA: Zona termicamente afetada. Em soldagem de metais diferente, como o do estudo, a diluição apresentará características de ambos os metais[5]. A zona fundida é a região onde o metal de adição foi incorporado ao metal base, alterando a composição química do material que, por consequência, altera a microestrutura e suas propriedades térmicas e mecânicas principalmente. A variação dos parâmetros também influencia na deposição do material para formação de microestrutura, principalmente referente a amperagem sobre a profundidade do cordão de solda[6].

Devido à alta deposição do metal de solda (próximo à 100% do metal base) e custo moderado [7, 8], o processo de soldagem com Arco Submerso aplicado em chapas de aço SAE ABNT 1020 foi o escolhido para atingir os objetivos do presente estudo. Análises microestruturais e de microdureza foram adicionadas ao estudo vinculando-as à diluição resultante do aporte térmico empregado da proximidade dos cordões de solda adjacentes.

2 Procedimento Experimental

2.1 Materiais

Para a caracterização do revestimento duro, os materiais utilizados, como metal base, fluxo e arame de adição, bem como os parâmetros de soldagem como velocidade, corrente elétrica e tensão (que definem o aporte térmico empregado), foram escolhidos para que se adequassem e gerassem um bom resultado no cordão de solda. Na tabela 1 são apresentadas a composição química de cada material utilizado no estudo (porcentagem em massa).

Tabela 1. Composição química dos materiais utilizados (%wt).

Materiais	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu
Aço SAE 1020	0,2	0,25	0,45	-	-	-
Arame EM12 K	0,1	0,2	1	-	-	-
Fluxo D 10.81	0,06	0,6	1,3	0,45	0,5	0,5

2.2 Soldagem

O processo de soldagem com arco submerso foi efetuado em uma máquina Power Wave S-350, da fabricante Lincoln. O processo foi realizado em duas chapas de 200 mm de largura por 9,35 mm de espessura por 400 mm de comprimento, submetidas a quatro cordões de solda paralelos e aplicados na superfície e no sentido longitudinal das chapas, caracterizando assim o revestimento duro.

Na Tabela 2, são apresentados os parâmetros empregados no revestimento duro por arco submerso. Como este é um processo semiautomático, ele permite a aplicação de uma velocidade constante, diferentemente de outros processos manuais como o processo SMAW.

Tabela 2. Relação de parâmetros de fonte e aporte térmico.

Parâmetros de Fonte			
Corrente (I)	Tensão (V)	Velocidade (v)	Aporte Térmico (H)
(A)	(V)	($m \cdot S^{-1}$)	($kJ \cdot mm^{-1}$)
300	25	0,01	0,7

O tempo de execução de soldagem, de cordão para cordão, foi de dois minutos. Isso resultou em uma conservação de temperatura que será avaliada mais adiante. Refere-se ao aporte térmico como a energia de soldagem, definida pela equação (1) [9].

$$H = \frac{V \cdot I}{v} \quad (1)$$

Onde: V tensão, I corrente de soldagem e v velocidade do carro de soldagem. Como se trata de arco submerso, com modelo automático, ambas as variáveis são de fácil ajuste na máquina.

2.3 Metalografia

No estudo foi utilizado o método de corte transversal (figura 1), pois este proporciona a observação dos grãos, a verificação da homogeneidade da microestrutura, posições, forma e bolhas (defeitos) e perfil do cordão.

Após todas as lixas serem utilizadas (#80, #120, #180, #220, #360#, #400, #800, #1000, #1200) e a análise feita a olho nu no estereoscópio, o ataque do reagente para revelação das zonas de soldagem foi feito pelo método convencional, que consiste no esfregamento com algodão umedecido de ácido nítrico 10% (por ser um aço-carbono, este reagente é indicado), por 8 segundos, dentro de uma capela para exaustão de gases. Após a ação, a amostra foi enxaguada e seca com ar quente ventilado.

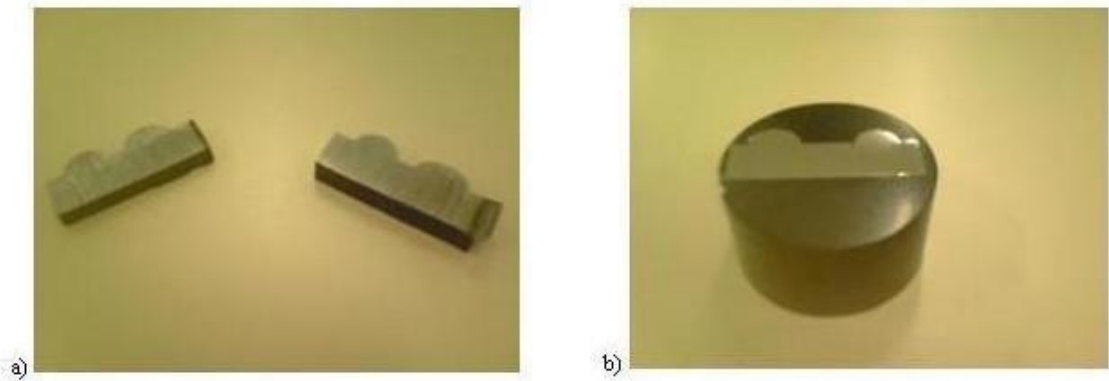


Figura 1. Amostras: a) Secção, b) Amostra embutida.

2.4 Regiões de Análise

Os pontos interessantes para estudo da solidificação do aço 1020 é demonstrado na figura 2.

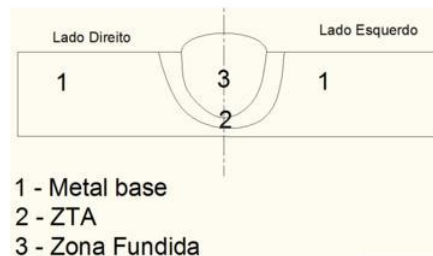


Figura 2. Ilustração das zonas de estudo da macrografia.

Na figura 2, a região 1 indica o metal base observado e o máximo de alcance da Zona Termicamente Afetada. A zona 2 é a ZTA (Zona Termicamente Afetada), que se localiza mais próxima da poça de fusão, porém sem adição do metal de solda. A região 3 é a zona fundida, ocasionada pelo aporte térmico e a conservação de temperatura entre outros fatores. As micrografias foram apenas realizadas nesta região para desenvolvimento das análises microestruturais.

2.5 Microdureza

As localizações das endentações dos ensaios de microdureza na amostra estão indicadas na figura 3. O ensaio de microdureza foi apenas executada no cordão de solda com maior diluição dos parâmetros indicados na tabela 2, tendo em vista o foco de estudo do cordão de solda.

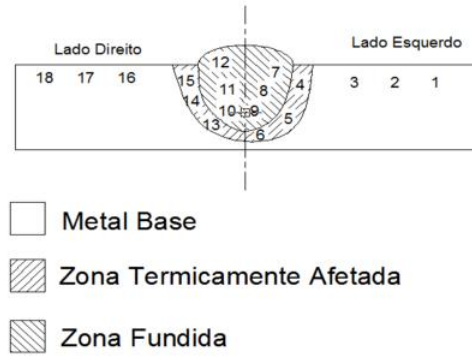


Figura 3. Mapa de microdureza (LEITE JUNIOR, J.C.S. 2013).

3 Resultados e Discussão

3.1 Diluição

Na figura 4 são apresentadas as macrografias obtida nos quatro cordões de solda, para os parâmetros de soldagem 25V/300 A.

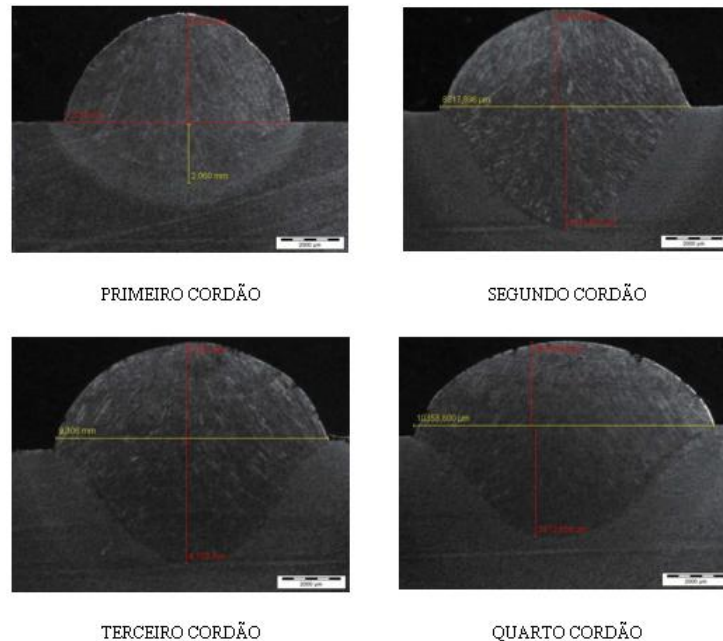


Figura 4. Macrografias dos 4 cordões de solda com parâmetro 300 A -25 V.

A fim de auxiliar na visualização das imagens do ataque macrográfico, na tabela 3 são apresentadas todas as dimensões dos cordões de solda encontradas nos ensaios.

Tabela 3. Dimensões dos cordões de solda [mm].

Cordão	25V/300A		
	Altura	Largura	Penetração
1	3,83	7,73	2,1
2	3,48	8,81	4,32
3	3,10	9,31	4,1
4	2,87	10,35	3,81

Com base na equação sobre diluição (2) [9], na Tabela 4 são apresentados os resultados das medições das geometrias dos cordões de solda feitas nas macrografias da Figura 4.

$$\%Diluição = \frac{ZTA}{ZTA + Cordão} \quad (2)$$

Tabela 4. Diluição dos cordões de solda com a velocidade de $0,01m \cdot s^{-1}$.

Parâmetros de fonte	
Cordão	25V/300 A
1	35%
2	55%
3	54%
4	57%

A partir dos valores apresentados na Tabela 4, foi selecionado o cordão de solda 4, o qual apresentou a maior diluição dentre as demais. Portanto, escolheu-se para análise:

- Cordão 4 – 25V – 300 A

O calor gerado pelo arco elétrico, portanto, é considerado como uma forma de pré-aquecimento. Este pré-aquecimento é indicado para evitar fissuras, trincas ou problemas na microestrutura.

3.2 Microestrutura

Na figura 5, nota-se o efeito da taxa de resfriamento que será bem lenta quando já estiver no cordão 4, onde a chapa preservará mais calor do fluxo advindo do processo SAW, refinando o grão em um processo semelhante ao de normalização (tratamento térmico). O cordão 4 tem como característica uma temperatura na chapa de aproximadamente $540^{\circ}C$, resultante dos três cordões executados anteriormente (contando também os tempos dos entressobres); portanto, é observado que este calor preservado atue como um tratamento térmico. O pré-aquecimento é aplicado para diminuir tensão de contração, dureza e a trinca por hidrogênio além de reduzir a taxa de resfriamento (contribuindo para o crescimento do grão). Também a perlita (fina ou grosseira) já está em pouca quantidade.

Na ZTA e zona fundida houve a presença de ferrita Widmanstätten, caracterizada pelas ripas, e ferrita alotriomórfica, que geralmente está ligada ao primeiro tipo de ferrita.

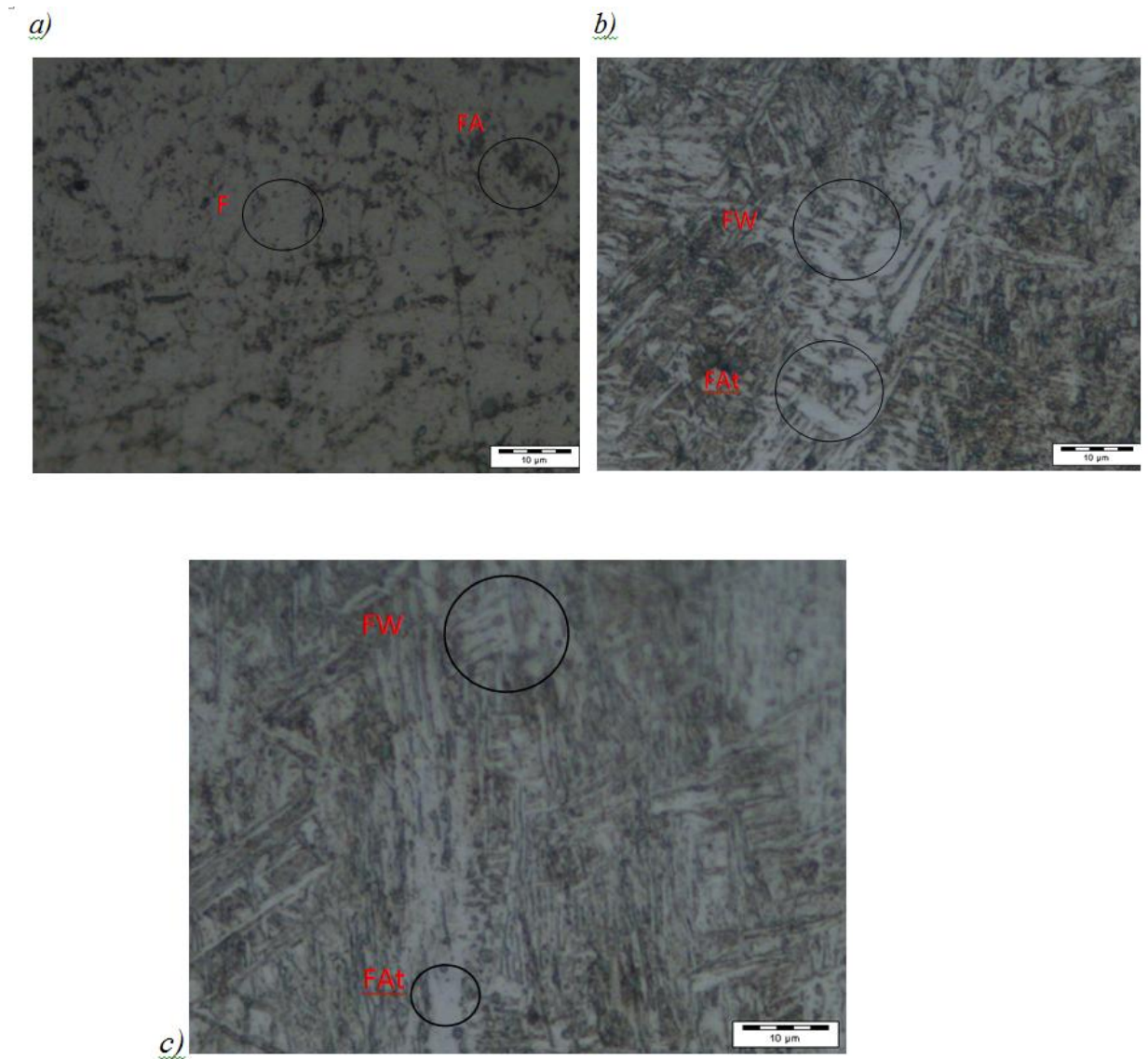


Figura 5. Micrografia do cordão 4 de 635 mm/min com 25 V e 300 A. a) Metal base, b) ZTA, c) Zona fundida (aumento de 1000×). FW - Ferrita Widmanstätten; FAt - Ferrita Alotriomórfica.

3.3 Microdureza

Como informado na Introdução deste estudo: diluição, microestrutura e dureza estão interligadas uma vez que a composição química do material ao ser soldado é alterada. Na Figura 6 são apresentados os valores de microdureza obtidas transversalmente ao longo do cordão de solda 4, conforme esquematizado na Figura 3.

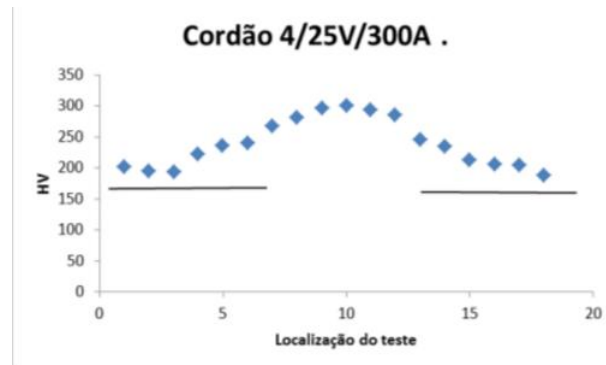


Figura 6. Perfil de microdureza da junta soldada do cordão 4 (parâmetros 300 A -25 V).

4 Conclusões

A diluição do material base no último cordão de solda aplicado foi maior que a diluição apresentada pelos cordões prévios. É consequência direta da conservação de energia associada à temperatura entrepasses. Neste caso, a temperatura entrepasses age como pré-aquecimento do cordão de solda subsequente, alterando sua microestrutura e propriedades mecânicas.

Os valores de microdureza do metal de solda do último cordão foram altos e associados ao refinamento dos grãos normalizados. O efeito de “onda” no gráfico de microdureza indica maiores valores de dureza na região identificada como zona fundida, ou o cordão do material.

Em comparação à microestrutura, a ZTA em geral sofreu apenas refino de grão. A soldagem por arco submerso ocasionou na transformação termomecânica, sem que o metal base fosse atingido.

Com todos estes dados relacionados é indicado para a manutenção o cordão de revestimento duro, sendo os parâmetros de soldagem empregados mais indicados para aplicações com desgastes abrasivos.

Referências

- [1] LIMA, C.R.C.; CAMARGO, F.; MARQUES, P. V. Estudo comparativo das propriedades de revestimentos a base de cobalto (stellite) aplicado por soldagem e aspersão térmica. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DE SOLDAGEM, 24., 1998. Fortaleza. ABS.
- [2] LIMA, A.C.; FERRARESI, V. A. Análise da microestrutura e da resistência ao desgaste de revestimento duro utilizado pela indústria sucroalcooleira. Soldagem Insp. São Paulo, Vol. 14, No. 2, p.140-150, Abr/Jun 2009.
- [3] BICALHO VIEGAS, D. *Avaliação da Resistência ao desgaste de um aço Hardox® 450 submetido a solda de revestimento duro com arame tubular DIN 8555/MF-10-GF-60-GR utilizando o processo FCAW. Dissertação de Mestrado. CEFET-MG. Belo Horizonte. 2016.*

- [4] FILHO, P.P.R., CAVALCANTE, T.S., ALBUQUERQUE, V. H. C, SILVA, C.C., TAVARES, J.M.R.S. “Sistema Computacional para determinação de taxa de diluição em soldadura”. *Revista Mecânica Experimental*. Portugal, Vol. 18, pp. 55-61, 2010.
- [5] RIBEIRO, Rubens. Avaliação da resistência ao desgaste abrasivo de revestimentos soldados do tipo Fe-C-Cr utilizados na indústria sucroalcooleira. 2004. xviii, 104 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2004. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/90838>>.
- [6] MARQUES, P.V., MODENESI, P.J. “Algumas equações úteis na soldagem”. *Revista Soldagem e Inspeção*. São Paulo, v. 19, nº 1, pp. 091-102. 2014.
- [7] BUCHELY, M.F. GUTIERREZ, LÉON, J.C., TORO, A. *The effect of microstructure on abrasive wear of hardfacing alloys*. *Wear*, 259. Pag 52-61. 2005.
- [8] FILHO, P.P.R.; CAVALCANTE, T.S.; ALBUQUERQUE, V.H.C.; SILVA, C.C.; TAVARES, J.M.R.S. Sistema computacional para determinação de taxa da diluição da soldadura. *Mecânica Experimental*, 2010, Vol 18, Pg 55-61.
- [9] MODENESI, P. BRACARENSE, A. Q. *Soldagem – Fundamentos e tecnologia*. 3ª edição. Juiz de Fora. Editora UFMG. Brasil.