

ESTUDO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO EM UNIÕES SOLDADAS DE UM AÇO DE ALTA RESISTÊNCIA BIFÁSICO SOB DIFERENTES APORTES TÉRMICOS DE SOLDAGEM

Davi Schäfer Maron, marondavi@gmail.com¹

Afonso Reguly, areguly@gmail.com¹

¹Laboratório de Metalurgia Física (LAMEF) – PPGE3M/UFRGS, Av. Bento Gonçalves, 9500 Prédio 43820, Bairro Agronomia, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil. CEP 91501-970.

Resumo: A busca constante por reduções em peso na indústria de estruturas, automotiva, de implementos agrícolas e rodoviários vem motivando fabricantes a desenvolver aços de alta resistência que atendam essa crescente demanda. O presente artigo tem como objetivo realizar uma análise comparativa do comportamento mecânico (microdureza e ensaio de tração) de juntas soldadas de um aço de alta resistência bifásico através do processo GMAW – Gas Metal Arc Welding – utilizando dois aportes térmicos de soldagem distintos. Visando garantir precisão no processo de soldagem, foi utilizado um sistema robotizado. Foram realizados ensaios visando caracterizar as juntas soldadas via microscopia ótica, perfil de microdurezas e ensaios de tração. Os resultados mostraram que a definição dos parâmetros de soldagem tem relação direta na resistência mecânica da junta soldada.

Palavras-chave: soldagem, aços de alta resistência bifásicos, ensaio de tração, microdureza, parâmetros de soldagem.

1. INTRODUÇÃO

A crise energética e créditos de carbono lideraram o início da era de economia de energia. A redução de massa em automóveis é uma das maneiras mais eficientes na redução de consumo de combustível e de emissões (Xiaodong et al., 2010).

Um dos principais atrativos para a utilização de aços de alta resistência no ramo automotivo é o seu melhor desempenho na absorção da energia de impacto. Este fato ameniza riscos de danos em uma potencial colisão, aumentando assim, a segurança dos passageiros. Além disso, esses aços atendem o requisito da indústria automotiva por aços de maior resistência com boa conformabilidade (Chovet et al., 2005).

Dentre os aços de alta resistência se destaca os aços bifásicos. O aço bifásico é composto por matriz ferrítica macia e reforçada por martensita em forma de ilhas, com a presença de pequenas quantidades de bainita e de austenita retida. Estes aços podem ser produzidos por laminação controlada, mas geralmente são produzidos por recozimento intercrítico (entre A1 e A3) seguido de resfriamento rápido. Durante o recozimento intercrítico pequenas quantidades de austenita se formam na matriz ferrítica, que na sequência, no resfriamento rápido, se transformam em martensita. A transformação da austenita em martensita, é acompanhada por uma expansão de volume, causa discordâncias em torno da matriz ferrítica. As discordâncias são responsáveis pela elevada taxa de encruamento inicial e pelo comportamento de deformação contínua nesse tipo de aços. A taxa de encruamento também está ligada à fração volumétrica de martensita, que pode ser alterada pela modificação da temperatura do recozimento intercrítico (Farabi et al., 2011).

Em geral a área subcrítica da zona termicamente afetada (ZTA) irá ter redução da dureza durante a soldagem. Esse fenômeno é causado pelo revenimento da martensita. A redução de dureza na ZTA irá reduzir significativamente a resistência mecânica da junta soldada (Xia et al., 2008).

O presente trabalho tem por objetivo apresentar uma comparação do comportamento mecânico do aço de alta resistência bifásico de 2 mm de espessura na soldagem GMAW (MAG) robotizada. Este aço possui 700 MPa de limite mínimo de escoamento (LE) e 1000 MPa de limite mínimo de ruptura (LR).

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Os corpos de prova foram confeccionadas utilizando-se como material base chapas de aço de alta resistência bifásico de 2 mm de espessura. O aço é fornecido pela fabricante sueca de aços SSAB com o nome comercial Docol 1000DP. Os valores típicos de composição química e propriedades mecânicas de acordo com especificações do fornecedor estão descritos nas Tab. 1 e Tab. 2.

O metal de adição utilizado na confecção das juntas soldadas para estudo é o arame maciço de 1 mm de diâmetro do tipo AWS A5.28 (AWS, 2005) com a classificação ER120S-G. A fornecedora do metal de adição é a ESAB que

comercializa com o nome comercial OK AristoRod 79 (ESAB, 2012). A Tab. 3 apresenta a composição química e as propriedades mecânicas de acordo com o fabricante.

Tabela 1. Composição química do aço bifásico Docol 1000DP (SSAB, 2014).

C % máx	Si % máx	Mn % máx	P % máx	S % máx	Al % mín.	Nb % máx
0,15	0,50	1,50	0,010	0,002	0,040	0,015

Tabela 2. Propriedades mecânicas do aço bifásico Docol 1000DP (SSAB, 2014).

Espessura (mm)	LE (MPa)	LR (MPa)	Alongamento (%min)
2	700-950	1000-1200	7

Tabela 3. Composição química e características mecânicas do consumível de soldagem (ESAB, 2012).

Composição Química	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo
%	0,10	0,75	1,85	0,35	2,05	0,55

Características Mecânicas	Limite de escoamento (MPa)	Limite de ruptura (MPa)	Limite de Alongamento (%)
AristoRod 79	810	900	18

As placas metálicas foram confeccionadas através de corte por guilhotina em placas retangulares de 125 por 250 mm. O sentido de laminação foi orientado perpendicularmente em relação à maior dimensão do corpo de prova. Para a soldagem dos corpos de prova, as placas metálicas previamente cortadas foram dispostas face a face formando uma junta de topo, na posição plana horizontal de soldagem conforme norma DIN EN ISO 6947 (DIN, 2011). Foi utilizado um cobre junta com 30 mm de largura de mesmo material e espessura do metal base. Somente um passe de solda foi aplicado em um lado da junta. A Fig. 1 ilustra o exposto. Neste estudo, o gás a ser utilizado na soldagem possui composição de 82% Ar e 18% CO₂ com vazão constante de 20 l/min. A tocha de soldagem GMAW ficou posicionada perpendicularmente à superfície a ser soldada, e a extensão do eletrodo foi de 20 mm. A velocidade de soldagem foi de 700 mm/min. Para o parâmetro de soldagem denominado como A, com corrente de soldagem de 93 A e tensão 19,5 V com um aporte térmico de 0,12 kJ/mm. Para o parâmetro B, a corrente foi de 190 A e a tensão 25,4 V com um aporte térmico de 0,33 kJ/mm.



Figura 1. Posicionamento das placas metálicas para soldagem.

Análise química foi obtida por espectrometria de emissão ótica, em corpos-de-prova extraídos do metal base, objetivando determinar os teores dos principais elementos químicos presentes.

Para cada aporte térmico de soldagem a ser estudado foi confeccionada uma placa soldada. A partir de cada placa soldada foram retirados três corpos-de-prova para realização dos ensaios de tração, microdureza e macrografia. A confecção dos corpos-de-prova para realização do ensaio de tração, visando caracterizar as propriedades mecânicas das juntas soldadas, seguiram a norma AWS B4.0 (AWS, 2007). Os ensaios de microdureza foram executados em corpos-de-prova retirados transversalmente ao cordão de solda seguindo orientações da norma DIN EN 1043-1 (DIN, 1996). Foram realizadas análises de macrografia da fratura da junta soldada após o ensaio de tração fazendo uso de microscopia ótica. A preparação das amostras utilizou técnica convencional de lixamento e polimento, seguido de ataque químico com reagente Nital 3,5%.

3. RESULTADO E DISCUSSÕES

A análise química do metal base resultou em percentuais similares aos estabelecidos pelo fornecedor. Os resultados obtidos estão ilustrados na Tab. 4.

A Tab. 5 ilustra os resultados obtidos nos ensaios de tração. O LE médio das amostras ensaiadas para o aporte térmico de soldagem A foi superior em relação ao aporte B. O LR para os dois aportes térmicos atingiu níveis similares. Todos os corpos-de-prova ensaiados os dois aportes térmicos tiveram LE e LR inferiores ao metal base. A primeira amostra do aporte térmico A teve a fratura ocorrendo na ZTA e as demais na zona fundida (ZF). Dessa forma o alongamento da primeira amostra foi superior às demais. A ruptura ocorrida na ZF se deu à falta de fusão na raiz da solda conforme apresentado na Fig. 2. Todos os corpos-de-prova do aporte térmico de soldagem B tiveram a fratura ocorrendo na ZTA com valores de alongamento similares. A Fig. 2 apresenta as macrografias em um corte em seção transversal das fraturas.

Tabela 4. Composição química e da amostra do metal base.

C %	Si %	Mn %	P %	S %	Nb %	Ti %
0,14	0,47	1,38	0,004	0,004	0,016	0,0043

Tabela 5. Propriedades mecânicas dos corpos-de-prova submetidas a ensaios de tração.

Aporte A	Limite de escoamento [MPa]	Limite de ruptura [MPa]	Alongamento [%]
Amostra 1	639,3	775,8	15,0
Amostra 2	681,3	747,2	5,3
Amostra 3	565,6	736,6	7,0
Média	628,7	753,2	9,1
Aporte B	Limite de escoamento [MPa]	Limite de ruptura [MPa]	Alongamento [%]
Amostra 1	539,8	740,7	13,1
Amostra 2	571,4	751,7	12,2
Amostra 3	555,3	756,6	15,3
Média	555,5	749,7	13,5

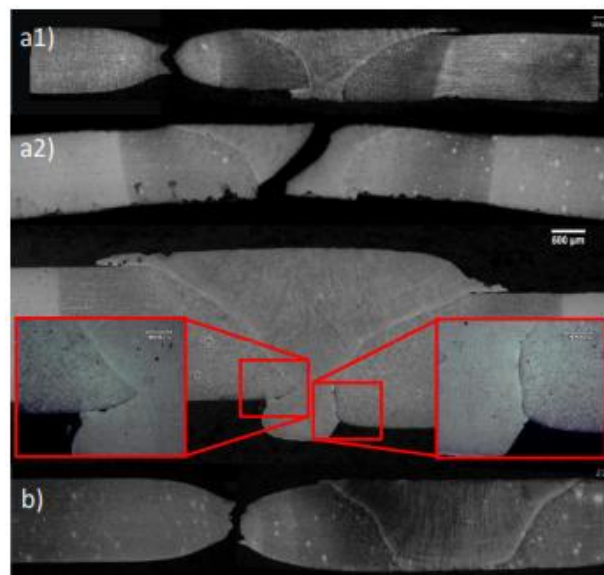


Figura 2. Macrografias das fraturas das juntas soldadas – a1) fratura ocorrendo na ZTA para uma das amostras do aporte térmico A, a2) fratura ocorrendo na ZF do aporte térmico A devido à falta de fusão na raiz da solda em uma das amostras, b) fratura ocorrendo na ZTA para todas as amostras do aporte térmico B.

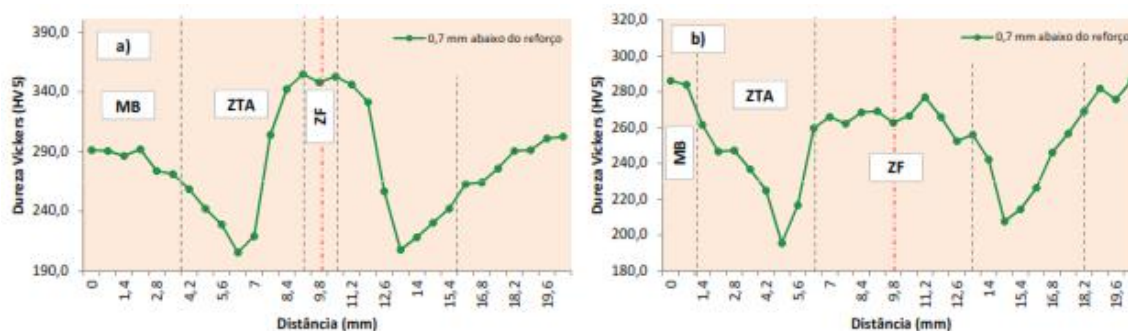


Figura 3. Microdurezas referentes às amostras – a) aporte térmico A, b) aporte térmico B.

Tabela 6. Valores de microdurezas na ZF, ZTA e MB das juntas soldadas.

	ZF			ZTA			MB
	HV	HV	HV	HV	HV	HV	HV
	Máximo	Mínimo	Médio	Máximo	Mínimo	Médio	Médio
A	362,7	289,7	339,2	258,5	201,2	229,9	284,0
B	277,1	207,7	259,5	284,0	195,5	236,3	282,2

4. CONCLUSÕES

No presente trabalho foi estudado o comportamento mecânico de uma junta soldada com aço bifásico com 2 mm de espessura sob dois aportes térmicos distintos.

O primeiro aporte térmico de soldagem estudado A com 0,12 kJ/mm apresentou falta de fusão na raiz da solda. Dessa forma não se recomenda utilizar esse aporte térmico para a soldagem do aço com espessura sob estudo. O segundo aporte térmico de soldagem B com 0,33 kJ/mm apresentou boa fusão e penetração de solda. Esse aporte térmico, ou próximo a este, é recomendado para a soldagem do aço sob estudo.

Submetidos ao ensaio de tração o aporte térmico A apresentou falhas no metal de solda devido à falha de fusão na raiz já apresentada. O aporte térmico B sofreu a fratura no ensaio de tração na ZTA devido à redução de dureza nessa região devido ao revenimento da martensita presente no aço em estudo.

As amostras submetidas aos dois aportes térmicos apresentaram níveis aceitáveis de microdureza, sendo que ambas apresentaram valores mínimos de dureza na região da ZTA muito similares. O aporte térmico A apresentou dureza máxima na zona fundida superior ao aporte térmico B.

5. REFERÊNCIAS

- AWS A5.28, 2005, Specification for Low-Alloy Steel Electrodes and Rods for Gas Shielded Arc Welding, 3rd Edition. American Welding Society, Miami, USA.
- AWS B4.0, 2007, Standard Methods for Mechanical Testing of Welds, 7th Edition. American Welding Society, Miami, USA.
- Burns, T.J., 2016, Weldability of a Dual-Phase Sheet Steel by the Gas Metal Arc Welding Process. Waterloo, Ontario, Canada. <https://uwspace.uwaterloo.ca/handle/10012/4928>.
- Chovet, C., Guiheux, S., 2005, Possibilities offered by MIG and TIG brazing of galvanized ultra high strength steels for automotive applications. Air Liquide / C.T.A.S. France.
- DIN EN ISO 6947, 2011, Welding and allied processes – Welding positions. DIN Deutsches Institut für normung, Berlin, Germany.
- DIN EN 1043-1, 1996, Hardness testing of welds in metallic materials. DIN Deutsches Institut für normung, Berlin, Germany.
- ESAB. 2015. Product Data Sheet OK AristoRod 79. Disponível em: <http://www.esab.com.br/br/pt/products/index.cfm?fuseaction=home.product&productCode=0031109&tab=2>.
- Farabi, N.; Chen, D.L.; Zhou, Y., 2011, Microstructure and mechanical properties of laser welded dissimilar DP600/DP980 dual-phase steel joints. Journal of Alloys and Compounds, Vol. 509, pp. 982-989.
- Modenesi, P.J., Marques P.V., Santos B.S., 2012, Introdução à Metalurgia da Soldagem. Belo Horizonte, MG. Universidade Federal de Minas Gerais, 209. Disponível em: demet.eng.ufmg.br/wp-content/uploads/2012/10/metalurgia.pdf.
- SSAB SWEDISH STEEL. 2014. Docol DP/DL Cold reduced dual phase steels. Disponível em: <http://www.ssab.com/en/Brands/Docol1/Products/Docol-1000-DP/>
- Xia M., Biro E., Tian Z., Zhou N., 2008, Effects of Heat Input and Martensite on HAZ Softening in Laser Welding of Dual Phase Steels. ISIJ International, Vol. 48, No. 6, pp. 809-914.

Xiaodong Z., Zhaohui, Lee W., 2005, Current Status of Advanced High Strength Steel for Auto-Making and its Development in Baosteel, BaoSteel Research Institute Shanghai, China.

6. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

STUDY OF MECHANICAL BEHAVIOR OF WELDED JOINTS OF THE UHSS DUAL PHASE UNDER TWO DIFFERENT WELDING HEAT INPUTS

Davi Schäfer Maron, marondavi@gmail.com¹
Afonso Reguly, areguly@gmail.com¹

¹Laboratório de Metalurgia Física (LAMEF) – PPGE3M/UFRGS, 9500, Bento Gonçalves Avenue, Building 43820, Agronomia, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brazil. ZIP Code 91501-970.

Abstract. *The constant searching for weight reductions in structures, automotive, agricultural and road implements has motivated manufacturers to develop ultra-high strength steels (UHSS) that meet this growing demand. This article aims to conduct a comparative analysis on the mechanical behavior (hardness and traction test) of welded joints of dual phase ultra-high strength steel through GMAW - Gas Metal Arc Welding - using two different welding heat inputs. To ensure precision in the welding process, a robotic system was used. Tests were conducted to characterize the welded joints via optical microscopy, micro hardness profile and traction tests. Results showed that the setting of the welding parameters has a direct relationship on the mechanical strength of the welded joint.*

Keywords: *welding, dual phase, ultra-high strength steels, tensile test, micro hardness profile, welding parameters.*