



Scan to know paper details and
author's profile

Evaluation of the Connection Line in Dissimilar Welding with Low Alloy and Low Carbon Wire using the Gmaw Process

Henrique Cechinel Casagrande, Gilson de March, Hadrian Martins, Anderson Daleffe, Joélson Vieira da Silva, Carlos Antônio Ferreira & Lirio Schaeffer

Prof. do Centro Universitário UniSATC

ABSTRACT

The use of welds with dissimilar characteristics is applied when it is necessary to join two materials that are considered metallurgically, mechanically, and chemically different. This study aims to understand the metallurgical effects on dissimilar joints between a low-carbon steel SAE 1015 and the AWS A5.36 E110C-MG low-alloy welding wire and the AWS A5.18 ER70S-6 low-carbon steel electrode, using the Gas Metal Arc Welding (GMAW) process. To characterize the bonding line between the materials, the chemical composition of both metals was evaluated through optical emission spectroscopy, and metallurgical characterization was carried out using an optical microscope, also assessing the Vickers microhardness. In order to map the thermal behavior, thermographic images were obtained during the welding process. In the microstructural evaluation of the bonding zone between the base material and the deposited material, the presence of Widmanstätten ferrite was observed, with a refined grain size microstructure in the weld region, which explains the increase in microhardness by approximately 24%.

Keywords: dissimilar welding. AWS A5.36 E110C-MG wire. widmanstätten ferrite. AWS A5.18 ER70S-6 wire.

Classification: DDC Code: 671.52

Language: English



Great Britain
Journals Press

LJP Copyright ID: 392953

Print ISSN: 2631-8474

Online ISSN: 2631-8482

London Journal of Engineering Research

Volume 24 | Issue 8 | Compilation 1.0



Evaluation of the Connection Line in Dissimilar Welding with Low Alloy and Low Carbon Wire using the Gmaw Process

Avaliação da Linha de Ligação em Soldagem Dissimilar Com Arame de Baixa Liga e Baixo Carbono Utilizando o Processo Gmaw

Henrique Cechinel Casagrande^α, Gilson de March^σ, Hadrian Martins^ρ, Anderson Daleffe^ω, Joélson Vieira da Silva[¥], Carlos Antônio Ferreira[§] & Lírio Schaeffer^x

SUMMARY

The use of welds with dissimilar characteristics is applied when it is necessary to join two materials that are considered metallurgically, mechanically, and chemically different. This study aims to understand the metallurgical effects on dissimilar joints between a low-carbon steel SAE 1015 and the AWS A5.36 E110C-MG low-alloy welding wire and the AWS A5.18 ER70S-6 low-carbon steel electrode, using the Gas Metal Arc Welding (GMAW) process. To characterize the bonding line between the materials, the chemical composition of both metals was evaluated through optical emission spectroscopy, and metallurgical characterization was carried out using an optical microscope, also assessing the Vickers microhardness. In order to map the thermal behavior, thermographic images were obtained during the welding process. In the microstructural evaluation of the bonding zone between the base material and the deposited material, the presence of Widmanstätten ferrite was observed, with a refined grain size microstructure in the weld region, which explains the increase in microhardness by approximately 24%.

Keywords: dissimilar welding. AWS A5.36 E110C-MG wire. widmanstätten ferrite. AWS A5.18 ER70S-6 wire.

Author α: Mestrando em Engenharia Metalúgica.

σ ρ: Prof. do Centro Universitário UniSATC.

ω: Graduando em Eng. Mecânica.

¥: Prof. do Centro Universitário UniSATC.

§: Prof. do Centro Universitário UniSATC.

x: Prof. do Centro Universitário UniSATC. Professor da Universidade Federal do Rio.

I. INTRODUÇÃO

A união entre materiais é uma prática muito comum em diversos seguimentos e atividades industriais, contudo, há setores como petroquímicos, plantas eólicas e reatores nucleares que necessitam de soldagem com materiais de diferentes características [1] [2].

Adotando esses conceitos, tem-se tornado comum estudos com soldagem em aço carbono utilizando arame de aço inoxidável, aplicando-se essa técnica em situações onde há locais que sofrem com corrosão e umidade, por exemplo, na indústria petroquímica [1] [2] [3] [4].

No entanto, quando realizado o processo de soldagem, as propriedades do material de base são alteradas devido as temperaturas de fusão, que ocorre com alto ciclo térmico de soldagem, o que resulta em mudanças microestruturais na zona de ligação (ZL) e na zona termicamente afetada pelo calor (ZTA) [1] [5].

Com a soldagem dissimilar, tem-se oportunidades promissoras relacionadas ao design dos produtos com diferentes combinações bimetálicas, capaz de aproveitar com efetividade as propriedades e características únicas de cada material [2] [6].

A soldagem de metais dissimilares tem sido cada vez mais adotada em diversos setores para aprimorar a funcionalidade e a eficiência

estrutural. Para obter juntas soldadas de alta qualidade e sem defeitos, é fundamental compreender de forma abrangente as inter-relações entre as alterações microestruturais causadas pela soldagem e as características de desempenho do material, especialmente suas propriedades mecânicas [7].

Pesquisas mostram que a soldagem a arco elétrico a gás (GMAW) com transferência de curto-circuito é eficaz para unir aços de baixo carbono e martensíticos em aplicações automotivas [8].

A interface entre materiais diferentes em juntas soldadas é frequentemente a região mais crítica devido à presença de fases duras perto da linha de fusão. Procedimentos de soldagem adequados, podem ajudar a minimizar problemas de fragilização da junta [9]. No geral, a soldagem de

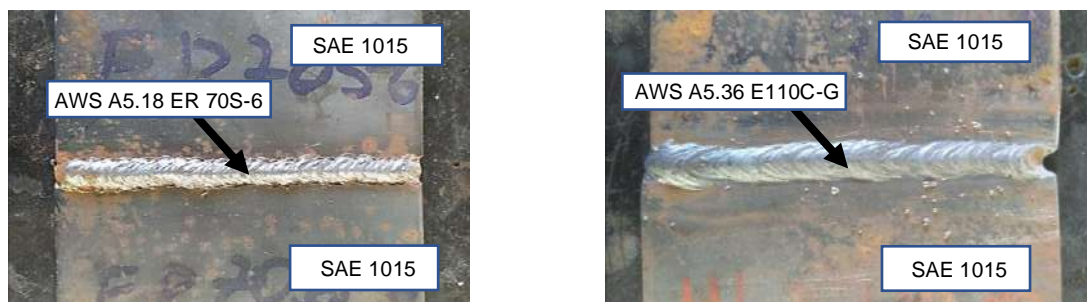
materiais diferentes oferece vantagens em várias aplicações, mas requer consideração cuidadosa das propriedades do material e técnicas de soldagem para garantir a confiabilidade da junta e a resistência mecânica.

II. MATERIAIS E MÉTODOS

A seguir serão apresentados os materiais utilizados nessa pesquisa e os métodos para preparação e ensaios das amostras.

2.1 Soldagem das Chapas

As peças foram unidas em um único passe, com junta de topo e passe raiz, conforme pode ser observado na Fig. 01, na versão utilizando o eletrodo AWS A5.18 ER70S-6 e eletrodo AWS A5.36 E110C-MG.



Fonte: Do autor

Figura 1: União das peças por solda

2.2 Espectrometria De Emissão Óptica

Para caracterização química das amostras utilizou-se o espectrômetro da fabricante BRUKER modelo Q2 ION. No ensaio em questão, foi utilizado potência de 400 Watts por um período de 30 segundos. Salienta-se o ensaio em triplicata para validação do método.

A Tab. 1 traz os resultados obtidos para caracterização química do arame AWS A5.36 E110C-MG. Conforme detalhado, este material é empregado para soldagens de aços de baixa liga, com um valor de aproximadamente 0,567% para o elemento cromo, bem como 0,386% para molibdênio.

Tabela 1: Análise química AWS A5.36 E110C-MG

Elementos:	Quantidade em massa (%):	Referenciado [10]
Carbono (C)	0,094	0,07
Silício (Si)	0,359	0,40
Manganês (Mn)	1,499	1,40
Fósforo (P)	0,013	<0,025
Enxofre (S)	0,008	<0,025
Cromo (Cr)	0,567	0,50
Molibdênio (Mo)	0,386	0,40

Níquel (Ni)	1,782	2,20
Cobre (Cu)	0,007	-
Ferro (Fe)	Bal.	Bal.

Desta forma, conforme o fabricante e norma AWS A5.36, o arame em estudo fica próximo ao recomendado. Salienta-se o baixo teor de carbono que compõe este arame [10] [11].

A Tab. 2 traz os resultados obtidos para o arame de soldadura AWS A5.18 ER70S-6.

Tabela 2: Análise química AWS A5.18 ER70S-6

Elementos:	Quantidade em massa (%):	Referenciado [12]
Carbono (C)	0,097	0,06 – 0,15
Silício (Si)	0,450	0,8 – 1,15
Manganês (Mn)	0,898	1,4 – 1,85
Fósforo (P)	0,014	<0,025
Enxofre (S)	0,013	<0,035
Cromo (Cr)	0,023	0,15
Molibdênio (Mo)	0,013	0,15
Níquel (Ni)	0,026	0,15
Cobre (Cu)	0,102	0,50
Ferro (Fe)	Bal.	Bal.

Conforme pode ser observado, os valores de silício (Si) e manganês (Mn) estão abaixo do recomendado conforme norma. Entretanto, este arame fica com características próximas do arame ER70S-3.

A Tab. 3 detalha a composição química para o material de base. Ressalta-se o uso deste material devido à alta demanda de consumo na indústria, como no setor civil [14], construções estruturais [15], entre outros

Tabela 3: Análise química SAE 1015

Elementos:	Quantidade em massa (%):	Referenciado [13]
Carbono (C)	0,150	0,13 – 0,18
Silício (Si)	0,017	-
Manganês (Mn)	0,454	0,3 – 0,6
Fósforo (P)	0,0098	0,04 - 0,05
Enxofre (S)	0,0096	-
Cromo (Cr)	0,013	-
Molibdênio (Mo)	0,0088	-
Níquel (Ni)	0,011	-
Cobre (Cu)	0,0051	-
Ferro (Fe)	Bal.	Bal.

Fonte: Do autor (2024)

Os valores dos elementos químicos para o material de base SAE 1015 ficaram conforme indicado pela norma, exceto para o fósforo (P), que apresentou um valor inferior.

DIGplus A7, paralelamente foi feito uso de uma ferramenta de aquisição de dados denominada SAP 3SR.

A Tab. 4 traz os parâmetros utilizados para soldagem dos arames em estudo.

2.3 Soldagem e aquisição de dados

Para soldagem das amostras foi utilizada a máquina de soldagem da marca IMC modelo

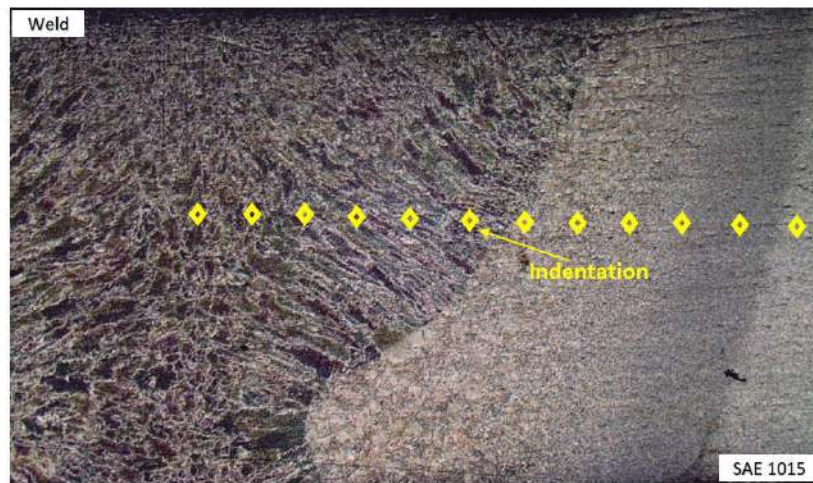
Tabela 4: Parâmetros de Soldagem para Arame ER70S-6 e E110C-MG

Variável:	ER70S-6	E110C-MG
Tensão (V)	18,5	18,9
Corrente (A)	165	161
Vazão do gás (L/min.)	16	16
Velocidade do arame (m/min.)	4,5	4,4
Potência (kw)	3	3
Argônio (%)	85	85
Dióxido de carbono (CO ₂) (%)	15	15

2.4 Microdureza Vickers

A fim de se obter os dados referente a caracterização mecânica, foram realizados ensaios de microdureza Vickers, utilizando o microdurômetro da marca SHIMADZE®, modelo HMV-2TADW, com cargas de 4,903 Newtons para ambos os arames. O tempo de aplicação foi

de 10 segundos, com um total de 15 indentações. A Fig. 2 demonstra a estratégia do ensaio de microdureza Vickers, onde iniciou-se a endentação no metal de base (SAE 1015), na sequência passando na zona termicamente afetada pelo calor até chegar na região de soldagem.

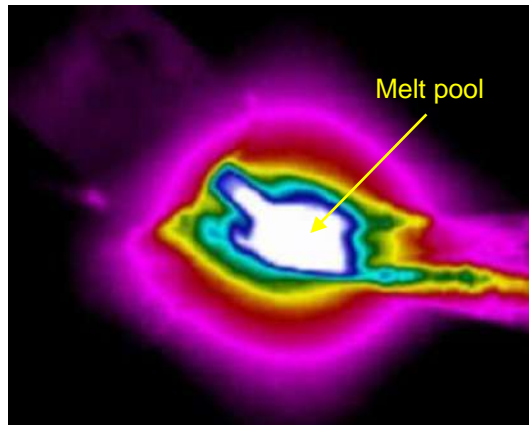


Fonte: Do autor

Figura 2: Estratégia do Ensaio de Microdureza Vickers

2.5 Câmera Termográfica

Durante o processo de soldagem, as temperaturas de trabalho podem variar dependendo das condições de deposição e do ambiente. Para controlar o processo e analisar as propriedades mecânicas, foi optado por monitorar a temperatura durante a deposição do material. A coleta de dados foi feita por meio de uma câmera termográfica, possibilitando a análise das informações capturadas, como ilustrado na Fig. 3 que mostra a peça em soldagem com destaque para a poça de fusão.



Fonte: Do autor

Figura 3: Avaliação Térmica da Poça de Fusão no Momento da Soldagem

Dessa forma para a aquisição da temperatura durante o processo de solda, foi utilizada uma câmera termográfica OPTRIS, modelo PI 08M, com capacidade de capturar imagens térmicas na faixa de 575 a 1900 °C, permitindo monitorar e registrar as variações de temperatura durante o processo de solda.

Os pontos de medição de temperatura iniciaram na poça de fusão e seguiram em sentido linear em direção a soldagem.

2.6 Metalografia

Para realizar o ensaio de metalografia foi utilizado um microscópio Olympus modelo SC30, seguindo

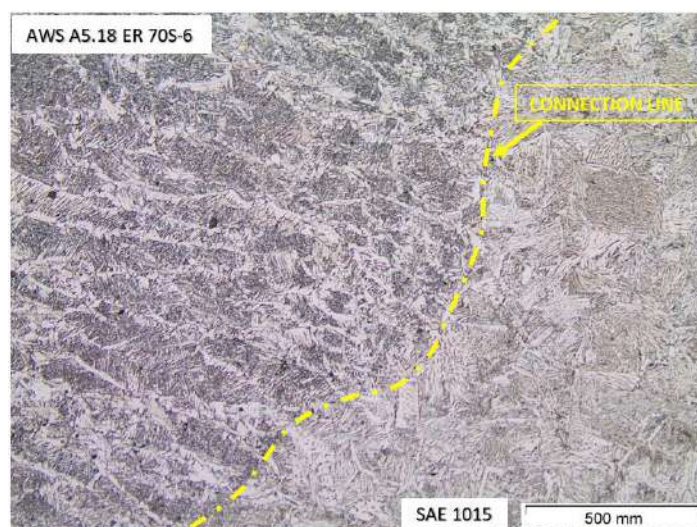
a norma ABNT NBR 15454. O ácido utilizado foi o Nital com 2 %. Para o arame de soldadura AWS A5.36 E110C-MG foi adotado o tempo de 10 segundos de ataque químico, e para o arame AWS A5.18 ER70S-6 foram considerados 5 segundos de ataque ácido.

III. ANÁLISE DOS RESULTADOS

A seguir serão discutidos os resultados obtidos com essa pesquisa.

3.1 Análise Metalográfica Junta Soldada Com Arame de Baixo Carbono ER70s-6

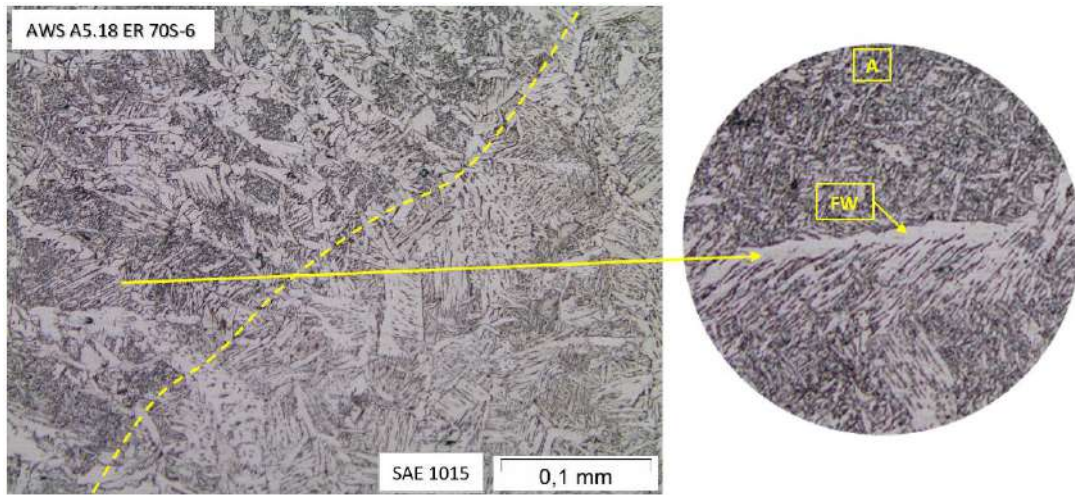
A Fig. 4 demonstra a linha de ligação entre material soldado ER70S-6 e aço SAE 1015.



Fonte: Do autor

Figura 4: Metalografia da linha de ligação entre aço SAE 1015 e arame de soldagem AWS A5.36 ER70S-6

A Fig. 5 detalha a linha de ligação e destaca a estrutura presente na região da solda, que é constituída de ferrita de Widmanstätten (FW).



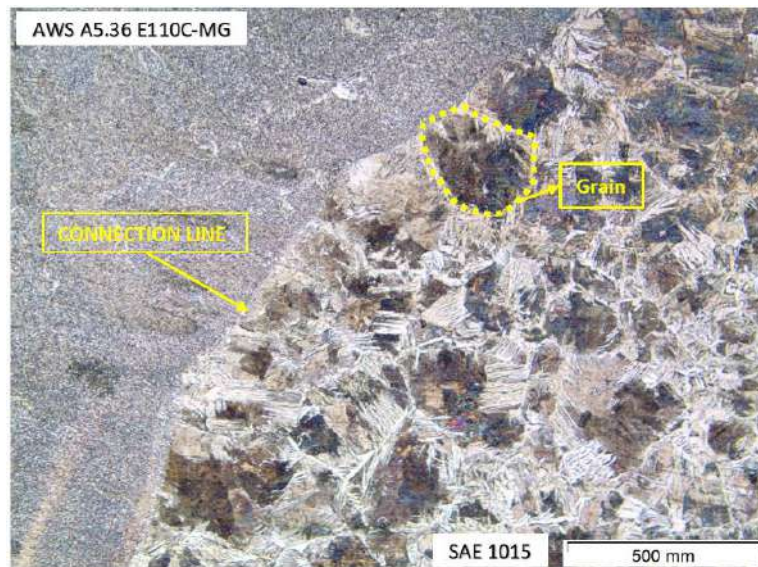
Fonte: Do autor

Figura 5: Ferrita de Widmanstätten (FW) Na Região de Solda

3.2 Análise Metalográfica Junta Dissimilar com arame de baixa liga AWS A5.36 E110C-MG

A Fig. 6 traz a soldagem do arame de baixa liga AWS A5.36 E110C-MG. Nota-se que há diferença significativa entre a região de solda e o material de

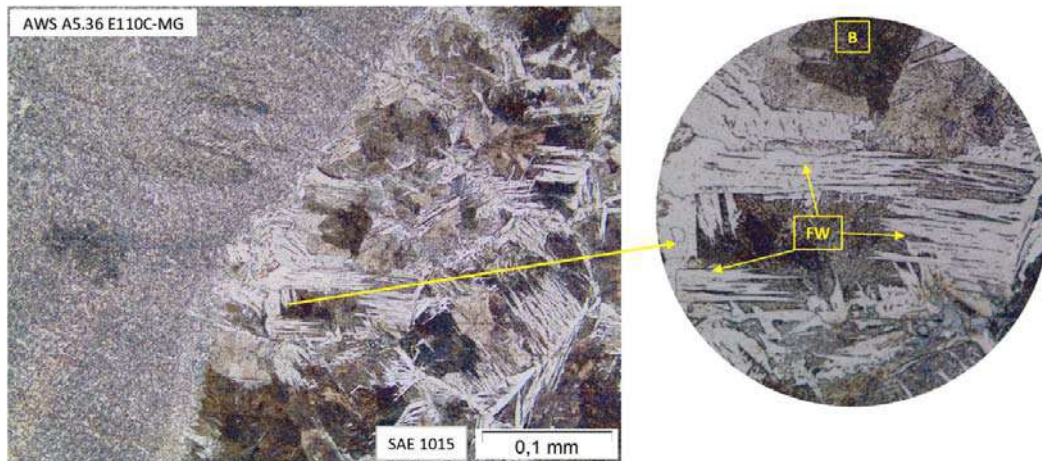
base. O material adicionado possui tamanho de grãos finos, o que aumenta a dureza do material. Já a região que foi afetada pelo calor, é constituída de ferrita de Widmanstätten (FW).



Fonte: Do autor

Figura 6: Região de ligação entre material soldado AWS A5.36 E110C-MG, e material de base SAE 1015

A Fig. 7 demonstra a ferrita de Widmanstätten (FW) na zona termicamente afetada pelo calor.



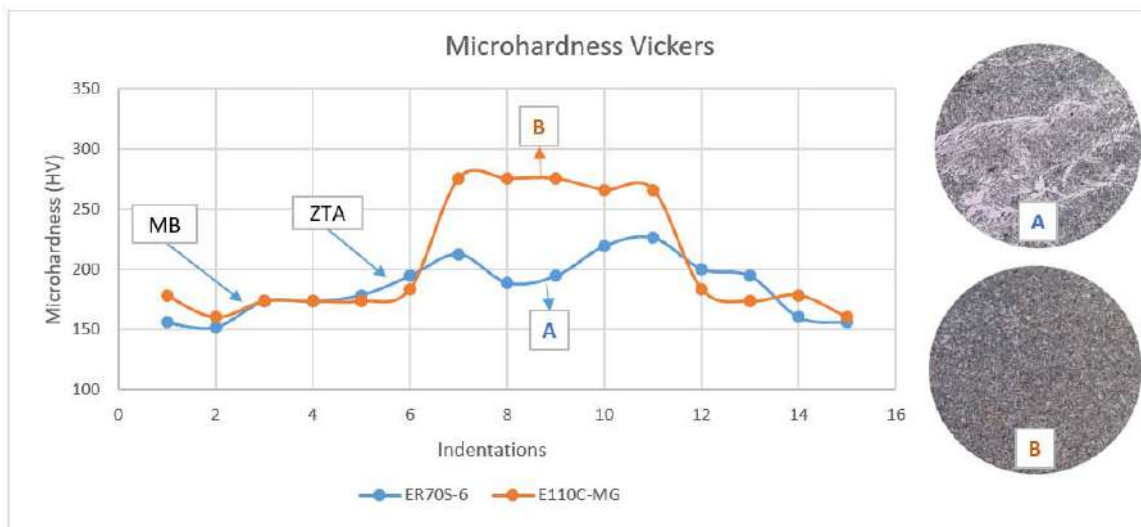
Fonte: Do autor

Figura 7: Ferrita de Widmanstätten (FW) na zona termicamente afetada pelo calor

3.3 Análise de microdureza Vickers para junta dissimilar com arame de baixa liga E110C-MG e junta com arame de baixo carbono ER70S-6

o arame AWS A5.36 E110C-MC, nota-se um aumento acentuado de dureza ao chegar na zona termicamente afetada pelo calor (ZTA).

A Fig. 8 traz os resultados de microdureza para os arames em estudo. De acordo com a análise, para



Fonte: Do autor

Figura 8: Gráfico de microdureza Vickers para ambos os arames em estudo. (ZTA) Zona Termicamente Afetada pelo calor, (MB) Material de Base

Para o arame AWS A5.36 E110C-MG, a média de microdureza na região de soldagem “B” apresentou valores de 272 ± 5 HV, entretanto, para a região do material de base (MB), o resultado foi de 172 ± 7 HV.

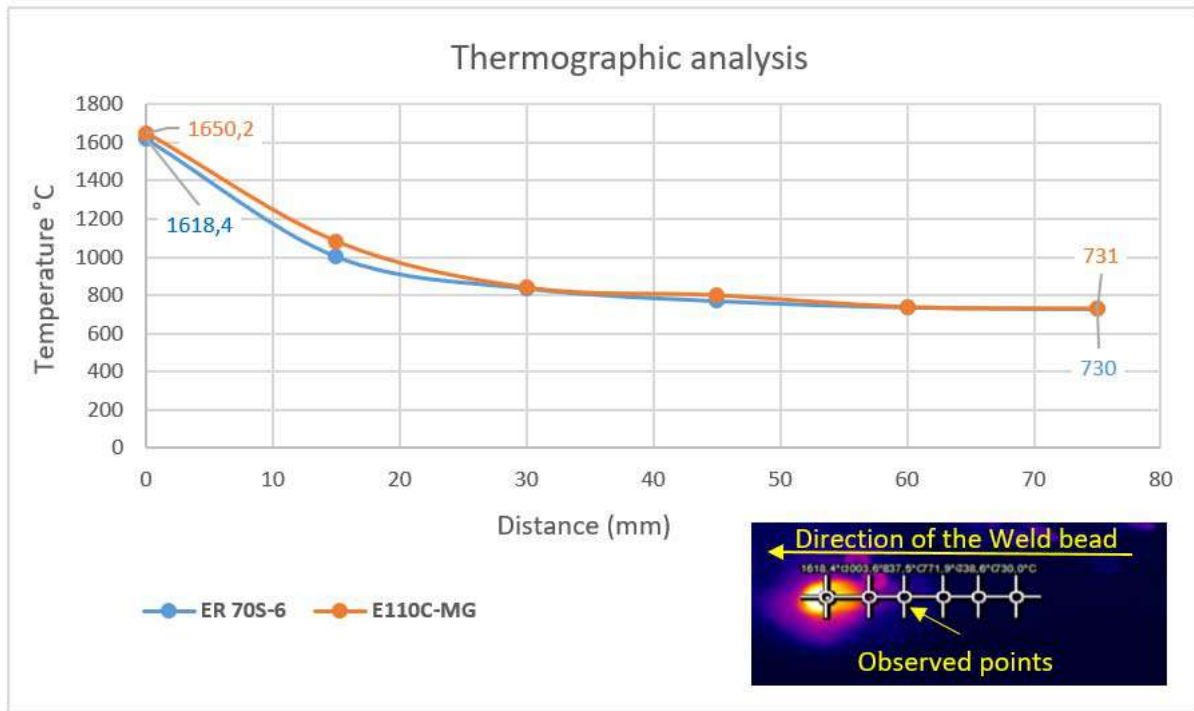
HV, e para região de soldagem obteve-se um aumento, ficando em 206 ± 15 HV.

3.4 Análise termográfica para junta dissimilar com arame de baixa liga E110C-MG e junta com arame de baixo carbono ER70S-6.

Contudo, ao se tratar do arame de soldadura AWS A5.18 ER70S-6, na região do material de base a microdureza ficou muito próximo, com 164 ± 11

A Fig. 9 detalha a avaliação térmica para os arames em estudo. Conforme figura, o primeiro

ponto traz as temperaturas para a poça de fusão, onde chega a 1650,2 °C e 1618,4 °C para os arames E110C-MG e ER70S-6, respectivamente.



Fonte: Do Autor

Figura 9: Análise Termográfica do Momento da Solda

VI. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme literatura, soldas com diferentes características estão se tornando essenciais para atender a área de metalurgia. Dessa forma, conforme comparação entre a soldagem com arame AWS A5.18 ER70S-6 e a soldagem com arame AWS E110C-MG, há diferenças entre microestrutura e microdureza. Contudo, ressalta-se às elevadas temperaturas para poça de fusão, bem como para fundir os materiais. Dessa forma, ao comparar as microdureza na região de soldagem, obteve-se um aumento de 24 % para o arame AWS A5.36 E110C-MG, o que pode ser explicado por este material possuir cromo e molibdênio em sua estrutura. A avaliação metalográfica demonstrou tamanho de grão fino para o arame AWS A5.36 E110C-MG, sendo o refino de grão outro fator de aumento de microdureza. Contudo, a região da zona termicamente afetada pelo calor demonstra grãos grosseiros, bem como ferrita de Widmanstätten, o

que ocorre quando se possui elevadas temperaturas seguidas de resfriamento moderado.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Centro Universitário – UNISATC pelo apoio à pesquisa através do uso de sua estrutura de laboratórios e a Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina – FAPESC pelo apoio financeiro na compra de equipamentos e insumos para a pesquisa.

REFERÊNCIAS

1. RIBEIRO, Jorge.; FERREIRA, Carlos.; SOUZA, Mauro.; MONINE, Vladimir. *Estudo estrutural da junta soldada dissimilar entre o aço inox austenítico AISI 347 e o aço carbono ferrítico ASTM A36*. Brazilian Journal of Developmen. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n9-098>. Acesso em: 06 de setembro de 2024.

2. KUMAR, Niraj.; KUMAR, Prakash. *Investigation on microstructural and mechanical integrity of GTAW dissimilar welded joint of IN 718/ASS 304L using Ni-based filler IN 625 using EBSD and DHD techniques*. International Journal of Pressure Vessels and Piping. Volume 209, junho de 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijpvp.2024.105213>. Acesso em: 06 de setembro de 2024.
3. SANTOS, Pedro.; CARVALHO, Derek. *Caracterização microestrutural de solda dissimilar entre aço carbono e inox pelo processo s.m.a.w*. Disponível em: https://www.fucap.edu.br/dashboard/biblioteca_repositorio/of416c2a28f6c19e4db80feb179of57b.pdf. Acesso em: 06 de setembro de 2024.
4. ZHOU, Xiaohui.; LI, Ruihan.; WANG, Binggiu.; WEI, Lianfeng.; TIAN, Lei.; YANG, Mingrui.; SONG, Xiaoguo.; TAN, Caiwang. *Microstructure evolution and corrosion behavior improvement of oscillation laser welded 2205/316L dissimilar joints used in offshore platform*. Ocean Engineering. Volume 311, Part. 1, 1 November 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2024.118833>. Acesso em: 06 de setembro de 2024.
5. SURKAR, Hardik.; KUMAR, Amit.; SIROHJ, Sachin.; PANDEY, Shaijesh.; ŚWIERCZYŃSKA, Aleksandra.; FYDRYCH, Dariusz. PANDEY, Chandan. *A dissimilar welded joint of grade 92 steel and AISI 304L steel obtained using IN82 buttering and IN617 filler: relationship of microstructure and mechanical properties*. Volume 24, article number 109, (2024). Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s43452-024-00920-x>. Acesso em: 06 de setembro de 2024.
6. RAMKUMAR, D.; OZA, S.; PERIWAL, S.; ARIVAZHAGAN, N.; SRIDHAR, R.; NARAYANAN, S. *Characterization of weld strength and toughness in the multi-pass welding of Inconel 625 and Super-duplex stainless steel UNS S32750*. Ciência & Tecnologia dos Materiais Volume 27, Issue 1, January–June 2015, Pages 41–52. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ctmat.2015.04.004>. Acesso em: 06 de setembro de 2024.
7. DAS, Rajkumar., SILVASWAMY, Giribaskar., LALVANI, Himansgu., SINGH, Ajit. *Fracture toughness and microstructural analysis of rotary friction welded S355J2 and SS316L steels for critical applications*. Journal of Advanced Joining Processes Volume 10, November 2024, 100244. <https://doi.org/10.1016/j.jajp.2024.100244>.
8. GOMORA, Cesar Mendoza; ORTIZ, Jesús Reyes; CEREZO, Erick Torres; SOTO, Carlos Ernesto Borja, SILVA, Jorge Zuno. *Especificación y calificación de un procedimiento de soldadura disímil (wps) con proceso gmaw, para láminas de acero de bajo carbono y acero martensítico*. Ingenio y Conciencia. pg. 11-17. 2020.
9. AGUIRRE, Humberto Vinicius Muñoz; TEIXEIRA, Felipe Ribeiro; MOTA, Carlos Alberto Mendes; NASCIMENTO, Alexandre Saldanha. *Avaliação de Soldas Dissimilares com a Técnica da Dupla Camada Utilizando os Arames-Eletrodos AWS ER 316L e ER NiCrMo-3 sobre o Aço ASTM A182 F22*. Matéria (Rio J.) 26 (03). 2021.
10. BÖHLER HL 85 T-MC-B: *Arame tubular metalcored, aço baixa-liga, alta resistência*. Abril de 2008.
11. AWS A5.36/A5.36M:2016. *Specification for Carbon and LowAlloy Steel Flux Cored Electrodes for Flux Cored Arc Welding and Metal Cored Electrodes for Gas Metal Arc Welding*. 2º edição. Pág. 23.
12. AWS A5.18/A5.18M:2021. *Specification for Carbon Steel Electrodes and Rods for Gas Shielded Arc Welding*. 8º Edição. Pág. 11.
13. American Society for Testing and Materials. *A 29/A 29M – 05. Standard Specification for Steel Bars, Carbon and Alloy, Hot-Wrought, General Requirements for*. Nova York. Pág. 3. 2005.
14. SILVA, Thiago. *Efeito dos parâmetros de trefilação nas propriedades mecânicas e microestruturais do aço sae 1015 trefilado*. Universidade Federal do Ceará. Departamento de Engenharia Metalúrgica e Materiais curso de Engenharia Metalúrgica. <https://www.repositoriobib.ufc.br/000020/00002032.pdf>.

15. Aços Especiais Iguatemi. *AÇO CARBONO*. São Paulo, 2024. <https://www.acosiguatemi.com.br/produtos/aco-carbono/>