



II CONEPETRO

II CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE
PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS
IV WORKSHOP DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO

ANÁLISES DE REVESTIMENTOS AISI 317L APLICADOS PELO PROCESSO MIG MANUAL COM ADIÇÃO DE ARAME FRIO

Ângela Pâmella Sousa Albuquerque¹; Ayrton Oliveira Abrantes²; Clarice Oliveira da Rocha³;
Theophilo Moura Maciel⁴; Marcos Mesquita da Silva⁵

¹ Instituto Federal da Paraíba, IFPB, Campus Campina Grande, Petróleo e Gás - pamelaangela4@gmail.com

² Universidade Federal de Campina Grande, Unidade Acadêmica de Engenharia Mecânica -
ayrtonabrantes@hotmail.com

³ Instituto Federal da Paraíba, IFPB, Campus Campina Grande, Petróleo e Gás - clarice.rocha@ifpb.edu.br

⁴ Universidade Federal de Campina Grande, Unidade Acadêmica de Engenharia Mecânica -
theophilo.maciel@ufcg.edu.br

⁵ Instituto Federal da Paraíba, IFPB, Campus Campina Grande, Petróleo e Gás - marcos.silva@ifpb.edu.br

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo avaliar as características microestruturais e a tenacidade de revestimentos de aço AISI 317L depositados por soldagem em substratos de aço ASTM A 516 Gr 60 voltados para o setor de Petróleo e Gás, utilizando o processo MIG manual com adição de arame frio (MIG-MAF). Para este processo empregou-se o arame eletrodo AWS E317L como metal de adição. As soldagens foram executadas com uma temperatura de interpasse de 423K (150°C). Além disso, estas foram realizadas empregando-se dois níveis de velocidade de arame frio (V_f), $V_f=0,025\text{m/s}$ e $V_f=0,040\text{ m/s}$. A partir dos corpos de prova (CPs) revestidos foram retiradas amostras para caracterizações através de ensaios de microscopia ótica, microdureza, e testes de tenacidade ao impacto (Charpy) nas temperaturas ambiente de 273K. Os principais resultados mostraram que o revestimento aplicado com maior V_f necessitou de maior energia de soldagem. Consequentemente, esse mesmo revestimento apresentou maior diluição e maior extensão de zona termicamente afetada (ZTA). Logo, os melhores revestimentos foram aqueles da condição de soldagem CP2-MAF ($V_f=0,025\text{m/s}$; $H=1554\pm 59\text{ kJ/m}$), pois a mesma proporcionou o menor nível de diluição, a menor extensão de ZTA e menos formação de ZPDs.

Palavras chave: Soldagem, Revestimento AISI 317L, Arame frio, Tenacidade e Microdureza.

1. INTRODUÇÃO

Dentro da Indústria do Petróleo, é notável a relevância que a soldagem tem adquirido ao longo do tempo com a complexidade dos equipamentos e a necessidade de fabricação e reparo destes. Todavia, apesar desta relevância, existe uma carência significativa de pesquisas voltadas para o desenvolvimento de procedimentos de soldagem que atendam às necessidades de

qualidade na aplicação; melhor relação custo/benefício e redução do tempo de parada para atividades de manutenção. Sendo este, muitas vezes, o ponto crítico para equipamentos de processamento/refino (torres de destilação, tanques de armazenamento, tubulações e reatores). Em geral, as superfícies metálicas internas destes equipamentos precisam de resistência aos meios corrosivos, a fim de evitar a aceleração da degradação do equipamento. Logo, para

**www.conepetro.com
.br**

(83) 3322.3222
contato@conepetro.com.br

mitigar isso, faz-se necessário a aplicação de algum tipo de revestimento interno resistente à corrosão. E, um dos tipos de revestimento mais empregados nessas situações são aqueles metálicos aplicados por soldagem utilizando aços inoxidáveis ou ligas de níquel [MORRITIS, 1995; SMITH, 1993].

No entanto, estes revestimentos contra corrosão, devem apresentar propriedades específicas. Por exemplo, uma composição química específica, ou seja, a composição química do revestimento deve se aproximar ao máximo da composição do metal de adição, isto é, deve-se manter o mínimo de diluição do ferro do substrato no metal de solda. Além disso, diversos são os processos de soldagem que podem ser utilizados para aplicação de revestimentos anticorrosivos. Entretanto, para todos esses processos existe uma necessidade de ajuste de parâmetros para que seja possível a aplicação de revestimentos com excelentes propriedades contra resistência à corrosão, destacamento, etc [SILVA, 2009a]. Além disso, alguns processos de soldagem apresentam algumas variantes que visam o aumento da taxa deposição, como por exemplo o processo MIG (*Metal Inert Gas*) com adição de arame frio.

Neste contexto, destaca-se a necessidade de realização de pesquisas sobre as características metalúrgicas e as propriedades mecânicas de revestimentos – à base de aços inoxidáveis austeníticos resistentes à corrosão [MORRITIS,1995; SMITH, 1993].

Assim, este trabalho tem como objetivo geral avaliar revestimentos de aços AISI 317L – aplicados por soldagem em chapas de aço C-Mn utilizando o processo MIG manual com adição de arame frio (MIG-MAF) – buscando relacionar os resultados obtidos os parâmetros de soldagem utilizados, com a microestrutura, a diluição e também a resistência ao impacto na interface revestimento/substrato.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Materiais

Neste trabalho a deposição dos revestimentos de aço AISI 317L em substratos de aço ASTM A516 Gr 60 foi realizada através do processo de soldagem MIG manual com adição de arame frio (MIG-MAF). As composições químicas do substrato e do revestimento estão dispostas nas Tabelas 1 e 2, respectivamente.

Tabela 1: Composição química (% em peso) nominal do aço ASTM A516 Gr 60.

ASTM A516 Gr 60	Composição (% em peso)					
	C	Mn	P	S	Si	Fe
	0,21	0,60- 0,90	0,035	0,035	0,15- 0,40	Bal.

Fonte: ASTM (2004).

Tabela 2: Composição química nominal do metal de adição E 317L

Metal de adição	Composição (% em peso)						
	C	Cr	Ni	Mo	Fe	Mn	Si
E317L	0,03	18,50	13,00	3,80	8,00	1,00	0,70

Fonte: Böhler (2008).

2.2. Metodologia

2.2.1. Usinagem do substrato

Cortes na chapa de aço ASTM A516 Gr 60 foram realizados a fim de se produzir os corpos de prova (canaletas), com comprimento de 160 mm, para receberem os revestimentos por soldagem. A Figura 1 apresenta a geometria desta canaleta.

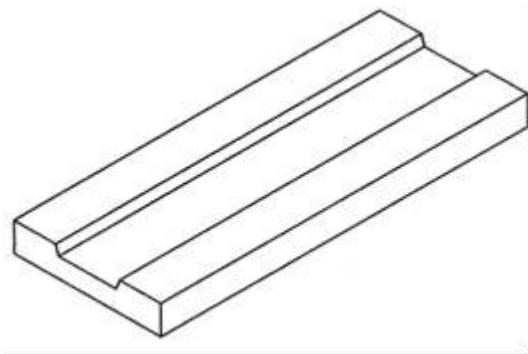


Figura 1: Canaleta para deposição dos revestimentos

2.2.2. Realização das soldagens de revestimento com arame frio

A soldagem de revestimento (aplicação de revestimentos) foi realizada através do processo MIG-MAF, utilizando como metal de adição um arame eletrodo sólido (arame quente) AWS E 317L e um arame frio tubular também AWS E 317L. O diâmetro destes arames foi de $1,2 \times 10^{-3}$ m.

Para o arame quente foi fixada uma velocidade de alimentação de 0,1 m/s, enquanto que para o arame frio foram empregados dois níveis de velocidade de alimentação (V_f), isto é, $V_f=0,025$ m/s e $V_f=0,040$ m/s. Durante estas operações de soldagem o gás argônio foi utilizado com gás de proteção. A Tabela 3 apresenta os parâmetros de soldagem para todos revestimentos obtidos. No total foram aplicados dois revestimentos (CP1-MAF e CP2-MAF) e os parâmetros de soldagem foram escolhidos de acordo com a experiência do técnico operacional da máquina de soldagem, já que este trabalho é inicial e prospectivo.

2.2.3. Caracterização dos revestimentos

Os revestimentos foram caracterizados através de técnicas convencionais de ensaios metalográficos (corte, lixamento, polimento, ataque e registro da microestrutura). O ataque químico utilizado foi Nital 1,5%. Já os registros das microestruturas foram obtidos através de microscopia óptica utilizando um microscópio acoplado a um computador – e um software analisador de imagens.

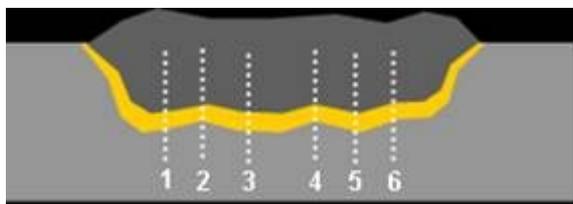
Além disso, os revestimentos foram caracterizados através de microdureza. Ou seja, realização de microdureza Vickers ao longo de seis linhas verticais (Figura 2a), com

uma carga de 0,3kg, e ao longo da interface substrato/revestimento (Figura 2b), com uma carga de 0,1kg por 15s. A Figura 2b também ilustra esquematicamente a extensão da ZTA.

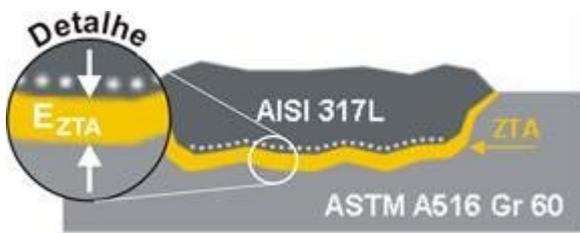
Tabela 3: Parâmetros de soldagem empregados.

CP1-MAF – Vq*=0,1m/s, Vf*=0,04m/s				
	I (A)	U (V)	Tempo (s)	Energia de soldagem, H (kJ/m)
Passe 1	213	26,6	62	2108
Passe 2	206	25,8	57	1818
Passe 3	213	25,5	43	1401
Passe 4	230	25,5	33	1161
Média	215,50±10,21	25,85±0,52	48,75±13,23	1622±423
CP2-MAF – Vq=0,1m/s, Vf=0,025m/s				
	I (A)	U (V)	Tempo (s)	Energia de soldagem, H (kJ/m)
Passe 1	215	26,5	44	1504
Passe 2	215	27	44	1533
Passe 3	220	26,5	44	1539
Passe 4	220	27	46	1639
Média	217,50±2,89	26,75±0,29	44,50±1,00	1554±59

*Vq= velocidade de Arame eletrodo quente; Vf= velocidade de Arame frio.



(a)



(b)

Figura 2: Ensaio de microdureza (a) ao longo de linhas verticais com uma carga de 0,3kg e (b) próxima à interface revestimento/substrato (carga: 0,1kg).

A Figura 3 mostra as regiões utilizadas para o cálculo das diluições (D), de acordo com a equação [1]:

$$D(\%) = \left[\frac{\text{área}_{(2)}}{(\text{área}_{(1)} + \text{área}_{(2)})} \right] \times 100\% \quad [1]$$

A Figura 4 apresenta a localização dos corpos de prova Charpy utilizados neste trabalho. Estes corpos de prova (CP) foram dimensionados de acordo com a norma ASTM E 23 – 02a [ASTM, 2003].

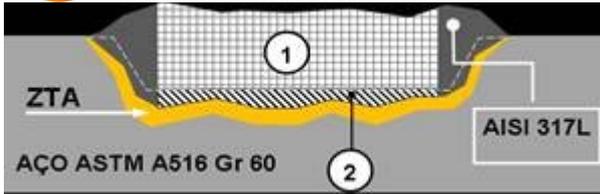


Figura 3: Regiões para o cálculo das diluições.

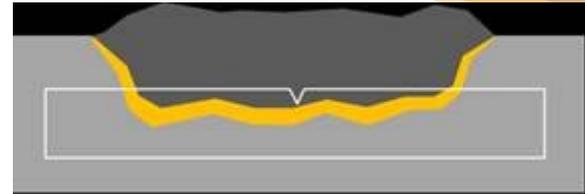
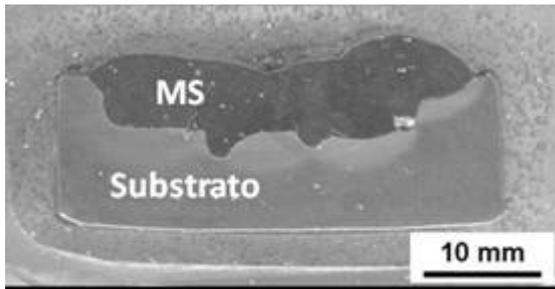
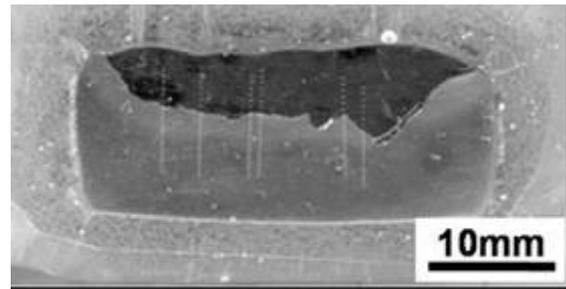


Figura 4: Localização do corpo de prova para ensaio de tenacidade Charpy.



(a)



(b)

Figura 5: Macrografias dos CPs revestidos. (a) CP1- MAF, (b) CP2- MAF.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 5 apresenta as macrografias dos CPs revestido pelo processo MIG-MAF. Inicialmente, foram projetadas duas condições de soldagem para o processo MIG-MAF, isto é, duas velocidades de alimentação de arame frio (V_f), 0,040 m/s e 0,025 m/s, sendo duas canaletas para cada velocidade, V_f .

Quanto à qualidade dos revestimentos obtidos pelo processo MIG-MAF, verificou-se a existência de alguns defeitos de soldagem na interface revestimento/substrato. Além de existir defeitos de soldagem entre os cordões de solda, foi possível encontrar falta de fusão na parte inferior de certos cordões de solda (Figura 6), independente das duas condições de soldagem do processo MIG-MAF. Estes

defeitos de soldagem servem como concentradores de tensão e reduzem a tenacidade do revestimento, podendo contribuir para o destacamento do cordão de solda (revestimento).



Figura 6: Defeitos de soldagem para o processo MIG-MAF. Ampliação: 8x. Ataque nital (1,5%)

Na Figura 5 também é possível observar que ocorreram descontinuidades na interface MS/substrato. Isto é, nota-se que houve

variações bruscas na interface, onde o MS penetrou o substrato abruptamente, o que contribui para o aumento da diluição. Este fenômeno pode estar associado a problemas de “stickout” durante o processo de soldagem, ou seja, variações na distância entre a ponta

do eletrodo e a superfície do substrato devido ao processo MIG-MAF ter sido manual. Já em revestimentos aplicados com processos de soldagem mecanizados ou robotizados este fenômeno pode ser minimizado [Silva *et al.*, 2010; Silva *et al.*, 2016].

Tabela 4: Influência dos parâmetros de soldagem na diluição e na extensão da ZTA dos revestimentos.

	Vf (m/s)	H média (kJ/m)	Diluição (%)	Extensão da ZTA (mm)
CP1-MAF	0,040	1622±423	13,64	3,24±0,51
CP2-MAF	0,025	1554±59	12,55	2,38±0,13

A Tabela 4 expõe os valores de diluição para cada condição de soldagem do processo MIG-MAF. Verifica-se que para a velocidade de arame frio Vf = 0,040m/s a energia de soldagem foi maior (1622±423). Este valor maior de energia de soldagem além de gerar uma maior diluição, também promoveu uma maior extensão de ZTA. Silva *et al.* [2009b] também encontraram um comportamento semelhante.

Quanto maior for a diluição, maior será a participação de ferro e carbono no metal de solda. Portanto, uma diluição reduzida é sempre desejada, pois além de minimizar a formação de microestruturas de alta temperabilidade e susceptíveis a ataque corrosivo, também contribui para evitar trincas de solidificação no MS [LIPPOLD e KOTECKI, 2005]. ROWE *et al.* [1999] melhoraram a resistência a trincas em

revestimentos (para proteção contra corrosão) de aço inoxidável austenítico AISI 308 quando reduziram o nível de diluição de 40 pra 30%. E, no corrente trabalho, a condição que apresentou menor valor de diluição foi aquela para Vf=0,025m/s, já que para esta Vf foi empregada uma energia H menor (1554±59kJ/m). A condição CP2-MAF (Vf=0,025m/s) também mostrou o melhor resultado em relação à E_{ZTA}, pois apresentou os menores valores E_{ZTA}. Em geral, maiores E_{ZTA} estão associadas a grãos grosseiros maiores, e estes estão associados a menores tenacidade ao impacto [Barnhouse e Lippold, 1998; Taban *et al.*, 2008].

Também foram observadas características metalúrgicas na interface revestimento/substrato, tais como regiões denominadas de “praias”, “ilhas” e “penínsulas”, para todos os revestimentos

obtidos pelo processo MIG-MAF. Estas regiões (Figuras 7 e 8) são características de soldagens dissimilares. Como pode ser observado nas Figuras 7 e 8, os locais de maiores durezas estão localizados nos contornos destas regiões. Assim, buscar parâmetros de soldagem que minimizem a formação destas regiões irá reduzir a quantidade de zonas parcialmente diluídas (ZPD) na interface revestimento/substrato.

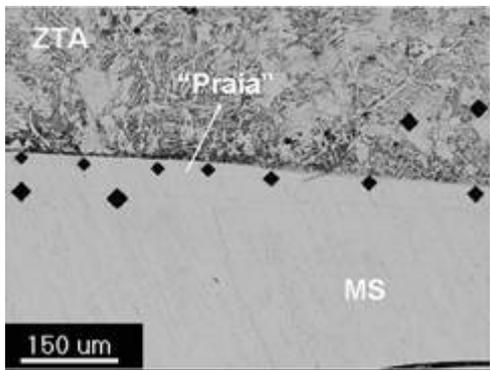


Figura 7: Morfologias de zonas localizadas na interface revestimento/substrato: “praia”.

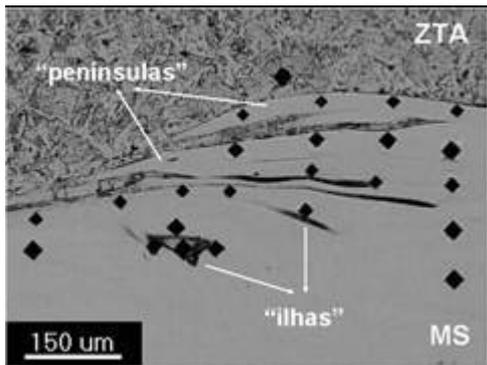


Figura 8: Zonas localizadas na interface revestimento/substrato: “penínsulas” e “ilhas”.

A Figura 9 apresenta o perfil de microdureza com o gradiente de dureza nas

regiões metal de solda (MS), zona termicamente afetada de grãos grosseiros (ZTA-GG) e ZTA de grãos finos (ZTA-GF) para a condição CP1-MAF. E a Tabela 5 apresenta as durezas médias nas regiões MS, ZTA-GG e ZTA-GF para as condições de soldagem. Comprovou-se que não houve variações significativas na dureza média destas regiões, quando se variou as condições de soldagem (V_f ou H). Verifica-se, a partir da Tabela 5, que o MS continua apresentando os maiores níveis de dureza e que a dureza da ZTA-GG foi um pouco maior do que aquela da ZTA-GF.

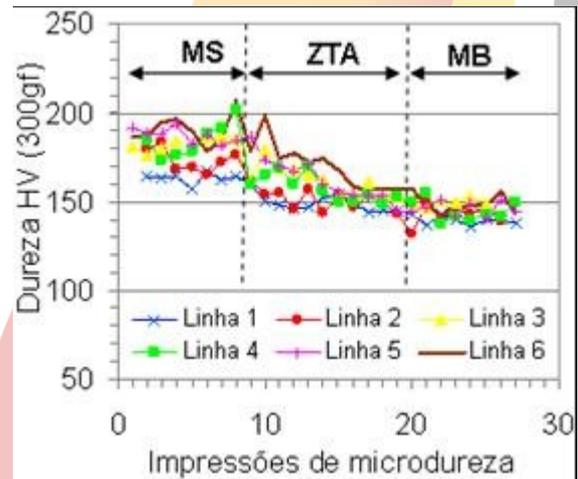


Figura 9: Perfil de microdureza de acordo com as linhas verticais. CP1-MAF.

Tabela 5: Durezas médias nas regiões MS, ZTA-GG e ZTA-GF.

	CP1-MAF	CP2-MAF
	1622±423 kJ/m $v_f=0,040\text{m/s}$	1554±59 kJ/m $v_f=0,025\text{m/s}$
MS	180±6 HV	180±7 HV
ZTA-GG	165±7 HV	161±5 HV
ZTA-GF	154±4 HV	155±5 HV

Tabela 6: Impressões de microdureza adjacentes à de linha de fusão.

Nível de dureza	Vf = 0,040m/s		Vf = 0,025m/s	
	H=1622±423 kJ/m		H= 1554±59 kJ/m	
	CP1-MAF		CP2-MAF	
	Nº de impressões	Percentual	Nº de impressões	Percentual
Dureza acima de 200HV	61	81,33%	55	77,46%
Dureza acima de 250HV	37	49,33%	32	45,07%
Dureza acima de 300HV	25	33,33%	17	23,94%
Dureza acima de 350HV	12	16,00%	9	12,68%
Dureza acima de 400HV	1	1,33%	0	0,00%
Total de impressões	75		71	

A Tabela 6 mostra os percentuais das impressões de dureza na interface revestimento/substrato, em relação a diversos níveis, para as condições CP1-MAF e CP2-MAF. Comparando-se estas duas condições, observa-se que a primeira (CP1-MAF) apresentou maiores percentuais de impressões de dureza acima de 250, 300, 350 e 400HV. Isto indica que a formação de zonas parcialmente diluídas (Figuras 7 e 8), principalmente aquelas que apresentam dureza acima de 300 ou 350HV, foi mais presente na condição CP1-MAF, onde a energia média de soldagem foi maior. Ou seja, maiores energias de soldagem proporcionaram uma quantidade maior de zonas parcialmente diluídas na interface revestimento/substrato. Nesse aspecto, a condição CP2-MAF apresentou a melhor condição já que proporcionou menos ZPDs.

Os ensaios de tenacidade Charpy em CPs foram conduzidos nas temperaturas

ambiente (25°C) e 273K (0°C). Entretanto, devido aos defeitos de soldagem presentes nesses CPs, a maioria dos corpos de prova não romperam no entalhe. A fratura ocorreu nos locais com maiores concentrações de tensões, isto é, nos defeitos de soldagem (Figura 10). Ou seja, para apenas uma condição de soldagem (CP2-MAF) os resultados de tenacidade foram considerados válidos, conforme apresenta a Tabela 7.

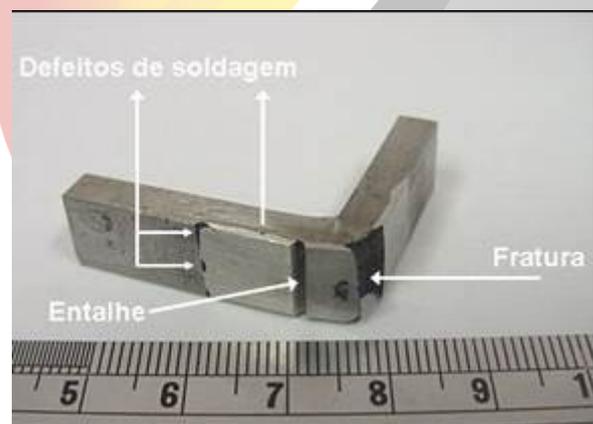


Figura 10: Defeitos de soldagem (concentradores de tensão).

Tabela 7: Tenacidade ao impacto para a 0°C.

Temperatura	CP2-MAF (H=1554± 60kJ/m)
T=273K (°C)	700kJ/m ² ± 150 kJ/m ²

Taban *et al.* [2008] alcançaram um valor de tenacidade igual a 1730kJ/m² utilizando corpo de prova Charpy padrão com entalhe na interface da solda resultante de uma soldagem dissimilar de um aço estrutural com 1,53%Mn com um aço inoxidável (em T=273K). No entanto, no corrente trabalho foram usados corpos de prova Charpy subespécimes. Já Silva *et al.* [2009b], encontraram valores médios de tenacidade ao impacto variando de 1090kJ/m² a 1480 kJ/m², para revestimentos de aço AISI 317L aplicados em aço carbono pelo processo MIG Robotizado com Duplo Arame (MIG-RDA). A Figura 11 apresenta uma comparação dos resultados obtidos neste trabalho com aqueles de Silva *et al.* [2009b]. Nota-se que no corrente trabalho a tenacidade ao impacto foi um pouco baixa comparada com os valores da literatura. Isto pode ser explicado através da qualidade reduzida dos revestimentos devido a presença de uma quantidade razoável de descontinuidades de soldagem. Esses resultados sinalizam que, apesar do estudo ser de carácter inicial e exploratório, os parâmetros de soldagem utilizados precisam ser ajustados a fim de que

revestimentos com melhor qualidade sejam obtidos.

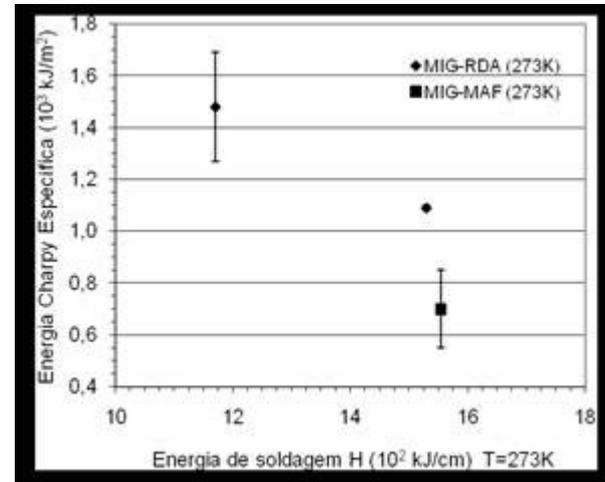


Figura 11: Defeitos de soldagem (concentradores de tensão).

4. CONCLUSÕES

- A diluição e a extensão da ZTA aumentaram com a energia de soldagem média;
- O gradiente de dureza nas regiões MS, ZTA-GG e ZTA-GF, não apresentou variações significativas quando os parâmetros de soldagem foram modificados, embora a dureza da ZTA-GG tenha sido maior em relação àquela da ZTA-GF;
- O ensaio de microdureza realizado na região adjacente à interface revestimento/substrato indicou a presença de uma maior quantidade de zonas parcialmente diluídas nessa região;



II CONEPETRO

II CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE
PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS
IV WORKSHOP DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO

- Neste trabalho os melhores revestimentos foram aqueles da condição de soldagem CP2-MAF ($V_f=0,025\text{m/s}$; $H=1554\pm 59$ kJ/m), pois a mesma proporcionou o menor nível de diluição, a menor extensão de ZTA e menos formação de ZPDs.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), a Rede Multitarefa de Materiais Avançados do Norte e Nordeste (REMULT) através do Núcleo de União e Revestimentos de Materiais (UNIREV), e ao CNPq.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

SMITH.W.F. *Nickel and cobalt alloys. Structure and properties of engineering alloy*. Mc Graw Hill, 2 ed, Series Materials Science and Engineering Series,1993.

MORRITIS, G. *Heavy oil expansions gather momentum worldwide*. Oil & Gas Journal. USA: v.93, p.31-38, 1995.

SILVA, Marcos Mesquita da. *Caracterização Metalúrgica e Tenacidade de Revestimentos em Aços Inoxidáveis 317L Aplicados por Soldagens MIG Manual e Robotizado para*

Equipamentos do Setor de Petróleo e Gás.

2009. 110p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2009a.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). A516/516M: *Standard Specification for Pressure Vessel Plates, Carbon Steel, for Moderate – and Lower-Temperature Service*. United States, 2004.

BÖHLER WELDING GROUP. *Aceros Inoxidables*. Disponível em: <http://www.bohlerweldinggroup.com.ar/spanish/50_ESN_HTML.htm>. Acesso em: 27 out. 2008.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). E 23-02: *Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials*. United States, 2003.

SILVA, M.M.; OLIVEIRA, W.C.; MACIEL, T.M.; SANTOS, M.A.; MOTTA, M.F. *Caracterização de Solda de Revestimento de AWS 317L Depositados por GMAW Duplo Arame em Aços ASTM A 516 Gr 60 para Uso na Indústria do Petróleo*. Soldagem & Inspeção, v. 15, n. 3, p. 225-233, 2010.

www.conepetro.com.br

(83) 3322.3222

contato@conepetro.com.br



II CONEPETRO

II CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE
PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS
IV WORKSHOP DE ENGENHARIA DE PETRÓLEO

SILVA, M.M.; BATISTA, V. R.; MACIEL, T.M.; SANTOS, M.A.; BRASILEIRO, T. L. *Otimização de Parâmetros do Processo de Soldagem Arco Submerso para Revestimentos Anticorrosivos*. Soldagem & Inspeção, v. 21, n. 1, p. 115-124, 2016.

SILVA, M. M.; MOTTA, M. F.; MACIEL, T. M.; SANTOS, M. A. *Características Microestruturais e Tenacidade ao Impacto de revestimentos AISI 317L aplicados em aço ASTM A 516 Gr 60 utilizados na indústria do petróleo e gás*. In: IX Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica. Novembro, 2009b.

LIPPOLD, J. C.; KOTECKI, D. J. *Welding Metallurgy and Weldability of Stainless Steel*. New Jersey: John Wiley & Sons, 2005.

ROWE, D.; NELSON, T. W.; LIPPOLD, J. C.. *Hydrogen-Induced Cracking Along the Fusion Boundary of Dissimilar Welds*. Welding Journal, Miami, v. 78, n. 2, p.31-37, 1999.

TABAN, E.; DELEU, A.; DHOOGHE, A.; KALUC, E. *Evaluation of Dissimilar Welds between Ferritic Stainless Steel Modified 12% Cr and Carbon Steel S335*. Welding Journal, v. 87, n. 12, p. 291-297, 2008.

BARNHOUSE, E. J.; LIPPOLD, J. C. *Microstructure/Property Relationship in Dissimilar Welds Between Duplex Stainless Steels and Carbon Steels*. Welding Journal, v. 77, n. 12, p. 477-487, 1998.



www.conepetro.com.br

(83) 3322.3222

contato@conepetro.com.br