

Estudo de revestimentos de liga Ni aplicados em aço carbono submetidos a ensaios de arrancamento

M. M. Silva^{1*}, B. A. Araújo², T. M. Maciel³, M. A. Santos³

¹Petróleo e Gás, Campus Campina Grande – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia - PB, IFPB

²Automação Industrial, Campus Cajazeiras – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia - PB, IFPB

³Unidade Acadêmica de Engenharia Mecânica – Universidade Federal de Campina Grande

*Avenida Tranquilino Coelho Lemos, 671, Dinamérica, Campina Grande – PB, CEP 58.432-300

(Recebido em 30/01/2015; aceito em 01/07/2015)

(Todas as informações contidas neste artigo são de responsabilidade dos autores)

Resumo:

O objetivo deste trabalho foi avaliar a resistência ao arrancamento (cisalhamento) de revestimentos de superliga de Ni aplicados em aço carbono estrutural. Para isto, inicialmente foram aplicados os revestimentos através do processo de soldagem ao arco submerso (SAW), com diferentes parâmetros de soldagem, empregando-se o metal de adição ER NiCrMo-4 e um fluxo aglomerado, neutro e básico. Após a aplicação dos revestimentos foram usinados corpos de prova, além de projetar e construir uma garra para o ensaio de arrancamento de acordo com a norma ASTM A 265-09. Os principais resultados indicaram que quanto maior a diluição da solda, maior será a resistência ao arrancamento do revestimento. Além disso, o revestimento que apresentou a menor resistência ao cisalhamento (347,7MPa), ainda mostrou um nível aproximadamente 2,5 vezes maior em relação ao nível mínimo exigido pela norma (140MPa). Assim, os parâmetros de soldagem escolhidos proporcionaram revestimentos com elevada resistência ao cisalhamento.

Palavras-chave: Soldagem; revestimento; liga de Ni; resistência ao cisalhamento.

Abstract:

The aim of this study was to evaluate the shearing resistance of Ni alloy weld overlays applied on structural carbon steel. For this, it was applied weld overlays by submerged arc welding (SAW) using the AWS ERNiCrMo-4 filler metal of 1,14mm-diameter and an agglomerated, fluoride basic and non-alloying flux, with different welding parameters. After welding, it was designed and machined a device for the shearing test as per ASTM A 265-09 standard. Moreover, coupons were machined. The main results showed the higher dilution the higher shearing resistance. Furthermore, the weld overlay that presented the lower shearing resistance (347,7MPa) also presented a resistance level 2.5 higher compared to the minimum level (140MPa) required by the standard. Thus, the welding parameters chosen provided shearing resistant welding overlays.

Keywords: Welding; welding overlay; Ni alloy; shearing resistance.

1. Introdução

Os revestimentos internos aplicados nos equipamentos do setor de petróleo e gás podem ser de vários tipos, tais como os anticorrosivos, antiabrasivos, antiincrustantes e refratários.

Os revestimentos anticorrosivos são os mais utilizados devido, principalmente, ao elevado grau de corrosividade dos fluidos empregados nas atividades deste setor. Por sua vez, estes revestimentos podem ser classificados em metálicos e não metálicos. Como exemplos dos revestimentos metálicos mais importantes têm-se o cladeamento, galvanização, revestimentos não-integrais diversos (lining) e os revestimentos por deposição de solda [1].

Os revestimentos aplicados por soldagem são obtidos através de uma soldagem dita dissimilar, já que o consumível, além de ser mais nobre, em geral possui uma composição química significativamente diferente em relação ao substrato. Neste caso, os metais de adição geralmente utilizados são os aços inoxidáveis austeníticos ou ligas de níquel, aplicados em substratos de aço carbono. Na indústria de petróleo e gás estes revestimentos podem ser aplicados em tubulações, vasos de pressão, reatores, tanques de armazenamento ou qualquer equipamento que requer proteção contra corrosão [2,3].

Hastelloy C-276 é uma liga de níquel muito utilizada na indústria petroquímica, aeroespacial e nuclear, pois ela possui alta resistência à corrosão em uma ampla gama de meios redutores e oxidantes e resistência em altas temperaturas [4].

*Email: marcos.silva@ifpb.edu.br (M. M. Silva)

Para que os revestimentos de liga de níquel tenham bom desempenho sob corrosão devem ter teor de Ferro (Fe) o mais baixo possível, o qual está intrinsecamente ligado ao nível de diluição do substrato no revestimento. Neste caso, quanto menor a diluição, menor a probabilidade de formação de microestruturas frágeis e susceptíveis à corrosão e menor o teor de Fe na superfície [5,6].

No entanto, revestimentos para proteção contra corrosão precisam também ser resistentes ao arrancamento (cisalhamento). Ou seja, além de se garantir a resistência à corrosão, também deve-se garantir que a interface solda/substrato seja resistente o suficiente para evitar o destacamento do revestimento (solda) em relação ao substrato quando exposto a adversidades [7,8].

Assim, este trabalho teve como objetivo avaliar a resistência ao arrancamento (cisalhamento) de revestimentos de superliga de Ni aplicados em aço carbono estrutural.

2. Materiais e Métodos

Nesta pesquisa foi utilizado como material de adição o arame eletrodo de liga de níquel, Hastelloy C-276 (ERNiCrMo-4) de 1,12mm (0,044") de diâmetro. Na Tabela 1 está ilustrado a composição química do Hastelloy-C276.

Como substrato (metal de base) foi utilizado o aço C-Mn ASTM A516 Gr 60 de espessura 12,7 mm. A Tabela 2 apresenta a especificação de composição química deste aço C-Mn.

A Tabela 3 apresenta os principais parâmetros de soldagem utilizados para obter os 3 (três) diferentes revestimentos. Ou seja, variou-se a Distância Bico de Contato-Peça (DBCP), a velocidade de alimentação de arame

(Va), a velocidade de soldagem (Vs), a corrente de soldagem (I) e a voltagem (U). Os três revestimentos foram obtidos através do processo de soldagem ao arco submerso (SAW), empregando-se o metal de adição ER NiCrMo-4 (Tabela 1) e um fluxo aglomerado, neutro e básico. Estas soldagens de revestimento foram feitas com restrição, e, para isto, foi projetada e construída uma bancada de soldagem (Figura 1a).

Para os ensaios de arrancamento foram tomados 2 (dois) corpos de prova de cada revestimento. Ou seja, foram analisados um total de 6 (seis) corpos de prova (1.1; 1.2; 2.1; 2.2. 3.1 e 3.2).

O ensaio de arrancamento, que quantifica a resistência de uma interface revestimento/substrato, foi realizado de acordo com a norma ASTM A 265-09 [8]. Este ensaio de arrancamento consistiu na aplicação de carga compressiva em um corpo de prova, no qual, está separado por dois blocos, que efetuam um apoio adequado e geram um cisalhamento em um ressalto. O ressalto foi o revestimento e o restante do corpo de prova foi o metal de base (Figura 1b). A espessura estipulada para o corpo de prova foi de 10 mm para o metal base e 3 mm para o ressalto (metal de solda). A partir disto foi então construído um dispositivo (uma garra), indicado na Figura 2a. Os ensaios foram então realizados em uma máquina universal de ensaio (Figura 2b), com o dispositivo e o corpo de prova dispostos entre dois pratos. A taxa de deslocamento do travessão da máquina foi de 0,5mm/min.

3. Resultados e Discussão

As soldagens de revestimento foram realizadas com sucesso, ou seja, não apresentaram descontinuidades no metal de solda e nem na interface substrato/revestimento.

Tabela 1. Composição química (% em peso) do metal de adição utilizado

Material	C	Mn	Si	Cr	Mo	Ni	Fe	Co	V	W
ER NiCrMo -4	0,009	0,540	0,050	15,30	15,30	58,2	6,12	0,03	0,27	3,82

Fonte: HAYNES Wire Company [9]. P=0,005% e S=0,001%.

Tabela 2. Composição química (% em peso) nominal do aço ASTM A516 Gr 60

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

Fonte: ASTM [10].

Tabela 3. Parâmetros de soldagem utilizados

Revestimento	DBCP (mm)	Va (m/min)	Vs (cm/min)	I (A)	U (volts)
1	28,0	8,5	22,0	176,34±8,89	35,97±1,25
2	34,0	7,0	22,0	142,48±6,27	41,98±1,25
3	31,0	7,8	25,0	169,11±10,66	38,45±2,05

Os revestimentos obtidos apresentaram diferentes valores de diluição, já que foram realizados com diferentes parâmetros de soldagem. A Figura 3 e a Figura 4 mostram, respectivamente, os revestimentos que tiveram os menores e

maiores níveis de diluição. Nota-se que o revestimento da Figura 3 apresenta um maior volume de material depositado o que justifica seu menor valor de diluição.

A Figura 5 exibe os corpos de prova após os testes de arrancamento. Segundo a norma ASTM A 265-09 [8], a resistência ao cisalhamento da interface revestimento/substrato deve ser superior a 140MPa.

Fazendo uma relação da resistência ao cisalhamento com a diluição, e dispondo estas resistências ao cisalhamento por ordem crescente de diluição média, obtém-se a Tabela 4. A partir desta tabela foi possível construir os gráficos da Figura 6 e da Figura 7.

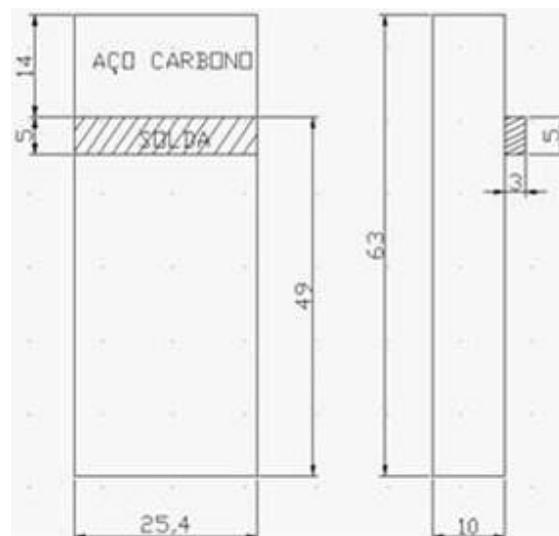
A Figura 6 apresenta o valor máximo das resistências (495,04MPa), o menor valor (347,76MPa) e o valor médio

(421,9MPa). Observa-se que todos os valores ficaram bem superiores ao limite mínimo de resistência estabelecido pela norma ASTM A 265-09[8].

Já a Figura 7 nos indica uma tendência de aumento da resistência ao cisalhamento com o aumento do nível de diluição. A Figura 8 reforça esta possibilidade. Da Tabela 4, sabe que a diluição do corpo de prova 1.2 ($8,68 \pm 1,32\%$) foi maior quando comparada com a diluição do corpo de prova 1.1 ($5,37 \pm 1,08\%$).

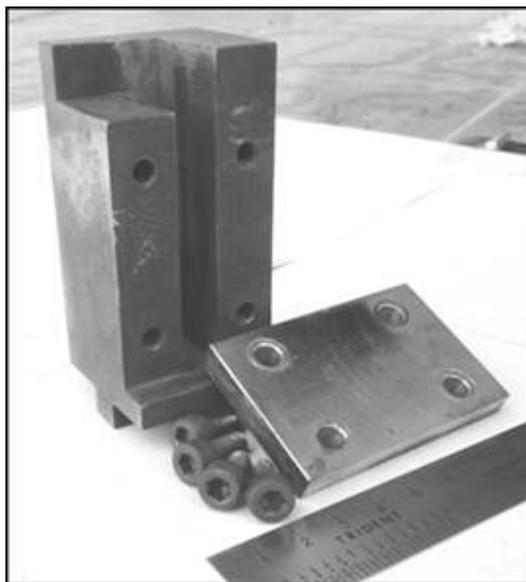


(a)



(b)

Figura 1. (a) Bancada para a realização das soldagens com restrição e (b) desenho esquemático do corpo de prova para o ensaio de arrancamento



(a)



(b)

Figura 2. (a) Garra para os ensaios de arrancamento e (b) a máquina universal de ensaios



Figura 3. Revestimento com o menor nível de diluição (5,37±1,08 %)



Figura 4. Revestimento com o maior nível de diluição (9,61±0,54 %)

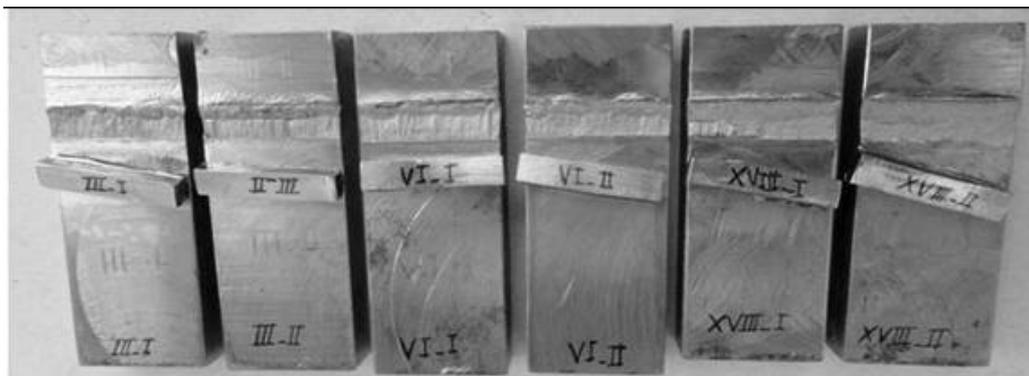


Figura 5. Espécimes após o ensaio de arrancamento

Tabela 4. Resistência ao cisalhamento correlacionada com o nível de diluição

Revestimentos	Diluição (%)		Resistência ao cisalhamento (MPa)
	Média	Desvio	
1.1	5,37	1,08	383,95
2.1	7,92	2,15	371,59
1.2	8,68	1,32	457,37
2.2	8,74	0,23	347,76
3.1	9,61	0,54	476,20
3.2	9,84	2,69	495,04

O detalhe da Figura 8 apresenta que, para esta diluição maior, a profundidade (em relação à superfície do metal base) da interface metal de solda/substrato para revestimento 1.2 também foi maior. O fato desta interface ficar abaixo da superfície do substrato pode ter dificultado o arrancamento do ressalto (metal de solda), resultando num aumento da resistência ao cisalhamento da interface metal de solda/substrato.

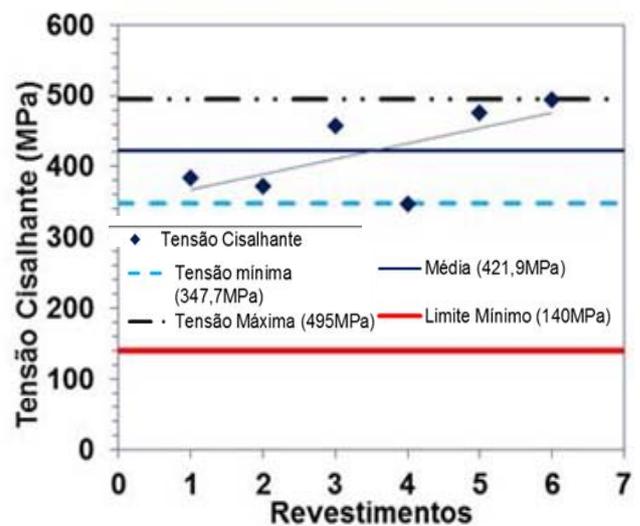


Figura 6. Valores máximo, mínimo e médio das tensões cisalhantes, comparados com o valor mínimo estabelecido pela norma ASTM A 265-09 [8]

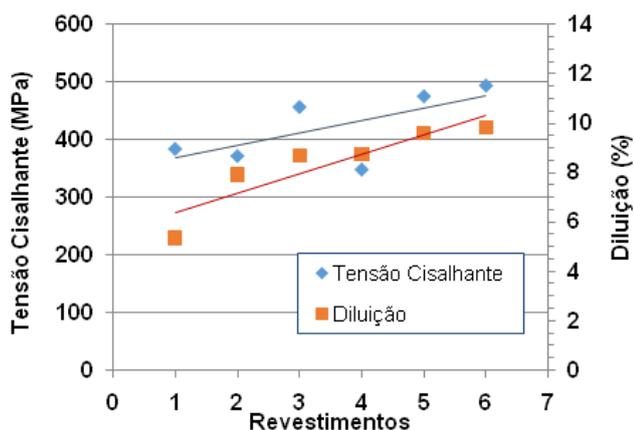


Figura 7. Correlação da resistência ao cisalhamento com a diluição

Rao et. al.[12] encontrou uma resistência ao cisalhamento de 488MPa numa interface entre um revestimento de aço inoxidável austenítico 347 (depositado pelo processo de soldagem com eletrodo revestido) e um aço de alta resistência e baixa liga (ARBL). No entanto, estes autores não fazem menção da dependência da resistência ao cisalhamento em relação aos parâmetros de soldagem. No corrente trabalho, a resistência média ao cisalhamento foi de aproximadamente 422MPa, onde a resistência máxima foi de 495Mpa (superior a 488MPa) e a mínima de 348MPa (Figura 3 e Tabela 4). Ou seja, neste trabalho constatou-se que os parâmetros de soldagem que promoveram maiores níveis de diluição tiveram

uma tendência de produzir revestimentos com maiores resistências ao cisalhamento (arrancamento), Figura 4.

Sabe-se que os materiais metálicos apresentam resistências ao cisalhamento maiores que 50% de suas resistências à tração. Por exemplo, Rao et. al.[12] analisou um substrato de aço carbono com uma resistência ao cisalhamento correspondendo a 56% da resistência à tração do mesmo. E, neste trabalho, obteve-se interfaces solda/substrato com valores de resistência ao cisalhamento superiores ao limite de resistência à tração do substrato. Ou seja, no corrente trabalho o substrato (ASTM A516 Gr 60) possui um limite de resistência a tração de aproximadamente 450MPa [11], enquanto que a resistência ao cisalhamento na interface solda/substrato chegou a valores de 495MPa.

Outros autores encontraram valores médios de 380MPa [13] e 400MPa [14] para a resistência ao cisalhamento de interfaces de substratos revestidos com aços inoxidáveis através de solda por explosão.

No entanto, para garantir a qualidade dos revestimentos, isto é, para alcançar interfaces com resistência ao cisalhamento superior ao limite de 140MPa estabelecido pela norma ASTM A 265-09[8], é necessário evitar defeitos como porosidade, falta de fusão ou inclusão de escória. Estes defeitos reduzem consideravelmente a resistência ao cisalhamento (arrancamento) do revestimento. Segundo a literatura, outro fator que contribui para a redução desta resistência é a formação de microestruturas frágeis (tais como zonas parcialmente diluídas) na interface solda/substrato [12, 13, 14].

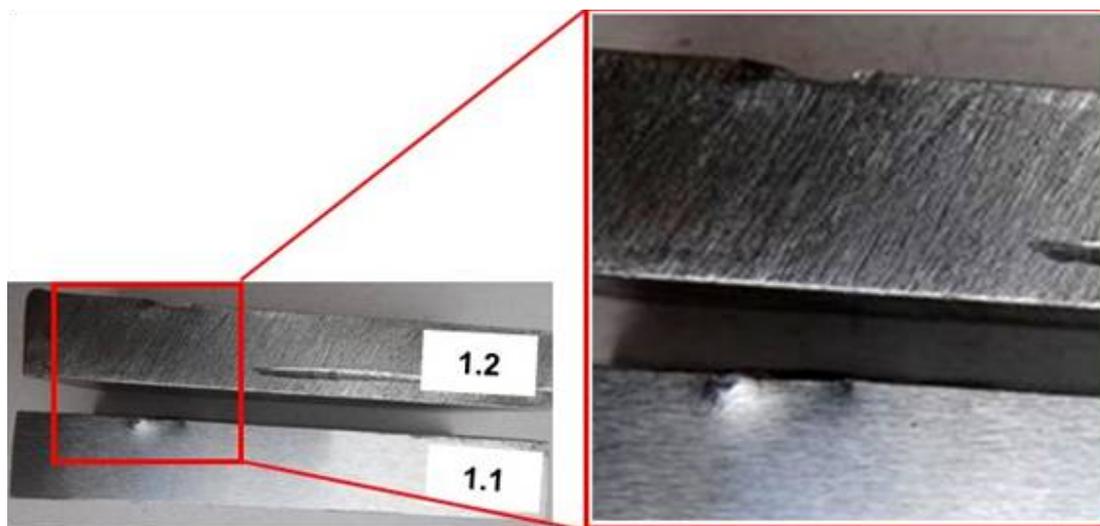


Figura 8. Laterais dos corpos de prova 1.1 e 1.2 indicando a diferença de profundidade do arrancamento em relação à superfície do espécime

4. Conclusões

- Os valores de resistência ao cisalhamento ficaram bem superiores ao limite mínimo (140MPa) estabelecido pela norma ASTM A 265-09;
- A resistência ao cisalhamento da interface metal de solda/substrato apresentou uma tendência de aumentar com o aumento do nível de diluição.

Agradecimentos

Ao programa Capes/CNPq, à FINEP e ao Cenpes/Petrobras pelo suporte financeiro.

Referências

- [1] Telles, P. C. S. *Materiais para Equipamentos de Processo*. 6. ed. Rio de Janeiro: Inteciência, 2003.
- [2] Silva, M. M., Motta, M. F., Maciel, T. M., Santos, M. A. Efeito da energia de soldagem sobre a microestrutura de revestimentos AISI 317L depositados em aços ASTM A516 Gr 60 para aplicação no setor de petróleo e gás. *Revista Eletrônica de Materiais e Processos*, 5 (2),.54-60, 2010.
- [3] Silva, M. M., Cunha, M. C. D., Melo, R. H. F., Batista, V. R., Maciel, T. M. Avaliação dos parâmetros de Soldagem sobre Revestimentos de Liga de Níquel em Duto de Aço API 5L Gr B. In: *Anais do XXXVII Congresso Nacional de Soldagem*, 3-6 out. 2011. Natal - RN. 2011. p. 1-10.
- [4] Ahmad, M, Akhter, J. I., Akhtar, M., Iqbal, M., Ahmed, E., Choudhry, M. A. Microstructure and hardness studies of the electron beam welded zone of Hastelloy C-276. *Journal of Alloys and Compounds*, 390, 188-193, 2004.
- [5] Wainer, E.; Brandi, S. D.; Mello, F. D. H. *SOLDAGEM: Processos e Metalurgia*. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 1992.
- [6] ISO. *Petroleum and natural Gas Industries - Drilling and Production Equipment - Wellhead and Cristmans Tree Equipment*. Switzerland: ISO 2003.
- [7] Petrobras. N-1707 - Projeto de Vaso de Pressão com Revestimento Metálico, 1999.
- [8] ASTM A 265-09: *Standard Specification for Nickel and Nickel-Base Alloy-Clad Steel Plate*. United States, 2009.
- [9] Haynes Wire Company (Estados Unidos). *Product Certification. Specification: C-276-0450-12BP-B00*. Houston, 2009. 2 p.
- [10] ASTM A516/516M: *Standard Specification for Pressure Vessel Plates, Carbon Steel, for Moderate – and Lower-Temperature Service*. United States, 2004.
- [11] 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. 110 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2009.
- [12] Rao, N. V., Reddy, G. M., Nagarjuna, S. Weld overlay cladding of high strength low alloy steel with austenitic stainless steel – Structure and properties. *Materials and Design*, 32, 2496–2506, 2011.
- [13] Kacar, R., Acarer, M. An investigation on the explosive cladding of 316L stainless steel-din-P355GH steel. *Journal of Materials Processing Technology*, 152, 91 – 96, 2004.
- [14] Kacar, R., Acarer, M. Microstructure–property relationship in explosively welded duplex stainless steel–steel. *Materials Science and Engineering A*, 363, p 290–296, 2003.