

AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO PROCESSO DE CLADEAMENTO NA RESISTÊNCIA A CORROSÃO DO AÇO ASMEAS-240TP-316L SOLDADO POR EXPLOSÃO AO AÇO ASTMSA-516GR 60 N¹

Carlos Roberto de Araujo²
José Rubens Gonçalves Carneiro³
Mônica M. A. M. Schvartzman⁴
Raphael Gomes de Paula⁵

Resumo

Os aços são utilizados em numerosas aplicações, tais como ferramentas em construções de pontes, prédios, reatores, navios entre outros. Entretanto, a sua utilização está condicionada a determinadas aplicações devido a vantagens técnicas que oferecem outros materiais como o titânio, alumínio e níquel e outros materiais com relação a peso resistência mecânica e resistência a abrasão ou corrosão. Uma das formas de contornar a baixa resistência à corrosão dos aços carbono em meios aquosos é a utilização de revestimento, pintura ou cladeamento. O cladeamento por explosão é um processo de soldagem em estado sólido que une dois metais compatíveis ou não, utilizando a energia de explosivos. Chapas cladeadas são desenvolvidas com a finalidade de diminuir o custo dos equipamentos pela redução do consumo de materiais nobres. São geralmente compostas de uma chapa de aço carbono e de outra de material nobre, sendo que a de aço carbono fornece a resistência mecânica necessária e a chapa nobre fornece ao equipamento as características necessárias de resistência à abrasão, calor ou corrosão. Este trabalho tem como objetivo avaliar o comportamento eletroquímico de uma chapa cladeada composta pelos aços ASTM SA-516 Gr 60 N e ASME AS-240 TP-316L comparada com o aço AS-240 TP-316L não cladeado, verificando a resistência à corrosão dos dois materiais.

Palavras-chave: Cladeamento; ASTM SA-516 Gr 60 N, Soldado por explosão.

EFFECT OF THE CLADDING PROCESS ON THE CORROSION RESISTANCE OF A CLADDING PLATE OF STEELS ASME AS-240 TP-316L AND ASTM SA-516 GR 60 N

Abstract

Steel is largely used in many applications such as in tools, bridges, buildings, reactors, ships, among others. Its application is however limited. Other materials like titanium, aluminum and nickel, present technical advantages related to weight, mechanical and corrosion resistance and wear. One way to overcome the lack of resistance to corrosion of carbon steels is to apply a coating, being it a painting or a cladding. Explosion cladding is a weld process in solid state that joins two compatible or non-compatible metals, using explosion energy. Cladding plates are used to decrease the equipment costs by using less noble metals. Usually a cladding plate is made of carbon steel covered by a noble metal plate, thus giving the material mechanical strength and resistance to corrosion, wear or heat. The objective of this paper is to evaluate the electrochemical behavior of a cladding plate of steels ASTM SA-516 Gr 60 N and ASME AS-240 TP-316L when compared to non-cladding plate AS-240 TP-316L. This way the effect of the cladding process on the corrosion resistance is evaluated.

Keywords: Cladding; ASTM SA-516 Gr 60 N; Explosion weld.

¹ Contribuição técnica ao 65º Congresso Anual da ABM, 26 a 30 de julho de 2010, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

² Mestre - Engenheiro Químico - Universidade Federal de Minas Gerais

³ Dr. Engenheiro Metalúrgico - Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

⁴ Dra. Pesquisadora - Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear/CNEN

⁵ Graduando - Engenheira Mecânica - Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

1 INTRODUÇÃO

O aço carbono é uma liga metálica formada essencialmente por ferro e carbono, com percentagens variáveis entre 0,008% e 2,11%. Estruturas metálicas exigem propriedades especiais dos materiais para a sua construção, pois podem operar em ambientes hostis de corrosão, desgaste, cargas cíclicas e temperaturas elevadas. O cladeamento é uma das técnicas utilizadas para a colocação de revestimentos metálicos com a finalidade de melhorar as propriedades físicas e mecânicas dos metais envolvidos em uma única chapa. O cladeamento por explosão (Figura 1) é um processo de soldagem em estado sólido que une dois metais compatíveis ou não, utilizando a energia de explosivos.^(1,2)

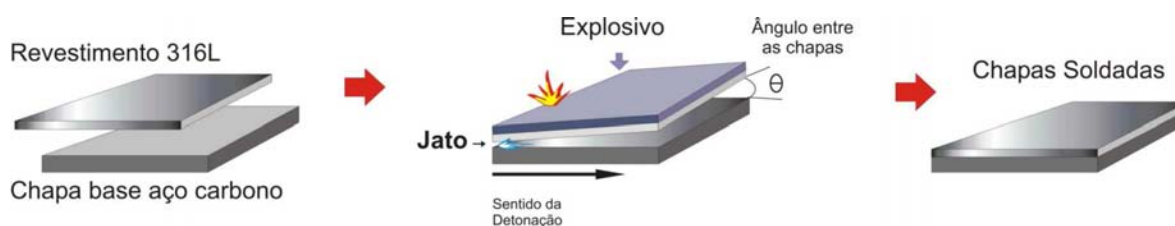


Figura 1. Desenho esquemático do processo de cladeamento.

Este processo consiste em revestir, por exemplo, um material com outro de maior resistência à corrosão. As chapas bimetálicas são utilizadas na construção de equipamentos para refino de petróleo, indústria química, petroquímica, farmacêutica, de alimentos, de celulose e papel, sendo também utilizadas para a fabricação de torres de destilação, reatores, evaporadores, tanques de armazenamento, digestores, trocadores de calor, vasos de pressão entre outros.

Estas chapas são desenvolvidas com a finalidade de diminuir o custo dos equipamentos pela redução do consumo de materiais nobres. São geralmente compostas de uma chapa de aço carbono e de outra de material nobre, sendo que a de aço carbono fornece a resistência mecânica necessária e a chapa nobre dá ao equipamento as características necessárias de resistência à abrasão, calor ou corrosão.⁽³⁾

Chapas bimetálicas dos aços ASTM SA-516 Gr 60 N e ASME AS-240 TP-316L algumas vezes são utilizadas na construção de torres regeneradoras de (DEA) Di-Etanol Amina, que operam em um ambiente de gás sulfídrico (H_2S) que é corrosivo a temperaturas elevadas.⁽⁴⁾

Este trabalho tem como objetivo avaliar o comportamento eletroquímico em solução de 0,1 mol/L de H_2SO_4 , em uma chapa cladeada composta pelos aços ASTM SA-516 Gr 60 N e ASME AS-240 TP-316L comparada com o aço AS-240 TP-316L não cladeado, verificando a resistência à corrosão dos dois materiais.

Para caracterização química e microestrutural do material utilizou-se os laboratórios do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN) e da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Uma chapa de 2500X4050(mm) do aço ASTM SA-516 Gr 60 N com espessura de 9,5(mm) foi revestida com o aço inoxidável ASME AS-240 TP-316L de 3(mm) de espessura, utilizando-se o processo de cladeamento por explosão (Figura 2). Os dados da composição química das chapas podem ser vistos na Tabela 1.

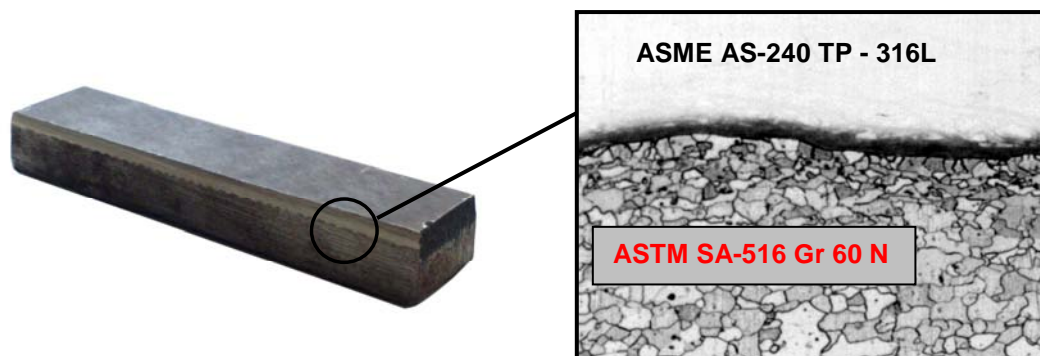


Figura 2. Amostra da chapa cladeada aços ASTM SA-516 Gr 60 N e ASME AS-240 TP-316L em detalhe a região de união entre as chapas.

Tabela 1. Composição química (%), das chapas cladeadas

	C	Mn	P	S	Si	Al	Cu	Mo	Cr	Ni	Nb	V	Ti
AS-516	0,17	1	0,015	0,009	0,218	0,039	0,005	0,001	0,024	0,013	0,002	0,001	0,001
316-L	0,03	1,37	0,037	0,001	0,5	0,0025	0,208	2,054	16,54	10,08	0,0037

Foram retiradas amostras das chapas de aproximadamente 15X20 (mm) para a realização dos ensaios eletroquímicos. O corte foi a primeira etapa no processo de preparação, feito por discos abrasivos a úmido, que têm por finalidade evitar o aquecimento do metal e causar possíveis mudanças microestruturais. Posteriormente foi feito o embutimento do material seguido pelo lixamento e polimento da superfície.

2.1 Embutimento e Acabamento Superficial

O embutimento (Figura 3) facilita o manuseio da amostra e evita que suas arestas rasguem as lixas e panos durante o lixamento e polimento. Este foi realizado com uma resina de Baquelite (polímero termofixo) que apresenta baixo custo e alta dureza. Para o lixamento foram utilizadas lixas com granulometrias de 180 mesh, 220 mesh, 320 mesh, 400 mesh, 500 mesh, 600 mesh e 2.000 mesh.

Em seguida, foi realizado o polimento em feltro impregnado com pasta de diamante de dimensão de 6, 3 e 1 μm . Para análise da microestrutura, estas amostras foram atacadas com nital 4% (Figura 4),⁽⁵⁾ e posteriormente, analisadas em microscópio óptico marca Neophot, modelo 32, acoplado a uma estação de trabalho com analisador de imagem marca Leco.

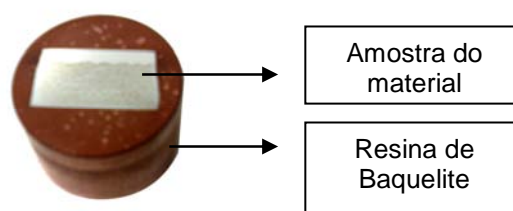


Figura 3. Embutimento de uma amostra do aço em Baquelite.

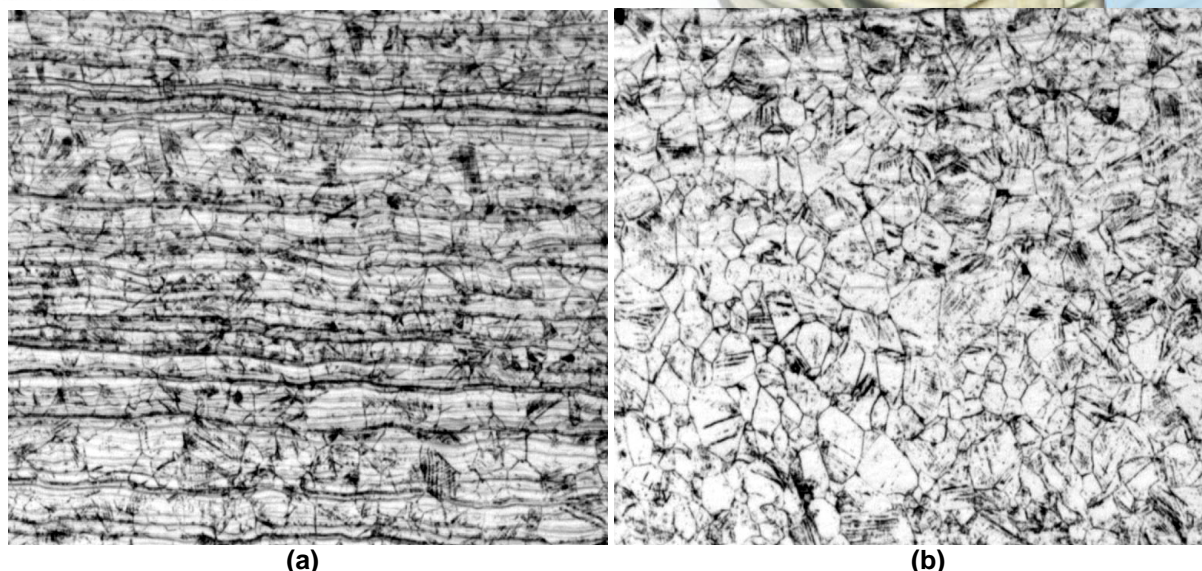


Figura 4. Macrografia dos aços (a) ASME AS-240 TP-316L cladeado e (b) ASME AS-240 TP-316L, ataque nital 4%, aumento de 100X.

Observa-se o achatamento dos grãos na amostra cladeada, possivelmente causado pelo processo de cladeamento e posteriores trabalhos a frio.

2.2 Solução

A Tabela 2 apresenta as características e preparo da solução para os ensaios eletroquímicos.

Tabela 2. Meio Corrosivo usado nos ensaios eletroquímicos

Meio corrosivo	Preparo
Solução aquosa de ácido sulfúrico 0,1 mol/L, H ₂ SO ₄ , não aerada, à temperatura ambiente do laboratório (27±1)°C.	Diluiu-se 5,54 ml (medidos em uma bureta) de H ₂ SO ₄ 98%, grau PA, em água deionizada, para 1000 ml.

2.3 Ensaio Eletroquímico

O acompanhamento do potencial eletroquímico (E) foi realizado expondo-se três amostras de cada material à solução de ácido sulfúrico 0,1 mol/L, H₂SO₄ por 1 hora, e registrando-se sua variação com o tempo até a estabilização.⁽⁶⁻⁸⁾ Após o qual se realizou o levantamento de curvas de polarização anódica potenciodinâmicas para as três amostras, de cada material.

Os ensaios eletroquímicos de polarização anódica potenciodinâmica foram realizados em um potenciostato/galvanostato Autolab PGSTAT20 (Figura 4). Os eletrodos utilizados foram de Platina, como auxiliar, e eletrodo de referência de Ag/AgCl (1,0 mol/L). As curvas de polarização foram obtidas com uma velocidade de varredura de 0,167 mV s⁻¹ em uma faixa de -0,20 a 1,5 V em relação ao potencial de circuito aberto (OCP).⁽⁹⁾ Este ficou próximo de -0,238 V para todos os materiais estudados.



Figura 4. Potenciostato/galvanostato Autolab PGSTAT20.

3 RESULTADOS e DISCUSSÃO

Com base nas curvas médias de polarização anódica potenciodinâmicas obtidas observa-se que o aço ASME AS-240 TP-316L apresentou uma região de passivação no meio corrosivo (Figura 5). Esta passivação é característica da presença de cromo na constituição química do mesmo⁽¹⁰⁾. Surgem picos de redução de corrente na faixa de potencial entre $-0,25$ a $0,15$ V, estes picos são característicos da microestrutura do aço inoxidável 316L, que é um aço baixo carbono, contendo cerca de 2% a 3% de molibdênio.⁽¹⁰⁾

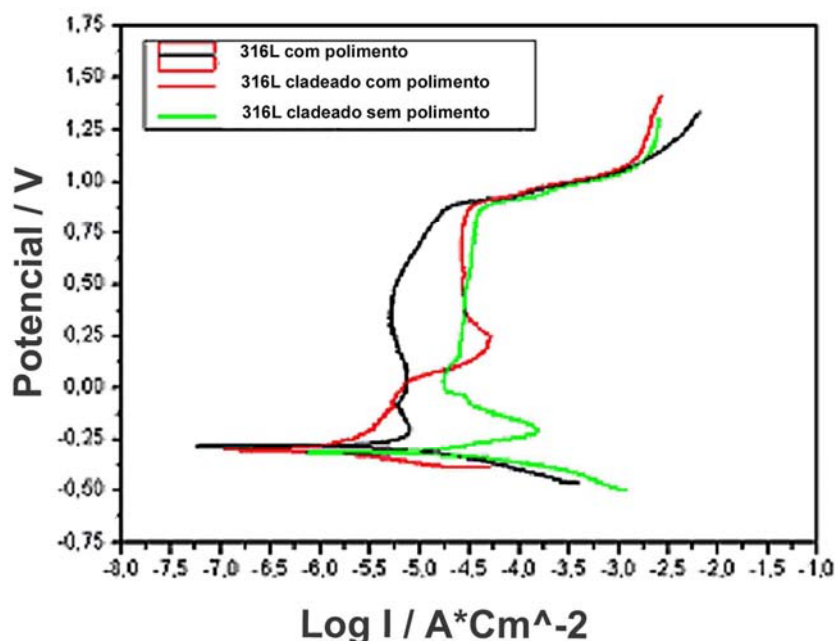


Figura 5. Curvas médias de polarização anódica potenciodinâmicas do aço Inoxidável ASME AS-240 TP- 316L.

Observa-se que os potenciais de corrosão e de Transpassivação e densidade de corrente anódica dos aços cladeados com e sem polimento, são da mesma ordem de grandeza, quando colocados em solução de H_2SO_4 0,1 mol/L. O aço ASME AS-240 TP- 316L com polimento apresentou um filme óxido mais estável e protetor. Assim, podem-se extrair os parâmetros eletroquímicos característicos das curvas de polarização potenciodinâmicas, adotando-se procedimento descrito em Araújo 1999,⁽¹¹⁾ e que são apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3.** Valores dos parâmetros eletroquímicos extraídos das curvas de polarização potenciodinâmicas do aço ASME AS-240 TP- 316L

AMOSTRA	E_{corr} (mV)	I_{pass} ($\mu A/cm^2$)	E_{pite} (mV)
ASME AS-240 TP- 316L polido	- 254,5	8,3	875,0
ASME AS-240 TP- 316L Cladeado e polido	- 288,2	25,1	875,0
ASME AS-240 TP- 316L cladeado como recebido sem polimento	- 312,5	31,6	875,0

O aço inoxidável ASME AS-240 TP-316L como recebido sem polimento apresentou menor potencial de corrosão (E_{corr}) igual a -312,5(mV) e maior corrente de passivação (I_{pass}) igual a 31,6 ($\mu A/cm^2$).

5 CONCLUSÃO

O aço inoxidável ASME AS-240 TP-316L cladeado e polido é menos resistente ao processo de corrosão eletroquímica, quando comparado com os aços ASME AS-240 TP-316L polido. Isto é evidenciado pelos valores inferiores de corrente de passivação (I_{pass}).

O material que possui uma camada de óxido mais estável que lhe confere uma passivação é o aço inoxidável ASME AS-240 TP-316L polido, esta diferença em relação ao aço cladeado, pode estar relacionada com modificações estruturais sofridas durante o processo de cladeamento e posteriores trabalhos a frio.

Verifica-se que o efeito do polimento e do cladeamento não influenciam no valor do potencial de pite dos materiais.

Agradecimentos

Os autores agradecem a FAPEMIG pelo apoio financeiro e ao CDTN (Centro de desenvolvimento da tecnologia Nuclear) e a Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais pelo uso das instalações laboratoriais.

REFERÊNCIAS

- 1 Akbari-Mousavi, S.A.A., Barrett, L.M., Al-Hassani, S.T.S. Explosive welding of metal plates Journal of Materials Processing Technology vol. 202, pp. 224-239, 2008.
- 2 Chizari, M.; Al-Hassani, S.T.S., Barrett, L.M. Effect of flyer shape on the bonding criteria in impact welding of plates Journal of Materials Processing Technology vol. 209, pp. 445-454, 2009.
- 3 Mynors, D.J.; Zhang; B. Applications and capabilities of explosive forming Journal of Materials Processing Technology vol. 125-126, pp 1-25, 2002.
- 4 SHREIR, L. L et al, Corrosion. Volume 1: Metal/Environment Reactions, Oxford, 3^{er}.Ed. Butterworth-Heinemann, 2000.
- 5 ASM – American Society for Metals – Metals Handbook 8^o ed – In: Metallographic Technique for Specific Metals and Alloys, v. 8, p.101, 1973.
- 6 GENTIL, V. Corrosão. Rio de Janeiro: LTC, 2003.
- 7 Annual Book of ASTM Standards, Part. 10., American Society for Testing and Material. *ASTM G 5: Standards recommended practice for standard method for making potentiostatic and potentiodynamic anodic polarization measurement.* Philadelphia, PA. 11 p. 1994.
- 8 LIFKA, BERNARD W. Corrosion Tests and Standards. 2nd Edition. Robert Baboian Editor, 2005.
- 9 AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM G129. Standard Reference Method For Making Potentiostatic and Potentiodynamic anodic Polarization Measurements In: Annual Book of ASTM Standards, West Conshohocken. 1995



- 10 FONTANA, M. G. *Corrosion Engineering*. Third Edition. Singapore: Mc. Graw Hill Book Company. 556p. 1986.
- 11 ARAÚJO, C. R. *Estudo do comportamento anódico do aço inoxidável tipo AISI 304 com filme de interferência, em NaCl 3,5% e FeCl₃.6H₂O 6% p/v*. Belo Horizonte: UFMG, 1999. 212p. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Escola de Engenharia. Universidade Federal de Minas Gerais. 1999. Disponível On-line em <<http://www.pos.demet.ufmg.br/hpcpgem/P/defesas/104M.PDF>>.