

ESTUDO DO COMPORTAMENTO ELETROQUÍMICO DO AÇO INOXIDÁVEL ABNT 316L NITRETADO POR DESCARGAS ELÉTRICAS

Sinval Pedroso da Silva, sinvalpedroso@yahoo.com.br¹

Thaís Roberta Campos, trcampos@pucminas.br²

Carlos Roberto de Araújo, carlosroberto_araujo@yahoo.com.br²

Fernanda Palladino Pedroso, ferpalladino@terra.com.br²

¹Universidade Federal de Minas Gerais, Av. Antônio Carlos, 6627, Campus Universitário, Belo Horizonte, Minas Gerais, CEP 31270-901

²Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Rua Dom José Gaspar, 500, Coração Eucarístico, Belo Horizonte, Minas Gerais, CEP 30535-901

Resumo: Os aços inoxidáveis austeníticos são aplicados na indústria naval, óleo & gás, química, papel e celulose, alimentícia, farmacêutica e médica em implantes cirúrgicos. Estes possuem propriedades de: resistência à corrosão, conformação a frio e capacidade de endurecimento por deformação. O aço inoxidável austenítico ABNT 316L não é endurecível por têmpera; por isso, o tratamento termoquímico de nitretação possibilita melhoria nas propriedades mecânicas. Neste trabalho, investigou-se o efeito da nitretação do ABNT 316L (substrato), pelo processo de Nitretação por Descargas Elétricas (NDE) e o comportamento frente à corrosão eletroquímica. O processo de nitretação foi realizado em uma máquina de Usinagem por Descargas Elétricas (EDM) por penetração, foi aplicado eletrodos-ferramenta de cobre e grafita, e como fluido dielétrico e fonte de nitrogênio utilizou-se uma solução aquosa de ureia em água deionizada, sobre o substrato. A resistência a corrosão localizada foi investigada em meio salino contendo NaCl 3,5% p/v, solução não aerada (contendo oxigênio naturalmente dissolvido) à temperatura ambiente, segundo os procedimentos das normas ASTM G5 (Polarização potenciodinâmica) e ASTM G106 (Espectroscopia de impedância eletroquímica). Os ensaios de polarização indicam uma redução na resistência à corrosão por pite do material nitretado e a análise de impedância do aço nitretado evidencia que o mecanismo de corrosão é por cinética de transferência de carga nas amostras com nitretação por eletrodo de cobre e com eletrodo de grafita e, cinética de transferência de carga seguido de mecanismo difusional para a amostra de aço inoxidável 316L (substrato). Conclui-se que a nitretação com eletrodo de cobre não favorece a resistência à corrosão em relação a amostra nitretada com eletrodo de grafita e ao substrato de aço inoxidável 316L.

Palavras-chave: Aço inoxidável ABNT 316L, EDM, Ensaios eletroquímicos, Nitretação por Descargas Elétricas(NDE)

1. INTRODUÇÃO

Nitretação é um tratamento termoquímico aplicado aos metais a fim de melhorar propriedades de resistência ao desgaste, corrosão e fadiga. Consiste na formação de nitretos de natureza complexa na superfície de certos aços, originando uma camada superficial de dureza elevada, alta resistência ao desgaste, capaz de reter a dureza até temperaturas da ordem de 500 °C, resistente a certos tipos de corrosão e maior resistência à fadiga. Uma das grandes vantagens do processo sobre outros tratamentos termoquímicos de endurecimento superficial reside no fato dele ser levado a efeito numa faixa de temperatura relativamente baixa – entre 500 e 550 °C ou 650 °C (no máximo) – o que aliado à ausência de qualquer tratamento térmico posterior, reduz ao mínimo as probabilidades de empenamento das peças submetidas a este processo (Chiaverini, 2012).

De acordo com Souza (2013), o processo de usinagem por descargas elétricas (EDM – *Electrical Discharge Machining*), também conhecido como eletroerosão, é baseado no princípio da remoção de material por efeito térmico através de descargas elétricas. Este processo é utilizado na fabricação de peças compostas por materiais que apresentam difícil usinabilidade pelos processos convencionais e também na obtenção de formas complexas com elevada precisão dimensional. Isso se deve ao fato de que a remoção do material por faiscamento exige basicamente o movimento de penetração do eletrodo ferramenta em relação à peça, assegurando a continuidade na usinagem do material. Neste processo deve-se construir um eletrodo ferramenta, de cobre ou grafita, com a forma geométrica a ser usinada.

Segundo McGeough (1988), o processo de usinagem por descargas elétricas (EDM), é definido como o bombardeamento de íons e elétrons contra a superfície da peça que promove a retirada de material por sublimação, deixando uma cavidade com o formato do negativo do eletrodo ferramenta. Esse processo, considerado como processo não convencional de usinagem, tem se destacado como um dos mais utilizados na fabricação de matrizes e moldes metálicos, devido à complexidade geométrica e de fabricação desses moldes e matrizes. A indústria de moldes para transformação de plásticos emprega amplamente as técnicas de fabricação auxiliadas por sistemas CAD/CAM para atender a esta demanda (Souza, 2013).

Figura 1. Fenômenos físico-químicos na corrosão do metal (M), em meio aquoso, e estrutura da dupla camada elétrica - Q → Plano interno de Helmholtz e P → Plano externo de Helmholtz na interface ativada eletrodo/eletrolito (Wolynec, 2003; Tait, 1994; West, 1970).

A dupla camada elétrica recebe este nome, devido à separação entre cargas positivas (cátions em solução) e negativas (elétrons no metal), atuando como um capacitor dielétrico (C_d). Este capacitor da dupla camada elétrica é considerado como um capacitor verdadeiro, pois apresenta uma distribuição de cargas no espaço, separadas por um dielétrico. De um lado, as cargas do metal (q^-) e do outro as cargas de íons (q^+), no plano externo de Helmholtz e na camada de difusão (onde se encontram os íons da solução). O dielétrico é constituído pelos ligantes dos íons (moléculas polares de água). Como $q^+ + q^- = 0$, a eletroneutralidade deste capacitor é mantida e qualquer adição de carga Δq^- no metal induzirá uma carga igual Δq^+ dentro do eletrólito, de modo que $-\Delta q^- = \Delta q^+ = \Delta q$. Ainda, segundo Wolynec (2003), o dielétrico não é um isolante absoluto e permite passagem de corrente elétrica (I), o que é representado por uma resistência faradática (R_p) que é a resistência de polarização ou transferência de carga em paralelo com o capacitor (C_d) da dupla camada elétrica.

A Fig. (2) representa o circuito elétrico equivalente simples da interface metal/eletrólito apresentada na Fig. (1).

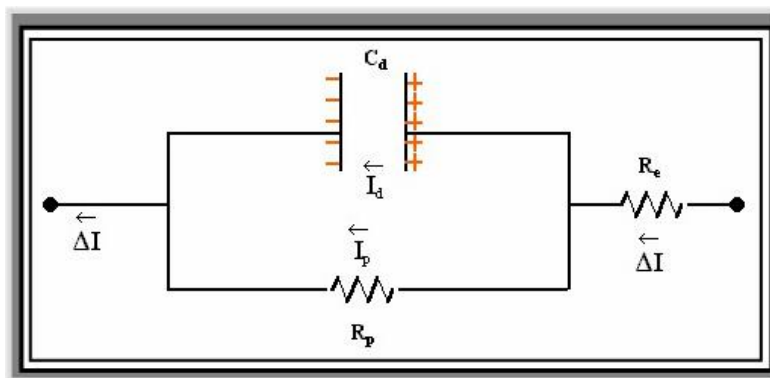


Figura 2. Circuito elétrico equivalente da interface eletrodo/eletrólito – capacitor C_d representa a capacitância da dupla camada, unidades (farad/cm²) (Wolynec, 2003)

A resistência de polarização (R_p) é a resistência ao transporte de cargas (R_T), devido à reação eletroquímica, designada *Resistência Faradática* ou *Resistência de Corrosão* (já que $R_p = R_e + R_T$, quando $R_e \rightarrow 0$, resistência ôhmica muito pequena, tem-se, assim, que a resistência de polarização será $R_p = R_T \rightarrow R_{cor}$), na dupla camada elétrica.

A resistência do eletrólito (R_e) é a resistência elétrica associada com a queda de potencial, $\Delta E = IR$, criada pela separação (d) entre os eletrodos teste e o eletrodo de referência (calomelano ou prata-cloreto de prata). É também chamada de *Resistência ôhmica, não compensada, da solução* (R_Ω).

O objetivo deste trabalho foi investigar o comportamento eletroquímico do aço inoxidável ABNT 316L, como substrato e também nitretado pelo processo de Nitretação por Descargas Elétricas (NDE), utilizando uma solução de água deionizada e uréia (30,0 g/L) como fluido dielétrico e, cobre eletrolítico e grafita como materiais de eletrodos ferramenta, comparando-os frente à corrosão eletroquímica.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A Fig. (3) apresenta o fluxograma esquemático do procedimento experimental adotado nesta pesquisa.

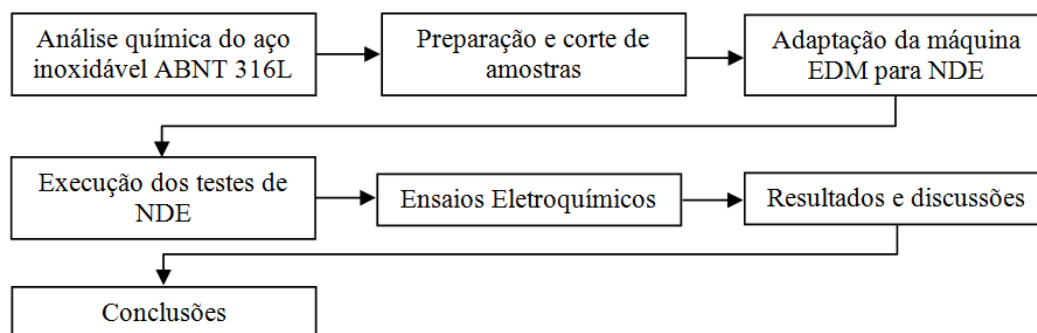


Figura 3. Diagrama esquemático do procedimento experimental adotado na pesquisa.

A análise química do aço ABNT 316L foi realizada no Laboratório de Fundição do Departamento de Engenharia de Materiais do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG, Campus I), usando-se analisador Foundry Master Xpert, tipo espectrômetro de emissão óptica (OES) de fabricação Oxford Instruments.

A partir de uma barra de aço inoxidável 316L com seção transversal circular de 19,05 mm (3/4”) adquirida de uma empresa no mercado nacional, foi realizado corte primário por meio de máquina serra de fita Franho FM 1600, obtendo amostras com comprimento de 12 mm, as quais foram faceadas nas extremidades com o uso de torno universal, resultando em amostras na forma de disco de diâmetro 19 mm e espessura nominal de 10 mm apresentando acabamento superficial regular e sem defeitos. Estas amostras foram utilizadas para análise química e testes de nitretação por NDE.

O cobre eletrolítico e a grafita foram selecionados como materiais dos eletrodos ferramenta para os processos de usinagem e nitretação por NDE das amostras de aço inoxidável 316L desta pesquisa. Estes eletrodos foram definidos a partir de barras de cobre eletrolítico e de grafita com seção transversal circular de diâmetro 22,22 mm (7/8”), materiais conforme recebidos. Inicialmente foi retirado, por meio de corte com máquina serra de fita Franho FM 1600, amostras com comprimento de 27 mm. Por meio do processo de torneamento convencional, foi realizado a usinagem e esquadreamento das faces de cada amostra, resultando em comprimento final de 25 mm e diâmetro 22,22 mm.

A eletroerosão das superfícies das amostras 316L foi realizada em uma cuba eletrolítica de dois eletrodos (amostra e grafita ou cobre), em solução aquosa de ureia na concentração de 30g/L, aplicando-se corrente elétrica de 40 A.

A Fig. (4) apresenta a máquina de EDM convencional por penetração, modelo Servspark Eletroplus EDM-540, corrente elétrica nominal de 40 Amperes, adaptada para operar com fluidos aquosos. A adaptação consiste na utilização de uma cuba fabricada em aço inoxidável austenítico 304, instalada dentro da cuba principal da máquina EDM. Esta adaptação foi utilizada para que não ocorra contaminação do fluido dielétrico do próprio equipamento.



Figura 4. Cuba auxiliar instalada dentro da cuba principal da máquina EDM.

A Fig. (5) apresenta os eletrodos ferramenta de cobre eletrolítico e de grafita instalados dentro da cuba auxiliar, assim como os eletrodos peça em aço inoxidável ABNT 316L.

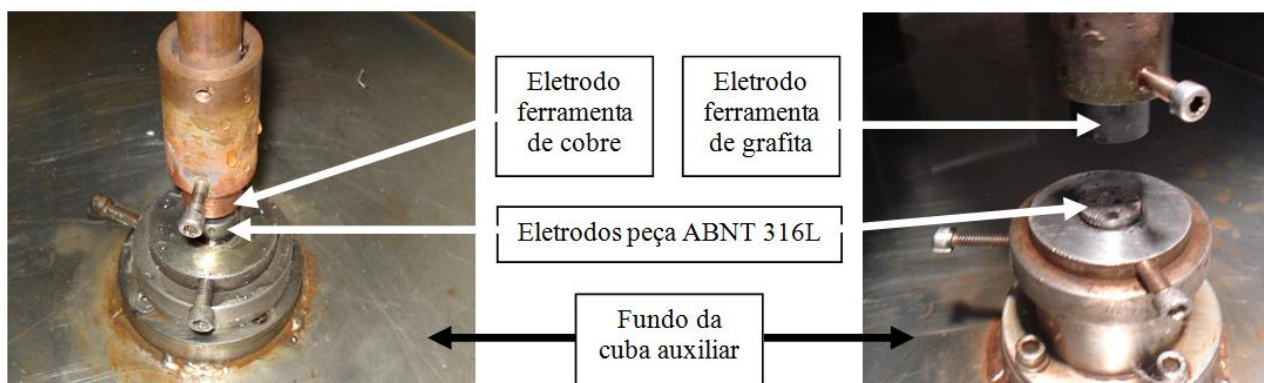


Figura 5. Amostras e eletrodos ferramenta posicionados no interior da cuba auxiliar.

A Tab. (1) apresenta os dados principais e os parâmetros operacionais selecionados no painel de controle EDM, que possibilitaram a aplicação do processo NDE na máquina Servspark EDM-540.

Tabela 1. Dados principais e parâmetros operacionais utilizados no processo NDE.

Parâmetro	Seleção
Concentração de ureia	30 [g/L]
Tempo de teste (cada amostra)	10 [min.]
Polaridade do eletrodo ferramenta	Positiva [+]
Tensão de trabalho, “erodindo”	40-50 [V]
Corrente nominal de trabalho	40 [A]
Controle da fenda de trabalho (<i>gap</i>)	A1 = 1*
Controle de velocidade do servomecanismo, cabeçote	A2 = 3*
Tempo de afastamento periódico da ferramenta	A3 = 5*
Tempo de erosão	A4 = 6*
Tempo de duração do pulso, T_{ON}	A5 = 100 [μ s]
Tempo de intervalo do pulso, T_{OFF}	A6 = 1,5*

* Esses parâmetros foram ajustados diretamente no painel de controle da Servspark EDM-540.

Na realização dos experimentos eletroquímicos usou-se a célula de corrosão eletroquímica tipo Flat Cell, equipada com três (3) eletrodos: eletrodo de trabalho (amostra), eletrodo auxiliar (platina) e eletrodo de referência (calomelano saturado). Usou-se como solução eletrolítica uma solução de cloreto de sódio (NaCl) 3,5% p/v (0,599 mol/L) na condição não aerada, consistindo da dissolução de 35 g de NaCl em água destilada para 1000 mL.

Os procedimentos experimentais e interpretação dos resultados seguiram a recomendações das normas ASTM para as curvas de polarização potenciodinâmicas (ASTM G5; 2013) e espectroscopia de impedância eletroquímica (ASTM G106, 2010). O comportamento corrosivo das amostras foi analisado através do potenciostato e software eletroquímico IVIUMSOFT, na PUC Minas, unidade de Contagem.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

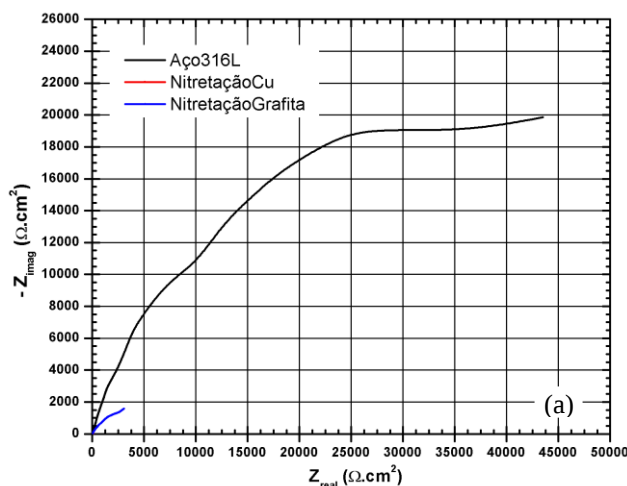
A Tab. (2) apresenta a composição química média do aço inoxidável 316L usado neste experimento.

Tabela 2. Composição química média do aço inoxidável 316L (% em peso)

Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
68,1	0,0170	0,419	1,62	0,0456	0,0433	16,6	2,10
Ni	Al	Co	Cu	Nb	Ti	V	W
10,0	0,0129	0,160	0,413	0,0122	0,0020	0,0752	0,0572
Pb	Sn	B	Ca	N	Se	Sb	Ta
0,0089	0,0025	0,0002	>0,0080	0,0541	0,0506	0,126	0,0249

Os resultados apresentados na Tab. (2) estão compatíveis com a literatura (Chiaverini, 2012).

A Fig. (6) apresenta os diagramas de espectroscopia de impedância eletroquímica obtidos usando-se uma faixa de frequência de perturbação de sinal senoidal de 0,01 Hz até 100000 Hz (ASTM G106, 2010), suficiente para identificar o mecanismo e comportamento do material em corrosão (Orazem e Tribollet, 2008).



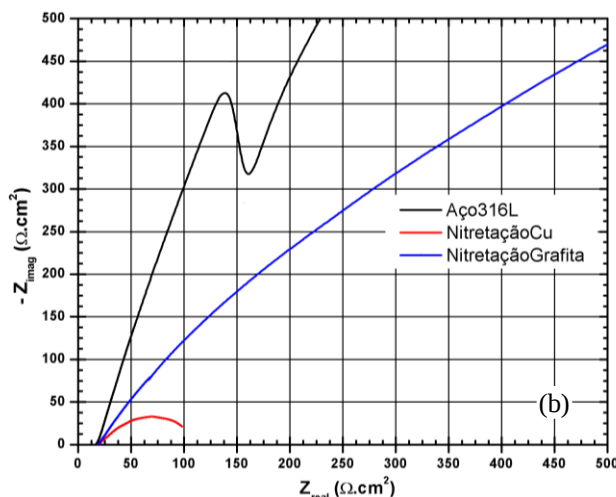


Figura 6. Diagramas de espectroscopia de impedância eletroquímica (EIE) para amostras do substrato de aço inoxidável 316L, submetido à NDE com eletrodos de cobre e grafita obtidos em solução de NaCl 3,5% g/L, na condição não aerada, à temperatura ambiente – (a) Diagrama global e (b) Expansão da faixa 0 a 500 $\Omega \cdot \text{cm}^2$ mostrando-se o arco capacitivo da amostra com nitretação por cobre

Comparando-se o diâmetro do arco capacitivo, que fornece a resistência à polarização (R_p) ou a resistência à transferência de carga (R_{ct}), que são iguais para o mecanismo de cinética de transferência de elétrons na interface, pode-se ter uma estimativa da taxa de corrosão (R_{corr} , em mpy – milésimo de polegadas por ano), calculada por (Gentil, 2011; Gemelli, 2001) conforme Eq. (1) e Eq. (2):

$$R_p = \frac{b_a \times |b_c|}{2,3026 \times (b_a + |b_c|) \times i_{corr}} \quad (1)$$

Onde se tem que b_a e b_c são as inclinações da região de Tafel, anódica e catódica (Wolynec, 2003), em volts, e, i_{corr} , é a densidade de corrente de corrosão, em ampère (ASTM G5, 2013). A taxa de corrosão (R_{corr}) do material relaciona-se com a resistência de polarização como:

$$R_{corr} \text{ (mpy)} = \frac{0,1288 \times \text{Eq. wt}}{\rho_{\text{liga ou metal}}} \times \frac{b_a \times |b_c|}{2,3026 \times (b_a + |b_c|) \times R_p} \quad (2)$$

Onde se tem que Eq. wt representa o equivalente eletroquímico do material e, ρ é a densidade da liga ou do metal, em g/cm^3 (Baboian, 1986; Dean Jr., 1986). A Eq. (2) mostra que quanto menor o diâmetro do arco capacitivo (R_p), maior será a taxa de corrosão.

Nota-se na Fig. (6) que as amostras que sofrerão nitretação por descargas elétricas com eletrodos de cobre ou de grafita apresentam menor arco capacitivo (semicírculo) (ASTM G106, 2010; Brett e Brett, 1996) comparado à amostra de aço inoxidável 316L puro (substrato). Contudo, observa-se que a nitretação com eletrodo de grafita, apresenta maior resistência à polarização, R_p , do que a amostra sobre nitretação por descargas elétricas com eletrodo de cobre.

Ainda, os ensaios de espectroscopia de impedância eletroquímica demonstram que as amostras apresentam mecanismos distintos no processo de corrosão: cinética de transferência de carga na interface metal | solução, devido à presença de um arco capacitivo (Brett e Brett, 1996) para as amostras sob nitretação com eletrodo de cobre e com eletrodo de grafita e, cinética de transferência de carga seguido de processo de difusão (com o surgimento da impedância Warburg, conforme cita Orazem e Tribollet, 2008) para a amostra de aço inoxidável 316L (substrato).

Desta forma, como a impedância eletroquímica permite a simulação de circuito elétrico (ASTM G106, 2010; Orazem e Tribollet, 2008; Wolynec, 2003) na interface metal | solução eletrolítica em processo de corrosão têm-se dois circuitos equivalentes distintos, conforme mostra a Fig. (7).



Figura 7. Circuitos elétricos equivalentes para amostras do substrato de aço inoxidável 316L, submetido à NDE com eletrodos de cobre e grafita, obtidos em solução de NaCl 3,5% g/L, na condição não aerada, à T. ambiente.

Tem-se que Q representa um capacitor real dependente da rugosidade superficial (Brett e Brett, 1996, Mac Donald, 2005), W é a impedância do processo de difusão; os símbolos indicativos, $\sim W$ e $\sim C$ representam, respectivamente, a resistência elétrica R e o capacitor C ideal (Orazem e Tribollet, 2008).

A Fig. (8) apresenta as curvas de polarização potenciodinâmicas para as amostras estudadas, obtidas em NaCl 3,5% p/v, na condição não aerada, à temperatura ambiente.

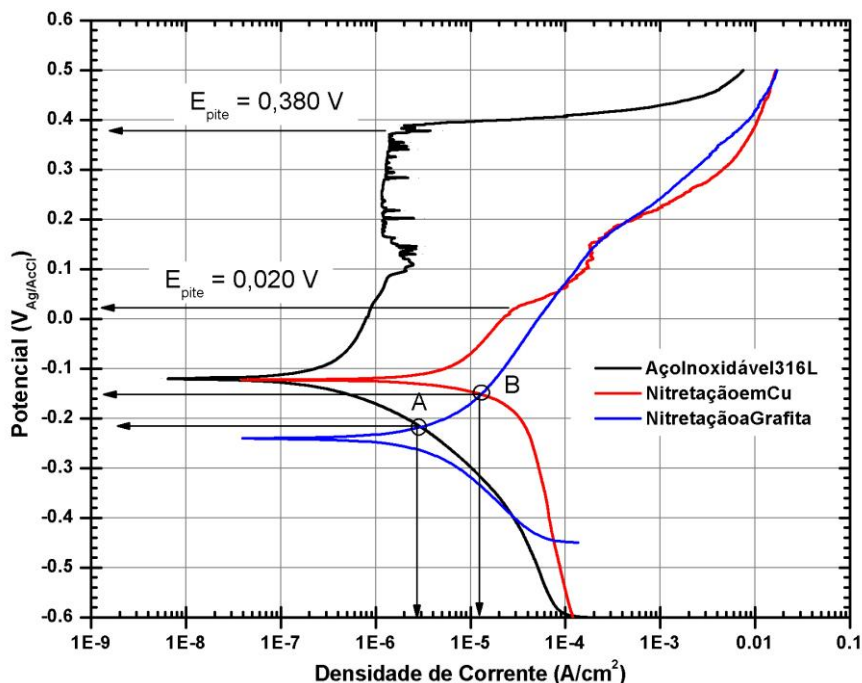


Figura 8. Curvas de polarização potenciodinâmicas para amostras do substrato de aço inoxidável 316L, submetido à nitretação por descargas elétricas com eletrodos de cobre e grafita, obtidos em solução de NaCl 3,5% g/L, na condição não aerada, à temperatura ambiente

Observa-se na Fig. (8) que o comportamento eletroquímico das amostras é distinto. O fato da superfície do substrato de aço inoxidável 316L sofrer nitretação reduz o potencial de pite da amostra de 380 mV para 20 mV (nitretação com eletrodo de cobre) e deixa de existir em presença da nitretação com eletrodo de grafita, ademais, aumenta-se a densidade de corrente do pite e, conseqüentemente, aumenta-se o processo de corrosão da amostra (aumentando-se R_{corr}), conforme mostra a equação (3) (Baboian, 1986; Dean Jr., 1986).

$$R_{corr} \text{ (mpy)} = \frac{0,1288 \times Eq.wt}{\rho_{ligaoumetal}} \times I_{corr} \quad (3)$$

A Fig. (8) mostra que, no ponto A, o ramo catódico da curva de polarização do aço inoxidável 316L intercepta a curva anódica da amostra nitretada por descargas elétricas com eletrodo de cobre, indicando a formação de um par galvânico entre o revestimento e o substrato, o que aumenta o processo corrosivo (Wolynec, 2003). Analogamente, o ponto B mostra o mesmo processo. Observa-se ainda que a amostra de aço inoxidável 316L é mais resistente ao processo de corrosão do que àquelas amostras submetidas ao processo de nitretação por descargas elétricas.

4. CONCLUSÕES

Após a análise e discussão dos resultados, conclui-se que:

- As amostras que sofreram nitretação por descargas elétricas com eletrodo de cobre e com eletrodo de grafita sobre o substrato de aço inoxidável 316L não contribuíram para o aumento da resistência à corrosão do substrato; sugerindo a formação de par galvânico, conforme demonstrou na Fig. (8).
- Os diagramas de espectroscopia de impedância eletroquímica demonstram que o mecanismo de corrosão é devido ao processo de cinética eletroquímica com transferência de carga elétrica na interface metal/eletrólito para amostras que sofreram nitretação por descargas elétricas e, cinética eletroquímica com transferência de carga elétrica na interface metal/eletrólito seguido de processo por difusão iônica em solução, para amostras de aço inoxidável 316L sem nitretação (substrato).

- c) A amostra de aço inoxidável 316L (substrato), somente, apresentou passivação da superfície metálica, bem como é mais resistente ao processo de corrosão do que àquelas amostras submetidas ao processo de nitretação por descargas elétricas.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus agradecimentos ao Departamento de Engenharia de Materiais do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais pelo uso dos Laboratórios de Fundição e de Usinagem, especialmente ao Prof. Dr. Ernane Rodrigues da Silva; ao Professor Dr. Pedro Paiva de Brito, do Departamento de Engenharia Mecânica da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, pela permissão do uso do equipamento IVIUM para realização dos ensaios eletroquímicos; e, à FAPEMIG – Fundo de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais, pelo financiamento da pesquisa.

6. REFERÊNCIAS

- Annual Book of ASTM Standards, 2013, American Society for Testing and Material, ASTM G5: Standards recommended practice for standard method for making potentiostatic and potentiodynamic anodic polarization measurement, 10p., Philadelphia, PA.
- Annual Book of ASTM Standards, 2010, American Society for Testing and Material, G 106: Standard practice for verification of algorithm and equipment for electrochemical impedance measurements, 11p., Philadelphia, PA.
- Baboian, R., 1986, Electrochemical techniques for corrosion engineering. Houston: NACE – National Association of Corrosion Engineers, Texas. 332p.
- Brett, A.M.O.; Brett, C.M.A., 1996, Electroquímica: Princípios, métodos e aplicações. Coimbra: Livraria Almedina. 471p.
- Camargo, B. C.; Costa, H. L.; Raslan, A. A., 2009, Endurecimento superficial de uma liga Ti6Al4V por meio de usinagem por descargas elétricas. In: COBEF Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, 5, Belo Horizonte, MG.
- Chiaverini, V., 2012, Aços e Ferros Fundidos. 7ª Ed. ABM – Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração. 599p., São Paulo.
- Dean Jr, S. W., 1972, Eletrochemical Methods of Corrosion Testing, apud: Baboian, R., 1986. pp. 193-205.
- Epelboin, I; Keddam, M., 1972, Electrochimica Acta. Vol.17, No. 2, pp. 161-368.
- Gemelli, E., 2001, Corrosão de materiais metálicos e sua caracterização, LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda., 183p.
- Gentil, V., 2011, Corrosão. 6ª Edição. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S. A., Rio de Janeiro, 360p.
- Jones, D.A., 1996, Principles and prevention of corrosion. 2nd Ed. New Jersey: Prentice-Hall, Inc. Simon & Shuster, A Viacom Company. 572p.
- Macdonald, J. R; Barsoukov, E., 2005, Impedance Spectroscopy – Theory, Experiment and applications. 2nd Ed. New Jersey: John Wiley & Son, Inc. 595p.
- McGeough, J.A., 1988, Advanced methods of machining, Chapman and Hall, London, p. 128-152.
- Orazem. M. E.; Tribollet, B., 2008, Electrochemical Impedance Spectroscopy. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, USA, 523p.
- Pedroso, S., Freitas Filho, A., Eduardo, C., Nicesio, I.C., Santos, I.B., Carneiro, J.R.G., Silva, E.R., 2016, Nitretação por descargas elétricas de corpo de prova para ensaio de fadiga em aço ABNT 4140 com matriz de cobre, Congresso Nacional de Engenharia Mecânica – CONEM, Fortaleza, CE, Brasil.
- Pedroso, S., 2016, Avaliação da resistência à fadiga axial do aço ABNT 4140 nitretado por descargas elétricas. Dissertação de Mestrado, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, CEFET, Belo Horizonte, MG.
- Santos, R.F., 2013, Nitretação por EDM do aço AISI 4140. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, 108 p.
- Silva, E.R., 2012, Otimização e avaliação dos parâmetros de influência do processo AJEDM. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, 112 f.
- Souza, A.F.; Ulbrich, C. B. L., 2013, Engenharia Integrada por Computador e Sistemas CAD/CAM/CNC - princípios e aplicações. 2ª. Ed., Artliber Editora, São Paulo.
- Raslan, A.A., 2015, Implantação iônica em meio aquoso por EDM: resistência ao desgaste de aço AISI 4140. In: COBEF Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, 8, Salvador, BA.
- Raslan, A.A.; Santos, R. F.; Silva, E. R., 2012, Método de Nitretação através da Usinagem com Descargas - NDE. BR 10 2012 030523-2, FAPEMIG, Fundação de Ampara a Pesquisa de Minas Gerais; UFU, Universidade Federal de Uberlândia (MG).
- Tait, W.S., 1994, An introduction to electrochemical corrosion testing for practicing engineers and scientists. Racine: Pair O'Docs Publications, Wisconsin, USA. 155p.

- Talbot, D.; Talbot, J., 1998, Corrosion science and technology, ISBN 0-8493-8224-6 1, CRC press LLC, Boca Raton.
- West, J. M., 1970, Electrodeposition and corrosion processes. 2nd Edition. Van Nostrand Reinhold., London, p. 100-102, apud Wolynec, S., 2003, Técnicas Eletroquímicas em corrosão.
- Wolynec, S., 2003, Técnicas Eletroquímicas em Corrosão. EDUSP – Editora da Universidade de São Paulo, São Paulo, 166p.
- Yan, B.H.; Tsai, H.C.; Huang, F.Y., 2005, The effect in EDM of a dielectric of a urea solution in water on modifying the surface of titanium, International Journal of Machine Tools & Manufacture. n. 45, p. 194-200.

7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluídos no seu trabalho.

STUDY OF THE ELECTROCHEMICAL BEHAVIOR OF ABNT 316L STAINLESS STEEL NITRATED BY ELECTRICAL DISCHARGE NITRIDING

Sinval Pedroso da Silva, sinvalpedroso@yahoo.com.br¹

Thaís Roberta Campos, trcampos@pucminas.br²

Carlos Roberto de Araújo, carlosroberto_araujo@yahoo.com.br²

Fernanda Palladino Pedroso, ferpalladino@terra.com.br²

¹Universidade Federal de Minas Gerais, Av. Antônio Carlos, 6627, Campus Universitário, Belo Horizonte, Minas Gerais, CEP 31270-901

²Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Rua Dom José Gaspar, 500, Coração Eucarístico, Belo Horizonte, Minas Gerais, CEP 30535-901

Abstract: Austenitic stainless steels are applied in the marine, oil & gas, chemical, pulp and paper, food, pharmaceutical and medical industries in surgical implants. These have properties of: corrosion resistance, cold forming and strain hardenability. ABNT 316L austenitic stainless steel is not hardened by quenching; Therefore, the nitriding thermochemical treatment allows improvement in the mechanical properties. In this work, the effect of ABNT 316L (substrate) nitrated by Electrical Discharge Nitriding (EDN) process and its behavior against electrochemical corrosion was investigated. The EDN process was carried out in a die-sinking Electrical Discharge Machining (EDM), copper electrodes and graphite were applied, and as a dielectric fluid and nitrogen source, an aqueous solution of urea was used in deionized water, on the substrate.

The resistance to localized corrosion was investigated in saline medium containing NaCl 3.5% w / v, non-aerated solution (containing naturally dissolved oxygen) at room temperature, according to the procedures of ASTM G5 (Potentiodynamic polarization) and ASTM G106 (Spectroscopy of Electrochemical impedance). The polarization tests indicate a reduction in the pitting corrosion resistance of the nitrated material and the impedance analysis of the nitrated steel shows that the corrosion mechanism is by charge transfer kinetics in samples with copper electrode and graphite electrode and, kinetics of charge transfer followed by diffusional mechanism for the 316L stainless steel sample. It is concluded that nitriding with copper electrode does not favor corrosion resistance in relation to the samples nitrated with graphite electrode and 316L stainless steel substrate.

Key words: ABNT 316L stainless steel, EDM, Electrochemical tests, Electrical Discharge Nitriding (EDN)