

Copyright 2012, ABRACO

Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2012, em Salvador/BA no mês de maio de 2012.

As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).

Determinação do padrão de sensitização de diferentes aços inoxidáveis austeníticos utilizando ensaio EPR-DL convencional e ensaio EPR-DL de campo através de redes neurais

Abraão D. G. Barreto^a, Gerbson C. Queiroz^b, Tathiane C. Andrade^c, Hélio C. de Miranda^d, Jesualdo P. Farias^e

Abstract

This paper is a development of the software which aim is recognize pattern of sensitization, degree of precipitation of chromium carbides, seeking to qualify based on the standard A262, as "Step", "Dual" and "Ditch" the level of sensitization. The test EPR-DL generates a graph which evaluates this type of corrosion which was used in this paper. The graphics of this essay follow a pattern according to the qualification "Step", "Dual" and "Ditch", but there are variations in graphics compared to tests in different grades. Conventional tests were made and field trials in AISI 304, 317L, 317 and 316 totaling 494 trials to which the levels of sensitization were validated by metallographic tests. Neural networks training have been made to classify the standard test of sensitization. Network training was made for each type of steel and verification of the same percentage of correct answers. The percentage of corrects classification are around 95%. It follows that the neural network can be effective in the recognition of the patterns of test charts EPR-LD.

Keywords: sensitization, EPR-DL, neural network.

Resumo

Esse trabalho consiste no desenvolvimento de um programa computacional cujo principal objetivo é identificar o padrão de sensitização, grau de precipitação de carbonetos de cromo, buscando qualificar, com base na Norma A262, como "Step", "Dual" e "Ditch" o nível de sensitização empregando o ensaio EPR-DL. Os gráficos desse ensaio seguem um padrão de acordo com a qualificação "Step", "Dual" e "Ditch", porém, existem variações nos gráficos em relação a ensaios realizados em aços inoxidáveis que precisam ser avaliados. Foram feitos ensaios convencionais e ensaios de campo nos aços AISI 304, 317L, 317 e 316 totalizando 494 ensaios ao quais os níveis de sensitização foram validados através de caracterização metalográfica. Através de redes neurais foram feitas as classificações do padrão de sensitização dos ensaios. Realizou-se treinamento da rede para cada tipo de aço e a verificação dos percentuais de acertos dos mesmos e os percentuais de acertos da classificação foram em torno de 95%. Concluiu-se que a metodologia empregada de redes neurais pode ser eficaz no reconhecimento dos padrões dos gráficos do ensaio EPR-DL.

Palavras-chave: sensitização, EPR-DL, redes neurais.

^a Graduando, Engenharia Metalúrgica – Universidade Federal do Ceará

^b Graduando, Engenharia Metalúrgica – Universidade Federal do Ceará

^c Graduanda, Engenharia Metalúrgica – Universidade Federal do Ceará

^d Doutor, Professor – Universidade Federal do Ceará

^e Doutor, Professor – Universidade Federal do Ceará

Introdução

Os aços inoxidáveis austeníticos estão sujeitos ao fenômeno de sensitização, que consiste na precipitação dos carbonetos de cromo nos contornos de grão e no empobrecimento em cromo das regiões vizinhas, capaz de diminuir sua resistência à corrosão, por exemplo, sujeitos a corrosão intergranular. Processos ou etapas de fabricação como soldagem, tratamentos térmicos ou trabalho a quente induzem a esse fenômeno por experimentarem faixas de temperatura entre 400°C e 850°C. Para avaliar o grau de precipitação, neste trabalho, a técnica de reativação potenciocinética (EPR – *electrochemical potentiokinetic reactivation*) que se baseia no princípio de se diminuir o potencial aplicado ao material, a partir de uma condição onde este se apresenta completamente passivado, haverá a quebra da película passiva preferencialmente nas zonas empobrecidas em cromo. Para se avaliar o grau de sensitização, utiliza-se a razão entre os dois máximos de corrente, Ir e Ia. Contudo, em razão de variações de tamanho de grão, diferença de composição química, fatores operacionais relacionados ao ensaio podem gerar erros, se apenas for utilizados a razão Ir sobre Ia.

Este trabalho objetiva a utilização de uma metodologia baseada em redes neurais para a classificação do nível de sensitização, que não apenas leva em consideração a razão Ir sobre Ia como também as médias e inclinações da curva de reativação e a motivação para a utilização de redes neurais na classificação dos percentuais deu-se por serem modelos computacionais relativamente simples baseados na estrutura neural do cérebro humano, que por sua vez aprende por experiência. Este arranjo neural possibilita soluções para problemas complexos sem utilizar necessariamente modelamentos físicos, no caso desse trabalho, modelamento do fenômeno eletroquímico do ensaio (1).

As classificações da norma ASTM 262 (2) são entre: “*step*”, degraus entre grãos, não há sensitização; “*dual*”, ditches nos contornos, não circundando completamente o grão, não há sensitização; “*ditch*”, um ou mais grãos circundados completamente por ditches, há sensitização (Figura 2). Utilizou-se uma rede PNN (Probabilistic Neural Network) que efetua uma série de cálculos matriciais entre o gráfico testado e o banco de dados. As seguintes etapas de cálculo são executadas: distância, produtório, radbação, índice e competição.

Metodologia

Nos ensaios EPRs foi utilizado equipamento de ensaio EPR de campo desenvolvido pelo ENGESOLDA (Laboratório de Engenharia de Soldagem – UFC) em parceria com a Petrobrás (Figura 1), para cada amostra foi realizado três ensaios em diferentes localizações.

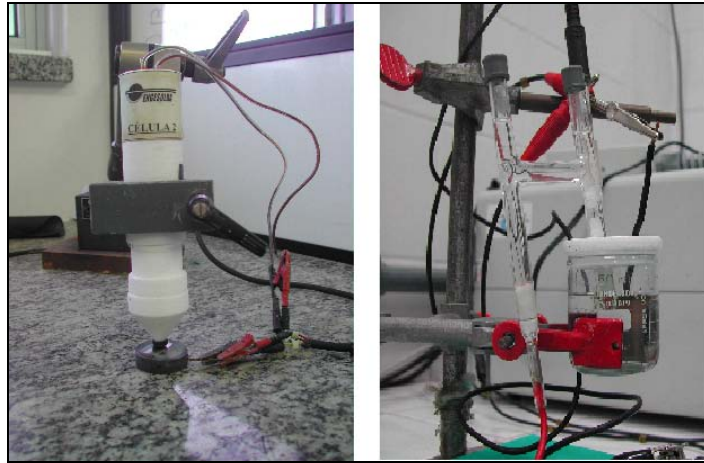


Figura 1 – Comparação entre a célula de ensaio de campo (esquerda) e a célula de ensaio convencional.

Para a identificação dos padrões de sensitização é necessário um tratamento matemático que obtenha valores representativos do gráfico, a análise se baseia em identificar o início e fim da curva com base na variação da inclinação da curva de ativação (Figura 2).

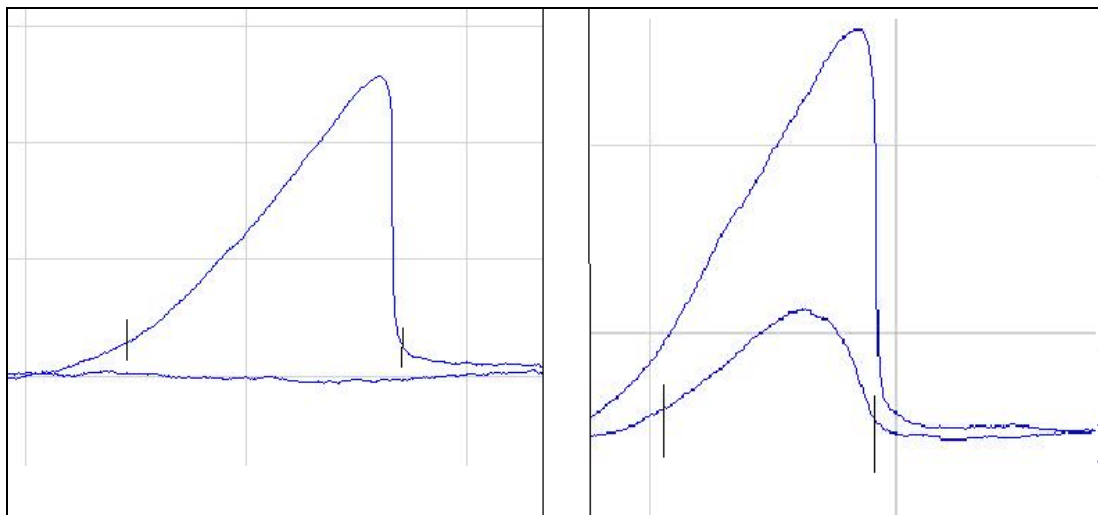


Figura 2 – Esquema da divisão dos padrões.

Após a identificação de início e fim é encontrado o maior valor do intervalo em relação ao eixo das ordenadas. Em seguida é dividido em três partes iguais o gráfico no início da curva até o valor máximo do intervalo. Ocorre uma divisão em duas partes a partir do valor máximo do intervalo até o fim da curva (Figura 3). Em seguida são extraídos valores de média e inclinação de cada segmento, bem como, a razão I_r sobre I_a relativo para a realização das etapas de treinamento. Para cada tipo de aço, foi feita a rede neural com cinco arquivos de cada nível de sensitização validadas através de ensaios metalográficos.

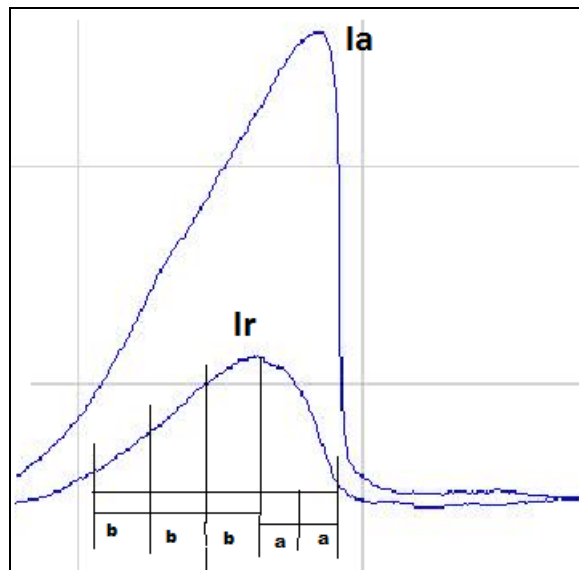


Figura 3 – Esquema da divisão dos gráficos.

Para obtenção dos gráficos a partir do emprego do eletrodo de referência tipo Ag/AgCl e contra eletrodo de platina com velocidade de varredura de 3mV.s. A solução de trabalho utilizada é a solução padrão indicada na literatura: 0,5 mol/L H_2SO_4 + 0,01 mol/L KSCN. Mas, para o 317L, foi utilizada uma solução alternativa: 2 mol/L H_2SO_4 + 0,01 mol/L KSCN + 0,5mol/L NaCl. Aumentou-se a concentração de ácido sulfúrico e a adicionou-se cloreto de sódio pela necessidade de se aumentar o poder de ataque da solução, já que o aço 317L é mais resistente ao ataque químico por ácidos.

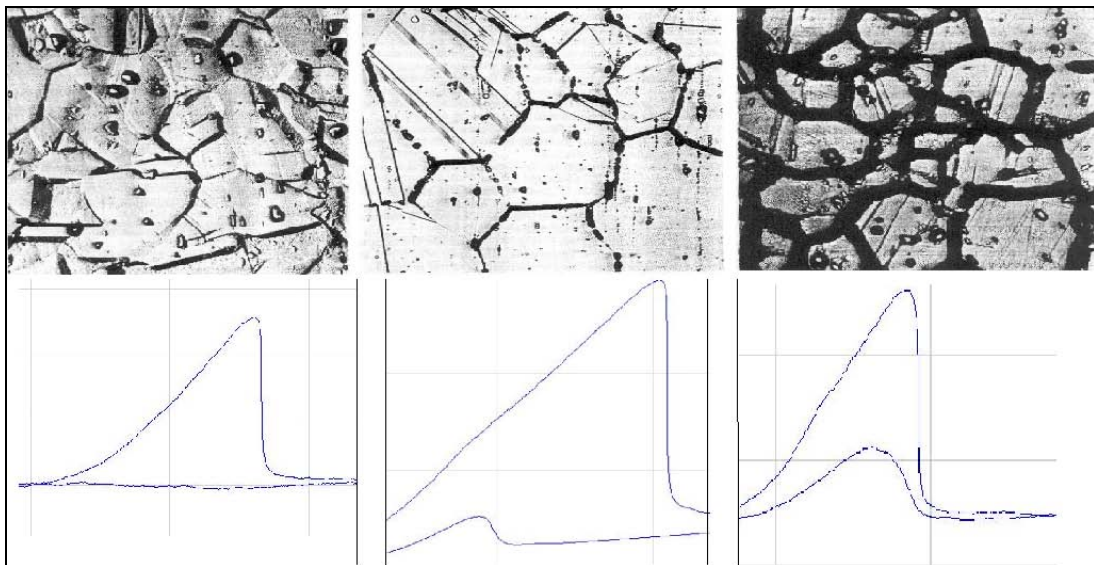


Figura 4 – Estrutura “step”, “dual” e “ditch” associados aos ensaios EPRs, respectivamente [ASTM, 1994].

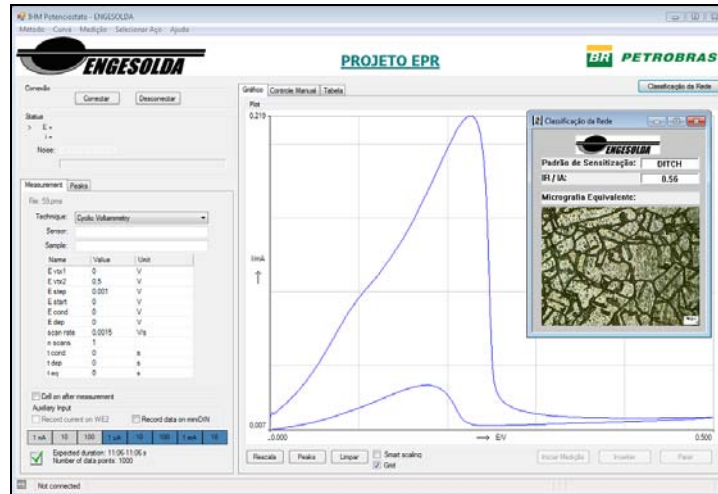


Figura 5 – Programa de controle do potenciostato e classificação através de redes neurais.

Resultados e discussão

A Figura 6 mostra um exemplo dos resultados da fase de validação com ensaios metalográficos que se relacionam com os gráficos do ensaio EPR. Não houve a formação do pico de reativação.

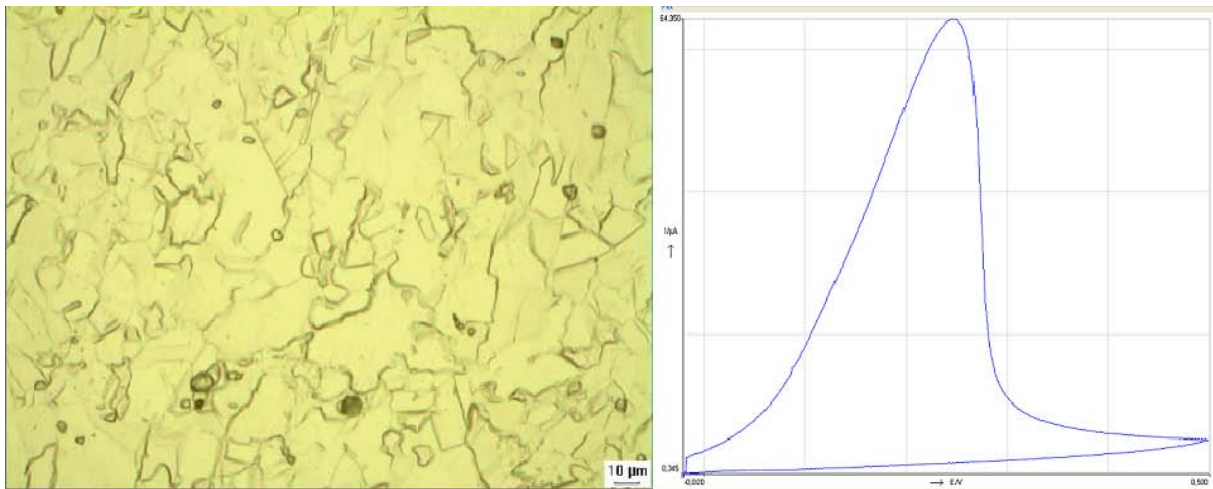


Figura 6 – Relação entre a micrografia e o ensaio EPR para a padrão “Step”.

A Figura 7 mostra um exemplo da relação entre a micrografia e o ensaio EPR de uma amostra com padrão de sensitização “dual”. Essa amostra foi submetida a um tratamento térmico de 200 h na temperatura de 600 °C. Percebe-se que houve a formação do pico de reativação e para o exemplo da Figura 8, houve a formação do pico de reativação de forma mais intensa.

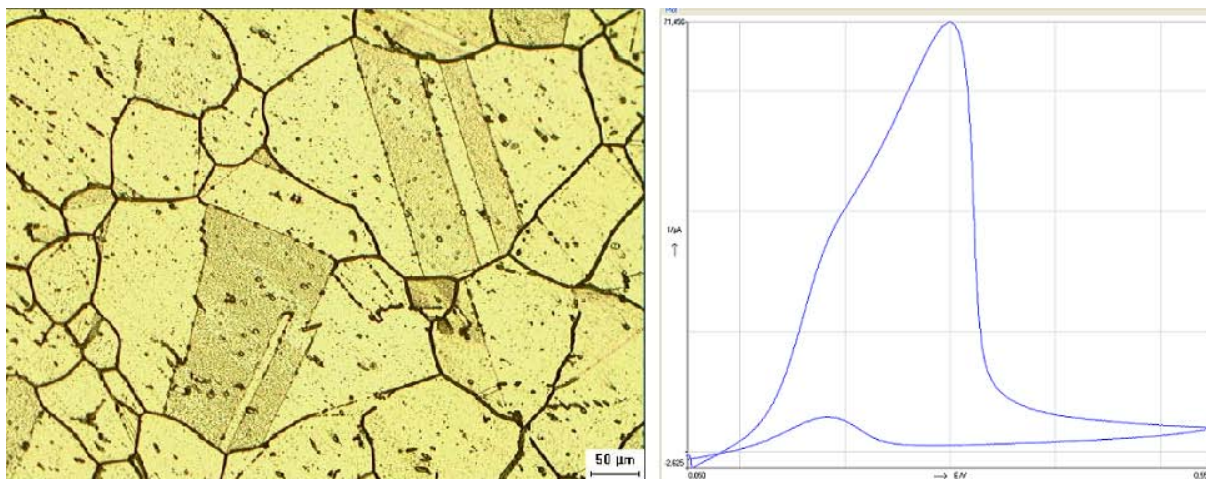


Figura 7. Relação entre a micrografia e o ensaio EPR para a padrão “*dual*”.

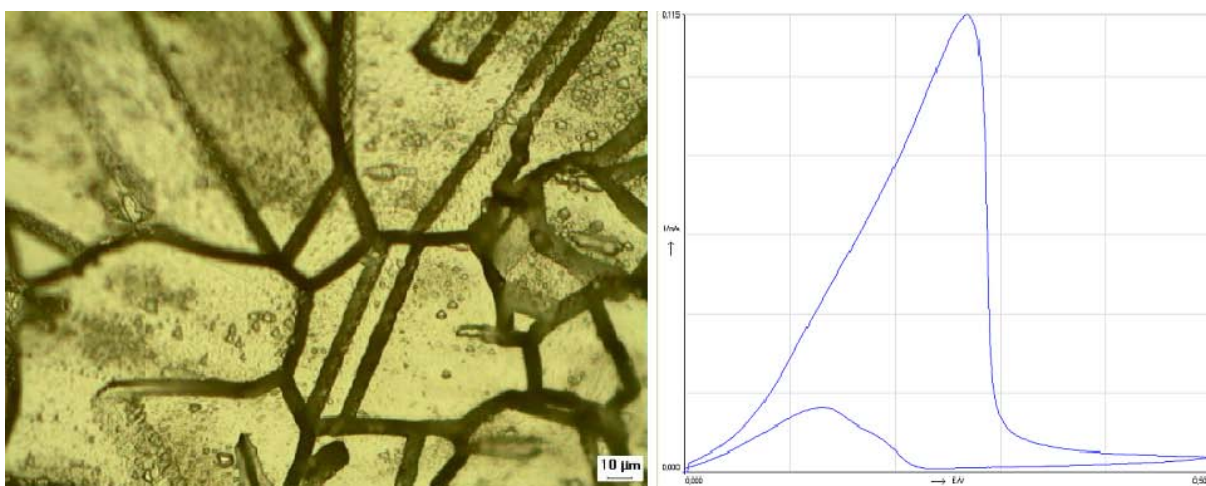


Figura 8. Relação entre a micrografia e o ensaio EPR para a padrão “*ditch*”.

A tabela 1, a seguir, mostra a quantidade de arquivos utilizados para cada tipo de aço, bem como a quantidade de erros de classificação da rede para cada aço.

Tabela 1 – Número de gráficos testados versus erros de classificação da rede.

Classe	Nº de arquivos testados	Nº de erros da classificação	Percentual (%) de acerto
304	91	7	92,3
317	62	1	98,4
317L	167	6	96,4
316	174	9	94,8

Os erros da classificação da rede estão relacionados com a diferença entre os resultados da classificação pelos ensaios metalográficos referente ao padrão “*dual*” e a classificação da rede referente ao padrão “*ditch*” e vice-versa. Com isso os erros não são tão relevantes, visto que, apenas a condição “*step*” confirma a ausência de precipitação de carbonetos de cromo. Na tabela 2, são apresentados os valores dos dados do treinamento da rede.

Tabela 2. Exemplo de valores dos dados do treinamento da rede.

Dados do treinamento da rede	Padrão de Sensitização		
	<i>step</i>	<i>dual</i>	<i>ditch</i>
Média (Secção 1)	0,0105655808	0,0778603395	0,0969078614
Inclinação (Secção 1)	0,0004487500	0,0071850100	0,0174000000
Média (Secção 2)	0,0144715256	0,0855302856	0,1541913509
Inclinação (Secção 2)	0,0005000000	0,0011150000	0,0198960000
Média (Secção 3)	0,0185044918	0,0355121941	0,1893409253
Inclinação (Secção 3)	0,0005162600	-0,0072712600	0,0122083333
Média (Secção 4)	0,0232599015	0,0315740380	0,0530069306
Inclinação (Secção 4)	0,0006087400	-0,0005725000	-0,0710283500
Média (Secção 5)	0,0297145535	0,0352886307	0,0209164488
Inclinação (Secção 5)	0,0008262600	0,0005400000	-0,0167187500
Ir / Ia	0,0066817102	0,0265355313	0,1870212054

Conclusões

Os percentuais de acerto da classificação do nível de sensitização para um lote de 494 arquivos EPR's foi de 95%. Conclui-se que a técnica de redes neurais pode ser eficaz no reconhecimento dos padrões dos gráficos do ensaio EPR-DL. A análise dos ensaios do aço inoxidável AISI 304 através da rede apresentou maior percentual de acerto.

Referências bibliográficas

- (1) MIRANDA, H. C. Reconhecimento e Controle da Transferência Metálica no Processo MIG/MAG Pulsado. Tese (doutorado em engenharia), PPGEM, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, abril, 2003.
- (2) ASTM A262 – 93a, Standard Practices for Detecting Susceptibility to Intergranular Attack in Austenitic Stainless Steels, 1994.
- (3) SILVA, C. C. Revestimentos de Ligas de Nível Depositados pelo Processo TIG com Alimentação de Arame Frio – Aspectos Operacionais e Metalúrgicos. Tese (doutorado em engenharia), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, abril, 2010.
- (4) TAVARES, S. S. M., CASTRO, J. L. G., CÔRTE, R. R. A., SOUZA, V. M., PARDAL, J. M. Detecção de pequenos teores de fase sigma e avaliação dos efeitos na resistência à corrosão do aço inoxidável duplex UNS S31803. **ENGEVISTA**, v. 8, n. 2, p. 77-82, dezembro 2006.
- (5) CHEN, T.H., WENG, K. L., YANG, J. R. The effect of high-temperature exposure on the microstructural stability and toughness property in a 2205 duplex stainless steel.