

INFLUÊNCIA DA DEFORMAÇÃO À FRIO SOBRE O COMPORTAMENTO DA SENSITIZAÇÃO NA SOLDAGEM DE CHAPAS FINAS DE AÇO INOXIDÁVEL AISI 301LN¹

Francisco Diego Araruna da Silva²

Cleiton Carvalho Silva³

Hamilton Ferreira Gomes de Abreu⁴

Hélio Cordeiro de Miranda⁴

Resumo

O objetivo deste trabalho é avaliar a influência da deformação a frio sobre a sensitização na soldagem do aço inoxidável AISI 301LN. Chapas de aço 301LN foram laminadas a frio com dois graus de deformação (0% e 20%) e submetidas à soldagem. As soldagens foram realizadas empregando o processo Eletrodo Revestido, utilizando dois níveis de energia de soldagem. A verificação de regiões sensitizadas foi realizada através de caracterização microestrutural, ensaios eletroquímicos de EPR-DL e medidas de microdureza. A amostra sem deformação praticamente não apresentou precipitação de carbonetos. Já nas amostras deformadas 20% foi observada a formação de uma zona de intensa precipitação. Mesmo em condições de baixa energia de soldagem, as amostras laminadas 20% apresentaram esta zona sensitizada, mostrando que a deformação pode ser decisiva para o fenômeno da sensitização. Verificou-se ainda que a redução da energia de soldagem diminuiu o grau de sensitização somente nas amostras deformadas.

Palavras-chave: Soldagem; AISI 301LN; Trabalho a frio; Sensitização.

INFLUENCE OF COLD WORK ON THE SENSITIZATION BEHAVIOR OF STAINLESS STEEL AISI 301LN THIN PLATES

Abstract

The aim of this work was to evaluate the influence of cold work on the sensitization behavior of the welding in stainless steel AISI 301LN. 301LN steel plates were cold rolled with two degrees of deformation (0% and 20%) and welded. The welding was performed using SMAW and two welding energy levels. The verification of sensitized regions was achieved through microstructural characterization, electrochemical testing DLEPR, and measures of microhardness. The sample without strain showed almost no precipitation of carbides. In the 20% deformed samples it was observed the formation of a zone of intense precipitation. Even at low energy conditions, the samples rolled 20% showed this sensitized region, showing that the deformation can be crucial to the sensitization behavior. It was also found that reducing the welding energy the level of sensitization decreased only in the cold rolled samples.

Key words: Welding; AISI 301LN; Cold work; Sensitization.

¹ *Contribuição técnica ao 64º Congresso Anual da ABM, 13 a 17 de julho de 2009, Belo Horizonte, MG, Brasil.*

² *Graduando em Engenharia Metalúrgica, Universidade Federal do Ceará.*

³ *Engº, M.Sc., Doutorando em Engenharia e Ciência dos Materiais, Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais – UFC.*

⁴ *Dr., Professor Titular, Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais – UFC*

1 INTRODUÇÃO

A ampla utilização dos aços inoxidáveis em engenharia reside no fato destes materiais oferecerem uma excelente combinação entre propriedades mecânicas e resistência à corrosão em diversos meios, podendo aumentar substancialmente a vida útil e a confiabilidade dos equipamentos e componentes fabricados. Nesse contexto, os aços inoxidáveis austeníticos se destacam por possuírem, em geral, melhor concordância entre resistência à corrosão, conformabilidade, resistência mecânica e soldabilidade. Estas qualidades tornam os aços inoxidáveis amplamente utilizados em diversos setores industriais tais como químico, petroquímico, petróleo e gás, nuclear, energia, alimentos, naval, ferroviário, metal-mecânico, dentre outros.

Especificamente, o aço inoxidável AISI 301 tem sido empregado na fabricação de elementos estruturais tais como carcaças de vagões para comboios de transporte ferroviário e metropolitano, tanto em sistemas subterrâneos como de superfície. Este aço possui o melhor nível de resistência mecânica entre os aços da família AISI 3XX, mas apresenta desempenho menor durante a sensitização. Considerável aumento na resistência mecânica desses aços pode ser obtido utilizando algum processo de trabalho a frio.

Durante o trabalho a frio, os aços inoxidáveis austeníticos podem sofrer transformação martensítica induzida por deformação. Esse fenômeno ocorre de forma bastante comum nos aços AISI 301, AISI 302, AISI 304, AISI 316 e suas variantes. De uma forma geral, dois tipos de martensita podem ser formadas a partir da austenita nesses aços: ϵ , hexagonal compacta e não-magnética, e α' , cúbica de corpo centrado e magnética, as quais possuem diferentes propriedades intrínsecas - dentre as quais a dependência da tensão de escoamento com a temperatura.⁽¹⁾

O trabalho a frio pode acarretar em diversas alterações não só nas propriedades mecânicas dos aços inoxidáveis austeníticos, mas também na sua resistência à corrosão, através do fenômeno da sensitização. Talohen *et al.*⁽²⁾ concluíram que altas taxas de deformação afetam diretamente o limite de resistência a tração e a ductilidade de aços inoxidáveis 301LN e 304LN. Em relação a resistência a corrosão, Singh⁽³⁾ chegou a resultados os quais apontam que, no aço AISI 304 tratado termicamente a 500°C, a deformação a frio aumentou em 65 vezes o grau de sensitização em relação ao material não-deformado, e esse fato contribuiu para o aumento da susceptibilidade desse aço a falha por corrosão sob-tensão. Estudos semelhantes podem ser encontrados na literatura em relação a outros aços inoxidáveis austeníticos.^(4,5)

Em relação à soldagem desses aços, não há na literatura estudos sistemáticos que detalhem os efeitos do ciclo térmico de soldagem sobre a microestrutura e, conseqüentemente, nas propriedades mecânicas e de resistência à corrosão desses materiais. Assim, é necessário um acompanhamento cuidadoso do processo de soldagem para que não ocorram transformações indesejadas que acarretem em problemas nas aplicações desses aços.

O presente trabalho tem o objetivo de avaliar a influência da deformação a frio e do ciclo térmico de soldagem sobre a sensitização do aço inoxidável AISI 301LN.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Foram retiradas 8 tiras de aço AISI 301LN de dimensões 200 mm x 60 mm sendo que a maior dimensão da tira era paralela à dimensão de laminação. A composição química nominal desse aço é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1. Composição química nominal do aço 301LN.

Material	Cr	Ni	Mo	C	N	Mn	Cu	Si	S	Fe
301LN	17,7	6,6	0,17	0,023	0,10	1,69	0,17	0,53	0,004	Balanço
E308L	19,6	9,9	-	0,03	-	0,8	-	-	-	Balanço

Metade dessas tiras foi laminada a frio com redução de 20% na espessura e a outra metade foi mantida não-deformada. A espessura da amostra com 0% de deformação é de 2,0 mm, sendo conseqüentemente de 1,6 mm, a espessura final das amostras deformadas com 20%. É importante salientar que essa variação de espessura não constitui um fator determinante em relação ao fluxo de calor na soldagem para as duas condições (já que ambas as espessuras podem ser consideradas de chapas finas), havendo somente efeito dessa variação em relação à existência deformação. Em seguida, essas amostras foram submetidas a soldagem em simples deposição utilizando o processo eletrodo revestido com consumível AWS E308L (Tabela 1). Não houve tratamento térmico pré ou pós-soldagem. O equipamento utilizado foi uma fonte eletrônica multiprocesso de soldagem com sistema de aquisição de dados. A Tabela 2 relaciona os parâmetros de soldagem e o nível de deformação para cada condição de soldagem. Para cada condição foram confeccionados dois corpos de prova.

Tabela 2. Parâmetros de soldagem e graus de deformação para cada condição.

Condição	Corrente (A)	Velocidade de soldagem (cm/s)	Energia de soldagem (KJ/cm)	Deformação (%)
A	45	35	2,3	0
B	55	25	4,0	0
C	45	35	2,3	20
D	55	25	4,0	20

Após a soldagem, foram extraídas amostras da seção transversal da junta soldada para análise metalográfica. Foi realizado um pré-polimento utilizando pasta de diamante com 3 μm . Em seguida, um polimento eletrolítico empregando solução de 91 mL de ácido perclórico e 909 mL de butilglicol foi realizado para finalizar o polimento das amostras. O ataque foi conduzido com ácido oxálico 10% (ataque eletrolítico utilizando corrente de 1A).

Inicialmente foi procedida análise do aspecto visual e a avaliação macroestrutural da amostra. A macrografia foi realizada através de microscopia ótica, utilizando um estereomicroscópio para a visualização da amostra na seção de interesse polida e atacada com ácido oxálico. A caracterização das microestruturas foi realizada através de microscopia ótica (MO) utilizando-se um microscópio Jenaplan/Karl Zeiss com câmera digital acoplada e sistema de aquisição de imagem. Utilizou-se também um microscópio eletrônico de varredura (MEV) Phillips XL.

A quantificação da sensitização foi realizada através da técnica de polarização eletroquímica de reativação cíclica (PERC) do inglês *Double Loop Electrochemical Potentiokinetic Reactivation* (DLEPR) à temperatura ambiente. As amostras ensaiadas foram lixadas com lixa de granulometria 400. A solução de trabalho utilizada foi 0,5M H_2SO_4 e 0,01 M KSCN. De forma a realizar ensaios em regiões específicas da amostra foi utilizada uma célula eletroquímica de teste em pequena escala, com eletrodo de referência Ag/AgCl. O grau de sensitização foi avaliado em termos da relação I_r/I_a onde I_a é o pico de corrente de ativação (curva anódica) e I_r o pico de corrente de reativação (curva catódica).

Foram levantados os perfis de microdureza Vickers utilizando um microdurômetro de bancada Shimadzu. A análise compreendeu uma vasta extensão do corpo de prova, visando verificar possíveis alterações na microdureza do material ao longo das diversas regiões formadas após a soldagem.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 é mostrada a macrografia do corpo de prova A, o qual possui 0% de deformação e foi soldado com baixa energia. A caracterização microestrutural da região da ZAC distante da solda (área destacada na Figura 1) mostrou a presença de alguns precipitados de carboneto de cromo dispersos na matriz austenítica (Figura 2). Essa região em particular é de fundamental importância no estudo da resistência à corrosão pois, durante a soldagem, esta alcança temperaturas na faixa de 500°C a 800°C que favorecem a precipitação de carbonetos de cromo. O nível de precipitação observado nessa amostra não representa grande perigo à resistência à corrosão do material, visto que o grau de sensitização apresenta-se ainda bastante incipiente. Pode-se inclusive, atribuir a essas micrografias a classificação STEP segundo a norma ASTM A262 93.⁽⁶⁾



Figura 1. Macrografia do corpo de prova A. Ataque: Ácido Oxálico.

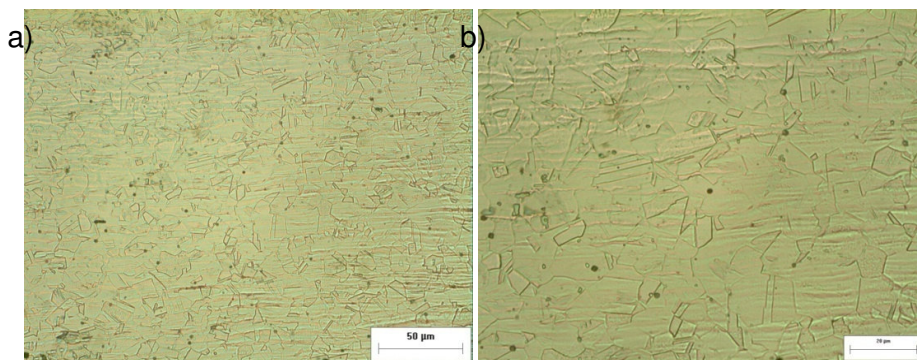


Figura 2. Micrografias da região destacada na Figura 1, a) 500X, b) 1.000X. Ataque: Ácido Oxálico.

Para realizar uma análise quantitativa do grau de sensitização foram realizados ensaios de EPR na região indicada na Figura 1. Conforme apresentado na Figura 3, é possível observar a ausência do pico de reativação no ensaio de EPR, confirmando o que fora constatado através da caracterização microestrutural, na qual não houve alterações significativas e portanto, sem implicações para a resistência à corrosão.

Na Figura 4 é mostrada a macrografia do corpo de prova com 0% de deformação soldado com alta energia. Nas micrografias da região distante do metal de solda (destacada na Figura 4) obtidas dessa amostra observa-se a presença de uma quantidade semelhante de precipitados em relação a amostra soldada com baixa energia. Assim, novamente o nível de precipitação é muito baixo para causar uma significativa alteração na resistência a corrosão do material (Figura 5). Deste

modo, pode-se classificar como STEP o nível de precipitação encontrado nessa condição.

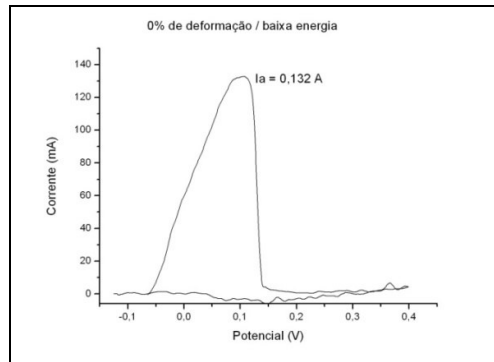


Figura 3. Ensaio de EPR na região destacada na Figura 1.

Ao ser realizado o ensaio de EPR nessa região observou-se perfil semelhante ao da amostra soldada com baixa energia, no qual nota-se a ausência de um pico de reativação, resultando em uma relação I_r/I_a zero (Figura 6). Assim, tem-se a confirmação da não alteração na resistência a corrosão da amostra.



Figura 4. Macrografia do corpo de prova B. Ataque: Ácido Oxálico.

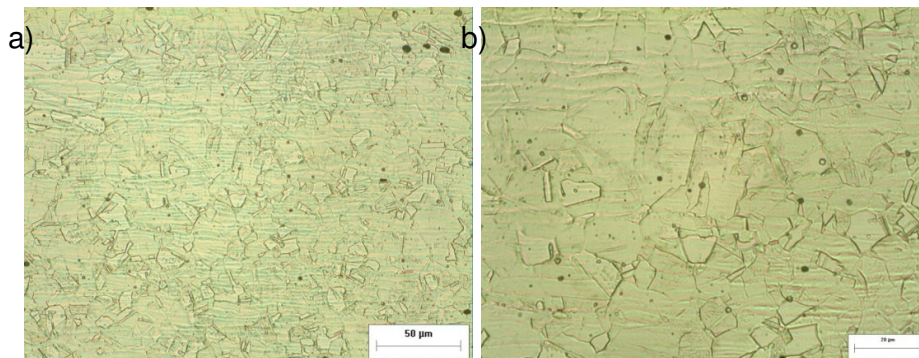


Figura 5. Micrografias da região destacada na Figura 4, a) 500X, b) 1000X. Ataque: Ácido Oxálico.

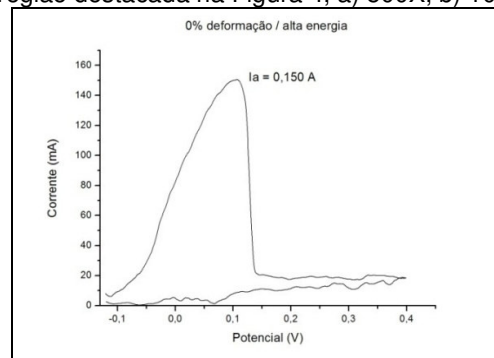


Figura 6. Ensaio de EPR na região destacada na Figura 4.

Assim, com base nos resultados da análise microestrutural e de EPR, foi possível estabelecer que variações na energia de soldagem não causam alterações significativas na microestrutura aço 301LN quando o mesmo não foi submetido a um processo de deformação a frio prévio. Dessa forma, pode-se concluir que a soldagem atuando isoladamente não foi capaz de fornecer energia suficiente ao material para possibilitar a precipitação de carbonetos que poderiam prejudicar a resistência à corrosão. Além disso, a alta velocidade de resfriamento do ciclo térmico contribuiu para impedir a precipitação excessiva de carbonetos.

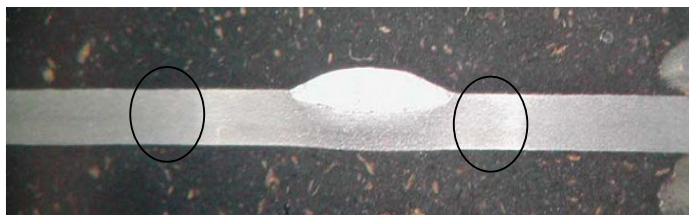


Figura 7. Macrografia do corpo de prova C. Ataque: Ácido Oxálico.

Na Figura 7 tem-se a macrografia da amostra C, deformada 20% e soldada com baixa energia. Nessa macrografia, pode-se notar a presença de uma região sensitizada em ambos os lados (direito e esquerdo) da ZAC distante do metal de solda (regiões destacadas com um círculo na Figura 7). O ataque com ácido oxálico revelou essas regiões como faixas brancas na macrografia.

Ao microscópio ótico observou-se que esta região possui um nível considerável de precipitação de carbonetos de cromo, localizando-se tanto dispersos na matriz como nos contornos de grão (Figuras 8a e 8b). Através de microscopia eletrônica de varredura, foi possível observar claramente os precipitados e sua distribuição na microestrutura (Figuras 8c e 8d). Nesse caso, já se nota uma precipitação de carbonetos considerável. Entretanto, como a maioria dos grãos ainda não possui seus contornos completamente preenchidos pelos carbonetos, a melhor classificação dessa microestrutura segundo a norma ASTM A262 93 seria DUAL.

Realizando o ensaio de EPR nessa região foi possível quantificar o grau de sensitização da ZAC e, conseqüentemente, a resistência a corrosão intergranular do material (Figura 9). Nesse caso, pode-se notar uma reativação marcante no gráfico de EPR obtido, resultando em uma relação I_r/I_a igual a 0,26. Esta alta razão I_r/I_a indica que o grau de sensitização decorrente da precipitação de carbonetos de cromo foi significativo. De acordo com Majidi e Streicher,⁽⁷⁾ os quais avaliaram a sensitização para aços inoxidáveis austeníticos, valores de I_r/I_a menores que 0,001 correspondem a estrutura STEP, ou seja, livre de precipitação. Razões na faixa de 0,001 e 0,05 correspondem a estrutura DUAL, onde alguns precipitados são observados, mas os mesmos não envolvem completamente os contornos de grão. Já razões acima de 0,05 correspondem a estrutura DITCH, onde tem-se os contornos de grão completamente preenchidos por carbonetos. Assim, tem-se, para a amostra analisada, um aparente desacordo entre as micrografias (que apontaram uma estrutura DUAL) e o ensaio de EPR (que apontou estrutura DITCH, já que o valor I_r/I_a foi maior que o limite para estruturas DUAL estabelecido por Majidi e Streicher⁽⁷⁾).

Entretanto, algumas considerações devem ser feitas ao tentar-se aplicar os resultados de Majidi e Streicher⁽⁷⁾ ao presente estudo. A primeira diz respeito ao tamanho de grão. As faixas estabelecidas pelos autores são restritas a materiais cujo tamanho de grão ASTM seja próximo de 3,5.

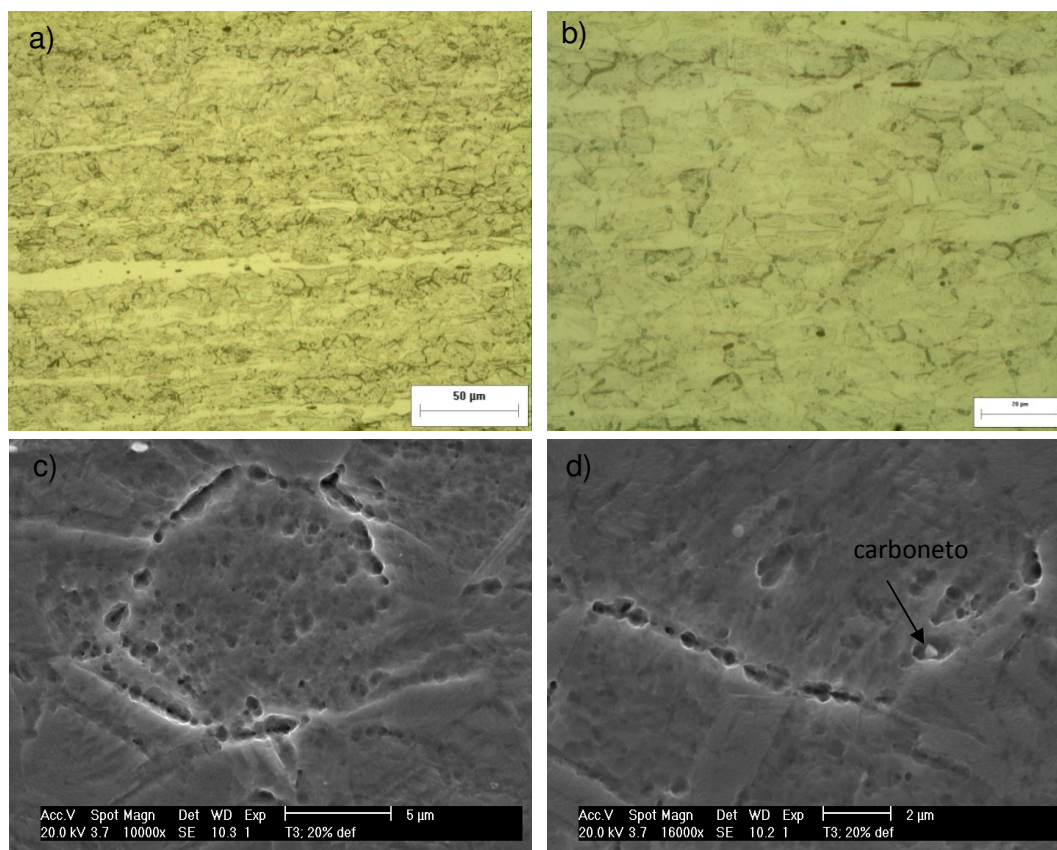


Figura 8. Micrografias da região destacada na Figura 7, no microscópio ótico a) 500X, b) 1.000X, e no MEV c)10.000X, d) 16.000X. Ataque: Ácido Oxálico.

Outra consideração importante é que o material em questão foi deformado em 20%, o que acarretou a formação de martensita induzida por deformação (MID). Nesse contexto, Singh et al.⁽⁸⁾ realizaram estudos relacionando diversas conseqüências do trabalho a frio na resistência a corrosão do aço AISI 304, dentre as quais a formação de MID. Foi observado que, para amostras envelhecidas a 500°C, houve um crescimento do grau de sensitização com o aumento do percentual de deformação (Figura 10a). O mesmo comportamento não foi observado para amostras tratadas termicamente a 600°C e 700°C conforme apresentado na Figura 10b e na Figura 10c. Ao mesmo tempo, foi constatado por difração de raios-X que grande quantidade de MID ficava retida na microestrutura das amostras envelhecidas a 500°C, enquanto que para as outras condições de tratamento houve uma significativa redução do percentual dessa fase (Tabela 3). Isso é explicado pelo fato de a martensita ser uma fase metaestável, que decresce com a temperatura, havendo reversão de 50% de MID a 550°C ± 20°C, e ocorrendo reversão quase completa em poucos minutos a 750°C.⁽⁹⁾ O comportamento observado para as amostras tratadas a 500°C foi atribuído então à grande quantidade de MID retida após o tratamento. Assim, foi concluído que a MID também tem efeito no comportamento da sensitização.

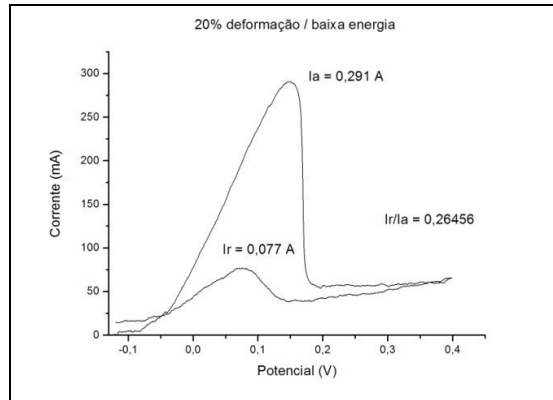


Figura 9. Ensaio de EPR na região destacada na Figura 7.

Dessa forma, pode-se atribuir o resultado de EPR encontrado na amostra C do presente trabalho ao efeito conjunto dos carbonetos de cromo e da MID, eliminando o aparente desacordo entre os resultados da caracterização microestrutural e de EPR.

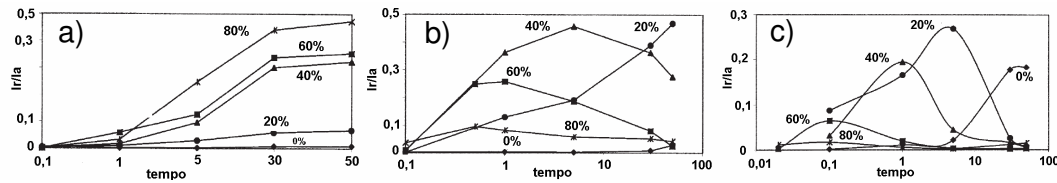


Figura 10. Efeito da deformação sobre o grau de sensitização para amostras tratadas a a) 500 °C , b) 600 °C, c) 700 °C. Tempo em horas.⁽⁸⁾

Tabela 3. Martensita induzida por deformação retida após envelhecimento⁽⁸⁾

Percentagem de trabalho a frio	Dureza, Hv	Percentual de martensita induzida por deformação					
		Como recebido	Condição de tratamento térmico (temperatura/tempo)				
			500 °C/ 30h	600 °C/ 5h	600 °C/ 30h	700 °C/ 1h	700 °C/ 30h
0	205	0	0	0	0	0	0
20	360	13	1,25	0,8	1,5	3,1	1
40	393	27	3	2	2,26	4,25	2
60	410	36	15,6	9	6	3,5	1,75
80	466	55	28,5	14,75	8,5	4	3,15

Vale ressaltar que embora a ZAC onde houve precipitação alcance temperaturas que possibilitariam a reversão da MID, esta pode não ocorrer devido ao rápido resfriamento.

A macrografia apresentada na Figura 11 refere-se a amostra D, deformada 20% e soldada com alta energia. Nesta, novamente é possível observar a presença de uma região sensitizada em ambos os lados do cordão de solda (destacadas com um círculo na Figura 11).



Figura 11. Macrografia do corpo de prova D. Ataque: Ácido Oxálico.

As micrografias mostram a presença de uma quantidade marcante de carbonetos dispersos na matriz austenítica. Pode-se atribuir a denominação DUAL a essa microestrutura, pois nota-se uma quantidade significativa de precipitados, entretanto, os mesmos ainda não preenchem todos os contornos de grão da região analisada. Nas imagens de MEV (Figuras 12c e 12d) é possível observar em maior detalhe os contornos de grão atacados.

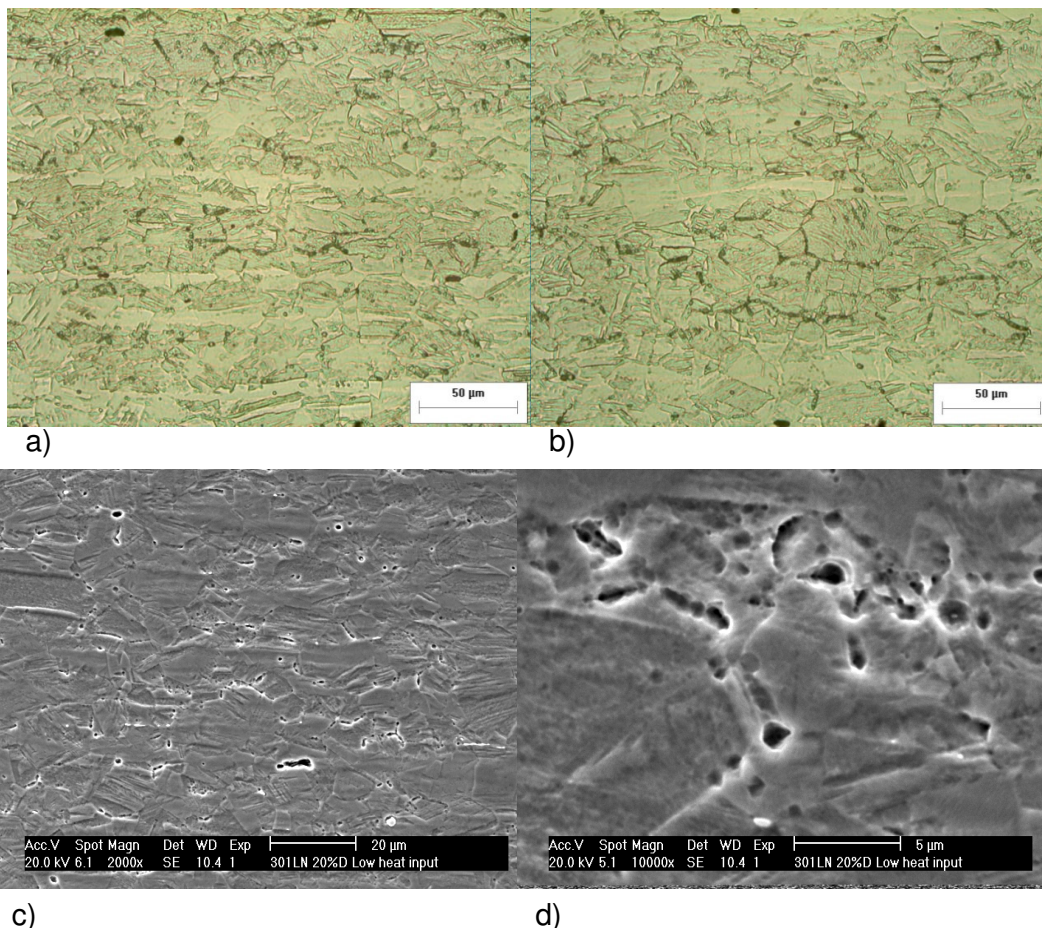


Figura 11. Micrografias da região destacada na Figura 10, no microscópio óptico a) 500X, b) 500X, e no MEV c) 2.000X, d) 10.000X. Ataque: Ácido Oxálico.

O resultado dos ensaios de EPR realizado na região sensibilizada do corpo de prova U é apresentado na Figura 12. Novamente, o ensaio de EPR acusa um valor de I_r/I_a maior do que o esperado para uma estrutura DUAL, entretanto a mesma explicação dada para a amostra T pode ser usada nesse caso, já que a amostra U possui martensita induzida pela deformação de 20%. Assim, o ensaio de EPR obtido

é resultado da influência dos carbonetos de cromo e da martensita induzida por deformação na resistência à corrosão do material.

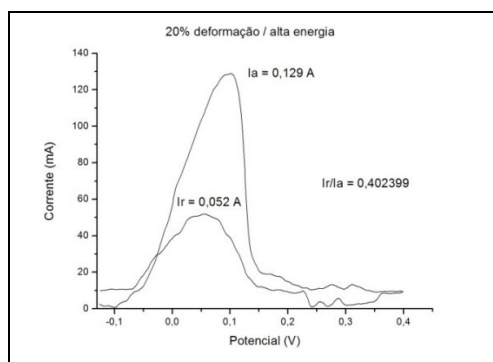


Figura 12. Ensaio de EPR na região destacada na Figura 7.

Dessa forma, a deformação plástica se apresenta como a principal força motriz capaz de alterar a cinética de precipitação dos carbonetos. Isso ocorre porque a deformação aumenta a energia interna do material e influencia significativamente na difusividade do cromo, por causa do aumento da densidade de discordâncias.⁽⁸⁾ Além disso, nas amostras deformadas em 20%, houve uma variação no nível de sensitização com o aumento da energia de soldagem, mostrando que a mesma é um parâmetro relevante quando se tem materiais deformados. Esse fato é interessante pois mostra que é possível minimizar a formação dessas regiões sensitizadas pela utilização de parâmetros de soldagem que resultam em menor energia e, conseqüentemente maiores velocidades de resfriamento, bem como pela utilização de outros processos de soldagem como o TIG e o plasma, com o objetivo de viabilizar a aplicação de materiais deformados com 20% ou valores acima deste.

O que deve ser destacado é que apesar da condição de 20% de deformação apresentar níveis de precipitação não muito crítico, eles devem ser levados em consideração se o material tiver aplicação em condições de altas temperaturas ou em um meio severamente corrosivo, podendo acarretar problemas de corrosão intergranular e corrosão sob-tensão.

Foi levantado o perfil de microdureza das amostras B e D com o intuito de melhor analisar os efeitos da soldagem e da deformação na microestrutura do material. Pode-se observar na Figura 13a que não houve uma variação significativa de dureza ao longo da extensão da amostra, mas somente uma pequena diminuição dos valores de dureza no interior do cordão de solda. Entretanto, para a amostra D, deformada em 20%, pode-se notar claramente o efeito da região sensitizada no perfil de dureza da amostra (Figura 13b), já que na ZAC distante do metal de solda para ambos os lados, observa-se um aumento nos valores de microdureza causado pelos carbonetos de cromo, havendo em seguida uma leve diminuição desses valores.

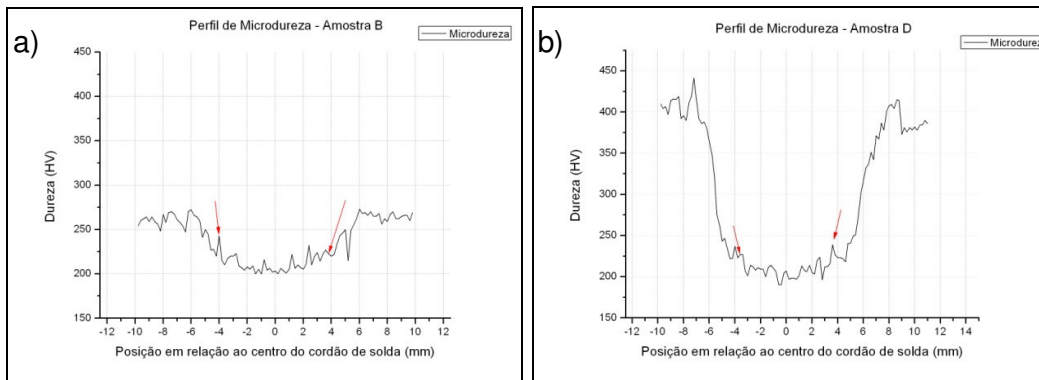


Figura 13. Perfis de microdureza a) amostra B, b) amostra D. As setas vermelhas indicam os limites do cordão de solda.

4 CONCLUSÕES

Com base nos resultados experimentais apresentados neste trabalho foi possível concluir que:

- a energia de soldagem não influenciou no comportamento em relação a sensitização nas amostras não deformadas;
- em ambas as amostras deformadas em 20% foi constatada, através de caracterização microestrutural, ensaios de EPR e medidas de microdureza, a existência de uma região sensitizada nos dois lados (direito e esquerdo) da ZAC distante do metal de solda, indicando que a deformação constitui a principal força motriz capaz de alterar a cinética de precipitação dos carbonetos;
- a presença de martensita induzida por deformação nas amostras deformadas influenciou na resistência a corrosão das mesmas. Esse fato foi percebido pela diferença entre o resultado dos ensaios de EPR, e o nível de precipitação de carbonetos observados nas micrografias, indicando que, quando houver martensita induzida por deformação na microestrutura, esta atuará em conjunto com os carbonetos de cromo no aumento do grau de sensitização do material;
- os perfis de microdureza comprovaram a existência de uma região rica em carbonetos (microconstituintes de alta dureza) somente na condição de 20% de deformação.

Agradecimentos

A Companhia Cearense de Transportes Metropolitanos – Metrofor por ceder o material utilizado neste trabalho e ao CNPQ pelo suporte financeiro.

REFERÊNCIAS

- 1 SPENCER, K., CONLON, K. T., BRE'CHET, Y., EMBURY, J. D. The strain induced martensite transformation in austenitic stainless steels Part 2 – Effect of internal stresses on mechanical response. *Materials Science and Technology*, vol. 25, n. 01, p. 18-28, 2009.

- 2 TALONEN, J., NENONEN, P., PAPE, G., HÄNNINEN, H. Effect of Strain Rate on the Strain-Induced $\gamma \rightarrow \alpha'$ Martensite Transformation and Mechanical Properties of Austenitic Stainless Steels. Metallurgical and Materials Transactions A, vol. 36A, pp. 421-432, February 2005.
- 3 SINGH, R. Influence of cold rolling on sensitization and intergranular stress corrosion cracking of AISI 304 aged at 500°C. Journal of Materials Processing and Technology, n. 206, pp. 286-293, 2008.
- 4 SIDHOM, H., ANADOU, T., SAHLAOUI, H., BRAHAM, C. Quantitative Evaluation of Aged AISI 316L Stainless Steel Sensitization to Intergranular Corrosion: Comparison Between Microstructural Electrochemical and Analytical Methods. Metallurgical and Materials Transactions A, vol. 38A, pp. 1269-1280, June 2007.
- 5 KUMAR, B. R., MAHATO, B., SINGH, R. Influence of Cold-Worked Structure on Electrochemical Properties of Austenitic Stainless Steels. Metallurgical and Materials Transactions A, vol. 38A, pp. 2085-2094, September 2007.
- 6 ASTM Standard Designation A262 – Practice A-F, ASTM, vol. 02-03, pp. 1-16, 1993.
- 7 MAJIDI, A.P., STREICHER, M. A. Four nondestructive electrochemical tests for detecting sensitization in type 304 and 304L stainless steels. Nucl. Technol. 75, 1986.
- 8 SINGH, R., RAVIKUMAR, B., KUMAR, A., DEY, P. K., CHATTORAJ, I. The effect of cold working on sensitization and intergranular corrosion behavior of AISI 304 stainless steel. Metallurgical and Materials Transactions A, vol. 34A, pp. 2441-2447, November 2003.
- 9 REED, R. P. The spontaneous martensitic transformation in 18%Cr, 8%Ni steels. Acta Metallurgica, vol. 10, pp. 865-77, 1962.