

INFLUÊNCIA DO CORTE COM ELETRODO DE CARVÃO NA ESTRUTURA METALÚRGICA E NA RESISTÊNCIA À CORROSÃO DOS AÇOS INOXIDÁVEIS AUSTENÍTICOS SÉRIE A-240 Tp 304L¹

Benedito Ivan Silva de Araújo²

Roberto Zenhei Nakazato³

Resumo

Problemas metalúrgicos relacionados à suscetibilidade a corrosão intergranular, devido à precipitação de carbonetos de cromo, são as principais preocupações dos engenheiros mecânicos e metalúrgicos na fabricação de equipamentos industriais em materiais inoxidáveis austeníticos, especificamente quanto ao manuseio e exposição a serviços de conformação a quente, corte e soldagem. Os aços inoxidáveis austeníticos, apesar de reconhecidos pela resistência à corrosão e por apresentarem boas propriedades mecânicas quando operando em elevadas temperaturas, são sensíveis à precipitação de carbonetos de cromo ($Cr_{23}C_6$) nos contornos de grão da austenita ou de macla, que produzem uma região, próxima a estes contornos, empobrecida de cromo, possibilitando um processo corrosivo definido como corrosão intergranular, ou sensitização. Durante os processos de fabricação, é restringida a utilização do corte a carvão, ou goivagem ao arco, processo este amplamente usado em caldeiraria para remoção de passes de raiz ou selagem, reparos e obtenção de biseis para solda. O objetivo deste trabalho é analisar e discutir os aspectos metalúrgicos que envolvem este processo, especificamente em aços inoxidáveis austeníticos série A-240-Tp 304L, em chapas somente expostas ao corte, e também mostrando o efeito de um processo de soldagem posteriormente aplicado no mesmo material goivado, pelo processo ao arco elétrico com arame tubular e proteção gasosa. Didaticamente, sabe-se que a prática não oferece conseqüências danosas porque o baixo teor de carbono do metal é um requisito básico para prevenir a sensitização e isto pode ser verificado por metalografia, método eletroquímico com polarização potenciodinâmica e estudo microestrutural dos materiais através de microscopia ótica e MEV.

Palavras-chave: Aço inoxidável; Corrosão intergranular; Sensitização; Goivagem ao arco elétrico.

INFLUENCE OF THE ARC AIR GOUGING IN THE METALLURGIC STRUCTURE AND CORROSION RESISTANCE OF AUSTENITIC STAINLESS STEEL SERIES A-240 Tp 304L¹

Abstract

Metallurgic problems related to the susceptibility of the intergranular corrosion, due to precipitation of chromium carbide, are the main concern of the mechanical and metallurgic engineers in the industrial equipment manufacture in austenitic stainless steel materials, especially how much to the manuscript and exposition to the hot conformation services cut and welding are displayed. The austenitic stainless steel, although recognized for the resistance to the corrosion and presenting good mechanical properties when operating in raised temperatures, are sensible to the chromium carbides precipitation ($Cr_{23}C_6$) in the contours of the austenite grain or macle, that they produce a region, next to this contour, poor of chromium, making possible a definite corrosive process as intergranular corrosion, or sensitization. During the manufacture processes, it is restricted use of the cut the coal, or arc gouging, process this widely used in boiler shop for removal of beads of root or sealing, repairs and attainment of bevels for weld. The intention of this work is specifically to analyze and to argue the metallurgic aspects that involve this process, in austenitic stainless steel of the A-240-Tp 304L serials, in plates only displayed to the cut, and also showing the effect of a welding process later applied, in the same gouging material, for the process of weld to the electric arc - flux cored wire - and gaseous protection. Is it true, knows that the practical one does not offer harmful consequences because the low carbon present of the metal is a basic requirement to prevent the sensitization and this can be verified by metallography, for electrochemical method with potentiodynamic polarization and microstructure study of the materials through optics microscopy and SEM.

Key words: Stainless steel; Intergranular corrosion; Sensitization; Arc air gouging.

¹ *Contribuição técnica ao 63º Congresso Anual da ABM, 28 de julho a 1º de agosto de 2008, Santos, SP, Brasil*

² *Tecnico Mecânico, Inspetor de Soldagem N2, Bacharel em Administração de Empresas, Mestrando em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, supervisor de solda da Confab Industrial S/A.*

³ *Professor Assistente Doutor, especialista na área de química e eletroquímica, titular da Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá.*

1 INTRODUÇÃO

Algumas empresas, como a Petrobrás, desenvolveram normas rígidas de fabricação, que devem ser prescritas conjuntamente a outras normas e especificações aplicáveis no país.

Especificamente à soldagem, aplicam-se os requisitos da N-133 J,⁽¹⁾ que determina as práticas recomendadas e diretrizes na definição, especificação, execução, inspeção e testes referentes às operações envolvidas aos processos de fabricação. No capítulo condições específicas para aços inoxidáveis austeníticos, a norma restringe o corte com eletrodo de carvão ou grafite, também conhecido por goivagem ao arco, como, supostamente, prevenção aos riscos da corrosão intergranular.

Os fabricantes que mantêm consagrado procedimentos de controle do processo se dispõem a esmerilhar aproximadamente 3,0 mm de material, adjacente à área exposta aos possíveis problemas oriundos do corte a carvão, quando aplicam este método na remoção de raízes de juntas soldadas e aberturas de reparos. Com esta prática, procuram evitar a presença de carbonetos de cromo na superfície exposta e zona termicamente afetada, que podem desencadear um processo de corrosão intergranular denominado sensitização. Os efeitos do metal carbonizado remanescente dependerão de vários fatores incluindo a quantidade ou espessura deste metal carbonizado, do processo de soldagem a ser usado posteriormente, no tipo de metal de base e na qualidade esperada do produto.

Segundo o Welding Handbook,⁽²⁾ estudos conduzidos em aços inoxidáveis austeníticos determinam que o corte a arco com eletrodo de carvão pode apresentar efeitos na resistência à corrosão, mas estes estudos também mostraram significantes diferenças nas taxas de corrosão de soldas que tiveram a preparação prévia da área executada por esmerilhamento. Especificamente, não expressa nenhuma proibição declarada à utilização desta técnica.

Já o The Procedure Handbook of Arc Welding,⁽³⁾ afirma que o correto uso do corte com eletrodo de carvão, aparentemente, não causa efeitos maléficos à resistência a corrosão.

De modo geral, conforme Modenesi,⁽⁴⁾ os aços inoxidáveis são ligas ferrosas que contém cromo, níquel e, em vários casos, outros elementos de liga. O cromo é o principal responsável pela resistência à corrosão destes aços e, em contato com o ar atmosférico ou outro meio oxidante, existe a tendência de se formar rapidamente uma camada de óxido de cromo na superfície destas ligas. Estas camadas de óxidos se tornam barreiras invisíveis, contínuas, aderentes, impermeáveis e praticamente insolúveis em numerosos reagentes. Nestas condições a liga é considerada “passiva”, pois o metal sob a camada de óxido está protegido contra o ataque de diversos meios corrosivos, particularmente aqueles oxidantes. Os aços inoxidáveis austeníticos, que são reconhecidos pelo baixo limite de escoamento, limite de resistência e ductilidade elevada e fácil soldabilidade, apresentando microestrutura predominantemente austenítica (CFC), são sensíveis à precipitação de carbonetos de cromo ($Cr_{23}C_6$) nos contornos de grão da austenita ou de macla, que produzem uma região empobrecida de cromo. Durante exposições a um ambiente corrosivo, os próprios carbonetos não seriam atacados, mas sim a fina região empobrecida menos resistente à corrosão.

É importante salientar que o corte com eletrodo de carvão ou grafite, é um processo de remoção ou corte ao arco elétrico onde os materiais a serem trabalhados são fundidos pelo calor do arco estabelecido entre um eletrodo sólido de

carvão e uma superfície metálica. Simultaneamente, um jato de ar comprimido remove o metal fundido. É um processo amplamente utilizado em serviços de caldeiraria e montagens industriais que manufaturam aços e alguns metais não ferrosos, principalmente nas goivagens de passes de raiz de soldas, preparação de chanfros e biseis, reparos de descontinuidades e defeitos em soldas ou metal base, materiais fundidos e remoção de dispositivos auxiliares de montagem, requerendo certa habilidade do operador.

A solda por arame tubular E-308L T1-4 é um processo a arco muito utilizado devido à sua versatilidade e qualidade, caracterizado pela alta energia de soldagem, que proporciona a possibilidade de maior rendimento.

Metalurgicamente, sabe-se que é possível minimizar os riscos de corrosão intergranular: a) reduzindo a porcentagem de carbono do material para 0,030% máximo; b) evitando que o material permaneça, por um considerável intervalo de tempo, aquecido a temperaturas entre 400°C e 800°C; c) utilizando materiais com elementos químicos denominados estabilizantes, como o nióbio e o titânio - que tem maior afinidade com o carbono do que o cromo, formando assim, carbonetos de nióbio ou carbonetos de titânio, preferencialmente aos carbonetos de cromo. Como estes carbonetos possuem menor solubilidade que o carboneto de cromo, eles tendem a não se dissolver durante a fabricação; d) executando tratamento térmico de solubilização, que consiste em aquecer o material a uma temperatura entre 1.000°C e 1.100 °C por um pequeno período de tempo, seguido de um resfriamento rápido até a temperatura ambiente, ou de estabilização, com um aquecimento até uma temperatura entre 870°C e 900°C, podendo completar a precipitação, remover micro-tensões junto aos contornos de grão ou causar a difusão do cromo para as áreas empobrecidas.

O objetivo deste estudo é analisar e discutir os aspectos metalúrgicos que envolvem o referido processo de corte em aços inoxidáveis austeníticos, série A-240 Tp 304L, durante a soldagem ao arco elétrico com arame tubular e proteção gasosa.

Os testes foram baseados no método eletroquímico com polarização potenciodinâmica e estudo microestrutural dos materiais através de microscopia ótica e MEV, não sendo descartada a possibilidade da utilização futura dos métodos indicados pelo ASTM A-262.⁽⁵⁾

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Foi utilizada uma chapa de material A-240 Tp 304L de espessura 9,5mm e composição química, de acordo com ASTM A-240/A-240M,⁽⁶⁾ (Tabela 1), e arame tubular E-308L T1-4, conforme ASME II PART C⁽⁷⁾ (Tabela 2), de composições químicas reais, confirmada através de equipamento de emissão ótica modelo ARL 3460 Metal Analyser, certificado de qualidade do fornecedor e aparelho portátil analisador de ligas, mostrado na Tabela 3.

Tabela 1 – Composição química da chapa A-240-304L.⁽⁶⁾

| Elemento | C * | Mn * | P * | S * | Si * | Cr | Ni |
|----------|------|------|-------|------|------|-------------|------------|
| % (m/m) | 0,03 | 2,0 | 0,045 | 0,03 | 0,75 | 18,0 a 20,0 | 8,0 a 12,0 |

* valores máximos

Tabela 2 – Composição química do arame tubular E-308L T1-4.⁽⁷⁾

| Elemento | C * | Mn * | P * | S * | Si * | Cr | Ni | Mo * | Cu * |
|----------|------|-----------|------|------|------|-------------|------------|------|------|
| % (m/m) | 0,04 | 0,5 a 2,5 | 0,04 | 0,03 | 1,0 | 18,0 a 21,0 | 9,0 a 11,0 | 0,5 | 0,5 |

*valores máximos

Tabela 3 – Composição química real da chapa A-240-304L e arame tubular E-308L T1-4.⁽⁷⁾

| Elemento | C | Mn | P | S | Si | Cr | Ni | Mo | Cu |
|----------|-------|------|-------|-------|------|-------|------|-------|------|
| Chapa | * | 1,49 | * | * | * | 17,91 | 7,98 | 0,11 | 0,12 |
| Chapa ** | 0,015 | 1,33 | 0,034 | 0,002 | 0,40 | 18,05 | 8,02 | 0,103 | 0,09 |
| Arame | 0,03 | 1,25 | 0,022 | 0,003 | 0,95 | 19,75 | 10,4 | 0,074 | 0,15 |

*não registrado no ensaio executado; **composição química fornecida pelo fabricante

O estudo foi desenvolvido em corpos de prova preparados conforme abaixo:

- Cp1 – amostra da chapa analisada “como fornecida”;
- Cp2 – amostra da chapa, com superfície “goivada” (desbastada) pelo corte a carvão;
- Cp3 – duas chapas unidas por soldagem com técnica de penetração total por um lado apenas, sem influencia do corte com eletrodo de carvão;
- Cp4 – duas chapas unidas por soldagem, com a raiz da solda removida pelo corte com eletrodo de carvão, sem qualquer preparação de superfície e sem conclusão da soldagem;
- Cp5 – duas chapas unidas por soldagem, com a raiz da solda removida pelo corte com eletrodo de carvão, sem qualquer preparação de superfície e com conclusão da soldagem.

Os cp’s 1 e 2 foram polidos com lixa d’água até grana 1200, para aplicação da técnica eletroquímica de reativação potenciodinâmica – ensaio de ciclo duplo DL-EPR (double loop – electrochemical potentiokinetic reactivation method) que, conforme Wolyneq,⁽⁸⁾ e demonstrado por Teodoro & Wolyneq,⁽⁹⁾ é um método para determinação da suscetibilidade à corrosão integranular. Neste método, a amostra é polarizada potenciodinamicamente a partir do potencial de corrosão até atingir um potencial em que a mesma fica passivada e, em seguida, o sentido de varredura é invertido e a amostra é polarizada, com a mesma velocidade de varredura, retornando ao potencial de corrosão, obtendo-se duas curvas: a curva de polarização anódica que é obtida a partir do potencial de corrosão até a o potencial de passivação e a curva de polarização catódica, ou de reativação, que é obtida no sentido inverso. A medida do grau de sensitização é normalmente feita por meio da relação entre as duas correntes de pico (j_2/j_1). Para a execução do ensaio, utilizou-se um dispositivo experimental - uma célula de corrosão tipo *flat* disposta com eletrodo de referência Ag/AgCl (KCl saturado) e um contra-eletrodo de platina. A solução consistiu numa mistura 0,5 M H₂SO₄ + 0,01 M KSCN, com ensaio iniciado no potencial pré-fixado no potencial de corrosão de -495 mV. A varredura foi realizada com velocidade de 1,66 mV/s.

Os cp’s 3, 4 e 5 foram preparados para exame metalográfico, estudo microestrutural e análise química por MEV/EDS, após polimento com lixa d’água até grana 1200, pasta de diamante e ataque com HCl + ácido pícrico.

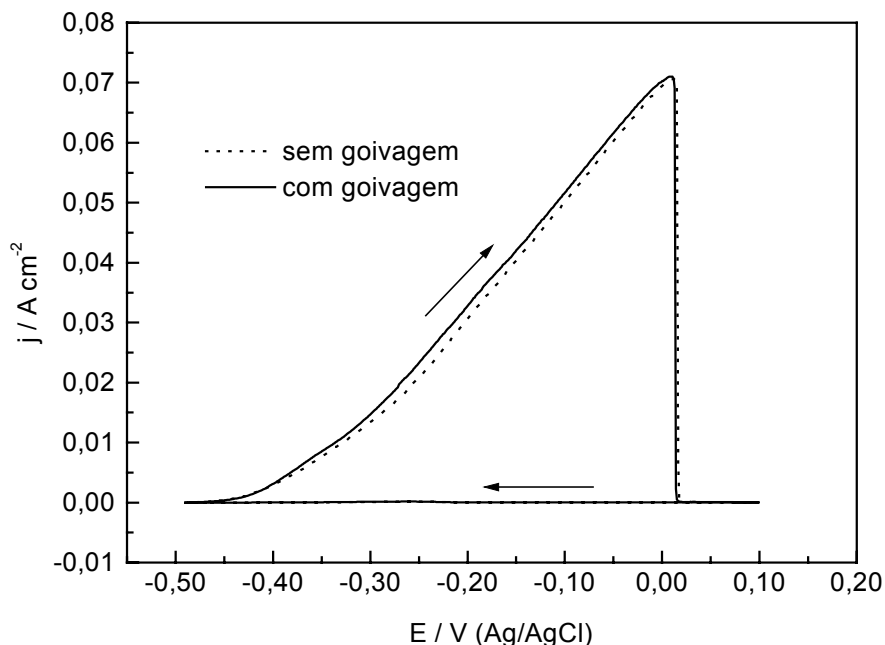
Para o ensaio eletroquímico utilizou-se um potenciostato/galvanostato modelo 383 – EG&G Instruments. As micrografias e análises químicas foram executadas com auxílio de microscópio eletrônico de varredura (MEV) Jeol JSM 6360, equipado com sonda de EDS Noran. As microdurezas foram encontradas em durometro universal Wilson – Wolpert Testor 930/950. As análises químicas também foram

conferidas com aparelho portátil analisador de ligas tipo Thermo Scientific Niton XL 3t, da Thermo Electron Corporation.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Ensaio Eletroquímico

Os ensaios DL-EPR foram repetidos quatro vezes para cada corpo de prova – cp's 1 e 2, não sendo observada diferença entre as várias curvas de polarização anódica e catódica obtidas. A Figura 1 mostra a curva média registrada nos ensaios do material sem a influência do processo de corte a carvão (linha pontilhada) e a linha contínua representa a curva média do material após a goivagem.



Fonte: Potenciostato/galvanostato modelo 383 – EG&G Instruments

Figura 1 – Representação das curvas de polarização dos cp's 1 e 2 em solução 0,5 M H₂SO₄ + 0,01 M KSCN.

Através da técnica DL-EPR não foi possível detectar alterações substanciais entre as curvas de polarização que poderiam comprovar a possibilidade de sensibilização do aço estudado exposto ao corte a carvão. O valor encontrado da relação j_2/j_1 foi igual a 0,0033 para os ensaios obtidos em ambos os corpos de prova, indicando a pouca ou nenhuma influência do processo de corte.

3.2. Estudo Metalográfico das Regiões de Corte e Solda

As micrografias das regiões de transição obtidas dos cp's 3, 4 e 5, não demonstram efeitos significativos do processo de corte/solda, Figuras 2 a 4, respectivamente. As micrografias mostraram uma matriz austenítica com descaracterização da estrutura original próxima à área de corte, denunciando uma alteração morfológica superficial que pode indicar, apenas, a influência do aporte térmico, não sendo suficiente para concluir sobre os efeitos do processo de corte.

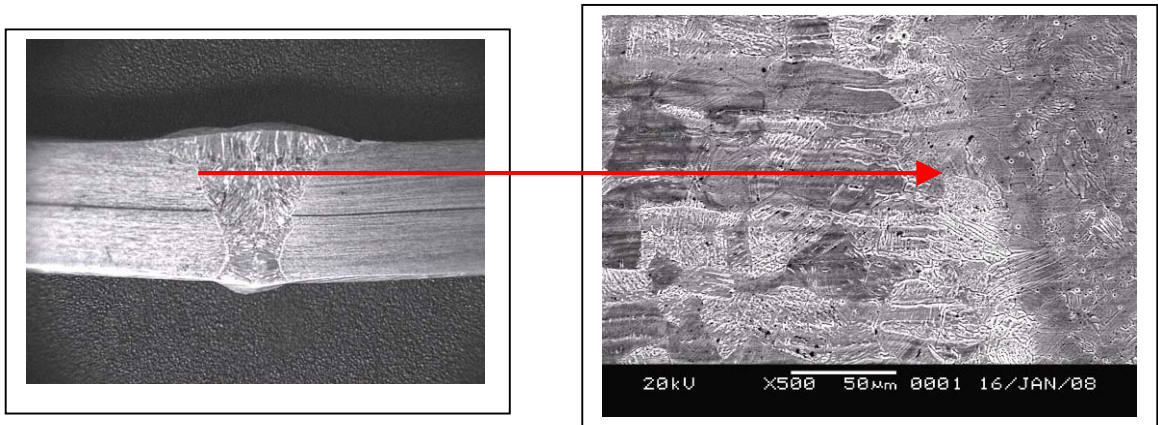


Figura 2 - Micrografia – cp 3 – análise metalográfica – linha de fusão – solda (Microscópio eletrônico de varredura (MEV) Jeol JSM 6360 com sonda de EDS Noran)

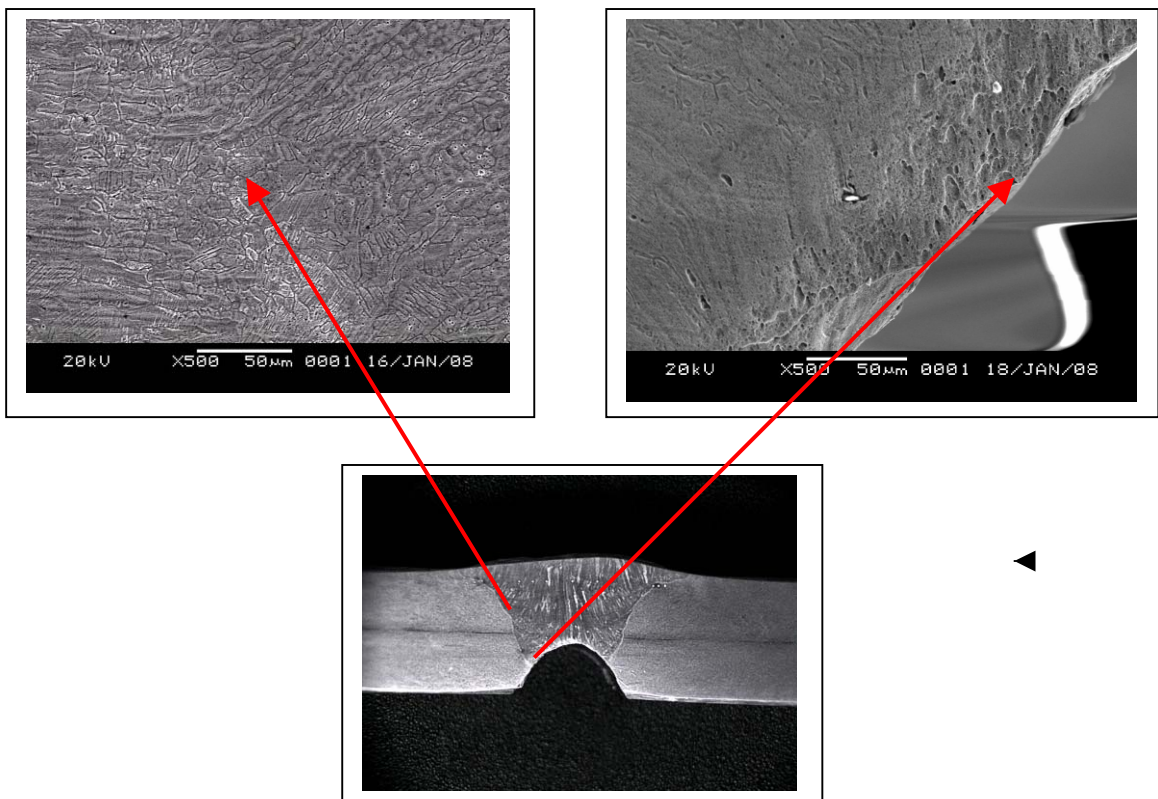


Figura 3 - Micrografia – cp 4 – análise metalográfica – linha de fusão e corte (Microscópio eletrônico de varredura (MEV) Jeol JSM 6360 com sonda de EDS Noran)

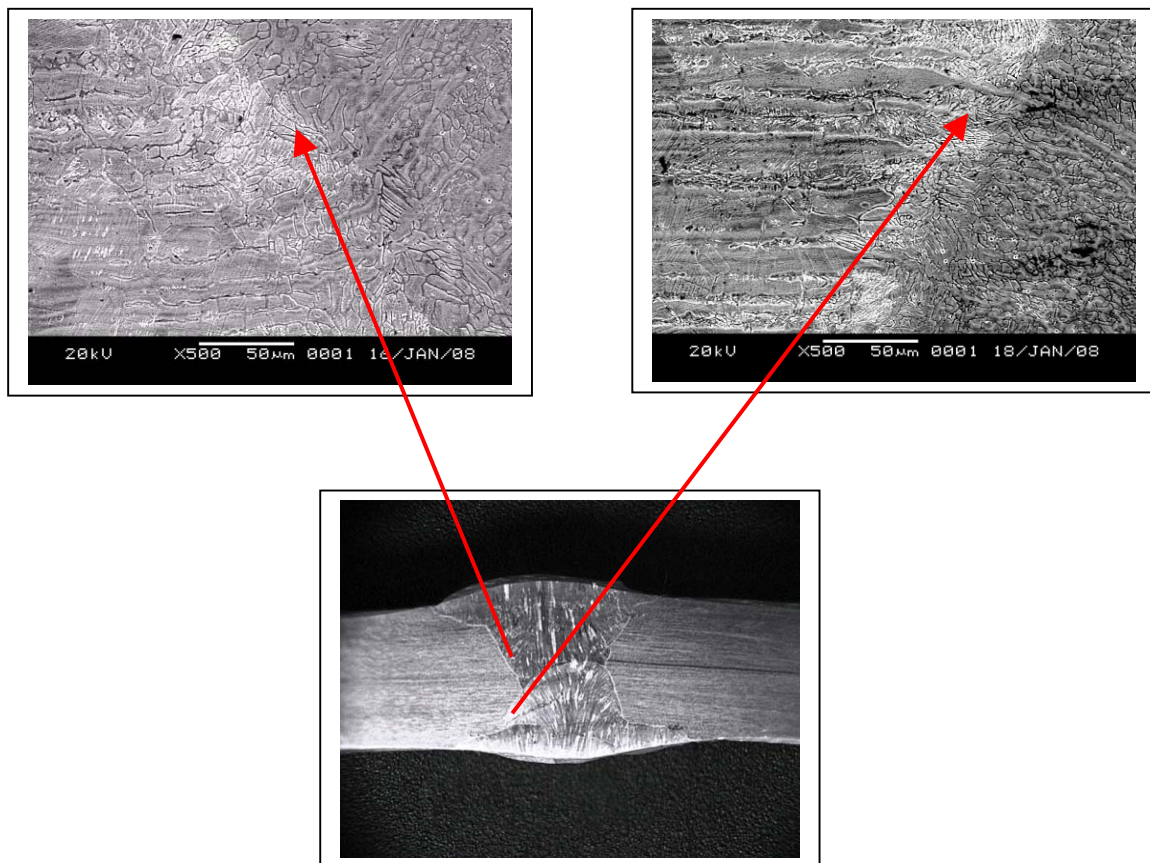


Figura 4 - Micrografia – cp 5 – análise metalográfica – linha de fusão (Microscópio eletrônico de varredura (MEV) Jeol JSM 6360 com sonda de EDS Noran)

3.3 Análise Química das Regiões de Corte e Solda

As análises químicas na linha de fusão dos cp's 3, 4 e 5 foram realizadas através de espectroscopia de dispersão de energia de raios-X (EDS). Os resultados obtidos a partir dessa técnica não revelaram grandes alterações na composição dos materiais, quando comparado com os materiais antes da realização processo de corte/solda. A Figura 5 mostra um esquema do procedimento adotado nas análises de EDS e os resultados das análises das varias regiões estudas são mostradas na Tabela 4.

Os resultados das análises químicas também mostraram valores de carbono elevados, no entanto, estes não foram considerados pelos seguintes motivos: influência de elementos oriundos do processo de preparação do corpo de prova ensaiado, como a pasta de diamante; baixo peso atômico deste elemento. Atentaremos, no momento, à porcentagem de cromo, apesar do resultado ser considerado “pontual”.

A partir da Tabela 4, nota-se que a porcentagem de cromo encontrada nas regiões de transição do corte/solda é da ordem de 18%, indicando que nessas regiões não houve um aumento no teor de cromo e, portanto, sendo pouco provável a presença de fases ricas com este elemento.

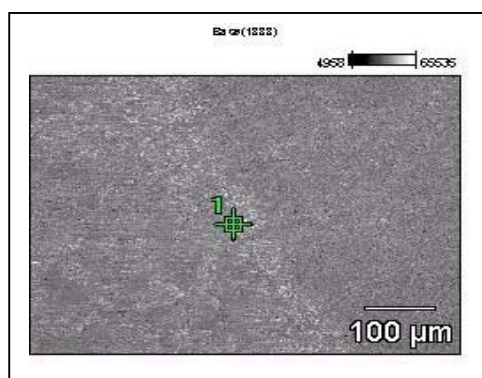


Figura 5 – Esquema do posicionamento dos pontos de análise química via EDS (Microscópio eletrônico de varredura (MEV) Jeol JSM 6360 com sonda de EDS Noran)

Tabela 4 – Análise química das regiões de transição dos cp's 3, 4, 5 (Microscópio eletrônico de varredura (MEV) Jeol JSM 6360 com sonda de EDS Noran)

| | C | Mn | P | S | Si | Cr | Ni | Fe |
|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|
| CP 3 | 1,00 | 0,21 | 0,02 | 0,05 | 0,35 | 18,53 | 9,14 | 70,70 |
| CP 4 | 1,43 | 0,13 | 0,06 | 0,05 | 0,42 | 18,06 | 10,42 | 69,43 |
| CP 5 | 1,47 | 0,21 | 0,09 | 0,07 | 0,49 | 18,72 | 10,99 | 67,96 |

3.4 Ensaios de Microdureza

Os resultados de microdureza Vickers para o metal de base e na linha de corte com eletrodo de carvão foram realizados de acordo com o esquema mostrado na Figura 6. Os resultados obtidos (Tabela 5), indicam um aumento desse parâmetro na região goivada.

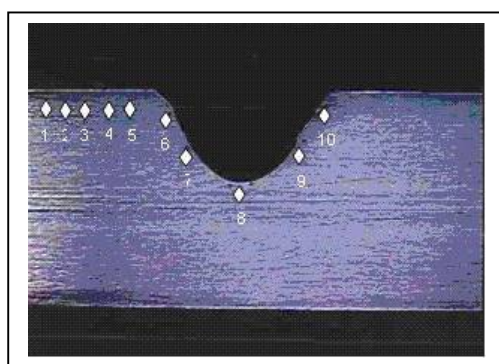


Figura 6 – Esquema de medição de dureza – metal de base e linha de corte (Durometro universal Wilson – Wolpert Testor 930/950)

Tabela 5 – Resultado das medições de dureza –metal base e linha de corte (Durometro universal Wilson – Wolpert Testor 930/950)

| HV 500 | | | | | | | | | |
|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 174 | 174 | 178 | 178 | 180 | 202 | 204 | 216 | 203 | 206 |

A partir dos resultados da Tabela 5 pode-se observar que houve um aumento considerável nos valores ao longo da linha goivada, que pode indicar uma possível influência do processo de corte a carvão pela adição de carbono, apesar de haver a tendência de alteração nos valores devido à proximidade da região que sofreu os efeitos do aporte térmico. O fato não chega a ser preocupante, já que o exame metalográfico e a análise química não mostraram um aumento no teor de cromo, não sendo capaz de detectar a susceptibilidade à corrosão intergranular.

4 CONCLUSÃO

Baseado nos estudos realizados verifica-se que o processo de corte com eletrodo de carvão não deve apresentar maiores conseqüências ao material, desde que se tomem os cuidados de limpeza mínimos recomendados.

As mudanças estruturais observadas na região de corte e corte/solda podem ser atribuídas principalmente ao aporte térmico ao qual o material é submetido durante estes processos mas, apesar de expor o material a altas temperaturas, o tempo de permanência nesta exposição é pequeno o que não deve favorecer, portanto, os efeitos consideráveis de descromização.

Agradecimentos

À Confab Equipamentos e Tenaris Confab, na pessoa do gerente de produção Engº José R. Pavan e do supervisor de laboratório Benedito C. Cavalheiro.

REFERÊNCIAS

- 1 CONTEC – COMISSÃO DE NORMAS TÉCNICAS. N-133: SOLDAGEM, rev. J. Rio de Janeiro: Petrobrás, 2002.
- 2 AMERICAN WELDING SOCIETY. Welding Handbook. Vol. 2, Eighth Edition. Miami, Flórida: AWS, 1992.
- 3 THE LINCOLN ELECTRIC COMPANY. The PROCEDURE HANDBOOK of Arc Welding. Twelfth Edition. Cleveland, Ohio: AWS, 1973.
- 4 MODENESI, P. J. Soldabilidade dos Aços Inoxidáveis. Coleção Tecnologia da Soldagem Volume 1. São Paulo: SENAI - SP, 2001. 100p.
- 5 AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM A262 – 98: Standard Practices for Detecting Susceptibility to Intergranular Attack in Austenitic Stainless Steels, Philadelphia: ASTM, 1998.
- 6 AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM A240/A240M: Standard Specification for Heat Resistant Chromium and Nickel Stainless Steel Plate, Philadelphia: ASTM, 1999.
- 7 THE AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. Specification for Stainless Steel Electrodes for Flux Cored Arc Welding. 2007 Edition. New York, ASME, 2007.
- 8 WOLYNEC, S. Técnicas Eletroquímicas em Corrosão. São Paulo: Edusp – Editora da Universidade de São Paulo. 2003.
- 9 TEODORO, C. A. & WOLYNEC, S. Estudo da Cinética de Sensitização dos Aços Inoxidáveis Austeníticos AISI 304, 347 e 347L através da Técnica de Reativação Potenciocinética. XI Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Águas de São Pedro, São Paulo, 11-14 dez. 1994 (Anais). São Paulo, Epusp, 1994, vol. 1, pp. 335-338.