

AVALIAÇÃO DO DESGASTE DE UM DOSADOR EM AÇO INOXIDÁVEL AISI 310 UTILIZADO NO SISTEMA DE FUNDIÇÃO DE LIGAS DE ZINCO¹

Rafael Falco Rodrigues²
Juliano Alves de Lima³
Luiz Cláudio Cândido⁴

Resumo

Os aços inoxidáveis austeníticos estão sujeitos a um desgaste por corrosão intergranular quando sua matriz se torna empobrecida em cromo à medida que este migra para os contornos de grão e precipita na forma de carboneto (Cr_{23}C_6). Esta migração ocorre quando estes aços estão expostos a uma faixa de temperatura crítica (480 – 815°C), seja por um processo de soldagem ou um resfriamento lento. O objetivo deste trabalho é determinar a causa de falha por desgaste e trincamento de um aço inoxidável AISI 310 empregado em um dosador para o sistema de fundição de ligas de zinco, da Votorantim Metais, Unidade de Três Marias, que rompeu após operação em temperatura de aproximadamente 550°C. Através de metalografia, ensaios de microdureza e análises em um MEV pôde-se observar descontinuidades na região da solda e a presença de carbono e cromo nos precipitados dos contornos de grão, indicando que o material sofreu um processo de corrosão intergranular.

Palavras-chave: Aço inoxidável; Soldagem; Sensitização; Corrosão intergranular.

¹ Contribuição técnica apresentada na 61º Congresso Anual da ABM, de 24 a 27 de julho de 2006, Rio de Janeiro – RJ

² Graduando em Engenharia Metalúrgica da Escola de Minas/UFOP; rafaelrodrigues@vmetais.com.br

³ Engenheiro Metalurgista, Coordenador da Fábrica de Óxido de Zinco – Votorantim Metais Unidade de Três Marias/MG; julianoalves@vmetais.com.br

⁴ Membro da ABM; Eng. Metal; M.Sc.; D.Sc.; Prof. Adjunto do Dep. Eng. Metal. e de Materiais/Escola de Minas/UFOP – REDEMAT; candido@em.ufop.br

1 INTRODUÇÃO

As periódicas inspeções nas estruturas dos materiais e componentes em plantas industriais são muito importantes para detectar e avaliar suas degradações. A integridade estrutural dos componentes é afetada por vários tipos de processos. Dentre os diversos materiais, os aços inoxidáveis austeníticos são bastante usados em uma ampla variedade de indústrias, como energia, química, petroquímica, e nuclear. Esses aços exibem excelente resistência à corrosão generalizada e adequadas propriedades mecânicas.⁽¹⁾

Contudo, a corrosão localizada (pites, corrosão galvânica, corrosão intergranular e corrosão sob tensão) é um dos principais fatores que contribuem para a falha desses aços nas indústrias. A importância industrial desse problema tem conduzido a uma extensiva pesquisa sobre esse assunto.⁽²⁾

A maioria dessas falhas tem sido atribuída a sensibilização dos aços inoxidáveis.⁽¹⁾ Ela é causada pela precipitação de carbonetos de cromo preferencialmente nos contornos de grão. A região adjacente torna-se empobrecida em cromo, e como este é um elemento essencial à resistência à corrosão dos aços inoxidáveis, essa região empobrecida torna-se susceptível ao ataque e então a corrosão se processa intergranularmente.⁽³⁾

A sensibilização pode ocorrer por um processo de soldagem ou pela exposição a temperaturas na faixa de 480 – 815 °C. Ela tem pouco ou nenhum efeito nas propriedades mecânicas do aço, mas pode conduzir a uma severa corrosão intergranular.⁽⁴⁾

Medidas para remediar a sensibilização incluem um controle dos elementos de liga, como um decréscimo de carbono para um teor máximo de 0,03%, como no AISI 304L, ou estabilizar com adição de titânio (AISI 321) ou nióbio (AISI 347), segundo Sedriks.⁽⁵⁾ Estas medidas utilizam o mesmo princípio, ou seja, tornar o carbono disponível para a formação do carboneto de cromo insuficiente, e conseqüentemente evitar o empobrecimento deste elemento fundamental para a resistência à corrosão. Entretanto, como cada uma dessas ações corretivas exige controles muito restritos, seja nos processos de fabricação seja nos de montagem, a sensibilização continua sendo um grande problema para a indústria, sendo, portanto, objeto de variadas pesquisas.⁽⁶⁾

A recuperação dessa forma de degradação é possível através da solubilização do material a temperaturas apropriadas seguida de um rápido resfriamento. Para os aços da série 300, a solubilização pode ser feita a 1066°C, já para ligas com alto teor de carbono, a solubilização deve ser feita a 1177°C. A recuperação não é permanente. A reexposição às condições críticas resultará numa redegradação.⁽⁴⁾

Os aços inoxidáveis do tipo AISI 310 são ligas Fe-Cr-Ni, onde o níquel é adicionado para conferir alta resistência em meios que trabalham em altas temperaturas. Para ilustrar a importância na escolha do material em aplicações que exigem resistência em altas temperaturas, algumas considerações foram feitas por Sedriks.⁽⁶⁾ A Figura 1 mostra o efeito da mudança de massa de diferentes materiais em função da temperatura. Nota-se que ligas que possuem altos teores de cromo e níquel apresentam melhor desempenho.

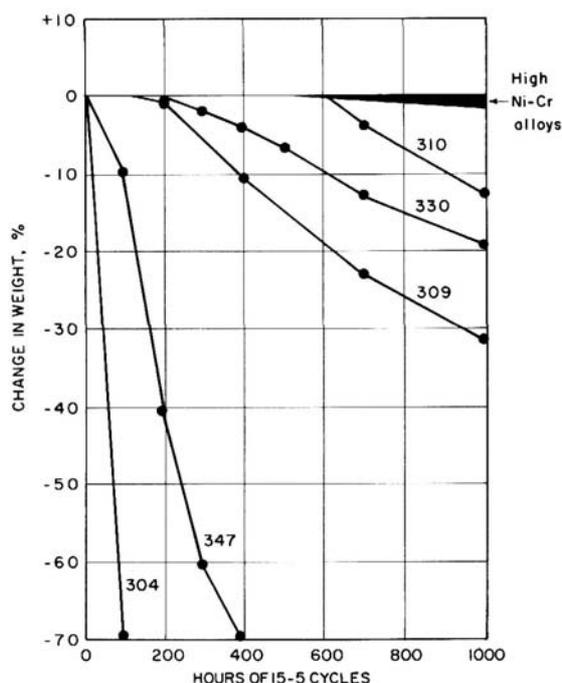


Figura 1. Mudança de massa de algumas ligas Fe-Cr-Ni em ar a 980°C. O ensaio empregou exposições cíclicas, onde cada ciclo consistiu de 15 minutos a 980°C e 5 min de resfriamento. ⁽⁶⁾

Existe uma boa evidência que o silício melhora a resistência à oxidação de aços inoxidáveis austeníticos comerciais, como mostra a Figura 2. O aumento da resistência à oxidação da liga do tipo 302B (3% Si_{máx}) em relação ao 302 (1% Si_{máx}) está em evidência. Nota-se, também, que a liga 310, por apresentar alto teor de cromo, apresenta melhor desempenho.

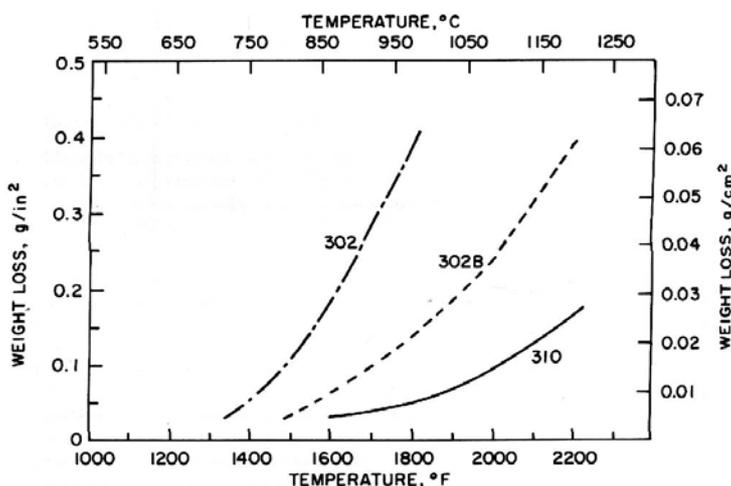


Figura 2. Perdas em massa desenvolvidas em 12 ciclos intermitentes de aquecimento e resfriamento de alguns aços inoxidáveis. ⁽⁶⁾

Comparando a resistência à oxidação de aços inoxidáveis contendo as mesmas quantidades de cromo e silício, mas diferentes teores de níquel, por exemplo, como mostrado na Tabela 1, nota-se um efeito benéfico do níquel na resistência à oxidação.

Tabela 1. Efeito do conteúdo do níquel para dois aços inoxidáveis fundidos, na temperatura máxima de operação ao ar. ⁽⁶⁾

Aço Inoxidável	Composição (% em peso)			Temperatura Máxima em Trabalho Contínuo (°C)
	Ni	Cr	Si	
HF	10,5	21	2	900
HN	25	21	2	1095

Em relação à corrosão por metais fundidos, o autor relata que em temperaturas em torno do ponto de fusão do zinco (419°C), este metal irá difundir em aços inoxidáveis austeníticos e que a profundidade de penetração aumenta com o tempo e a temperatura. Em temperaturas abaixo de 750°C uma camada de liga de zinco será formada. Contudo, em temperaturas acima de 750°C e na presença de tensões trativas, trincas serão formadas e rapidamente penetram ao longo dos contornos de grão, levando à fratura. Além disso, na soldagem dos aços inoxidáveis, trincas podem ocorrer se o zinco estiver presente na região da solda.

O objetivo deste trabalho é determinar a causa de falha por desgaste e trincamento de um aço inoxidável AISI 310 empregado em um dosador para o sistema de fundição de ligas de zinco, da Votorantim Metais, Unidade de Três Marias/MG.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O dosador utilizado no sistema de fundição de ligas de zinco é constituído de duas partes principais em aço inoxidável AISI 310 as quais são soldadas. O mesmo fica submerso em um forno com a liga a uma temperatura média de 550°C, e tem a função de transportar determinada quantidade de liga para as lingoteiras, através de um sistema de ar comprimido que “expulsa” a liga contida em seu interior, em ciclos intermitentes.

A partir da inspeção visual, foram realizados cortes na peça, para preparação de corpos-de-prova (CPs) destinados a análises do material e amostras para obtenção da composição química.

De posse dos CPs, foram realizados os seguintes procedimentos para análises do material, onde os ensaios foram feitos à temperatura ambiente:

1. composição química;
2. metalografia;
3. ensaios de microdureza;
4. análises em microscopia eletrônica de varredura (MEV/EDS).

A análise química foi realizada em um espectrômetro de plasma. O objetivo desta análise foi para caracterizar o material quimicamente.

A metalografia foi realizada através da utilização de um microscópio ótico, marca LEICA, com analisador de imagens QWIN. As amostras foram submetidas ao procedimento padrão de desbaste, lixamento, polimento, ataque e observação através do microscópio ótico. Os reativos utilizados foram o Villela e o ácido oxálico.

Os ensaios de microdureza foram realizados numa máquina WOLPERT. Foi utilizado o método Vickers, com carga de 25 gf. Estes ensaios complementam a análise metalográfica.

Para análises no MEV, utilizou-se um modelo Jeol JSM 5510, com tensão de aceleração de 20 kV, inclusive com emprego de EDS.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos da composição química para o material do dosador.

Tabela 2. Composição química do aço inoxidável AISI 310 analisado (% em peso).

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	W
0,184	0,996	1,240	0,026	0,005	24,255	21,108	0,411	0,067
Cu	Sn	V	Al	Co	Ti	Nb	Mg	Fe
0,042	0,004	0,054	0,012	0,061	0,002	0,351	0,020	51,16

A Figura 3(a) ilustra, através de análise por uma lupa (estereoscópio) o material na região da solda. Nota-se que não foi feito chanfro para a soldagem e que não ocorreu penetração total, onde o material ficou com uma fresta muito pronunciada, conferindo baixa resistência mecânica do cordão de solda. E ainda, considerando que a região que não foi completada pela solda era a interna do tubo do dosador, esta ficou vulnerável ao acesso de zinco/ligas, o que propiciou maior desgaste do material.

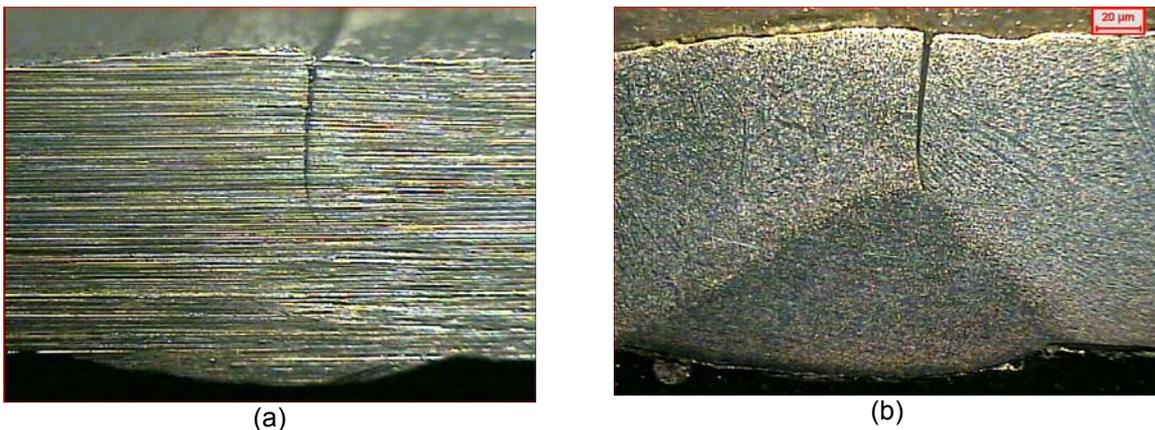


Figura 3. Regiões do material soldado observadas em lupa (estereoscópio) sem lixamento/polimento (a) e microscópio ótico (b).

A Figura 4(a-b) mostra a microestrutura do material analisado, destacando-se a descontinuidade por não preenchimento da solda. Nota-se a evolução da intensificação do ataque nos contornos de grão.

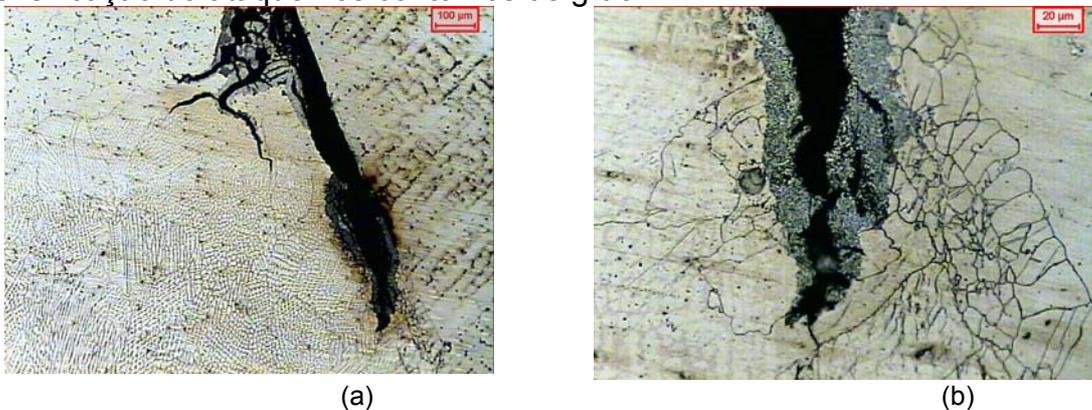
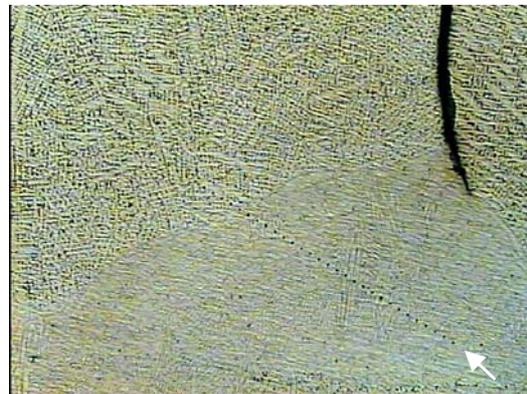
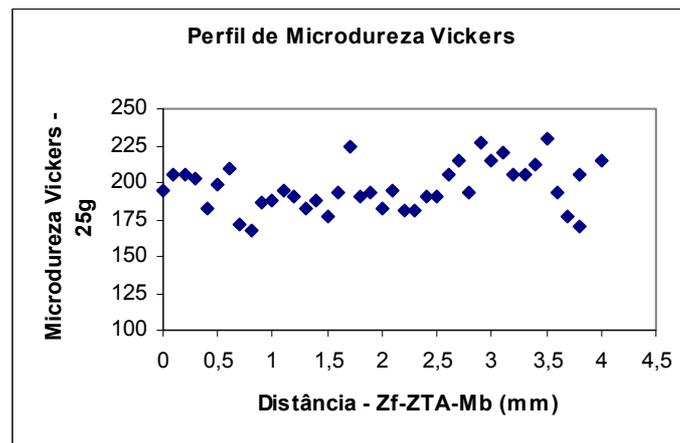


Figura 4. Microestrutura do material destacando-se a região próxima ao cordão de solda e da descontinuidade por falta de preenchimento da junta soldada; nota-se trincamento/ataque intergranular; (a) 100X; (b) 500X; ataque: Villela.

A Figura 5 (a-b) mostra um perfil de microdureza Vickers obtido na região do cordão de solda do material. Nota-se que o valor médio foi em torno de 200, e que não houve muita diferença nas três regiões (metal base – MB, zona termicamente afetada – ZTA e zona fundida – ZF). Considerando que o metal de enchimento foi o arame do tipo AISI 310, segundo o fabricante, na região analisada a solda apresentou certa homogeneidade.



(a)



(b)

Figura 5. Perfil de microdureza obtido na região do cordão de solda do material do dosador; (a) região onde foi feito o perfil (seta); (b) valores encontrados.

Objetivando determinar a presença de carbonetos de cromo em contornos de grão fez-se ataque com ácido oxálico (10%), com intuito de verificar o ataque nas regiões próximas dos contornos de grão, caracterizando o empobrecimento em cromo na matriz. A Figura 6 (a-b) mostra a microestrutura após o material ser atacado com o ácido oxálico. Nota-se o ataque nos contornos de grão, inclusive com trincas nos mesmos.

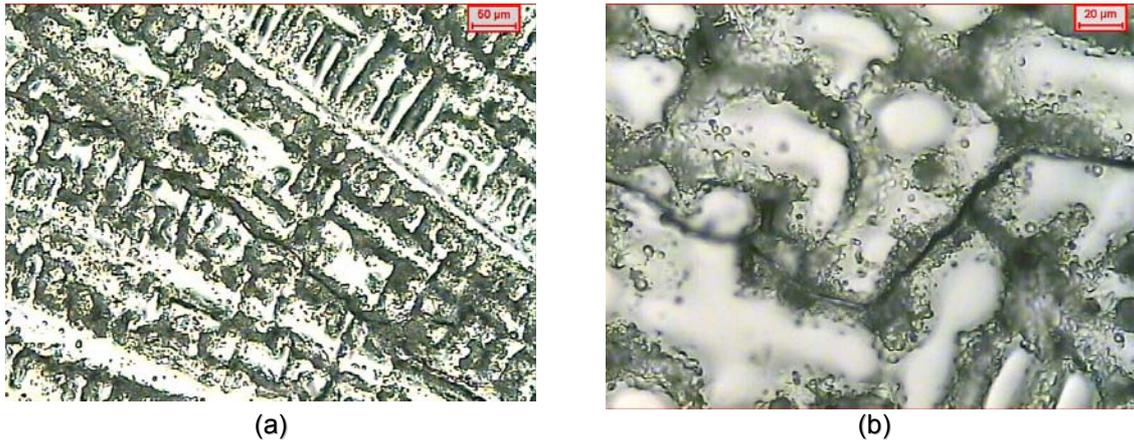


Figura 6. Microestrutura do material após ataque com ácido oxálico (10% em peso); nota-se o ataque em contornos de grão; presença de trincas; (a) 100X; (b) 500X.

Visando caracterizar as partículas de segunda fase precipitadas em contornos de grão, empregou-se um MEV, onde foram realizadas análises da microestrutura, inclusive com a utilização do método EDS (espectroscopia de energia dispersiva por raios X).

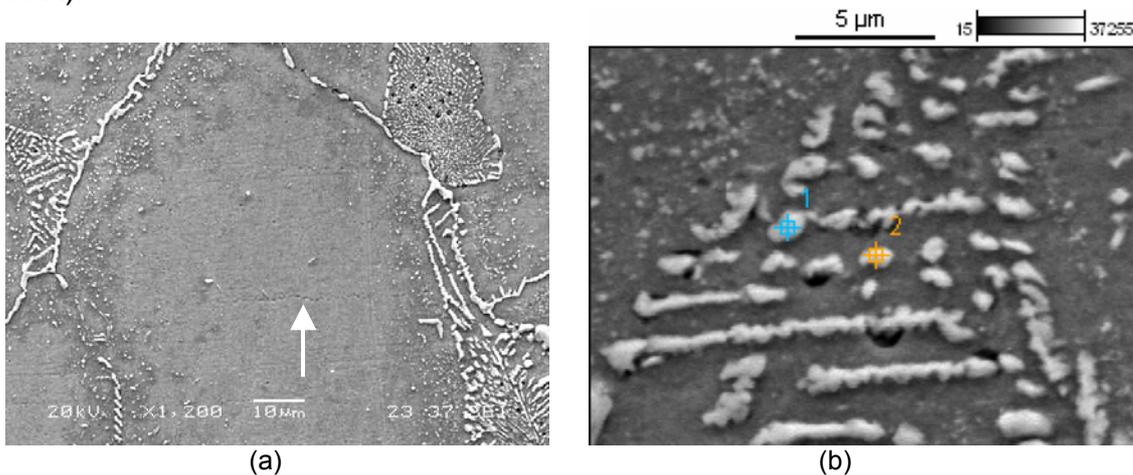
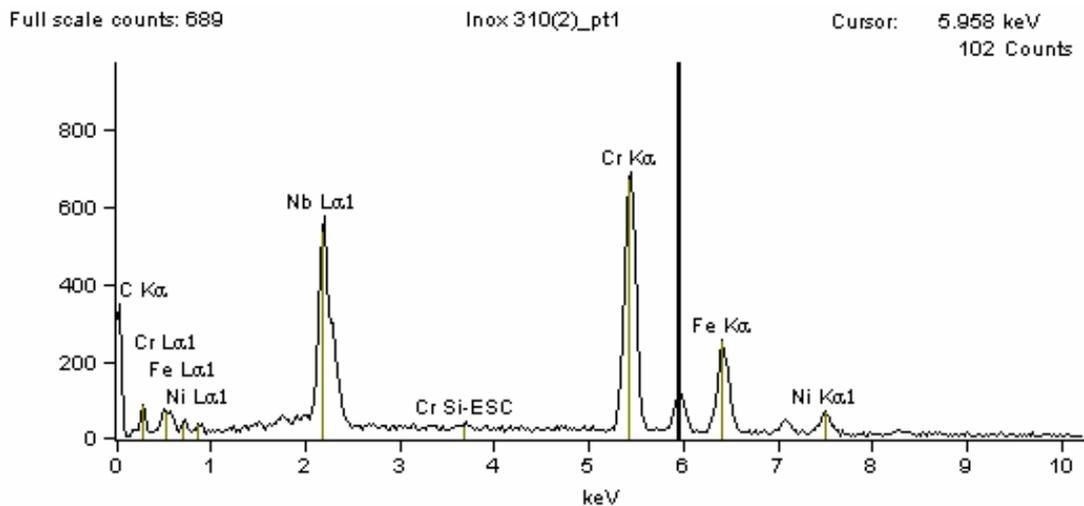
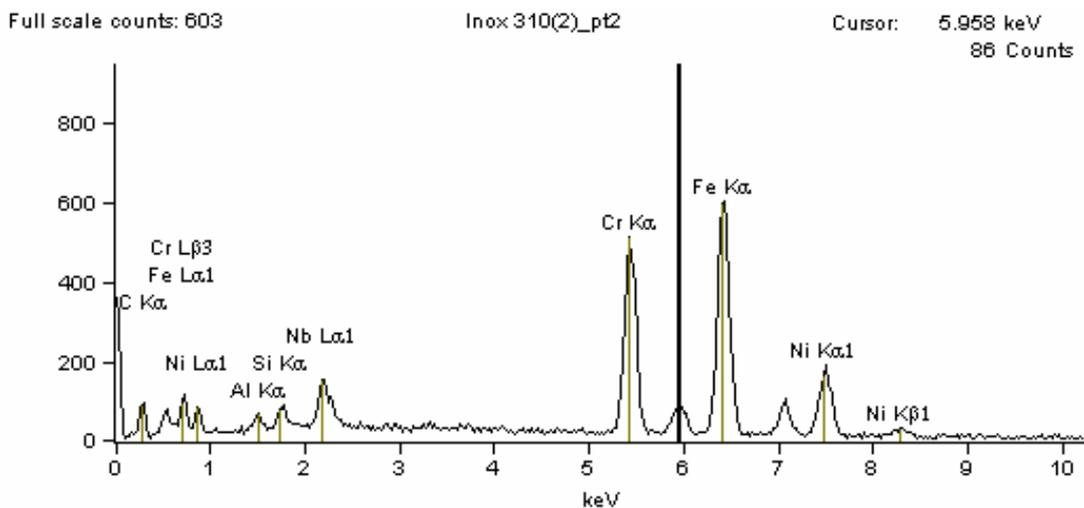


Figura 7. Microestrutura do material, analisada por MEV, destacando-se a precipitação de partículas nos contornos de grão; (a) 1200X; (b) 5500X.

A partir do material analisado na Figura 7 (a) e com emprego do sistema EDS, foi possível caracterizar o material de uma maneira mais detalhada, onde foram feitas varreduras principalmente na região onde compostos haviam sido precipitados. A Figura 7 (b) mostra os pontos onde o material foi caracterizado e a Figura 8 (a-b) o espectro obtido. Nota-se, principalmente, presença de carbono, cromo e nióbio. O silício provavelmente é oriundo das lixas. Resultados semelhantes foram observados em outras regiões do corpo-de-prova.



(a)



(b)

Figura 8. Espectros obtidos por EDS (20 kV); indicando os elementos presentes nos pontos analisados na Figura 7; (a) ponto 1; (b) ponto (2).

4 CONCLUSÕES

- O material correspondente ao dosador apresentou descontinuidades gravíssimas na região do cordão de solda (falta de penetração do cordão em praticamente metade da espessura do material, ao longo de todo o cordão de solda). Certamente, essa falha causou grandes avarias ao material.
- Através de metalografia pôde-se observar heterogeneidade no material pela presença de partículas de segunda fase na microestrutura, particularmente, em contornos de grão, e com o emprego de MEV/EDS foi comprovado que esses precipitados são ricos em cromo, tornando assim o material susceptível à corrosão intergranular.
- Para corrigir esses problemas deve-se melhorar a qualidade da solda, para que haja penetração total do cordão de solda, inclusive, se for necessário, com confecção de chanfros. O passe de raiz deverá ser bem feito, pois além de garantir maior resistência mecânica ao material, é a região que irá estar em

contato com o metal fundido; evitar excesso de material depositado e mordeduras (trabalhar com amperagem mais baixa possível).

- Além disso, deve-se fazer a solubilização do material após a confecção, numa temperatura de aproximadamente 1200 °C, seguido de um resfriamento rápido para que não ocorra precipitação nos contornos de grão.

Agradecimentos

A Votorantim Metais e ao GEsFraM/Escola de Minas/UFOP que propiciaram a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- 1 SHAIKH, H., SIVAIBHARASI, N., SASI, B., ANITA, T., AMIRTHALINGAM, R., RAO, B.P.C., JAYAKUMAR, T., KHATAK, H.S., RAJ, B. Use of eddy current testing method in detection and evaluation of sensitisation and intergranular corrosion in austenitic stainless steels. *Corrosion Science*, mai. 2005.
- 2 MUDALI, U.K., RAO, C.B., RAJ, B. Intergranular corrosion damage evaluation through laser scattering technique. *Corrosion Science*, Fevereiro 2005.
- 3 MATULAA, M., HYSPECKAA, L., SVOBODAB, M., VODAREKA, V., DAGBERTC, C., GALLANDC, J., STONAWSKAA, Z., TUMA, L. Intergranular corrosion of AISI 316L steel. *Materials Characterization*, v. 46, p. 203-210, 2001.
- 4 ASHBY, M.F. Materials Selection In Mechanical Design. *Materials Selection*. Second Edition. Department of Engineering, Cambridge University, England, 2001. cap.8, p.710-736.
- 5 SEDRIKS, A.J., Corrosion Resistance of Stainless Steels and Nickel Alloys. *Corrosion: Fundamentals, Testing, and Protection*, v. 13A, ASM Handbook, ASM International, 2003, p. 697-702.
- 6 LOPES, J.A.M. *Avaliação de Técnicas Eletroquímicas para a Quantificação de Graus de Sensitização de um Aço AISI 304*. Ouro Preto: Redemat / UFOP, 2004. (Dissertação, Mestrado em Engenharia de Materiais).
- 7 SEDRIKS, A.J. Corrosion by Hot Gases and Molten Compounds. *Corrosion of Stainless Steels*. John Wiley & Sons, Inc., 2th Edition, 1996. cap. 10, p. 389-419.