

ANÁLISE DA SENSITIZAÇÃO DE JUNTAS SOLDADAS EM AÇO INOXIDÁVEL AISI 439 PARA USO EM SISTEMA DE EXAUSTÃO VEICULAR

Willian Moreira de Lima ¹; Susana Marraccini Giampietri Lebrão ²

¹ Aluno de Iniciação Científica da Escola de Engenharia Mauá (EEM/CEUN-IMT);

² Professor da Escola de Engenharia Mauá (EEM/CEUN-IMT).

Resumo. O presente trabalho visa analisar a sensitização causada no aço inoxidável AISI 439 devido ao processo de soldagem. Este aço inoxidável é vastamente utilizado por montadoras no sistema de exaustão de veículos, e o mecanismo de sensitização pode ocasionar variação nas propriedades mecânicas e na resistência à corrosão. Os estudos serão feitos por meio de metalografia, ensaio de corrosão e ensaios de tração.

Introdução

Os aços inoxidáveis são ligas de ferro (Fe) e Cromo (Cr) com o mínimo teor de 10,50% de Cr, elemento que garante ao material elevada resistência à corrosão. Outros elementos de liga podem ser adicionados na matriz, tais quais níquel (Ni), molibdênio (Mo), titânio (Ti) e nióbio (Nb), com o intuito de garantir características específicas às ligas (MONTEIRO, 2013).

Além de ser resistente à corrosão, o aço inox é 100% reciclável e possui baixo custo de manutenção, portanto utilizado em diversos itens domésticos (como talheres, panelas e itens da linha branca – geladeiras e fogões, por exemplo).

Os aços inoxidáveis podem ser divididos em austeníticos (série 300), ferríticos e martensíticos (série 400). Os aços inoxidáveis austeníticos são não magnéticos, apresentam excelente ductilidade, resistência à corrosão, suportam uma ampla faixa de temperatura, porém são relativamente caros, possuem uma baixa resistência mecânica e elevado coeficiente de fusão (CES EDUPACK). Apresentam também uma estrutura cúbica de face centrada (CFC), basicamente composta de Fe + Cr + Ni que não endurecem por tratamento térmico (MEI, 1988).

Os aços inoxidáveis ferríticos são magnéticos, apresentam boa ductilidade, resistência à corrosão, e baixo custo. Porém, suas propriedades mecânicas não suportam elevadas temperaturas, não podem ser utilizados para ações que necessitam de materiais com alta resistência mecânica, e geralmente sua resistência a corrosão é menor do que a do austenítico. Sua estrutura é cúbica de corpo centrado (CCC) formados pela liga de Fe + Cr.

Os aços inoxidáveis martensíticos são ligas de Fe + Cr e tem composições que interceptam o campo austenítico. São aços que possuem uma fase metaestável supersaturada de carbono, sendo monofásica, tetragonal de corpo centrado (TCC), uma vez que se encontra em equilíbrio.

Dentro do grupo dos aços inoxidáveis ferríticos encontram-se o aço AISI 439 que apresentam uma boa resistência frente à corrosão sob tensão (CST), alta condutividade térmica e baixo coeficiente de expansão térmica. Tais propriedades fazem com que esta liga seja ideal para muitas aplicações no sistema de exaustão de automóveis, refinamento de petróleo, geração de energia, tubos de trocadores de calor, indústria de processos químicos, etc. (Allegheny Ludlum, 2005).

No sistema de exaustão de veículos, pelo processo, devido a exposição do material as altas temperaturas do processo de soldagem o qual suas extremidades são unidas, o aço pode estar sujeito ao fenômeno de sensitização que é o empobrecimento no teor de Cromo, produzido por precipitados ricos em Cromo nos contornos de grão, o qual reduz localmente o teor de Cromo nas regiões adjacentes a estes precipitados, impedindo a formação da camada protetora, ocasionando a corrosão nas zonas das juntas (LIMA, 2007).

Os aços inoxidáveis se tornaram de grande importância nas indústrias e em diversos outros setores, não somente pela sua capacidade de resistir a corrosão, mas sim agregar esta característica com diversas outras propriedades mecânicas como: resistência mecânica, ductilidade, soldabilidade e baixo custo (Campbell, 1992; Pickering, 1976,1985).

O custo da corrosão tornou-se um fator a ser considerado no ramo industrial, principalmente na fase de projeto, sendo necessária uma análise dos processos de soldagem e de suas consequências para se ter a escolha dos materiais mais adequados, técnicas de proteção e consequentemente aumentar durabilidade. A pesquisa em termos de corrosão é de grande potencialidade, uma vez que este fenômeno se mostra presente nos mais diversos ramos industriais, tais quais o petroquímico, mecânico, alimentício, civil, aeronáutico e na medicina (LIMA, 2007).

Outra utilização importante deste material é no sistema de exaustão de veículos, onde tem ocasionado certos problemas, sendo assim um dos temas estudados por este trabalho. As regiões são em geral as zonas sensitizadas pela soldagem, que é utilizada na união das peças. Tais regiões só são afetadas pela corrosão, pois não apresentam a camada protetora, que é gerada na presença de Cromo (Cr) junto a matriz do aço. É importante lembrar que estes materiais, no sistema de exaustão de veículos, estão sujeitos a condições de variação térmica e a um meio corrosivo que se intensifica com a introdução da soldagem (CUNTO, 2005).

Será levado a estudo o aço inoxidável AISI 439 (com aproximadamente 17,3% de Cromo), com o intuito de avaliar as zonas soldadas. Portanto passara por ensaios de corrosão, ensaios de metalográficos e ensaios de tração a intuito de caracterizar o aço do sistema de exaustão.

Materiais e Métodos

A partir das juntas soldadas com arame tubular 430Ti, fornecidas pela Empresa Tenneco do Brasil, variaram-se as condições de soldagem em velocidade de soldagem e arco voltaico para as duas condições adotadas: solda realizada manualmente e de modo automático, como demonstradas na Tabela I e II.

As juntas de aço inoxidável AISI 439 foram então submetidas a ensaios de suscetibilidade a corrosão intergranular com ácido oxálico, norma ASTM A763, caracterização metalográfica com ataque de Vilella, hidróxido de sodio e persulfato de amônia, norma ASTM E3, além de ensaios a tração para verificar as propriedades mecânicas do material.

A composição química aço inoxidável AISI 439, utilizado no presente estudo, encontra-se descrita na tabela III. Na tabela IV é apresentada a composição química do arame de soldagem.

Tabela I – Parâmetros de soldagem realizados manualmente pelo soldador.

Parâmetro	Velocidade do arame (m.min⁻¹)	Tamanho do arco voltaico	Stick-out (referência)	Vazão de gás(l/min)	Φ arame (mm)	Tipo de solda
Soldador	12	-15	15 a 20	10 a 15	1,0 / 430Ti	Pulsado

Tabela II – Parâmetros de soldagem realizados de modo automático.

Parâmetro	Velocidade do arame (m.min ⁻¹)	Tamanho do arco voltaico	Stick-out (referência)	Vazão de gás(l/min)	Φ arame (mm)	Tipo de solda
Máquina	3 a 7	-22 a -5	15 a 20	10 a 15	1,0 / 430Ti	Pulsado

Tabela III – Composição química do aço inoxidável ferrítico - AISI 439.

Composição Química (% peso)												
%C	%Mn	%P	%Si	%Si	%Cr	%Ni	%Ti	%S	%Mo	%Cu	%Nb	%Co
0,008	0,24	0,030	0,470	1,00	17,23	0,27	0,132	0,0004	0,028	0,0309	0,184	0,021

Tabela IV – Composição química do arame tubular 430Ti.

Composição Química (% peso)									
%C	%Mn	%Si	%S	%P	%Ni	%Cr	%Mo	%Cu	%Ti
0,021	0,750	0,740	0,001	0,021	0,250	17,74	0,030	0,080	0,380

Inicialmente foi feito o ensaio de suscetibilidade a corrosão intergranular, a partir da Norma ASTM A763. O ensaio começa com a imersão da amostra de 1 cm por 1 cm do corpo de prova tanto para o parâmetro do soldador quanto do parâmetro da máquina, em ácido oxálico por aproximadamente 30 segundos. Após o tempo de imersão, é necessário lavar o corpo de prova em água corrente para retirar qualquer vestígio de modo que não prejudique a micrografia.

Para a analise metalografia, a partir da Norma ASTM E3, destacando assim a presença de elementos de liga nos contornos de grão e as diferentes fases na microestrutura. O ensaio foram realizados com amostras de 3 cm de comprimento por 0,5 cm de largura do corpo de prova tanto para o parâmetro do soldador quanto do parâmetro da máquina, buscando-se caracterizar tanto a região da solda como a região fora da solda. Para iniciar o ensaio basta mergulhar o corpo em três ataques químicos distintos: virela (solução composta por 5ml HCl, 1g ácido pícrico, 100ml de etanol (95%)), hidróxido de sódio (solução composta por 85g NaOH e 50ml de água) e persulfato de amônia (solução composta por 10g de persulfato de amônia e 100ml de água) por aproximadamente 30 segundos.

Com o objetivo de estudar a resistência mecânica nas zonas termicamente afetadas (ZTA) pela solda, o material foi submetido à ensaios de tração considerando a norma ASTM A370. O dimensionamento do corpo de prova, assim como o polimento de sua superfície, os procedimentos impostos foram especificados de acordo com a norma anteriormente exposta.

Resultados e Discussão

A tabela V apresenta para o mesmo material (Aço Inox 439) em condições similares de ensaio, variando somente em parâmetro adotado. É possível ver que para as amostras do soldador em relação a da máquina teve-se um alongamento muito maior além de apresentar um limite de resistência de até quatro vezes o limite sofrido pela soldagem automática. Estas diferenças nos resultados mostram que o processo automático, por ser realizado em uma velocidade muito menor, acaba fragilizando assim o material de maneira mais drástica, ou seja, tendo um baixo regime elástico e se rompendo mais facilmente quando submetido a tração.

Tabela V – Resultados do ensaio de tração para o Aço Inoxidável 439 tanto para os parâmetros do soldador quanto para a máquina

Amostra	Identificação	Espessura [mm]	Carga Máxima [N]	Limite de Resistência [Mpa]	Alongamento [%]
1	439 Soldagem automática	1500	1560	81.08	0.35
2	439 Soldagem automática	1500	2895	147.80	1.14
3	439 Soldagem manual	1500	8609	438.12	24.02
4	439 Soldagem manual	1500	8514	436.27	25.23

A partir do ataque com ácido oxálico 10% tanto para as amostras de solda manual como para aquelas com solda automática, foi possível observar a precipitação de carbonetos no contorno de grão. Os resultados já se mostraram intrigantes por ser possível avistar uma corrosão agressiva, apresentando contornos de grãos em valas, na transição das ZTAs para a região de núcleo, como mostrado nas figuras 2 e 4. Porém também é possível ver a presença de carbonetos no contorno de grão, nas regiões tanto de núcleo como nas ZTAs, visto nas figuras 1 a 4.

Figura 1 – Micrografia da região de núcleo. Solda manual. Ataque em ácido oxálico 10% – aumento 500x.

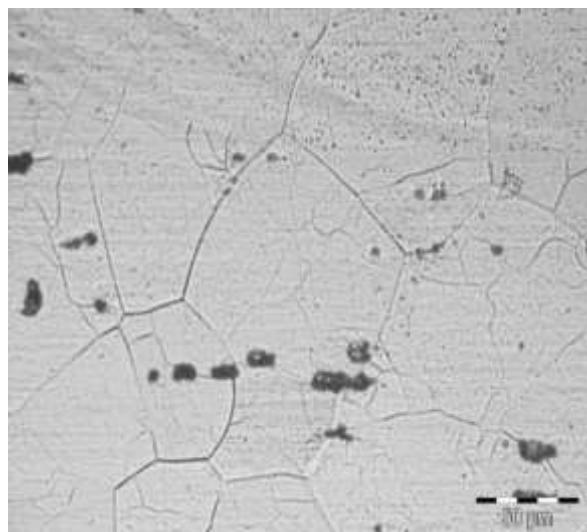


Figura 2 – Micrografia da região termicamente afetada. Solda manual. Ataque em ácido oxálico 10% – aumento 200x.

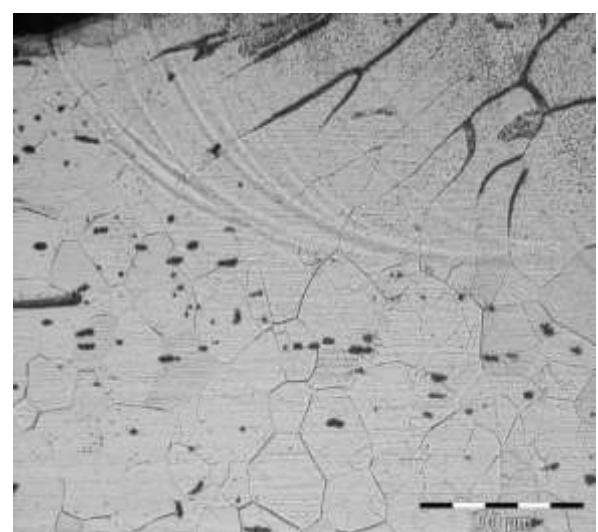


Figura 3 – Micrografia da região de núcleo. Solda automática. Ataque em ácido oxálico 10% – aumento 200x.

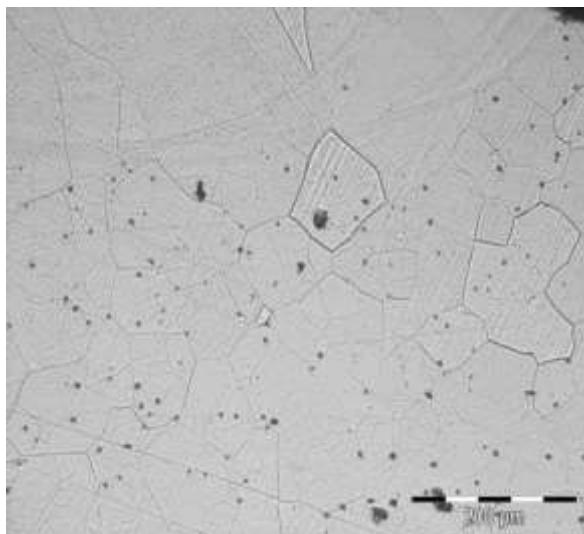
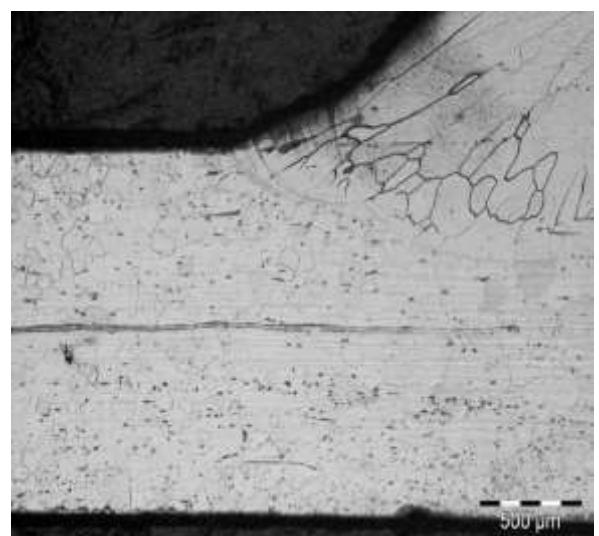


Figura 4 – Micrografia da região termicamente afetada. Solda automática. Ataque em ácido oxálico 10% – aumento 50x.



Realizando o ataque de viella foi gerado as micrografias, a partir de uma avaliação em microscopia ótica, tanto para a solda manual (apresentada nas Figuras 5 e 6) como para a solta automática como visto nas Figuras 7 e 8. Tanto quanto nas figuras 5 e 6 as figuras 7 e 8 também apresentaram o aumento significativo do tamanho de grão da ferrita na região da solda, região de núcleo, em relação a região distante da solda, zona termicamente afetada, para o processo automático.

Figura 5- Micrografia da região distante da solda. Solda manual. Ataque Vilela – aumento 100x

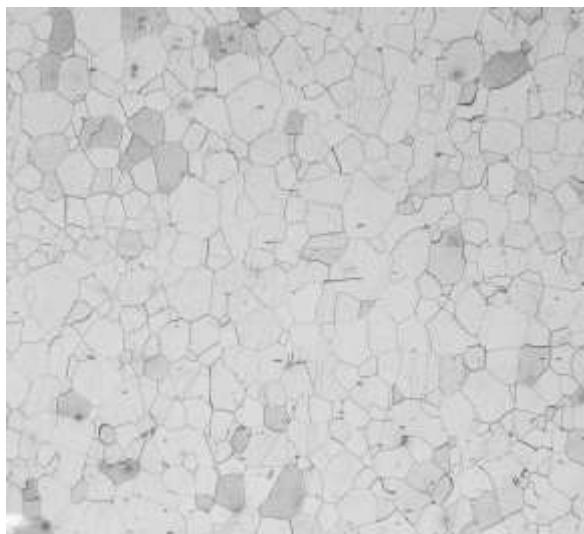


Figura 6 – Micrografia da região da solda. Solda manual. Ataque Vilela - aumento 100x

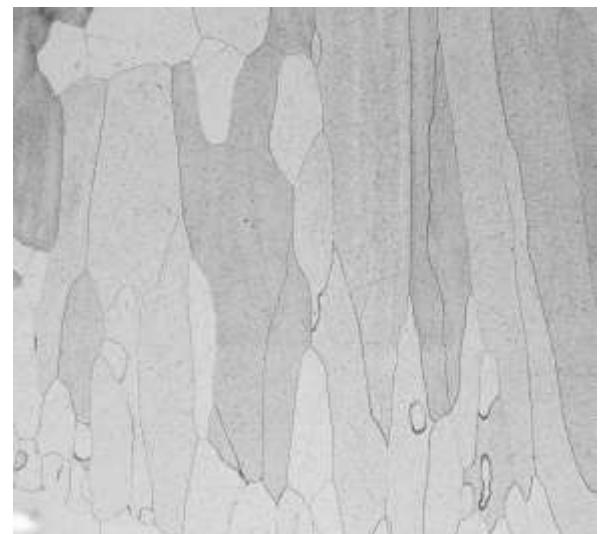


Figura 7- Micrografia da região distante da solda. Solda automática. Ataque Vilela – aumento 200x

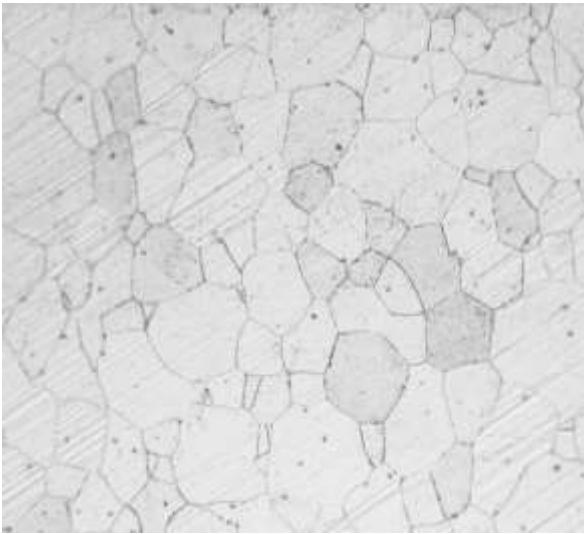


Figura 8 – Micrografia da região da solda. Solda automática. Ataque Vilela - aumento 100x



Em relação ao ataque com Persulfato de amônia foi possível revelar de uma maneira mais clara precipitação de elementos de liga no contorno de grão. As Figuras 9 e 10 nos mostram que por mais que estejam em parâmetros diferentes ainda sim apresentaram os elementos de liga nas ZTAs. Vale a pena observar que para o parâmetro do soldador houve a presença de contornos de grão em valas o que caracteriza a suscetibilidade do material a corrosão intergranular.

Figura 9 - Micrografia da ZTA. Solda manual. Ataque com Persulfato de Amônia – aumento 100x

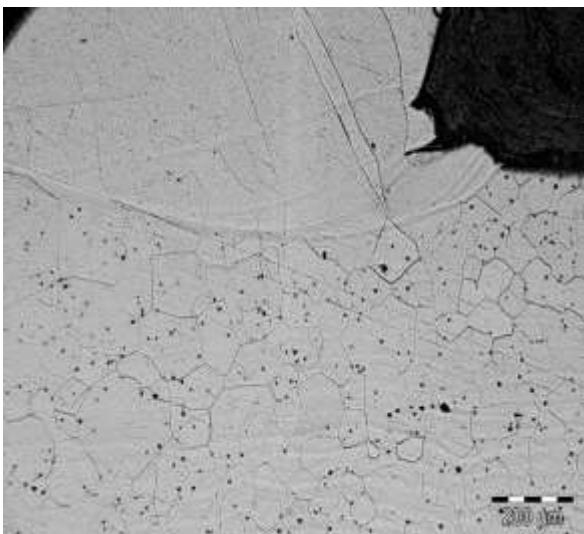
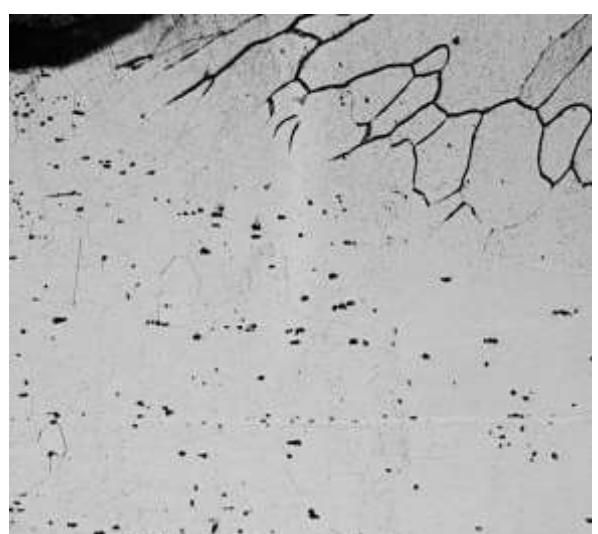


Figura 10 - Micrografia da ZTA. Solda manual. Ataque com Persulfato de Amônia – aumento 100x



Conclusões

Os ensaios metalográficos mostraram que a exposição do material por tempos mais longos a alta temperatura, ocasionado pelo processo de soldagem, gera um crescimento dos grãos para os dois parâmetros, variando levemente de modo mais intenso para o parâmetro da máquina como exposto nas Figuras 7 e 8. Esta pequena diferença é resultado de um tempo maior que a peça fica exposta para realizar o processo de soldagem. É possível verificar também que o material apresentou precipitados no contorno de grão quando atacado com Persulfato de Amônia.

Precipitados de cromo se destacaram no contorno de grão para o ensaio de corrosão, tanto para o processo de soldagem da máquina quanto do soldador. O material apresentou corrosão intergranular para as figuras 2 e 4, zona termicamente afetada (ZTA), tanto para a solta automática como manual, porém, observou-se que também apresentou suscetibilidade a corrosão intergranular também na região de núcleo, como visto nas figuras 1 e 3, o que nos faz concluir que possivelmente o material já apresentava essa precipitação nos contornas antes do processo de soldagem, uma falha que compromete totalmente a resistência a corrosão do material para seu uso.

O ensaio a tração que também se mostrou congruente com os resultados apresentados, tanto a soldagem realizada pela máquina como pelo soldador geraram uma variação nas propriedades dos materiais estudados. Fato com que a solda é um processo muito agressivo, como visto no início deste estudo, que submete o material a uma alta temperatura por um certo instante de tempo em uma região concentrada, agredindo assim as propriedades do material.

Referências Bibliográficas

Aço Inoxidável Ferrítico ACE P439A. Portal da ArcelorMittal Inox Brasil. Disponível em: <<http://brasil.arcelormittal.com>>. Acesso em 20 dez. 2014.

ALLEGHENY LUDLUM Allegheny Technologies.
<http://www.alleghenyludlum.com/lundlum/documents/439.pdf>. Acesso em: setembro, 2005.
CAMPBELL, R. D. Ferritic Stainless steel Welding Metallurgy. Key Engineering Materials, v. 69& 70, p 167-216, 1992.

Cunto, Julio Cesar. Estuda da resistência à corrosão de aços inoxidáveis para o uso na parte fria dos sistemas de exaustão de veículos. Ipen, 2005.

Lima, Luciana I. L. . Metodologia para avaliação da corrosão da zona termicamente afetada de aço inoxidável ferrítico AISI 439 soldado. UFMG (Universidade Federal de Minas Gerais), Programa de pós- graduação em engenharia mecânica, 2007.

PICKERING, F. B. Physical Metallurgy of Stainless Steel Developments. The Institute of Metals, London, p 1-28, 1985.

Mei, P. R.; Silva, A. L. C. Aços e ligas especiais. 2 ed. Sumaré, SP: Eletrometal S. A. Metais Especiais, 1988.

Monteiro, F. T. Comportamento mecânico e estudo metalográfico do aço inoxidável hiper duplex SAF 3207HD tratado termicamente. CEUN-IMT, 2013.