

ANÁLISE DA SENSITIZAÇÃO DE JUNTAS SOLDADAS EM AÇOS INOXIDÁVEIS AISI 409 E AISI 439 PARA USO EM SISTEMA DE EXAUSTÃO VEICULAR*

Giovanna Agarelli¹

William Moreira de Lima²

Susana Marraccini Giampietri Lebrão³

José Agustín Castillo Lara⁴

Marco Antonio Colosio⁵

Resumo

Avaliou-se a suscetibilidade à corrosão intergranular de juntas soldadas dos aços inoxidáveis ferríticos AISI 409 e AISI 439 utilizados na fabricação de escapamentos automotivos. A possível sensitização nas zonas termicamente afetadas (ZTA) e os seus efeitos nas propriedades mecânicas das juntas foram avaliados por meio de metalografia e ensaios de tração e corrosão. Observou-se um crescimento dos contornos de grão com a ocorrência de valas na ZTA e a presença de precipitados sensitizados. Também se registrou um limite de resistência e alongamento maiores nas amostras de soldagem manual do que na automática. Concluiu-se que quanto maior o aporte de calor na soldagem, maior o tempo de exposição da ZTA a altas temperaturas, maiores os contornos de grão, menores a resistência mecânica e a ductilidade das juntas. Adicionalmente, a precipitação de carbonetos e nitretos nos contornos de grão comprovou a influência térmica sobre a sensitização.

Palavras-chave: Corrosão intergranular; Aços inoxidáveis; Soldagem; Sensitização.

SENSITIZATION ANALYSIS OF AISI 409 AND AISI 439 STAINLESS STEEL WELDED JOINTS FOR USE IN VEHICLE EXHAUST SYSTEM

Abstract

The intergranular corrosion susceptibility of AISI 409 and AISI 439 ferritic stainless steel welded joints used in the automotive exhausts manufacture was evaluated. The possible sensitization in the thermally affected zone (ZTA), as well as its effects on the mechanical properties of welded joints, were evaluated with metallography, tensile and corrosion tests. There was an expressive grain contours growth with trenches in ZTA due to the presence of sensitized precipitates. It was noticed that the resistance limit and the elongation of the manual welding samples were higher than those automatically soldered. It was concluded that the lower the welding heat transfer, the longer the exposure time to high temperatures, the larger grain contours, the lower mechanical resistance of joints. In addition, the carbides and nitrides precipitation in the grain boundaries proved high temperatures influence on the sensitization.

Keywords: Intergranular corrosion; Ferritic stainless steel; Welded joints; Sensitization.

¹ Estudante Bacharel em Engenharia Mecânica, Instituto Mauá de Tecnologia, São Paulo, SP, Brasil.

² Estudante Bacharel em Engenharia Mecânica, Instituto Mauá de Tecnologia, São Paulo, SP, Brasil

³ Prof^ª Dr^ª de Engenharia de Materiais Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, SP, Brasil

⁴ Prof. Me Coordenador da Engenharia de Materiais, Centro Universitario Fundação Santo Andre, Santo Andre, SP, Brasil

⁵ Gerente de Engenharia de Produto. General Motors, São Caetano do Sul, SP, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

Os aços inoxidáveis ferríticos AISI 409 (10,81%Cr) e AISI 439 (17,23%Cr), devido às suas propriedades de resistência à corrosão, facilidade para soldagem e conformação [4], estão sendo empregados no sistema de exaustão veicular e submetidos ao processo de soldagem na união de suas peças, fato que, adicionado a condições de variação térmica e técnicas inadequadas de soldagem, intensifica a tendência do surgimento de um meio corrosivo [1] e do fenômeno de sensitização, afetando mecânica e metalurgicamente as zonas termicamente afetadas (ZTA) e fundidas do material soldado [3].

A fragilização da ZTA é atribuída a três fatores principais: granulação grosseira nas regiões de crescimento de grão da ZTA e da zona fundida, quando o metal de adição também for um aço inoxidável ferrítico; formação de uma rede de martensita ao longo dos contornos de grão ferríticos, mais intensa em aços inoxidáveis com alto teor de elementos intersticiais; fragilização à alta temperatura, devido a reprecipitação intensa e muito fina de carbonitretos após a soldagem [2].

Como a corrosão é muitas vezes intergranular, ela acaba por afetar a vida útil dos equipamentos, podendo ocasionar falhas catastróficas nas peças, precisando ser identificada. Assim, foram realizados ensaios metalográficos, de corrosão e de tração, para analisar os efeitos da soldagem e do fenômeno de sensitização perante as propriedades mecânicas dos aços inoxidáveis ferríticos AISI 409 e AISI 439 que foram empregados em escapamentos veiculares.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A composição química dos aços AISI 409, AISI 439 e do arame tubular (Metal Cored) 430 Ti, e os parâmetros de soldagem amostral, encontram-se ilustrados nas tabelas a seguir:

Tabela 1. Composição química dos aços inoxidáveis ferríticos AISI 409 e AISI 439 e do arame tubular 430 Ti (A.T.430Ti)

	Composição Química (%)								
	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Ni	%Ti	%Mo
AISI 409	0,008	0,48	0,27	0,026	0,0004	10,81	0,28	0,23	0,025
AISI 439	0,008	0,47	0,24	0,030	0,0004	17,23	0,27	0,132	0,028
MC430Ti	0,021	0,740	0,750	0,021	0,001	17,740	0,250	0,380	0,030

FONTE: AUTOR, 2017

Tabela 2. Parâmetros de soldagem dos aços AISI 409 e AISI 439

Parâmetros de soldagem dos aços AISI 409 e AISI 439					
Soldagem	Velocidade do arame (m.min ⁻¹)	Tamanho do arco voltaico	Vazão de gás (L/min)	Øarame (mm)	Tipo de solda
manual	12	-15	10 a 15	1,0/ 430 Ti	Pulsado
automática	3 a 7	-22 a -5	10 a 15	1,0/ 430 Ti	Pulsado

FONTE: AUTOR, 2017

O material de teste foi fornecido pela General Motors do Brasil. Para as análises metalográficas e de corrosão, foram soldadas 4 juntas sobrepostas, 2 compostas de aço AISI 409 e 2 de aço AISI 439, utilizando-se o arame tubular (Metal Cored) 430Ti. Foram adotados parâmetros de soldagem em duas condições: manual e automática (vide Tabela 2), para que, variando apenas a velocidade de soldagem e o tamanho do arco voltaico, fosse possível a análise da influência do tempo de soldagem perante a microestrutura do aço inoxidável adotado.

É importante ressaltar que nas amostras confeccionadas, utilizou-se as menores velocidades de soldagem possíveis, sendo estas incluídas no robot com o intuito de excluir do processo de soldagem a variável do operador. Além de possibilitar a avaliação das condições de soldagem de escapamentos que utilizam operadores, nas quais não é possível se alcançar valores baixos de velocidades como aqueles que constam no processo automatizado.

Para a avaliação da corrosão nas juntas soldadas, foram cortadas quatro amostras de dimensões 1,0 cm x 1,0 cm (2 das juntas de aço AISI 409 e 2 das juntas de aço AISI 439), as quais foram submetidas ao ataque de ácido oxálico (10%), conforme a norma ASTM A763, com o intuito de revelar a presença de regiões da matriz ferrítica sujeitas à corrosão intergranular, causada pela precipitação de carbonetos nos contornos de grão.

Para a análise metalográfica, foram cortadas oito amostras de 3,0 cm x 0,5 cm (quatro de juntas de AISI 409 e quatro de juntas AISI 439), sendo submetidas, com base na norma E3, a três ataques químicos distintos: vilela (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), seguidos por avaliação em microscopia ótica, para a determinação dos contornos de grão das diferentes fases na microestrutura e os tipos de precipitados que ocorrem na matriz ferrítica.

Para a realização do estudo da resistência mecânica nas zonas termicamente afetadas pelas soldas, o material foi submetido a ensaios de tração considerando a norma ASTM A370.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através das análises metalográficas, obteve-se as Figuras 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7:

- Reagente vilela, corpo de prova AISI 409 soldagem automática:

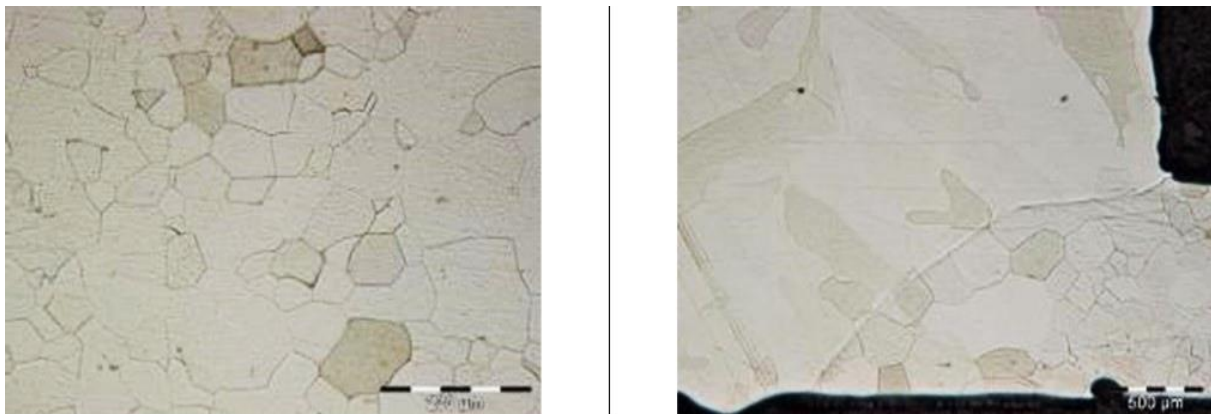


Figura 1. AISI 409 soldagem automática: a) região fora da solda 200 x; b) região solda 50 x

(FONTE: AUTOR, 2017)

- Reagente vilela, corpo de prova AISI 409 soldagem manual:



Figura 2. AISI 409 soldagem manual: a) região fora da solda 100 x; b) região solda 100 x (FONTE: AUTOR, 2017)

- Reagente vilela, corpo de prova AISI 439 soldagem automática:

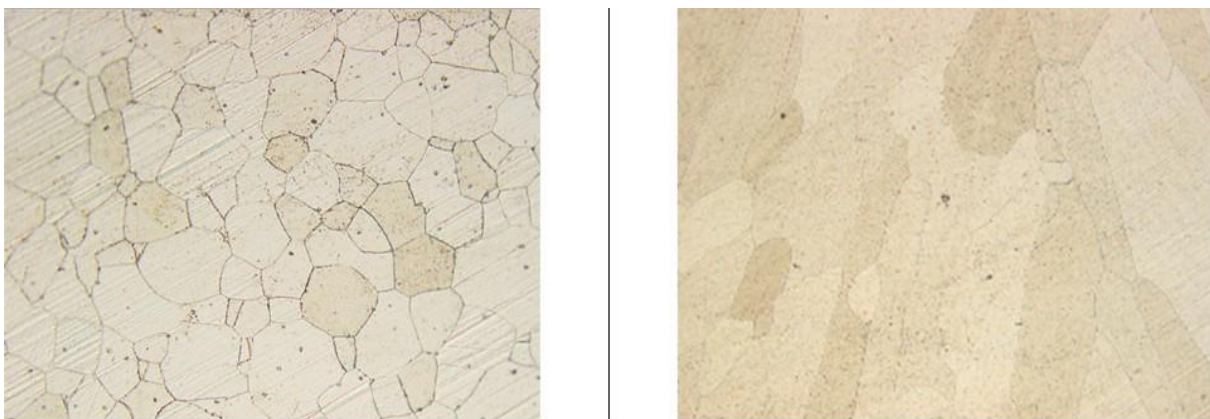


Figura 3. AISI 439 soldagem automática: a) região fora da solda 200 x; b) região solda 100 x (FONTE: AUTOR, 2017)

- Reagente vilela, corpo de prova AISI 439 soldagem manual:

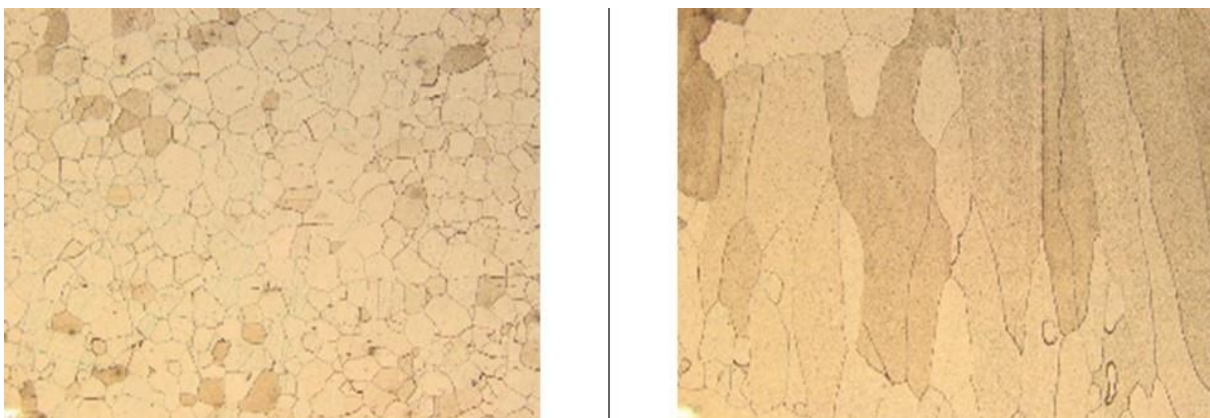


Figura 4. AISI 439 soldagem manual: a) região fora da solda 100 x; b) região solda 100 x (FONTE: AUTOR, 2017)

- Reagente persulfato de amônia, corpo de prova AISI 409 soldagem automática:

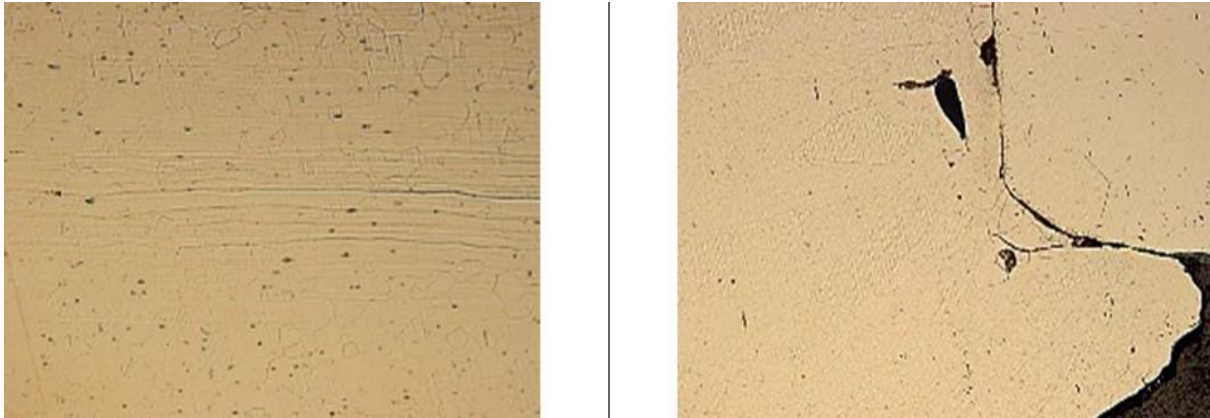


Figura 5. AISI409 1,2 soldagem automática: a) região fora da solda 200x; b) região solda 100x (FONTE: AUTOR, 2017)

- Reagente persulfato de amônia, corpo de prova AISI 409 soldador:

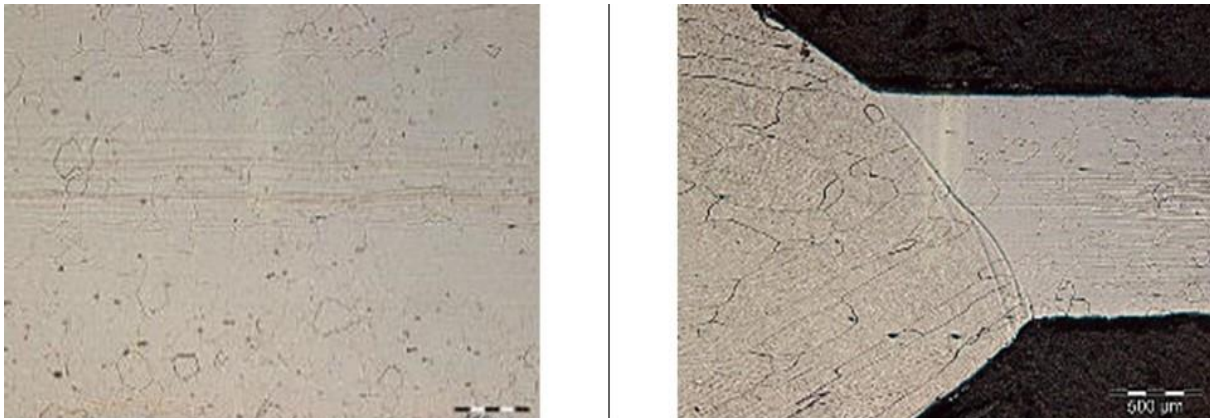


Figura 6. AISI409 soldagem manual: a) região fora da solda 100 x; b) região de transição 100 x (FONTE: AUTOR, 2017)

- Reagente persulfato de amônia, corpo de prova AISI 439 soldagem manual

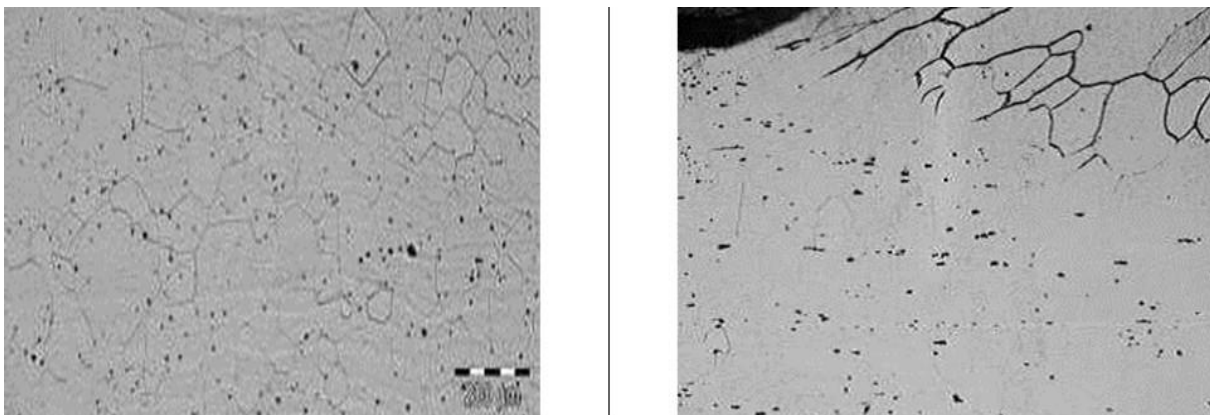


Figura 7. AISI 439 soldagem manual: a) região de transição 100 x; b) região de transição 100 x (FONTE: AUTOR, 2017)

Ao analisar-se metalograficamente os corpos de prova em questão, observou-se que os contornos de grão da amostra AISI 409 de soldagem automática (Figuras 1 e 5) se apresentaram maiores do que os da amostra AISI 409 de soldagem manual

(Figuras 2 e 6). Também se verificou a presença de precipitados nos grãos de ferrita (Figuras 2.a), 5.a) e 6).

Observou-se também um crescimento expressivo dos contornos de grão das amostras AISI 439 da região da solda (Figuras 3.b) e 4.b)) em relação à fora da solda (Figuras 3.a) e 4.a)), para ambas as condições de soldagem, automática e manual. Também se evidenciou a presença de precipitados nos grãos de ferrita (Figura 7).

Para a corrosão, obteve-se as Figuras 8, 9, 10 e 11:

– Reagente ácido oxálico, corpo de prova AISI 409 soldagem automática:

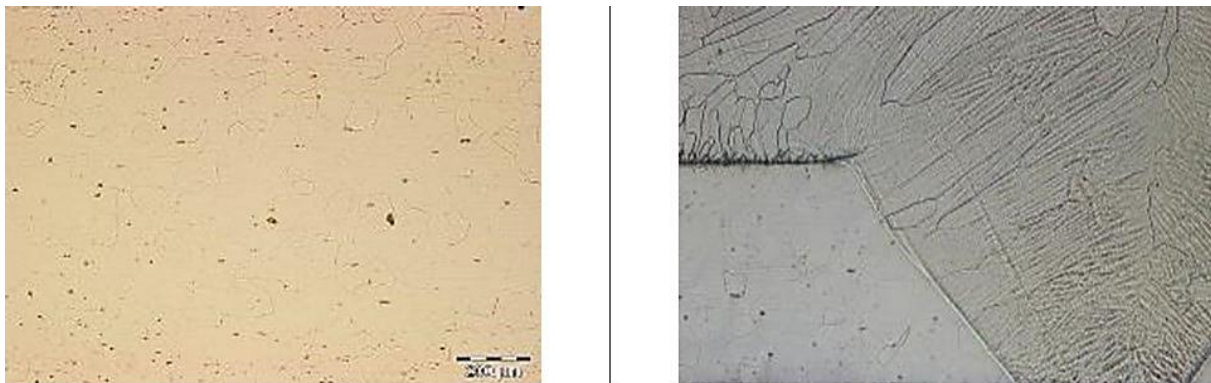


Figura 8. AISI 409 soldagem automática: a) região fora da solda 100 x; b) região solda 50 x
(FONTE: AUTOR, 2017)

– Reagente ácido oxálico, corpo de prova AISI 409 soldagem manual:

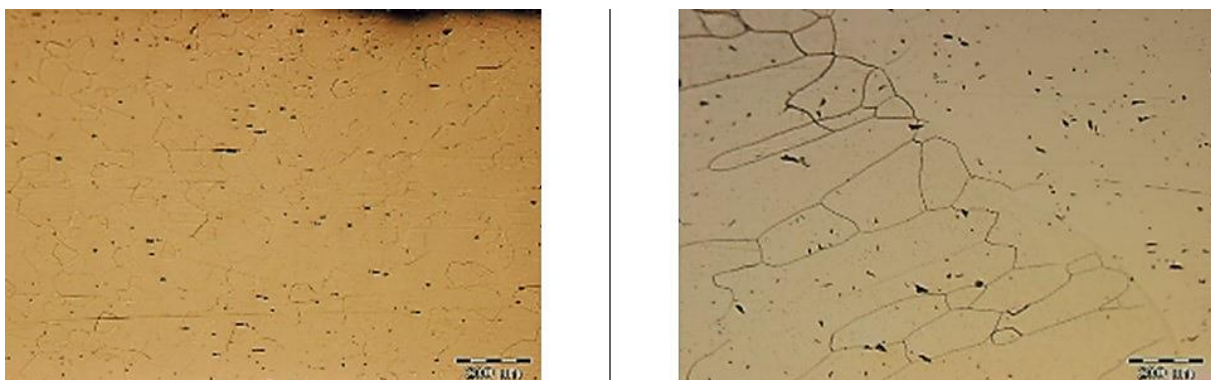


Figura 9. AISI 409 soldagem manual: a) região fora da solda 100 x; b) região da solda 100 x
(FONTE: AUTOR, 2017)

- Reagente ácido oxálico, corpo de prova AISI 439 soldagem automática:

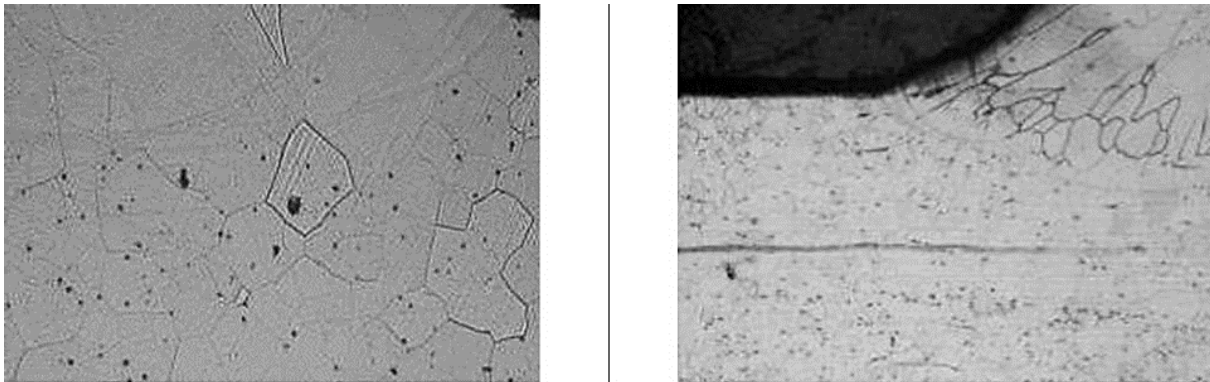


Figura 10. AISI 439 soldagem automática: a) região solda 200 x; b) região de transição 50 x
(FONTE: AUTOR, 2017)

- Reagente ácido oxálico, corpo de prova AISI 439 soldagem manual:

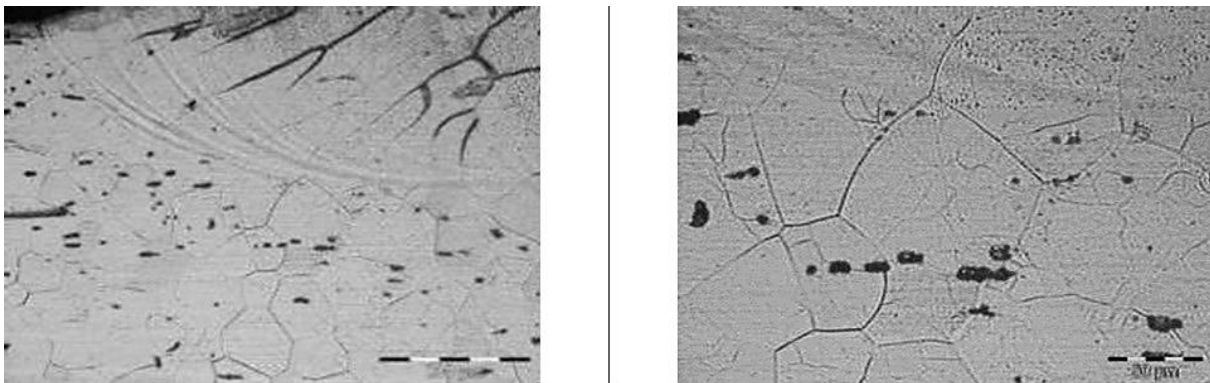


Figura 11. AISI 439 soldagem manual: a) região de transição 200x; b) região da solda 500 x (FONTE: AUTOR, 2017)

Observou-se a ocorrência de valas nos contornos de grão na zona termicamente afetada das amostras AISI 409 e AISI 439 (Figuras 9.b), 10.b), 11 e 12), assim como a sensibilização dos precipitados da matriz ferrítica na região dos contornos de grão.

Para os ensaios de tração, obteve-se o limite de resistência e o alongamento das amostras dos aços AISI 409 e AISI 439, registrados na Tabela 6. Observou-se que o limite de resistência e o alongamento dos corpos de prova dos aços AISI 409 e AISI 439 foram maiores naqueles de soldagem manual do que automática. Tal constatação, evidenciada na Tabela 6, explica a razão de os corpos de prova fraturarem na região do metal de base.

Tabela 6. Limite de resistência e alongamento das amostras AISI 409 e AISI 439 obtidos no ensaio de tração

Propriedades mecânicas dos aços AISI 409 e AISI 439								
Soldagem	Manual				Automática			
	409		439		409		439	
Aço								
Amostras	1	2	1	2	1	2	1	2
Limite de resistência (Mpa)	398,27	398,46	438,12	436,27	200,38	194,29	81,08	147,8
Alongamento (%)	28,27	28,35	24,02	25,23	4,21	3,37	0,35	1,14

(FONTE: AUTOR, 2017)

4 CONCLUSÃO

A partir das constatações anteriores, conclui-se que quanto maior o tempo empregado na soldagem, maior o tempo de exposição à alta temperatura da zona termicamente afetada (ZTA), propiciando contornos de grão com maiores dimensões e assim, uma diminuição da resistência mecânica do material.

Por meio dos dados coletados dos ataques de corrosão, constatou-se, nitidamente, a ocorrência do fenômeno de sensitização na ZTA, o que comprova a influência da alta temperatura de sensitização dos aços inoxidáveis ferríticos AISI 409 e AISI 439 na precipitação de carbonetos e nitretos de cromo, elementos apassivadores.

Os ensaios de tração evidenciaram a influência da velocidade de soldagem em relação ao limite de resistência e à ductilidade das juntas soldadas. As amostras de soldagem automática, devido à menor velocidade do processo, apresentaram menores resistência mecânica e ductilidade, uma vez que tiveram as zonas termicamente afetada e fundida mais tempo expostas a elevadas temperaturas, suscetibilizando o crescimento grosseiro dos contornos de grão e a precipitação de carbonetos e nitretos na estrutura ferrítica, principalmente nos contornos de grão.

Agradecimentos

À General Motors do Brasil, à Tenneco e ao Instituto Mauá de Tecnologia, agradeço ao suporte e aos serviços prestados para a realização do projeto.

REFERÊNCIAS

- 1 Cunto, J.C. Estudo da resistência à corrosão de aços inoxidáveis para o uso na parte fria dos sistemas de exaustão de veículos. 2005, 112p. Tese (Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Mestre em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear – Materiais) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN/CNEN-SP, São Paulo.
- 2 Filho, D.F. Influência do gás de proteção na soldabilidade do aço inoxidável ferrítico aplicado a sistemas de exaustores automotivos. 2010. Tese (Tese apresentada ao Programa de pós-graduação em engenharia mecânica como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Uberlândia, UFU/Faculdade de engenharia mecânica-MG, Minas Gerais.
- 3 LAKSHMINARAYANAN, A.K.; BALASUBRAMANIAN,V. Assessment of sensitization resistance of AISI 409M grade ferritic stainless steel joints using Modified Strauss test. *Materials and Design*. 2012 [acesso em 11 de agosto de 2014]; 39:175-185. Disponível em:<http://www.journals.elsevier.com/materials-and-design>.
- 4 Lima, L.I.L. Metodologia para avaliação da corrosão da zona termicamente afetada de aço inoxidável ferrítico AISI 439 soldado. 2007. Tese (Tese apresentada ao Programa de pós- graduação em engenharia mecânica) - Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG-MG, Minas Gerais.