

ANÁLISE DA SENSITIZAÇÃO DE JUNTAS SOLDADAS DE AÇO INOXIDÁVEL FERRÍTICO E AÇO CARBONO COM SOLDA DE ARAME TUBULAR MONOESTABILIZADO E BIESTABILIZADO

Matheus Antunes de Souza¹; Susana Marraccini Giampietri Lebrão²

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

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

Resumo. *O presente trabalho visa analisar a suscetibilidade a corrosão intergranular de juntas soldadas de aço carbono e aço inoxidável AISI 409 soldadas com arame tubular monoestabilizado ao titânio e biestabilizado ao titânio e nióbio. Foram realizados ensaios de suscetibilidade à corrosão em ácido oxálico 10 % com ataque eletrolítico para caracterizar a sensitização do aço inox e análises metalográficas com Nital para caracterizar o aço carbono. Pode-se observar que os grãos formados na junta com arame biestabilizado são menores tanto na zona termicamente afetada quanto na zona fundida.*

Introdução

Buscando melhor desempenho, no já competitivo mercado automobilístico, muitas empresas optam por aumentar a durabilidade de seus componentes, visto que entre os danos mais comumente observados no sistema de exaustão automotivo, 80% são atribuídos à corrosão e os 20% restantes à fadiga (Liewellyn, 1994; apud Faria, 1994).

A escolha dos aços inoxidáveis torna-se efetiva, uma vez que esses aços são altamente resistentes à corrosão em diversos ambientes. Seu elemento de liga predominante é o cromo com concentração mínima de 11%. A resistência a corrosão também pode ser melhorada através de adições de níquel, titânio, nióbio e molibdênio. (Callister, 2016)

Os aços inoxidáveis podem ser divididos de acordo com sua microestrutura predominante – martensíticos, ferríticos ou austeníticos (Callister, 2016).

Os aços inoxidáveis ferríticos são ligas binárias de ferro-cromo, estruturalmente simples, com teor de cromo entre 11 e 30%, carbono com teor inferior a 0,12% e sem adição de níquel. São empregados na fabricação de eletrodomésticos, utensílios para cozinha e laboratórios, em aplicações a altas temperaturas, tais como sistema de exaustão e descarga de fumos provenientes da combustão de derivados do petróleo, indústria nuclear, etc. Em diversas destas aplicações, é necessário o uso de operações de soldagem (Campbell, 1992).

O problema mais comum na solda entre aços carbono e inoxidável é a corrosão intergranular, é causada pelo empobrecimento de cromo no aço inox. A afinidade do cromo com o carbono faz com que ele deixe os grãos e migre para os contornos, formando carbonetos de cromo. A falta de cromo impede a formação da camada passiva que protege o aço inox e o torna suscetível a corrosão. Este fenômeno tem o nome de sensitização. (Serna-Giraldo, 2006).

A estabilização do aço inoxidável pelo titânio tem por objetivo torna-lo menos suscetível à corrosão intergranular e aumentar a resistência mecânica. Também é comum a biestabilização, onde utiliza-se nióbio e titânio na estabilização do aço,

Como consequência da adição de nióbio no cordão de solda é provável que a maioria dos precipitados formados no aço inoxidável serão constituídos de carbonetos (NbC), nitretos (NbN e TiN) e fase de Laves (Fe₂Nb). Considerando a afinidade do nióbio com o carbono é possível afirmar que haverá poucas chances que haja formação de carbonetos de Cromo (CrC) e por tanto, o aço não será suscetível à sensitização. (S.S.M. Tavares, 2005).

Segundo a norma ASTM A763 os aços inoxidáveis ferríticos estarão suscetíveis à corrosão intergranular quando apresentarem contornos de grão valetados ou com “ditches”, ou seja, suscetíveis à corrosão após ensaio, conforme mostra a figura 1.

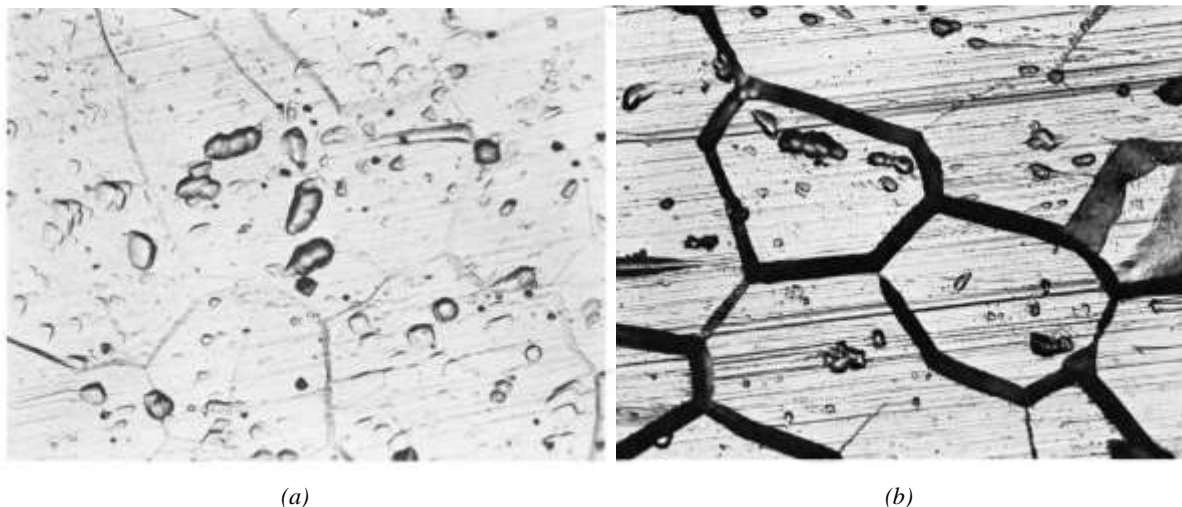


Figura 1- Norma ASTM A763 (a) Estrutura aceitável de aço inoxidável ferrítico após ensaio (b) Estrutura inaceitável, apresentando corrosão intergranular, de aço inoxidável ferrítico após ensaio.

Material e Métodos

A composição química dos aços utilizados neste trabalho, bem como dos arames de solda, está apresentada nas tabelas 1 a 4.

A tabela 5 mostra as especificações e parâmetros da solda.

Tabela 1 - Composição química do aço SAE 1010/20 – ASTM A36.

ASTM	%C	%Mn	%P	%S	%Cu
A 36	0,26	0,75	0,04	0,05	0,2

Tabela 2 - Composição química do aço inoxidável ferrítico AISI 409.

AISI	DIN	%C	%Mn	%Si	%P	%S	%Cr	%Ni	%Mo	%N ₂	%Outros
409	1.4512	0,03	1,00	1,00	0,04	0,02	10,5 a 11,7	0,5	-	0,030	6(C+N ₂) ≤ Ti ≤ 0,50

Tabela 3 - Composição química do arame tubular AISI 409 Ti – monoestabilizado.

AISI	%C	%Mn	%P	%S	%Si	%Cr	%Ti
439 Ti	0,02	0,68	0,010	0,010	0,56	17,90	0,80

Tabela 4 - Composição química do arame tubular AISI 409 Ti e Nb – biestabilizado.

AISI	%C	%Mn	%Si	%P	%S	%Cr	%Mo	%Cu	%Ni	%Ti	%Nb
439 Ti Nb	< 0,03	< 0,80	< 0,80	< 0,03	< 0,03	17,0 – 19,0	< 0,50	< 0,75	< 0,60	10xC – 1,1	10xC – 0,6

Tabela 5 - Parâmetros da condição de soldagem.

Arame	AISI 409 Ti	AISI 409 Ti e Nb
Corrente (A)	325	295
Velocidade de soldagem (mm/s)	25	25
Tensão (V)	27,3	21,3
Comprimento do Arco	-18	-15
Gás	AG12	AG12

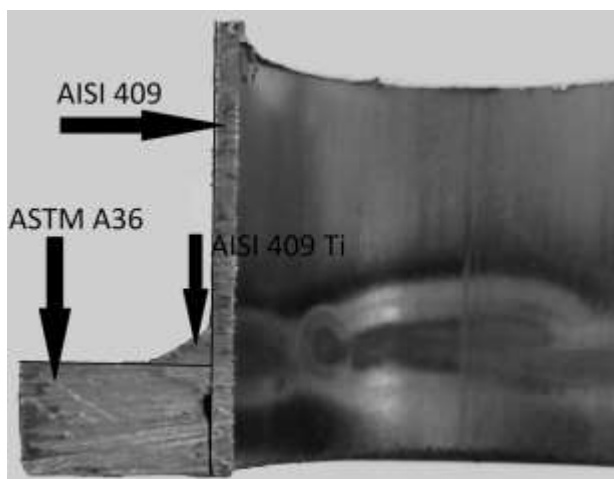


Figura 3 – Amostra cujo arame de solda usado foi o AISI 409 Ti

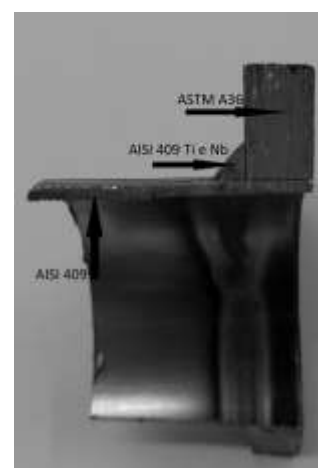


Figura 4 – Amostra cujo arame de solda usado foi o AISI 409 Ti e Nb

Para este trabalho foram confeccionadas duas peças de escapamento automotivo, a peça número 1, que mais tarde deu origem à amostra número 1 foi feita à partir da soldagem de uma flange de aço carbono ASTM A36 à outra flange de aço inoxidável AISI 409 estabilizado ao titânio, o arame usado na solda é de aço inox AISI 409 biestabilizado ao Ti e Nb. A segunda peça confeccionada também foi feita a partir da junção de duas flanges soldadas, a flange menor também de aço carbono ASTM A36 e a flange maior também de aço inox AISI 409 Ti, a diferença entre as peças reside na solda, que foi feita com um arame de solda de aço inox AISI 409 monoestabilizado ao Ti.

O trabalho teve início com o recebimento das amostras fornecidas pela General Motors (GM). Após serem devidamente cortadas e separadas foram identificadas como: amostra 1 soldada com arame inox AISI 409 biestabilizado ao Ti e Nb, e amostra 2 soldada com arame inox AISI 409 monoestabilizado ao Ti.

As amostras para ensaio metalografico foram preparadas segundo a norma ASTM E3 usando lixas d'agua A220, A320, A400 e A600, depois polidas com pasta de diamante de 3µm e 1µm.

Os ensaios de corrosão foram feitos de acordo com a norma ASTM A763 com ataque eletrolítico em ácido oxálico 10% para caracterizar a suscetibilidade a corrosão intergranular.

Devido à alta resistência à corrosão do aço inox torna-se impossível observar as micrografias de ambas as amostras com um mesmo ataque. Ou seja, um ataque que caracterizasse o aço carbono A36 não seria efetivo para atacar o aço inox AISI 409 e um ataque que tornasse o aço inox AISI 409 visível para metalografia atacaria demais o aço carbono A36.

Os ensaios metalográficos foram realizados com *Nital* 2%. O *Nital* não é suficientemente agressivo para atacar metalograficamente o aço inox AISI 409, por isso foi utilizado para observar o aço A36 tanto na amostra 1 quanto na 2.

O ensaio de corrosão por ácido oxálico 10%, segundo a norma ASTM A763, é capaz de atacar o aço inox *AISI 409* da solda e do tubo externo mas ataca demais o aço carbono A36 do tubo interno deixando sua micrografia completamente escura. Neste caso, o mesmo ataque utilizado para caracterizar a sensitização foi utilizado como ataque metalografico do aço inoxidável.

Resultados e Discussão

Os resultados das micrografias realizadas estão ilustrados nas figuras 5 a 12.

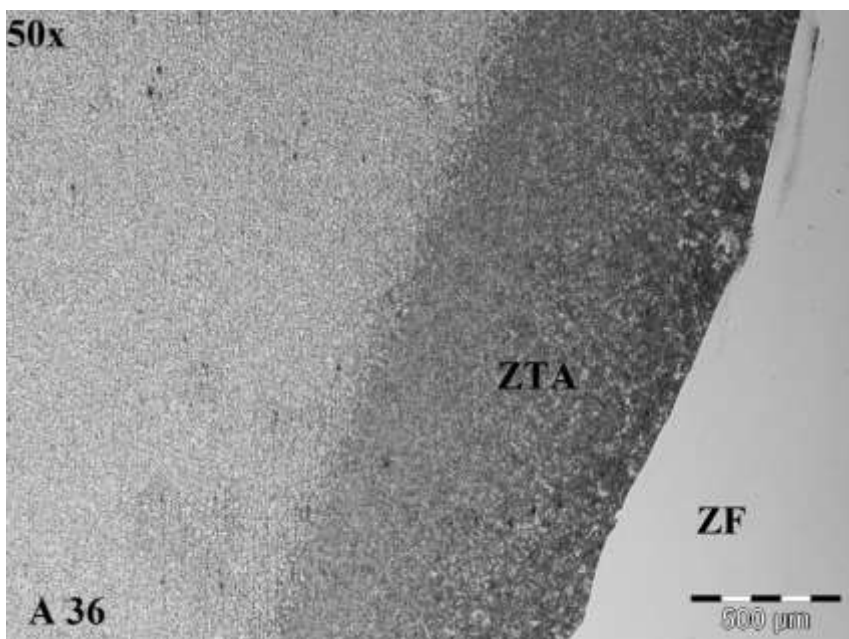


Figura 5 – Metalografia do Aço ASTM A36 e da zona fundida. Ataque com Nital 2%. Aumento de 50x. Amostra 1(arame biestabilizado).

Na figura 5 podemos observar a zona termicamente afetada (ZTA) e o metal base do aço carbono ASTM A36. É possível observar como a zona fundida (ZF) não foi atacada pelo nital.

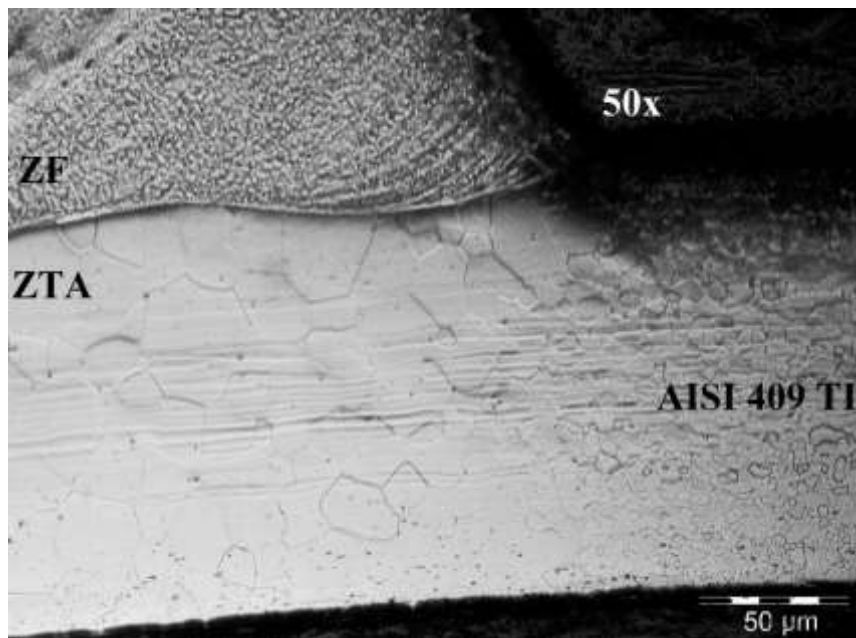


Figura 6 – Metalografia do Aço Inox AISI 409 e da ZF. Ataque com Ácido oxálico 10%. Aumento de 50x. Amostra 1(arame biestabilizado).

Na figura 6 é possível observar a zona fundida na região mais próxima ao aço inoxidável, a ZTA e o metal base do aço inoxidável AISI 409 Ti. Pode-se observar a diferença de tamanho entre os grãos da ZTA e do metal base do aço inox. A ZTA apresenta um aumento no tamanho dos grãos do aço inoxidável.



Figura 7 – Metalografia do metal base do Aço ASTM A36. Ataque com Nital 2%. Aumento de 500x. Amostra 1.

A figura 7 mostra o aço A36 na região não afetada pela solda. É possível ver como o aço, longe do cordão de solda, não foi afetado pela temperatura, pois a micrografia é composta de perlita e ferrita.

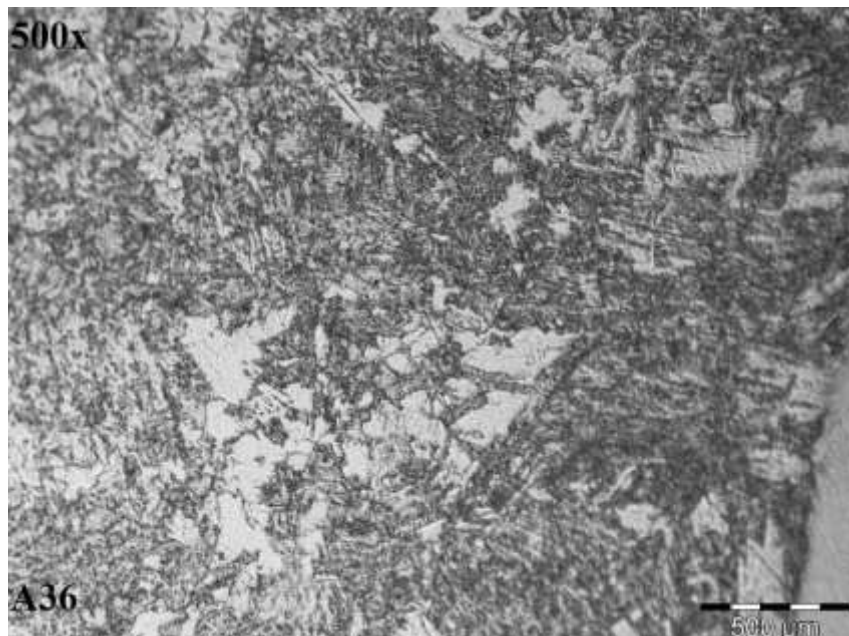


Figura 8 – Metalografia da ZTA do Aço Carbono ASTM A36. Ataque com Nital 2%. Aumento de 500x. Amostra 1.

A figura 8 mostra a zona termicamente afetada (ZTA) pela solda do aço A36. É possível observar como o aço em contato com a solda foi afetado pois a micrografia é composta de perlita, ferrita acicular e, possivelmente martensita. Para confirmar a presença de martensita seria necessário fazer outro ataque com um reagente específico ou fazer um ensaio de microdureza que não foram realizados nesse trabalho. Também é possível observar o aumento do tamanho de grão ao comparar com a figura 7.

As micrografias das regiões do metal base e da ZTA, das figuras 6 e 7, são compatíveis com as mesmas regiões da amostra 2.

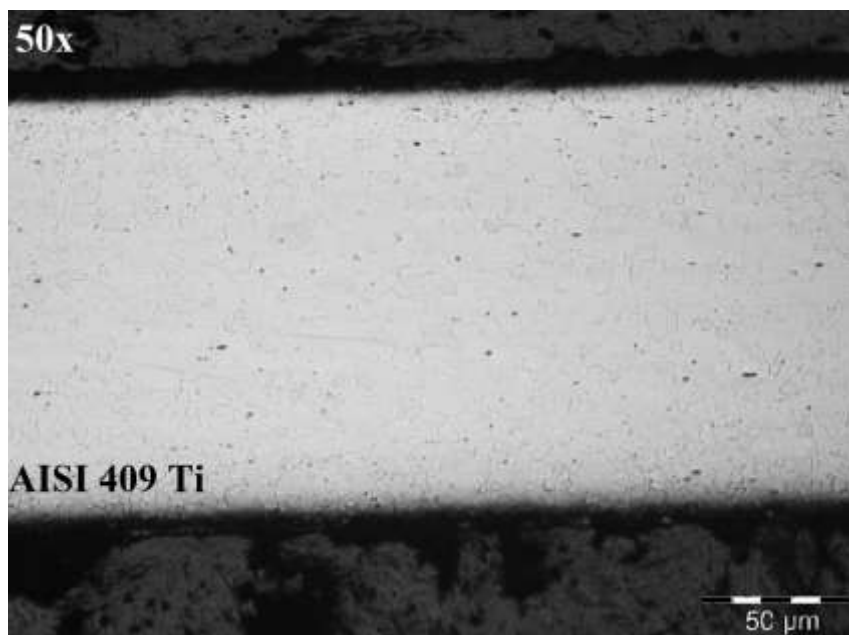


Figura 9 – Metalografia do Aço Inox AISI 409, metal base.. Ataque com Ácido oxálico 10%. Aumento de 50x. Amostra 1 (arame biestabilizado).

Na figura 9 é possível observar o metal base do aço inox AISI 409 Ti, ou seja, onde o metal não foi alterado pela solda. Nessa região é possível observar grão refinados e isentos de precipitados ou valas nos contornos de grão.



Figura 10 – Metalografia da ZTA do Aço Inox AISI 409. Ataque com Ácido Oxálico 10%. Aumento de 200x. Amostra 1(arame biestabilizado).

A figura 10 mostra a zona termicamente afetada (ZTA) do aço inoxidável. Está é a região mais próxima da solda, onde é possível perceber o aumento do tamanho do grão ferrítico quando comparados com os grãos da figura 9.

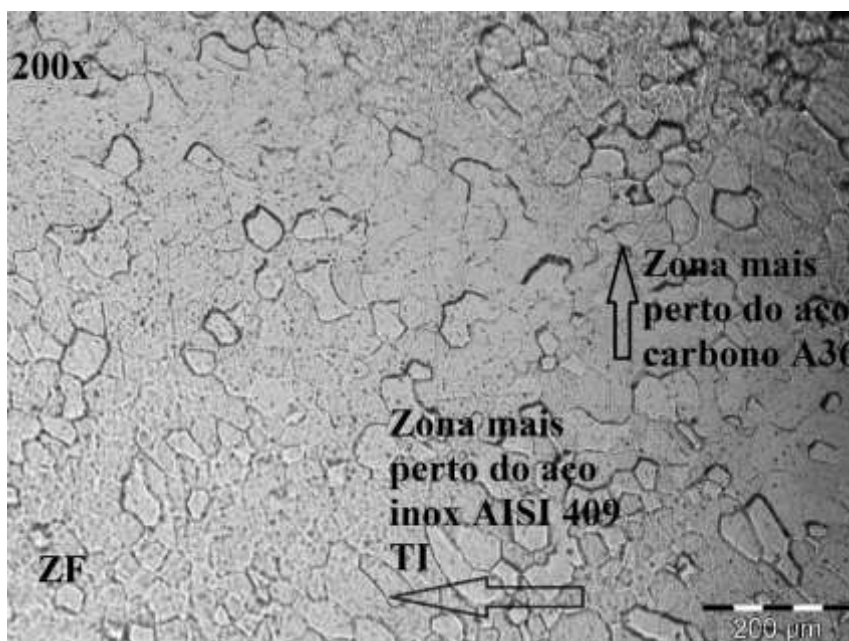


Figura 11 – Metalografia da ZF do Aço Inox AISI 409. Ataque com Ácido oxálico 10%. Aumento de 200x. Amostra (arame biestabilizado)1.

Na figura 11 podemos observar a ZF da amostra 1, que foi soldada com arame biestabilizado. Além dos grãos refinados, podemos observar que a região mais próxima do aço carbono A36 apresenta grãos valetados, já os grãos mais próximos do aço inox AISI 409 apresentam-se em degraus. Isso indica que os grãos mais próximos do aço carbono estão mais suscetíveis à corrosão intergranular mesmo com a adição de nióbio, já que os teores mais elevados de carbono presentes na região devem favorecer a precipitação de carbonetos de cromo.

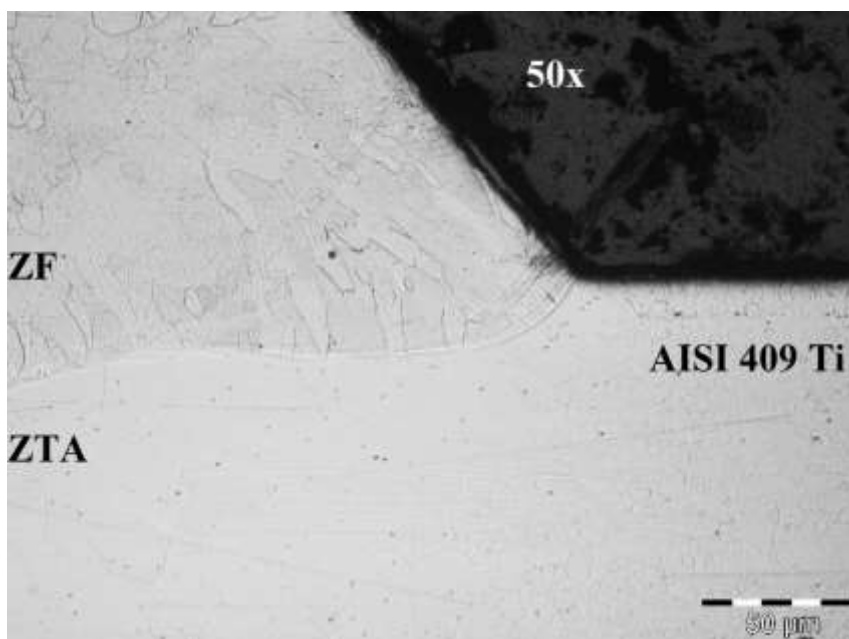


Figura 12 – Metalografia do Aço Inox AISI 409 e ZF. Ataque com Ácido oxálico 10%. Aumento de 50x. Amostra 2(arame monoestabilizado).

Na figura 12 podemos observar tanto a ZF quanto a ZTA e o metal base do aço inox AISI 409. É possível notar que os grãos da ZF e da ZTA são maiores na amostra 2 (figura 12), em que a solda foi realizada com arame monoestabilizado, quando comparada com a amostra 1 (figura 6), em que a solda foi realizada com arame biestabilizado.

Conclusões

Pode-se concluir que a junta soldada com arame biestabilizado, tanto na zona fundida quanto na zona termicamente afetada apresentou grãos menores quando comparados aos grãos da junta soldada com arame monoestabilizado.

A amostra soldada com arame biestabilizado apresenta maior precipitação em contornos de grão, por outro lado, mesmo os grãos mais valetados não estão formando ditches.

A região da ZF mais próxima ao aço A36 apresentou grãos mais valetados do que a região próxima ao aço inoxidável AISI 409 e, portanto, mais suscetíveis à corrosão intergranular mesmo com a adição de nióbio. Possivelmente, os teores mais elevados de carbono presentes na região possam ter favorecido a precipitação de carbonetos de cromo.

Referências Bibliográficas

ASTM E3 – 11 Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens.36

ASTM A763 – 14 - Standard Practices for Detecting Susceptibility to Intergranular Attack in Ferritic Stainless Steels.

CAMPBELL, R. D. Ferritic Stainless steel Welding Metallurgy. Key Engineering Materials, v. 69 & 70, p 167-216, 1992.

FARIA, R. A. Efeito dos elementos Ti e Nb no comportamento em fadiga de aços inoxidáveis ferríticos utilizados no sistema de exaustão de veículos automotores. 2006. 245f. Doutorado em Engenharia de Materiais – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2006.

Serna-Giraldo, Carlos. Resistência à corrosão intergranular do aço inoxidável ferrítico UNS S43000: avaliação por método de reativação eletroquímica, efeito de tratamento isotérmico e mecanismo de sensibilização. 2006. Doutorado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

V.S. Moura, L.D. Lima, J.M. Pardal, A.Y. Kina, R.R.A. Corte, S.S.M. Tavares. Influence of microstructure on the corrosion resistance of the duplex stainless steel UNS S31803, Materials Characterization 59 (8), 1127-1132, 2007.

William D. Callister, Jr., David G. Rethwisch. Ciência e engenharia de materiais uma introdução, 9ª edição, 2016. LTC