

CONEM 2016
CONGRESSO NACIONAL DE
ENGENHARIA MECÂNICA

21-25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

AVALIAÇÃO DA SOLDAGEM TIG AUTOGÊNA SOBRE AS CARACTERÍSTICAS DIMENSIONAIS DA SOLDA DO AÇO AISI 304L

Lívia Henriques de Souza, livia.engmec@gmail.com¹

Carlos Roberto Xavier, xavier@metal.eeimvr.uff.br²

Neil de Medeiros, neil@metal.eeimvr.uff.br¹

Célio de Jesus Marcelo, celiomarcelo@ig.com.br¹

Luciano Pessanha Moreira, luciano.moreira@metal.eeimvr.uff.br¹

¹Universidade Federal Fluminense, Av. dos Trabalhadores, 420 - Vila Santa Cecília, Volta Redonda - RJ

²UniFOA - Centro Universitário de Volta Redonda RJ, Av. Paulo Erlei Alves Abrantes, 1325 - Três Poços, Volta Redonda - RJ, 27240-560

Resumo: Neste trabalho foram realizadas soldagens a arco pelo processo TIG (Tungsten Inert Gas), afim de entender a influência dos parâmetros de soldagem (corrente, tensão, velocidade, tamanho do arco, tipo de eletrodo, diâmetro do eletrodo e ângulo da ponta do eletrodo) sobre as características dimensionais da solda de chapas de aço inoxidável austenítico AISI 304L. As soldagens destas chapas, com dimensões em mm são definidas por 150 (comprimento) x 30 (largura) x 6 (espessura), foram realizadas em um único passe sem deposição de metal de adição. De modo a proteger a poça de fusão, foi proposta a utilização de um gás composto de 98% de argônio e 2% de oxigênio, na vazão de 17 l/min. Optou-se por obter uma maior penetração adotando-se a máxima corrente permitida para o material sem que houvesse perfuração do mesmo, e desta forma foram testadas correntes de 100 A até 380 A, que é a corrente máxima permitida pelo equipamento. Os resultados foram analisados utilizando comprimentos de arco de 1,5 mm e 0,5 mm. O ângulo da ponta do eletrodo foi variado de 30° a 90°. Foram utilizados dois tipos de eletrodo na soldagem, o eletrodo de Tungstênio puro e o eletrodo de Tungstênio com Tório, e foram testados eletrodos com diâmetros de 3/32" e 1/8". A partir dos experimentos realizados, foi possível perceber que os melhores resultados foram obtidos a pelas seguintes condições: (1) corrente de 380 A, que gerou uma tensão de 16 V; (2) velocidade de 3,51 mm/s; (3) tamanho do arco de 0,5 mm; utilizando um eletrodo de Tungstênio com Tório com diâmetro de 1/8" e ângulo de ponta de 90° e (4) aporte térmico gerado pela soldagem de 1,474 kJ/mm. Nestas condições, a solda apresenta uma grande profundidade, sem perfurar a chapa. Tomando-se como base o aporte máximo de 1,474 kJ/mm, foram definidos outros dois aportes: um intermediário (1,128 kJ/mm) e um baixo (0,696 kJ/mm) para que fosse possível entender a influência do aporte térmico nas transformações microestruturais e perfil do cordão de solda na soldagem TIG dos aços inoxidáveis austeníticos AISI 304L. Com isso, foi possível observar que com o aumento do aporte térmico maior a largura e profundidade do cordão de solda, a extensão da ZTA e o tamanho de grão austenítico. Foi observado também que a microestrutura obtida é compatível com a literatura.

Palavras-chave: Aço AISI 304L, Soldagem TIG Autógena, Parâmetros de Soldagem, Microestrutura.

1. INTRODUÇÃO

Os aços inoxidáveis austeníticos têm sido amplamente utilizados graças às suas excelentes propriedades mecânicas. Estes aços são utilizados na indústria nuclear, química, petroquímica, farmacêutica, alimentícia, de biotecnologia, e em diversos outros casos em que boa resistência à corrosão, ductilidade, tenacidade, soldabilidade, resistência mecânica em temperaturas elevadas e ótimas características de fabricação são necessárias. Devido à presença de baixo teor de carbono, este aço inoxidável está livre da precipitação de carbonetos de cromo durante a soldagem. Também foi relatado que o AISI 304 L é praticamente imune a formação de fase sigma, o que o torna adequado para operar mesmo em serviços de alta temperatura.

A maioria dos fabricantes preferem o AISI 304L devido à sua excelente soldabilidade e menos problemas metalúrgicos devido às técnicas de soldagem por fusão. O aporte térmico é um dos fatores que mais afetam a qualidade das peças soldadas. Muitos pesquisadores recomendam que a soldagem do AISI 304L deva ser realizada utilizando-se um aporte térmico adequado para evitar deformações na soldagem assim como efeitos metalúrgicos indesejados.

Giridharan et al. (2000) relataram que o aporte térmico tem uma influência significativa na geometria do cordão de solda, nas propriedades mecânicas, nas características metalúrgicas e na corrosão das soldas. Conforme recomendação de Martin (2014), o máximo aporte térmico que pode ser empregado para soldar o aço AISI 304L não deve ultrapassar 1,5 kJ/mm. É também reportado que as soldas bem sucedidas são geralmente quantificadas pela obtenção de uma maior penetração e menor largura do cordão de solda. Portanto, é importante controlar todos os parâmetros de soldagem de forma a obter esta configuração, sem prejudicar as propriedades mecânicas e metalúrgicas da solda.

Um dos objetivos deste trabalho é entender a influência dos parâmetros de soldagem (corrente, tensão, velocidade, tamanho do arco, tipo de eletrodo, diâmetro do eletrodo e ângulo da ponta do eletrodo) sobre as características dimensionais da solda de chapas de aço inoxidável austenítico AISI 304L. Como um objetivo específico, analisar a influência do aporte térmico nas transformações microestruturais e no perfil do cordão de solda na soldagem TIG destes aços.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

No presente trabalho, foram utilizadas chapas de aço inoxidável austenítico AISI 304L com espessura nominal de 6 mm disponibilizadas pela APERAM South America. A Tab. 1 apresenta as faixas de composição química dessas chapas.

Tabela 1: Faixas de composição química do aço AISI 304L fornecida pela APERAM (% de peso).

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	Al
0,0192	1,2686	0,377	0,0352	0,0026	18,0722	8,0082	0,0958	0,0032
Cu	Co	V	Nb	Pb	B	Ti	Sn	W
0,1557	0,1712	0,0802	0,0056	0,001	0,0006	0,006	0,0062	0,0197

2.1. Soldagem TIG

Neste trabalho foi empregado o processo de soldagem TIG (Tungsten Inert Gas) utilizando o equipamento de soldagem MigPulse 4001 DP do fabricante Eutectic Castolin. Com o objetivo de controlar com maior precisão a velocidade de soldagem durante o processo, a tocha de soldagem foi acoplada a um carro móvel, mostrada na Fig. 1, que tem sua velocidade controlada por um inversor de frequência.

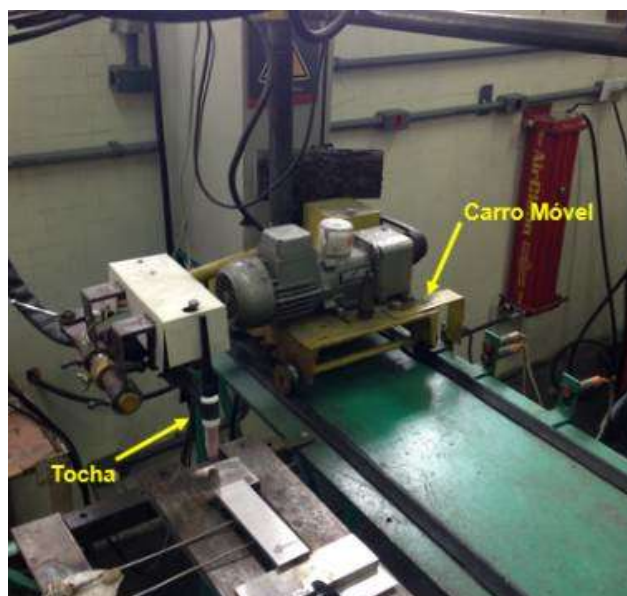


Figura 1: Tocha de soldagem TIG acoplada ao carro móvel.

2.1.1. Características dimensionais da solda

Tendo em vista o objetivo principal desta etapa do trabalho, que é entender a influência da soldagem TIG autógena, mais especificamente dos parâmetros de soldagem sobre as características dimensionais das soldas do aço AISI 304L, foram conduzidos diversos experimentos variando-se os seguintes parâmetros de soldagem: corrente, tensão, velocidade, tamanho do arco, tipo de eletrodo, diâmetro do eletrodo e ângulo da ponta do eletrodo. Estes parâmetros estão definidos na Tab. 2. A partir destes experimentos foi possível definir os parâmetros de soldagem que apresentaram os melhores resultados.

A soldagem das chapas de aço AISI 304L, cujas dimensões são 150 mm (comprimento) x 30 mm (largura) x 6 mm (espessura), foi realizada em um único passe sem deposição de metal de adição, formando um cordão com extensão média de 110 mm ao longo do comprimento da chapa, conforme esquematizado na Fig. 2. A fim de proteger a poça de fusão, foi utilizado um gás de proteção composto de 98% de argônio e 2% de oxigênio, na vazão de 17 l/min.



Figura 2: Exemplo do cordão de solda sobre chapa de aço inoxidável austenítico AISI 304L.

Tabela 2: Parâmetros de soldagem dos experimentos.

Exp. No.	Velocidade (mm/s)	Corrente (A)	Tensão (V)	Arco (mm)	Eletrodo	Diâmetro eletrodo (")	Ângulo de ponta (°)	Aporte (kJ/mm)
E1006815	4,46	100	11,0	1,5	Tungstênio	3/32	30	0,210
E2006815	4,46	200	14,8	1,5		3/32	30	0,565
E2006805	4,46	200	14,6	0,5		3/32	30	0,557
E2003405	2,30	200	14,6	0,5		3/32	30	1,077
E3005305	3,51	300	16,7	0,5		1/8	70	1,215
E3803605	2,43	380	16,0	0,5		1/8	70	2,126
E3803905	2,62	380	16,0	0,5		1/8	70	1,972
E3804205	2,81	380	16,0	0,5		1/8	70	1,839
E3805305	3,51	380	16,4	0,5		1/8	70	1,511
E3804605	3,06	380	16,2	0,5		1/8	70	1,708
E3804505	3,00	380	16,0	0,5		1/8	70	1,723
E38045051	3,00	380	16,0	0,5	Tungstênio com Tório	1/8	90	1,723
E3805005	3,32	380	16,0	0,5		1/8	90	1,558
E3805305	3,51	380	16,0	0,5		1/8	90	1,474

O equipamento utilizado para realizar a soldagem das chapas é um equipamento sinérgico e, desta forma, após estabelecer alguns parâmetros iniciais (corrente média, frequência, tamanho do arco, diâmetro do eletrodo e ângulo da ponta do eletrodo), a máquina ajusta automaticamente o valor da tensão média. O aporte térmico (HI) é calculado para cada experimento pela seguinte equação:

$$HI = \frac{\eta VI}{v} \quad (1)$$

na qual η representa o fator de rendimento devido a perdas térmicas (0,85 para TIG autógena), I é a corrente de soldagem (A), V é a tensão de soldagem (V), v é a velocidade de soldagem (mm/s) e HI é o aporte térmico (J/mm).

2.1.2. Medição das dimensões do cordão de solda

Para cada experimento realizado, as amostras foram cortadas, lixadas, polidas e atacadas com o reagente Beraha por aproximadamente 30 segundos, a fim de que o cordão de solda fosse revelado. O reagente Beraha é composto de 500 ml de água destilada, 100 ml de ácido clorídrico e 0,3 g de metabissulfeto de potássio. Desta forma, foi possível medir a largura e penetração de cada cordão de solda utilizando-se um medidor de perfis com precisão de 0,001 mm.

2.1.3. Aporte térmico na soldagem

A partir dos resultados dos experimentos de influência de parâmetros de soldagem na geometria do cordão de solda, foi possível identificar o máximo aporte térmico permitido para a chapa de aço AISI 304L com dimensões de 150 mm x 30 mm x 6 mm, sem que haja o vazamento do cordão, cujo valor foi de 1,474 kJ/mm. De posse deste aporte máximo, foram definidos outros dois aportes, a saber, um intermediário (1,128 kJ/mm) e um baixo (0,696 kJ/mm) para possibilitar a análise da influência do aporte térmico nas transformações microestruturais e perfil do cordão de solda na soldagem TIG dos aços inoxidáveis austeníticos AISI 304L. Estes experimentos foram realizados conforme a Tab. 3.

As soldagens destas três condições foram realizadas de forma similar aos experimentos de influência de parâmetros de soldagem na geometria do cordão de solda, ou seja, em um único passe, sem deposição de metal de adição, formando um cordão com extensão média de 110 mm ao longo do comprimento da chapa. De modo a proteger a poça de fusão, foi utilizado um gás de proteção composto de 98% de argônio e 2% de oxigênio, na vazão de 17 l/min. A largura das chapas foi modificada em relação aos experimentos iniciais, de 30 mm para 40 mm, devido a necessidade de dissipar melhor o calor e permitir a fixação de termopares para medição de temperatura durante a soldagem.

Tabela 3: Parâmetros de soldagem: aportes elevado, intermediário e baixo.

Frequência (Hz)	Velocidade (mm/s)	Corrente (A)	Tensão (V)	Arco (mm)	Eletrodo	Diâmetro eletrodo (")	Ângulo de ponta (°)	Aporte térmico (kJ/mm)
5,3	3,51	380	16	0,5	Tungstênio com Tório	1/8	90	1,474
7,0	4,58	380	16	0,5		1/8	90	1,128
11,5	7,43	380	16	0,5		1/8	90	0,696

2.1.4. Metalografia

Para a caracterização microestrutural, as amostras do material no estado como recebido, e as três amostras soldadas foram cortadas, lixadas, polidas e feito ataque eletrolítico utilizando uma solução composta de 60 ml de ácido nítrico e 40 ml de água destilada. As amostras foram imersas na solução por oito minutos, e manteve-se na fonte de alimentação uma voltagem de 1 V.

O tamanho de grão austenítico foi obtido pelo método de intercepto de Heyn (ou método linear) para materiais monofásicos. As medidas de tamanho de grão foram realizadas com auxílio do programa ImageJ, seguindo a metodologia descrita na norma ASTM E112. Para realizar a medição do tamanho de grão austenítico do metal base, foram traçadas 5 linhas verticais e 5 linhas horizontais sobre a micrografia. Posteriormente, os interceptos dos contornos de grão com as linhas foram contados e utilizando a Eq. 02 o valor do tamanho de grão austenítico médio foi obtido. Nesta equação, N representa o número de grãos interceptados, L_T é o comprimento total da linha (mm), M é o aumento utilizado na micrografia e L_3 é o diâmetro médio do grão (mm).

$$L_3 = \frac{L_T}{N M} \quad (2)$$

Foram realizadas medidas de microdureza Vickers no material no estado como recebido, e nas juntas soldadas com os aportes térmicos elevado, intermediário e baixo. O ensaio foi realizado com o auxílio de um microdurômetro utilizando uma carga de 0,2 kgf durante 20 s.

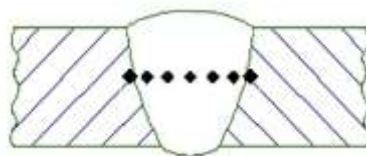


Figura 3: Representação esquemática dos locais de medição de microdureza Vickers.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Análise das características dimensionais da solda

A tabela abaixo resume os valores de profundidade e largura dos cordões de solda para cada um dos experimentos de influência de parâmetros de soldagem na geometria do cordão de solda realizados. Pode-se observar através dos experimentos realizados, que a variação dos parâmetros listados influencia diretamente no perfil do cordão de solda.

Tabela 4: Profundidade, largura e macrografia dos cordões de solda.

Experimento nº	Profundidade (mm)	Largura (mm)	Macrografia
E1006815	1,038	4,57	
E2006815	1,092	8,218	
E2006805	1,402	8,384	
E2003405	1,776	11,579	
E3005305	4,269	13,167	
E3805305	3,305	16,294	
E3804605	4,109	16,966	
E3804505	4,506	16,146	
E3805005	Penetração total, ultrapassando 1,4 mm	16,450	
E3805305	4,673	15,501	

A corrente de soldagem é um dos parâmetros com maior influência na penetração do cordão de solda. Quanto mais intensa a corrente de soldagem, maior a penetração e largura do cordão de solda, e maior o aporte térmico aplicado, conforme pode ser observado nos resultados apresentados. Operações com alta corrente são difíceis de controlar e, portanto, são adequadas somente para soldagens mecanizada, semiautomática ou automática. Como no caso deste projeto a soldagem é automática, optou-se por buscar uma penetração maior utilizando-se a máxima corrente permitida para o equipamento de soldagem, que é de 380 A. A partir de desta alta corrente aplicada, em conjunto com baixas velocidades de soldagem, em particular, para as condições dos experimentos E3803605, E3803905 e E3804205, E38045051, foram obtidas poças de fusão mais largas que, por sua vez, produziram buracos na chapa conforme mostra a Fig. 4. Como a velocidade de soldagem é proporcional a corrente de soldagem tem-se que correntes mais intensas requerem maiores velocidades. Logo, foram realizados experimentos adicionais aumentando-se a velocidade de soldagem, condições E3805305, E3804605, E3804505, E3805005 e E3805305 definidas na Tab. 2.



Figura 4: Poça de fusão muito larga, pingando e gerando um buraco na chapa.

O comprimento do arco elétrico deve ser o menor possível. Porém, se este for muito pequeno existe a possibilidade de inclusão de tungstênio na soldagem. Isto pode ocorrer caso o operador encoste a ponta do eletrodo na poça de fusão. Quanto menor o comprimento do arco, mais concentrado este será. Contudo, se o comprimento do arco for excessivo, este se distribuirá sobre uma grande área da peça a ser soldada, o que dificulta a fusão devido à queda na intensidade de corrente, além de permitir a entrada de ar atmosférico na poça de fusão, contaminando-a. Os experimentos foram feitos buscando-se o menor comprimento possível para este processo. Iniciou-se com um comprimento de arco de 1,5 mm e, em seguida, foram feitos experimentos com o comprimento de 0,5 mm, que se mostrou satisfatório.

Para suportar as correntes de maior intensidade, foi inserido um eletrodo de 1/8" uma vez que o diâmetro do eletrodo não consumível é proporcional a corrente de soldagem. O ângulo da ponta do eletrodo tem relação direta com a penetração do cordão de solda. Quanto mais agudo o ângulo da ponta do eletrodo maior será a penetração e menor a largura do cordão de solda. Por este motivo, foi decidido alterar o ângulo inicial de 30° para 70°, e por fim, para 90° por meio do esmerilhamento da ponta do eletrodo.

O tipo do eletrodo também exerce influência no perfil do cordão de solda. Para o eletrodo puro de Tungstênio, utilizado nos experimentos iniciais, as penetrações são menores do que quando utilizado o eletrodo de Tungstênio com Tório. Isso porque o Tório aumenta a qualidade de emissão de eletrodos no arco, o que proporciona facilidade para iniciar o arco e soldagens com altas correntes. Este tipo de eletrodo opera muito abaixo de sua temperatura de fusão, o que significa baixo desgaste e baixo risco de contaminação. Portanto, é o eletrodo ideal para soldagem de aços inoxidáveis. Deste modo, optou-se por utilizar o eletrodo de Tungstênio com Tório nas soldagens para fins de avaliação da influência do aporte térmico. Dentre os aportes obtidos para este tipo de eletrodo, para o experimento E38045051 (1,723 kJ/mm) ocorreu o vazamento da solda formando um buraco na chapa. Ainda, para o experimento E3805005 (1,558 kJ/mm) ocorreu penetração total com um vazamento da solda de 1,4 mm, e por fim, o experimento E3805305 (1,474 kJ/mm) resultou em uma penetração de 4,673 mm, que pode ser considerada como suficiente.

A partir dos resultados dos experimentos de influência de parâmetros de soldagem na geometria do cordão de solda, foi possível identificar o máximo aporte térmico permitido para o aço inoxidável austenítico AISI 304L com dimensões de 150 x 30 x 6 mm, sem que haja o vazamento do cordão, que é de 1,474 kJ/mm. De posse deste aporte máximo, foram definidos outros dois aportes, a saber, um intermediário (1,128 kJ/mm) e outro baixo (0,696 kJ/mm) para permitir o entendimento acerca da influência do aporte térmico nas transformações microestruturais e perfil do cordão de solda na soldagem TIG dos aços inoxidáveis austeníticos AISI 304L.

3.2. Influência do aporte térmico nas características da solda

A Fig. 5 mostra os ciclos térmicos medidos pelos termopares inseridos nas chapas soldadas com aportes térmicos elevado, intermediário e baixo. Como os termopares foram inseridos a 2/3 do comprimento da chapa em todas as chapas, os picos de temperatura são observados em tempos diferentes, pois ocorre variação de velocidade nos ensaios.

Pode-se observar primeiro que quanto maior o aporte térmico aplicado maior é a temperatura atingida pelos termopares. As taxas de resfriamento médias para os aportes elevado, intermediário e baixo são 4,95 °C/s, 5,41 °C/s e 16,79 °C/s, respectivamente. A taxa de resfriamento influencia diretamente na extensão da Zona Termicamente Afetada (ZTA), tamanho de grão e percentual de ferrita na ZTA. Por outro lado, a micrografia do aço inoxidável austenítico AISI 304L está mostrada na Fig. 6. O tamanho médio de grão austenítico no estado como recebido com um intervalo de confiança de 95% é de $30,3 \pm 0,2 \mu\text{m}$.

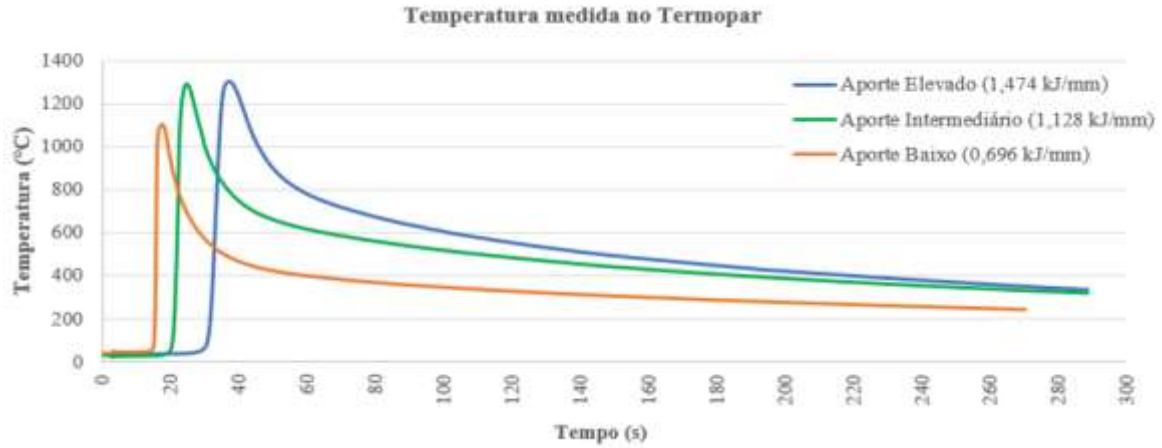


Figura 5: Ciclos térmicos obtidos durante a soldagem das chapas com aportes elevado, intermediário e baixo.

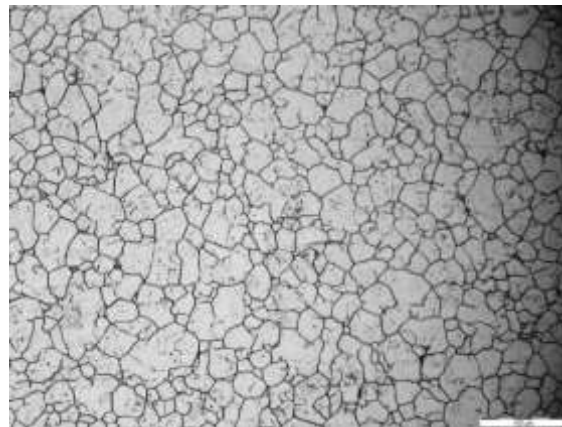
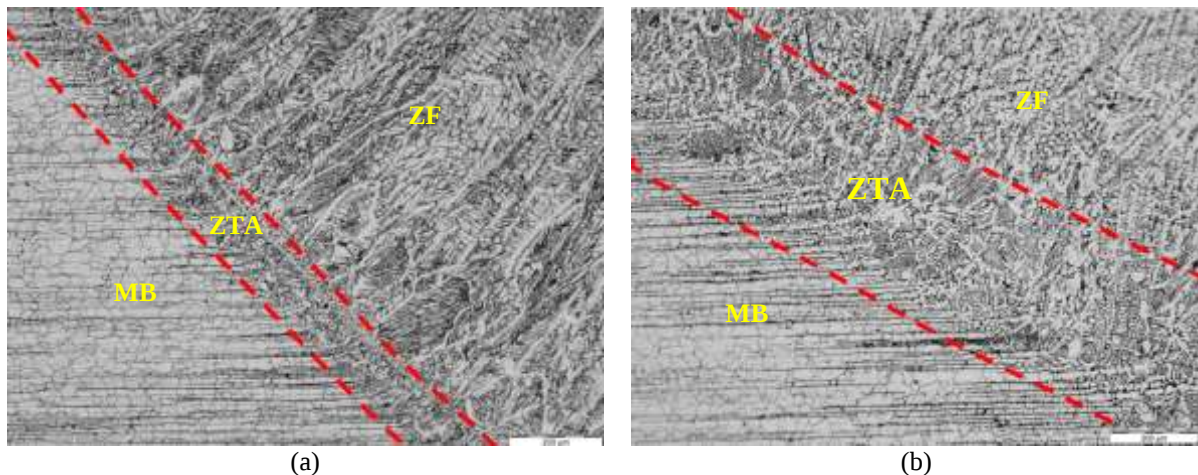
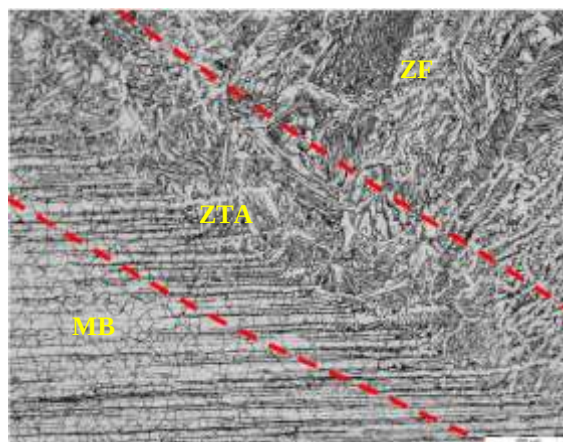


Figura 6: Microestrutura do AISI 304L no estado como recebido. Ataque eletrolítico, aumento 200x.

A Fig. 7 mostra as micrografias das chapas soldadas com os aportes térmicos baixo (0,696 kJ/mm), intermediário (1,128 kJ/mm) e elevado (1,474 kJ/mm). Com o aumento do aporte térmico, é possível observar o crescimento da extensão da ZTA assim como do tamanho de grão austenítico no Metal Base (MB). Pode-se observar também que a ZTA é formada de grão austeníticos com a presença de ferrita vermicular (FV).

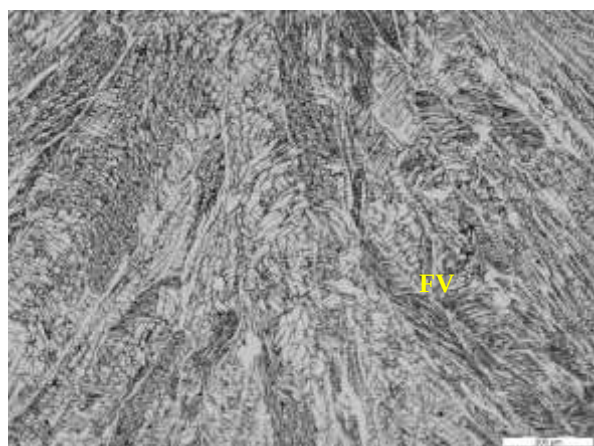




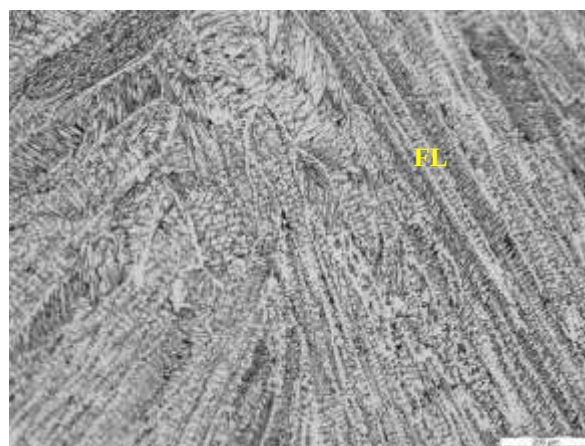
(c)

Figura 7: ZTA do aço inoxidável austenítico AISI 304L soldado com diferentes faixas de aportes térmicos no processo TIG autógeno. (a) E38011505 (b) E3807005 (c) E3805305. Ataque Eletrolítico, aumento 100X.

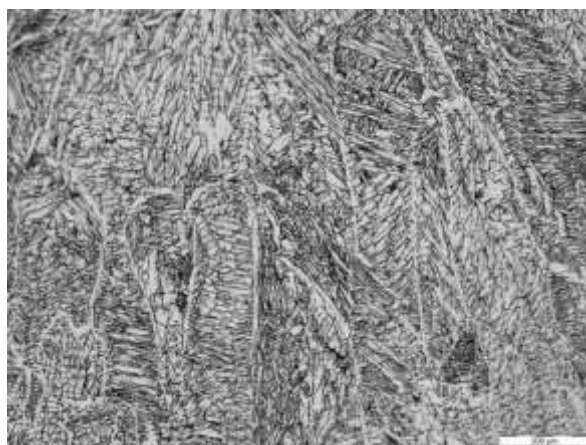
As micrografias da Zona Fundida (ZF) resultantes das condições de soldagem TIG autógena realizada com aportes térmicos baixo (0,696 kJ/mm), intermediário (1,128 kJ/mm) e elevado (1,474 kJ/mm) estão apresentadas na Fig. 8. Observa-se que a microestrutura é formada por dendritas de ferrita δ dispersas na matriz austenítica. De um modo geral, a ferrita δ exibe morfologia vermicular (em espinha) e é possível constatar também a presença de ferrita com morfologia laminar. Microestruturas similares foram encontradas por Yan (2010) e Ronqueti (2014).



(a)



(b)



(c)

Figura 8: ZF do aço inoxidável austenítico AISI 304L soldado com diferentes faixas de aportes térmicos no processo TIG autógeno. (a) E38011505 (b) E3807005 (c) E3805305. Ataque Eletrolítico, aumento 100X.

Os resultados de medidas de microdureza Vickers estão apresentados na Fig. 9. Em todos os casos analisados, ocorreu uma diminuição dos valores da microdureza Vickers na Zona Fundida (ZF) assim como na Zona Termicamente Afetada (ZTA) em comparação aos valores medidos no aço AISI 304L na condição como recebido. Isto é devido as

transformações microestruturais, de austenita para ferrita, e ao crescimento do tamanho médio dos grãos austeníticos. O valor médio de dureza obtido na ZF da chapa soldada com aporte elevado é menor do que com os aportes intermediário e baixo, acredita-se que seja em função do maior crescimento dos grãos para este aporte.

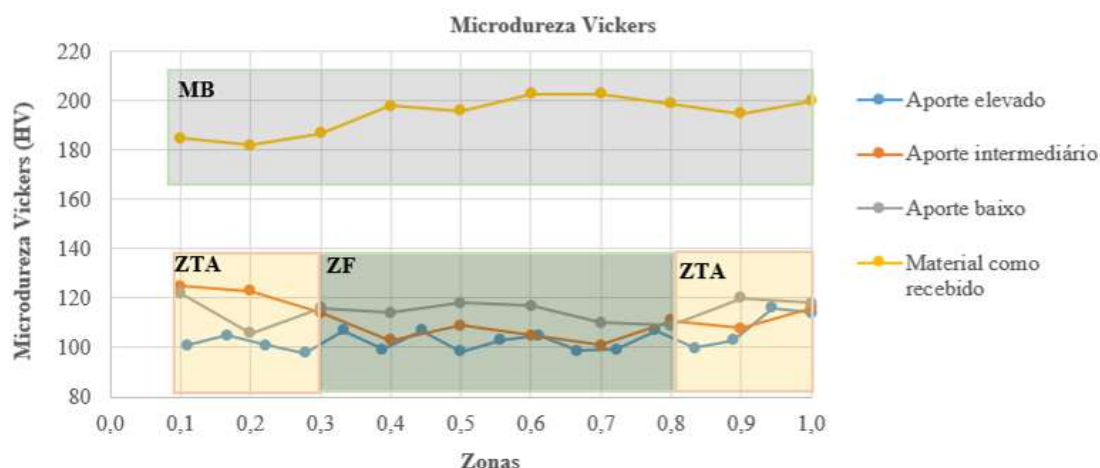


Figura 9: Valores de microdureza Vickers medidos no estado como recebido e nos cordões de solda das chapas de aço AISI 304L soldadas com aportes térmicos elevado, intermediário e baixo.

4. CONCLUSÕES

O presente estudo investigou a influência dos parâmetros de soldagem (corrente, tensão, velocidade, tamanho do arco, tipo de eletrodo, diâmetro do eletrodo e ângulo da ponta do eletrodo) sobre as características dimensionais da solda de chapa de aço inoxidável austenítico AISI 304L. Foi analisada também a influência do aporte térmico nas transformações microestruturais e perfil do cordão de solda na soldagem TIG. A partir das análises destes experimentos, é possível estabelecer as seguintes conclusões:

- 1) Com relação ao aspecto dimensional da solda, os melhores resultados foram obtidos a partir dos parâmetros definidos pelo experimento E3805305, cujo o aporte térmico gerado pela soldagem TIG é igual a 1,474 kJ/mm. Nestas condições, a solda apresenta uma grande profundidade, sem perfurar a chapa;
- 2) A corrente de soldagem é um dos parâmetros com maior influência na penetração do cordão de solda. Quanto mais intensa a corrente de soldagem, maior a penetração e largura do cordão de solda, e maior o aporte térmico aplicado;
- 3) Quanto maior o aporte térmico maior é a temperatura atingida nas chapas e, por conseguinte, maior é a largura e profundidade do cordão de solda assim como a extensão da ZTA e o tamanho de grão austenítico;
- 4) As microestruturas obtidas são compatíveis com trabalhos publicados na literatura, apresentando uma ZTA formada por grãos austeníticos crescidos e ferrita vermicular e uma ZF formada por dendritas de ferrita δ dispersas na matriz austenítica, na qual a ferrita δ exibe morfologias vermicular e laminar.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a FAPERJ e ao CNPq pelo apoio as pesquisas por meio de projetos PRONEM e PQ2 2015, respectivamente. LHS agradece a CAPES pela concessão de bolsas de Mestrado no âmbito do projeto CAPES/Eletronuclear.

6. REFERÊNCIAS

- Giridharan, P.K., Murugan, N., 2009, "Optimization of pulsed GTA welding process parameters for the welding of AISI 304L stainless steel sheets", Int J Adv Manuf Technol. 40:478–489.
- Kim, J. H., Park, W. S., Chun, M. S., Kim, J. J., Bae, J. H., Kim, M., Lee, J. M., 2012, "Effect of Pre-Straining on Low-Temperature Mechanical Behavior of AISI 304L", Materials Science And Engineering A, p. 50-57.
- Martin, L., 2014, "The Avesta welding manual- practice and products for stainless steel welding", Avesta welding AB, Sweden. www.kskct.cz/images/materialy/en/avesta/.pdf
- Ronqueti, L.A., 2014, "Efeito do Modo de Transferência Metálica sobre o Comportamento Térmico e as Transformações Metalúrgicas na Soldagem GMAW dos Aços Austeníticos AISI 304 e 316 Utilizados em Projetos de Instalações Nucleares", Originalmente apresentada como dissertação de mestrado, UFF – Universidade Federal Fluminense, Volta Redonda.
- Yan, J., Gao, M., Zeng, X., 2010, "Study on microstructure and mechanical proprieties of 304 stainless steel joints by TIG, laser and laser-TIG hybrid welding". Optics and Lasers in Engineering, p. 512 – 517.

7. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

AUTOGENOUS TIG WELDING ASSESSMENT ON THE DIMENSIONAL CHARACTERISTICS OF THE AISI 304L STEEL WELD

Lívia Henriques de Souza, livia.engmec@gmail.com¹

Carlos Roberto Xavier, xavier@metal.eeimvr.uff.br²

Neil de Medeiros, neil@metal.eeimvr.uff.br

Célio de Jesus Marcelo, celiomarcelo@ig.com.br¹

Luciano Pessanha Moreira, luciano.moreira@metal.eeimvr.uff.br¹

¹Universidade Federal Fluminense, Av. dos Trabalhadores, 420 - Vila Santa Cecília, Volta Redonda - RJ

²UniFOA - Centro Universitário de Volta Redonda RJ, Av. Paulo Erlei Alves Abrantes, 1325 - Três Poços, Volta Redonda - RJ, 27240-560

Abstract. In this work, some TIG welds were analyzed in order to understand the influence of welding parameters (current, voltage, speed, arc size, type of electrode, electrode diameter and tip angle electrode) on the dimensional characteristics of the welding austenitic stainless steel plate AISI 304L. The welds of these plates, with dimensions in mm defined as 150 (length) x 30 (width) x 6 (thickness) were performed in a single pass without filler metal deposition. In order to protect the weld pool, a mixture of 98% argon gas and 2% oxygen was adopted at a flow rate of 17 l/min. In order to achieve greater penetration, the maximum current welding equipment was used which is equal to 380 A. The results were analyzed using arc lengths of 1.5 mm and 0.5 mm. The electrode tip angle was varied from 30° to 90°. Two types of electrode were used, pure Tungsten electrode and the Torio Tungsten electrode, tested with diameters of 3/32 and 1/8". From these experiments, the best combination results were obtained by the following conditions: welding speed of 3.51 mm/s; arc size of 0.5 mm using a Torio Tungsten electrode, with a diameter of 1/8 " and a tip of 90°. The corresponding heat input generated by welding was 1.474 kJ / mm. Under these conditions, the weld bead showed the largest depth. Also, from low (0.696 kJ/mm) and intermediate (1,128 kJ/mm) heat inputs it was possible to understand the influence of heat input upon the microstructural changes and weld bead profile in TIG welding of austenitic stainless steel AISI 304L. The width and depth of the weld bead increase with the heat input as well as the extent of the TAZ and the austenite grain size. Finally, the resulting microstructure is in close agreement with the literature.

Keywords: AISI 304L, TIG Welding Autogenous, Welding Parameters, Microstructure.