

ANÁLISE DE SUPERFÍCIE DE JUNTA SOLDADA DE AÇO INOXIDÁVEL AISI 304*

Paulo Roberto da Silva¹

Caroline da Silva Terra²

Elivelton Alves Ferreira³

José Augusto Oliveira Huguenin⁴

Ladário da Silva⁴

Resumo

O presente trabalho tem por objetivo a análise de superfície de junta soldada de aço inoxidável AISI 304. A análise se concentrou na face da solda. O aço inoxidável AISI 304 possui grande aplicação em ambiente marinho, devido a sua elevada resistência a corrosão, sendo usualmente submetido à aplicação de normas que definem o ensaio de corrosão apropriado para a aplicação. A propriedade de resistência a corrosão é tão importante que pode ser utilizada para o monitoramento da vida útil do componente em operação, impactando fortemente nos custos de produção. A soldagem a arco elétrico introduz uma região com características diferentes daquelas do metal de base, podendo alterar significativamente as propriedades do material, assim sendo, torna-se extremamente relevante o estudo da junta soldada para obter informações que possam contribuir para prever o comportamento dessa junta durante a operação.

Após um controle sistemático de preparação do material para soldagem, definição dos parâmetros, técnicas, monitoramento e preparação metalográfica, foi possível realizar a análise da superfície da junta soldada, através do estudo de sua rugosidade em conjunto com análise de topografia. Desta forma foi possível estabelecer uma correlação entre a topografia, a rugosidade e as respectivas regiões modificadas durante o processo de soldagem.

Palavras-chave: Aço inoxidável; Soldagem; Rugosidade.

SURFACE ANALYSIS OF AISI 304 STAINLESS STEEL WELDED JOINT

Abstract

The present work aims to analyze the welded joint surface of a stainless steel AISI 304 sample. The analysis took place in the face of the weld. AISI 304 stainless steel has a great application in the marine environment. Its resistance to corrosion is usually analyzed using the norms that define the appropriate corrosion test for the application. The corrosion resistance property is so important that it can be used to monitor the life of the component in operation, greatly influencing production costs. Electric arc welding introduces a region with different characteristics from those of the base metal and can significantly alter the properties of the material, therefore, it is extremely relevant to study the weld joint to obtain information that may contribute to predict the behavior of this joint during operation.

After a systematic control of welding material preparation, definition of parameters, techniques, monitoring and metallographic preparation, it was possible to perform the weld joint surface analysis, through the study of its roughness in conjunction with topography analysis. In this way, it was possible to establish a correlation between topography, roughness and the respective modified regions during the welding process.

Keywords: Stainless steel; Welding; Roughness.

* Contribuição técnica ao 71º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 16º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, parte integrante da ABM Week, realizada de 26 a 30 de setembro de 2016, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

- ¹ *Engenheiro Metalúrgico, Mestrando em Engenharia Metalúrgica, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica (PPGEM), Escola de Engenharia Industrial Metalúrgica de Volta Redonda (EEIMVR), Universidade Federal Fluminense (UFF), Volta Redonda, RJ - Brasil.*
- ² *Engenheira Metalúrgica, Mestranda em Engenharia Metalúrgica, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica (PPGEM), Escola de Engenharia Industrial Metalúrgica de Volta Redonda (EEIMVR), Universidade Federal Fluminense (UFF), Volta Redonda, RJ - Brasil.*
- ³ *Doutor em Química, Professor, Departamento de Química, Instituto de Ciências Exatas (ICEx), UFF, Volta Redonda, RJ – Brasil.*
- ⁴ *Físico, Doutor em Física, Professor, ICEx, UFF, Volta Redonda, RJ – Brasil.*

1 INTRODUÇÃO

Aço inoxidável pode ser definido como uma liga de Fe-Cr, com teor de cromo acima de 12% [1]. Aços inoxidáveis austeníticos possuem basicamente, estrutura cristalina Cubica de Face Centrada com teor de cromo maior que 17% e o teor de carbono entre 0,1 e 1%. Não são magnéticos, não podem ser endurecidos por tratamento térmico e seu aumento de resistência é feito por solução sólida ou por encruamento. Possuem excelente tenacidade em baixa temperatura e não possuem temperatura de transição dúctil-frágil.

O aço inoxidável AISI 304 é uma liga de ferro-cromo-níquel, tipo 18-8 que possui elevada resistência a corrosão intergranular até a temperatura de 300°C [2].

Devido sua alta resistência a corrosão e boa soldabilidade são amplamente utilizados na indústria petrolífera, hospitalares, química, em peças que estejam em contato com substâncias corrosivas tais como soluções salinas, ácido nítrico [3].

O processo de soldagem TIG (*Tungsten Inert Gas*) é uma ferramenta muito utilizada pelos fabricantes para obter solda com elevada qualidade. A boa soldabilidade do aço AISI 304 associadas com procedimentos adequados e soldadores qualificados contribuem para obter solda que atendam especificações técnicas previamente definidas.

A energia de soldagem modifica a estrutura da região conhecida como ZTA (Zona Termicamente Afetada) e influencia no crescimento de grão epitaxial [4,5]. A energia de soldagem (1) pode ser calculada pela equação[6,7]:

$$E = \eta \cdot \frac{V \cdot I}{v} \quad (1)$$

Onde E é a energia de soldagem em J/mm; η é a eficiência do processo de soldagem; V é a tensão medida em volts; I é a intensidade de corrente medida em amperes; v é a velocidade medida em mm/s.

Com o desenvolvimento de novas tecnologias, novos métodos de análise de superfície estão sendo amplamente utilizados. Os métodos óticos em conjunto com a interferometria empregam o princípio da aplicação de luz para permitir a altura das irregularidades nas superfícies dos materiais tendo como resultado uma maior exatidão nas imagens e também nos valores obtidos nas medições.

Sabendo-se que a junta soldada produz uma região com descontinuidade nas propriedades dos componentes que estão sendo soldados, a microscopia confocal é mais uma tecnologia com possibilidade de obter informações que possam ajudar no entendimento das alterações de propriedades provenientes da soldagem. A microscopia confocal possui características muito importantes tais como: não é uma técnica destrutiva, e em nosso caso possibilita o armazenamento e exportação dos dados brutos topográficos para análise por qualquer software além do proprietário e permite a visualização de dados em 3 dimensões [8].

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para realização deste trabalho, foi utilizado uma chapa (vide figura 1), de procedência comercial, de aço inoxidável do tipo AISI 304 de 400mm de comprimento, 200mm de largura e 12,7mm de espessura, com tratamento térmico de solubilização de composição química conforme mostrado na tabela 1.



Figura 1. Chapa de aço inoxidável tipo AISI 304.

Tabela 1. Composição química da chapa

C (%)	Mn (%)	Si (%)	P (%)	S (%)	Cr (%)	Ni (%)	Mo (%)	Al (%)	Cu (%)	Outros ppm
0,037	1,10	0,410	0,035	0,001	17,60	8,00	0,116	0,002	0,157	470

Para análise da superfície da amostra e a correspondente correlação com as regiões da junta soldada, é imprescindível um monitoramento de todas as atividades desde o recebimento da chapa até a preparação da amostra.

A obtenção de duas seções para soldagem foi feita com corte a laser. A preparação do bisel com fresadora e o acabamento com esmerilhadeira. Os consumíveis de soldagem e procedimento de soldagem foram especificados tomando como base aqueles comumente utilizados em fabricação, e a soldagem TIG foi executada por soldador com habilidade. A energia de soldagem máxima foi de 852 J/mm. A figura 2 mostra a soldagem sendo realizada.



Figura 2. Soldagem sendo realizada por soldador experiente.

Após a soldagem, a chapa foi cortada em dimensões adequadas para obtenção das amostras como mostrado na figura 3.



Figura 3. Corte da junta soldada para obtenção das amostras.

Foram feitas marcações numéricas permanentes em todas as amostras para estabelecer uma boa descrição do trabalho e permitir a rastreabilidade das mesmas. A sequência de granulometria das lixas usadas para lixamento foram: 80, 120, 150, 220, 320, 400, 500, 600, 1000, 1200, 1500 e 2000 *mesh*. Para o polimento, as amostras (vide figura 4) foram polidas com pasta de diamante de 1 μm , tendo-se o cuidado em obter uma superfície plana para facilitar a interpretação na análise da microscopia confocal. Posteriormente as amostras foram atacadas com ácido oxálico.



Figura 4. Amostra antes do polimento.

Após a preparação das amostras foram realizadas avaliações da superfície em diversas regiões da junta soldada. Assim espera-se obter informações representativas da amostra e evitar caracterizações pontuais. Foram também analisadas diversas imagens topográficas que, em conjunto com as medidas de rugosidade, forneceram dados sobre as transições das regiões da junta soldada. As amostras foram analisadas no microscópio confocal interferométrico Leica DCM3D (vide exemplo da figura 5) com resolução em Z de aproximadamente 1 nm.

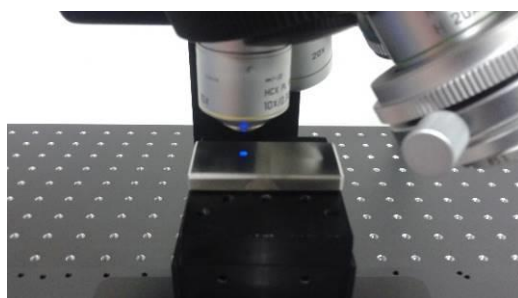


Figura 5. Exemplo da análise de amostra no microscópio confocal.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Analisando a imagem topográfica obtida para a amostra 1, é possível distinguir claramente a mudança de estrutura entre o metal de base e a ZTA da junta soldada. A figura 6 exibe com detalhe esta região. À esquerda, em azul, portanto em região mais baixa, vê-se a região do metal de base que foi fundido durante a soldagem; em

amarelo os grãos modificados e, à direita e em vermelho, a granulação do metal de base.

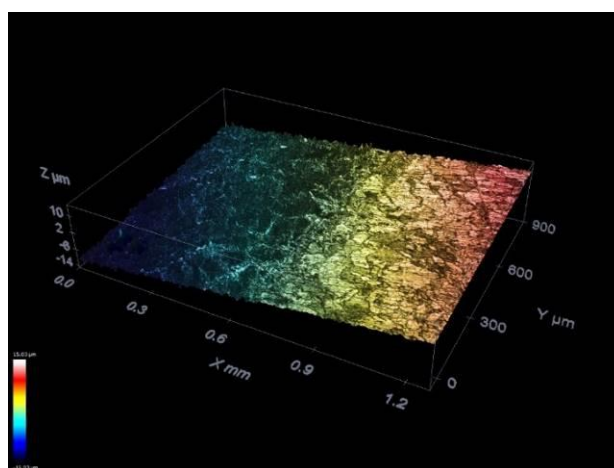


Figura 6. Topografia das regiões da solda. Em azul a região do metal de base que foi fundida durante a soldagem apresentando grãos colunares. Em vermelho, a região que não foi fundida, apresentando grãos característicos do metal de base.

Na figura 7, é possível observar um perfil típico da pequena região da amostra que atravessa da região do metal fundido até a região do metal de base. Percebe-se no lado esquerdo da imagem, até cerca de 0,7mm uma maior variação do perfil, típica da região do metal que foi fundido durante a soldagem onde podemos notar que a rugosidade é maior nessa região. À direita dessa região, nota-se uma menor variação no perfil de rugosidade, característica de região que não foram fundidas. Essa região apresentaram um perfil com menor valor da rugosidade. As rugosidades variam em cada região, sendo características das mesmas. A partir de um ponto de referência, foi possível também ter a localização da interface entre a zona fundida e a zona afetada pelo calor que nesse caso situa-se entre 0,7mm e 0,9mm.

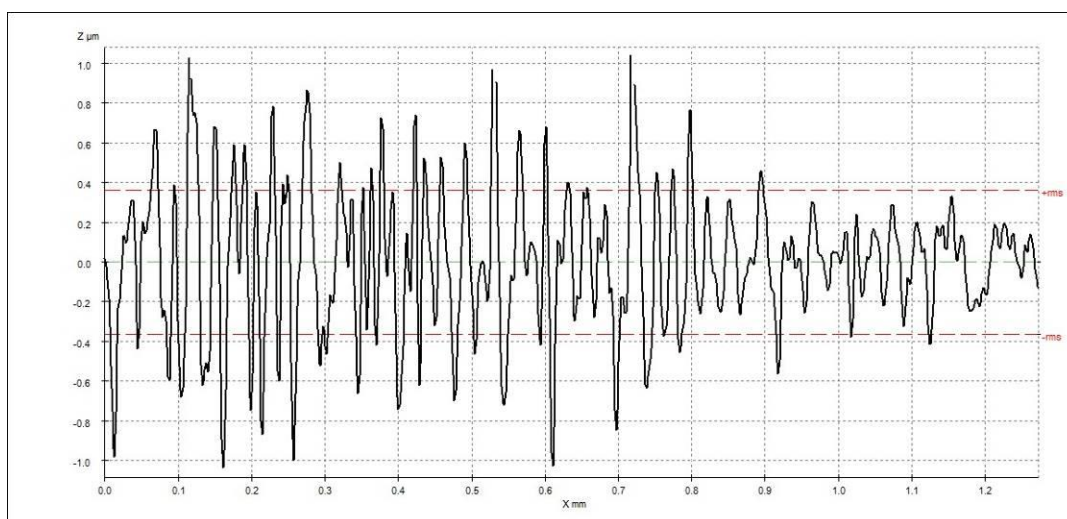


Figura 7. Gráfico da interface zona afetada pelo calor e metal de base.

Sobrepondo a imagem topográfica, exibida na figura 6, e os perfis da superfície (e a respectiva medida de rugosidade), como ilustrado na figura 7, foi possível definir características de cada região assim como um valor aproximado das dimensões das regiões modificadas que influenciam nas mudanças de propriedades da junta.

Conforme mostrado na tabela 2, é possível constatar os diferentes valores de rugosidade encontrados nas regiões analisadas.

Tabela 2. Comparação de valores de rugosidade das regiões analisadas

Item	Cor da região	Rugosidade	Observação
1	Azul	0,321µm	Região que foi fundida durante a soldagem, composta de grãos grosseiros.
2	Vermelho	0,170µm	Região que não foi fundida durante a soldagem, composta por tamanho de grãos normais e parcialmente modificados.
3	Azul + Vermelho	0,272µm	Rugosidade média envolvendo todas as regiões.

Iremos agora aumentar o número de amostras a fim de obtermos resultado significativo. Após essa etapa pretendemos atacar a superfície com solução ácida variando o tempo de ataque a fim de provocar corrosão e avaliar a evolução das diferentes regiões com a medida de rugosidade.

4 CONCLUSÃO

Amostras de juntas soldadas de aço AISI 304 foram preparadas, atacadas e analisadas pela técnica de microscopia confocal. Foi possível detectar mudanças de topografia entre as diferentes regiões como metal base, ZTA e junta soldada. Estudos mais detalhados das microestruturas ou propriedades formadas nas regiões da junta soldada e que interferem ou modificam a análise objetiva desse trabalho serão analisadas em uma próxima fase desse estudo.

Agradecimentos

Agradecemos à FINEP pela aquisição do Microscópio Confocal, à PROPPI-UFF pelo projeto FOPIN 2015, e ao Soldador Edivanio Gonçalves Oliveira que através de sua competência e habilidade realizou gratuitamente a soldagem da junta.

REFERÊNCIAS

- Colpaert H. Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns: Aços inoxidáveis. São Paulo: Blucher; 2008.
- Askeland DA, Wright WJ. Wendelin. Essentials of materials science and engineering. 3ª Ed. Stanford: Cengage Learning; 2014.
- Mesquita RC, Mercury JMR, Tanaka AA, Sousa RC. Use of direct current resistivity measurements to assess AISI 304 austenitic stainless steel sensitization. Materials Research. 2015;18(2): 341-346.
- Unnikrishnan R, Satish, Idury KSNS, Ismail TP, Bhadauria A, Shekhawat SK, Khatirkar RK, Sapate SG. Effect of heat input on the microstructure, residual stresses and corrosion resistance of 304L austenitic stainless steel weldments. Materials Characterization. 2014;93: 10-22.
- Wainer E, Brandi SD, Mello FD. Soldagem processos e metalurgia: Solidificação da poça de fusão. São Paulo: Blucher; 1992.

Scotti A, Reis RP, Liskevych O. Modelo descritivo do fluxo de calor em soldagem a arco visando o conceito de calor imposto efetivo. *Soldagem & Inspeção*. 2012;17(2): 166-172.

Stenbacka N. On arc efficiency in gas tungsten arc welding. *Soldagem & Inspeção*. 2013;18(4): 380-390.

Renzelli R, Bemporad E. Characterization of Thin Films Using High Definition Confocal Microscopy. 2014. [acesso em 15 de junho de 2017]. Disponível em <http://www.leica-microsystems.com/science-lab/characterization-of-thin-films-using-high-definition-confocal-microscopy>.