

CARACTERIZAÇÃO DE JUNTA SOLDADA DE PÁ DE GERADOR EÓLICO EM AÇO AISI 304L ¹

Marília Garcia Diniz²
Adriano Gatto Lemos de Souza³
Francesco dos Santos Marsico³
Éden Rodrigues Nunes Júnior³
Washington da Costa³

Resumo

Projetos de captação de energias alternativas utilizando geradores eólicos construídos com pás soldadas de um suposto aço AISI 304L (Cr 17-20%, Ni 10 – 12,5%, C 0,03 máx., Si 1,0 máx., Mn 2,0% máx., P 0,045% máx., S 0,03% máx.) pelo processo TIG apresentaram inúmeras falhas por fratura. O metal de base e juntas soldadas foram caracterizadas através de microscopia eletrônica de varredura (MEV) e seu sistema acoplado de espectroscopia por dispersão de energia (EDS), além de microscopia óptica. A análise semi-quantitativa revelou o metal de base contendo quantidades significativas de Cr, Ni e Si. Algumas juntas soldadas apresentaram teores significativos de Cr, Ti, Si, Ca, Al, Ni e Na e outras Cr, Ni, Mn, Si, além de vestígios de Al. Imagens revelaram a presença abundante de trincas. Constantes falhas por fratura foram muito provavelmente provocadas pela utilização do processo de soldagem por eletrodo revestido em locais de maior dificuldade de acesso para a soldagem pelo processo TIG. Isto pode explicar a heterogeneidade de composições químicas nas juntas soldadas e a presença de muitas descontinuidades estruturais, além da possibilidade do uso indevido de parâmetros de soldagem, tais como corrente ou tensão de soldagem excessiva e a corrente de ar durante o processo.

Palavras-chave: Caracterização metalúrgica; Soldagem TIG; Aço.

CHARACTERIZATION OF WELDED AREA OF SHOVEL OF AEOLIAN GENERATOR IN STEEL AISI 304L

Abstract

Projects of alternative energy use aeolian generator constructed with shovels made of steel AISI 304L (Cr 17-20%, Ni 10 – 12,5%, C 0,03 max., Si 1,0 max., Mn 2,0% max., P 0,045% max., S 0,03% max.) welded by TIG process. The base metal and the welded joints were characterized by techniques of scanning electron microscopy and its connected system of dispersive spectroscopy energy and optic microscopy. The semi-quantitative chemical analysis developed that the base metal contends significant amounts of Cr, Ni and Si. The welded joints presented heterogeneous chemical composition. Some presented significant tenor of Cr, Ti, Si, Ca, Al, Ni, Na and others tenor of Cr, Ni, Mn, Si and vestiges of Al. The joint images developed the presence of cracks with different sizes and the micrograph aspect developed austenitic grains in the castings regions of the welded joints. The failures by breakings were probably caused by the use of coated electrode process in places of difficulty access for TIG process.

Key words: Metallurgical characterization; TIG welding process; Steel.

¹ *Contribuição técnica ao 62º Congresso Anual da ABM – Internacional, 23 a 27 de julho de 2007, Vitória – ES, Brasil.*

² *Prof. Adjunto, Depto. Engenharia Mecânica, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, CEP 20550-013, Rio de Janeiro (RJ), Brasil.*

³ *Alunos do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, CEP 20550-013, Rio de Janeiro (RJ), Brasil.*

1 INTRODUÇÃO

A soldagem geralmente é realizada com aplicação localizada de calor e/ou deformação plástica. Como resultado, alterações das propriedades do material, nem sempre desejáveis ou aceitáveis, pode ocorrer na região da junta que inclui a zona de fusão (ZF) e a zona termicamente afetada (ZTA).

O estudo da metalurgia da soldagem concentra-se em três pontos: os parâmetros envolvidos na soldagem, a estrutura metalúrgica obtida e o conjunto de propriedades resultantes. Quando se varia a quantidade de energia fornecida a uma solda, para um dado processo, determinadas modificações ocorrem na estrutura da solda, na zona termicamente afetada e na peça de um modo geral. De acordo com a composição química da liga, dos materiais de solda, velocidades de aquecimento e resfriamento e outros fatores inerentes ao processo utilizado, podemos esperar que ocorram variações de microestrutura. Por outro lado, as propriedades mecânicas resultantes são funções desta microestrutura.⁽¹⁾

Projetos de captação de energias alternativas que atualmente são desenvolvidos no CEPER – Centro de Estudos e Pesquisas de Energias Renováveis da Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ - utilizam geradores eólicos que possuem pás soldadas de um suposto aço inoxidável de especificação AISI 304L e supostamente soldadas pelo processo TIG (Tungsten Inert Gás). As pás constantemente falhavam por fratura, causando prejuízos financeiros e riscos de acidentes mais graves.

Sabe-se que o processo TIG é indicado para aços inoxidáveis e com muitas vantagens, podendo-se citar a soldagem sem metal de adição, a fácil automatização, cordões lisos e com excelente acabamento, a não formação de escória e a utilização de gases inertes (sem fumaças ou vapores tóxicos).⁽²⁾

O objetivo deste trabalho é a caracterização metalúrgica de juntas soldadas de pás de geradores eólicos utilizados nos projetos de CEPER da UERJ⁽³⁾ através da utilização das técnicas de MEV, EDS e microscopia óptica com a finalidade de conhecer um pouco mais sobre os materiais supostamente usados na construção das pás dos geradores eólicos e na busca dos possíveis motivos causadores das falhas por fratura.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Foram obtidas 06 amostras metalográficas das juntas soldadas de pás de geradores eólicos de um suposto aço AISI 304L (Cr 17-20%, Ni 10 – 12,5%, C 0,03 máx., Si 1,0 máx., Mn 2,0% máx., P 0,045% máx., S 0,03% máx.).

Os corpos de prova foram embutidos em resina e em seguida foram lixados em lixadeira automática seguindo a seqüência de granulometrias das lixas 80, 220, 440 e 600. Ao final da etapa de lixamento seguiram-se polimentos com pasta de diamante nas granulometrias 1µm, 1/2 µm e 1/4 µm. As amostras foram então atacadas eletroliticamente com solução óxido de cromo VI.

A observação das microestruturas foi feita em um microscópio óptico com captura digital de imagem através de uma câmera digital e software apropriado.

As juntas soldadas e o metal de base foram analisados pela técnica de microscopia eletrônica de varredura (MEV, modelo ZEISS DSM 960, operando a 20kV e 80µA), onde também se determinou a composição química semi-quantitativa do material através da técnica de espectroscopia por dispersão de energia (EDS).

As amostras foram retiradas da pá do Aerogerador conforme Figuras 1 a 3.



Fonte: Foto da pá do Aerogerador sob investigação.

Figura 1 - Região das fraturas.



Fonte: Foto da região soldada: Base de sustentação da Pá.

Figura 2 – junta1 - Local das fraturas no cordão de solda e na ZTA.



Fonte: Foto da região soldada: acionamento de posição da Pá.

Figura 3 – junta 2 - Local onde não houve fraturas.

As Figuras de 1 até 3 mostram a região do objeto em investigação. Na Figura 1 tem-se uma visão parcial da pá utilizada e do local onde foi feita a investigação; a Figura 2 mostra a base de sustentação da pá que é supostamente constituída de tubos de aço AISI 304L soldados, local onde ocorreram as fraturas e onde incidia-se maior esforço mecânico. Os danos aconteciam em maior escala na ZTA. A Figura 3 apresenta a foto do lado oposto também supostamente constituído de tubos de aço AISI 304L soldados, local onde não ocorreram fraturas e porque se incidia lá menor esforço mecânico. O tubo de menor espessura soldado serve de acionador para angulação da Pá.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta a composição química do suposto aço utilizado na confecção das pás dos geradores eólicos. A Tabela 2 apresenta as propriedades mecânicas esperadas para o referido aço.

Tabela 1 – Composição Química (% máxima) do Metal de Base:

AÇO AISI	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni
304L	0,030	2,00	1,00	0,045	0,030	18,00	8,00

Fonte: *www.matweb.com*, consulta realizada em 26/01/2007.

Tabela 2 – Propriedades mecânicas do Metal de Base:

AÇO AISI	Estado	Resistência a tração N/mm ²	Limite de escoamento à 0,2% N/mm ²	Alongamento em 50,8mm percentual e≤0,38mm	Dureza Rockwell	Dobramento livre
304L	recozido	567,0	273,0	55	B 79	180

Fonte: *www.matweb.com*, consulta realizada em 26/01/2007.

As imagens apresentadas nas Figuras de 4 a 6 exemplificam os aspectos micrográficos obtidos, respectivamente, para o metal de base (longe das juntas soldadas), da região de transição entre a zona fundida e a zona termicamente afetada (ZTA) das juntas soldadas e finalmente, da interface entre a ZTA e o metal de base.



Figura 4 – Aspecto micrográfico do metal de base do aço utilizado nas pás dos aerogeradores. Ataque eletrolítico (óxido de cromo VI), aumento 380 X.

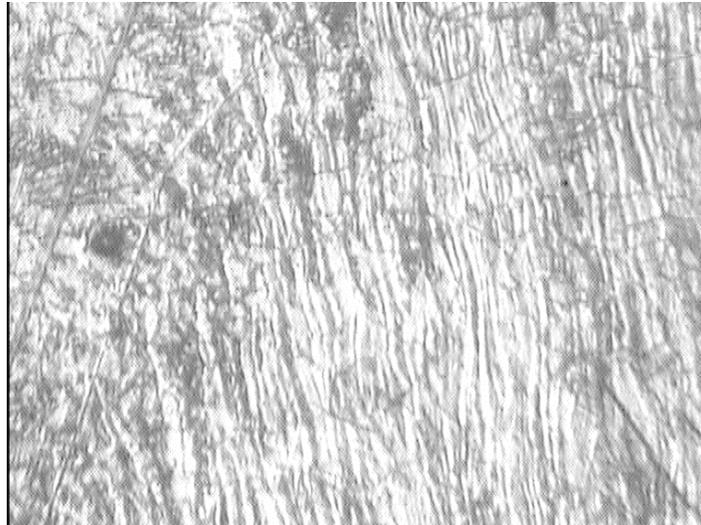


Figura 5 – Aspecto micrográfico que exemplifica a região de transição entre as zonas de fusão e as ZTA's das regiões soldadas das pás dos aerogeradores. A região de grãos mais alongados (colunares) na vertical foi à fusão durante a soldagem. . Ataque eletrolítico (óxido de cromo VI), aumento 640 X.

Os aspectos micrográficos obtidos para o metal de base foram o de grãos equiaxiais austeníticos (Figura 4), o que já era esperado, uma vez que o suposto aço utilizado na confecção das pás era suposto ser do tipo inoxidável austenítico AISI 304L. A suposição foi confirmada através dos resultados obtidos dos EDS de regiões diversas do metal de base, conforme é exemplificado através do espectro de energias características apresentado na Figura 7, onde notam-se os elementos em quantidades significativas Cr, Ni e Si.



Figura 6 – Aspecto micrográfico exemplificando os resultados obtidos para a interface entre ZTA's e o metal de base para as áreas soldadas das pás dos aerogeradores. . Ataque eletrolítico (óxido de cromo VI), aumento 380 X.

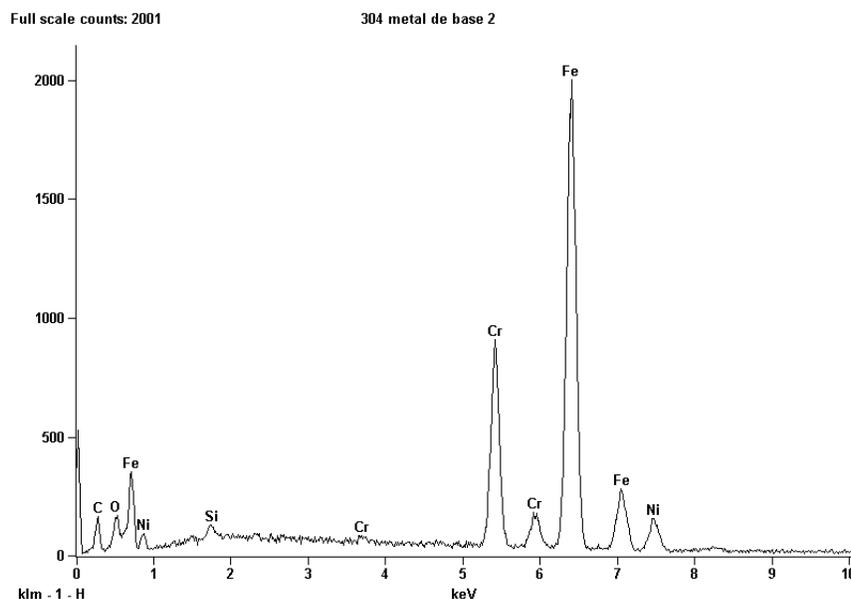


Figura 7 - Espectro de EDS típico do metal de base mostrando a presença dos elementos Fe, Cr e Ni, em picos significativamente elevados.

Imagens obtidas das regiões soldadas com o auxílio do MEV permitiram a observação da presença de trincas e microtrincas em quantidades significativas. As referidas trincas não eram observadas em exames macroscópicos. A Figura 8 exemplifica as trincas existentes nas regiões soldadas.

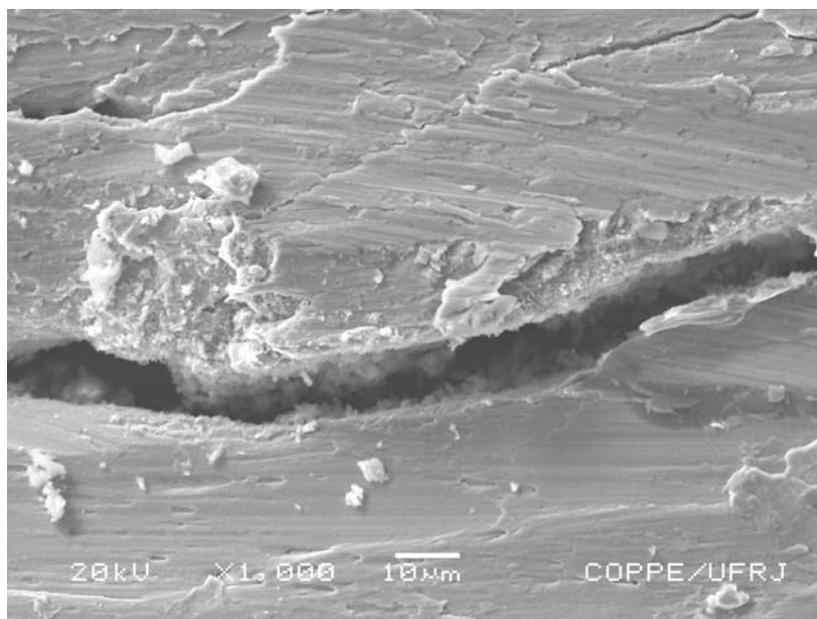


Figura 8 – Trinca em região de solda, elétrons secundários (SE).

Os espectros de EDS obtidos para as várias regiões soldadas mostraram uma significativa heterogeneidade nas suas composições químicas, o que muito provavelmente significa que algumas delas foram soldadas pelo processo TIG sem qualquer metal de adição (composição química na região de solda tal e qual a do metal

de base, isto é, Fe, Cr e Ni em quantidades significativas) e outras foram soldadas pela técnica de eletrodo revestido, pois foram identificadas nestas, as presenças de Ti, Si, Ca, Al, K e Na. Sabe-se que a empresa que realizou as soldas pode utilizar ambas as técnicas. ⁽³⁾

As Figuras 9, 10 e 11 apresentam exemplos dos espectros obtidos pelo EDS para regiões soldadas pelo TIG e pela provável técnica de eletrodo revestido, respectivamente.

A presença de inclusões de escória entre os passes de solda são concentradores de tensões severos e que podem ter facilitado a formação de trincas nas juntas soldadas com presenças significativas de Si, Ca, Al, K e Na. Além disso, a aplicação de localizada de calor de modo não adequado pode ter acarretado expansões e contrações no material, causando o aparecimento de tensões na região de solda do tipo TIG, que associados às mudanças microestruturais podem ter resultado em trincas que levaram o material a sempre falhar por fratura frágil. Notou-se que as trincas não eram detectáveis na região superior das soldas.

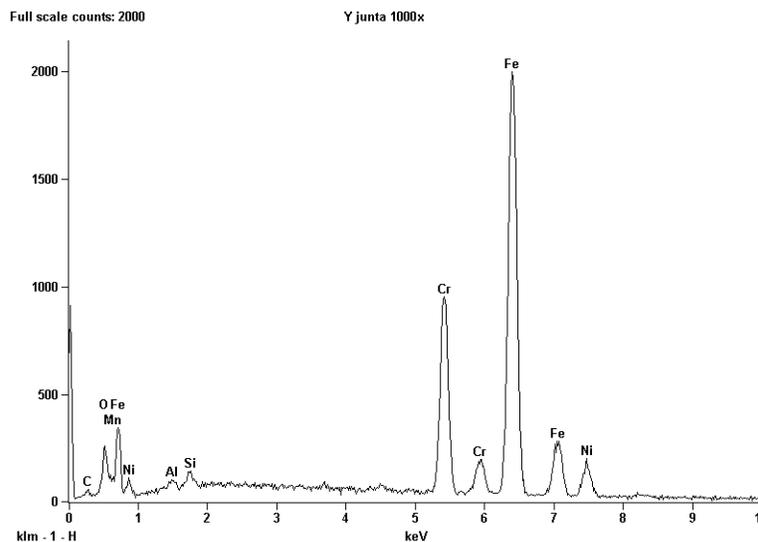


Figura 9 - Espectro de EDS típico de junta soldada (TIG) mostrando a presença dos elementos Fe, Cr e Ni.

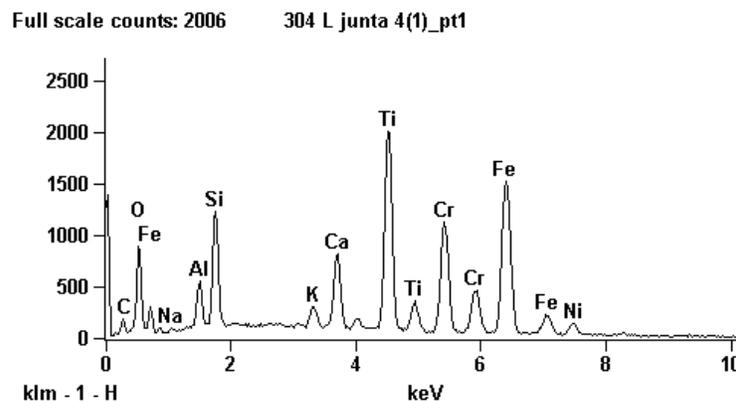


Figura 10 - Espectro de EDS típico de junta soldada (eletrodo revestido) mostrando a presença dos elementos Fe, Cr, Ti, Si, Ca, Ni, Na e K.

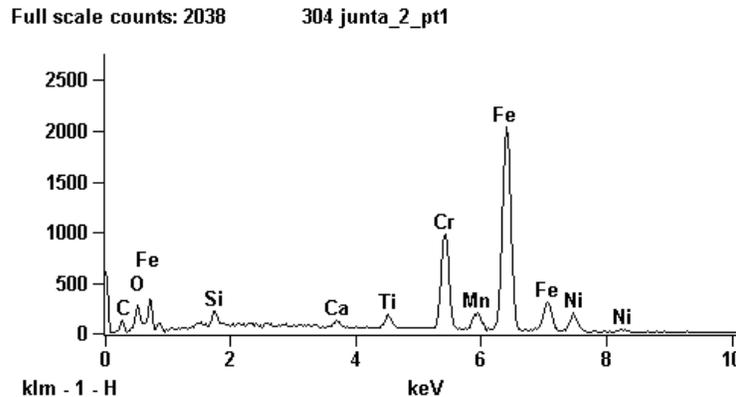


Figura 11 - Espectro de EDS típico de junta soldada (eletrodo revestido) mostrando a presença dos elementos Fe, Cr, Ni, Si, Ti e Ca.

4 CONCLUSÃO

Através dos resultados pode-se concluir que parâmetros e procedimentos inadequados foram adotados durante a soldagem do material, o que muito provavelmente podem ter gerado suas falhas por fratura através da propagação das trincas presentes nas regiões de solda. Grandes poças de fusão devem ser evitadas no processo de solda do aço inoxidável austenítico, para evitar o aparecimento de trincas de solidificação. Na região soldada por eletrodo revestido, a corrente e a tensão utilizadas foram provavelmente excessivas. Aços inoxidáveis devem ser soldados com tensões mais baixas do que os aços ao carbono de mesma espessura. A presença de inclusões de Ti, Ca, e etc também podem ter contribuído para a presença e propagação de trincas. Apesar de provavelmente ter sido gerado um elevado aporte térmico, devido à corrente elevada, este não provocou a sensitização⁽⁴⁾, pois não foram encontrados carbos de cromo precipitados nos contornos de grãos nos aspectos micrográficos obtidos. Isto provavelmente foi evitado pelo baixo teor de carbono presente no metal de base (<0,03%).

Agradecimentos

Os autores agradecem o microscopista Jonas de Britto da Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ.

REFERÊNCIAS

- 1 CASTRO, R.; CADENET, J. J., *Welding metallurgy of stainless and heat-resisting steels*, London: Cambridge University Press, 1975.
- 2 AMERICAN WELDING SOCIETY, *Welding Handbook: Welding Process*, 8 ed., V.2, Miami, AWS, 1991.
- 3 CEPER – Centro de Estudos e Pesquisas em Energias Renováveis, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Laboratório de Engenharia Mecânica, Rua Fonseca Teles, 121 / térreo, prédio anexo, São Cristóvão, Rio de Janeiro, Brasil.
- 4 METALS HANDBOOK, 8^a edição, vol. 7, ASM Handbook Committee American Society for Metals, Metals Park, Ohio, 44073, 1964.