

RELAÇÃO ENTRE A MICROESTRUTURA E A TENACIDADE DE METAIS DE SOLDA DE ELETRODOS DA CLASSE AWS E309

Carlos Eduardo Aguiar Lima Rodrigues.

Universidade Federal de Uberlândia, Campus Santa Mônica, Bloco 10, LAPROSOLDA/UFU. CEP 38000-400 Uberlândia - MG, ceduardo@mecanica.ufu.br

Jesualdo Pereira Farias.

Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici, Bloco 715, Laboratório de Engenharia de Soldagem – ENGESOLDA. CEP: 60455-760 Fortaleza-Ce. jpf@truenet-ce.com.br

Cleiton Carvalho Silva.

Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici, Bloco 715, Laboratório de Engenharia de Soldagem – ENGESOLDA. CEP: 60455-760 Fortaleza-Ce. cleitonufc@yahoo.com.br

Rodrigo Freitas Guimarães.

Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici, Bloco 715, Laboratório de Engenharia de Soldagem – ENGESOLDA. CEP: 60455-760 Fortaleza-Ce. engesold@dem.ufc.br

Resumo. No presente trabalho foram avaliados os teores e a morfologia da ferrita δ , e sua influência sobre a tenacidade do metal de solda de seis tipos de eletrodos revestidos da classe AWS E309 (309-16, 309L-15, 309L-16, 309Mo-16, 309MoL-15 e 309MoL-16), oriundos de três fabricantes disponíveis no mercado nacional. As soldagens foram realizadas na posição plana, em bancada com fixação, sobre chapas de aço ABNT 1020 usinadas e amanteigadas segundo a norma AWS A5.4-92. Os parâmetros de soldagem foram monitorados por sistema de aquisição de dados, e controlados pelo soldador dentro de faixas recomendadas pelos fabricantes. A avaliação foi feita através de exames metalográficos para determinação da morfologia da ferrita δ e seus teores foram avaliados através de um analisador de imagens do tipo OMNIMET. As amostras foram atacadas com o reagente de Murakami. A tenacidade foi avaliada pelo ensaio de resistência ao impacto Charpy-V. Concluiu-se que eletrodos elaborados de acordo com as mesmas exigências técnicas possuem significativas diferenças de teor e morfologia da ferrita δ , e que isso provocou significativas diferenças na tenacidade do metal de solda.

Palavras-Chave: Consumíveis da classe 309, Eletrodos Revestidos, Ferrita δ , Propriedades Mecânicas.

1. INTRODUÇÃO

Os aços inoxidáveis austeníticos constituem uma importante classe de materiais usados em engenharia, dada a sua excelente combinação entre propriedades mecânicas e resistência à corrosão, sendo amplamente utilizados em diversos componentes nas indústrias petrolíferas. Em serviço, estes materiais podem sofrer desgaste, necessitando muitas vezes de reparo por solda. Na soldagem utilizando eletrodos inoxidáveis austeníticos é possível obter no metal de solda, uma microestrutura formada por austenita e ferrita δ , cujo teor e morfologia dependem da composição química e dos parâmetros de soldagem (velocidade de resfriamento) (Delong et al, 1976; David, 1981). A variação da quantidade de ferrita δ e de sua morfologia podem ocasionar mudanças nas características mecânicas/metalúrgicas do metal de solda. Além de efeitos sobre a resistência à corrosão.

Vários trabalhos apresentam que a presença de ferrita δ contribui para uma melhor soldabilidade, evitando principalmente problemas de trincas de solidificação (Hull, 1967; Arata, 1976). Brooks et al (1991) cita que a presença de ferrita δ nos contornos de grãos da austenita atua como barreira ao movimento das trincas. Cielask et al (1982) entretanto, verificou em seu trabalho que o modo de solidificação influencia a suscetibilidade à trincas de solidificação. No modo de solidificação em austenita primária o metal de solda torna-se mais suscetível à trincas, quando comparado com o modo ferrita primária, devido a uma maior segregação de impurezas para os contornos de grãos.

David (1981), estudando a morfologia da ferrita δ , identificou quatro tipos de morfologias em metais de solda da classe 308, classificando-as como: vermicular, placas (lathy), acicular e globular. Segundo ele, as três primeiras morfologias estão relacionadas com o processo de solidificação e transformações no estado sólido. Já a quarta é obtida devido à instabilidade de qualquer uma das outras três morfologias, associada com efeitos térmicos. Lippold (1980) estudando o efeito da composição química sobre a morfologia da ferrita δ no metal de solda, definiu quatro regiões no diagrama pseudobinário, onde em cada uma é possível obter morfologias com características distintas. Ele também relata que variações localizadas da composição química da liga e da velocidade de resfriamento ao longo da solidificação, conduzem a variações no mecanismo de solidificação, resultando numa microestrutura com morfologia mista.

A norma AWS A5.4-92, que estabelece os critérios de avaliação de metais de solda inoxidável, utiliza o ensaios de tração para determinação das tensões de escoamento e ruptura e alongamento percentual do metal de solda, mas não faz menção às propriedades de resistência ao impacto. Esta última propriedade é de fundamental importância, principalmente em metais de solda utilizados em juntas dissimilares, onde muitas vezes os componentes soldados são submetidos a constantes choques, necessitando assim de boa tenacidade. Em outro trabalho (Henke, 2000) utilizando-se metal de solda da classe 309 na soldagem do aço inoxidável martensítico CA6NM, verificou-se um mecanismo fragilizante na região do metal de solda, que conferiu a este uma baixa tenacidade.

Existem hoje no mercado diversos tipos de eletrodos inoxidáveis austeníticos para inúmeras aplicações, devendo garantir boas propriedades mecânicas e metalúrgicas. Estes eletrodos são elaborados e fabricados segundo as mesmas normas, mas têm apresentado comportamentos diferentes, principalmente com relação à sua tenacidade (Henke, 2000). Tendo em vista o interesse crescente da indústria nacional por informações atualizadas sobre os eletrodos que utilizam, é objetivo desse trabalho avaliar a influência dos teores e morfologias da ferrita δ sobre a tenacidade de metais de solda depositados por eletrodos inoxidáveis austeníticos adquiridos no mercado nacional, e que são largamente utilizados no setor do petróleo e gás.

2. METODOLOGIA

Selecionou-se no mercado brasileiro três fabricantes eletrodos revestidos, denominados fabricantes

1, 2 e 3. De cada fabricante, utilizou-se os eletrodos revestidos da classe AWS E309 (309-16, 309L-15, 309L-16, 309Mo-16, 309MoL-15 e 309MoL-16), com diâmetro de 4 mm. O procedimento de soldagem utilizado, e as dimensões dos corpos de prova foram as recomendadas pela norma AWS A5.4-92. Os corpos de prova para o ensaio de impacto Charpy-V foram extraídos das juntas soldadas transversalmente ao cordão, e o entalhe foi posicionado segundo a Fig. 1, e suas dimensões seguiram a norma NBR 6157. Os ensaios de impacto foram realizados à temperatura ambiente, em torno de 30°C. A análise do teor e da morfologia da ferrita delta foi feita no último passe, com o intuito de evitar o efeito da diluição. Amostras do metal de solda foram polidas e atacadas com o reagente de Murakami. Os teores de ferrita delta foram medidos nas amostras atacadas com o auxílio de um analisador tipo OMNIMET®. A análise da morfologia da ferrita delta foi feita através de exame metalográfico em microscopia ótica.

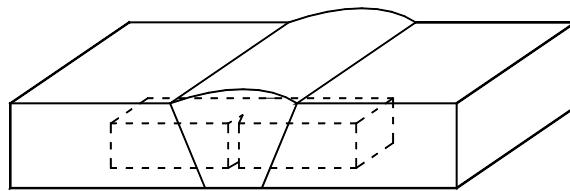


Figura 1. Posição do entalhe do corpo de prova Charpy-V.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Medição dos teores de ferrita delta

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos quando se aplicaram as equações de cromo equivalente e níquel equivalente segundo o diagrama apresentado por DeLong (1974), em análises químicas realizadas em almofadas do metal de solda confeccionadas segundo os requisitos da norma AWS A5.4-92. A Figura 2 apresenta as quantidades de ferrita δ medidas e seus desvios padrões. Os maiores teores foram observados para os eletrodos E e F dos fabricantes 1 e 3.

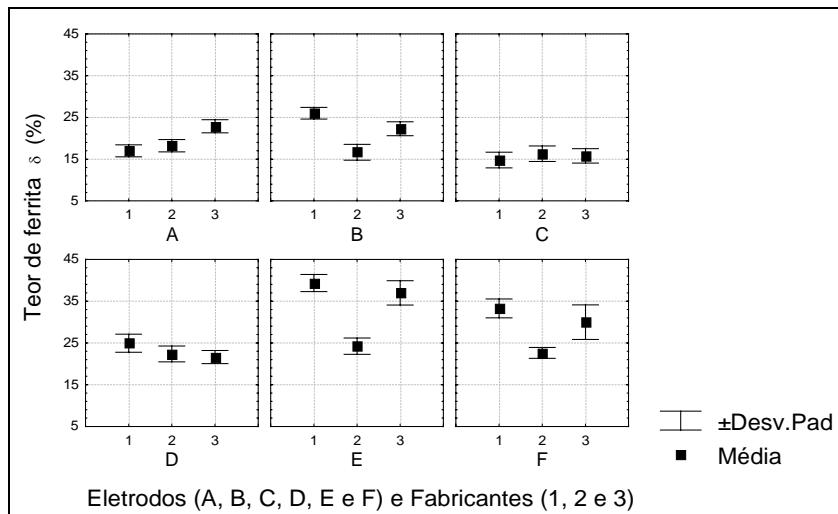


Figura 2. Teores de ferrita δ (%) medidos.

Tabela 2. Resultados da análise metalográfica e dos cálculos de $\text{Cr}_{\text{eq}}/\text{Ni}_{\text{eq}}$ e Mn/Si .

| | 309-16 | | | 309L-15 | | | 309L-16 | | | 309Mo-16 | | | 309MoL-15 | | | 309MoL-16 | | |
|---------------|--------|-------|-------|---------|-------|-------|---------|-------|-------|----------|-------|-------|-----------|-------|-------|-----------|-------|-------|
| | A1 | A2 | A3 | B1 | B2 | B3 | C1 | C2 | C3 | D1 | D2 | D3 | E1 | E2 | E3 | F1 | F2 | F3 |
| % Fe δ | 16,8 | 18,2 | 22,9 | 26 | 16,7 | 22,3 | 14,8 | 16,3 | 15,8 | 24,9 | 22,4 | 21,6 | 39,4 | 24,2 | 37 | 33,3 | 22,6 | 30 |
| CrE | 25,77 | 24,86 | 25,59 | 25,64 | 23,06 | 25,81 | 25,78 | 25,08 | 25,03 | 27,58 | 26,67 | 27,30 | 27,52 | 26,09 | 27,55 | 29,30 | 27,18 | 28,97 |
| NiE | 16,17 | 15,49 | 15,52 | 13,93 | 15,75 | 15,36 | 15,46 | 15,06 | 15,20 | 16,80 | 16,31 | 17,13 | 15,05 | 16,09 | 15,53 | 17,31 | 16,69 | 14,82 |
| CrE/NiE | 1,59 | 1,61 | 1,65 | 1,84 | 1,46 | 1,68 | 1,67 | 1,67 | 1,65 | 1,64 | 1,63 | 1,59 | 1,83 | 1,62 | 1,77 | 1,69 | 1,63 | 1,95 |
| Mn/Si | 1,4 | 1,6 | 1,2 | 1,1 | 4,8 | 1,3 | 1,2 | 1,6 | 1,3 | 1,2 | 1,6 | 1,1 | 1,2 | 1,8 | 1,1 | 0,9 | 1,8 | 1,2 |

3.2. Análise da morfologia da ferrita delta

O modo de solidificação apresentado pelos metais de solda avaliados, segundo a relação $\text{Cr}_{\text{eq}}/\text{Ni}_{\text{eq}}$, foi do tipo ferrita-austenita (FA), visto que os valores de $\text{Cr}_{\text{eq}}/\text{Ni}_{\text{eq}}$ apresentados por estes eletrodos ficaram entre 1,5 e 1,8 (Bilmes et al, 1997). Em condições de equilíbrio, as transformações de fases ocorridas durante a solidificação do metal líquido passam pela nucleação de ferrita primária e a nucleação secundária da austenita a partir do líquido. Com a completa solidificação do metal de solda, ocorrem ainda transformações no estado sólido devido o resfriamento, onde a ferrita primária se transforma parcialmente em austenita, obtendo-se à temperatura ambiente uma microestrutura com ferrita e austenita. O fato da solidificação do metal de solda para todos os eletrodos ter ocorrido no modo FA é muito importante, pois quando a solidificação se dá no modo austenita ferrita (AF) com a nucleação de austenita primária, é provável a ocorrência de um elevado grau de elementos segregados como fósforo e enxofre, o que favorece problemas de trincas de solidificação (Bilmes et al, 1997).

As morfologias apresentadas pelos metais de solda dos eletrodos A, B, C e D (similares à Fig. 3), para todos os três fabricantes, foi predominantemente vermicular, muito embora eventualmente se possa encontrar pequenas regiões apresentando uma morfologia em placas (lathy), em algumas amostras. Este fato pode ser atribuído a pequenas variações localizadas na composição química do metal de solda, favorecendo uma microestrutura com morfologia mista, conforme mostrado na Fig. 4. Segundo Bilmes et al (1997), tanto a ferrita em placas como a vermicular resultam da dissolução da ferrita durante o resfriamento, podendo apresentar-se conjuntamente em amostras com teores mais elevados de ferrita δ .

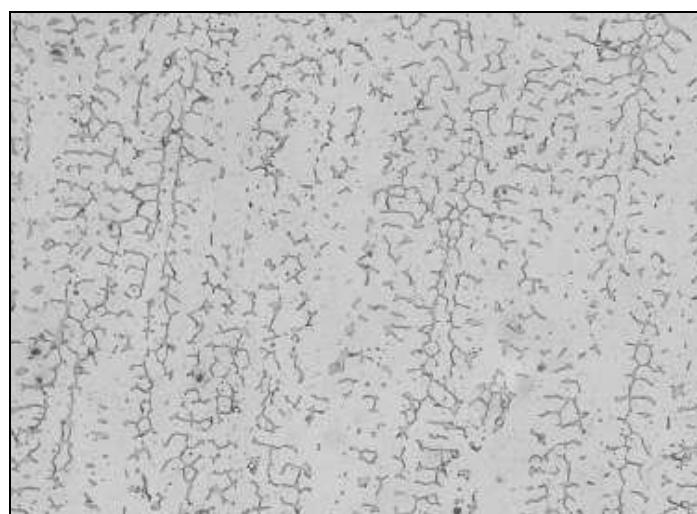


Figura 3. Microestrutura apresentado morfologia vermicular (amostra A1). Ataque: Reagente de Murakami. Aumento: 300X.

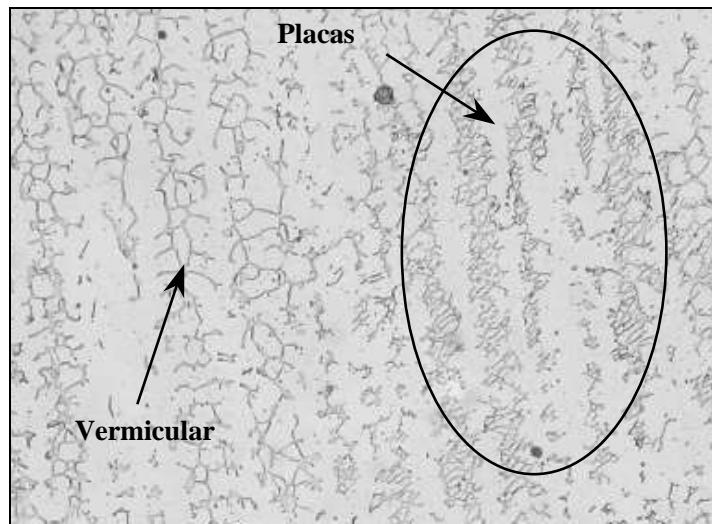


Figura 4. Microestrutura da amostra C1. Morfologia predominantemente vermicular com pequenas regiões com morfologia em placas. Reagente: Murakami. Ataque: 300X

Para as amostras dos eletrodos E e F, foram observadas significativas diferenças quanto à morfologia apresentada pelos fabricantes 1 e 3 em relação ao fabricante 2. A microestrutura observadas nas amostras do fabricante 2 para os dois tipos de eletrodos apresentou uma morfologia do tipo vermicular, conforme apresentado na Fig. 5. Nesta micrografia ainda é possível observar pequenas regiões com morfologia em placas. Estas amostras apresentaram teores de ferrita δ bem abaixo dos valores dos fabricantes 1 e 3, como apresentado anteriormente (Fig. 2).

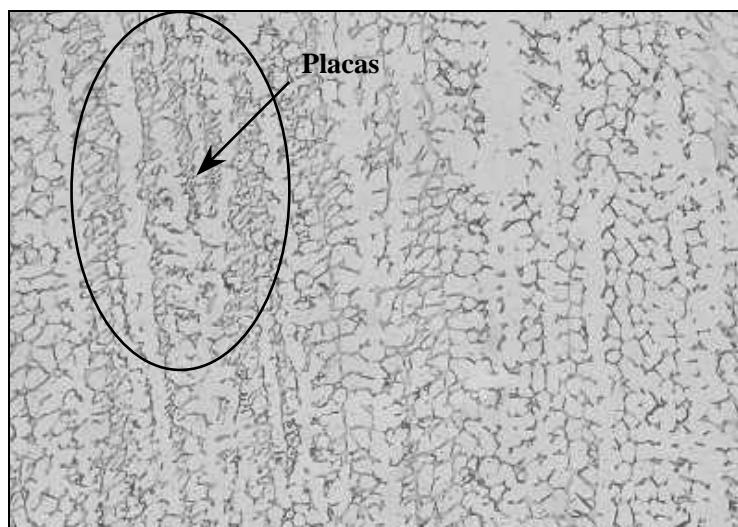


Figura 5. Morfologia vermicular presente no metal de solda do eletrodo E2. Ataque: Reagente de Murakami. Aumento 300X.

Os elevados teores de ferrita δ apresentados pelos eletrodos E e F dos fabricantes 1 e 3, favoreceram a formação de estruturas com morfologia acicular, que é característica de metais de solda com elevados teores de ferrita δ . Além disso, a relação $\text{Cr}_{\text{eq}}/\text{Ni}_{\text{eq}}$ para estes eletrodos apresentou valores variando entre 1,7 e 2,0 (Tabela 1). Segundo David (1981), esta morfologia é tipicamente observada

em metais de solda com relação $\text{Cr}_{\text{eq}}/\text{Ni}_{\text{eq}}$ acima de 2, contudo é possível sua formação em metais de solda com relação $\text{Cr}_{\text{eq}}/\text{Ni}_{\text{eq}}$ a partir de 1,66, devido a variações locais na composição do metal de solda. Nestas amostras foram observadas também estruturas com morfologia em placas. A presença destas duas morfologias, coexistindo no metal de solda, também pode ser atribuída a variações localizadas na composição química, sendo a morfologia acicular formada em pequenas regiões com relação $\text{Cr}_{\text{eq}}/\text{Ni}_{\text{eq}} > 2$ e a morfologia em placas presente nas regiões em que a relação $\text{Cr}_{\text{eq}}/\text{Ni}_{\text{eq}}$ encontra-se abaixo de 2. As Figuras 6 e 7 apresentam as microestruturas dos metais de solda depositados pelos eletrodos E e F dos fabricantes 1 e 3.

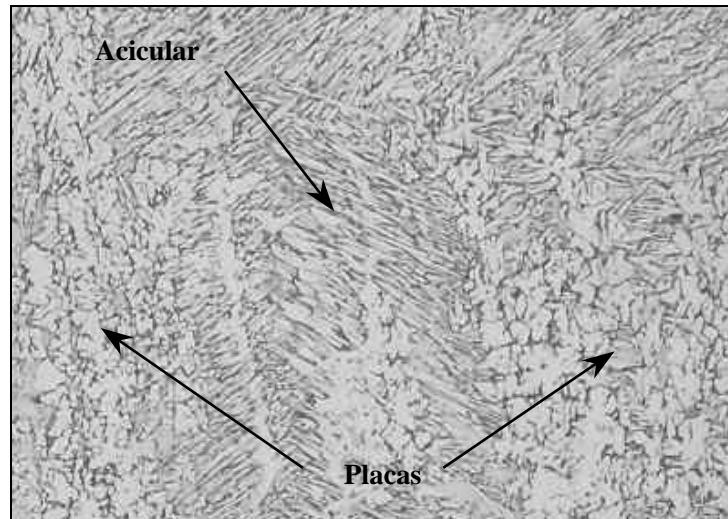


Figura 6. Microestrutura do metal de solda da amostra E3. Presença de ferrita δ com morfologia acicular e em placas. Ataque: Murakami. Aumento 300X.

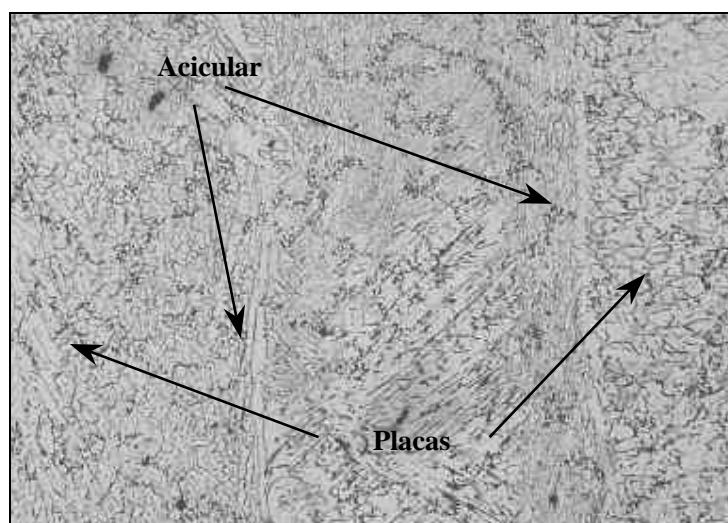


Figura 7. Microestrutura do metal de solda da amostra F1. Presença de ferrita δ com morfologia acicular e em placas. Ataque: Murakami. Aumento 300X.

3.3. Ensaio de impacto Charpy-V

A Figura 8 apresenta o resultado dos ensaios de tenacidade ao impacto Charpy-V. Os resultados mostrados são referentes à média e desvio padrão de 5 ensaios para cada eletrodo avaliado. Não foram encontrados na literatura, trabalhos apresentando resultados de tenacidade ao impacto à temperatura ambiente. Embora a tenacidade não seja especificada pela norma AWS A5.4-92, é um parâmetro muito importante de avaliação, principalmente quando o eletrodo destina-se à soldagem de componentes de metais dissimilares.

Com os resultados apresentados neste trabalho é possível destacar que à temperatura ambiente, os metais de solda que obtiveram os melhores níveis de tenacidade foram os depositados pelos eletrodos A, B, C e D, para os três fabricantes. Estes eletrodos apresentaram algumas características em comum como os teores de ferrita δ variando entre 15% e 26%, conforme apresentado na Tabela 2, e uma morfologia predominantemente vermicular com a presença de algumas regiões com morfologia em placas. Para os eletrodos B e D, verificou-se que o fabricante 2 obteve um nível de tenacidade bem acima do nível dos fabricantes 1 e 3, como mostrado na Fig. 7. Segundo a Tabela 2, os metais de solda do fabricante 2 para os eletrodos B e D foram os que apresentaram a maior relação Mn/Si, quando comparado com os fabricantes 1 e 3, este fato pode ser o responsável pelo incremento da tenacidade.

Os eletrodos E e F apresentaram resultados bem distintos em relação à tenacidade e microestrutura. Os eletrodos E e F dos fabricantes 1 e 3 apresentaram teores de ferrita δ entre 30% e 40% (Tabela 2). Já os teores de ferrita δ do fabricante 2 foram semelhantes aos obtidos pelos eletrodos A, B, C e D, ficando em 24% para o E2 e 22% para o F2. Além disso, as microestruturas destes eletrodos tiveram variações significativas, no qual os metais de solda dos eletrodos E e F para os fabricantes 1 e 3 obtiveram a ferrita δ com morfologia predominantemente acicular, com a presença de algumas regiões com morfologia em placas (Fig. 6 e 7), bem diferente dos eletrodos do fabricante 2, que apresentaram a ferrita δ com morfologia vermicular e placas (Fig. 5).

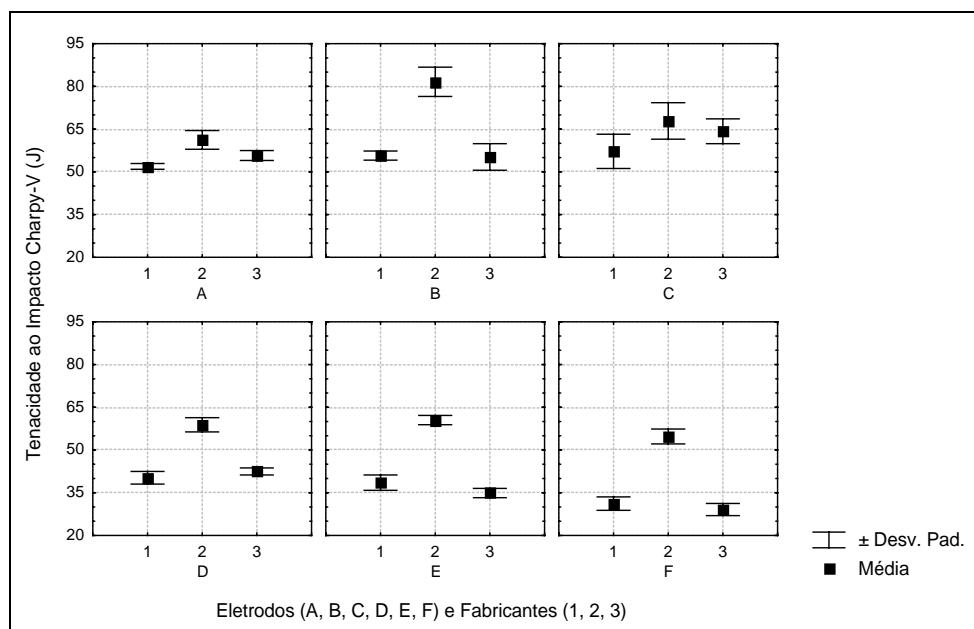


Figura 8. Energias absorvidas no ensaio de impacto Charpy-V.

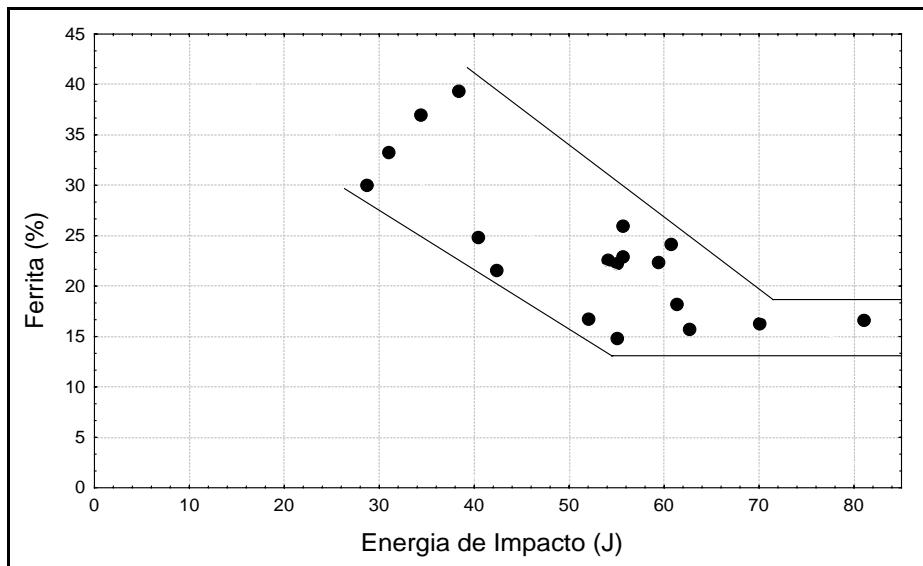


Figura 9. Relação entre o teor de ferrita delta e a energia absorvida no ensaio de impacto.

Em um estudo sobre o comportamento de metais de solda de eletrodos inoxidáveis austeníticos a temperaturas criogênicas (-196°C), Bilmes et al (1997) verificou que a ferrita apresentando uma morfologia do tipo vermicular obteve baixos níveis de tenacidade ao impacto. A análise fratográfica da superfície revelou um modo de fratura frágil. Considerou-se então que a propagação ocorreu ao longo da rede contínua de ferrita, ou seja, ao longo da direção longitudinal da ferrita, que representa justamente um plano de clivagem. Desta forma, em temperaturas criogênicas, a clivagem se produz facilmente com baixa energia através da rede contínua de ferrita vermicular, sendo baixa a tenacidade obtida.

Em microestruturas com morfologia em placas e acicular, as placas de ferrita têm uma grande coerência com a matriz austenítica, e a separação na interface ferrita-austenita praticamente não se produz (Bilmes et al, 1997). Isto levou, em temperaturas criogênicas, a superfícies de fratura dúctil, o que leva a crer que morfologias em placas levam a altas tenacidades em baixa temperatura.

Ao contrário disso, os resultados obtidos à temperatura ambiente de aproximadamente 30°C indicaram que a esta temperatura, as morfologias acicular e em placas, observadas nos ensaios E1, E3, F1 e F3, não obtiveram altos níveis de tenacidade. Isso pode ser devido à atuação de outro mecanismo de fratura ocorrendo à temperatura ambiente. Além disso, na temperatura em que foram obtidos os resultados da Fig. 8, a ferrita é uma fase dúctil, o que justifica o fato dos corpos de prova com morfologia vermicular terem obtido melhor desempenho que os de morfologia acicular e em placas.

4. CONCLUSÃO

Com respeito à relação entre a microestrutura e a tenacidade de metais de solda de eletrodos da classe AWS E309, conclui-se que para as condições de soldagem empregadas neste trabalho:

Os teores e a morfologia da ferrita δ influem sobremaneira na tenacidade ao impacto de metais de solda de eletrodos revestidos inoxidáveis austeníticos.

Eletrodos fabricados segundo os mesmos padrões podem apresentar tenacidade ao impacto diferentes à temperatura ambiente, dependendo do fabricante do eletrodo.

À temperatura ambiente, metais de solda com morfologia predominantemente vermicular apresentam bons níveis de tenacidade ao impacto.

O desempenho quanto à tenacidade dos metais de solda que apresentaram morfologias variando

entre acicular e placas, à temperatura ambiente, não foram tão bons quanto os que apresentaram uma morfologia vermicular, para o mesmo tipo de eletrodo.

Teores de ferrita δ acima de 25% podem comprometer a tenacidade ao impacto do metal de solda.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Dr. Paulo Balsamo, da ACESITA S/A, ao Eng. Mário Castro, do EB-IME, e ao Prof. Willys Machado Aguiar, do CEFET-Ce, por suas contribuições a esta pesquisa.

Agradece-se também à ANP/PRH-31, à CAPES e ao CNPq pelo suporte financeiro, aos laboratórios ENGESOLDA/UFC e LACAM/UFC e cursos envolvidos, e ao Laboratório de Ensaios Mecânicos - LEM do CEFET-CE pela infraestrutura indispensável à realização deste trabalho.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arata, Y., Matsuda, F., Katayama, S., 1976, "Solidification Crack Susceptibility in Weld Metals on Fully Austenitic Stainless Steel (Report I) – Fundamental Investigation on Solidification Behavior of Fully Austenitic and Duplex Microstructures and Effect of Ferrite on Microsegregation". *Transactions of JWRI*. Vol. 5, nº. 2, pp. 35-51.

Bilmes, P., González, A., Liorente, C., Solari, M., 1997, "Influencia de la Morfología de Solidificación de la Ferrita δ del Metal de Soldadura de Aceros Inoxidables Austeníticos Sobre las Propiedades de la Unión". *Welding Research Abroad*. Vol. 43, nº. 2, pp. 18-29.

Brooks, J. A., Thompson, A. W., 1991, "Microstructural Development and Solidification Cracking Susceptibility of Austenitic Stainless Steel Welds". *International Materials Reviews*. Vol. 36, nº. 1, pp.16-44.

Cielask, M. J., Ritter, A. M., Savage, W. F., 1982, "Solidification Cracking and Analytical Electron Microscopy of Austenitic Stainless Steel Weld Metals". *Welding Journal*, Vol. 61, nº. 1, pp 1-8.

David, S. A., 1981, "Ferrite Morphology and Variations in Ferrite Content in Austenitic Stainless Steel Welds". *Welding Journal*. Vol. 60, nº 4, pp. 63-71.

Delong, T. W., 1974; "Ferrite in Austenitic Stainless Steel Weld Metal". *Welding Journal*. Vol. 53, nº 7, pp. 273 – 286.

Henke, S. L.; Niño, C. E.; Buschinelli, A. J. A.; Corrêa, J. A.. Soldagem Dissimilar do Aço CA-6NM sem Tratamento Térmico Posterior, Soldagem & Inspeção, 01/2000.

Hull, F. C., 1967; "Effect of Delta Ferrite on Hot Cracking of Stainless Steel". *Welding Journal*, Vol. 46, nº. 9, pp. 399-409.

Lippold, J. C., Savage, W. F., 1980, "Solidification of Austenitic Stainless Steel Weldments: Part 2 – The Effect of Alloy Composition on Ferrite Morphology". *Welding Journal*, Vol. 59, nº. 2, pp. 48-58.

RELATIONSHIP BETWEEN MICROSTRUCTURE AND TOUGHNESS OF AWS E309 WELD METALS

Carlos Eduardo Aguiar Lima Rodrigues.

Universidade Federal de Uberlândia, Campus Santa Mônica, Bloco 1O, LAPROSOLDA/UFU. CEP 38000-400 Uberlândia - MG, ceduardo@mecanica.ufu.br

Jesualdo Pereira Farias.

Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici, Bloco 715, Laboratório de Engenharia de Soldagem – ENGESOLDA. CEP: 60455-760 Fortaleza-Ce. jpf@truenet-ce.com.br

Cleiton Carvalho Silva.

ENGESOLDA/UFSC. Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici, Bloco 715, Laboratório de Engenharia de Soldagem – ENGESOLDA. CEP: 60455-760 Fortaleza-Ce. cleitonufc@yahoo.com.br

Rodrigo Freitas Guimarães.

Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici, Bloco 715, Laboratório de Engenharia de Soldagem – ENGESOLDA. CEP: 60455-760 Fortaleza-Ce. engesold@dem.ufc.br

Abstract. *It was evaluated in this work the δ -ferrite content and morphology, and its influence in toughness of the weld metal of the ANSI/AWS A5.4-92 E309 electrodes (309-16, 309L-15, 309L-16, 309Mo-16, 309MoL-15 and 309MoL-16), of three manufacturers available in the national market. Weldings were made in plates of AISI 1020 steel in the flat position. The plates were machined and buttering up in accordance with ANSI/AWS A5.4-92 standard. The welding parameters were monitored by a data acquisition system and controlled for the welder inside of bands recommended for the manufacturers. The determination of the δ -ferrite morphology was made through metallographic analyzes in optical microscopy. The evaluation of the δ -ferrite contents was made through OMNIMET image analyzer. The samples were attacked with the Murakami's reagent. The toughness was evaluated by Charpy-V impact test at room temperature. The results indicate that elaborated electrodes in accordance with the same standard possess significant differences in the δ -ferrite content and morphology, resulting in significant differences of the weld metal toughness.*

Key words: ANSI/AWS E309, covered electrode, δ -ferrite, Mechanical properties