

EFEITO DO TRATAMENTO TÉRMICO PÓS-SOLDAGEM NAS PROPRIEDADES DE METAL DE SOLDA DE ALTA RESISTÊNCIA OBTIDOS POR ARAME TUBULAR TIPO FLUX CORED¹

Paulo Vinício Brown Duarte Vogas²

Jorge Carlos Ferreira Jorge³

Luís Felipe Guimarães de Souza³

Ivaní de Souza Bott⁴

Resumo

O presente trabalho tem como objetivo analisar o efeito do tratamento térmico pós-soldagem em metal de solda de aço de alta resistência pelo processo de arame tubular tipo *flux cored* com proteção gasosa. Em estudos anteriores, foi analisado o efeito do tratamento térmico com outros processos e consumíveis para este tipo de metal de solda, obtendo-se resultados muito próximos dos limites mínimos aceitáveis para utilização em recuperação de componentes de linhas de ancoragem de plataformas de petróleo fabricados em aço da classe IACS W22 Grau R3. Desta forma, o presente trabalho dá sequência à este programa de pesquisas, com o intuito de se verificar a possibilidade de obtenção de melhores propriedades mecânicas para o metal de solda e, conseqüentemente, uma maior segurança nas operações de reparo por soldagem destes equipamentos. Foram soldadas juntas multipasse, pelo processo arame tubular tipo flux cored da classe AWS E 110T5-G com 1,2 mm de diâmetro, preaquecimento de 250°C, corrente contínua, posição plana e aporte térmico médio de 1,58 kJ/mm. Após a soldagem, realizaram-se ensaios de tração, impacto Charpy-V, dureza e metalográficos por microscopia ótica e eletrônica de varredura em corpos-de-prova retirados integralmente do metal depositado, na condição de como soldado e após tratamento térmico pós-soldagem. Os tratamentos térmicos pós-soldagem consistiram de aquecimento a 580°C por 1 hora, 2 horas e 3 horas seguido de resfriamento ao ar. Os resultados mostraram que os metais de solda obtidos apresentaram propriedades mecânicas satisfatórias em todas as condições de análise, propiciando resultados superiores aos mínimos requeridos. Adicionalmente o tratamento térmico pós soldagem propiciou uma queda de tenacidade, que está associada à precipitação de carbeto nos contornos de grão da austenita prévia.

Palavras-chave: Metal de solda, Arames tubulares tipo Flux Cored, Aços de alta resistência, Tratamento térmico pós-soldagem.

EFFECT OF POST WELD HEAT TREATMENT ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF HIGH STRENGTH STEEL WELD METAL BY FLUX CORED TUBULAR ELECTRODES

Abstract

The main goal of the present work, which is part of an extensive ongoing research program, is to evaluate the effect of the post weld heat treatment on the mechanical properties of high strength steel weld metals obtained by gas shielded flux cored tubular electrodes. Previous studies on this program already analyzed the effect of post weld heat treatment with others kinds of consumables and processes, achieving results very close to minimum required by IACS W22 Grade R3 steels. Multi-pass joints were welded using AWS E 110T5-G flux cored electrode by FCAW process, with 1,2 mm diameter, pre-heating of 250°C, direct current, flat positioned and heat input average of 1,6KJ/mm. After the welding, tensile, Charpy-V impact and hardness tests and metallographic examination, both by Optical and Scanning Electron Microscopy, in testing pieces removed entirely from the weld metal both in the as welded and after post weld heat treatment conditions. The post weld heat treatment consisted by heating to 580°C by 1,2 and 3 hours, respectively, followed by air cooling. The results showed that the obtained weld metals presented satisfactory mechanical properties in all conditions, reaching the minimum required by IACS W22 Grade R3 steel. Additionally, it was verified that the post weld heat treatment provided a decrease on the weld metal toughness, which can be attributed to carbon precipitates on the previous austenite grain boundary.

Key words: weld metal, metal cored consumables, high strength steels, post weld heat treatment.

¹ Contribuição técnica ao 67º Congresso ABM - Internacional, 31 de julho a 3 de agosto de 2012, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

² Eng. Mecânico, Mestrando. CEFET-RJ, PEMM, RJ, Brasil.

³ Eng. Metalúrgico, M.Sc. DSc., Professor. CEFET-RJ, PPEMM, RJ, Brasil.

⁴ Física, M.Sc., Ph.D.Professora. PUC-Rio, DCMM, RJ, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho faz parte de um amplo projeto de pesquisa intitulado “Vida em fadiga de amarras de ancoragem”, no qual se estuda o comportamento de diversos equipamentos utilizados na ancoragem de navios, plataformas de petróleo e outros sistemas de operação flutuantes.

Dentro deste projeto, já foram desenvolvidos diversos estudos⁽¹⁻⁵⁾, os quais têm mostrado que as amarras de aço podem ser consideradas como um ponto crítico para a garantia da operação segura destas unidades offshore.

O presente estudo dá continuidade a uma tese desenvolvida previamente⁽⁵⁾ e visa a avaliação das propriedades mecânicas de metais de solda de aços de alta resistência para aplicação na soldagem de amarras de aço.

Como objetivo principal, este estudo pretende realizar a avaliação das propriedades mecânicas e microestruturais de metal de solda de aço de alta resistência, obtido pelo processo arame tubular tipo *flux cored*, utilizando um preaquecimento alternativo e diferentes tratamentos térmicos pós-soldagem, visando avaliar a possibilidade de um melhor desempenho deste consumível, conforme proposta de trabalho anterior⁽⁵⁾.

Uma vez que estudo anterior⁽⁵⁾ já verificou a viabilidade da utilização de arames tubulares do tipo *metal cored* para a soldagem de aços da classe IACS W22 Grau R3⁽⁶⁾, utilizados em amarras de ancoragem, no que diz respeito aos aspectos de requisitos mínimos de resistência e tenacidade, o presente estudo pretende também verificar esta viabilidade para arames tubulares do tipo *flux cored*, sem fluxo metálico, tão como verificar a influência do tratamento térmico pós-soldagem no metal de solda.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

As juntas foram realizadas utilizando como material de base chapas de aço de classificação ASTM A-36 nas dimensões de 700 mm x 300 mm x 19 mm.

Como material de adição foi utilizado o arame tubular do tipo AWS E 110T5-G com 1,2 mm de diâmetro. A Tabela 1 apresenta a composição química do metal depositado.

Tabela 1. Composição química dos metais de solda (% em peso)

Elemento	C	Si	P	S	Mn	Mo	Ni	Cr	V	Ceq
% Peso	0,044	0,52	0,019	0,005	1,68	0,006	2,79	0,037	0,05	0,53

$$Ceq = C + Mn/6 + (Cr+Mo+V)/5 + (Ni+Cu)/15$$

2.2 Soldagem dos Corpos-de-Prova

As juntas foram soldadas a partir de chapas com 19 mm de espessura e 700 mm de comprimento. A geometria e demais dimensões da junta são apresentadas na Figura 1.

As juntas foram preaquecidas à temperatura de 250°C e posteriormente foi realizada a soldagem multipasse, na posição plana, utilizando-se uma mistura de 75%Ar-25%CO₂ como gás de proteção.

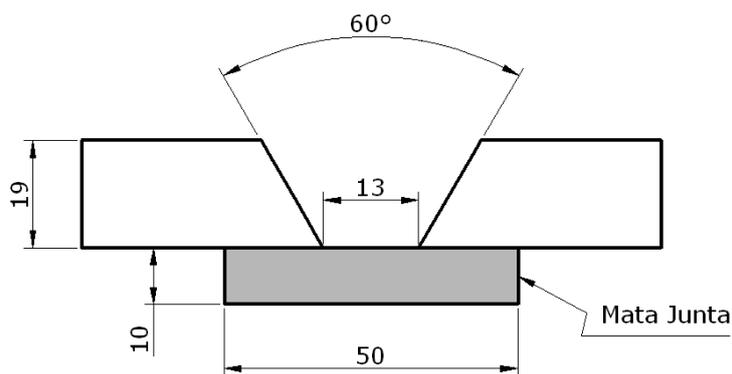


Figura 1. Detalhes da geometria da junta utilizada.

A Tabela 2 apresenta o conjunto de parâmetros médios utilizados para a soldagem.

Tabela 2. Parâmetros de Soldagem Utilizados

I(A)	V (Volts)	AT (kJ/mm)	Nr. Passes
281-299	31-32	1,58	19

Nota: AT – aporte térmico.

2.3 Tratamentos Térmicos Pós Soldagem (TTPS)

Foram realizados tratamentos térmicos consistindo de aquecimento a 580°C por 1, 2 e 3 horas, sendo estas condições comparadas à condição da junta de como soldada.

2.4 Ensaios Mecânicos

Foram removidos corpos-de-prova longitudinais (all weld metal) e transversais ao cordão de solda para ensaios de tração, de impacto Charpy-V e dureza.

Os ensaios de tração foram realizados à temperatura ambiente, em corpos-de-prova retirados longitudinalmente ao cordão de solda, para avaliação de todas as propriedades de tração dos metais de solda.

Foram realizados ensaios de impacto Charpy-V, à temperatura de -20°C, realizados na condição de como soldado (CS) e após TTPS para tempos de 1; 2 e 3 horas, para avaliação de possíveis alterações da tenacidade ao impacto devido à variação do tempo de tratamento.

Os ensaios foram realizados em corpos-de-prova normalizados conforme a norma ASTM A-370⁽⁷⁾ nas dimensões de (10 mm x 10 mm x 55 mm) e retirados transversalmente ao cordão de solda, a 2mm da superfície da junta. O entalhe foi posicionado no centro da solda, perpendicular à superfície do matéria.

Foram realizados ensaios de dureza Vickers com aplicação de carga de 10 Kgf em corpos de prova transversais ao cordão de solda, sendo realizada uma varredura de dureza da superfície até a raiz do metal de solda.

3 RESULTADOS

3.1 Ensaio de Tração

A Tabela 3 e Figura 2 apresentam os resultados dos ensaios de tração para os metais de solda obtidos, juntamente com o critério de aceitação utilizado que é referente aos aços da classe grau R3⁽⁶⁾ para acessórios de ancoragem, onde se notam as seguintes características principais:

- verifica-se que os metais de solda atendem aos requisitos R3 para todas as condições de análise;
- a realização do tratamento térmico pós-soldagem não propiciou mudanças significativas na resistência mecânica em relação à condição de como soldado para o metal de solda e;
- todos os valores de limite de escoamento, alongamento e redução de área estão bem superiores aos mínimos requeridos para os aços grau R3.

Tabela 3. Resultados dos ensaios de tração

Condição	LE(MPa)	LR(MPa)	Al(%)	RA(%)
Como Soldado	599	690	22,86	62,57
TTPS – 1h	631	732	25,71	61,47
TTPS – 2h	622	697	25,43	62,07
TTPS – 3h	603	695	22,84	60,22
Mínimo R3 [1]	410	690	17,00	50,00

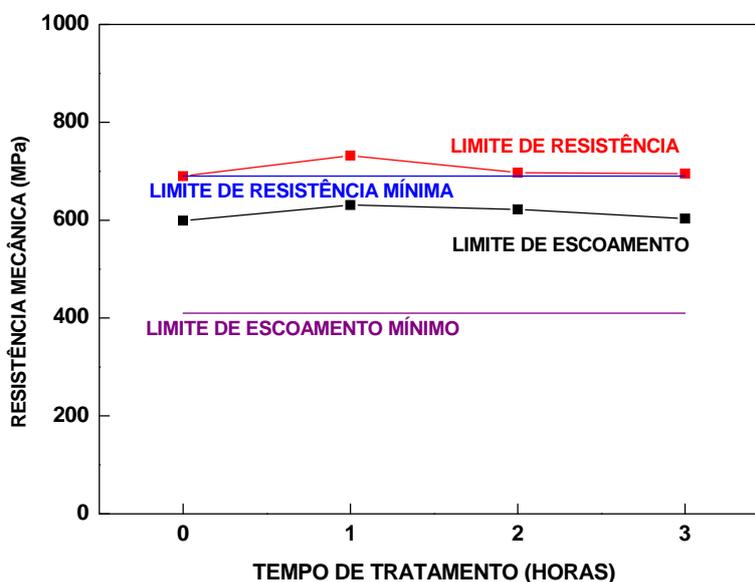


Figura 2. Variação da resistência mecânica com o tempo de tratamento térmico.

3.2 Ensaio de Impacto Charpy-V

A Figura 3 apresenta os resultados dos ensaios de impacto Charpy-V para os metais de solda obtidos, juntamente com o critério de aceitação utilizado, onde se notam as seguintes características principais:

- a) verifica-se que os metais de solda atendem aos requisitos R3 para todas as condições de análise;
- b) a realização do tratamento térmico pós-soldagem propiciou uma redução contínua da tenacidade ao impacto do metal de solda e;
- c) os melhores resultados de tenacidade ao impacto foram obtidos para a condição de como soldado.

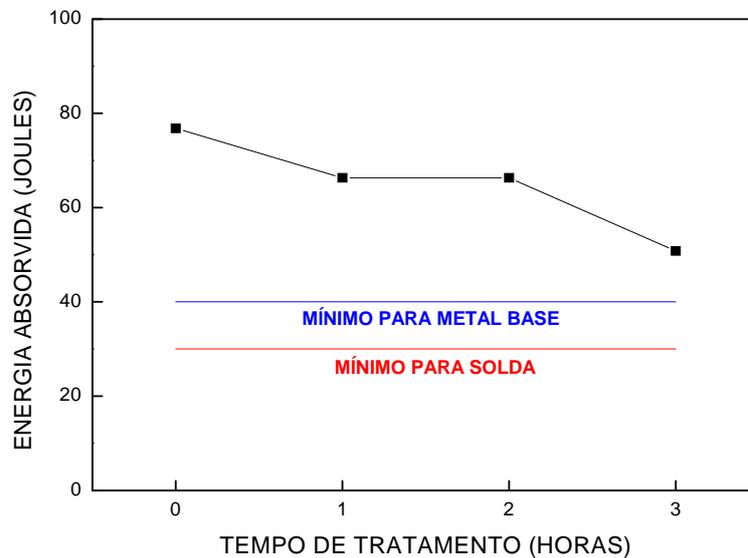


Figura 3. Variação da energia absorvida com o tempo de tratamento térmico.

3.3 Ensaios de Dureza

A Figura 4 apresenta os perfis de dureza obtidos para os metais de solda nas condições CS e TTPS, medidos a partir da superfície da chapa, onde se nota que não houve grande variação nesta propriedade para as diversas condições de estudo.

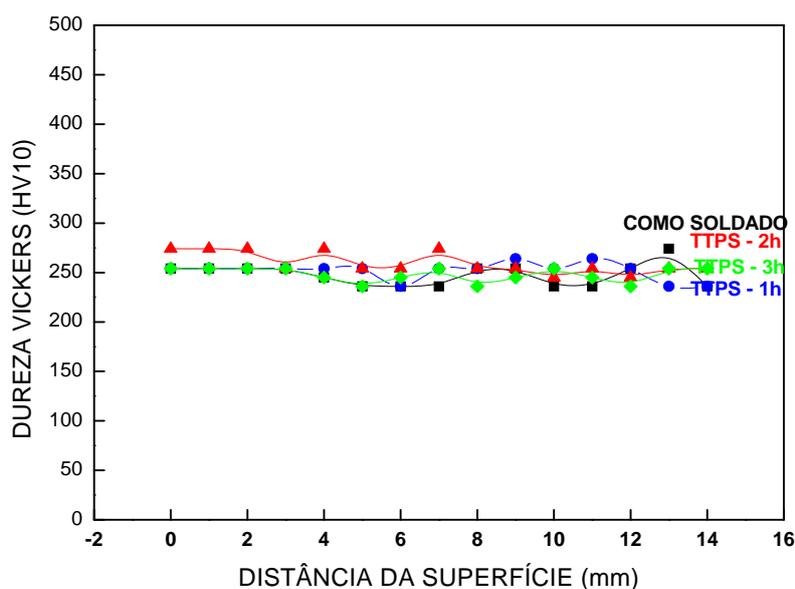


Figura 4. Perfil de dureza para soldagem dos metais de solda.

3.4 Ensaios Metalográficos

A Figura 5 apresenta o aspecto macrográfico da juntas soldada, onde se observa o aspecto da soldagem multipasse.

A inspeção visual da seção macrográfica não detectou a ocorrência de defeitos como trincas, porosidades, inclusão de escória ou quaisquer outras descontinuidades de natureza metalúrgica e/ou operacional.



Figura 5. Aspecto macrográfico das juntas soldadas.

Na Figura 6 observa-se a microestrutura das regiões colunar e reauecida do metal de solda, tanto no estado de como soldado quanto após os TTPS, onde se verifica uma aumento de precipitação de nos contornos de grão da austenita prévia.

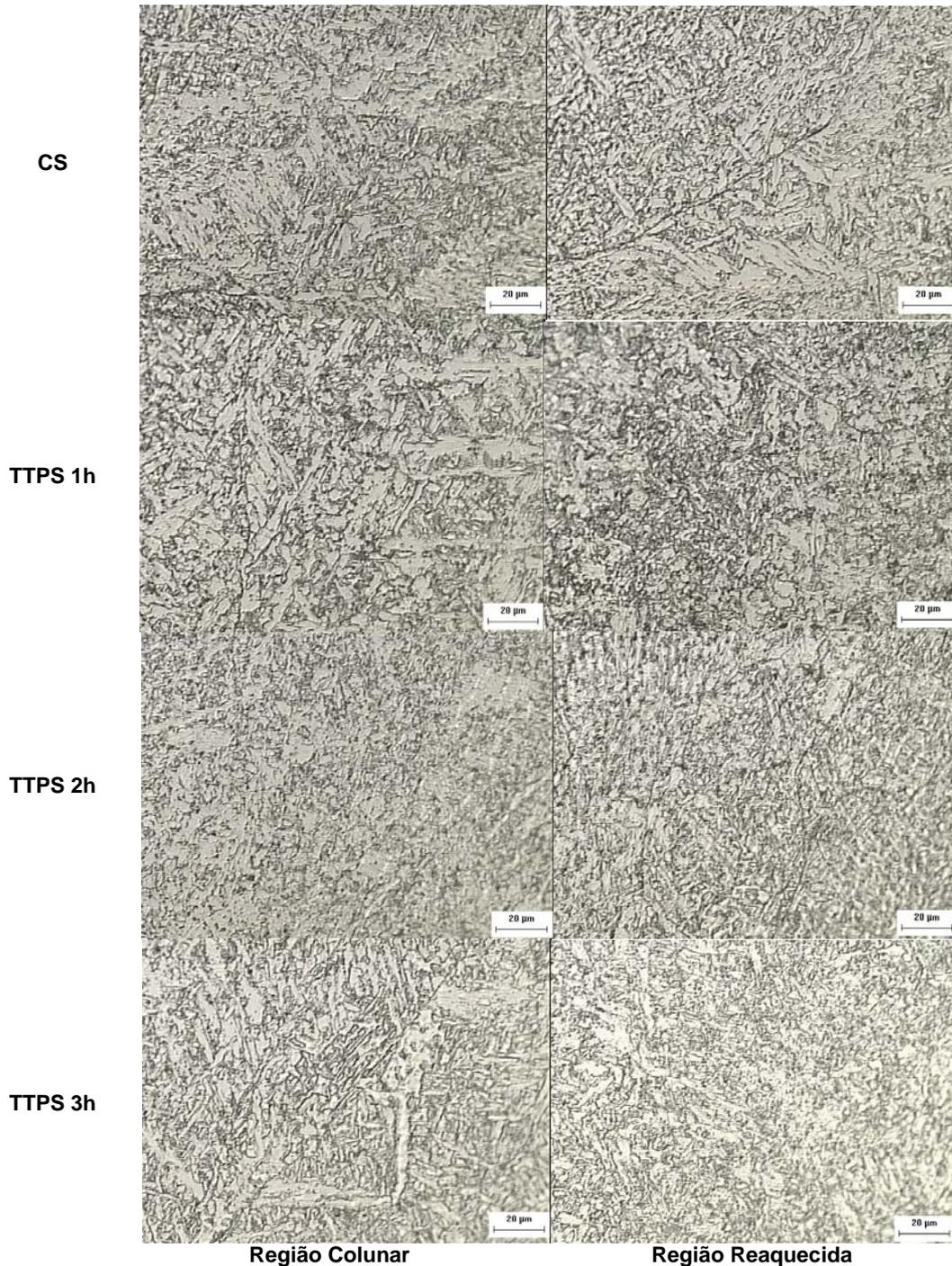
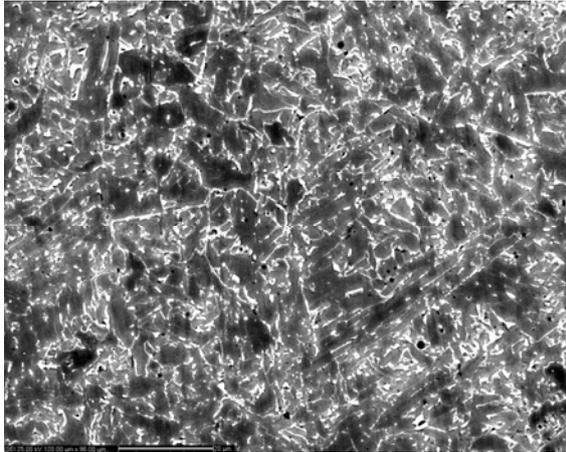
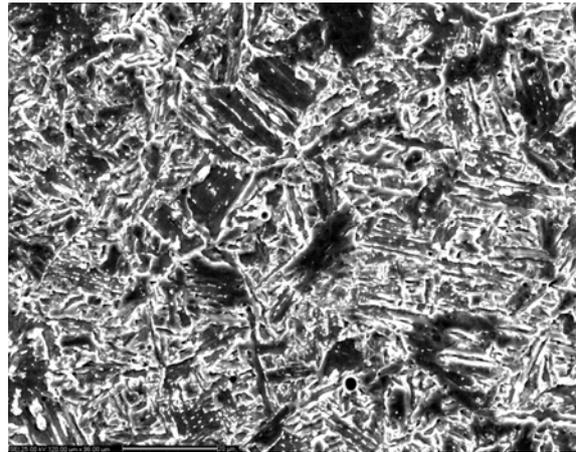


Figura 6. Aspecto microestrutural dos metais de solda com preaquecimento de 250°C, das regiões colunares e reaquecidas da região do entalhe para ensaio charpy-V, quando observados por microscopia ótica (MO). Aumento: 500X. Ataque: Nital 2%.

As Figuras 7, 8 e 9 mostram os resultados da análise realizada por microscopia eletrônica de varredura (MEV) dos metais de solda, onde se nota uma microestrutura constituída de bainita e martensita, com predominância do primeiro constituinte. Nota-se ainda, que o TTPS propiciou uma extensiva precipitação de contorno de grão, o que ocasionou, em algumas regiões, o decoramento do contorno de grão da austenita prévia (Figura 9).



Como Soldado



Após TTPS de 2 hrs

Figura 7. Aspecto microestrutural dos metais de solda quando observados por microscopia eletrônica de varredura (MEV). Aumento: 1KX. Ataque: Nital 2%..

Na Figura 8, observam-se os aspectos microestruturais das regiões colunares e reaquecidas para as amostras como soldado e após TTPS de 2 horas.

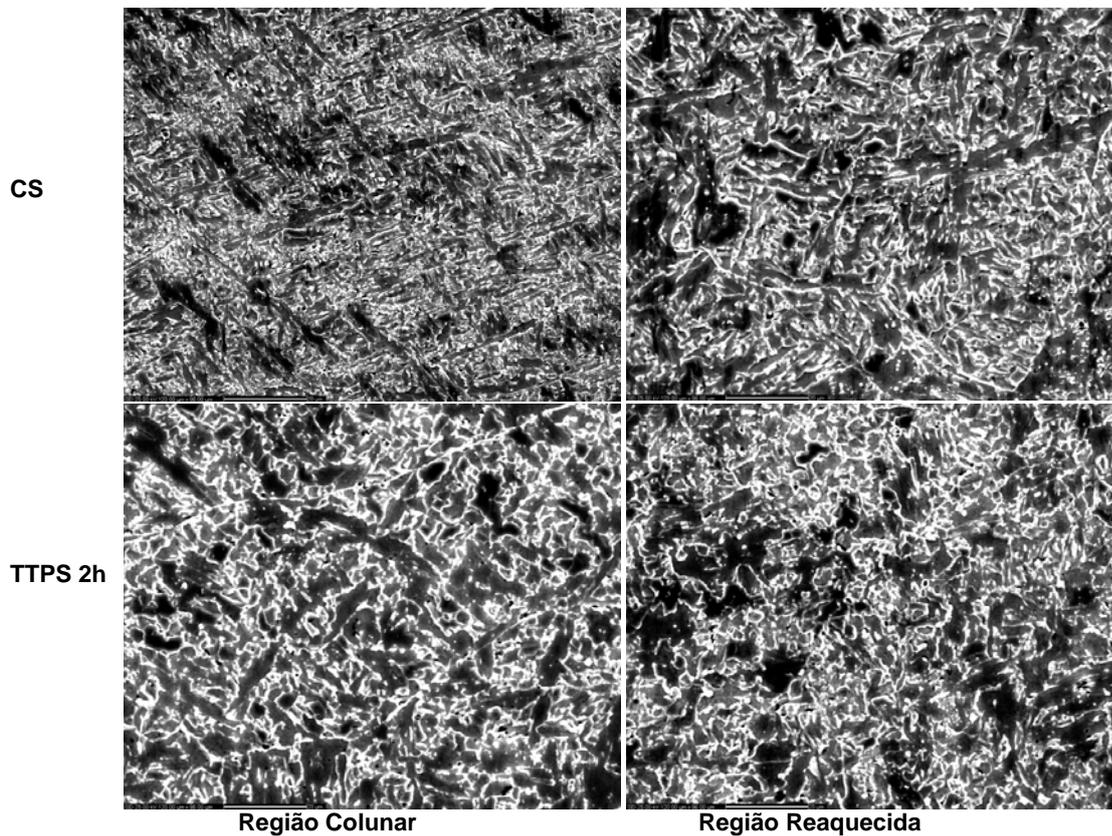


Figura 8. Aspecto microestrutural dos metais de solda quando observados por microscopia eletrônica de varredura (MEV). Aumento: 1KX. Ataque: Nital 2%..

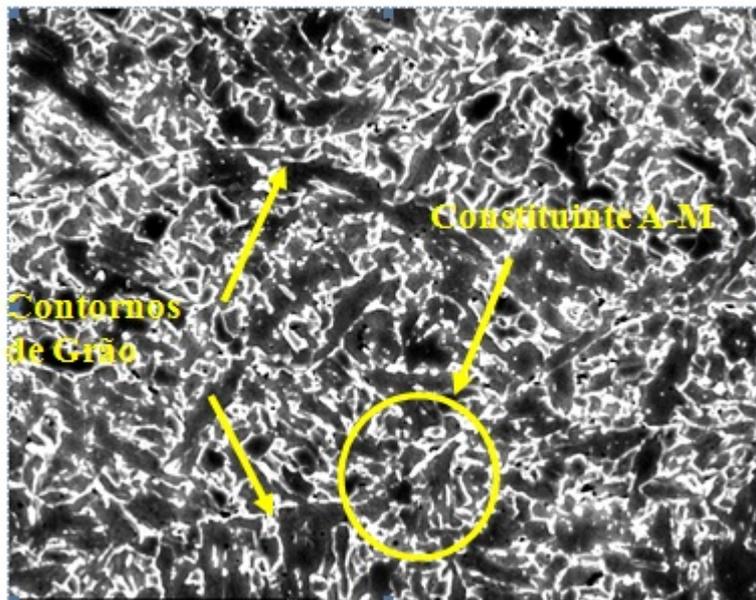


Figura 9. Detalhe microestrutura da região colunar da amostra com TTPS de 2 horas. Aumento de 1KX. Ataque Nital 2%.

4 DISCUSSÃO

O presente trabalho dá sequência à estudos apresentados em publicações anteriores^(4,5), procurando avaliar uma evolução de consumíveis que sejam adequados à soldagem com requisitos desafiadores de resistência mecânica e tenacidade⁽¹⁻⁵⁾ realizando-se então uma abordagem mais específica e comparativa a cerca da possibilidade do aumento de produtividade na soldagem de amarras e acessórios de ancoragem de plataformas de petróleo, pela utilização do processo arame tubular.

Verificando os resultados das análises por microscopia ótica (MO) e microscopia eletrônica de varredura (MEV), percebe-se que o metal de solda é constituído por microestruturas compostas principalmente por bainita (FS) e martensita (M), caracterizando uma microestrutura com resistência mecânica elevada. Ainda, em algumas regiões observou-se a ocorrência de ferrita acicular (FA), porém em muito pouca quantidade. Ainda, foi verificada a existência de constituinte A-M em contornos de grão da austenita prévia.

Comparativamente aos resultados dos estudos de Farneze⁽⁵⁾ e Surian⁽⁸⁾, observa-se que a velocidade de resfriamento obteve um valor estimado inferior, enquanto os outros estudos verificam-se velocidades de resfriamentos maiores, para soldas com arames tubulares, e aportes térmicos de 1,10 KJ/mm e 1,3KJ/mm, respectivamente. Pela literatura existente⁽⁹⁻¹¹⁾, se sabe que a velocidade resfriamento, em conjunto com os teores de elementos de liga, em especial, de Mn, Ni, e Mo, influenciam diretamente nas composições e morfologias das microestruturas dos metais de solda.

Conforme estudo de Zhang e Farrar⁽¹²⁾, teores superiores de Mn (1,6%) e Ni (1%) estariam associados à formação de martensita e bainita na microestrutura do metal de solda, conforme observado no presente trabalho, à medida que se mantem níveis altos de Mn e aumenta os níveis de Ni, haveria aumento das regiões de microestruturas martensíticas. Ainda, estes níveis altos de Mn e Ni, associados a teores maiores de Mo seriam responsáveis por uma temperabilidade maior do metal de solda e retardamento das transformações da ferrita.

Segundo Oliveira e Rebello⁽¹³⁾, em cordões C-Mn, o tratamento térmico pós-soldagem é benéfico para a tenacidade quando o teor de Mn está na faixa ente 0,7 e 1%. Isto se deve pela maior precipitação de carbonetos nas regiões reaquecidas.

Quando o teor de Mn está entre 1 e 1,5%, não há alterações na tenacidade após tratamento térmico pós-soldagem. Neste caso, há tanto a esferoidização quanto a precipitação de carbonetos⁽¹¹⁾.

Em relação à microestrutura obtida por Farneze⁽⁵⁾ para um eletrodo tubular metal cored, com proteção gasosa (25% Ar – 75% CO₂), com teores menores de Mn (1,68%) e Ni (2,79%), ao contrário, verificou-se no presente estudo uma predominância um pouco maior de bainita (FS) em relação à martensita (M), principalmente na região colunar. Tal diferença na microestrutura está associada não somente aos teores maiores de Mn e Ni, como um teor muito menor de Mo, o que condiz com a literatura^(8,12,14,15).

Surian⁽⁸⁾ também observa, para as amostras de soldas realizadas com eletrodos de arames tubulares do tipo flux cored, de 110 Ksi, com proteção gasosa (80%Ar - 20%CO₂), teores de manganês (1,68/1,64%), níquel (2,43/2,38%) e molibdênio (0,48/0,47%), apresentaram microestruturas com 9 a 23 % de ferrita acicular, 8% de ferrita de segunda fase alinhada e 63 a 73% de ferrita de segunda fase não alinhada.

Nas regiões reaquecidas observa-se uma microestrutura composta predominantemente por bainita (FS) e martensita (M). Também observa-se uma presença maior de carbeto e a ocorrência baixa de ferrita acicular.

Segundo Evans⁽¹⁵⁾, quando teores de manganês altos, associados ao aumento de teores de níquel, a ferrita acicular pode, progressivamente ser consumida por martensita (M) e bainita (FS).

Em estudo anterior, Surian⁽¹⁶⁾ já havia verificado um grande percentual de ferrita acicular na região colunar, variando de 66 a 74% e ferrita com segunda fase, entre 17 e 20%, após TTPS para eletrodos de mesma classe de resistência.

Em outro estudo, Surian⁽¹⁷⁾ verifica a queda do percentual de ferrita acicular em função de teores menores que 0,5% de Mo, associados a teores entre 1 e 1,5% de Mn.

Rissone⁽¹⁸⁾ também verifica que há uma relação entre o teor de oxigênio no metal de solda e a ocorrência da ferrita acicular. Quanto menor o teor de oxigênio, maior seria a ocorrência de ferrita acicular.

Além disso, observou-se que em algumas amostras após TTPS, há um aumento contínuo de carbeto nos contornos de grão bainíticos e, no decoramento dos contornos de grão da austenita prévia, inclusive, com a presença de constituinte A-M, em algumas regiões, como verificado na região colunar da amostra com TTPS de 2 horas.

A grande quantidade de constituinte A-M nos contornos de grão da austenita prévia, em geral, é considerado prejudicial para a tenacidade do metal de solda, segundo estudo prévio⁽¹⁹⁾, porém, também se sabe que em soldas multipasses e TTPS, a decomposição deste microconstituinte pode ser benéfica para o metal de solda⁽¹⁹⁾.

Trindade⁽²⁰⁾, já havia observado que, embora o níquel seja normalmente benéfico para a tenacidade do metal de solda dos aços C-Mn de baixa liga, poderá haver a ocorrência de uma precipitação mais grosseira e evolução dos carbeto após TTPS, para ligas com teores mais elevados de níquel, entre 1,83% e 3,11%.

Em todos os resultados de ensaios mecânicos, o metal de solda atende aos requisitos mínimos para a aplicação, segundo IACS W22 para aços grau R3⁽⁶⁾.

Os resultados dos ensaios de dureza não apresentaram grandes variações. No entanto, nota-se uma ligeira queda à medida em que diminui-se a distância para a raiz da solda. Tal fenômeno já foi observado em estudo anterior recente⁽⁵⁾, onde se atribui ao ciclo de reaquecimento da solda.

Além disso, percebe-se uma melhora na relação tenacidade x microestrutura em comparação com outros resultados obtidos por outros autores, para eletrodos de mesma classe de resistência, principalmente em relação aos eletrodos do tipo metal cored^(5,8,21).

Comparativamente aos estudos recentes de Farneze⁽⁵⁾ e Surian⁽⁸⁾, apesar de se obter uma resistência mecânica inferior a ambos, de 690 MPa, combinada com um alongamento de 22,86% da amostra como soldado, há um ligeiro aumento da resistência mecânica (732 MPa) após TTPS de 1 hora e decréscimo após TTPS de 2 e 3 horas, até atingir 695 MPa.

Também se verifica que o presente estudo apresentou resultados dos ensaios de energia absorvida no ensaio de impacto Charpy-V intermediários entre os dois estudos citados para eletrodos do tipo flux cored^(5,8).

Enquanto Farneze⁽⁵⁾ obteve resistência mecânica de 759 MPa após TTPS de 2 horas associada com energia absorvida no ensaios de impacto de 47,5 J (-20°C) / 23,3J (-40°C), o presente estudo obtém uma energia absorvida no ensaio de impacto de 66,3 J (-20°C), associada à uma resistência mecânica 697 MPa para um TTPS de 2 horas e de 50,8°C (-20°C) associada a uma resistência mecânica de 695 MPa, para um TTPS de 3 horas.

Ainda que satisfatórios, os resultados de resistência mecânica e energia absorvida nos ensaios de impacto obtidos pelo presente estudo foram menores que os obtidos por Surian⁽⁸⁾, em estudo recente para eletrodos de arame tubular do tipo flux cored com a mesma classe de resistência de 110 Ksi. Em seu estudo, foi observada uma resistência mecânica 879 MPa, para amostras de metal de solda como soldados por eletrodos de arames tubulares do tipo flux cored, da classe de 110 Ksi, associada à uma energia absorvida no ensaio de impacto de 59 J (-51°C), enquanto o presente estudo obteve, para a amostra no estado de como soldado, uma resistência mecânica de 690 MPa e energia absorvida no ensaio de impacto de 76,8 J (-20°C). Como verificado no item anterior, o resultado condiz com a literatura^(8,12,14-17,21,22), não somente quanto aos principais aspectos microestruturais, quanto aos resultados de propriedades mecânicas.

Com relação ao estudo de Surian⁽⁸⁾, a maior tenacidade e resistência obtidas podem estar associadas aos teores de Ni e Mn, de 2,43 e 1,8%, respectivamente, associados ao Mo, com teor bem maior de 0,48% tendem a serem benéficos para a tenacidade.

Com relação aos resultados de Farneze⁽⁵⁾, as resistências mecânicas inferiores combinadas com tenacidade maior, principalmente correlacionando à mesma condição de TTPS de 2 horas, pode-se associar tanto aos teores de Mn e Ni superiores, assim como teor de Mo menor no metal de solda, que, combinados a taxas de resfriamento diferentes, conforme citado anteriormente, são responsáveis por composições e morfologias diferentes na microestrutura do metal de solda.

Neste mesmo estudo, Farneze⁽⁵⁾ ainda verifica que comparativamente, quando utilizou-se um processo de soldagem com eletrodo revestido para a mesma classe de 110 Ksi, com um aporte térmico de 1,35 KJ/mm e velocidade de resfriamento um pouco menor que a velocidade de resfriamento para a solda com arame tubular, há maior definição microestrutural entre as regiões reaquecidas e colunares, enquanto pela soldagem com arames tubulares apresentaram uma transição mais discreta

entre as regiões reaquecidas e colunares, onde as áreas bainíticas são mantidas entre as regiões, com menor redução das regiões martensíticas, o que estaria relacionado a tendência do metal de solda em manter as mesmas microestruturas nas regiões colunares e reaquecidas, devido ao efeito dos teores de níquel e molibdênio na temperabilidade do metal de solda. Neste estudo, Farneze⁽⁵⁾ obteve teores de níquel relativamente superiores de níquel e molibdênio para eletrodos tubulares.

Este fenômeno, também abordado por outros autores^(12,15,17,22) é responsável pelo refinamento incompleto da região reaquecida do metal de solda.

Este refinamento incompleto da região reaquecida pode estar associado à queda de tenacidade apresentada no presente estudo, uma vez que também se verificou menor refinamento da região reaquecida, que, apresentando precipitação após TTPS nos contornos de grão maiores, influenciaram a tenacidade do metal de solda. A queda de tenacidade continua observada para os tempos de TTPS de 1, 2 e 3 horas pode estar associada a um aumento contínuo de precipitações e a um decoramento de constituinte A-M no contorno de grão da austenita prévia, à medida que se aumenta o tempo de TTPS.

Conforme abordado anteriormente, isto deve aos maiores teores de Mn e Ni, que estão relacionados à precipitação de carbeto⁽¹⁷⁾.

Farneze⁽⁵⁾, também verifica uma ligeira queda da tenacidade para o metal de solda com arame tubular do tipo metal cored após TTPS de 2 hrs, associada a uma queda de resistência mecânica. Segundo o autor⁽⁵⁾, esta queda de tenacidade estaria associada à uma porcentagem maior de 75% de ferrita acicular em sua microestrutura, uma vez que estes teores maiores estariam associados a microestruturas martensíticas, principalmente em função do Mn, Ni e Mo, o que teria um efeito negativo na tenacidade, conforme estudo prévio de Zhang⁽¹⁸⁾. No presente estudo, não se verifica maior ocorrência de ferrita acicular e sim de precipitação de carbeto.

5 CONCLUSÕES

Do exposto no transcurso do presente trabalho, pode-se concluir que:

- O metal de solda estudado, mostrou-se adequado para utilização na soldagem do aço grau R3 da norma IACS W22 com utilização de preaquecimento de 250°C e tratamento térmico pós-soldagem realizado à 580°C;
- O tratamento térmico pós-soldagem não propiciou mudanças significativas na resistência mecânica do metal de solda estudado e;
- O tratamento térmico pós-soldagem propiciou uma redução na tenacidade ao impacto do metal de solda estudado, o que pode ser atribuído à uma maior ocorrência de precipitação de carbeto e constituinte A-M nos contornos de grão da austenita prévia, a medida em que se aumenta o tempo de tratamento.
- Para uma futura qualificação de um procedimento de soldagem, verifica-se que a melhor situação seria com TTPS de 1 hora, visto que após 2 horas, apesar de se manter a tenacidade, há uma ligeira queda do limite de resistência, se aproximando do limite de resistência mínimo requerido.

Agradecimentos

Os autores agradecem às seguintes Instituições pelo apoio prestado na execução do presente trabalho: A Fluke Engenharia Ltda., CEFET/RJ, PUC-Rio e ESAB. Os autores agradecem também a: Marcio Moura, Tatiana Farias e Jorge Vieira da Fluke Engenharia Ltda., pelo apoio na realização das soldagens e ensaios mecânicos.

REFERÊNCIAS

- 1 PACHECO, P.M.C.L. et al.; "Modeling the residual life of recovered shackles", Proceedings of 20th International Conference On Offshore Mechanics And Arctic Engineering, June, 3-8, 2001 - Rio de Janeiro, Brazil , Paper 3399, 2001.
- 2 JORGE, J.C.F. et al.; "Influence of welding procedure on the microstructure and mechanical properties of an ASTM A 148 GR. 80 50 steel anchor shackle", In: Jornadas SAM-CONAMET, AAS, Set, Argentina, 2001.
- 3 PACHECO, P.M.C.L. et al.; "Residual stress analysis of studless chain links repaired by welding", IN: 27° Seminário de Inspeção de Equipamentos, Brazil, 2001.
- 4 JORGE, J.C.F. et al.; "Desenvolvimento de procedimento de reparo por soldagem de amarras de aço para ancoragem de plataformas de petróleo", IN: XXVII Congresso Nacional de Soldagem , outubro, Brazil, 2001.
- 5 FARNEZE, H. N.; JORGE, J.C.F.; SOUZA, L.F.G. ; BOTT, S.B. ; "Estudo comparativo de metais de solda de aço de alta resistência obtidos pelos processos eletrodo revestido e arame tubular para aplicação em equipamentos de amarração offshore"; Soldagem inspeção; vol.14; no.2; São Paulo Abril./Junho 2009
- 6 International Association of Classification Societies, W22, Offshore Mooring Chain, June, 2011.
- 7 ASTM A 370-05, Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products, 2005
- 8 SURIAN, E., RISSONE, N. M., SVOBODA, H. G., VEDIA, L.A. "SMAW, FCAW and SAW High-Strength Ferritic Deposits: The Challenge Is Tensile Properties". Welding Journal, Vol. 89, March 2010, 54-64-s
- 9 FONTES, C. H. M., "Juntas de Aço Baixa Liga Soldadas com Diferentes Consumíveis – Efeito do Tratamento Térmico de Alívio de Tensões nas Características Metalúrgicas das Soldas", tese M.T., COPPE/Universidade Federal do Rio de Janeiro, Agosto, 2008
- 10 MODENESI, P.J., "Soldabilidade dos Aços Transformáveis", tese M.T., UFMG, Julho, 2008
- 11 GODOY, W. L., "Efeito da temperatura de pré-aquecimento e características do pulso na microestrutura de aço estrutural de alta resistência e baixa liga soldado com arco elétrico e proteção gasosa", Tese M.T., UNESP, Novembro, 2008
- 12 ZHANG, Z.; FARRAR, A.; "Influence of Mn and Ni on the Microstructure and Toughness of CMn-Ni Weld Metals, Welding Journal, v. 76, n. 5, pp. 183s – 196s, May 1997
- 13 OLIVEIRA, C. A. S.; REBELLO, J. M. A.; "Influência do tratamento Térmico de alívio de Tensão na tenacidade de Cordões de Solda de aço C-Mn e Baixa Liga", Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ, 1990
- 14 HARRISON, P.; FARRAR, R.; "Microstructural Development and Toughness of C-Mn and CMn-Ni Weld Metals. Part 1 – microstructural Development", Metal Construction, v. 19, n. 7, pp. 392R – 399R, Jul. 1987
- 15 EVANS, G.M.; The Effect of Vanadium on the Manganese Containing MMA Weld Deposits. Welding International (UK). Vol. 7, No. 6, 1993b, p. 438-448
- 16 SURIAN, E., TROTTI, J., CASSANELLI, A. Ni, e DE VEDIA, L. 1987. "Influence of Mn content on mechanical properties and microstructure of a high strength SMA electrode weld metal". IIW-IIS Doc. II-A-724-87

- 17 SURIAN, E. , RISSONE, N.M. , VEDIA, L.A. , Influence of Molybdenum on Ferritic High-Strength SMAW All-Weld-Metal Properties; Welding Research, Abril, 2005,53-62s
- 18 RISSONE, N. Mabel Ramini; SURIAN, Estela S; SVOBODA, Hernán G.; VEDIA, Luis A.; “Influence of Procedure Variables on C-Mn-Ni-Mo Metal Cored Wire Ferritic All-Weld Metal”; The Welding Journal, Miami, p. s-139 – 148; Setembro 2005
- 19 JORGE, C. F. J.; REBELLO, J. M. A.; “Microscopia Eletrônica de Varredura em Cordões de Solda de Aços de Alta Resistência”, Soldagem & Materiais, v.1, n. 3, pp. 44-50, Jul. 1989
- 20 TRINDADE, V. B.; PARANHOS, R. P. R.; PAYÃO, J. C.; SOUZA, L. F. G.; “Influência da Adição de Níquel na Tenacidade de Metais de Solda de Aços C-Mn Antes e Após Tratamento Térmico de Alívio de Tensões”. Soldagem Insp., Vol. 10, No. 4, Out-Nov 2005, p. 164-171
- 21 SURIAN, E.; DE VEDIA, L.; 1999; “All-Weld-Metal Design for AWS E10018M, E11018M and E12018M Type Electrodes”; Welding research supplement; 217 a 228-s
- 22 EVANS, G. M.; The Effect of Nickel on the Microstructure and Properties of C-Mn All-Weld Metal Deposits. Welding Research Abroad Vol. XXVII No. 2, 3 Feb/ Mar 1991