

Avaliação do Desempenho de Juntas Soldadas FTPW Obtidas com Pinos de Aço API 5L X65 com Baixos Teores de Carbono e Enxofre e com Adição de 1 e 2 % de Níquel

Raphael Rezende Pires*, Joyce Antunes da Silva, Nicholas Jhonny da Silva, Rosenda Valdés Arencibia, Sinésio Domingues Franco, Marcelo Torres Piza Paes, Ricardo Reppold Marinho

*Laboratório de Tecnologia em Atrito e Desgaste, raphaelpires@yahoo.com.br

Palavras-chave

Processamento de pinos por atrito, Níquel, Composição química.

1. INTRODUÇÃO

O Processamento de Pinos por Atrito, nomeado também como “*Friction Hydro Pillar Processing*” (FHPP), surgiu do processo de Soldagem por Atrito, desenvolvido ao longo da década de 90. Este processo consiste numa técnica com potencial de aplicação onde a solda convencional deve ser realizada em condições submersas. Isso se deve ao fato do reparo por atrito ocorrer no estado sólido, assim, não sofre grandes influências do meio externo. Através do contato entre o pino de preenchimento e a cavidade no metal base é gerado calor pela ação do atrito. O calor resultante deste processo leva à redução do limite de escoamento do material, facilitando o fluxo plástico que se desloca ao longo da direção axial do pino, levando à união metalúrgica entre as partes e ao consequente preenchimento do furo (PIRES, 2007). Todavia, a seleção do material do pino para o reparo de peças e de estruturas em aço-carbono é um tema relativamente novo ainda em desenvolvimento.

A presença de enxofre, por exemplo, leva à formação de sulfetos de manganês (MnS), que têm efeito deletério nas propriedades mecânicas do material. Os teores de carbono elevados trazem consigo dificuldade na fase de processamento, pois, nesse caso, são requeridos maiores torques, além de propiciar a formação de fases frágeis de elevada dureza. Assim, é desejável que os teores desses elementos sejam minimizados. Piza (2013) observou que pinos com baixo teor de enxofre e carbono aumentam o *Crack Tip Opening Displacement* (CTOD) médio da junta soldada. Nesse mesmo trabalho, foi notado que os menores valores de CTOD estavam associados à presença de inclusões de sulfeto de manganês e do constituinte em Martensita e Austenita retida (M-A).

Neste sentido, este trabalho tem por objetivo avaliar o desempenho de juntas soldadas *Friction Tapered Plug Welding* (FTPW) obtidas pelo processamento de pinos desenvolvidos com baixos teores de carbono e enxofre, recebendo ainda a adição de níquel. O níquel tem como finalidade reduzir a quantidade de microconstituintes duros e frágeis no resfriamento rápido da interface pino/substrato, por ser um elemento que leva a uma redução das temperaturas de início de transformação martensítica (M_i) e final de transformação martensítica (M_f). Assim, foram selecionados os valores de 1,0 e 2,0 % de níquel, que tem também um efeito endurecedor por solução sólida. As juntas soldadas foram avaliadas através de perfis de microdureza Vickers e do ensaio de impacto Charpy.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O aço selecionado para fabricação dos pinos foi o aço API 5L X65. Os teores de carbono e enxofre do aço foram determinados por combustão direta, no equipamento Leco CS-844. Para o desenvolvimento do processo de fabricação de pinos com reduzido carbono, enxofre e teores de 1,0 e 2,0 % de níquel, foi realizada a refusão de matéria prima de origem controlada, em forno a vácuo, pois o ferro com baixo teor de carbono tende a oxidar rapidamente.

Com a finalidade de mostrar o gradiente de dureza existente entre a zona de processamento (pino) e o metal base foi realizado um perfil de microdureza Vickers com carga de 30 N, na seção transversal do corpo de prova, na meia altura da junta soldada, conforme ilustrado na Fig. 1 (a).

Os corpos de prova para realização do ensaio de impacto Charpy foram do tipo A, conforme descrito na Norma ASTM E23 (2016) e foram retirados em três posições da junta soldada (Fig. 1 (b) e (c)): posição 1A, corpo de prova posicionado na posição superior da junta, com a geratriz do entalhe coincidindo com o eixo longitudinal do pino, o comprimento do entalhe está inteiramente dentro da zona de processamento; posição 1B, corpo de prova posicionado na interface inferior pino/metal base, na raiz da junta soldada e geratriz do entalhe coincidindo com o eixo longitudinal do pino; posição 2, corpo de prova retirado ao longo da interface inferior da junta soldada com o entalhe posicionado na interface lateral pino/metal base.

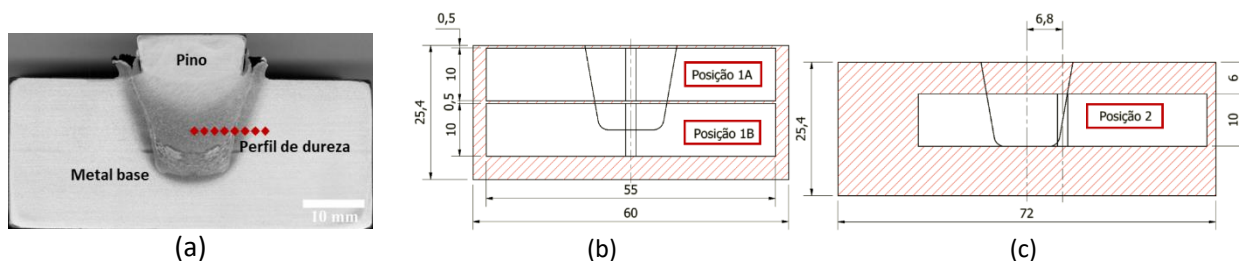


Figura 1: (a) Ilustração da posição do perfil de microdureza Vickers. Amostras para ensaio de impacto Charpy (a) corpos de prova na posição 1A e 1B e (b) corpo de prova na posição 2.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A composição química dos pinos de preenchimento são apresentadas na Tab. 1. Dessa tabela nota-se que o teor médio de carbono é aproximadamente 0,09 % e do enxofre de 20 ppm. A concentração de níquel para cada pino foi conseguida conforme desejado.

Tabela 1: Valores médios da análise de composição química das amostras X65 e da liga contendo 1,0 e 2,0 % de níquel

Amostra	C	Mn	Si	P	S	Ni	Mo
X65	0,0990	1,43	0,283	0,0098	0,0009	0,003	0,055
1 % Ni	0,0856	1,37	0,296	0,0119	0,0011	0,934	0,061
2 % Ni	0,0881	1,35	0,295	0,0122	0,0016	1,940	0,062

A Figura 2 mostra os perfis de microdureza Vickers realizados na interface lateral das juntas soldadas dos três materiais investigados. Observa-se que os valores de dureza do pino X65 foram inferiores aos dos pinos com adição de níquel. O maior valor de dureza registrado para o pino de X65 foi da ordem de 315 $HV_{0,3}$ e de 390 e 430 $HV_{0,3}$ para os pinos com adição de 1,0 e 2,0 % de níquel respectivamente. Observam-se ainda valores de dureza mais altos na região do pino (zona de processamento) e o decréscimo desses valores na medida em que o perfil avança em direção ao metal base e se afasta da microestrutura da Zona Termomecanicamente Afetada (ZTMA). Os resultados obtidos através dos perfis de microdureza indicam a formação de microconstituintes com maior dureza para os pinos com adição de Níquel.

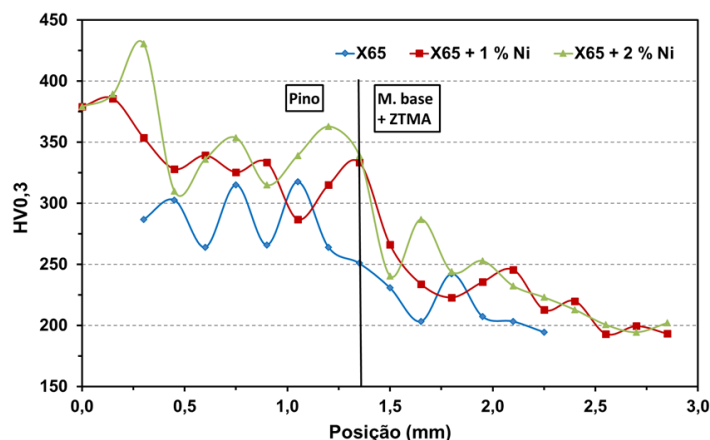


Figura 2: Perfis de microdureza Vickers realizados na interface lateral das juntas soldadas.

Os valores médios de energia absorvida no ensaio Charpy são mostrados na Fig. 3. Todos os valores médios de energia absorvida nos corpos de prova das juntas soldadas foram inferiores à energia no ensaio Charpy do material API 5L X65 utilizado para refusão. O valor médio de energia mais elevado para os corpos de prova soldados foi obtido na posição 1A para o pino de X65. Os resultados mostraram que as adições de 1,0 e 2,0 % de níquel não foram benéficas para a tenacidade da junta soldada. De um modo geral pôde ser notada uma tendência de redução da energia absorvida com a adição de níquel, sendo essa redução uma consequência do aumento da dureza.

Devido ao número reduzido de corpos de prova, alguns resultados da Fig. 3 apresentaram barras de erros com desvios grandes. Para duas condições avaliadas, X65 na posição 1B e X65 + 2 % de Ni na posição 1A foi apresentado apenas um resultado, os demais corpos de prova foram desconsiderados por apresentarem fraturas fora do entalhe, nesses casos foi observada a fratura percorrendo a interface da junta soldada. Esse comportamento reflete a baixa tenacidade dessa interface.

O processo de fabricação dos corpos de prova, principalmente no que tange ao posicionamento do entalhe deve ser levado em consideração para o aumento dos desvios. As amostras foram removidas de juntas soldadas através de eletroerosão a fio e os entalhes foram usinados em uma brochadeira. Em se tratando da avaliação de interfaces soldadas, desvios pequenos no processo de usinagem e no posicionamento do entalhe podem fortemente afetar os resultados do ensaio Charpy.

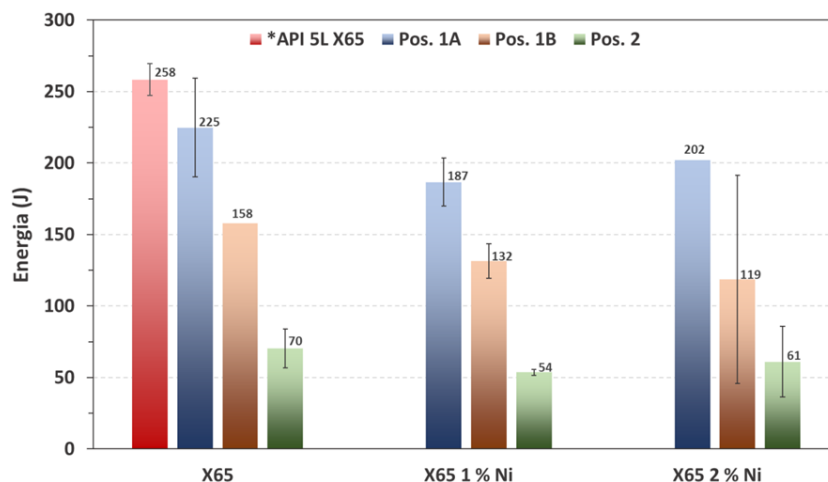


Figura 3: Valores médios de energia absorvida no ensaio Charpy desconsiderando os ensaios com fratura fora do entalhe. Barras de erros indicando desvio padrão (68,27 %). *Resultado referente ao material do pino X65 não soldado

Comparando as diferentes posições de remoção dos corpos de prova na junta soldada, tem-se os maiores valores de energia absorvida no ensaio Charpy na posição 1A, na sequência as amostras na posição 1B e os valores mais baixos na posição 2, na interface pino/metal base. O melhor desempenho das amostras na posição 1A é justificado pela existência de um volume de material menos afetado pelo processo termomecânico, preservando uma microestrutura com dureza mais baixa e consequentemente com tenacidade mais alta. Na posição 1B, os valores intermediários de energia são condizentes com a posição do entalhe, estando sobre a interface inferior da junta, contendo uma parte do pino, na zona de processamento e uma parte do metal base. A posição 2, de menor energia, indica que na interface de ligação pino/metal base é a região de tenacidade mais baixa da junta soldada.

4. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos foi concluído que a adição de 1,0 e 2,0 % de níquel no material refundido de X65 não obteve êxito no intuito de melhorar a qualidade da junta soldada, isso devido ao fato de apresentarem maiores durezas e menores tenacidades ao impacto.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao programa de pós-graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia, à Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia, ao Laboratório de Tecnologia e Atrito e Desgaste e à PETROBRAS pelo suporte.

6. REFERÊNCIAS

- ASTM - America Society for Testing Materials. “ASTM E23 Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials”. Annual Book of ASTM Standards, 2016.
- Pinto, F. C. “Caracterização mecânica e microestrutural do aço API 5L – X65 soldado por feixe de elétrons”. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade de São Paulo, Lorena, 2011.
- Pires, R. R. “Efeitos da Geometria, da Força Axial e da Rotação no Reparo por Atrito”. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2007.
- Piza Paes, M.T. “Processamento Termomecânico de Pinos de aço no interior de cavidades de Aço C-Mn através de soldagem por Atrito Rotacional”. Tese de Doutorado, COPPE-UFRJ, 2013.

7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.