

DESAFIOS E SOLUÇÕES TECNOLÓGICAS NO REPARO POR ATRITO USANDO A TÉCNICA FTPW

Raphael Rezende Pires, Materiais e Processos de Fabricação, raphaelpires@yahoo.com.br
Sinésio Domingues Franco, Materiais e Processos de Fabricação, sdfranco@ufu.br

Resumo. Este trabalho aborda o tema reparo por atrito com o objetivo de apresentar os principais desafios tecnológicos desse processo. Foi verificado que a geometria do pino e do furo influenciam na obtenção de soldas livres de defeitos. Controles microestruturais e das propriedades mecânicas do reparo foram conseguidos mediante realização de preaquecimento. Além dos desafios relacionados à qualidade do reparo soma-se ainda o desafio relacionado à infraestrutura, a qual deve ser capaz de realizar a solda submersível em água e suportar os esforços mecânicos.

Palavras chave: FTPW, desafios, geometria do pino e do furo, aços-carbono, microestruturas

1. INTRODUÇÃO

O reparo por atrito é um processo com potencial de aplicação na indústria *offshore* de óleo e gás. Este reparo é pode ser realizado através de uma técnica denominada *FTPW*, “Friction tapered Plug Welding”, ou, processamento de pinos por atrito. Esta técnica consiste no preenchimento de um furo cego ou passante previamente aberto, pela introdução coaxial de um pino ou consumível em rotação e, submetendo-o a um esforço de compressão contra a cavidade do furo (Thomas *et al.*, 1992; Meyer, 2002). Esta técnica apresenta algumas vantagens em relação ao processo de reparo realizado por meio de soldagem a arco voltaico. O reparo *FTPW* ocorre no estado sólido, sem fusão do material e, sofre pouca ou quase nenhuma influência do ambiente externo, tornando-se extremamente vantajoso nos reparos de estruturas localizadas em atmosfera subaquática.

O processo possui como fonte geradora de calor o atrito, decorrente do movimento relativo de rotação entre a superfície do pino (consumível) contra o substrato. A elevação da temperatura promove a redução do limite de escoamento do material, permitindo a existência e manutenção de um fluxo plástico. Este fluxo desenvolve-se axialmente em relação ao consumível e se une por difusão ao substrato, promovendo assim uma união metalúrgica na interface pino/substrato.

O reparo de trincas é então conseguido pela sobreposição de uma série de preenchimentos do tipo *FTPW* ao longo do comprimento do defeito. Esta técnica é conhecida como “Stitch Welding” ou reparo por costura (Meyer, 2002; Andrews, 1990). Dentre os principais parâmetros da técnica de reparo destacam-se: força axial, velocidade de rotação, comprimento de queima e a geometria e o material do pino consumível e do furo (Pires, 2007).

Este trabalho tem como objetivo apresentar, de forma sucinta, os principais desafios tecnológicos que foram superados e os que ainda precisam ser transpassados, a fim de tornar o processo de reparo por atrito um processo aplicável em campo.

2. DESAFIOS INERENTES AO PROCESSO DE REPARO POR ATRITO

2.1. Geometria do pino de preenchimento e do furo

As características geométricas do pino de preenchimento e do furo cego representam um importante fator na obtenção de reparos sem a presença de trincas e de falta de preenchimento (vazios). A **Figura (2)** ilustra a presença de defeitos, falta de preenchimento, em uma região denominada de raiz do reparo ou posição de início da solda.

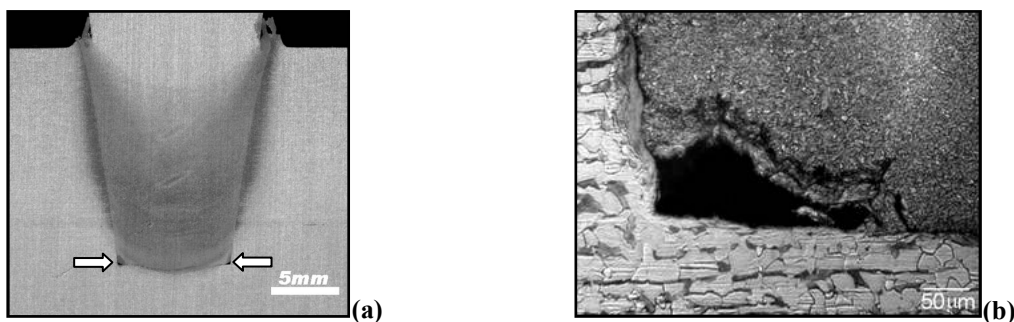


Figura (2): Ilustração de falta de preenchimento na raiz do reparo: (a) indicação dos defeitos em escala macroscópica e (b) defeito em escala microscópica

A região da raiz do reparo, mais precisamente as extremidades do fundo do furo, é considerada um ponto de concentração de defeitos, decorrentes da falta de união metalúrgica e do estreitamento da Zona Termicamente Afetada (ZTA) (PAULY, 1999 citado por MEYER, 2002; Pires, 2007).

Estudos realizados por Pires (2007) demonstraram que a utilização de uma geometria que favoreça o aporte térmico na raiz do reparo, bem como condições geométricas menos restritivas ao fluxo plástico, são de fundamental importância na obtenção de uniões com qualidades superiores, livres de defeitos e vazios. A **Figura (3)** ilustra uma geometria que foi desenvolvida para aumentar a qualidade do reparo, principalmente na região de raiz da solda.

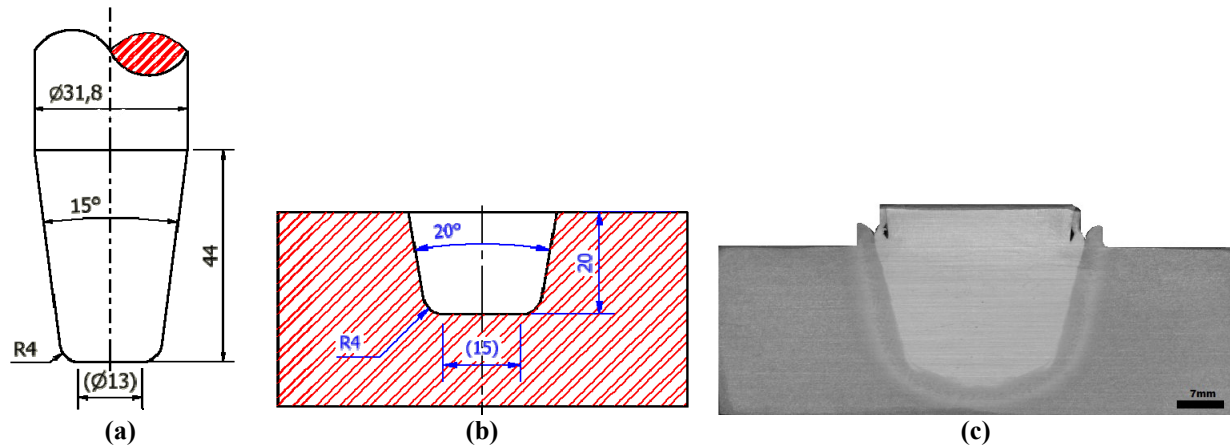


Figura (3): (a) e (b) geometrias do pino e do furo desenvolvidas para a realização do reparo por atrito (Pires *et al.*, 2012) e (c) fotomacrografia da seção transversal de um reparo utilizando as geometrias apresentadas em (a) e (b)

2.2. Reparo por atrito de aços-carbono de média dureza e alta temperabilidade

O processo de reparo por atrito quando realizado em aços beneficiados, que apresentam alta temperabilidade, pode facilmente gerar trincas, decorrentes da nucleação de fases de elevada dureza. A **Figura (4)** ilustra a presença de uma trinca ao longo da ZTA de um reparo realizado em um aço ligado ASTM A 148 GR 115-95 (Ferreira, 2010).

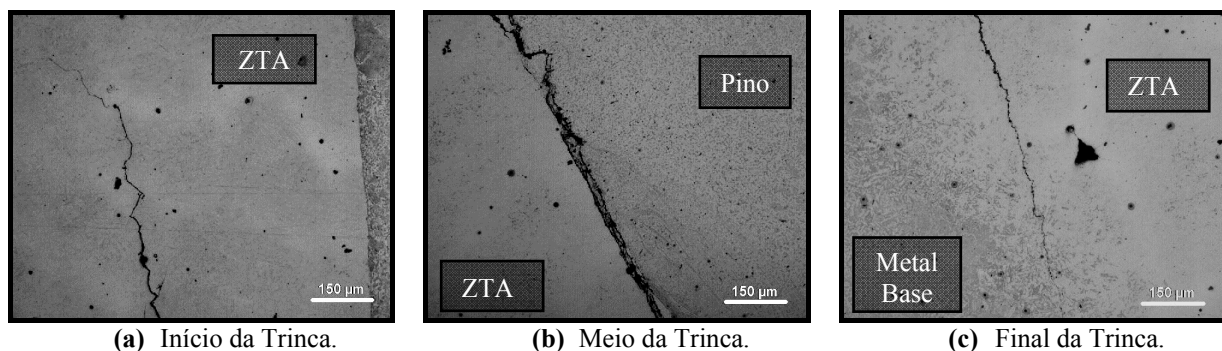


Figura (4): Trinca presente na ZTA de um reparo por atrito realizado em um aço ASTM 148 GR 115-95

O reparo em aços beneficiados, sem a geração de trincas, pode ser conseguido mediante realização de uma etapa de preaquecimento que deve anteceder o processo de reparo. Para que não ocorra a formação de trincas é necessário que os parâmetros de tempo e temperatura do preaquecimento sejam bem avaliados. Estes parâmetros, por sua vez, são função da dureza, da temperabilidade e das dimensões do metal de base e da condição de resfriamento após o reparo.

2.3. Reparo utilizando-se pinos de preenchimento com elevada concentração de enxofre

A realização de reparos com pinos de preenchimento com elevado teor de enxofre podem gerar inconvenientes na qualidade do reparo. Durante a realização da solda, as inclusões de sulfeto de manganês, presentes no aço-carbono do pino podem, preferencialmente, se realinharem ao longo da interface pino e substrato. A **Figura (5)** ilustra a presença do sulfeto de manganês em um reparo, o qual pode ser comprovado pelo alto teor de enxofre e manganês indicados no espectro de Raio-X.

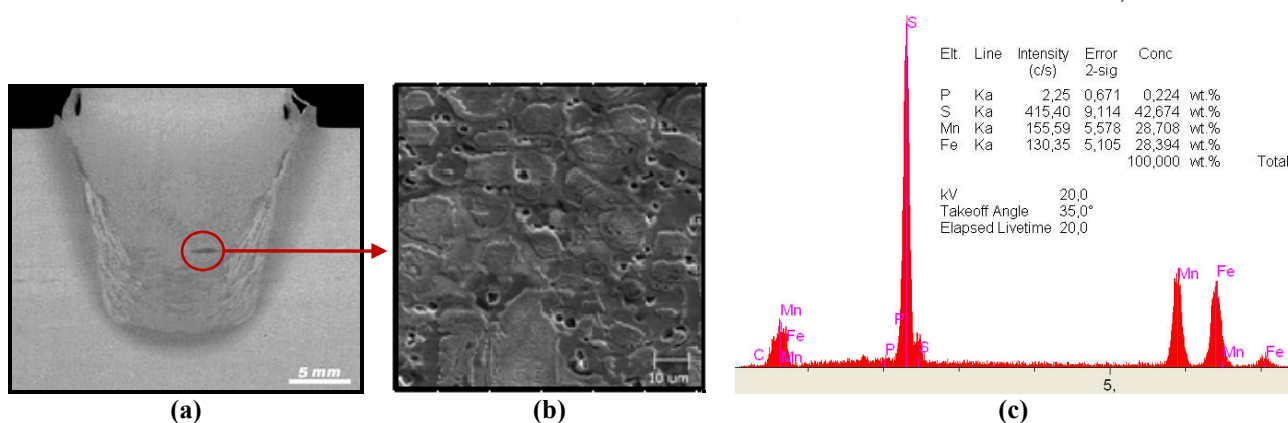


Figura (5): (a) indicação da presença do MnS no pino de preenchimento; (b) MEV do detalhe indicado em (a); (c) Espectro de dispersão de raio-X na região (b)

O inconveniente na presença do sulfeto de manganês está no fato de que esta fase ou inclusão apresenta um baixo valor de resistência mecânica quando comparado com o aço-carbono. Deste modo, uma concentração elevada desta inclusão pode vir a reduzir as propriedades mecânicas da união soldada, ou mesmo podendo se comportar como um núcleo para a formação e propagação de trincas.

A influência da concentração de enxofre no aço do pino de preenchimento, bem como o efeito da segregação das inclusões de MnS nas propriedades mecânicas do reparo necessitam ser melhor investigadas de modo a se obter soldas com características metalúrgicas e mecânicas mais adequadas no reparo.

2.4. Controle das propriedades mecânicas do reparo

O controle das propriedades mecânicas do reparo dentro de níveis tolerados é um dos critérios para o sucesso ou reprovação de um reparo. É desejável que as propriedades mecânicas do reparo sejam equivalentes em comparação com as do metal de base. Na realização do reparo em aços similares torna-se mais fácil conseguir esta equivalência, contudo, o mesmo já não ocorre quando o metal de base apresenta uma elevada dureza e alta temperabilidade.

A **Figura (6)** ilustra um preenchimento realizado em um aço ligado com manganês, cromo, níquel e molibdênio utilizado na construção de correntes de ancoragem de plataformas *offshore*. Nota-se nesta figura a presença de três níveis distintos de dureza. Um nível mais baixo formado pela dureza do aço do pino de preenchimento, um nível de maior valor de dureza na região da ZTA e um nível intermediário de dureza do metal de base. Este gradiente de dureza é uma condição indesejada em um reparo.

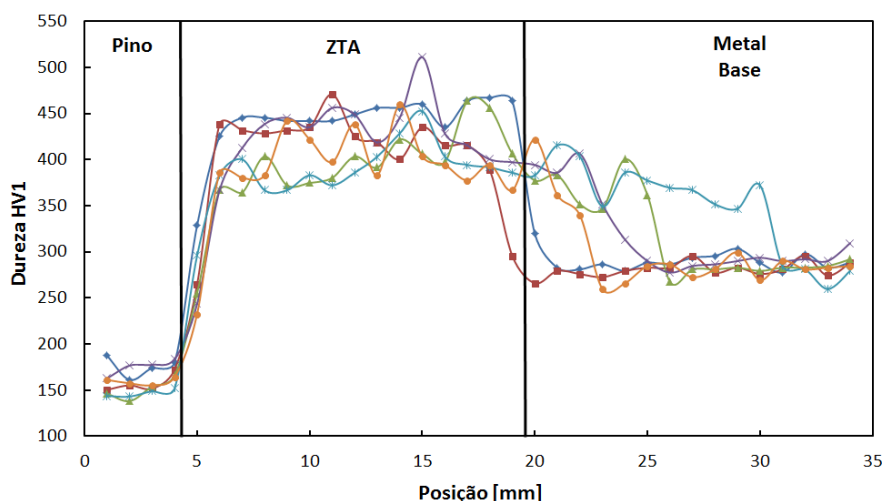


Figura (6): Perfis de dureza realizados na seção transversal de um reparo, na direção longitudinal do pino de preenchimento, (Cunha, 2013)

Uma dureza mais elevada na região do pino pode ser conseguida utilizando-se um aço com maior dureza, o qual após o processamento irá apresentar um resultado mais próximo do metal de base. Para o controle da dureza na região da ZTA deve-se buscar trabalhar com ciclos de preaquecimento e posaquecimento. O sucesso do controle dos ciclos de aquecimento requer uma avaliação do dimensional da peça, do comportamento metalúrgico do metal de base e da cinética dos ciclos de aquecimento.

2.5. Infraestrutura para realização do processo de reparo por atrito

Em se tratando da técnica do reparo por atrito, muitos trabalhos têm sido desenvolvidos com o intuito de investigar e compreender a fenomenologia física, bem como o domínio e controle dos parâmetros de influência do processo. Contribuições significativas com relação ao controle metalúrgico e caracterização das propriedades mecânicas do reparo vêm propiciando, cada vez mais, tornar possível a utilização desta técnica de reparo em campo.

Os maiores desafios para tornar viável a realização deste processo residem principalmente na infraestrutura, que deve ser submersível em água do mar e capaz de guiar e posicionar, com precisão, a unidade de reparo ao local de trabalho. Não somente guiar, mas esta infraestrutura deve ser capaz de suportar os esforços gerados durante a realização do processo de reparo, incluindo desde a usinagem do furo ao acabamento final da peça.

O laboratório de Tecnologia em Atrito e Desgaste (LTAD) foi pioneiro no Brasil a desenvolver este processo. Desde a criação da primeira cabeça de reparo, descrita por Souza, 2006, o LTAD vem trabalhando no desenvolvimento do processo e no projeto de novas versões do equipamento, culminando no desenvolvido do quarto protótipo. A quarta cabeça de reparo foi desenvolvida para ser conduzida para o campo, portátil e submersível em água (Hwang, 2010). Esta unidade de reparo, denominada de Unidade de Processamento de Pinos por Atrito 4 (UPPA4) possui como características uma capacidade de carga axial de 40 kN, rotação máxima do eixo de 5.000 rpm e pesando apenas 15 kg.

Atualmente, o LTAD, trabalhando em parceria com outras instituições e com o apoio da Petrobras vem desenvolvendo novas tecnologias e buscando soluções para então tornar possível a realização do reparo em campo.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O potencial processo de reparo por atrito possui características que o torna atrativo para aplicação industrial, principalmente para a indústria *offshore* de óleo e gás. Contudo, existem dificuldades na realização deste processo que precisam ser superados, a fim de poder aproveitar todo o potencial deste processo. Trabalhos voltados para a qualificação microestrutural e das propriedades mecânicas dos reparos necessitam ser intensificados, bem como a necessidade de superar os desafios encontrados na real execução do processo em condições de campo.

4. AGRADECIMENTO

Os autores deste trabalho agradecem ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia e à Petrobras pelo apoio financeiro.

5. REFERÊNCIAS

- Andrews, R.E., 1990, "Underwater Repair by Friction Stitch Welding", Metals and Materials, pp. 796-797.
- Cunha, J.A., "Reparo por Atrito de Elos de Correntes de Ancoragem de Plataformas Petrolíferas". 2013. 53 f. Projeto de fim de curso, Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica.
- Ferreira, V.J.A., "Influência da Força Axial e da Rotação no Processamento de Pinos por Atrito no Aço ASTM A 148 115-95". 2010. 49 f. Monografia de Projeto de Fim de Curso, Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica.
- Hwang, H.F., "Desenvolvimento, Projeto, Construção e Teste de um Cilindro de Reparo por Atrito Portátil". 2010. 89 f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG.
- Meyer, A., 2002, "Friction Hydro Pillar Processing". Dissertation an der Technischen Universität Braunschweig, Hamburg, Germany.
- Nicholas, E.D., 1995 "Friction Hydro Pillar Processing". 11th Annual North American Welding Research Conference.
- Pires, R.R., "Efeitos da Geometria, da Força Axial e da Rotação no Reparo por Atrito". 2007. 131 f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG.
- Pires, R.R., Brazão, M.F., Cunha, J.A., Paes, M.T.P., Marinho, R.R., Gonçalves, R.A. e Franco S.D., 2012, "Efeito da Geometria de Pinos na Otimização do Processo de Reparo por Atrito", Anais do 67º Congresso Internacional da ABM, Rio de Janeiro, Brasil, pp. 3413-3420.
- Souza, R.J., "Desenvolvimento, Projeto e Construção de um Equipamento de Reparo de Trincas por Atrito". 2006. 83 f. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Mecânica.
- Thomas, W., Nicholas, E.D., Jones, S.B., Lilly, R.H., Dawes, C.J.; Dolby, R.E., 1992 "Friction Forming", TWI, Cambridge, Patent N°.: EP 0 602 072 B1.

6. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.