

COSTURA POR FRICÇÃO: FUNDAMENTOS E APLICAÇÕES

Gustavo Alves Pinheiro

Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Mecânica.
gustavopinheiro@hotmail.com - Belo Horizonte, MG, Brasil.

Alexandre Queiroz Bracarense

Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Mecânica.
queiroz@vesper.demec.ufmg.br - Belo Horizonte, MG, Brasil.

Paulo Villani Marques

Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Mecânica.
pvillani@demec.ufmg.br - Belo Horizonte, MG, Brasil.

Axel Meyer

GKSS Forschungszentrum, Institute for Materials Research.
axel.meyer@gkss.de - Geesthacht, Alemanha.

Jorge Fernandez dos Santos

GKSS Forschungszentrum, Institute for Materials Research.
jorge.dos.santos@gkss.de - Geesthacht, Alemanha.

Gordon R. Blakemore

Circle Technical Services Ltd – Aberdeen, Escócia.

***Resumo.** Este trabalho apresenta, em uma abordagem didática, um novo processo de soldagem chamado “Costura por Fricção”, o qual apresenta inúmeras vantagens para a união de materiais em operações difíceis de serem realizadas com os métodos de soldagem convencionais. O processo desenvolve-se inteiramente em estado sólido, evitando-se que sejam absorvidas grandes concentrações de hidrogênio e nitrogênio e fazendo com que defeitos devidos à operação de soldagem comum não venham a ocorrer nesse processo. O material é submetido a baixas temperaturas se comparado aos processos a arco e o ciclo térmico é mais suave. Ainda, os parâmetros envolvidos na costura por fricção não são afetados pelo aumento da pressão externa, facilitando seu uso em operações subaquáticas a grandes profundidades, onde não é possível a intervenção de operadores. As aplicações da costura por fricção incluem o reparo de estruturas “offshore” em aços ao carbono, de oleodutos submarinos, de dutos de transporte de óleo e gás operados a alta pressão, de FPSO’s (Floating Production Storage and Offloading units) e reparos na indústria de transporte naval. O processo tem ainda aplicações potenciais na indústria nuclear, para reparos de reatores, e na indústria de defesa, para manutenção e reparos de navios de guerra.*

***Palavras-chave:** Soldagem, Fricção, Costura, Estado sólido.*

1. FUNDAMENTOS

1.1. O processo de costura por fricção

Este processo consiste de duas etapas: uma primeira de furação e uma segunda de enchimento. Nesta última, o consumível ou material de enchimento, equivalente ao material a ser reparado, é posto primeiramente em rotação e em seguida introduzido axialmente dentro da cavidade previamente aberta. Devido ao contato inicial do consumível com o fundo da cavidade, calor será gerado por fricção, promovendo assim o escoamento do material plastificado ao longo do plano de cisalhamento na base do consumível. Assim, com uma escolha apropriada de pressão e velocidade relativa, os planos de cisalhamento são induzidos a mover-se axialmente, de forma que o material de adição entre em contato íntimo com a parede interna da cavidade (Thomas e Nicholas, 1992). Devido à fricção e deformações a que o material é submetido, a solda acontece entre as paredes da cavidade e o consumível, num tempo entre 5 e 20 segundos, dependendo do material, da velocidade relativa, da pressão axial e da profundidade da cavidade. A figura 1 apresenta uma série de macrografias mostrando a seqüência de eventos desde o contato inicial (“touch down”) até a finalização da soldagem. Como o consumível sofre intenso trabalho a quente e severas deformações, uma microestrutura refinada será formada, alterando assim as propriedades estáticas e dinâmicas do material. Entretanto, essa estrutura poderá ainda ser modificada por tratamento térmico posterior, para que as propriedades mecânicas desejadas sejam alcançadas (Thomas 1997). Deve ser considerado também que todo o processo acontece com ausência de fusão macroscópica, ou seja, ocorre inteiramente em estado sólido. Assim, todos os problemas associados com a fusão e solidificação do material, particularmente absorção e evolução de hidrogênio e nitrogênio, são reduzidos significativamente e até mesmo completamente eliminados.

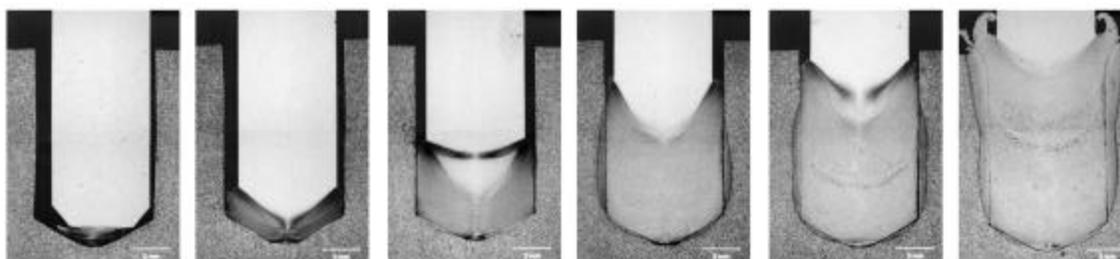


Figura 1 - Escoamento de material durante a costura por fricção.

Por ser um processo em estado sólido, a soldagem por fricção, diferentemente dos processos a arco elétrico, não é afetada pela pressão ambiente (Nixon, 1986) e por isso espera-se que o processo possa ser empregado com sucesso mesmo em profundidades superiores às aquelas comumente utilizadas para a passagem de oleodutos. Na verdade, a soldagem por fricção já tem sido usada com êxito no reparo e manutenção de estruturas de conexão nas indústrias “offshore” e naval há alguns anos (Nicholas 1984, Blakemore 1994). A Figura 2 mostra o princípio da costura por fricção, onde a solda é obtida como resultado da sobreposição de uma série de operações individuais, até que a junta seja completada, ou uma trinca completamente reparada.

Duas técnicas diferentes podem ser usadas na soldagem de costura por fricção: a primeira envolve um consumível e uma cavidade de formato cônico, usada para reparos de estruturas de parede fina, uma vez que as forças envolvidas são melhor distribuídas, e a segunda envolve uma configuração cilíndrica, na qual as forças atuantes são maiores. Em ambas as técnicas,

criadas pelo TWI em Cambridge (Inglaterra) e desenvolvidas pela GKSS em Geesthacht (Alemanha), a qualidade da união entre a superfície da cavidade e o consumível é excelente. Uma descrição mais detalhada destas variações do processo é dada por Meyer et al (2000), mostradas na figura 3.

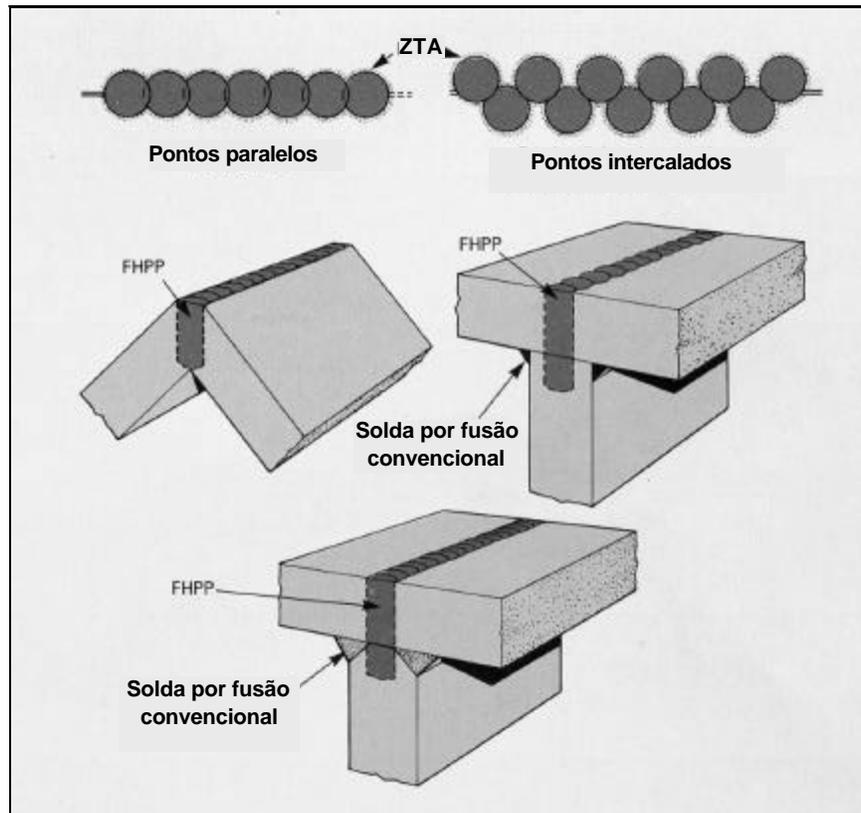


Figura 2 - Costura por fricção: Princípio de operação.

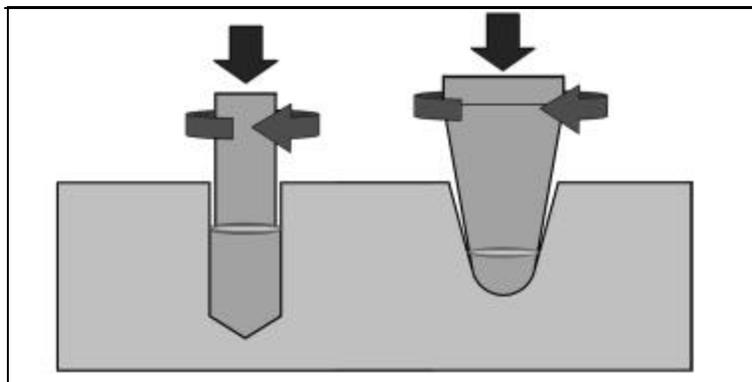


Figura 3 - Variações do processo: cilíndrico e cônico.

1.2. As vantagens da costura por fricção

A costura por fricção tem importantes vantagens para soldagem subaquática e também para a junção de materiais dissimilares, os quais são difíceis de soldar com o uso de processos convencionais a arco. Nestes últimos, quando executados embaixo d'água, as moléculas de água se dissociam e hidrogênio e oxigênio são absorvidos pela poça de fusão. Este aumento do teor de oxigênio nos aços pode causar uma sensível redução na tenacidade do cordão de solda enquanto que o aumento do teor de hidrogênio aumenta significativamente as

possibilidades de fissuração a frio na zona termicamente afetada. Além disso, a quantidade de hidrogênio e oxigênio absorvida aumenta com o aumento da profundidade (Christensen, 1983).

Na soldagem de costura por fricção o material é constantemente deformado plasticamente devido à geração de calor por atrito e à pressão. As impurezas porventura existentes são expelidas da interface de união e a solda pode ser obtida sem contaminações que poderiam provocar o aparecimento de discontinuidades. As temperaturas máximas alcançadas na soldagem de aços por fricção (tipicamente 1300°C) são muito inferiores às obtidas nos processos de soldagem a arco convencional dos aços (entre 1700 e 2000°C na poça de fusão), fazendo com que o ciclo térmico apresente gradientes menos severos. Conseqüentemente, o processo pode ser usado para soldagem subaquática deste material, contudo sem produzir estruturas muito duras e frágeis, sensíveis à fissuração por hidrogênio, comuns em processos subaquáticos a arco.

Os procedimentos de reparo mais amplamente utilizados hoje em dia na indústria “offshore” (usando os processos GTAW e SMAW) incluem a criação de uma câmara hiperbárica ao redor da plataforma e a intervenção de especialistas em soldagem. Entretanto, a escolha de parâmetros é muito influenciada pela profundidade. De seu lado, na soldagem de costura por fricção os parâmetros não são significativamente afetados pelo aumento da pressão ambiente e assim o processo pode ser executado mesmo a centenas de metros de profundidade sem muitas variações.

Em resumo, pode-se dizer que o processo de costura por fricção apresenta as seguintes vantagens:

- Não é requerida atenção especial com a preparação da superfície, uma vez que o processo é considerado auto-limpante e tende a expulsar impurezas;
- O processo em si não é prejudicial à saúde do operador já que não há fagulhas, radiação ou fumaça envolvidas;
- Fluxo e gás de proteção não são necessários;
- Defeitos associados à solidificação do material, como porosidade e segregação, não ocorrem, já que o processo ocorre no estado sólido;
- Menores custos de mão de obra e energia, mecanismos simples de fixação e ciclos rápidos de soldagem tornam o processo viável para a construção de componentes normalmente fabricados por outros processos de soldagem;
- O processo é facilmente automatizado e capaz de reproduzir soldas com alta qualidade e repetitividade, podendo ainda ser operado a grandes distâncias da base, fazendo com que seja particularmente adequado para aplicações remotas em ambientes perigosos;
- A baixa quantidade de energia cedida à peça, juntamente com os ciclos rápidos de soldagem, permite sua aplicação no reparo de oleodutos, linhas de gás e componentes de instalações “offshore” ou petroquímicas em operação, com segurança;
- A resistência da solda é, na maioria dos casos, equivalente ou mesmo superior à do material original.

1.3. Automatização do processo de costura por fricção

Na soldagem de costura por fricção a força aplicada é de algumas toneladas e é necessário que as cavidades e os consumíveis sejam alinhados com bastante precisão para que se tenha uma qualidade satisfatória. Assim, em aplicações práticas, para se ter um nível de controle satisfatório, é necessário que o processo seja automatizado.

Pesquisas recentes incluem o desenvolvimento de uma plataforma mecanizada de soldagem, que pode ser acoplada a um robô ou a um sistema de fixação, capazes de suportar as forças envolvidas no processo com uma repetitividade dentro de 0.1 mm, para aplicações subaquáticas (Meyer et al, 1998, Daelen, 1999, Hagge, 1998). Um sistema de troca de ferramentas (Roos, 1999) realizará as tarefas de abrir a cavidade à profundidade requerida, preenchê-la pelo processo de costura por fricção, remover a cabeça remanescente do consumível, fresar e dar acabamento à superfície e finalmente reposicionar o sistema para a próxima operação. O robô pode operar solidário a um sistema END (Ensaio Não Destrutivo) para localizar e mapear trincas, além de realizar a inspeção pós-soldagem. Sistemas de inspeção por correntes parasitas (“Eddy Current”) e ACFM (“Alternating Current Field Measurement”) podem ser integrados ao sistema de reparo gerando imagens em três dimensões para uma perfeita localização e determinação do comprimento e da profundidade de trincas (Raine e Lugg 1996).

2. APLICAÇÕES DE COSTURA POR FRICÇÃO

2.1. Reparos de estruturas “offshore”

Há hoje em todo o mundo mais de 4.000 plataformas em uso pela indústria de óleo e gás. Muitas dessas plataformas, já com mais de vinte anos de operação, estão trabalhando além de sua vida de projeto, uma vez que após este tempo as estruturas de aço são susceptíveis à formação de trincas, principalmente por fadiga e requerem, portanto, reparos. Esses reparos tradicionalmente incluem métodos caros de construção de um ambiente seco fixado por grampos à estrutura da plataforma. Assim, as técnicas de reparo podem ser aprimoradas com o desenvolvimento do processo de costura por fricção usando técnicas de ensaios não destrutivos para exame da integridade da solda. A figura 4 mostra um sistema desenvolvido no projeto “BRITE-EURAM ROBHAZ”, que contará, como citado anteriormente, com um robô acoplado a um veículo operado remotamente (“Remote Operated Vehicle” - ROV). O sistema será acoplado rigidamente à estrutura da plataforma, suportando as forças de reação a que estará sujeito, além de propiciar a repetitividade necessária para a integridade das soldas.



Figura 4 - ROV com o robô acoplado a uma plataforma.

2.2. Reparos de oleodutos submarinos

A soldagem hiperbárica tem sido um método largamente utilizado para reparos envolvendo soldagem submarina. Seu uso é possível em águas não muito profundas (até 250m) com a ajuda de mergulhadores especializados em tais operações. Um sistema completo

de soldagem hiperbárica sem a presença de mergulhadores seria bastante complexo e, talvez por isso, ainda não tenha sido desenvolvido. A costura por fricção é um processo mecanizado adequado para essa operação, uma vez que não envolve a criação de um ambiente seco e nem necessita da interrupção do trabalho do equipamento (Blakemore, 1999). Um sistema assim está sendo desenvolvido e conta com grampos hidráulicos de fixação orbital, além de um módulo de controle de alinhamento adequado ao reparo de tais estruturas (Gibson et al, 2000).

2.3. Manutenção e reparos de trincas na indústria nuclear

Os materiais austeníticos usados nos reatores nucleares do tipo BWR – “Boiling Water Reactors” e PWR – “Pressure Water Reactors” poderiam, a princípio, ser reparados por soldagem a arco, do ponto de vista da soldabilidade metalúrgica. Entretanto, dois problemas sérios se apresentam: o ambiente hostil impede a utilização de soldadores humanos e a soldagem molhada com o arco elétrico gera gases hidrogênio e oxigênio que introduzem o risco de explosão. Assim, as operações de reparo e manutenção em usinas nucleares podem ser simplificadas e ter seu custo reduzido substancialmente pelo uso de um sistema de soldagem automatizado com controle remoto, que minimizaria a exposição de humanos enquanto que o uso da costura por fricção eliminaria os riscos de explosão.

2.4. Outras aplicações

As aplicações de costura por fricção incluem ainda o reparo de oleodutos operados a alta pressão, a manutenção e o reparo de FPSO’s (Floating Production Storage and Offloading Units) e o reparo de navios, dispensando o uso da “doca seca”. Adicionalmente, fora do ambiente aquático, essa técnica é também adequada para aplicações onde se deseja pequenas distorções e tensões residuais, já que a energia envolvida no processo é bem inferior se comparada aos processos convencionais de soldagem a arco.

3. CONCLUSÃO

Mostrou-se que a soldagem de costura por fricção é um processo relativamente simples e pode auxiliar na solução de muitos dos problemas atuais de engenharia de soldagem. O desenvolvimento de um sistema compacto de soldagem por costura por fricção se faz necessário para que essa nova e vantajosa técnica possa ser devidamente aproveitada na união de juntas complexas, as quais são feitas hoje por métodos de soldagem a arco.

REFERÊNCIAS

- Blakemore, G. R., 1994, Underwater Application of State of the Art Portable Friction Stud Welding Equipment, International Workshop on Underwater Welding of Marine Structures, New Orleans, Louisiana, USA, American Bureau of Shipping.
- Blakemore, G. R., 1999, Friction Welding - Technology for the new millennium, Offshore Technology Conference, Houston, USA.
- Christensen, N., 1983, The Metallurgy of Underwater Welding, IIW Conference on Underwater Welding, Trondheim, Norway, Pergamon Press, New York, USA, pp. 71-79.
- Daelen, S., 1999, Modification of tripod-robot components for underwater applications, Institut für Konstruktion und Entwicklung, Kiel, Fachhochschule Kiel.
- Gibson, D.E., G. Pinheiro, O. Vennemann, J.F. dos Santos and G.R. Blakemore, 2000, Engineering Applications of Friction Stitch Welding, Proceedings of the ETCE/OMAE.

- Hagge, J., 1998, Modification of tripod-robot components for underwater applications, Institut für CIM-Technologietransfer, Kiel, Fachhochschule Kiel.
- Meyer, A. E. Aust, H.-R. Niemann, R. Hammerin, K.-E. Neumann, D. Gibson and J.F. dos Santos, 1998, Marination concept for the TRICEPT TR600robot, Geesthacht, GKSS Forschungszentrum GmbH.
- Meyer, A.; D. Pauly, A. Roos, G. Pinheiro, J.F. dos Santos, D. Gibson and G.R. Blakemore, 2000, Considerations on Robotic Friction Stitch Welding for the Repair of Marine Structures, OMAE00-2162, Proceedings of ETCE/OMAE2000 Joint Conference, Energy for the New Millennium, February, New Orleans, LA.
- Nicholas, E. D., 1984, Underwater Friction Welding for Electrical Coupling of Sacrificial Anodes, 16th Offshore Technology Conference, Houston, USA.
- Nixon, J., 1986, Effects of depth on friction stud welding parameters, School of Welding, Cranfield, Cranfield University, England.
- Raine, G.A. and Lugg, M.C., 1996, ROV Inspection of Welds - a Reality, INSIGHT, 38 (5), pp. 346-350.
- Roos, A., 1999, Integration of a friction welding system and a TRICEPT robot, Department of Naval Architecture and Marine Engineering, Bremen, University of Applied Science, 51.
- The Welding Institute, 1991, Friction Forming, International Patent No. WO 93/04813, London.
- Thomas, W. and E. D. Nicholas, 1992, Friction Hydro Pillar Processing (FHPP), TWI Connect, June.
- Thomas, W., 1997, The need for gas shielding - positive advantages for two friction processes, TWI Bulletin, pp. 84-88.

FRICION STITCH WELDING: FUNDAMENTALS AND APPLICATIONS

***Abstract.** This work presents, in a didactic approach, a new welding process called "Friction Stitch Welding", which has several advantages in operations for materials union difficult to be accomplished by the conventional welding methods. The process develops entirely in a solid phase, avoiding high concentrations of hydrogen and nitrogen to be absorbed, which may cause defects in common welding operations. The material is submitted to lower temperatures if compared to the arc processes and the thermal cycle is softer. Furthermore, the parameters involved in the process are not affected by increasing the ambient pressure, facilitating its use in high depth underwater operations, where it is not possible the intervention of operators. The applications include the repair of carbon steels offshore structures, submarine pipelines, oil transport and high pressure operated gas pipes, FPSO's (Floating Production Storage and Offloading units) and repairs in the naval transportation industry. Also the process has potential applications in the nuclear industry, for repairs of reactors, and in the defense industry, for maintenance and repairs of war ships.*

Keywords: Friction Welding, Stitch, Solid state.