



14º POSMEC - Simpósio do Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Mecânica

Universidade Federal de Uberlândia
Faculdade de Engenharia Mecânica



DESENVOLVIMENTO, PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UM EQUIPAMENTO DE REPARO POR ATRITO

Robson José de Souza

rjsouza@mecanica.ufu.br

Francisco Francelino Ramos Neto

francisco@mecanica.ufu.br

Leonardo de Oliveira Alves Cardoso

loa_cardoso@yahoo.com.br

Camila Monteiro Formoso

camilaformoso@yahoo.com.br

Vera Lúcia Franco

vlfranco@ufu.br

Sinésio Domingues Franco

ltm-sdfranco@ufu.br

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, Laboratório de Tribologia e Materiais, Campus Santa Mônica, Uberlândia - MG

Marcelo Torres Piza Paes

mtp@cenpes.petrobras.com.br

Petrobras, Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo Américo M. de Mello, Cidade Universitária, Rio de Janeiro - RJ

Resumo: A soldagem por atrito é um processo que promove a união de superfícies a partir da utilização de altas cargas e movimentação relativa das peças. O calor resultante é responsável pela união das partes, sem que não haja fusão dos materiais. Assim, este é um processo de fabricação que se torna muito interessante quando se deseja boas propriedades mecânicas, pequena região afetada pelo calor e alta flexibilidade na escolha de materiais. A soldagem por atrito é um processo que se encontra relativamente bem desenvolvido. Todavia, somente nos anos 90, uma técnica nova de reparo chamada de Fricção FHPP (Friction Hidro Pillar Process) foi proposta. Esta técnica baseia-se no preenchimento de um furo através do processamento de um pino pelo calor gerado pelo atrito. Esta configuração de reparo permite, assim, que o processo possa ser realizado de forma automatizada através de equipamentos dedicados e operados de longas distâncias. Apesar das altas potencialidades de utilização deste processo, inclusive para realização de reparos em estruturas submersas, o seu desenvolvimento ainda é bastante recente. Assim, o presente trabalho tem como objetivo apresentar o desenvolvimento de um equipamento que visa um estudo mais detalhado das variáveis de processo nos resultados finais do reparo. São, ainda, apresentados os primeiros ensaios realizados no preenchimento de furos em estrutura de aço ABNT 1020 e cujos resultados apontam para um futuro promissor do processo.

Palavras-chave: Reparo por atrito, soldagem, FHPP, controle de processo, controle em tempo real.

1. INTRODUÇÃO

A soldagem por atrito é um processo que visa a união de superfícies a partir da movimentação relativa entre peças quando sujeitas a ação de altas pressões de contato. O calor resultante do processo leva a plastificação do material na superfície sem, contudo, levar à fusão. Sendo assim, este é um processo de fabricação com relevante interesse para união e produção de peças feitas de materiais tais como: metais, polímeros, cerâmicos e materiais compósitos.

Já no século XX, tanto o processo de soldagem por atrito quanto os parâmetros de processamento, já estavam bastante desenvolvidos. Recentemente, um novo processo, denominado FHPP (“Friction Hidro Pillar Process”) foi desenvolvido (Andrews, 1990, Nicholas e Thomas, 1992, Nicholas, 1995 e Thomas e Tempel-Smith, 1997). Esse processo baseia-se no preenchimento de um furo através de um pino consumível. Este material é processado a partir de altas rotações e cargas, levando ao aquecimento concentrado na região de contato e à união metalúrgica na interface com o furo. O reparo de estruturas com defeitos longos, como trincas, pode ser realizado através da sobreposição de preenchimentos levando a uma “costura” na região do dano (Meyer, 2002).

Apesar alto potencial de aplicação desta técnica de reparo, o processo ainda não foi amplamente estudado. Assim, motivado pelas potencialidades de aplicação desta técnica, propôs-se o desenvolvimento, projeto e construção de um equipamento, que, em princípio, pudesse permitir um estudo mais aprofundado do processo de reparo por atrito através da técnica de FHPP.

Neste trabalho são apresentadas as etapas do desenvolvimento do equipamento bem como a fase inicial de ensaios de validação do aparato. São, ainda, apresentados resultados preliminares obtidos em amostras de aço-carbono ABNT 1020 que atestam as potencialidades dessa técnica.

2. O EQUIPAMENTO DE REPARO POR ATRITO

A realização do processo de reparo pelo processo de FHPP requer altas velocidades de rotação do pino consumível. Tipicamente, estas rotações são da ordem de 6.000 a 7.000 rpm (Meyer, 2002). Além disso, as cargas axiais aplicadas sobre o pino podem chegar a valores de algumas toneladas. No caso de pinos de aço-carbono de diâmetros de 10 mm, Meyer (2002) diz que, para uma adequada ligação na interface de reparo dos materiais, as cargas podem chegar até cerca de 50 kN.

Adicionalmente às particularidades dimensionais destes parâmetros de ensaios, é requerido um controle preciso destes durante o processo de reparo. Isso porque, as propriedades da junção são fortemente dependentes das variáveis de processo. Segundo dados da literatura, os melhores resultados no processo de reparo por atrito foram obtidos a partir da utilização de um controle preciso da força normal sobre o pino ao invés de um controle na taxa de consumo deste. Ou seja, a carga normal deve ser mantida constante durante todo o processo. Além disso, o equipamento deve monitorar o consumo do pino e interromper o processo na posição pré-definida.

O equipamento desenvolvido tem o seu funcionamento totalmente automatizado e controlado via microcomputador. A interface é feita via placa de aquisição com resolução de 12 bits e todo o programa de controle foi desenvolvido em *Labview®*. O sistema é capaz de registrar, em função do tempo, parâmetros de processo tais como: força normal, velocidade de rotação, comprimento de consumo do pino e força de forjamento. Para alguns tipos de materiais e condições de campo, os parâmetros de processo devem ser mudados ao longo do reparo. Neste caso, o equipamento também é capaz de realizar todo o controle de processo através da escolha de múltiplos regimes de processamento do pino. Todos os parâmetros de testes são monitorados em tempo real e representados graficamente. Os dados são armazenados em arquivo para posteriores avaliações.

Tanto a aplicação de carga quanto da rotação são feitas através de um sistema hidráulico (Figura 1). O acionamento do eixo do equipamento é feito por um motor hidráulico que por sua vez está acoplado a uma bomba hidráulica com capacidade máxima de 93 l/min à 350 bar. A alimentação desta bomba é feita por um motor elétrico de 100 CV. A aplicação de carga normal no pino é feita por um cilindro hidráulico alimentado por uma segunda bomba hidráulica. Estes sistemas de alimentação hidráulica possuem acionamentos por motores elétricos independentes.

Os controles da carga e da rotação são feitos por eletroválvulas hidráulicas microcontroladas por processamento digital (Figura 2). O monitoramento das variáveis de processo é feito por transdutores de pressão localizados nas linhas de entrada e saída tanto do motor quanto do cilindro hidráulico. Estes elementos foram montados em um bloco de válvulas situado à cerca de 1 m da cabeça de reparo. Um sensor indutivo monitora a rotação do motor enquanto um sensor resistivo registra a posição do cilindro hidráulico.

Assim, o equipamento desenvolvido é capaz de processar pinos com até 25 mm de diâmetro, com rotações de até 8.000 rpm e cargas normais máximas de 50 kN.

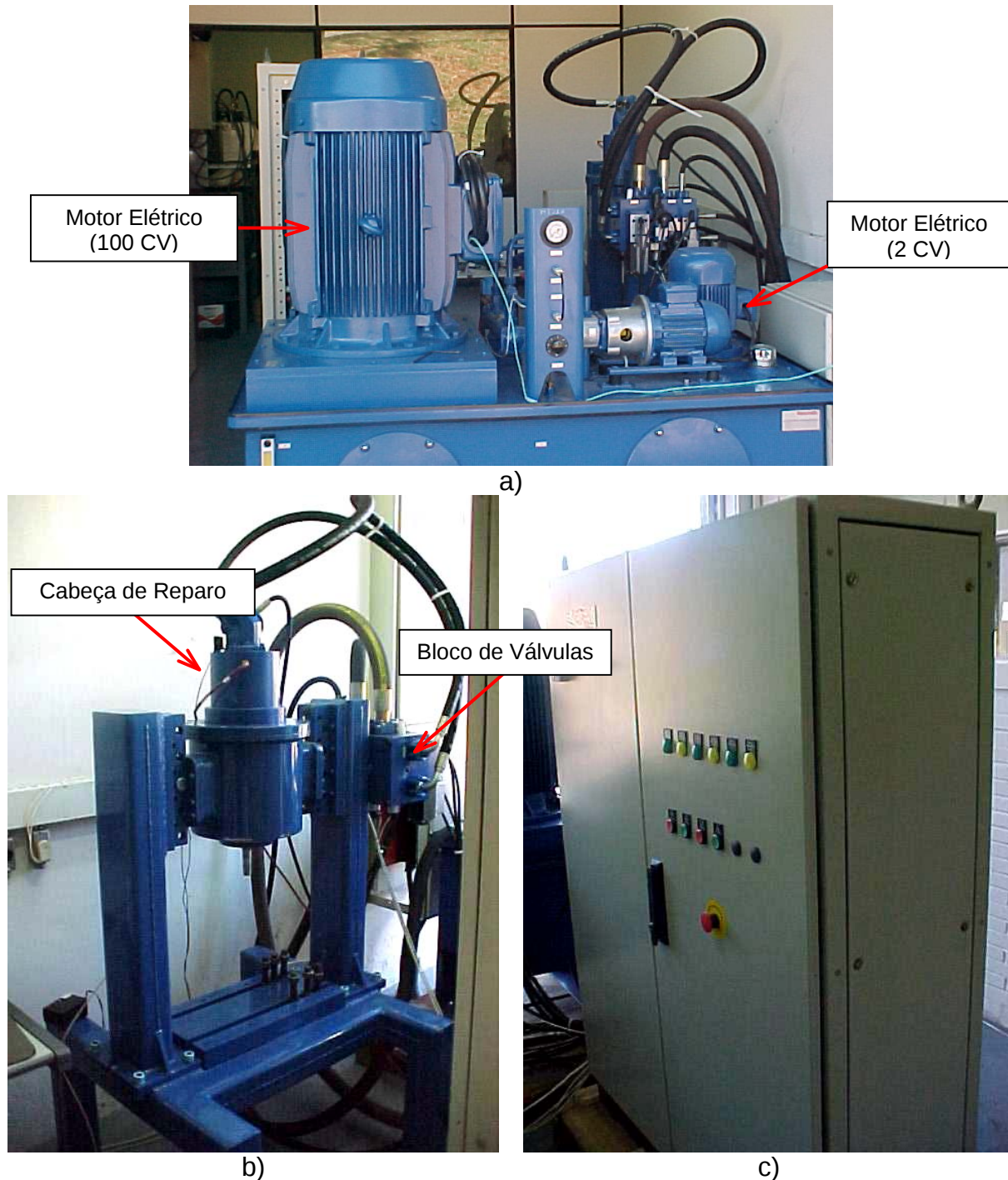


Figura 1: Vista geral do equipamento desenvolvido, a) unidade hidráulica, b) Cabeça de reparo e Bloco de válvulas e c) Pannel de alimentação elétrica.

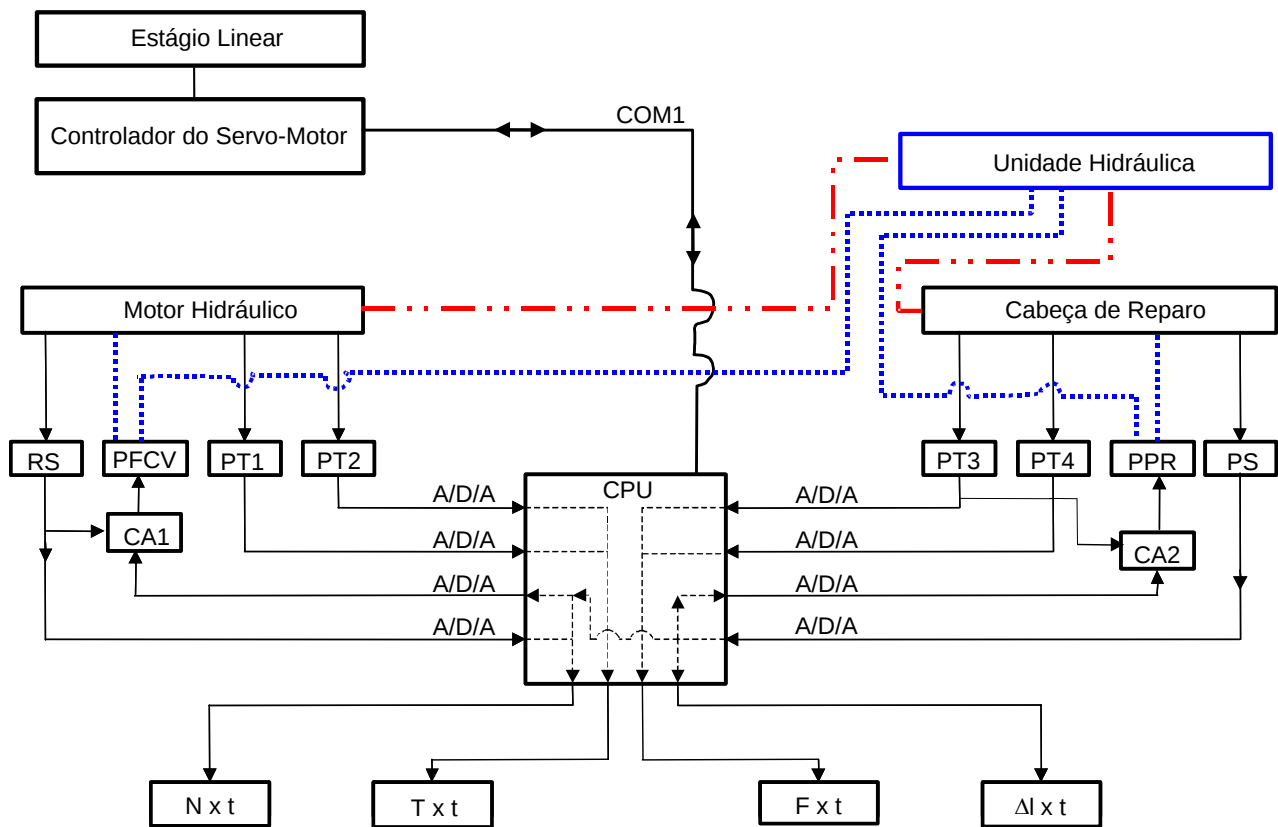


Figura 2: Fluxograma do sistema de alimentação e de controle operacional do equipamento: CPU- Unidade de Processamento, RS: Sensor de rotação, PS: Sensor de Posição, PT1: Transdutor de pressão na entrada do motor, PT2: Transdutor de pressão na saída do motor, PT3 e PT4: Transdutores de Pressão no cilindro hidráulico, VRV: Válvula Proporcional de Controle de Vazão, VRP: Válvula Proporcional de Controle de Pressão, CA1 e CA2: Controladores Analógicos de dados de Dados. N, T, F e Δ l indicam, respectivamente: Rotação, Torque, Força, e comprimento de processamento do pino. As linhas contínuas indicam caminho das informações elétricas e as tracejadas o fluxo de fluido hidráulico.

3. DEPOSIÇÃO DE REVESTIMENTOS

O processo de deposição de revestimentos FS (*Friction Surfacing*) é derivado do processo de soldagem por atrito e se destina à aplicação de revestimentos concisamente aderidos ao substrato (Voutchkov *et al.*, 2001 e Bedford *et al.*, 2001). Neste processo, um pino consumível é atritado contra a superfície do material e o aquecimento produzido leva à plastificação do material e à sua adesão ao substrato. A movimentação da peça leva, portanto, à formação de um revestimento bastante fino, com microestrutura homogênea e com excelentes propriedades de adesão (Voutchkov *et al.* 2001 e Bedford *et al.* 2001). Além disso, problemas de zona afetada pelo calor e diluição na interface são minimizados.

Levando-se em conta os benefícios deste processo de deposição e, sabendo-se que o aparato para realização de reparo por atrito pelo processo de FHPP pode ser facilmente adaptado para tal, uma mesa-x foi adicionada ao sistema (Figura 2). Esta etapa do projeto encontra-se em fase de implantação e resultados de teste são previstos para trabalhos futuros.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados preliminares obtidos pelo equipamento desenvolvido são apresentados na Figura 3. Neste ensaio a força normal escolhida foi de 10 kN e velocidade de rotação 5.000 rpm. Nota-se que, apesar da presença do sistema de controle, há uma significativa variação da força axial sobre o material dentro do furo. Outro fato importante a ser observado é a regularidade apresentada pelo comprimento de queima do pino. Isso indica que o processo fora todo controlado por este parâmetro e não pela carga de teste. Analisando a configuração do sistema de acionamento notou-se que a velocidade de avanço máxima estava sendo limitada em 3 mm/s. Isso impedia o equipamento de imprimir um procedimento de reação e correção da carga aplicada, levando a uma incapacidade de realização adequada do processo de reparo.

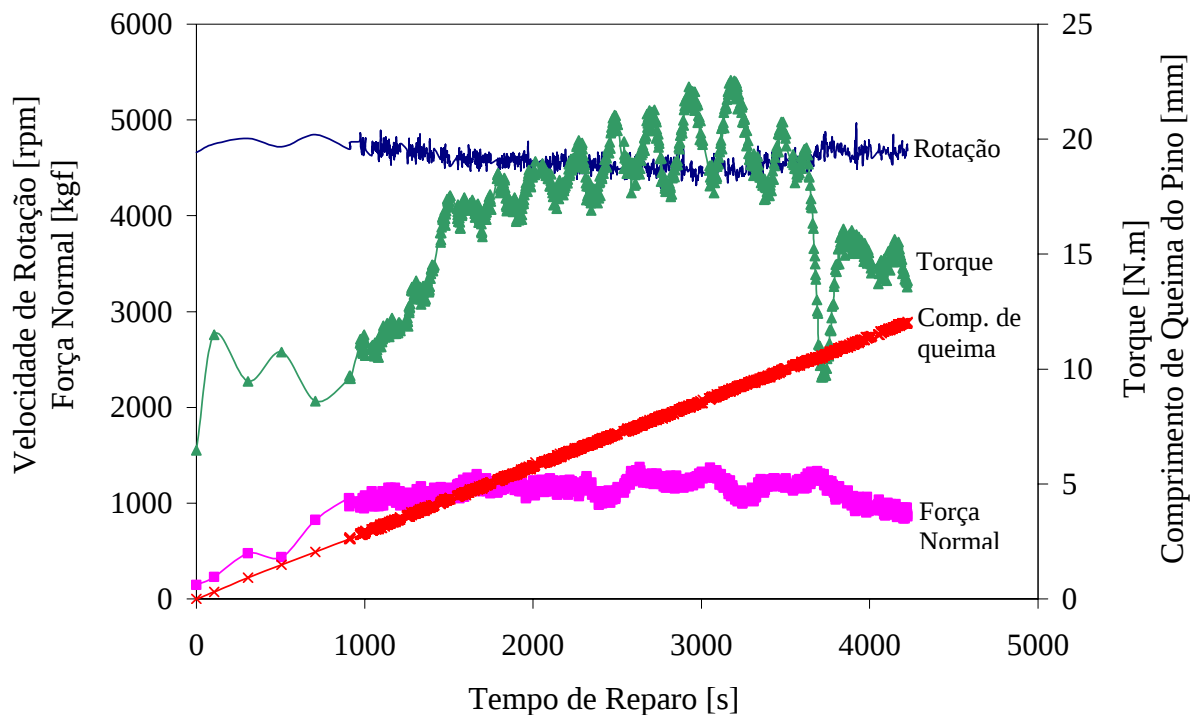
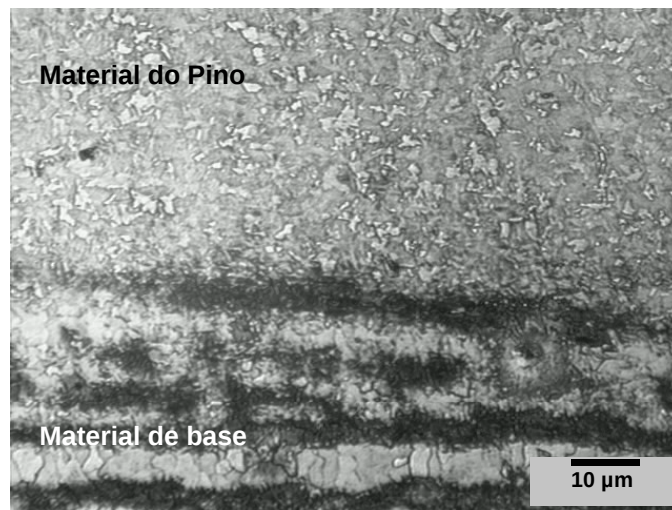


Figura 3: Diagrama do ensaio de reparo por atrito mostrando o tempo de ensaio, a força normal, o torque e o comprimento de queima do pino.

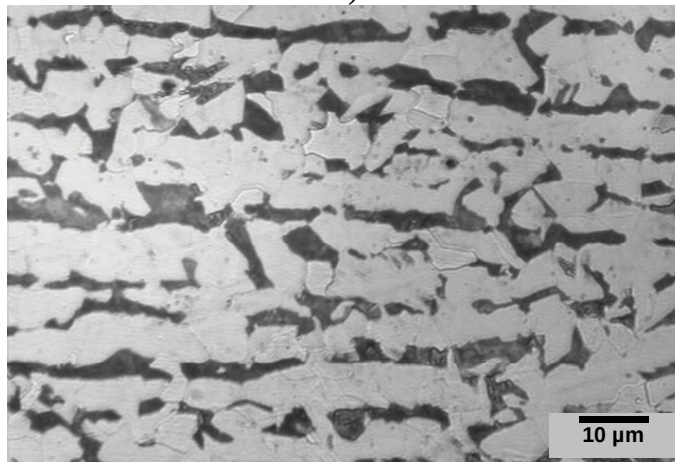
Os resultados de preenchimento do furo realizados em uma chapa de aço carbono e utilizando-se um pino do mesmo material são apresentados na Figura 4. Uma análise metalográfica realizada nos cortes transversalmente à peça mostra uma perfeita ligação metalúrgica entre os materiais. A microestrutura desta seção (Figura 4b) é constituída basicamente de perlita e ferrita. No caso da região de preenchimento pelo pino, esta microestrutura é mais fina em função da alta taxa de resfriamento localizado que o material está sujeito durante o processo de reparo.

Ensaaios de microdureza realizados na seção transversal a partir da parte inferior do furo mostram um considerável aumento da dureza na região de interface do material base e o pino (Figura 5). Este fato, coerentemente com os resultados de análise metalográfica, confirma a adesão íntima dos materiais.

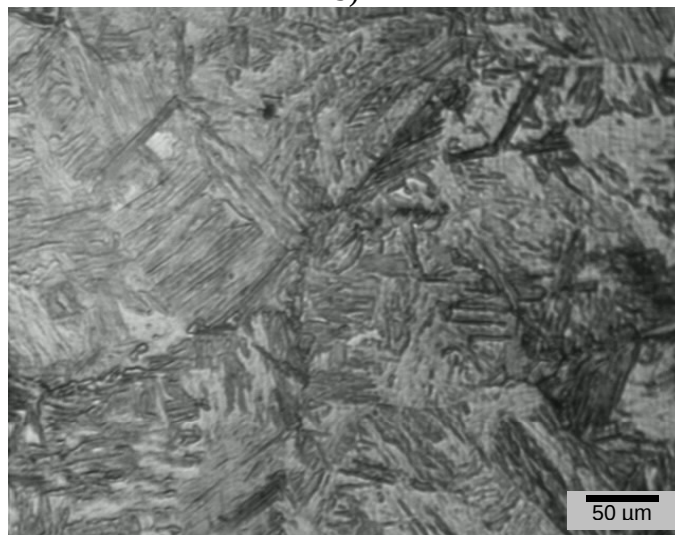
Em trabalhos futuros, pretende-se a realização de diversos ensaios com o objetivo de se verificar a influência dos parâmetros de processo na qualidade do reparo.



a)



b)



c)

Figure 4: Resultados de preenchimento de um furo com um pino de mesmos materiais: a) Ligação metalúrgica, b) Material de base e c) Material plastificado oriundo do pino.

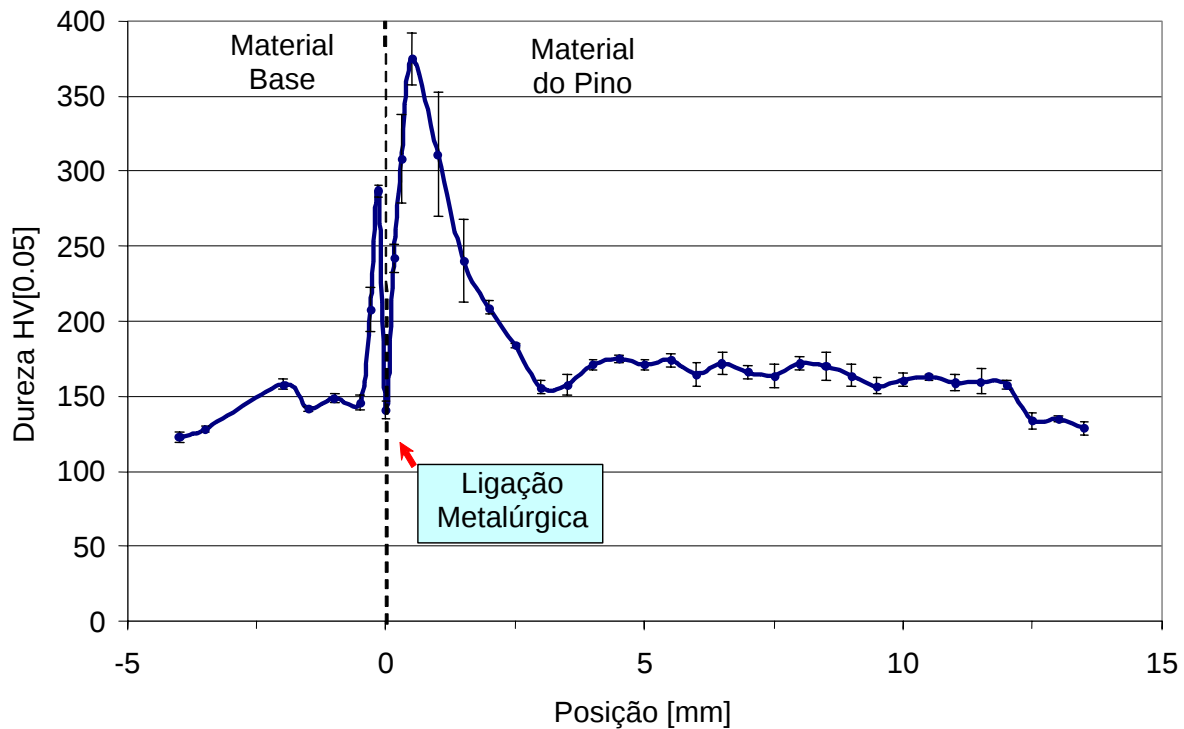


Figura 5: Ensaios de microdureza realizados na seção transversal do reparo.

5. CONCLUSÕES

Foi desenvolvido um equipamento para reparo por atrito com capacidade de processar pinos com até 25 mm de diâmetro, com rotações de até 8.000 rpm e cargas normais máximas de 50 kN. O sistema tem o seu funcionamento totalmente automatizado e é capaz de realizar o controle do processo através da atuação independente na carga e na rotação aplicados sobre o pino. Adicionalmente, podem ser realizados diferentes ciclos de processamento do pino com diferentes regimes de preenchimento do furo.

Os ensaios preliminares realizados mostram excelentes resultados no que tange à ligação metalúrgica na região de reparo. Além disso, foi verificado que a microestrutura do pino processado é bastante fina e que suas propriedades mecânicas são consideravelmente melhores que as do material de base.

Estudos futuros deverão avaliar, em maiores detalhes, a influência dos parâmetros de processo no resultado do reparo bem como permitir a realização de ensaios de deposição de revestimentos.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Petrobras pelo suporte financeiro e às contribuições de A. B. Soares.

7. REFERÊNCIAS

- Andrews, R.E., *Underwater repair by friction stich welding*, in *Metals and Materials*, 1990, p.796-797.
- Bedford, G.M., Vitanov, V.I. e Voutchkov, I.I., *On the thermo-mechanical events during friction surfacing of high speed steels*, *Surface and Coatings Technology*, 141 (2001) 34-39.
- Meyer, A., *"Friction Hydro Pillar Processing"*, Dissertation an der Technischen Universität Braunschweig, Hamburg, 2002.
- Nicholas, E.D., *Friction Hydro Pillar Processing*, in 11th Annual North American Welding Research Conference, 7-9/11/1995.

- Thomas, W.D., Nicholas S.D., *et al.*, *Friction Forming*, patent no. EP 0.602.072 B1, 1992.
- Thomas, W.M. e Tempel-Smith, P., *Friction plug extrusion*, GB 2.306.365, 1997.
- Vitanov, V.I., Voutchkov, I.I. e Bedford, G.M., *Neurofuzzy approach to process parameter selection for friction surfacing applications*, Surface and Coatings Technology, 140 (2001) 256-262.
- Voutchkov, I., Jaworski, B., Vitanov, V.I., e Bedford, G.M., *An integrated approach to friction surfacing process optimization*, Surface and Coatings Technology, 141 (2001) 26-33.

8. DIREITOS AUTORAIS

Caso não seja declarado o possuidor dos direitos autorais desta publicação (empresas, detentores de patentes, etc), os autores serão os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho. A não inclusão desta seção no texto acarretará na segunda prerrogativa.

DEVELOPMENT OF A FRICTION WELDING MACHINE TO REPAIR OFFSHORE STRUCTURES

Robson José de Souza

rjsouza@mecanica.ufu.br

Francisco Francelino Ramos Neto

francisco@mecanica.ufu.br

Leonardo de Oliveira Alves Cardoso

loa_cardoso@yahoo.com.br

Camila Monteiro Formoso

camilaformoso@yahoo.com.br

Vera Lúcia Franco

vlfranco@ufu.br

Sinésio Domingues Franco

ltm-sdfranco@ufu.br

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, Laboratório de Tribologia e Materiais, Campus Santa Mônica, Uberlândia - MG

Marcelo Torres Piza Paes

mtp@cenpes.petrobras.com.br

Petrobras, Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo Américo M. de Mello, Cidade Universitária, Rio de Janeiro - RJ

Abstract: Friction welding is a solid-state welding process in which the surfaces being joined are set in relative movement under high pressure. The resulting heat is responsible for welding the parts without any remarkable melt at the interface. This is a powerful and efficient manufacturing process for welding and re-processing a wide range of materials, for example: plastics, metals, ceramics, metal matrix composites, etc. During the 20th century, friction welding, both the weld machines and process concepts, was increasingly developed. For instance, in the early 90s, a new technique called Friction Hydro Pillar Processing (FHPP) was presented. The FHPP technique may be regarded as a process in which a hole is drilled and filled with a consumable rod of the same material. The rod (cylindrical or conical) is rotated and pressed against the hole, leading to frictional heating and as a consequence the material flows along the shear planes. As the process continues, the shear planes move upwards leaving the metal deposited in the hole. By an

appropriate selection of rotation and axial force, a metallurgical bond is obtained between the filling metal and the surface of the hole. This method is capable of repairing long structure defects by a number of studs, welded sequentially along the defect, whereby a minimum in overlapping between two consecutive studs is assumed. Despite its wide applicability, this technique has not been widely investigated. Motivated by the potentialities of this method, the authors of this paper decided to design a machine for repairing engineering structures by drilling and filling holes. This work presents the development of the equipment and the first results.

Keywords: *Friction hydro pillar process, friction surfacing, welding repair, real time process control*