

# DESENVOLVIMENTO, PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UMA UNIDADE DE PROCESSAMENTO DE PINOS POR ATRITO (UPPA) <sup>1</sup>

*Marcelo Torres Piza Paes* <sup>2</sup>  
*Francisco F. Ramos Neto* <sup>3</sup>  
*Henrique Lucas Pereira* <sup>4</sup>  
*Gustavo Vieira Cabral* <sup>4</sup>  
*Robson José de Sousa* <sup>5</sup>  
*Vera Lúcia D. S. Franco* <sup>6</sup>  
*Sinésio Domingues Franco* <sup>6</sup>

## Resumo

Dificuldades na manutenção de equipamentos utilizados nas extrações de petróleo, através de solda convencional, levaram ao desenvolvimento de um processo conhecido por Processamento de Pinos por Atrito. O processo consiste na execução de um furo na superfície danificada, o qual é preenchido por um material submetido a altas rotações e forças axiais, resultando no reparo do local. Para possibilitar a realização destes reparos de forma automatizada, foi desenvolvido um equipamento e um sistema de controle aplicado, que estão apresentados neste trabalho. Para o desenvolvimento do equipamento, foram utilizadas técnicas de projeto mecânico, tais como: solução analítica, elementos finitos e modelagem tridimensional da unidade. Desta forma, tornou-se possível a construção do equipamento, bem como o processamento de alguns pinos, e posteriores análises micrográficas das junções metálicas.

**Palavras-chave:** Reparos por atrito; Elementos finitos; Sistema de controle.

## DEVELOPMENT OF A FRICTION WELDING MACHINE TO REPAIR STEEL STRUCTURES

### Abstract

In the offshore industry, the use of conventional process of arc welding processes is frequently used to repair structure defects, such as cracks. These repairs are carried out under water to reduce risks of explosion. Under water welds are subjected to hydrogen embrittlement and severe porosity. An alternative is offered by the friction hydro pillar processing (FHPP), which may be regarded as a process in which a hole is drilled and filled with a consumable rod of the same material. Despite its wide applicability, this technique has not been widely investigated. Motivated by the potentialities of this method, an infrastructure to repair engineering structures by drilling and filling holes was designed and constructed. The equipment was designed with an axial force capacity of 50 kN, and a tangential force limited to 10 kN. The rotational speed was limited to 8000 rpm. The FHPP parameters were completely automated, so the user has only to provide them to the machine. To validate the infrastructure, repair tests were carried out in plain carbon steel plates. The results obtained showed that a metallic bond between the substrate and the rod were achieved and the test parameters may be optimized.

**Key words:** Friction repair; Finite elements; Control systems.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica apresentada na 61º Congresso Anual da ABM, de 24 a 27 de julho de 2006, Rio de Janeiro – RJ*

<sup>2</sup> *Eng. Pleno, Petrobras/CENPES, Rio de Janeiro/RJ.*

<sup>3</sup> *Eng. M.Sc., Faculdade de Eng. Mecânica – Universidade Federal de Uberlândia.*

<sup>4</sup> *Graduando, Faculdade de Eng. Mecânica – Universidade Federal de Uberlândia.*

<sup>5</sup> *Eng. M. Sc., Petrobras, Rio de Janeiro/RJ.*

<sup>6</sup> *Prof.. Dr.-Ing., Faculdade de Eng. Mecânica – Universidade Federal de Uberlândia.*

## 1 INTRODUÇÃO

Nas indústrias de extração de petróleo, intervenções para manutenção de equipamentos que trabalham em águas profundas se deparam com grandes dificuldades operacionais, como a utilização de mergulhadores, cujo trabalho é restrito a 50 metros de profundidade, ou ainda a utilização de equipamentos de soldagem a arco-elétrico, entre outras. Para facilitar a execução desses reparos, foi desenvolvido em 1993 um processo conhecido como “Friction Hydro Pillar Processing” (FHPP).<sup>(1)</sup>

Esse processo consiste em fazer um furo cilíndrico ou cônico na região da trinca e, posteriormente, preenchê-lo com um pino (também cilíndrico ou cônico), o qual é submetido a rotações de até 8000 rpm e forças axiais de até 50 kN. Devido ao atrito entre o pino e a superfície do furo, há o aumento da temperatura das superfícies de contato, o que leva a uma redução do limite de escoamento do material, favorecendo desta forma o fluxo plástico do material do pino.

Devido à recente história do processo, a influência de variáveis, tais como: velocidade de rotação, força axial e comprimento de queima sobre a qualidade da junta, não é bem conhecida. Tal fato justificou a busca pelo desenvolvimento de uma unidade de processamento por atrito e um sistema de controle que permita sua automação, visando otimização do processo e dos resultados, e também o ajuste e acompanhamento das variáveis durante o ciclo, permitindo uma análise posterior dos resultados obtidos nos ensaios.

## 2 A UNIDADE DE PROCESSAMENTO DE PINOS POR ATRITO

Para a realização de reparos utilizando o método FHPP, são necessárias rotações de 6.000 a 7.000 RPM, como apresentado por Meyer.<sup>(2)</sup> Deve-se ainda oferecer uma força de até 50kN na direção axial para se atingir uma ligação metalúrgica completa entre o pino e a trinca.

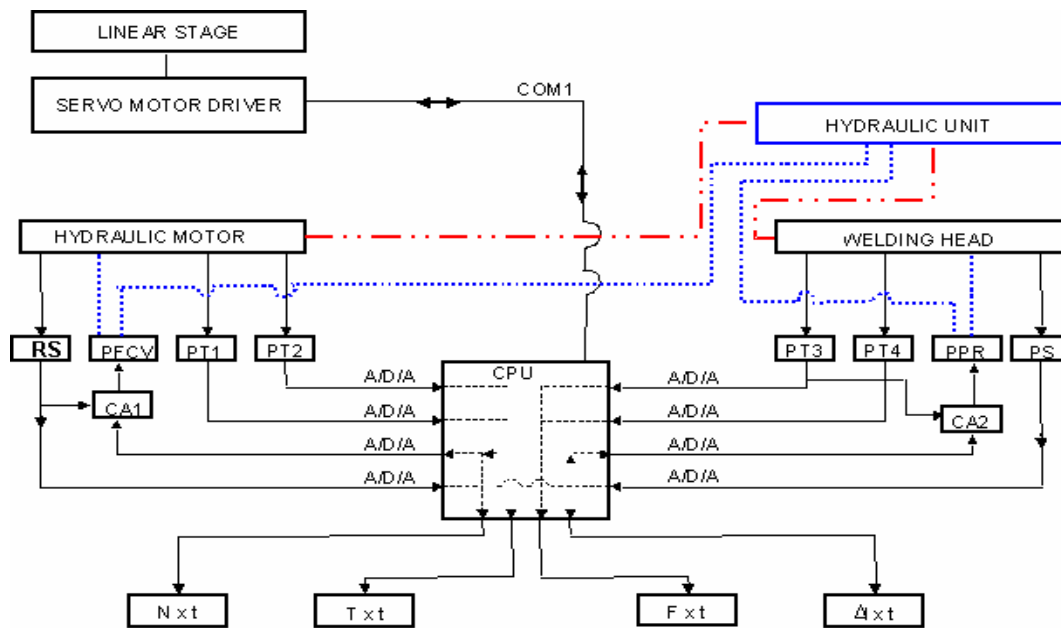
Os melhores resultados na literatura técnica foram obtidos utilizando-se um controle da força aplicada. Isto significa que o equipamento deve ser capaz de manter a força constante durante o processo. Além disto, a cabeça de reparo precisa medir o comprimento de queima para interromper o processo após atingir uma profundidade pré-definida de consumo de material.

Em resumo, o equipamento deve controlar automaticamente os parâmetros de reparo: a força axial, velocidade de rotação, comprimento de queima, força e tempo de forjamento. E também apresentá-los em tempo real na tela do computador, armazenando-os em disco rígido para análises e apresentações posteriores.

Para se obter a potência e velocidade necessária para rotação, um sistema de acionamento hidráulico foi selecionado. A unidade hidráulica é acionada por um motor elétrico de 100 hp com a capacidade de fornecer até 93 litros de óleo por minuto a uma pressão de 350 bar. Um segundo sistema hidráulico, acionado por outro motor elétrico de 2 hp, é o responsável pela força axial aplicada no pino, sendo que ambos sistemas trabalham independentemente.

A unidade hidráulica alimenta um bloco de válvulas através de uma mangueira de 3 metros de comprimento. As operações são controladas por uma válvula proporcional de controle de fluxo e outra redutora de pressão. Quatro transdutores de pressão são utilizados no monitoramento das mudanças de pressão entre cabeça de reparo e o motor hidráulico.

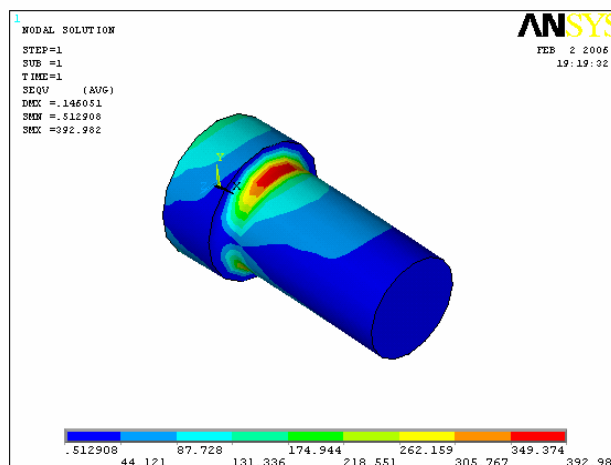
Um computador equipado com uma placa de aquisição de dados recebe os sinais da unidade hidráulica e os controla segundo os parâmetros pré-estabelecidos no ensaio. O programa responsável por este controle foi desenvolvido em Labview®, e apresenta diagramas em tempo real dos sinais adquiridos durante o processo, como pode ser visto em Formoso.<sup>(3)</sup>



**Figura 1.** Fluxo dos dados e conexões hidráulicas na unidade de processamento. 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 tomada de óleo do motor, PT3 e PT4: Transdutores de pressão no cilindro, VRV: Válvula de controle de fluxo proporcional, VRP: Válvula de redução de pressão proporcional.

A cabeça de reparo é formada por um motor hidráulico e por um pistão hidráulico com curso de 45 mm. O eixo principal pode exercer uma força axial de até 50 KN.<sup>(4)</sup>

Ela foi dimensionada a partir das pressões hidráulicas e os conseqüentes esforços gerados durante os ensaios. Inicialmente foram utilizadas teorias da resistência de materiais apresentadas em Norton<sup>(5)</sup> e Shigley, Mischke e Budynas,<sup>(6)</sup> e posteriormente métodos computacionais de elementos finitos através do programa ANSYS, que possibilitaram a avaliação dos pontos de concentração de tensões gerados pela complexidade geométrica das peças.



**Figura 2.** Análise computacional de elementos finitos na extremidade do eixo

Com o objetivo de auxiliar a visualização final da estrutura e possíveis edições nas geometrias, foi utilizada a modelagem em três dimensões, através do programa Mechanical Desktop.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES PRELIMINARES

Através dos projetos e cálculos realizados, foi construída uma primeira versão da unidade de processamento de pinos. Com esta pronta, foram realizados ensaios e análises das junções metálicas das amostras através de micrografias.

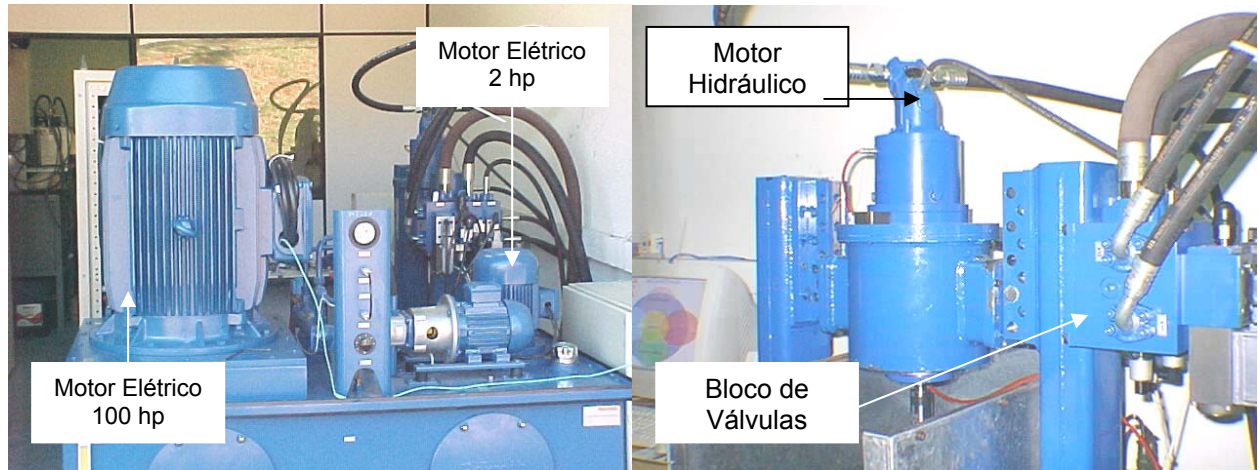


Figura 3. Visão geral do equipamento: unidade hidráulica e cabeça de reparo

Os primeiros resultados obtidos com o UPPA construído são apresentados na Figura 4. Neste ensaio foi utilizada uma carga axial de 20 kN, que foi ajustada para atingir seu valor máximo em 1s e depois se manter constante até início do forjamento. Após 4s atingiu-se o comprimento de queima (que apresentou uma taxa constante), e iniciou-se o forjamento, que consiste na aplicação da força axial sem haja rotação do pino.

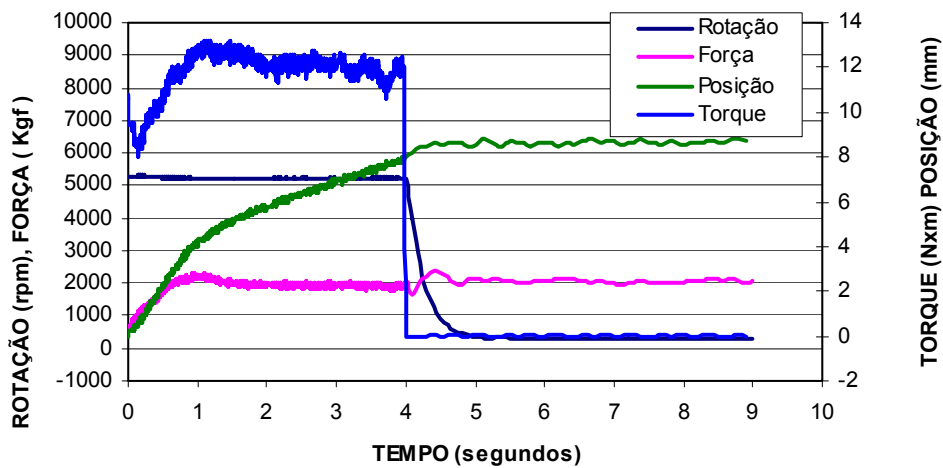
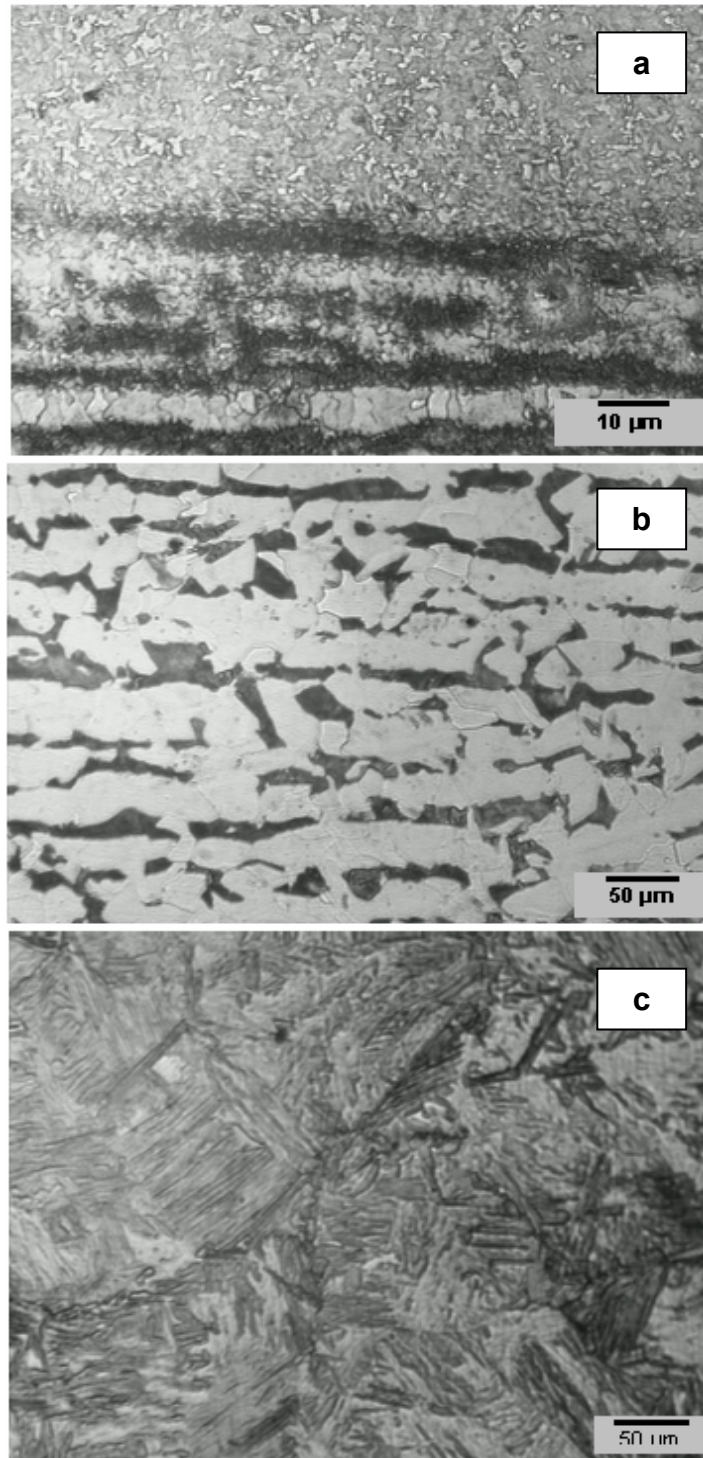


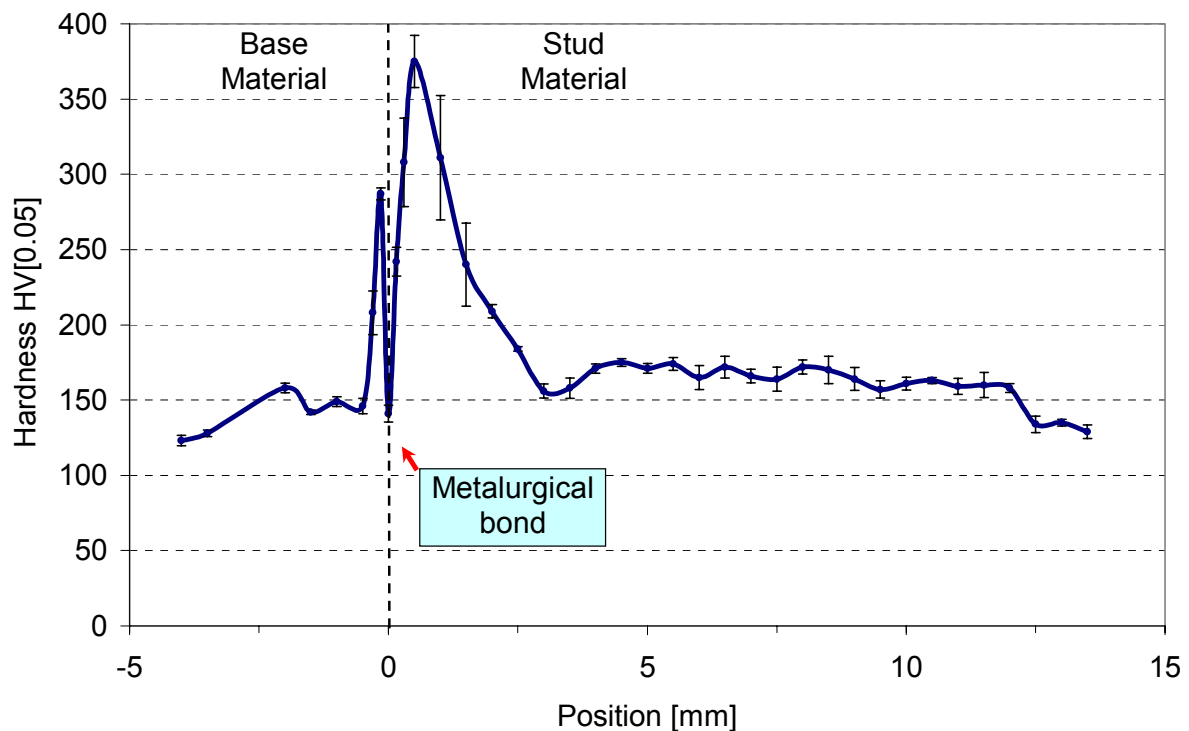
Figura 4. Diagrama dos parâmetros ao longo do ensaio de reparo

Os resultados do preenchimento de um bloco de aço carbono com um pino de mesmo material estão apresentados na Figura 5. A análise metalográfica na sessão longitudinal mostra uma ligação metálica perfeita ao longo da estrutura entre o pino e o bloco. Na Figura 5b, a microestrutura do bloco pode ser vista como perlita (parte mais escura) e ferrita (parte mais clara). Na região do pino há uma granulação muito fina. Isto se deve à alta taxa de resfriamento que existe nesta região durante o processo de soldagem, formando martensita (Figura 5c).



**Figura 5.** Seção metalográfica de um plano longitudinal de um pino preenchido. A – ligação metalúrgica; B – Material do bloco; C – Material do pino preenchido

Ensaio de microdureza ao longo da região soldada na extremidade inferior do furo cego mostram um aumento considerável na dureza na interface entre o pino e o bloco como se pode observar na Figura 6:



**Figura 6.** Curva de dureza sob a solda na extremidade inferior do furo cego.

#### 4 CONCLUSÕES

A unidade de processamento por atrito foi desenvolvida com um motor hidráulico de 67 hp. O equipamento foi automatizado no que diz respeito à rotação, comprimento de queima e força axial. Além disso, diferentes números de estágios, níveis de rotação e forças axiais podem ser selecionados para o preenchimento dos furos. Durante os testes, a força axial foi mantida constante através de dispositivos de controle analógicos.

Os primeiros testes mostraram resultados satisfatórios, devido à boa qualidade das junções metalúrgicas. Além disso, a microestrutura do pino se tornou mais fina na região de interface, e a dureza foi melhorada consideravelmente. Durezas de aproximadamente 400 HV foram medidas na linha de junção, revelando boas propriedades mecânicas do material processado.

O estudo das influências com diferentes parâmetros no processo, tais como: velocidade de rotação, força axial, comprimento de queima, geometria e material do pino/furo, está em fase inicial e será publicado em breve.

## REFERÊNCIAS

- 1 Andrews, R.E., *Underwater repair by friction stich welding*, in *Metals and Materials*, 1990, p.796-797
- 2 Meyer, A., "Friction Hydro Pillar Processing", Dissertation an der Technischen Universität Braunschweig, Hamburg, 2002.
- 3 Formoso, C. M; Jardim, M. P.; Ferreira, T. C.; Franco, V.L.D.S. and Franco, S. D., "Development and Implementation of a Control Software For a Friction Hydro Pillar Processing Machine". International Symposium on Multibody Systems and Mechatronics. Uberlândia (Brazil), 6-9 March 2005.
- 4 Souza, R. J.; Formoso C.M.; Cardoso, L.O.A., Ramos Neto, F.F.; Franco, V.L.D.S. and Franco, S. D.; "Development of a friction welding machine to repair steel structures". International Symposium on Multibody Systems and Mechatronics. Uberlândia (Brazil), 6-9 March 2005.
- 5 Norton, R. L., "Projeto de Máquinas: uma Abordagem Integrada". São Paulo, Bookman, 2004.
- 6 Shigley, J.; Mischke, C. ; Budynas, R., "Projeto de Engenharia Mecânica". São Paulo, Bookman, 2005.