



DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE CONTROLE PARA UMA UNIDADE DE PROCESSAMENTO DE PINOS POR ATRITO

Camila Monteiro Formoso

Universidade Federal de Uberlândia, Campus Santa Mônica, Av. João Naves de Ávila 2121
camilaformoso@yahoo.com.br

Maíra Prata Jardim

pratajardim@yahoo.com.br

Valdir Borges Souza Júnior

valdir0501@yahoo.com.br

Vera Lúcia D. S. Franco

vlfranco@ufu.br

Sinésio Domingues Franco

ltm-sdfranco@ufu.br

Resumo: *Dificuldades na manutenção de equipamentos utilizados nas extrações de petróleo 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 será preenchido por um material submetido a altas rotações e forças axiais, resultando no reparo do local. Para possibilitar a realização destes reparos em águas profundas, de forma automatizada, foi desenvolvido um sistema de controle aplicado a um equipamento de reparo de pinos por atrito, possibilitando o envio dos parâmetros de controle, leitura dos sensores e verificação de erros durante o processo. Desta forma, tornou-se possível a automação do equipamento, bem como a realização de ensaios em laboratório para análise dos resultados, possibilitando a identificação de valores ótimos para aplicação do processo.*

Palavras-chave: *Processamento de Pinos por Atrito, reparo, controle, automação.*

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, que resulta normalmente em uma grande quantidade de defeitos. Além disso, essas operações são realizadas em áreas classificadas, ou seja, onde há riscos de explosão. Para facilitar a execução desses reparos, foi desenvolvido em 1993 um processo denominado *Friction Hydro Pillar Processing* (FHPP), ou Processamento de Pinos por Atrito (Andrews, 1990; Nicholas and Thomas, 1992; Nicholas, 1995 and Thomas and Tempel-Smith, 1997).

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 (Meyer,

2002).

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 por um sistema de controle que permita a automação do equipamento, 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.

Neste trabalho, apresentam-se os componentes de instrumentação, bem como as estratégias de operação. Além disso, tem-se como objetivo apresentar resultados preliminares obtidos nesse equipamento.

2. INSTRUMENTAÇÃO DO EQUIPAMENTO DE REPARO POR ATRITO

Para a automação do processo, foi desenvolvido, através do *software* LabView®, versão 6.0, um programa para enviar ao equipamento os valores das variáveis de controle, bem como para efetuar a leitura e monitoramento destas variáveis, quais sejam: velocidade de rotação do pino, força axial, torque e comprimento de queima.

Esta comunicação é realizada através de uma placa de aquisição de dados PCI-DAS 1200, AD/DA, resolução de 12 bits, 330 kHz, da Measurement Computing Corporation. As portas analógicas da placa operam em nível de tensão contínua (DC), de -10 volts a +10 volts, e as portas digitais operam em nível TTL (0 volt a 5 volts).

Para realização do monitoramento das variáveis, foram inseridos junto ao equipamento sensores de pressão, posição e rotação. Os dois últimos sensores estão ilustrados na Figura 1.



Figura 1 (a) Sensor de posição

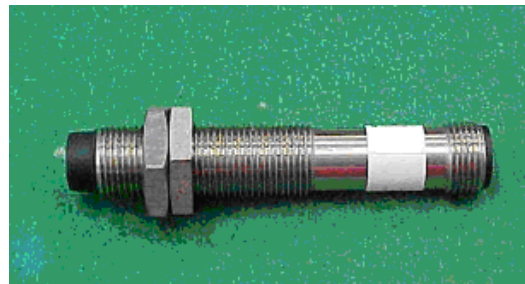


Figura 1 (b) Sensor indutivo - rotação

Foi necessário realizar as calibrações dos sensores para efetivar a manipulação dos dados adquiridos através do *software*. Foram utilizadas curvas de calibração dos sensores para extrair as respectivas funções, utilizadas pelo programa na conversão dos valores lidos (nível de tensão DC) para algarismos em formatos compatíveis com a interpretação do *software*.

O sensor de posição é um sensor do tipo potenciométrico, mostrado na Figura 1 (a), que tem como saída um sinal de tensão contínua proporcional à variação de seu comprimento. Este sensor foi alimentado com uma tensão contínua de 6 volts.

Para leitura da força e do torque, foram utilizados transdutores de pressão na entrada e na saída da haste e do motor hidráulico, respectivamente. A pressão de entrada, no caso do motor, apresenta-se sempre constante, e a pressão de saída é variável de acordo com o processo. No cilindro hidráulico, a diferença entre as pressões de entrada e saída determina a força axial aplicada, e é utilizada no programa para o cálculo da força.

Para a leitura da rotação, utilizou-se um sensor indutivo, ilustrado na Figura 1 (b). O sensor utiliza o princípio de relutância magnética. Para a medição da rotação, foi utilizada uma roda dentada metálica que, quando próxima do sensor (em torno de 2 mm), este apresenta em sua saída um sinal de pico de aproximadamente 13,5 volts. Quando o vale da roda passa pelo sensor (distância bem maior que 2 mm), o sinal de saída é igual a 0 volt. O sinal gerado pelo sensor é ilustrado na Figura 2 (b), e mostra-se incompatível com a entrada analógica da placa de aquisição de dados.

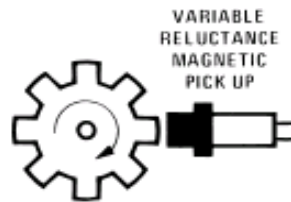


Figura 2 (a) Princípio de funcionamento do sensor



Figura 2 (b) Sinal de saída do sensor indutivo

Para adequar o sinal do sensor de rotação à placa de aquisição de dados foi necessária a construção de um circuito analógico conversor de frequência em tensão, onde o sinal de saída do sensor indutivo de rotação pode ser convertido em um sinal de tensão contínua. Para a construção deste circuito utilizou-se o circuito integrado VFC320, da Burr Brown. Este circuito integrado converte um sinal com uma determinada frequência em um sinal de tensão contínua, cujo circuito esquemático é apresentado na Figura 3. A saída do conversor apresentou tensão máxima de 7,5 volts, sendo, portanto, possível a leitura do sinal pela placa de aquisição.

Foi necessário desenvolver uma fonte de tensão contínua de saídas de -15 volts, 0 Volts e +15 volts, para alimentação dos circuitos e do sensor de rotação, o qual foi alimentado com uma tensão de + 15 volts.

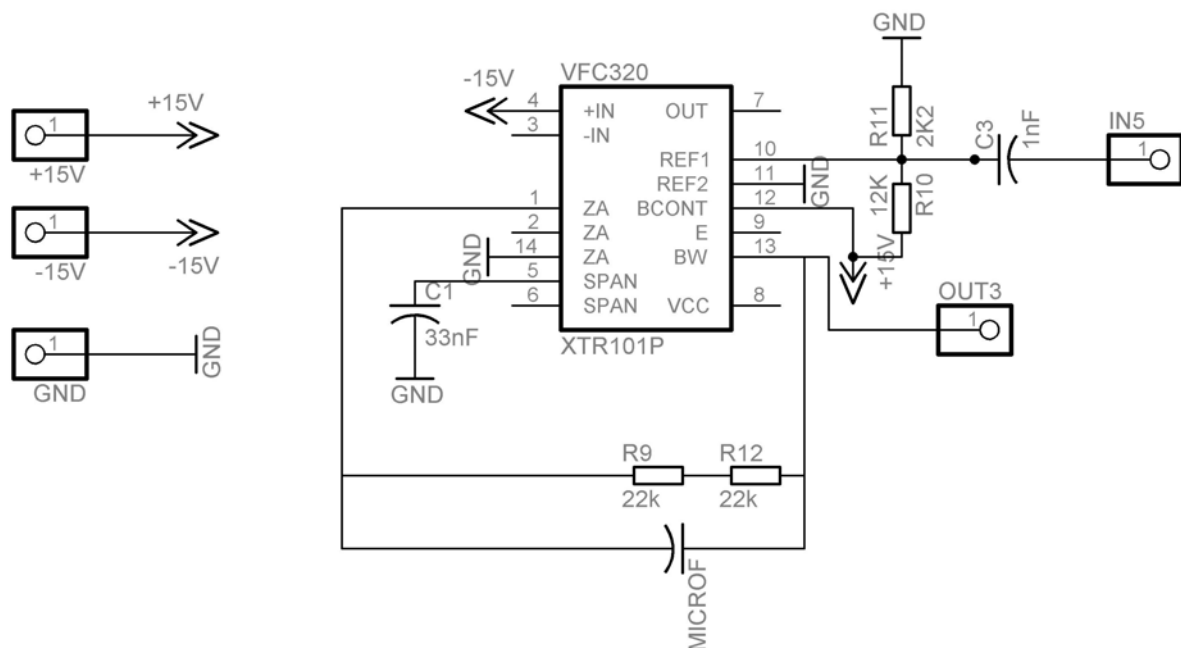


Figura 3. Circuito do conversor de frequência em tensão.

3. SISTEMA DE AQUISIÇÃO E CONTROLE

O *software* desenvolvido contém uma interface, ilustrada na Figura 4, a ser utilizada pelo operador, que permite a entrada de valores de rotação, força e posição para diversos estágios. Ela contém também indicadores e gráficos, que mostram os valores adquiridos pelos sensores em tempo real, bem como um *Stop*, caso o operador queira encerrar o processo antes de sua conclusão.

O programa verifica se os valores adquiridos pertencem a um intervalo de segurança calculado automaticamente; caso algum dos valores esteja fora do intervalo de segurança, o programa é encerrado imediatamente e é indicado no painel qual parâmetro apresentou problema.

A comunicação do *software*, à exceção do sensor de posição, não é feita diretamente com o equipamento, e sim, com um painel de controle.

O painel de controle é responsável por enviar ao equipamento, através de cartões PID (Proporcional Integral Derivativo), os valores de referência das variáveis de controle (determinados

pelo operador através do *software*). Estes cartões recebem também os valores adquiridos pelos sensores (presentes no equipamento), caracterizando assim um controle de malha fechada.

Posteriormente, estes sinais dos sensores são enviados ao programa de controle para realização do monitoramento do processo, conforme descrito anteriormente.

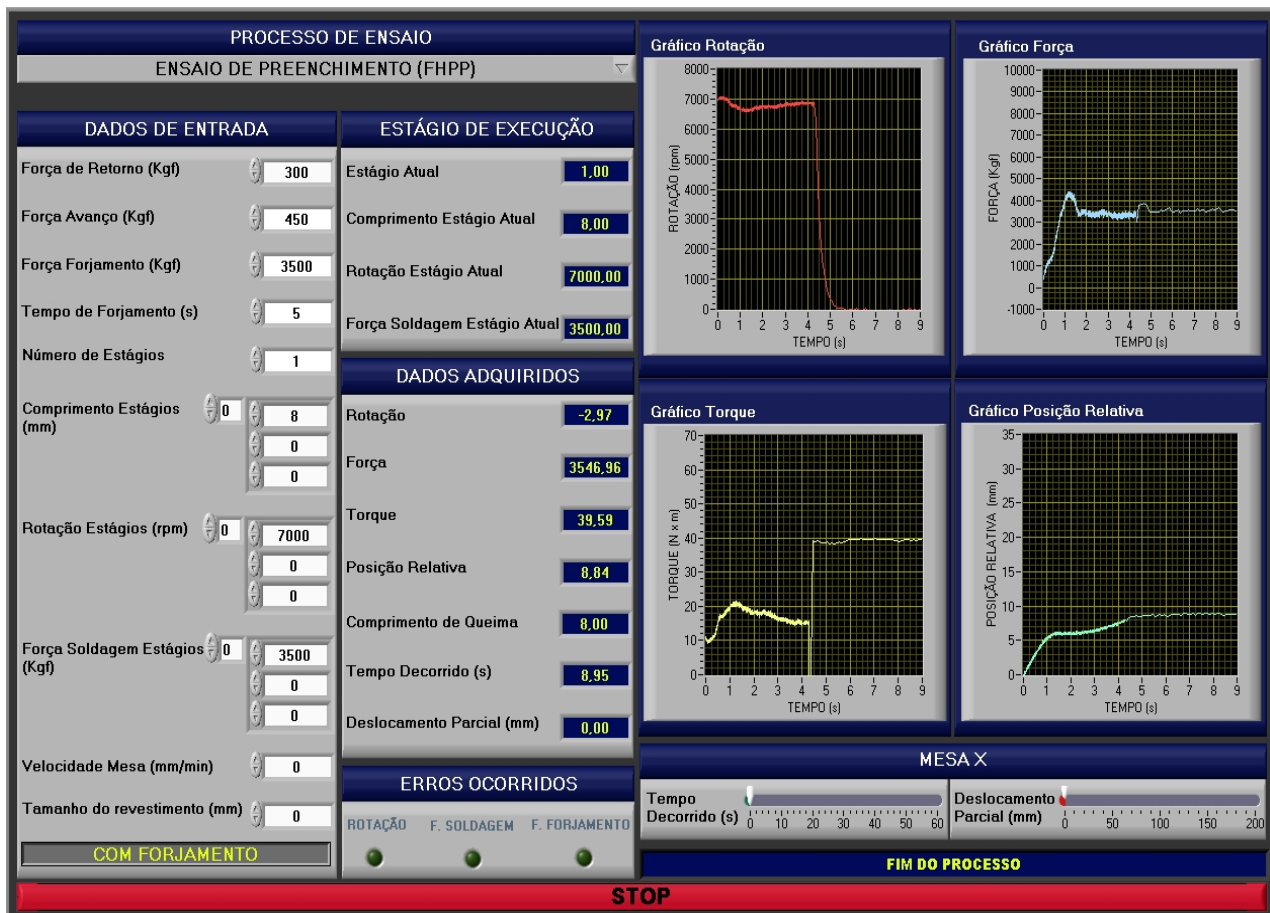


Figura 4. Interface de comunicação do *software* de controle

4. FLUXO DE INFORMAÇÕES

O equipamento pode ser dividido em motor hidráulico, responsável pela rotação, e haste, responsável pelo avanço do pino e pela força axial. Na entrada do motor hidráulico existe uma válvula reguladora de vazão, a qual atua sobre o fluxo hidráulico que alimenta o motor para a implementação da rotação. Da mesma forma, na entrada da Haste existe uma válvula reguladora de pressão, e uma terceira válvula, a qual controla o sentido de movimento da haste, ou seja, determina se o deslocamento do pino será em sentido de avanço ou de retorno.

O funcionamento destas válvulas é realizado de forma digital, e recebem o *set point* (0 ou 1) através de um CLP (Controlador Lógico Programável) contido no painel de controle. Este CLP, por sua vez, recebe o *set point* do *software*, de acordo com o desenvolvimento do processo.

O fluxo de informações de todo o processo automatizado pode ser visualizado na Figura 5.

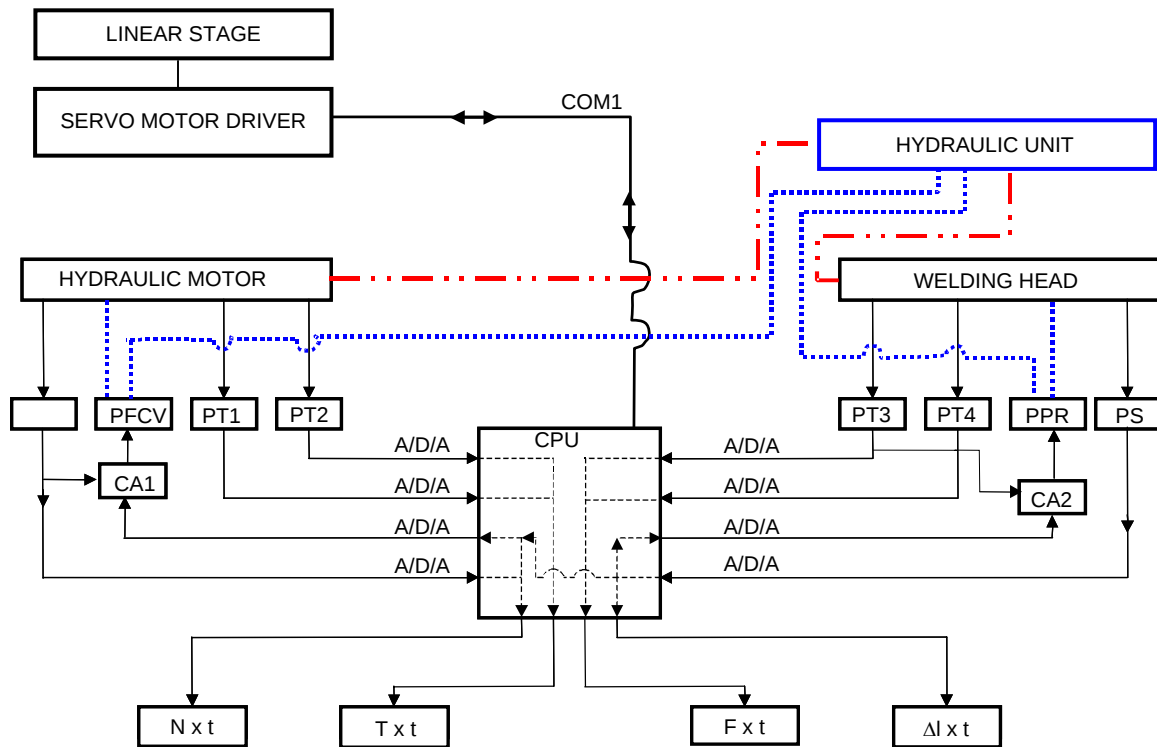


Figura 5. Fluxo de informações e conexões hidráulicas na unidade. CPU: Unidade de Processamento Central, RS: Sensor de Rotação, PS: Sensor de Pressão, PT1: Transdutor de Pressão na entrada do motor, PT2: Transdutor de Pressão na saída do motor, PT3 and PT4: Transdutores de Pressão no cilindro, VRV: Válvula Proporcional Reguladora de Vazão, VRP: Válvula Proporcional Redutora de Pressão, CA1 e CA2: Placa de Controle Analógico. Os valores N, T, F e Δl indicam, respectivamente: rotação, torque, força e comprimento de queima. A linha contínua indica fluxo de dados, e as linhas pontilhadas e tracejadas indicam o fluxo hidráulico (óleo).

A Figura 6 apresenta a seqüência lógica de tomadas de decisão no programa. Basicamente, tem-se um bloco inicial para a entrada de dados. A seguir, é acionado o motor hidráulico para a rotação do primeiro ciclo. Feito isso, aproxima-se o pino da chapa de teste, até que diferenças de pressão significativas sejam medidas nos transdutores de pressão ligados à entrada e à saída do motor hidráulico. Na seqüência, aplica-se a força do primeiro ciclo. Desta forma, pode-se proceder aos vários ciclos de teste.

O ensaio é encerrado quando o comprimento de “queima” (comprimento do pino consumido na operação), determinado pelo operador, é atingido. Ocorre então o desligamento do motor e aplicação da força de forjamento, caso tenha sido selecionada a opção “com forjamento” para o ensaio. Transcorrido o tempo de forjamento, o teste está encerrado. Caso o operador tenha selecionado “sem forjamento”, ao final do comprimento de queima, a haste retorna à posição inicial e o programa é encerrado.

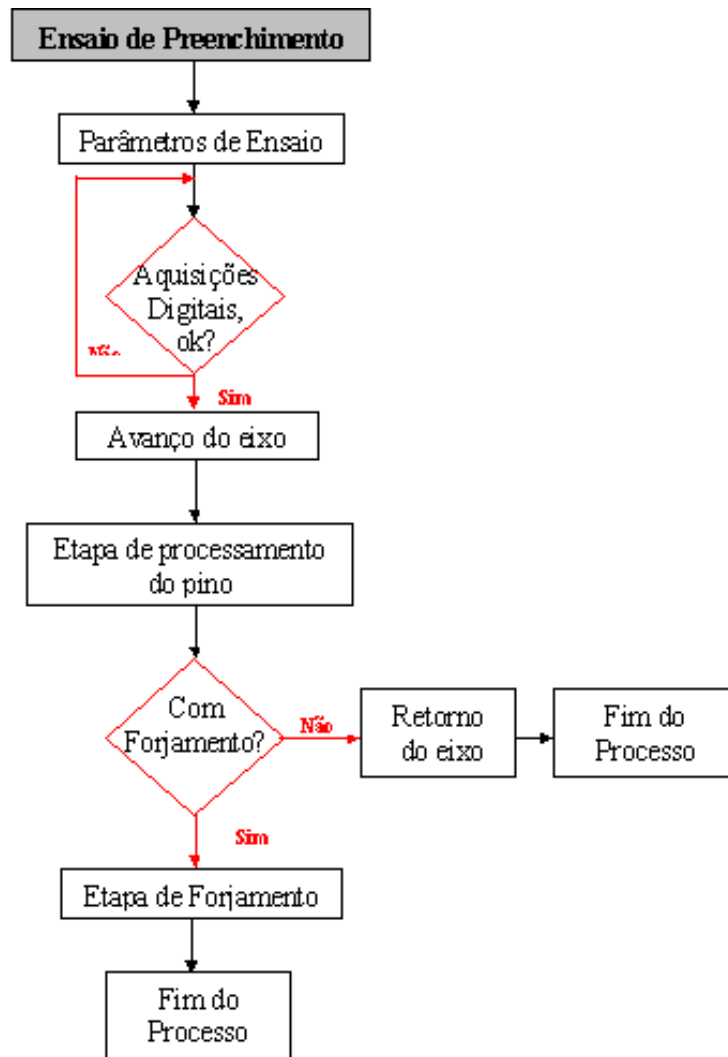


Figura 6. Fluxograma do software, referente ao ensaio de preenchimento.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os ensaios preliminares de avaliação de desempenho do equipamento foram realizados através de variação da força axial, rotação e comprimento de queima. Nas Figuras 7, 8 e 9 são apresentados os resultados relativos a um ensaio com apenas um estágio de força, cujo valor foi 2000 Kgf. A rotação foi mantida em 6000 rpm, para um comprimento de queima de 10 mm, seguido de um forjamento de 2000 Kgf durante 5s. O pino possuía geometria com ponta cônica com ângulo de 19°, e o ângulo de abertura do furo no substrato era de 49°.

A Figura 7 apresenta o perfil de microdureza HV 0,05 ao longo da interface substrato / material de adição (pino), na horizontal.

Observa-se nessa figura, que na região próxima à interface há um aumento da dureza do material, causado pelas alterações microestruturais induzidas pela deformação plástica e aumento de temperatura durante o processamento. Nota-se ainda, que as durezas fora da interface apresentam-se com valores muito próximos. Esses valores são da ordem de 130 HV 0,05, que correspondem às durezas do aço-carbono antes da realização do ensaio de reparo por atrito.

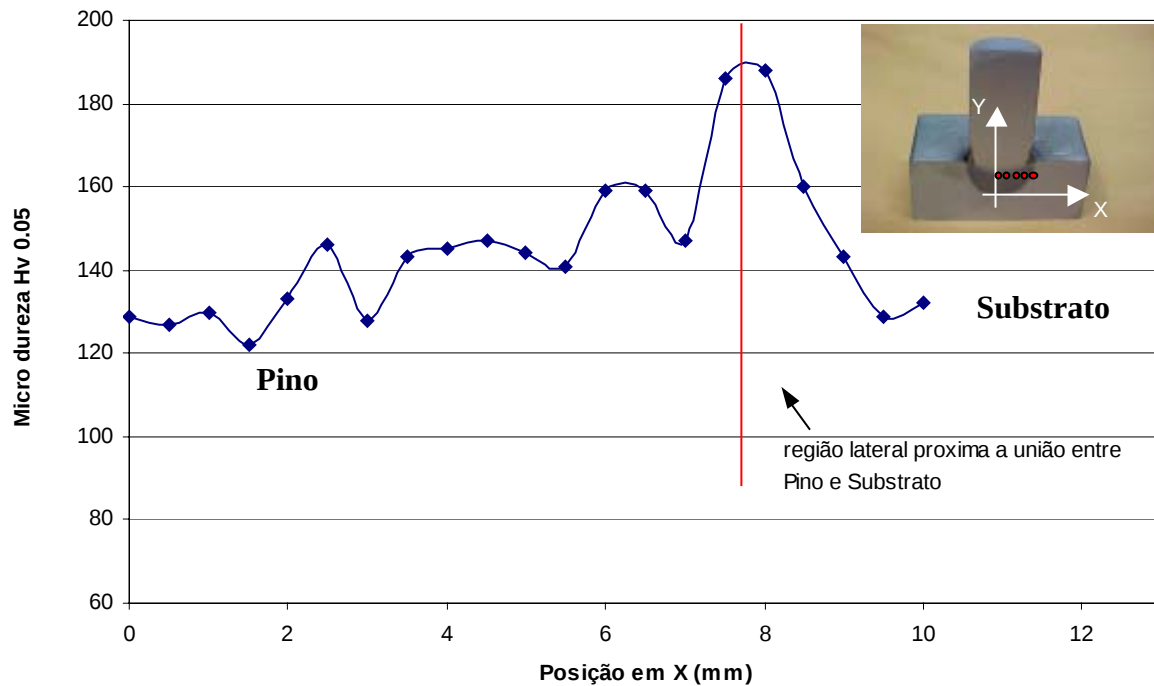


Figura 7. Perfil de microdureza HV 0,05, na horizontal, como mostrado no detalhe. Parâmetros de teste: força axial = 2000 Kgf; rotação = 6000 rpm; comprimento de queima = 10 mm.

A Figura 8 permite observar que na vertical, próximo à interface, ocorreu, da mesma forma, um aumento da dureza, chegando-se a valores próximos a 180 HV 0,05. Na medida em que se afasta dessa interface, na região do pino, tem-se uma redução significativa da dureza. Os valores de dureza na região não afetada termomecanicamente são inferiores aos observados na Figura 7. Isso se deve, muito provavelmente, ao fato das impressões de dureza terem caído sobre a ferrita, cuja dureza é da ordem de 80 HV 0,05.

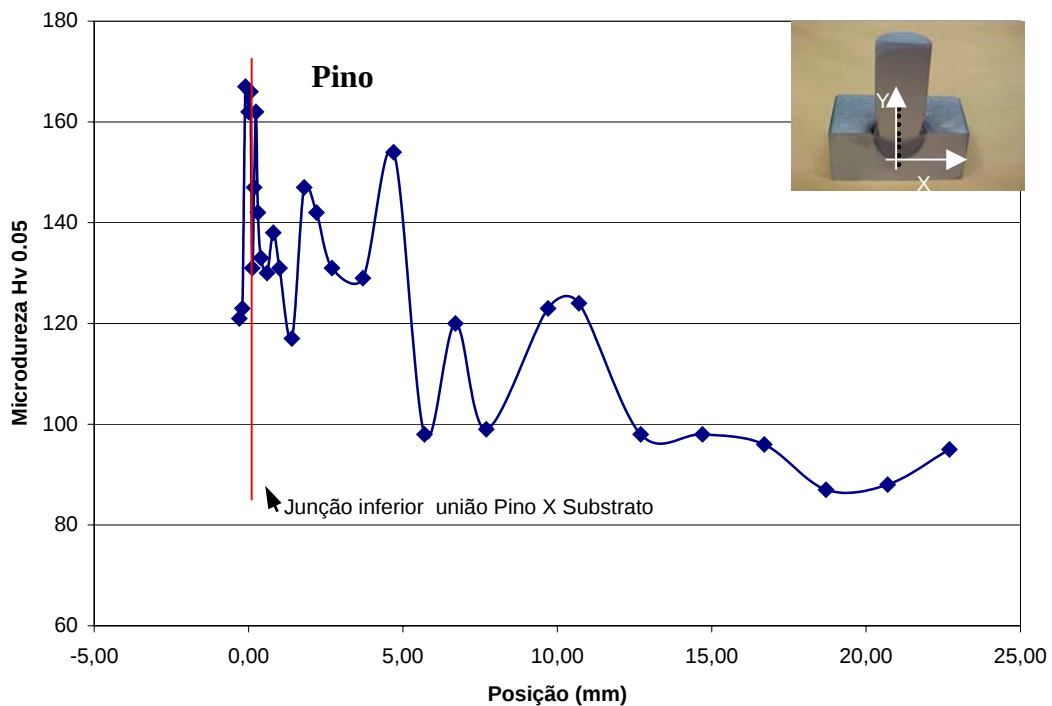


Figura 8. Perfil de microdureza HV 0,05, na vertical

A Figura 9 (a) apresenta uma vista geral da amostra ensaiada, através de um corte longitudinal. Observa-se, macroscopicamente, que o preenchimento foi completo, não deixando vazios.

A interface apresenta uma boa ligação metalúrgica, como mostrado na Figura 9 (b). As figuras 9 (c) e 9 (d) apresentam as regiões correspondentes ao substrato e ao pino, porém em maior ampliação. Nota-se que a microestrutura do material adicionado foi fortemente alterada (refinada), o que justifica o aumento de dureza na região do pino, próxima à interface. No material do substrato, na região não afetada termicamente, tem-se uma estrutura grosseira, constituída de ferrita e perlita.

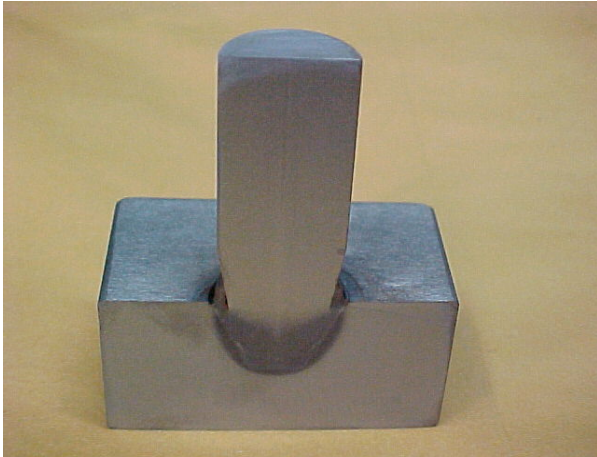


Figura 9 (a) Corte longitudinal da amostra ensaiada.

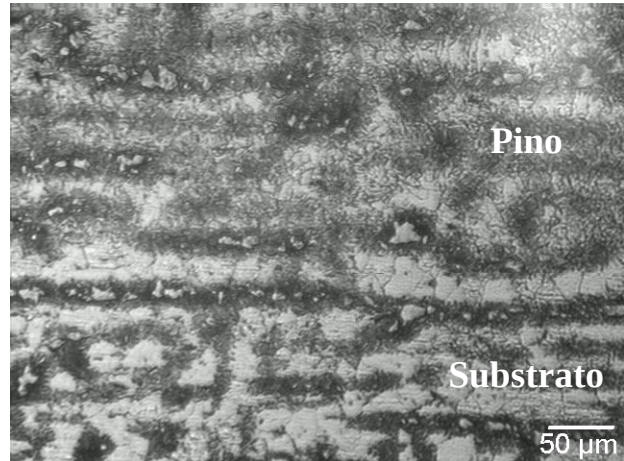


Figura 9 (b) Região de interface pino e substrato.

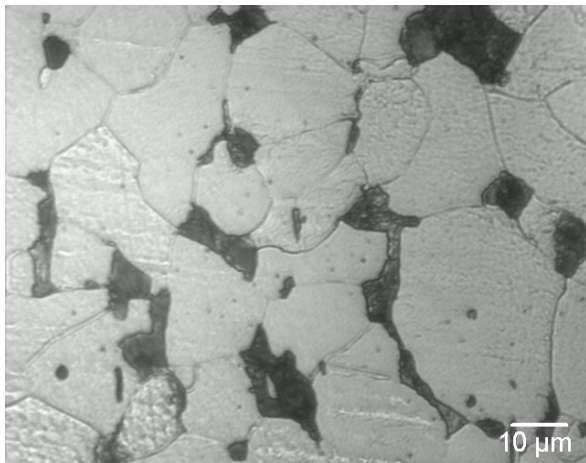


Figura 9 (c) Imagem da microestrutura do substrato.

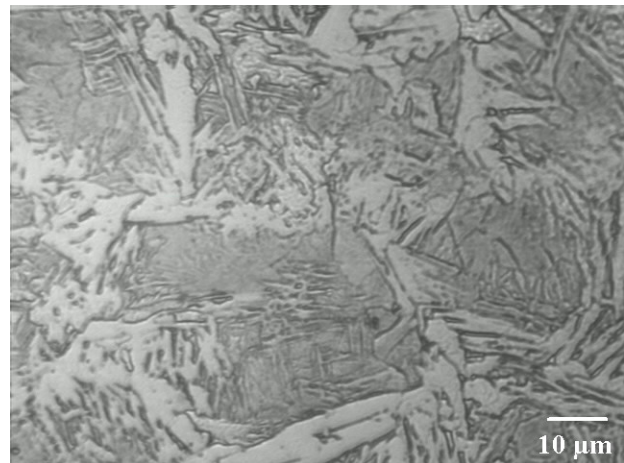


Figura 9 (d) Imagem do pino próxima à região de interface.

6. CONCLUSÕES

Com o *software* desenvolvido, o controle do processo foi otimizado, através de uma interface de fácil utilização, a qual permite variar os parâmetros dos ensaios ao longo do ciclo de testes, de acordo com os dados de entrada. O *software* permite ainda, o monitoramento em tempo real dos valores adquiridos, possibilitando um melhor estudo das influências das variáveis sobre a qualidade do reparo.

A utilização de um painel elétrico completou o sistema de controle, através do uso de cartões PID para controlar as variáveis do processo, além de proporcionar o condicionamento do sinal adquirido pelo sensor de rotação, possibilitando a leitura deste pela placa de aquisição de dados, juntamente com a leitura das aquisições dos outros sensores.

A utilização do circuito analógico VFC320 para efetuar a conversão de frequência em tensão do sinal de saída do sensor indutivo de rotação, permitindo a leitura deste sinal pela placa de aquisição de dados, tornou o sistema mais rápido.

Ensaio realizados em amostras de aço-carbono, com diferentes parâmetros de teste, permitiram a identificação de valores de força, rotação e “comprimento de queima”, que resultassem no completo preenchimento do furo.

7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPEMIG e à PETROBRAS pelo apoio financeiro, e ao professor A. B. Soares pelas contribuições no desenvolvimento do software de controle.

8. REFERÊNCIAS

- Andrews, R.E., 1990, “Underwater repair by friction stich welding, in Metals and Materials”, p.796-797.
- Meyer, A., 2002, “Friction Hydro Pillar Processing”, Dissertation an der Technischen Universität Braunschweig, Hamburg.
- Nicholas, E.D., 7-9/11/1995, “Friction Hydro Pillar Processing”, in 11th Annual North American Welding Research Conference.
- Thomas, W.D., 1992, “Nicholas S.D., et al., Friction Forming”, patent no. EP 0.602.072 B1.
- Thomas, W.M. and Tempel-Smith, P., 1997, “Friction plug extrusion”, GB 2.306.365.

DEVELOPMENT OF A CONTROL SYSTEM FOR A FRICTION HYDRO PILLAR PROCESSING MACHINE

Camila Monteiro Formoso

Federal University of Uberlândia, Santa Mônica Campus, 2121, João Naves de Ávila Avenue.
camilaformoso@yahoo.com.br

Maíra Prata Jardim

pratajardim@yahoo.com.br

Valdir Borges Souza Júnior

valdir0501@yahoo.com.br

Vera Lúcia D. S. Franco

vlfranco@ufu.br

Sinésio Domingues Franco

ltm-sdfranco@ufu.br

Abstract: During the exploitation and production of oil and gas in deep water, the repair procedures of steel structures face great problems. To make these repairs easier, the process known as "Friction Hydro Pillar Processing" (FHPP) was developed. The FHPP technique is as a process in which a hole is drilled at the damaged area and filled with a consumable rod of the same material. The rod is rotated and pressed against the hole with very high axial forces. By an appropriate selection of rotation speed and axial force, a metallurgical bond is obtained between the filling metal and the surface of the hole. To provide machine automation, a control system was developed, aiming at the optimization of the process and its results. In this case, the processing parameters might be adjusted and monitored during the structure repair. In such case, the automation of the equipment became possible, such as the possibility to make repairs at the laboratory, allowing to identify best parameters to apply this process.

Keywords: Friction Hydro Pillar Processing, repair, control, automation.