

## USO DA TÉCNICA DE REPARO POR ATRITO NA PRODUÇÃO DE RECOBRIMENTOS COM O AÇO AISI 420

Bruno Marega Borges, [bmarega@mecanica.ufu.br](mailto:bmarega@mecanica.ufu.br)  
Marcelo Molinar Henrique Júnior, [marcelomolinar@mecanica.ufu.br](mailto:marcelomolinar@mecanica.ufu.br)  
Camila Monteiro Formoso, [camilaformoso@mecanica.ufu.br](mailto:camilaformoso@mecanica.ufu.br)  
Vera Lúcia D. S. Franco, [vlfranco@ufu.br](mailto:vlfranco@ufu.br)  
Sinésio Domingues Franco, [sdfranco@ufu.br](mailto:sdfranco@ufu.br)

Universidade Federal de Uberlândia – Av. João Naves de Ávila, 2121 - Campus Santa Mônica - Bloco 1 M

**Resumo:** Diversos processos de reparo por atrito estão sendo estudados atualmente, dentre os quais se destaca o recobrimento por atrito ou, em inglês, “friction surfacing”. Esta técnica consiste na deposição do material de um pino em uma chapa ou substrato através de altas rotações e altas cargas axiais no pino, com um deslocamento horizontal do substrato. Entre as vantagens desse processo destacam-se a excelente união metalúrgica entre o recobrimento e o substrato, associada a uma microestrutura refinada. Através dessa técnica, pode-se então aplicar diferentes tipos de materiais sobre substratos, resultando em incrementos na resistência à corrosão e/ou desgaste. No presente trabalho utilizou-se um equipamento totalmente automatizado, onde são fornecidos ao programa de controle os parâmetros de reparo. Como material base foi utilizado um aço carbono e como material de deposição foi utilizado o aço inoxidável martensítico AISI 420. Variando-se parâmetros de recobrimento, tais como: força axial sobre o pino e velocidade de deslocamento da plataforma, foram identificadas condições capazes de depositar esse aço sobre o aço-carbono, obtendo-se uma perfeita ligação metalúrgica entre recobrimento e substrato, uma microestrutura martensítica, além de um endurecimento significativo do substrato.

**Palavras-chave:** recobrimento por atrito, revestimentos duros, AISI 420

### 1. INTRODUÇÃO

Uma das maiores preocupações das indústrias de extração de petróleo é reduzir o custo de manutenção de equipamentos e/ou produção. Esses custos se tornam bastante elevados quando a intervenção é realizada em águas profundas, regiões com elevada pressão hidrostática, com presença de água e/ou em áreas classificadas.

Diante desse cenário, foram desenvolvidas técnicas de reparo por atrito, que apresentam vantagens frente aos tradicionais métodos de soldagem. Dentre essas vantagens, pode-se destacar a não influência do ambiente marinho sobre a qualidade do reparo e a possibilidade de automação do sistema, reduzindo, dessa forma, riscos inerentes às áreas classificadas.

A técnica chamada FHPP (“Friction Hydro Pillar Processing”), desenvolvida por Andrews (1990) já é utilizada na indústria petrolífera para fixação de pinos em equipamentos e estruturas de extração de petróleo, como em plataformas, FPSO (“Floating, Production, Storage and Offloading”) e dutos submarinos. Este 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 altas rotações e forças axiais. 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, de acordo com Meyer (2002).

Um outro tipo de reparo por atrito é a técnica conhecida por recobrimento (ou revestimento) por atrito (“Friction Surfacing”). No revestimento por atrito, ilustrado na Fig. (1) novamente tem-se a rotação do pino e a força axial. Todavia, quando o material entra em fluxo plástico ele não preencherá um furo. Nesta fase, implementa-se um movimento relativo do substrato (deslocamento horizontal), obtendo-se, assim, a deposição do material do pino sobre uma chapa ou substrato. Através dessa técnica, pode-se então aplicar diferentes tipos de materiais sobre substratos, resultando em incrementos na resistência à corrosão e/ou desgaste.

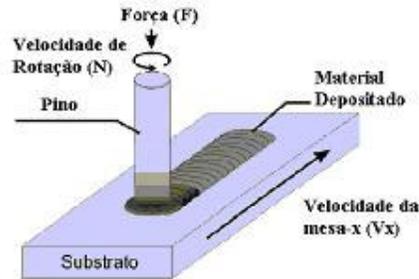


Figura 1: Técnica de Revestimento por Atrito, conforme Voutchkov et al (2001).

A técnica de revestimento por atrito apresenta um grande potencial para aplicações tecnológicas, como por exemplo o revestimento do topo de filetes de bombas multifásicas, sujeitas à erosão e corrosão. O revestimento obtido deve cumprir uma série de requisitos para apresentar uma qualidade satisfatória. Primeiramente, sua adesividade ao substrato deve ser boa, de forma a não se destacar facilmente. Deve ainda resistir às condições de trabalho para as quais está dirigido, que podem incluir temperaturas extremas, atmosferas corrosivas e/ou desgastes mecânicos severos.

Desta forma, este trabalho tem por objetivo apresentar a metodologia e os resultados obtidos através de ensaios de revestimento com aço AISI 420, permitindo assim uma análise sobre a influência da variação dos parâmetros do processo, tais como: rotação, força axial e velocidade da plataforma sobre a qualidade do revestimento.

## 2. ADAPTAÇÃO DO EQUIPAMENTO PARA REALIZAÇÃO DE ENSAIOS DE RECOBRIMENTO

Em 2006 foi concluída, no Laboratório de Tecnologia em Atrito e Desgaste (LTAD), da Universidade Federal de Uberlândia, a construção de uma Unidade de Processamento de Pinos por Atrito (UPPA), capaz de realizar reparos por atrito, dentre eles ensaios de preenchimento (FHPP) e recobrimento. O equipamento permite a realização de ensaios com rotações de até 8000 rpm e forças axiais de até 5 tf. Os detalhes deste equipamento são melhores visualizados no trabalho de Souza (2006).

Para permitir a realização de ensaios, através deste equipamento, de forma segura e automatizada, foi desenvolvido um sistema de controle e monitoramento descrito por Formoso et al. (2005). Foram realizados ainda diversos ensaios para avaliação da influência da geometria do conjunto pino-bloco sobre a qualidade do reparo, cujos resultados e conclusões foram apresentados por Pires (2007).

Inicialmente, o equipamento permitia somente a realização de ensaios do tipo preenchimento (FHPP). Para que fosse possível realizar ensaios que dependessem de deslocamento horizontal, como os ensaios de revestimento, foi implementado um sistema de controle de uma plataforma, acionada por um servomotor. Este sistema é descrito por Ferreira et al. (2006).

Por fim, foi desenvolvido por Borges (2008) um sistema de posicionamento desta plataforma, permitindo a correta localização do bloco em relação ao pino para todos os tipos de ensaio realizados pelo equipamento. Com isso, conseguiu-se a completa automação não só do processo mas também do conjunto pino-bloco, possibilitando assim a realização dos ensaios de recobrimento com aço AISI 420.

## 3. METODOLOGIA DE ENSAIOS

Após a conclusão do sistema de posicionamento da plataforma, foram realizados ensaios de revestimento por atrito utilizando pinos de aço AISI 420. Este material é geralmente utilizado na fabricação de peças onde há necessidade de alta resistência mecânica, aliada à ductilidade e resistência à corrosão e ao desgaste. Para o substrato, foi utilizado o aço carbono ASTM A36.

Para análise da microestrutura dos corpos de prova foi necessária a preparação metalográfica que fornecesse resultados confiáveis sobre a qualidade do reparo. Dessa forma, as amostras foram cortadas mediante refrigeração com disco abrasivo nas direções transversal e longitudinal ao material depositado. A cada corte procedeu-se o lixamento com lixas de granulometrias: 220, 320, 400, 600 e 1200 mesh. Em seguida, foi feito o polimento das amostras com pastas de diamante de 6 e 3  $\mu\text{m}$ . Após essa etapa, procedeu-se o ataque químico com uma solução de Nital a 2%.

Feito o ataque químico, adquiriram-se as fotomicrografias, com auxílio de uma câmera acoplada a um microdurômetro da marca Shimadzu. Os ensaios de microdureza Vickers foram realizados no centro do corte transversal do revestimento e foram utilizadas as cargas de 100 e 200 gf. As indentações foram realizadas na direção vertical, a partir da região superior do aço inoxidável depositado, até atingir o substrato a uma distância de aproximadamente 4,2 mm.

### 3.1 Parâmetros utilizados nos ensaios

Foi estabelecida uma geometria para os ensaios de revestimento por atrito, sendo o pino com diâmetro de 18 mm por 70 mm de comprimento, e o substrato com espessura de 12 mm por 70 mm de largura e 100 mm de comprimento. Com essas geometrias, foi possível a realização de três cordões de revestimento por substrato.

Após a definição das geometrias a serem utilizadas, construiu-se uma matriz de ensaios com a variação de dois parâmetros: velocidade de deslocamento da plataforma e força aplicada ao pino. A rotação do pino foi mantida constante e igual a 5.000 rpm. Dessa forma, chegou-se a uma matriz com nove ensaios diferentes, cada qual com uma combinação do valor de força e velocidade horizontal. Outras características encontradas na matriz são: a velocidade da borda do pino,  $V_p$ , igual a 4,71 m/s e a pressão a qual o pino está submetido. A velocidade  $V_p$  está diretamente relacionada com a rotação e com o diâmetro do pino.

Os movimentos do substrato foram definidos de acordo com três valores de velocidade para a plataforma e três forças diferentes, o que resultou na matriz da Tab. (1).

Os valores da Tab. (1) foram definidos com base na literatura estudada a respeito do processo de revestimento por atrito (Voutchkov, 2001).

**Tabela 1 – Matriz de primeiros ensaios com a plataforma.**

ENSAIO	F (kgf)	V (mm/min)	P (MPa)
1	300		11,57
2	550	50	21,20
3	800		30,84
4	300		11,57
5	550	100	21,20
6	800		30,84
7	300		11,57
8	550	150	21,20
9	800		30,84

Onde:

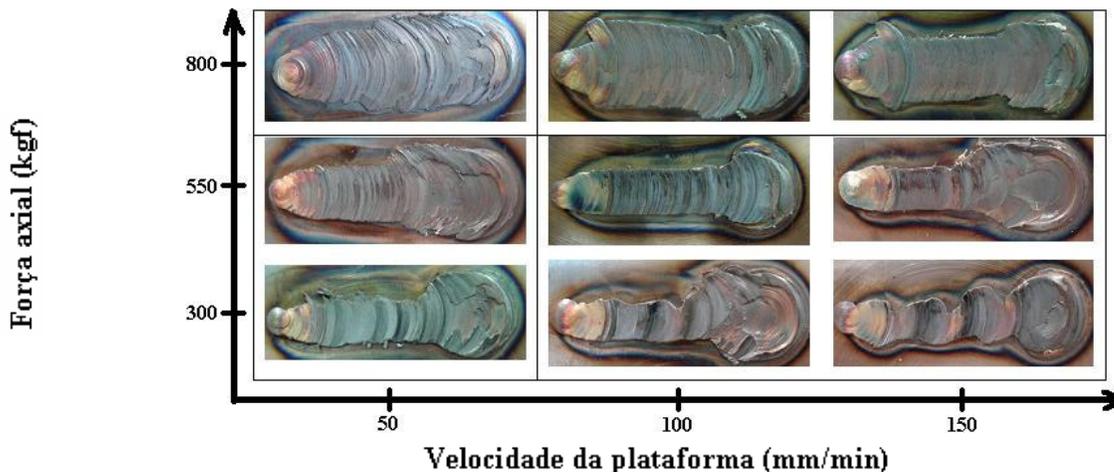
F: Força axial aplicada pela haste;

V: Velocidade de deslocamento da plataforma;

P: Pressão resultante no pino;

### 4. RESULTADOS

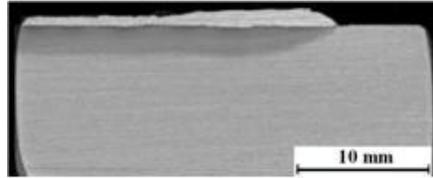
Os ensaios de revestimento foram realizados com parâmetros baseados nos valores apresentados na Tab. (1). Os resultados desses ensaios podem ser vistos na Fig. (4) a seguir.



**Figura 2: Resultados de ensaios da matriz construída.**

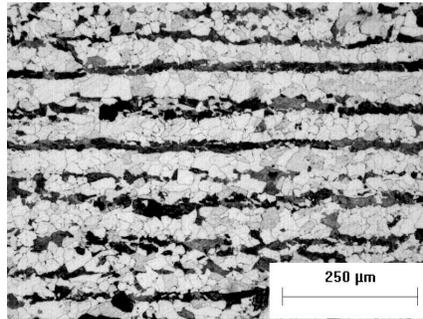
Após a realização dos ensaios, estudou-se o resultado de recobrimento que apresentou, visualmente, melhor distribuição do material e homogeneidade do material depositado. Assim, foi selecionado o ensaio 6 da mesma matriz

citada, para a realização da análise metalográfica. Este ensaio foi feito utilizando-se uma força axial de 800 kgf e uma velocidade de deslocamento da plataforma de 100 mm/s. A Fig. (5) mostra a interface do corpo de prova após os cortes nas direções transversal e longitudinal.



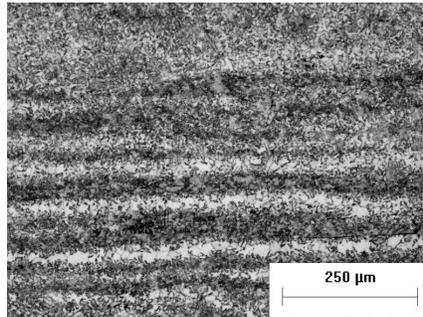
**Figura 3: Corte longitudinal da macrografia da amostra.**

Escolhida a amostra de análise e feita a preparação metalográfica da amostra, a fim de analisar a distribuição da trilha, foram feitas imagens das micrografias obtidas para o material do substrato na sua forma não processada, como a encontrada na Fig. (6).



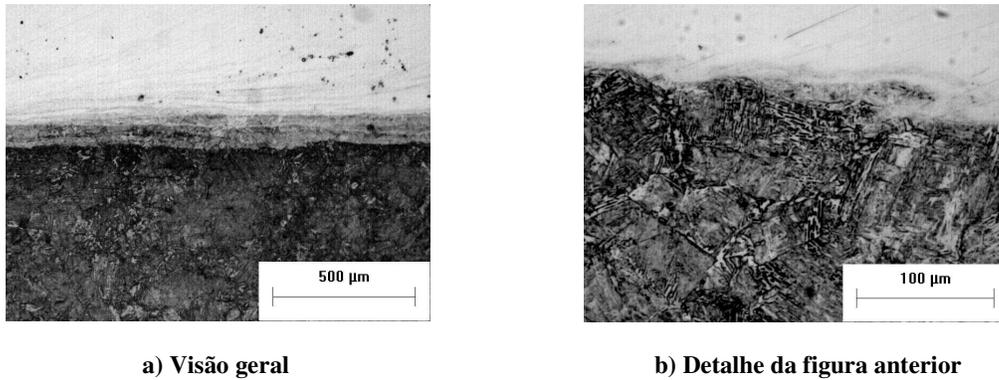
**Figura 4: Material base do substrato.**

Após o ensaio de revestimento por atrito, foi verificada uma região entre o material depositado e o material base do substrato chamada de zona afetada pelo calor (ZAC), verificada na Fig. (7).



**Figura 5: Região da zona afetada pelo calor no substrato.**

Chegando até a região de interface dos materiais dissimilares, Fig. (8), pode-se observar uma mistura metalúrgica entre esses materiais e uma diferenciação do material do substrato, quando comparado com sua microestrutura anterior ao ensaio.

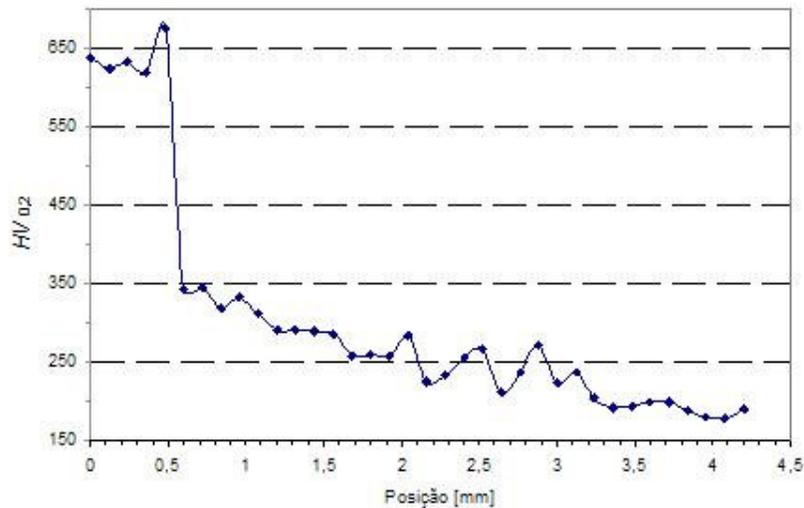


**Figura 6: Interface material base/revestimento após o processamento da amostra 6.**

De acordo com as imagens obtidas é possível visualizar uma alteração na microestrutura do material base devido ao processo termomecânico, ao qual a amostra é submetida. Portanto, a geração de calor na interface de contato entre o pino e substrato foi suficiente para a deposição do material AISI 420 no aço carbono ASTM A36.

Após o processamento houve a união metalúrgica entre os materiais dissimilares. Essa alteração da microestrutura corresponde a níveis de dureza mais elevados para o material nas regiões processadas, como é mostrado na Fig. (9).

O gráfico da Fig. (9) mostra que a microdureza do material depositado é maior em relação ao material do substrato. Além disso, existe certa região correspondente à zona afetada pelo calor, a qual sofre uma alteração na sua microestrutura devido ao processo de revestimento por atrito. Essa região é caracterizada por um aumento de dureza e, conseqüentemente, resistência mecânica, contribuindo assim para a melhoria do suporte mecânico para a camada depositada.



**Figura 7: Perfil de microdureza ao longo da interface entre o material depositado e o substrato.**

## 5. CONCLUSÕES

A adaptação da Unidade de Processamento de Pinos por Atrito, através da inserção de uma plataforma de deslocamento horizontal com posicionamento controlado, permitiu a realização de ensaios de recobrimento de maneira totalmente automatizada e segura.

A avaliação da literatura existente sobre o processo de recobrimento possibilitou o desenvolvimento de uma metodologia adequada para realização de ensaios de revestimento em laboratório, permitindo assim uma avaliação da qualidade do material submetido a tais testes.

Através de análises de macro e micrografias, pôde-se constatar a ótima qualidade dos reparos realizados, que apresentaram boa união metalúrgica, além de um refinamento da microestrutura do substrato na interface.

Desta forma, diante da infra-estrutura desenvolvida e controlada, é possível dar continuidade ao estudo dos processos de reparo por atrito, podendo-se definir novos parâmetros de ensaios que possibilitarão encontrar um conjunto ótimo de valores que garantam uma melhor qualidade para outros materiais.

## 6. REFERÊNCIAS

- Andrews, R.E., 1990 Underwater repair by friction stitch welding. *Metals and Materials*, pg.796-797,.
- Borges, B. M., 2008, Controle de uma plataforma de deslocamento horizontal para reparos por atrito, em monografia de projeto de fim de curso em Engenharia Mecatrônica, Faculdade de Engenharia Mecatrônica, Universidade Federal de Uberlândia.
- Ferreira, T. C.; Borges, B. M.; Formoso, C. M.; Souza Júnior, V. B.; Franco, V. L. D. S., 2006, Construção e controle de uma plataforma de deslocamento horizontal para reparos por atrito, IV Congresso Nacional de Engenharia Mecânica – CONEM, 22 a 25 de Agosto de 2006, Recife – PE.
- 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. In: 2nd International Symposium on Multibody Systems and Mechatronics MuSMe, Uberlândia, 2005.
- Meyer, A., 2002, Friction Hydro Pillar Processing, Dissertation an der Technischen Universität Braunschweig, Hamburg.
- Pires, R. R., 2007, Efeitos da geometria, da força axial e da rotação no reparo por atrito, em dissertação de mestrado para o Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia.
- Souza, R. J., 2006, Desenvolvimento, projeto e construção de um equipamento de reparo de trincas por atrito, em dissertação de mestrado para o Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia.
- Voutchkov, I.; Jaworski, B.; Vitanov, V.I. and Bedford, G. M., 2001, An integrated approach to friction surfacing process optimization, *Journal of Materials Processing Technology*.

## APPLICATION OF FRICTION SURFACING TO MAKE REPAIRS WITH STEEL AISI 420

**Bruno Marega Borges, [bmarega@mecanica.ufu.br](mailto:bmarega@mecanica.ufu.br)**

**Marcelo Molinar Henrique Júnior, [marcelomolinar@mecanica.ufu.br](mailto:marcelomolinar@mecanica.ufu.br)**

**Camila Monteiro Formoso, [camilaformoso@mecanica.ufu.br](mailto:camilaformoso@mecanica.ufu.br)**

**Vera Lúcia D. S. Franco, [vlfranco@ufu.br](mailto:vlfranco@ufu.br)**

**Sinésio Domingues Franco, [sdfranco@ufu.br](mailto:sdfranco@ufu.br)**

Universidade Federal de Uberlândia – Av. João Naves de Ávila, 2160 - Campus Santa Mônica - Bloco 1 M

**Abstract:** *Many processes of friction welding have been studied, among which stands out a process known as Friction Surfacing. This technique consists on deposition of the material by one bolt at other material using increases rotations and forces. The advantages of this technique are the excellent metallurgical bond among the materials associate to a refined structure. Through this technique is possible to apply different types of materials on substrates, resulting in increments on resistance against corrosion or erosion. In this paper was used an equipment totally automated, and the user can set the repair parameters into the control program. The base material used was a carbon steel and the material of deposition was made of stainless steel AISI 420. The repair parameters like: axial forces on the rod and platform displacement speed, was varied to identify the best conditions to deposit this stainless steel over the carbon steel, allowing to obtain a perfect metallurgical bond.*

**Keywords:** *friction surfacing, hard coatings, AISI 420*