

EFEITO DO PREAQUECIMENTO NO PROCESSAMENTO POR ATRITO DO AÇO ABNT 4140¹

Raphael Rezende Pires²
Sinésio Domingues Franco³
Rafael Ariza Gonçalves²
Luiz Paulo Pettersen Pinto Coelho⁴
Rodrigo Azevedo Muniz⁴
Marcelo Torres Piza Paes⁵
Ricardo Reppold Marinho⁵

Resumo

O reparo por atrito é uma técnica com potencial de aplicação na indústria do petróleo e gás em substituição às técnicas de reparo por arco elétrico. A aplicação da técnica de reparo por atrito de peças e equipamentos confeccionados com aços de média e alta temperabilidade pode levar à formação de microestruturas duras na ZTA grosseira, o que pode causar trincas e posterior falha. No presente trabalho são estudados os efeitos do pré-aquecimento como condição prévia ao reparo, no sentido de evitar a formação desses constituintes. Os parâmetros de ensaio, força axial, rotação, torque, comprimento de queima e potência foram controlados e monitorados em tempo real e a potência e o aporte térmico calculados. São apresentadas as macrografias, micrografias e perfis de dureza, de cortes transversais, que permitiram avaliar a qualidade dos reparos. Foi verificado que os preaquecimentos utilizados foram eficazes para evitar a formação de fases duras.

Palavras-chave: Reparo por atrito; Temperatura de pré-aquecimento; ZTA .

INFLUENCE OF THE PREHEATING ON FRICTION HYDRO PILLAR PROCESSING OF ABNT 4140 STEEL

Abstract

The Friction Hydro Pillar Processing (FHPP) is a recent technique with potential application in the oil and gas industry to repair steel structures with weld defects and/or cracks. The application of FHPP on parts made of medium content on carbon and high hardenability steel can lead to the formation of hard microstructures in the heat affected zone (HAZ's), cracks and subsequent failure. In this work, the influence of preheating on the FHPP process as a mean to avoid the formation of hard microstructures was studied. Test parameters such as axial force, rotational speed, torque and power were monitored in real time and the welding energy was calculated. Macro and microstructure were compared and hardness profiles of cross sections were evaluated, allowing access the quality of FHPP repairs. It was found that the preheating was effective in preventing the formation of hard microstructures.

Key words: Friction hydro pillar processing; Preheating temperature; HAZ.

¹ *Contribuição técnica ao 67º Congresso ABM - Internacional, 31 de julho a 3 de agosto de 2012, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.*

² *M.Sc., Universidade Federal de Uberlândia, Brasil.*

³ *Doc. Ing. Universidade Federal de Uberlândia, Brasil.*

⁴ *Eng., Universidade Federal de Uberlândia, Brasil.*

⁵ *M.Sc., Petrobras, Brasil.*

1 INTRODUÇÃO

Uma das formas usadas atualmente na a extração de petróleo é a utilização de plataformas petrolíferas que são grandes estruturas utilizadas em alto mar para perfuração de poços e extração de petróleo. Vários componentes que estão presentes nestas plataformas são submetidos a várias condições operacionais que podem levar à formação de trincas em suas estruturas.

Segundo Meyer,⁽¹⁾ esses defeitos, na maior parte dos casos são reparados através da soldagem a arco elétrico, processo este que apresenta alguns problemas como o aparecimento de uma grande zona termicamente afetada (ZTA). Esta técnica quando utilizada em ambientes com alto risco de explosão é realizada em ambiente submerso. Assim a combinação de altas temperaturas envolvidas no processo com rápido resfriamento pode levar ao aparecimento de tensões residuais e eventualmente trincas principalmente em ambientes submersos. Há ainda outros inconvenientes na solda submersa a arco, tais como: porosidade; porosidade crescente com a lâmina d'água e fragilização pelo hidrogênio

Uma alternativa que minimiza os inconvenientes descritos anteriormente para o reparo dessas trincas e defeitos é o reparo por atrito. Nesse caso, a remoção de trincas pode ser feita através de um processo de costura por atrito (Stitch Welding), que é a sobreposição de eventos realizados através da técnica de processamento de pinos por atrito, ao longo do comprimento de uma falha a ser reparada. De acordo com Pires,⁽²⁾ esta prática consiste no preenchimento de uma cavidade previamente aberta com uma geometria característica, por intermédio da introdução coaxial de um pino (consumível), estando este submetido a uma velocidade de rotação, e a esforços de compressão contra a cavidade

Vários trabalhos já foram realizados com o objetivo de testar e aperfeiçoar o processo de reparo por atrito e nestes encontraram-se vários problemas como falhas de preenchimento e a formação de uma ZTA de elevada dureza caracterizada pela presença de martensita, quando o reparo é realizado em aços de média e alta temperabilidade, favorecendo o aparecimento de micro trincas, fato este observado em trabalho realizado no Laboratório de Tecnologia em Atrito e Desgaste por Ferreira.⁽³⁾ Este problema não é desejável para um processo que tem como objetivo reparar estruturas que estão submetidas a esforços elevados e cíclicos. Como solução para o problema da alta dureza da ZTA foi proposto por Ferreira⁽³⁾ como trabalho futuro um preaquecimento do substrato, previamente à realização do reparo.

Neste trabalho foram realizados ensaios de reparo por atrito com duas forças axiais, duas velocidades de rotação e duas temperaturas de preaquecimento a fim de inibir a formação de fases duras em virtude do resfriamento mais lento após a execução dos preenchimentos e no final determinar os melhores parâmetros para este tipo de processo.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho foram realizados reparos por atrito com preaquecimento, de blocos de aço ABNT 4140, por ser um aço utilizado em alguns componentes da indústria petrolífera, segundo Ferreira.⁽³⁾ Os pinos são de aço ABNT 1010 por apresentar propriedades mecânicas que possibilitam boas qualidades de preenchimento. A Tabela 1 mostra a composição dos pinos e blocos.

Tabela 1. Composição química dos blocos e dos pinos

Elementos	C	Si	Mn	Cr	Mo	S	P	Cu	Ni
Bloco ABNT 4140	0,42	0,26	0,81	0,98	0,18	0,027	0,014	0,16	0,10
Pino ABNT 1010	0,12	1,16	0,69	0,03	0,00	0,027	0,044	—	0,01

A Figura 1 mostra esquematicamente o reparo por atrito e os desenhos dos pinos e dos blocos utilizados.

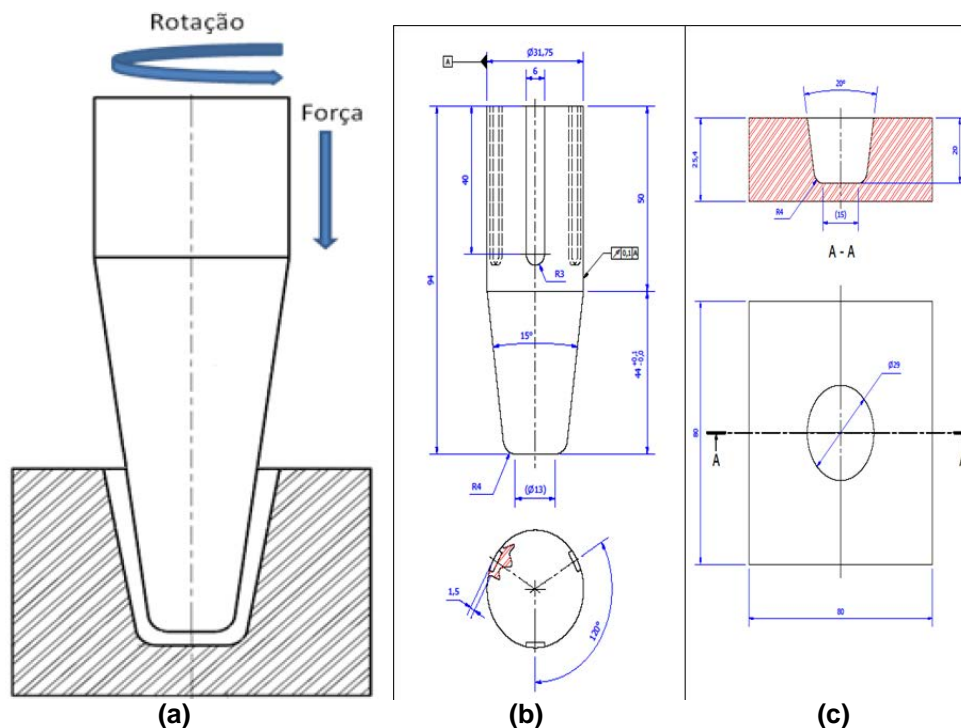


Figura 1. (a) Esquema do reparo por atrito, (b) geometria dos pinos e (c) geometria dos blocos.

No trabalho foi utilizada a Unidade de Processamento de Pinos por Atrito (UPPA3), desenvolvida pelo Laboratório de Tecnologia em Atrito e Desgaste (LTAD) da Universidade Federal de Uberlândia. A Unidade UPPA 3 é equipada com sistema de controle e aquisição de dados que permite pré fixar os parâmetros de ensaio, controlar todo o processo e traçar gráficos da variação dos parâmetros em função do tempo de ensaio. São parâmetros de ensaio: força axial, rotação, comprimento de queima, força de forjamento e tempo de forjamento.

Na unidade UPPA3, o pino é fixado através de uma placa de castanha e o bloco através de uma morsa. A morsa é montada na extensão de um cilindro hidráulico alimentado por uma motobomba que permite aplicação de forças axiais de até 500 kN e a placa de castanha acionada por motor de pistão axial que permite rotações de até 1.800 rpm. Todo o sistema é controlado e permite a aquisição em tempo real dos parâmetros: força, rotação, torque e deslocamento, conforme descrito por Borges.⁽⁴⁾

O comprimento de queima é a distancia de avanço do pino contra o bloco a partir do momento em que ocorre o toque do pino no bloco. Completado o comprimento de queima, cessa a rotação e inicia-se a aplicação de carga de forjamento sendo este valor pré fixado, podendo ser diferente da força axial inicial e aplicada por tempos variados ou ainda não aplicar nenhuma força.

O equipamento permite ainda a realização de ensaios com aplicação de forças axiais em degraus e por tempos pré estabelecidos.

Antecedendo os ensaios, os blocos foram limpos por ultrassom juntamente com os pinos para retirar quaisquer impurezas que pudessem interferir no processo e nas análises após os ensaios.

Os ensaios foram realizados de acordo com a Tabela 2, com comprimento de queima de 6 mm e tempo de forjamento de 10 s, com o mesmo valor da força axial de cada ensaio.

Para efeito de comparação e comprovação da formação de fases duras, foi realizado um ensaio sem temperatura de preaquecimento.

Tabela 2. Matriz de ensaios utilizada

Amostra	Fôrça Axial (kN)	Rotação (rpm)	Preaquecimento (°C)
31105	100	1400	0
31106	60	1.700	300
31107	60	1.400	200
31108	60	1.400	300
31111	60	1.700	200
31114	100	1.400	200
31115	100	1.400	300
31116	100	1.700	200
31119	100	1.700	300

As temperaturas de preaquecimento foram geradas através de um sistema de aquecimento por indução e as temperaturas medidas com termômetro infravermelho. Com a temperatura de preaquecimento atingida, o sistema de indução é retirado e acionado a partida do ensaio de reparo por atrito.

A Figura 2 mostra o preaquecimento por indução de um bloco e a realização de um ensaio.

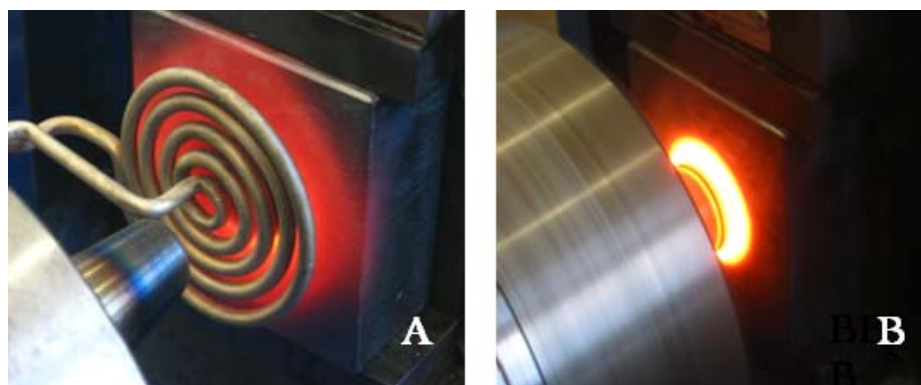


Figura 2. (a) aquecimento por indução de um bloco; e (b) realização de um preenchimento.

O sistema de aquisição de dados do equipamento registrou as variáveis de ensaio para cada operação de preenchimento mostrada na Tabela 2.

Após a realização de cada ensaio, os conjuntos pino/bloco foram retirados e colocados para serem resfriados ao ar, um a um, dentro de um compartimento para evitar correntes que pudessem interferir nas velocidades de resfriamento.

Completado o resfriamento, os conjuntos pino/bloco foram cortados com serra de fita conforme a Figura 3. As superfícies foram retificadas, lixadas até a lixa #600 para ataque macrográfico com Nital 6%. Após a aquisição das macrografias, as peças foram cortadas para redução de superfície para facilitar o polimento, como mostrado na Figura 4.

Para a revelação micrográfica, primeiramente foi removido o macroataque através de operações de lixamento com lixas #220 e #320, posteriormente lixadas com lixas #400, #600 e #1200, polidas com pastas de diamante de granulometrias 6 μm , 3 μm e 1 μm , limpeza por ultrasom e ataque com Nital 2%.

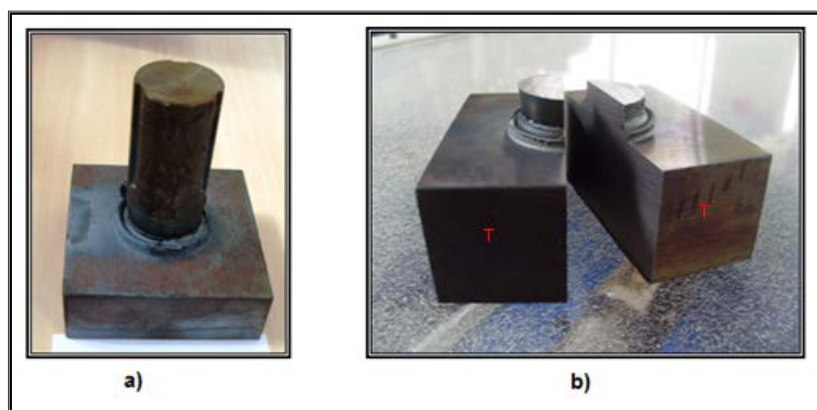


Figura 3. a) conjunto pino/bloco após preenchimento; b) corte das peças.

Para confirmar se houve ou não alterações significativas de dureza em decorrência das altas temperaturas geradas, foram traçados perfis de dureza $\text{HV}_{1,0}$ em todos os cortes longitudinais dos conjuntos pino/bloco, nas regiões identificadas na Figura 4a. De forma análoga, para efeito de comparação das microestruturas, as mesmas foram obtidas em regiões padronizadas como mostrado na Figura 4b.

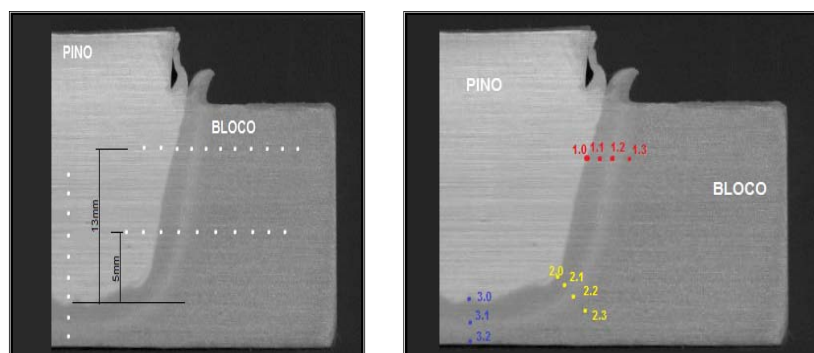


Figura 4. (a) Mapeamento para execução dos perfis de dureza vertical e horizontais e (b) Mapeamento para obtenção das micrografias.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 5 mostra os registros dos parâmetros dos ensaios 31105 (sem temperatura de pré aquecimento), 31114 (com temperatura de preaquecimento de 200°C) e 31119 (com temperatura de preaquecimento de 300°C). A força, a velocidade de rotação e o comprimento de queima são predefinidos pelo operador. O equipamento

controla a velocidade de rotação, atuando na abertura de válvulas, que controlam por sua vez a vazão e pressão da linha. O torque é calculado e a potência é obtida a partir da rotação e do torque.

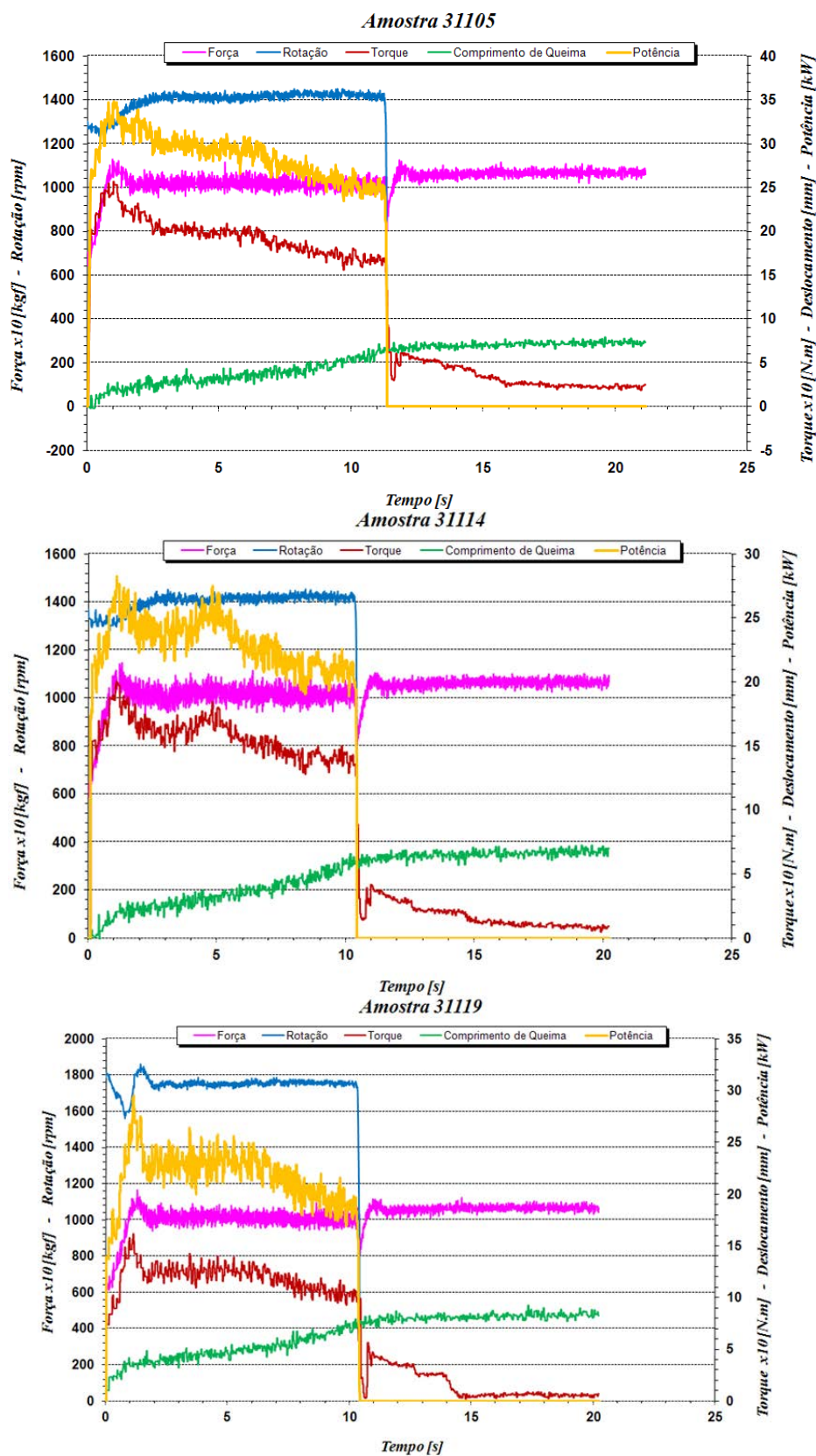


Figura 5. Sinais adquiridos: a) Ensaio 31105 (100 kN, 1.400 rpm e sem preaquecimento), (b) Ensaio 31114 (100 kN, 1.400 rpm e 200°C) e c) Ensaio 31119 (100 kN, 1.700 rpm e 300°C).

Para as demais amostras foram gerados gráficos similares. Vê-se na figura que o sistema de controle da unidade UPPA3 controla de forma satisfatória os parâmetros de ensaio de forma que as condições de ensaio mostradas na Tabela 2 e impostas foram reproduzidas. Os aportes térmicos para os ensaios com preaquecimento foram calculados (área abaixo da curva de potência) e são mostrados na Figura 6.

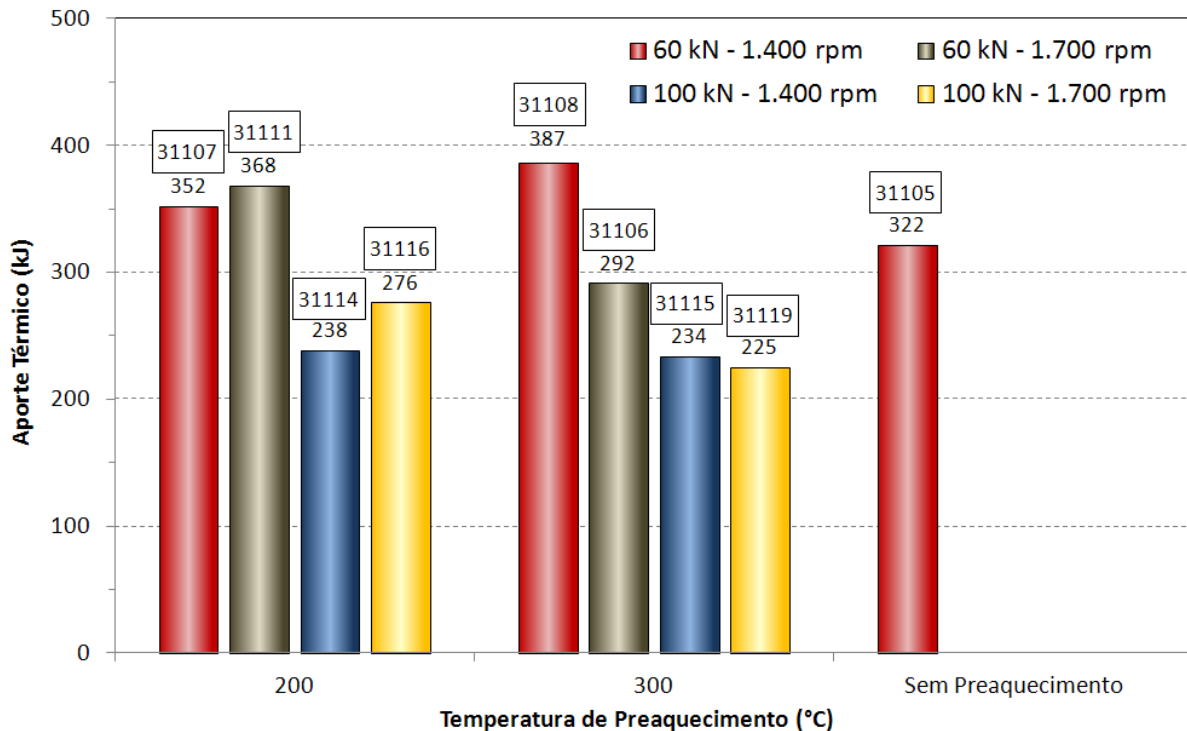


Figura 6. Energia Total de Soldagem em cada ensaio realizado.

Nota-se da Figura 6 que o comportamento do aporte térmico depende diretamente do parâmetro força axial. Os maiores e menores aportes térmicos correspondem respectivamente às menores e às maiores forças. Nota-se também que o efeito da velocidade de rotação, para os valores utilizados, não apresentaram correlação com os valores calculados dos aportes térmicos.

As macrografias foram obtidas após lixamento até a lixa #600 e ataque com Nital a 6% e são mostradas na Figura 8.

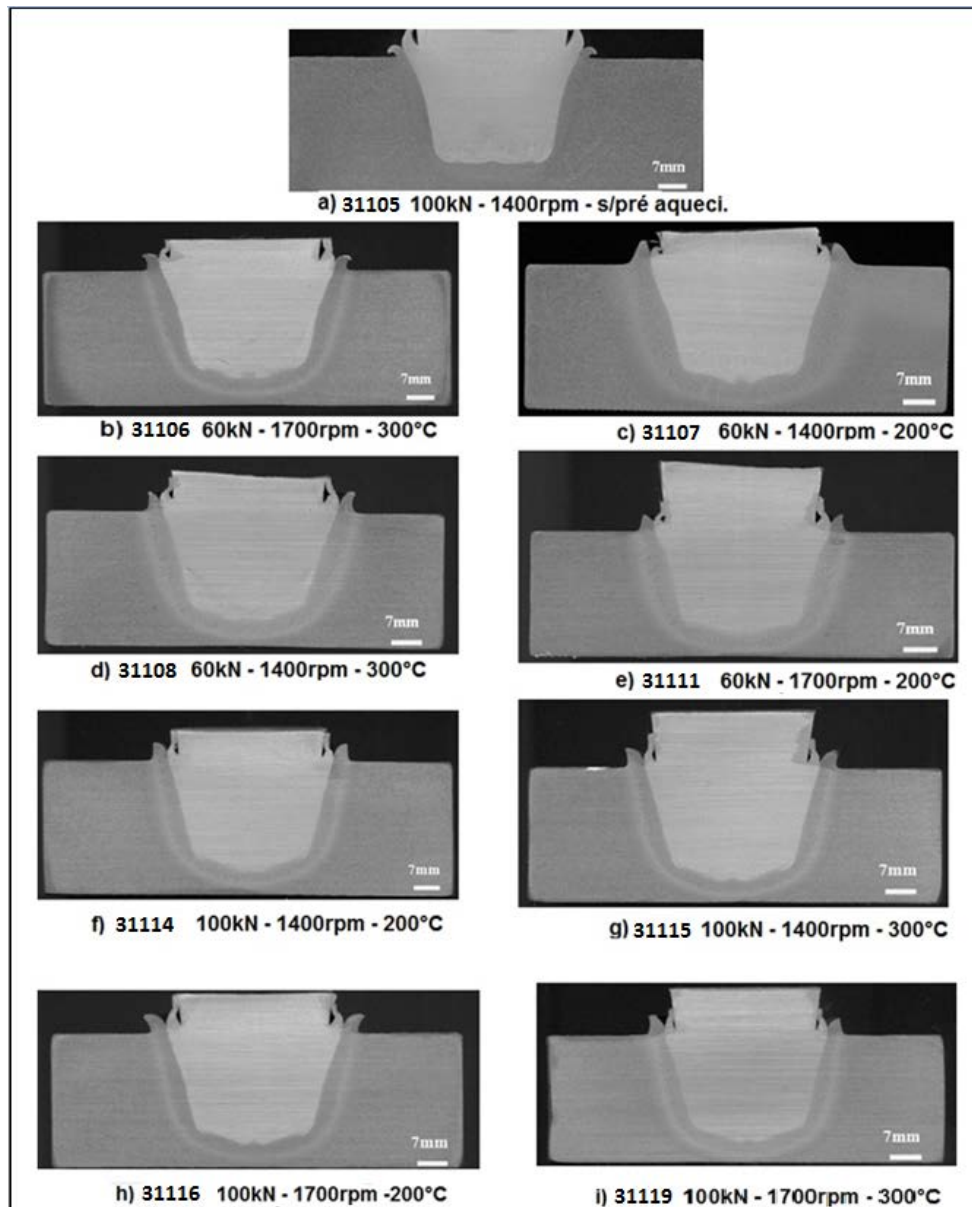


Figura 7. Macrografias dos conjuntos pinos/blocos ensaiados de acordo com a Tabela 2.

A análise das macrografias comprova que não houve falhas de preenchimento atestando que os parâmetros de ensaio escolhidos foram acertados.

A comparação visual mostra que as maiores ZTAs correspondem aos ensaios 31107, 31108 e 31111 e as menores ZTAs correspondem aos ensaios 31114, 31115 e 31119 e revelam que as ZTAs têm relação direta com os aportes térmicos impostos

As micrografias da amostra 31105 (sem pré aquecimento) e da amostra 31114 (com pré aquecimento de 200°C), obtidas nas regiões 1.0, 1.1, 1.2, 2.0 e 3.0 mapeadas na Figura 4b são mostradas na Figura 8.

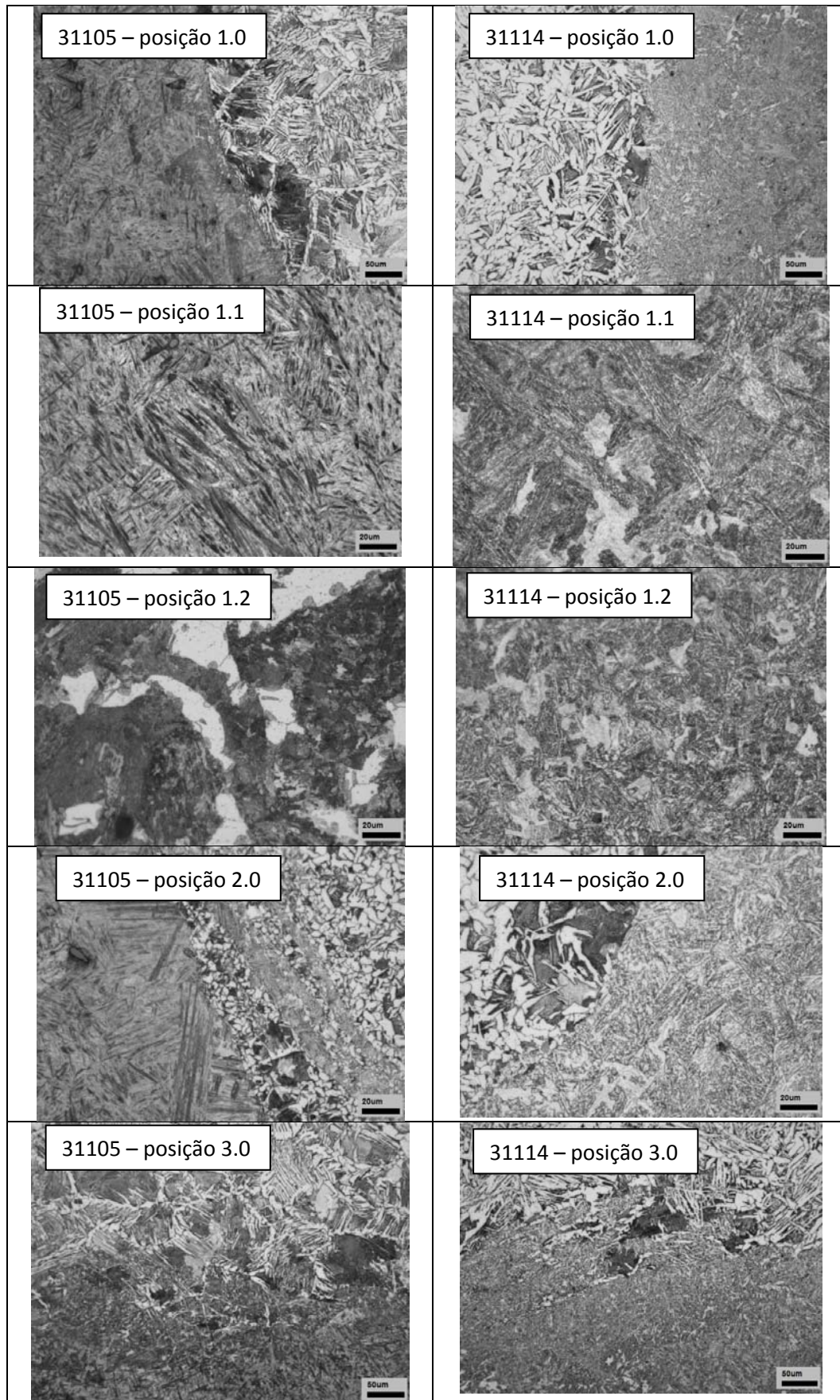


Figura 8. Micrografias das amostras 31105 (sem preaquecimento) e 31114 (com preaquecimento de 200°C), obtidas nas regiões mapeadas da Figura 4b.

As micrografias da amostra submetida ao reparo por atrito sem preaquecimento revelaram a presença de martensita na ZTA, o mesmo não aconteceu nas amostras submetidas ao reparo por atrito com preaquecimento de 200°C e 300°C e cujas micrografias são similares às micrografias da amostra 31114. Os perfis de dureza Vickers com carga de 1 kg, obtidos conforme mapeamento mostrado na Figura 4a são mostrados na Figura 09.

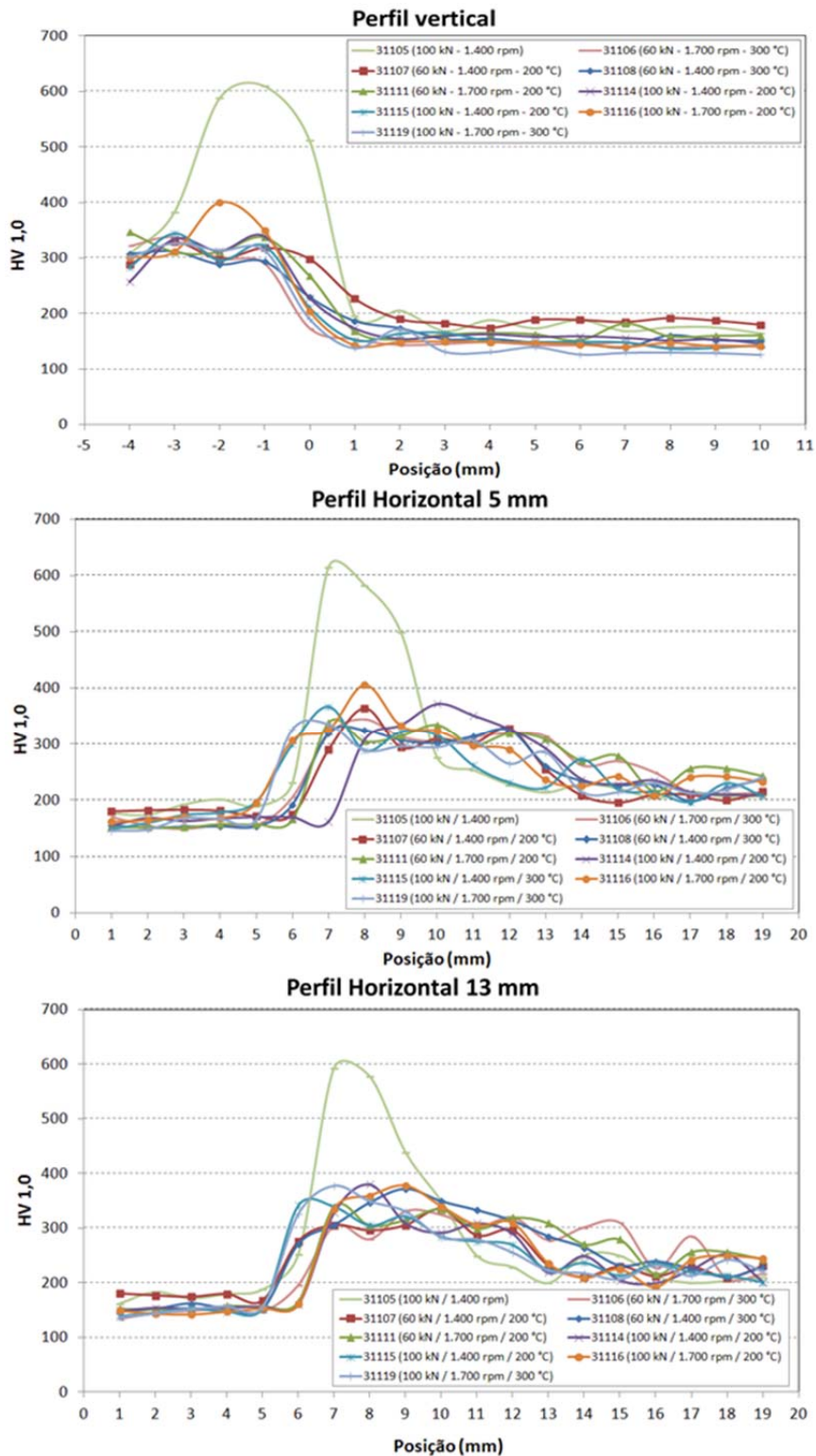


Figura 9. Perfis de Dureza dos conjuntos pinos/blocos ensaiados conforme a Tabela 2, obtidos de acordo com o mapeamento da Figura 4a.

Os perfis de dureza mostram picos de dureza na ZTA tanto para os perfis de dureza vertical e horizontais para a amostra não preaquecida e a ausência dos mesmos nas amostras com preaquecimento de 200°C e 300°C revelando que os preaquecimentos foram eficazes para evitar a formação de fase duras durante o resfriamento.

4 CONCLUSÕES

A análise dos resultados apresentados permite afirmar:

- Em nenhum dos ensaios foi observado falta de preenchimento, indicando que os processamentos de pinos por atrito realizados na unidade UPPA 3, nas condições escolhidas, foram eficientes.
- O preaquecimento influenciou significativamente nos resultados, indicando que inibiram a formação de martensita na ZTA, como mostram os valores de microdureza.
- Os aportes térmicos influenciaram diretamente nos tamanhos das ZTAs.

Agradecimentos

À Petrobras pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

- 1 MEYER, A., Friction Hydro Pillar Processing. 2002. 123 S. Dissertation an der Technischen Universität Braunschweig, Hamburg, Germany, 2002.
- 2 PIRES, R. R., Efeitos da Geometria, da Força Axial e da Rotação no Reparo por Atrito. 2007.131 f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG.
- 3 FERREIRA, V. J. A. Influência da Força Axial e da Rotação no Processamento de Pinos por Atrito no Aço ASTM A148 Gr 115-95. 2010. 49f. Monografia de Projeto de Fim de Curso, Universidade Federal de Uberlândia-MG.
- 4 BORGES, B, M, Instrumentação, controle e Operacionalização de uma Unidade de Reparo por Atrito com Capacidade de Carga Axial de 500kN,2011,97p,dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica,Universidade federal de Uberlândia, Uberlândia-MG