



# INSPEÇÃO POR ULTRASSOM DE SOLDAS NOS MATERIAIS ASTM A36 E SAE 8620 OBTIDAS ATRAVÉS DE *FRICTION HYDRO PILLAR PROCESSING (FHPP)*<sup>1</sup>

Felipe Wu Tzong Yeh<sup>2</sup>

Pedro Henrique Costa Pereira Cunha<sup>3</sup>

Cléber Rodrigo de Lima Lessa<sup>2</sup>

Letícia Pegoraro Leaf<sup>4</sup>

Thomas Gabriel Rosauo Clarke<sup>5</sup>

Telmo Roberto Strohaecker<sup>6</sup>

## Resumo

Processos de soldagem por atrito apresentam diversas vantagens na união de materiais metálicos. O processamento de pinos por atrito ou “*Friction Hydro Pillar Processing*” (FHPP), é um exemplo de tecnologia de soldagem por atrito que pode ser utilizado no reparo de estruturas metálicas em ambientes hostis. Dependendo dos parâmetros de soldagem e dos materiais utilizados (pinos consumíveis e material base), as soldas FHPP podem apresentar defeitos como trincas na interface de união da junta e presença de inclusões. Tais defeitos e as tais inclusões comprometem a integridade mecânica e metalúrgica da solda, logo a inspeção utilizando ensaios não destrutivos é justificada. Utilizando o ensaio de ultrassom, soldas FHPP com chapas de aço ASTM A36 e pinos de aços ASTM A36 e SAE 8620 foram inspecionadas, variando somente as seguintes forças axiais do processo de soldagem: 200 kN, 250 kN, 300 kN e 350 kN. Foi possível relacionar os resultados do ensaio de ultrassom com a localização de defeitos e inclusões nos corpos-de-prova e esses sinais foram validados através de metalografia das juntas estudadas.

**Palavras-chave:** Soldagem por atrito; Ultrassom; Inclusões; Defeitos.

## ULTRASONIC INSPECTION IN WELDS USING “FRICTION HYDRO PILLAR PROCESSING” (FHPP) WITH ASTM A36 AND SAE 8620 STEELS

### Abstract

Friction welding processes have several advantages in the union of metallic materials. The friction processing of pins or Friction Hydro Pillar Processing (FHPP), is an example of friction welding technology that can be used in the repair of metallic structures in hostile environments. Depending on the welding parameters and materials used (consumable pins and base material), the FHPP welds can present defects like cracks in the bond surface and the presence of inclusions. Such inclusions and defects compromise the mechanical integrity of the weld and therefore a inspection using nondestructive evaluation is justified. Using ultrasonic testing, FHPP welds using ASTM A36 steel plates and ASTM A36 and SAE 8620 steel pins were surveyed, varying only the axial forces in the welding process: 200, 250, 300 and 350kN. It was possible to relate the ultrasound testing results with the location of defects and inclusions in the specimens and those signals were validated by the metallography of the joints studied.

**Key words:** Friction welding; Ultrasonic; Inclusions; Defects.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 66º Congresso Anual da ABM, 18 a 22 de julho de 2011, São Paulo, SP, Brasil.

<sup>2</sup> Mestrando, Engenheiro Metalúrgico – PPGEM/UFRGS

<sup>3</sup> Doutorando, Engenheiro Metalúrgico – PPGEM/UFRGS

<sup>4</sup> Graduada, Engenharia Metalúrgica – DEMET;UFRGS

<sup>5</sup> PHD, Engenheiro de Materiais – PPGEM/UFRGS

<sup>6</sup> Prof. Dr. – PPGEM/UFRGS

## 1 INTRODUÇÃO

Processos de soldagem por fricção possibilitam a união de materiais metálicos apresentando algumas vantagens com relação a processos de soldagem convencionais. O processo de por fricção conhecido por *Friction Hydro Pillar Processing* (FHPP) consiste no preenchimento de um furo utilizando um pino em rotação que se deforma com o calor gerado e com a carga aplicada, conforme ilustra a Figura 1. Essa técnica pode ser utilizada no reparo de estruturas metálicas tais como plataformas e navios utilizados na indústria de óleo e gás.<sup>(1-4)</sup> Além das características de soldas por fricção,<sup>(5,6)</sup> o FHPP pode ser automatizado garantindo reprodutibilidade, qualidade da junta soldada e maior segurança durante o processo.<sup>(7-9)</sup>

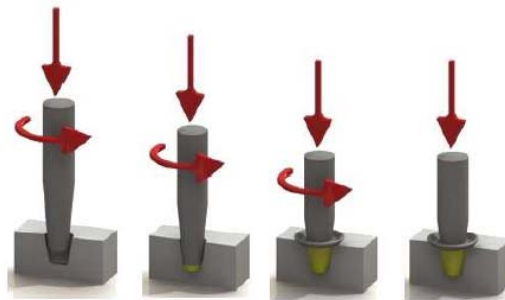


Figura 1. Desenho esquemático do processo.

Entre os parâmetros do processo em FHPP estão a velocidade de rotação, *burn off* (comprimento do pino consumível processado), força axial aplicada sobre o pino durante a soldagem e a força axial de conformação aplicada sobre o pino ao final da soldagem. Entre as variáveis do processo podemos citar a geometria do furo e do pino e a escolha dos materiais.<sup>(10)</sup> A combinação desses fatores influencia diretamente a qualidade final da solda. Mas, como resultado, podem ocorrer defeitos como falta de adesão e segregação de inclusões em regiões aleatórias da solda, impactando nas propriedades mecânicas da solda e no desempenho da estrutura. Com o ensaio de ultrassom é possível identificar e caracterizar alguns desses defeitos.<sup>(11-13)</sup>

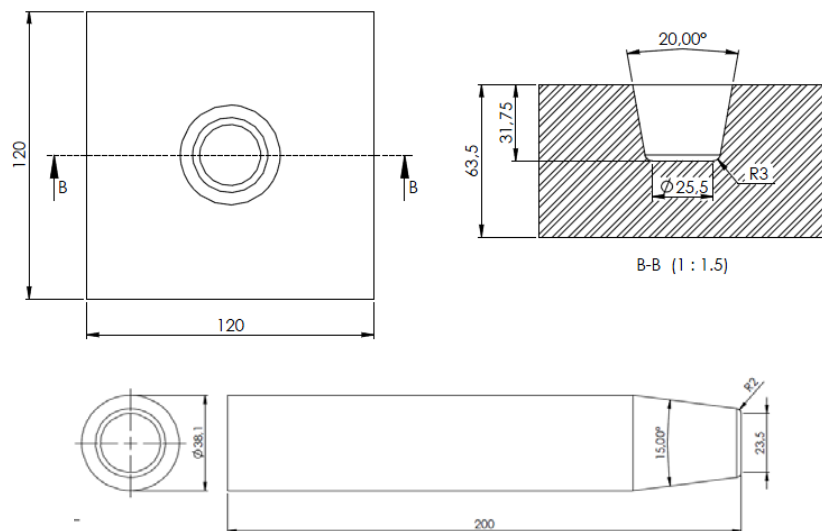
O objetivo do estudo foi inspecionar através do ensaio de ultrassom os defeitos e segregação de inclusões gerados pelos diferentes parâmetros de força axial aplicada sobre o pino durante a soldagem, influência do tipo de material utilizado no pino e validação através de análises micrográficas.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

As soldas foram obtidas com chapas ASTM A36 e pinos utilizando os aços ASTM A36 e SAE 8620, as composições químicas desses materiais estão presentes na Tabela 1. As chapas foram cortadas e usinadas a partir de chapas laminadas à quente com 6,35 mm de espessura. Os pinos foram cortados e usinados a partir de barras redondas laminadas a quente com diâmetro de 3,81 mm. A geometria da chapa e do pino adotados está ilustrada na Figura 2.

**Tabela 1.** Análise química da chapa e dos pino, porcentagem em peso

Material	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
Chapa A36	0,196	0,107	0,554	0,0183	0,0226	0,0415	0,0437	<0,005
Pino A36	0,188	0,097	0,540	0,0199	0,0313	0,0386	0,0542	<0,005
Pino 8620	0,219	0,268	0,852	0,0268	0,0302	0,441	0,501	0,171


**Figura 2.** Desenho da geometria das chapas e pinos utilizados.

Neste trabalho, as forças axiais utilizadas foram 200 kN, 250 kN, 300 kN e 350 kN e a rotação do pino foi mantida constante em 1.000 rotações por minuto. A força de forjamento, aplicada após o processo de soldagem, foi definida em 600 kN e o *burn-off* programado foi definido em 10 mm para todas as soldas.

O processo de soldagem utilizado seguiu as seguintes etapas: primeiramente o pino é acionado até atingir a rotação programada. Em seguida o pino entra em contato com a chapa e aplica-se uma força de 4 kN, a uma taxa de 0,75 kN/s. Com essa força inicial baixa buscou-se fazer um pré-aquecimento entre os materiais. Após atingida a força de 4 kN, aplica-se a força axial programada, que neste estudo foram de 200 kN, 250 kN, 300 kN e 350 kN, a uma taxa de 80 kN/s. Após o pino atingir o *burn-off* programado, a rotação é freada e aplica-se a força de forjamento de 600 kN, a uma taxa de 200 kN/s. Por fim, a força de forjamento é mantida durante 5 segundos.

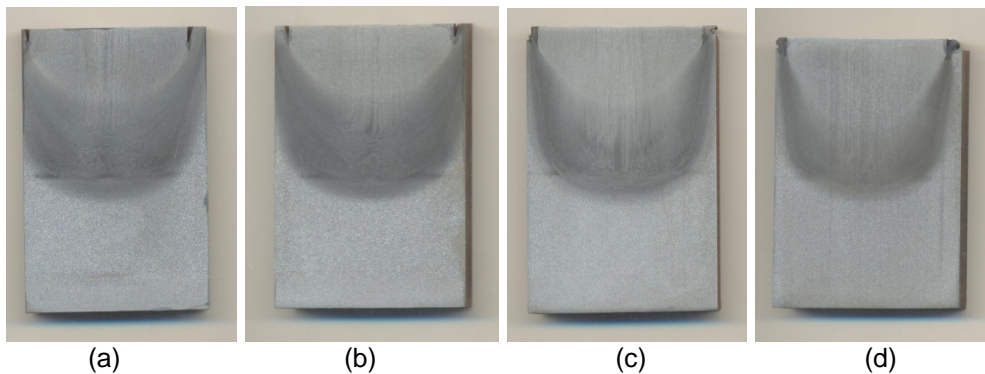
As análises de ultrassom foram feitas após o corte do pino restante. Foi feita a preparação da superfície buscando-se diminuir o ruído do sinal. Na inspeção com o ultrassom foi utilizado um elemento piezelétrico de 10MHz e 0,635mm de diâmetro da marca Olympus (Panametrics UT Transducers). Na aquisição de sinais foi utilizado um software e um equipamento de 16 canais desenvolvidos pela equipe da CPTi/PUC-Rio.

Após a inspeção através do ultrassom, o plano que apresentou maior número de sinais foi definido como plano de corte para as análises metalográficas, para cada amostra.

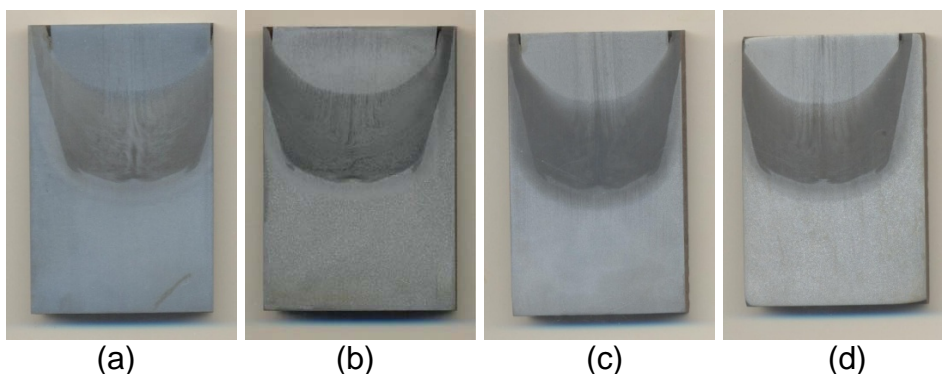
Os corpos-de-prova foram lixados obedecendo a seguinte seqüência de lixas: 80, 120, 220, 320, 400, 600 e 1.200, seguido de polimento com pasta de diamante 4 um e 1 um. Para ataque químico foi utilizado Nital 2% para análise da microestrutura e Nital 10% para análise macrográfica.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 3 mostra as macrografias das quatro soldas com pino de aço A36 e a Figura 4 mostra as macrografias das soldas com pino de aço 8620. A partir desses cortes foram feitas as análises micrográficas.



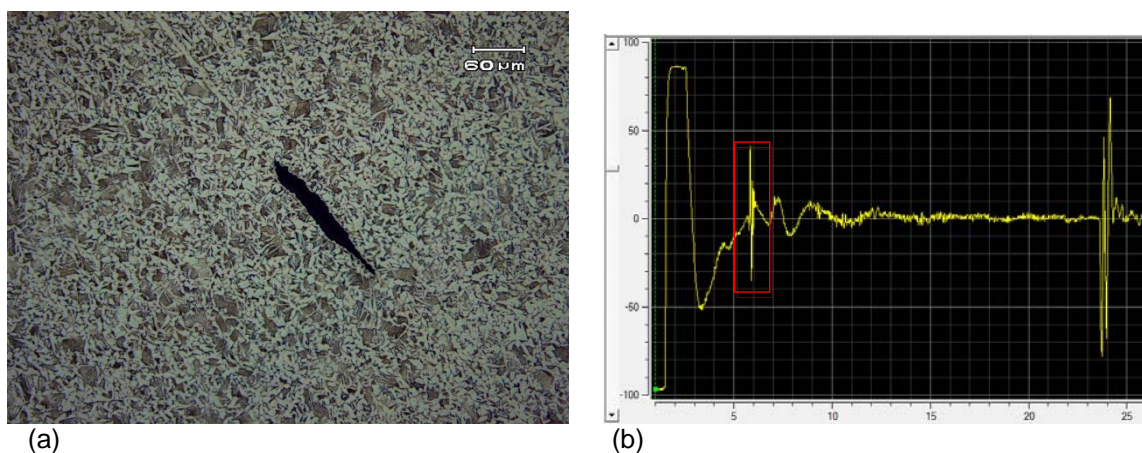
**Figura 3.** Resultados das macrografias das soldas com pinos A36 avaliadas com Nital 10%, (a) 200 kN, (b) 250 kN, (c) 300 kN, (d) 350 kN.



**Figura 4.** Resultados das macrografias das soldas com pinos 8620 avaliadas com Nital 10%, (a) 200 kN, (b) 250 kN, (c) 300 kN, (d) 350 kN.

#### 3.1 Junta Soldada com Força Axial de 200 kN e Pino de Aço ASTM A36

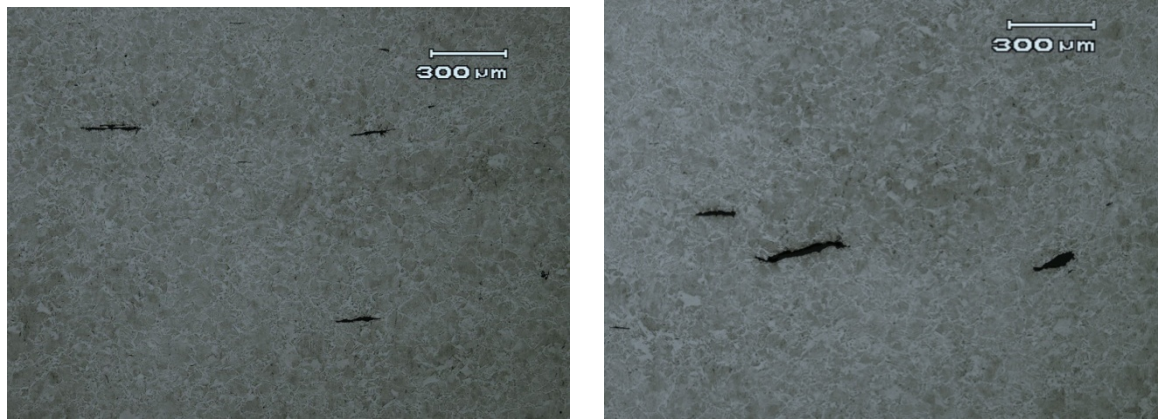
A Figura 5.(b) ilustra o ecograma obtido em uma determinada região da junta soldada. O sinal com um pico bem definido corresponde a uma inclusão isolada, mostrada na Figura 5.(a).



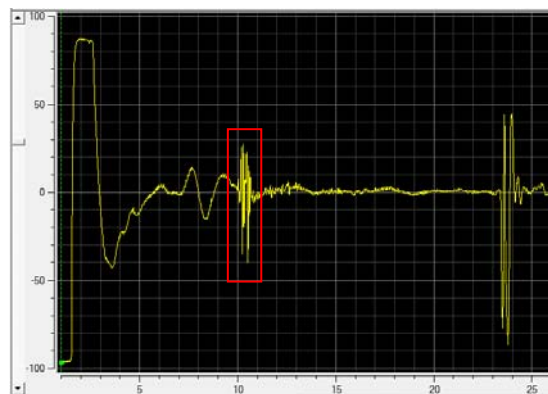
**Figura 5.** (a) Inclusão isolada e (b) ecograma do ensaio de ultrassom. Destacado em vermelho, o sinal correspondente a micrografia.

### 3.2 Junta Soldada com força axial de 250 kN e pino de aço ASTM A36

As Figura 6.(a) e Figura 6.(b) ilustram duas regiões adjacentes com inclusões alongadas de até aproximadamente 300  $\mu\text{m}$ . O ecograma do ensaio de ultrassom correspondente a essa região é ilustrada na Figura 7, onde é mostrado um sinal com refletores próximos.



(a) (b)  
**Figuras 6.(a) e 6.(b)** Regiões adjacentes com inclusões achatadas de aproximadamente 0,3 mm.



**Figura 7.** Ecograma do ensaio de ultrassom. Destacado em vermelho, o sinal correspondente as Figuras 6.(a) e 6.(b).

### 3.3 Junta Soldada com Força Axial de 300 kN

As Figuras 8.(a) e 8.(b) ilustram duas regiões adjacentes com defeito de falta de adesão na interface entre o material do pino e da chapa. O ecograma do ensaio de ultrassom correspondente a essa região é ilustrada na Figura 9. No ecograma é mostrado um sinal disperso, sem a presença de picos isolados.

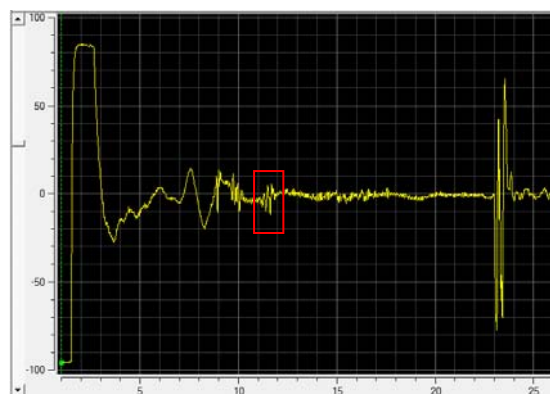


(a)



(b)

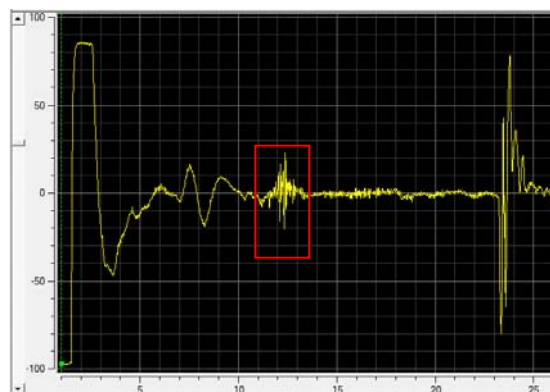
**Figuras 8.(a) e 8.(b)** Regiões adjacentes, na interface entre o material do pino e da chapa com defeito de falta de adesão.



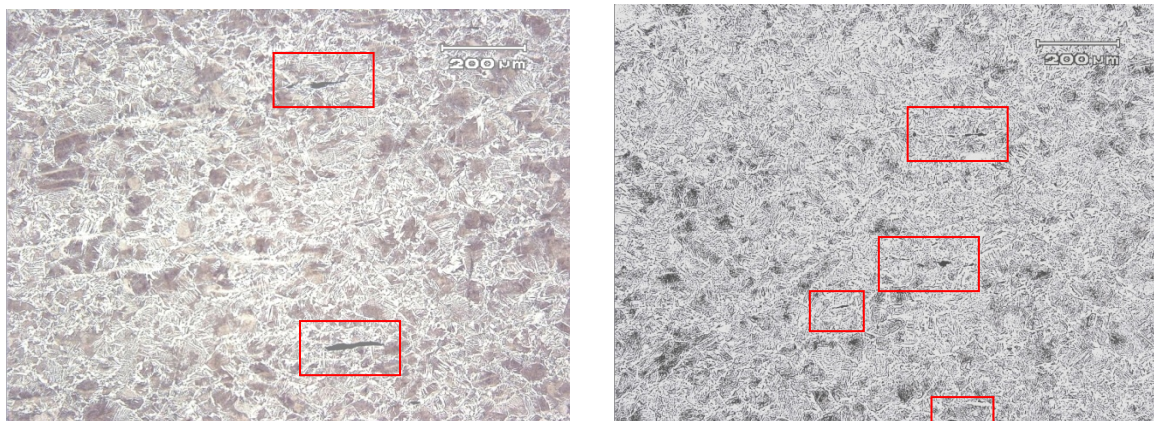
**Figura 9.** Ecograma do ensaio de ultrassom. Destacado em vermelho, o sinal correspondente as Figuras 8.(a) e 8.(b).

### 3.4 Junta Soldada com Força Axial de 350 kN

A Figura 10.(b) ilustra o ecograma obtido na região central do pino. Pode se observar um sinal disperso com vários picos bem definidos. Esses picos correspondem a diversas inclusões achatadas próximas entre si, mostradas nas Figuras 11.(a) e 11.(b).



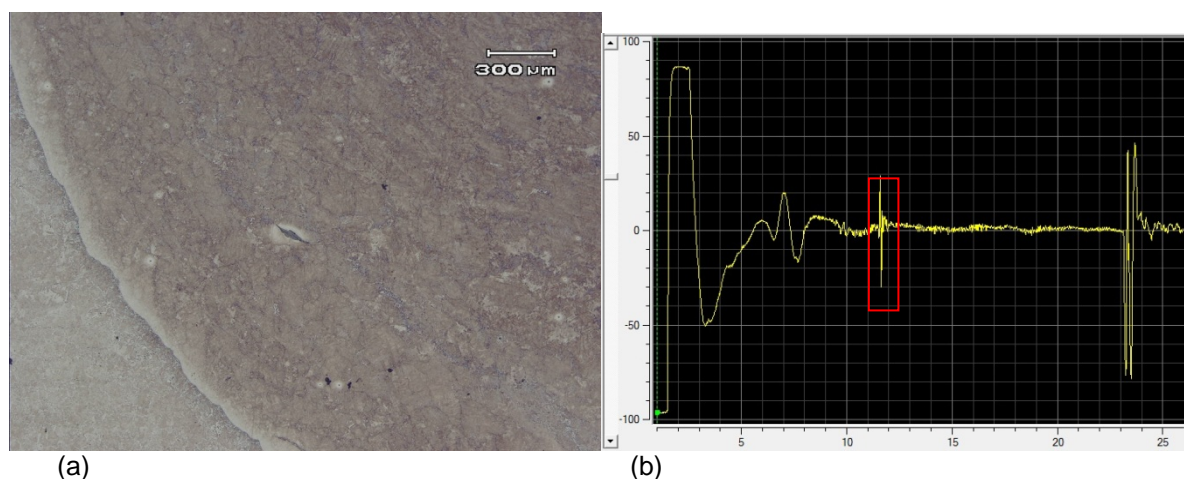
**Figura 10.** Ecograma do ensaio de ultrassom da região central. Destacado em vermelho, o sinal correspondente as Figuras 11.(a) e 11.(b).



**Figura 11.** (a) e (b) Inclusões achatadas adjacentes encontradas na região central da solda, destacadas em vermelho.

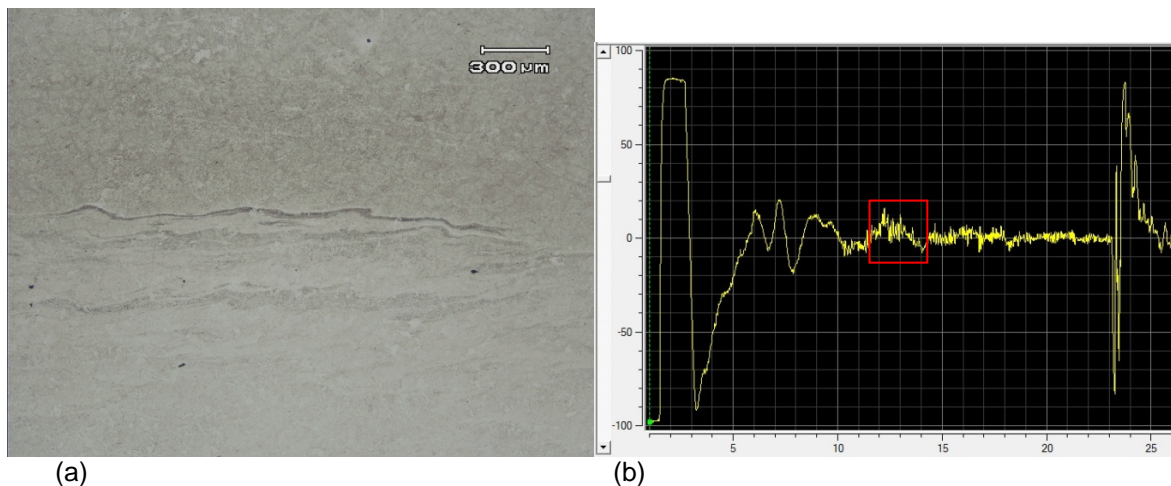
### 3.5 Junta Soldadas com Pinos de Aço SAE 8620

As soldas que utilizaram pino de aço SAE 8620 não apresentaram falta de adesão para nenhuma das forças axiais utilizadas. Foram encontrados significativamente menos inclusões do que as soldas que utilizaram o pino de aço ASTM A36. Os principais defeitos foram encontrados perto da região do raio de curvatura do pino, para todas as condições, como mostra a Figura 12.



**Figura 12.** (a) Defeito encontrado perto do raio de curvatura do furo na solda realizada com força axial de 300 kN e (b) sinal de ultrassom correspondente, destacado em vermelho.

A região da interface central da solda apresentou diferentes camadas de mistura entre os materiais distintos (Figura 13a).



**Figura 13.** (a) Interface central entre o pino e a chapa da solda realizada com força axial de 250 kN e (b) sinal de ultrassom correspondente, destacado em vermelho.

## 5 CONCLUSÕES

Foi possível detectar e diferenciar defeitos e inclusões no interior das soldas através do ensaio de ultrassom. Foram encontrados inclusões isoladas, inclusões adjacentes, famílias de inclusões e defeito de falta de adesão.

Não foi possível estabelecer uma relação direta entre a força axial utilizada durante a soldagem e a presença de defeitos. Pelo ensaio de ultrassom foi visto que as soldas pelo processo FHPP não são homogêneas, apresentando segregação de inclusões e defeitos como falta de adesão em regiões aleatórias da junta soldada.

O pino de aço 8620 obteve menor ocorrência de inclusões.

## Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer ao CNPq e a CAPES.

## REFERÊNCIAS

- 1 Unfried, J; Hermenegildo, T. F; PAES, M. T. P; Pope, A. M; Ramirez, A. J; "Influence of Process Parameters in the TMAZ Microstructural Evolution of C-Mn Steels Friction Hydro-Pillar Welded Joints". Proceedings of the 8th International Conference on Trends in Welding Research. Pine Mountain, Geórgia USA. June 2008.
- 2 BLAKEMORE, G. R. Applications of state of the art portable friction welding equipment euro-join. In: EUROPEAN CONFERENCE ON JOINING TECHNOLOGY, 2., 1984, Florence; Italy. Genova: Istituto Italiano della Saldatura, 1994. p. 127-36.
- 3 NICHOLAS, E. D. "Friction processing technologies". Welding in the World, v. 47, n. 11-12, p. 2-9, Nov./Dec. 2003.
- 4 BLAKEMORE, G. R. Friction welding-technology for the new millennium. In: OFFSHORE TECHNOLOGY CONFERENCE, 31., 1999, Houston, Texas. [S.n.t.]. Paper 11063-MS
- 5 JARDIM, M. P.; GONÇALVES, R. A.; PAES, M. T. P.; PIRES, R. R.; FRANCO, V. L. D. S. e FRANCO, S.D. Efeito da Geometria do Pino e do Furo no Reparo por Atrito – Resultados Preliminares, Tecnologia em Metalurgia e Materiais, São Paulo, v.4, n.2, p. 27-32, out.-dez. 2007.
- 6 ANDREWS, R. E.; MITCHELL, J. S. Underwater repair by friction stitch welding. Metals and Materials, v. 6, n. 12, p. 796-7, Dec. 1990.





- 7 MEYER, A. Friction Hydro Pillar Processing. Dr.-Ing. Thesis an der Technischen Universität Braunschweig, Hamburg, 2002.
- 8 Pinheiro, G. A. "Local Reinforcement of Magnesium Components by Friction Processing: Determination of Bonding Mechanisms and Assessment of Joint Properties". GKSS, Forschungszentrum Geesthacht GmbH, Geesthacht, 2008.
- 9 NICHOLAS, E.D. FRICTION PROCESSING TECHNOLOGIES - Friction and Forge Processes Group, TWI Ltd. , UK, 2003.
- 10 PAES, M. T. P; Características fundamentais de soldas por atrito tipo FHPP. Exame de qualificação para doutorado. UFRJ, 2009, 56 páginas.
- 11 NAGY, P. B.; ADLER, L. "Ultrasonic evaluation of solid state bonds", Materials Evaluation, p. 1328-1337, November, 1992.
- 12 NAGY, P. "Ultrasonic Classification of imperfect interfaces", Journal of Non Destructive Evaluation, vol. 11, Nos. 3/4, 1992
- 13 THOMAS, G.; CHINN, D. "Signal Analysis approach to ultrasonic evaluation of diffusion bond quality", American institute of physics conf. proc., volume 497, p. 536-542, December, 1999