

## INFLUÊNCIA DO BORO NA MICROESTRUTURA DE REVESTIMENTOS DEPOSITADOS POR PLASMA PTA RESISTENTES À CAVITAÇÃO

Karen Juliana Vanat<sup>1</sup>, André Ricardo Capra<sup>2</sup> e Anderson Geraldo Marenda Pukaszewicz<sup>1</sup>

<sup>1</sup>UTFPR, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curso de Engenharia Mecânica  
Campus Ponta Grossa – Km 04 - CEP 84016-210 – Ponta Grossa – Paraná

<sup>2</sup>LACTEC, Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento  
Av. Lothário Meissner, 01, CEP 80210-170 - Curitiba - Paraná  
E-mail para correspondência: k\_a\_juli@yahoo.com.br e anderson@utfpr.edu.br

### Introdução

Vários setores industriais, como naval, hidrelétrico, têm problemas relacionados à cavitação, pois utilizam turbinas com pás que ficam expostas, durante sua utilização, e esta exposição pode sofrer cavitação. Cavitação é o desgaste de um corpo com movimento relativo em um líquido, colapsando bolhas em determinadas regiões desse corpo, que pode causar ondas de choque ou microjatos próximos à superfície do metal (KAJDAS, 1990, ASTM, 2003). O colapso de bolhas produz esforços elevados o suficiente para danificar esse material, causando sua erosão e perda de massa (YUPING *et al.*, 2007).

A soldagem a plasma é um processo que utiliza o arco operando em condições especiais que atua como uma fonte extremamente estável de calor que permite a soldagem da maioria dos metais com espessuras de 0.02 mm a 6 mm. Este processo é baseado no processo GTAW (*gas tungsten arc welding*), apresentando como diferença fundamental, a utilização de um bocal extra (bocal constritor) que causa a concentração (constricção) do arco elétrico. (MARQUES, MODENESI, 2000). O processo de soldagem Plasma de Arco transferido que utiliza metal de adição na forma de arame é chamado PAW (Plasma Arc Welding) e quando o processo de soldagem utiliza pó como material de adição, o processo é usualmente denominado PTA (Plasma Transferred Arc) (DIAZ, DUTRA, D'OLIVEIRA, 2010). No caso do processo PTA, o metal de adição é transportado através de um gás de arraste inerte até a tocha, onde é fundido no arco plasma e transportado até a poça de fusão. (CITADO POR BOND, 2008; TAKANO, 2008, TIGRINHO, 2005).

### Objetivos

Estudar os efeitos do Boro na microestrutura de revestimentos resistentes Fe-Mn-Cr-Si, depositados pelo processo plasma PTA, avaliando o efeito da adição crescente de boro na microestrutura.

### Metodologia

Para analisar o efeito do Boro, foi aplicada a seguinte metodologia: A deposição dos revestimentos foi realizada utilizando o processo de soldagem plasma PTA, variando a quantidade de Boro a ser adicionado ao revestimento, para determinação dos efeitos de sua adição na microestrutura. Os revestimentos foram preparados a partir de pós dos elementos básicos misturados de forma mecânica, depositados sobre chapas, de aço inoxidável ABNT 304 como metal base e variando porcentagens de adição de Boro 0; X; 2X e 5X% de Boro. As porcentagens dos elementos não estão identificadas pois a possibilidade de registro de patente da liga está sob avaliação. A análise da microestrutura por microscopia ótica, analisando-se tamanho e forma dos grãos, estrutura dendrítica, presença de fases secundárias, análise quantitativa de fase com a adição do Boro.

### Procedimento experimental

As peças soldadas foram cortadas na posição longitudinal e transversal em relação ao comprimento do cordão de solda, foram embutidas em baquelite e em seguida passaram pelo processo de lixamento com granulometrias 320, 400, 600 e 1200 mesh respectivamente. Após esse processo, as amostras foram polidas utilizando-se suspensão de diamante 3 µm e 0,25 µm, finalizando o processo de polimento com a suspensão de sílica coloidal 0,04 µm, para obtenção de uma superfície livre de riscos e impurezas que possam dificultar as futuras análises.

Após os processos de preparo das amostras, foi realizado um ataque químico com Vilella, para que fosse revelada a microestrutura e posteriormente sua possível visualização e análise em microscópio ótico.

Foram analisados o tamanho, existência de poros e presença de fases secundárias. Com isso pode-se determinar a influência do Boro no revestimento depositado.

Todos os processos desde o corte para preparo das amostras até a análise microestrutural foram realizados com auxílio dos seguintes recursos e equipamentos:

- Cortadeira Metalográfica MAXICUT;
- Embutidora Metalográfica MAXIPRESS;
- Politriz (para lixamento e polimento) Buehler;
- Microscópio Ótico Olympus BX60;
- Software de análise Analysis.

Na visualização das Figuras 1 e 2 o processo de preparação das amostras, desde o corte até a realização do ataque químico, antes da análise microestrutural.



Figura 1 – Revestimento depositado com plasma PTA.

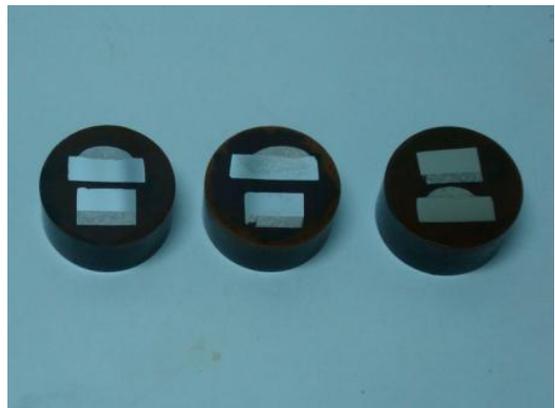


Figura 2 – As amostras antes da análise microscópica.

## Resultados

Das amostras analisadas, foram selecionadas quatro porcentagens diferentes de Boro, e a influência do elemento na microestrutura final. A seguir podem-se observar cada análise das amostras em questão. A amostra sem Boro apresentou os grãos orientados segundo o sentido de resfriamento e sem fases secundárias, conforme observa-se nas Figuras 3 e 4 e seus respectivos aumentos.

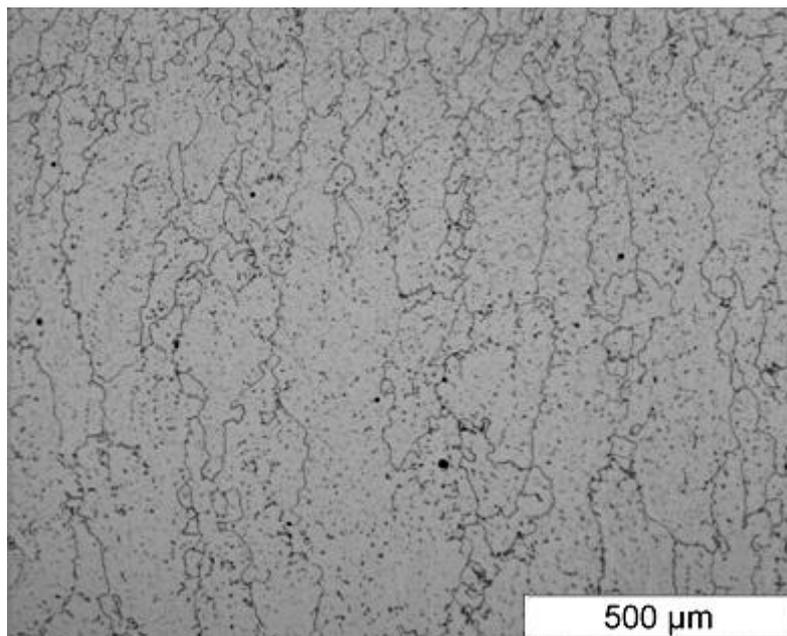


Figura 3 – A amostra com 0 % de Boro, aumento de 100x.

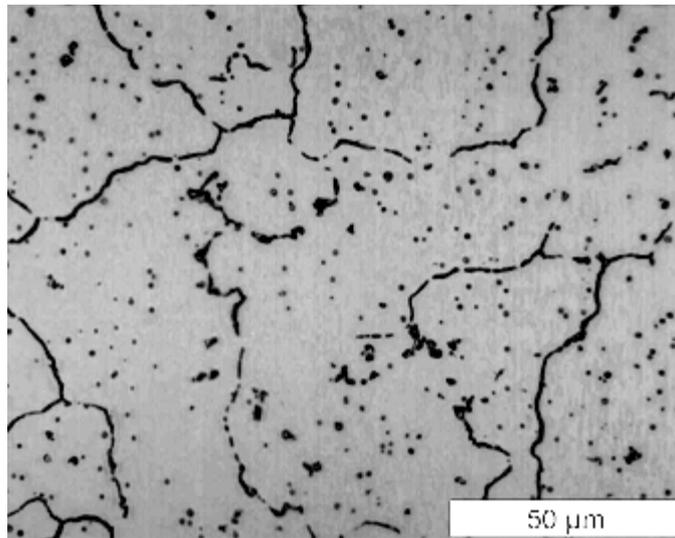


Figura 4 – Amostra com 0 % de Boro, aumento de 1000x.

Na amostra com X% de Boro os grãos estão menores e refinados, com boa formação e visualização de uma baixa porcentagem de fase secundária interdendrítica. Este resultado pode ser observado nas Figuras 5 e 6.

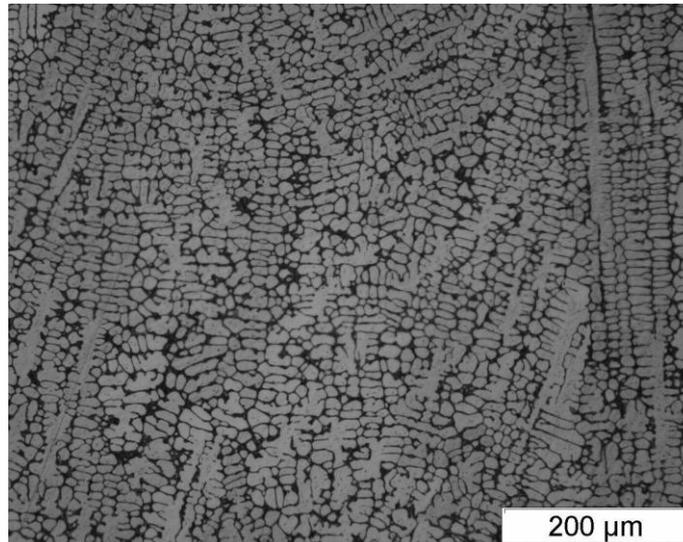


Figura 5 – Amostra com X % de Boro, aumento de 200x.

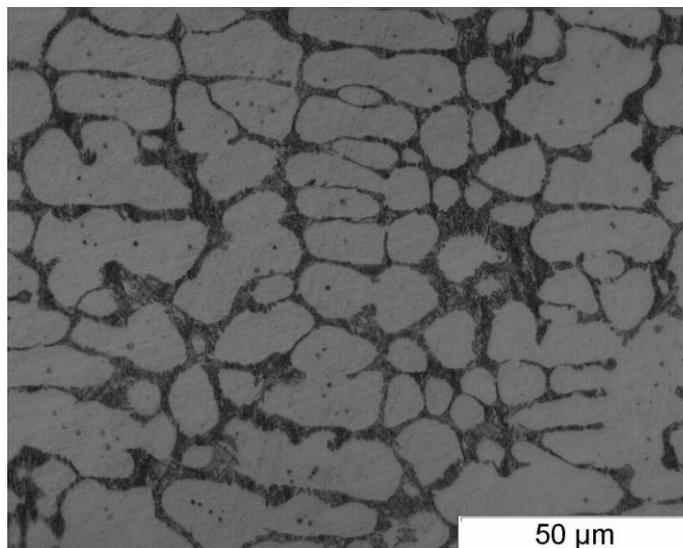


Figura 6 – Amostra com X % de Boro, aumento de 1000x.

Na amostra com 2X% de Boro os grãos estão mais refinados em comparação à amostra com X% de Boro, observa-se maior quantidade de fase secundária. Nas Figuras 7 e 8 é observada a microestrutura do revestimento depositado.

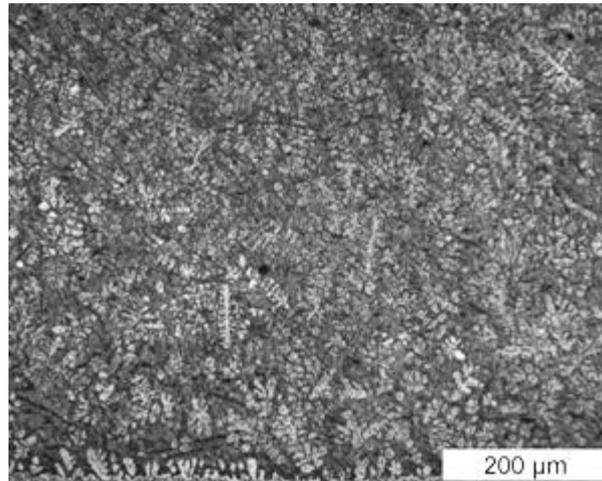


Figura 7 – A amostra com 2X % de Boro, aumento de 200x.

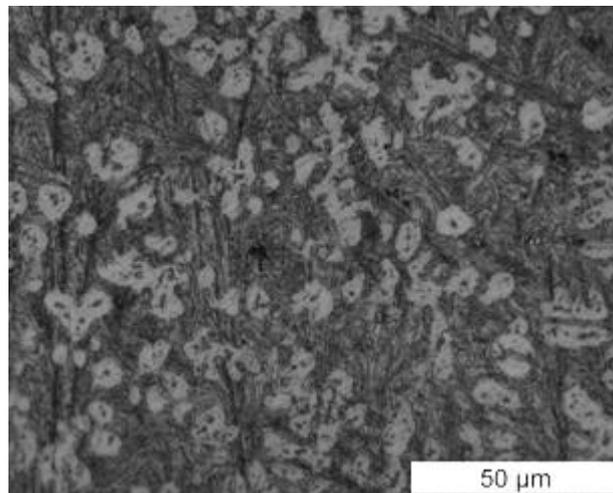


Figura 8 – A amostra com 2X % de Boro, aumento de 1000x.

Na amostra com 5X % de Boro não observa-se a microestrutura dendrítica típica de deposição por soldagem. Observa-se a formação de agulhas ricas em Ferro-Boro e a formação de uma estrutura eutética, semelhante a estrutura interdendrítica observada com X e 2X% de boro (Amushahi, et al., 2010).

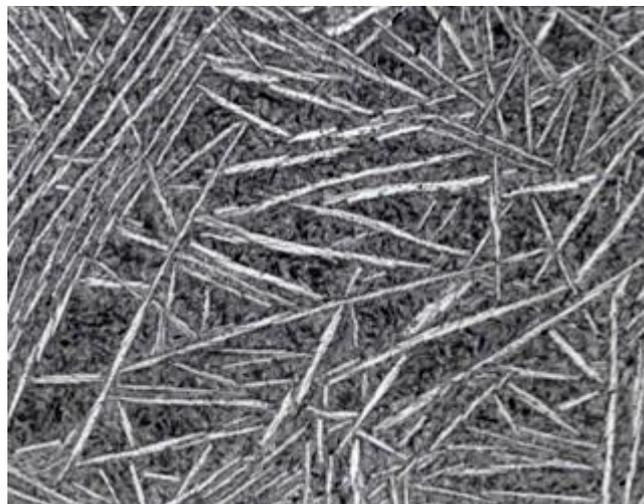


Figura 9 – A amostra com 5X % de Boro, aumento de 100x.

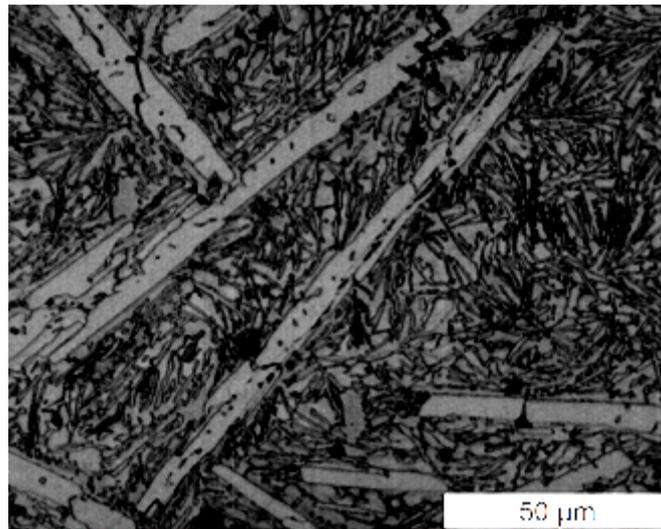


Figura 10 – A mostra com 5X % de Boro, aumento de 1000x.

Uma forma alternativa para visualizar melhor a fase secundária, (fase eutética de Ferro-Boro) é com a utilização do ataque químico com Marble. A microestrutura após ataque com Marble pode ser observada nas Figuras 11 e 12. As áreas brancas são as agulhas ricas em Ferro-Boro e a área entre as agulhas é a fase eutética.

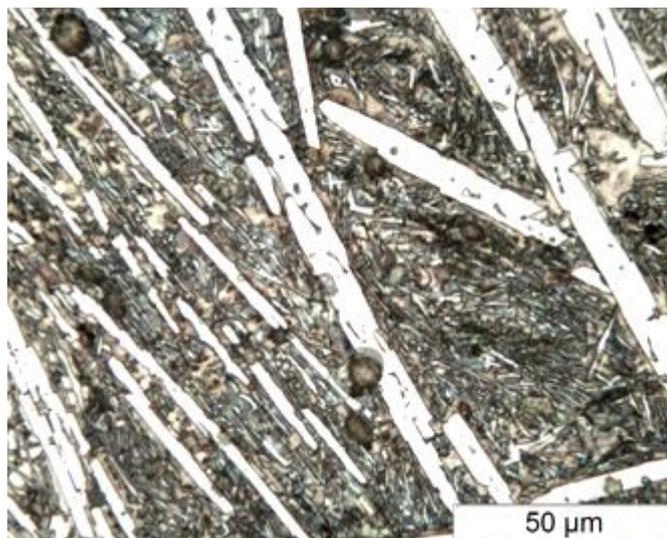


Figura 11 – Ataque Marble, 5X % de Boro, aumento de 500x.

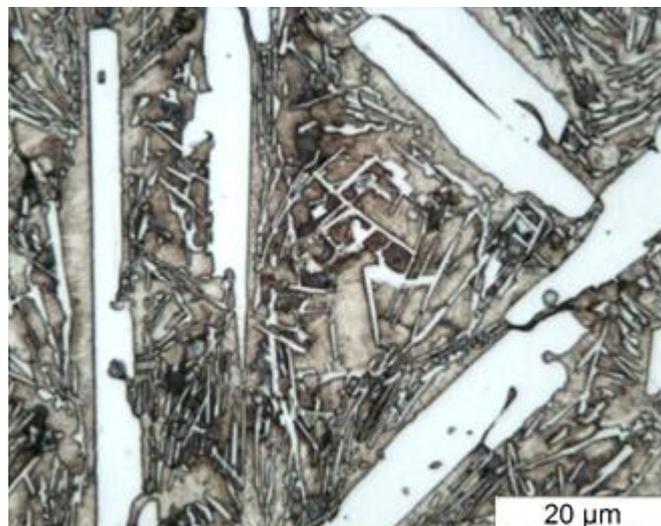


Figura 12 – Ataque Marble, 5X % de Boro, aumento de 1000x.

## Conclusões

Esse artigo tem como principal objetivo fazer uma análise preliminar dos efeitos causados sobre a microestrutura a adição crescente de Boro em revestimentos Fe-Mn-Cr-Si depositado pelo processo Plasma por Arco Transferido (PTA). Para alcançar esse objetivo, quatro ligas com diferentes teores de Boro foram depositadas com variação de parâmetros de soldagem, e passaram por análise de microestrutura formada, diluição e de microdureza.

A adição do Boro no revestimento provoca a formação de grãos refinados, diminui o espaçamento interdendrítico, porém isso vale apenas para faixa de Boro de X a 2X%, pois quando se adiciona 5X % de Boro, há formação de agulhas ricas em Ferro-Boro e grande quantidade de fase secundária eutética de Ferro-Boro. O Boro adicionado até 2X% proporciona ótimo refinamento de grãos, sendo eles em grande quantidade e tamanhos menores.

## Referências Bibliográficas

- American Standard of Testing Materials: ASTM G32: Standard Test Method for Cavitation Erosion Using Vibratory Apparatus, 2003.
- AMUSHAHI, M.H., ASHFRAFIZADEH, F., SHAMANIAN, M., **Characterization of Boride-rich Hardfacing on Carbon Steel by Arc Spray and GMAW Processes**, Surface and Coatings Technology, 204, p.2723-2728, 2010.
- Bond, D. **Avaliação de revestimentos soldados processados com materiais atomizados**. 2008. 151 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.
- Diaz, Víctor Vergara; Dutra, Jair Carlos and D'Oliveira, Ana Sofia Clímaco Monteiro. **Deposição por plasma com arco transferido**. *Soldag. insp. (Impr.)* [online]. 2010, vol.1.
- Kajdas, C., Harvey, S. S. K., Wilusz, E. **Encyclopedia of Tribology**. vol. 15. Amsterdam-Holanda: Elsevier, 1990.
- Marques, Paulo Villani; Modenesi, Paulo José. **Soldagem I: Introdução aos Processos de Soldagem**. 2006. Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011. Disponível em: <<http://www.demet.ufmg.br/grad/disciplinas/emt019/processo.pdf> >
- Takano, E. H.; Queiroz, D.; D'Oliveira, A. S. C. M. **Avaliação dos Parâmetros de Processamento por PTA nas superfícies processadas**. *Soldagem Insp*, São Paulo, v. 13, n. 3, p.210-218, 15 maio 2008.
- Tigrinho, J.J. **Superfícies enriquecidas por carbonetos de tungstênio depositados a plasma por arco transferido**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais e Processos) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais e Processos-PIPE, UFPR, Curitiba.)
- Yuping, W., Pinghua, L., Chenglin, C., Zehua, W., Ming, C., Junhua, H. **Cavitation Erosion Characteristics of a Fe-Cr-Si-B-Mn Coating Fabricated by HVOF Thermal Spray**. *Materials Letters*, vol. 61, p. 1867-1872, 2007.