

## **MICROESTRUTURA E MICRODUREZA DE LIGAS Fe-Mn-Cr-Si RESISTENTES A CAVITAÇÃO DEPOSITADAS PELO PROCESSO PLASMA PTA**

**Luciana Leite Silveira<sup>1</sup>, André Ricardo Capra<sup>2</sup> e Anderson Geraldo Marena Pukasiewicz<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: luciana.lsilveira@gmail.com

### **Introdução**

O desgaste erosivo por cavitação de um material pode ocorrer de diversas formas e em componentes sujeitos a fluxo de água, como turbinas ou rotores de usinas hidrelétricas (Espitia *et al.*, 2010). Cavitação é o desgaste de um corpo com movimento relativo a um líquido, causando o colapso de bolhas em determinadas regiões desse corpo, provocando ondas de choque ou microjatos próximos à superfície do metal (Kajdas, 1990). O colapso de bolhas produz esforços elevados o suficiente para danificar esse material, causando sua erosão e perda de massa (Yuping *et al.*, 2007). Tal desgaste resulta em vibração e ruídos excessivos, além da redução do rendimento da unidade geradora pela queda de potência do motor hidráulico (Ribeiro, 2007).

Uma das técnicas de deposição utilizadas para recuperar uma região cavitada é a soldagem por plasma PTA (*plasma transferred arc*). 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. Este processo é baseado no processo GTAW (*gas tungsten arc welding*) (Marques, *et al.*, 2006). O processo de soldagem Plasma de Arco transferido que utiliza metal de adição na forma de arame é chamado PAW (*Plasma Arc Welding*) e o processo de soldagem que utiliza pó como material de adição é denominado PTA (*Plasma Transferred Arc*) (Diaz, *et al.*, 2010).

### **Objetivos**

Estudar a microestrutura e microdureza de revestimentos Fe-Mn-Cr-Si, com e sem boro, resistentes à cavitação depositados pelo processo Plasma por Arco Transferido (PTA).

### **Metodologia**

Foram depositadas pelo processo de Plasma por Arco Transferido (PTA) duas ligas Fe-Cr-Mn-Si com diferentes teores de Boro, em chapas de aço inoxidável ABNT 304. Para a deposição utilizaram-se diferentes parâmetros de soldagem, variando-se a corrente, taxa de alimentação dos pós e velocidade de deposição, o que pode ser observado na Tab. 1:

Tabela 1 – Parâmetros utilizados na deposição e porcentagem de Boro das amostras das ligas Fe-Mn-Cr-Si, com e sem a adição de Boro.

Liga	Amostra	%Boro	Corrente (A)	Taxa de Alimentação dos Pós (Kg/h)	Velocidade de Deposição (cm/min)	
Fe-Mn-Cr-Si	1	0	120	1,5	10	
	2	0	100	1,5		
	3	0	100	1,2		
	4	0	80	1,2		
Fe-Mn-Cr-Si com adição de Boro	1	5X	100	1,2	12	
	2	5X	130	1,2		
	3	5X	130	1,5		
	4	5X	130	1,5		15
	5	5X	120	1,5		12

As peças soldadas foram cortadas e embutidas, e em seguida passaram por lixamento e polimento em sistema automatizado, com uma rotação de 350rpm. Foram utilizadas as lixas com 220, 320, 400, 600 e 1200 mesh. Para o polimento, a uma rotação de 150 rpm, foram utilizadas suspensão de diamante 3 $\mu$ m e 0,25 $\mu$ m e suspensão de sílica coloidal 0,04 $\mu$ m. Após esse procedimento, as amostras passaram por ataque químico Vilella e Marble.

A caracterização metalográfica foi conduzida pela microscopia ótica com um microscópio Olympus BX60. A aquisição e análise das imagens foram realizadas através do software Analysis. Avaliou-se a presença de poros, inclusões e trincas, além da microestrutura, variação de fases, tamanho de grão e diluição dos revestimentos obtidos nas ligas com e sem adição de Boro. A análise das propriedades mecânicas foram realizadas através da técnica de microidentação, através de um microdurômetro Time, utilizando-se microdureza Vickers com carga de 300gf.

## Resultados

A análise microestrutural do revestimento da liga Fe-Mn-Cr-Si sem diluição, em microscópio ótico, indica que a solidificação é totalmente austenítica, tendo microestrutura predominantemente dendrítica, o que pode ser observado pelas Fig. 1 e 2. A amostra 1 com diluição de 40% apresentou microestrutura muito semelhante.

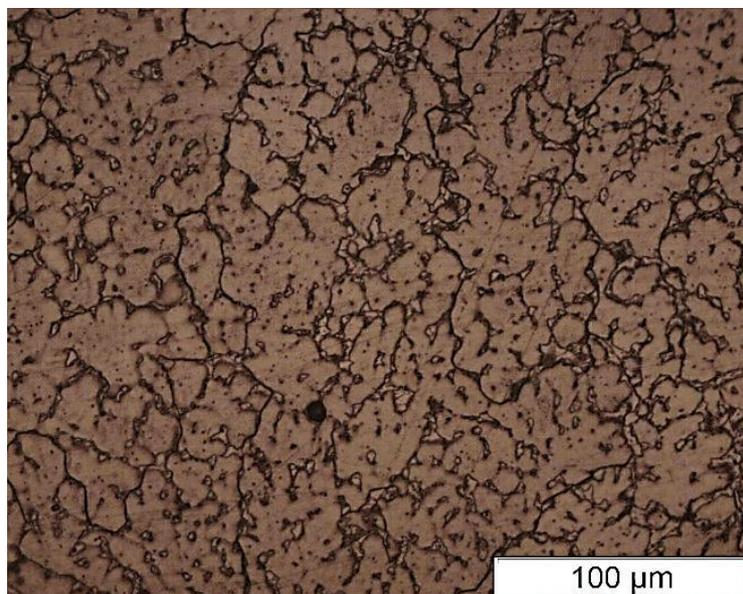


Figura 1 – Microestrutura dendrítica observada na amostra 4 da liga Fe-Mn-Cr-Si, 500x.

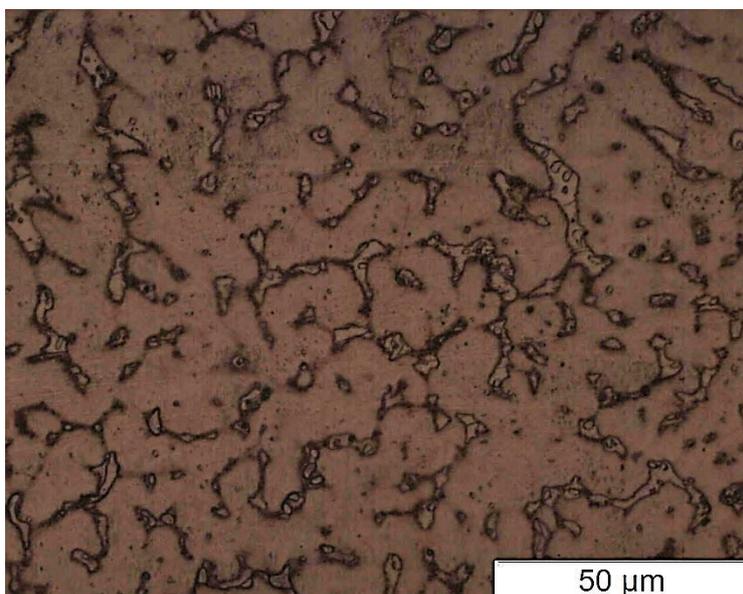


Figura 2 – Microestrutura dendrítica observada na amostra 4 da liga Fe-Mn-Cr-Si, 1000x.

A análise microestrutural do revestimento da liga Fe-Mn-Cr-Si com boro mostrou a presença de agulhas cuja formação é explicada pela formação de intermetálico Fe-B nesta liga (Amushahi *et al.*, 2010). A microestrutura desta liga pode ser visualizada nas Fig. 3 e 4.

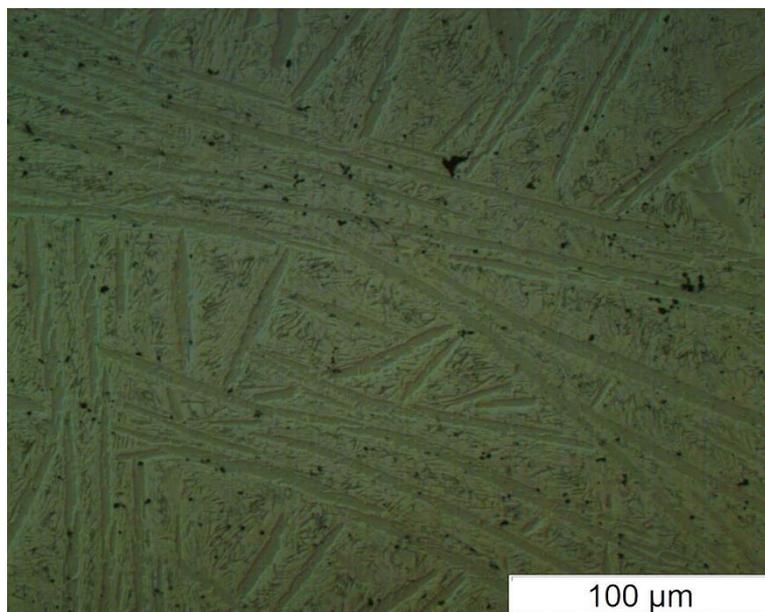


Figura 3 – Microestrutura de agulhas ricas em Fe-B observada na amostra 1 da liga Fe-Mn-Cr-Si com Boro, 500x.

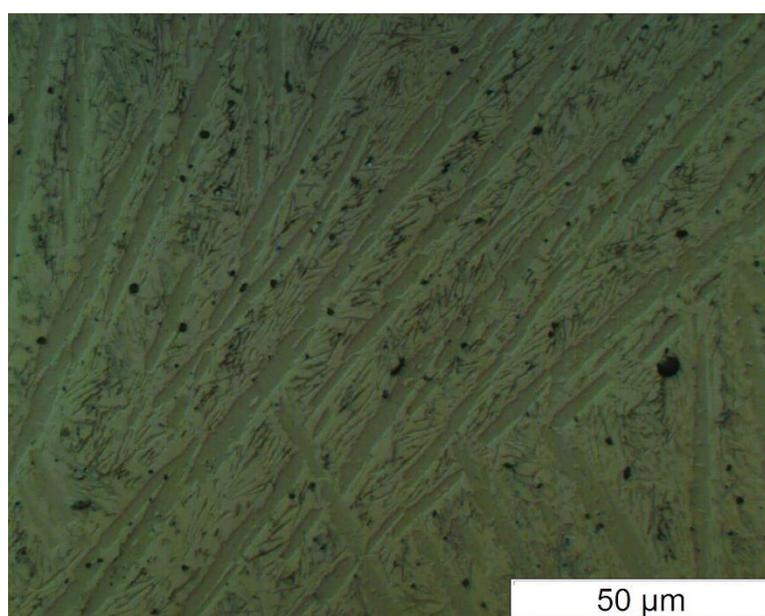


Figura 4 – Microestrutura de agulhas ricas em Fe-B observada na amostra 1 da liga Fe-Mn-Cr-Si com Boro, 1000x.

A diluição das amostras foi calculada e foi possível observar que as amostras da liga com adição de boro apresentaram diluição mais elevada que as amostras sem boro. A diluição está intimamente ligada à energia de soldagem necessária para a fusão do material, como o boro em liga com o ferro altera a temperatura de fusão da liga, diminuindo-a, permite que uma menor energia de soldagem seja necessária para que uma diluição adequada seja obtida.

A energia de soldagem é influenciada pelos parâmetros de soldagem, aumentando com o acréscimo da corrente e da taxa de alimentação dos póis e diminuindo com um acréscimo da velocidade de deposição. Foram medidos os perfis de microdureza dos revestimentos soldados, e devido à ausência de diluição nas amostras 2, 3 e 4 da liga sem boro, julgou-se desnecessário realizar-se microdureza em todas as amostras. A Tab. 2 mostra os valores obtidos de diluição juntamente com os perfis de dureza média das amostras.

Tabela 2 – Diluição e Dureza Média Vickers das amostras das ligas Fe-Mn-Cr-Si, com e sem a adição de Boro.

Liga	Amostra	Diluição (%)	Dureza Média Vickers (Hv)
Fe-Mn-Cr-Si	1	40,41	241,32
	2	0	268,18
Fe-Mn-Cr-Si com adição de Boro	1	0	481,37
	2	8,73	508,48
	3	16,95	480,37
	4	11,27	658,04
	5	18,68	527,49

O perfil de dureza das amostras mostrou um aumento significativo de dureza nos revestimentos com adição de boro. Esse aumento se deve a mudança de microestrutura com formação de agulhas ricas em Fe-B de elevada dureza. Também foi observada uma queda da dureza média nas amostras que apresentaram maior diluição.

A amostra 4 da liga com adição de boro apresentou um média de durezas superior as restantes, devido a presença de regiões de alta dureza, o que pode ser explicado por uma concentração de agulhas ricas em Fe-B, o que elevou a dureza média da amostra.

As Fig. 5 e 6 a seguir mostram os perfis de dureza das amostras 1 e 2 da liga Fe-Mn-Cr-Si e das amostras 2 e 5 da liga Fe-Mn-Cr-Si com boro, respectivamente. Pode-se observar a queda de dureza que ocorre entre o revestimento e o material base, assim como a transição entre essas regiões, nos valores próximos a linha de fusão.

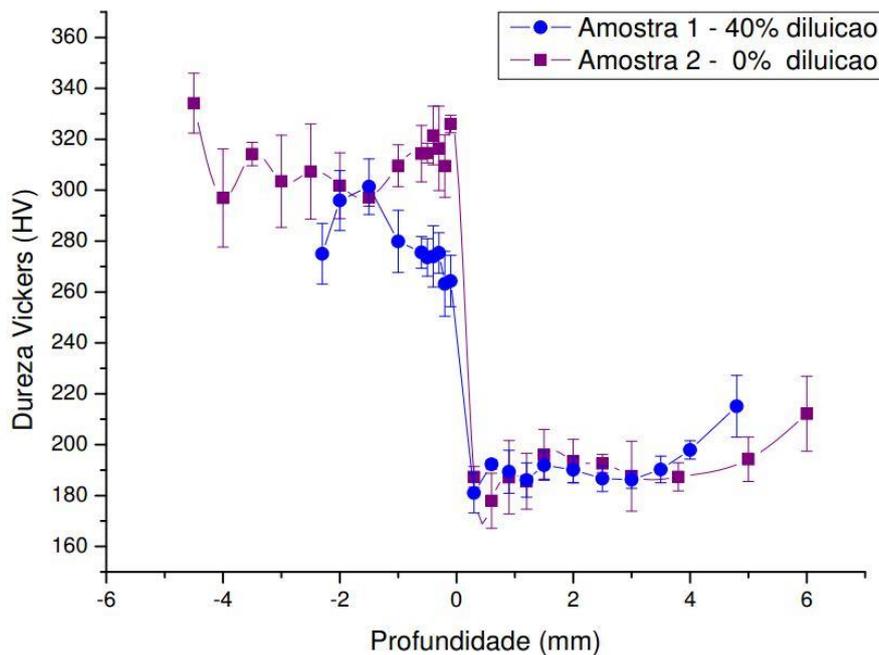


Figura 5 – Perfil de dureza Vickers das amostras 1 e 2 da liga Fe-Mn-Cr-Si.

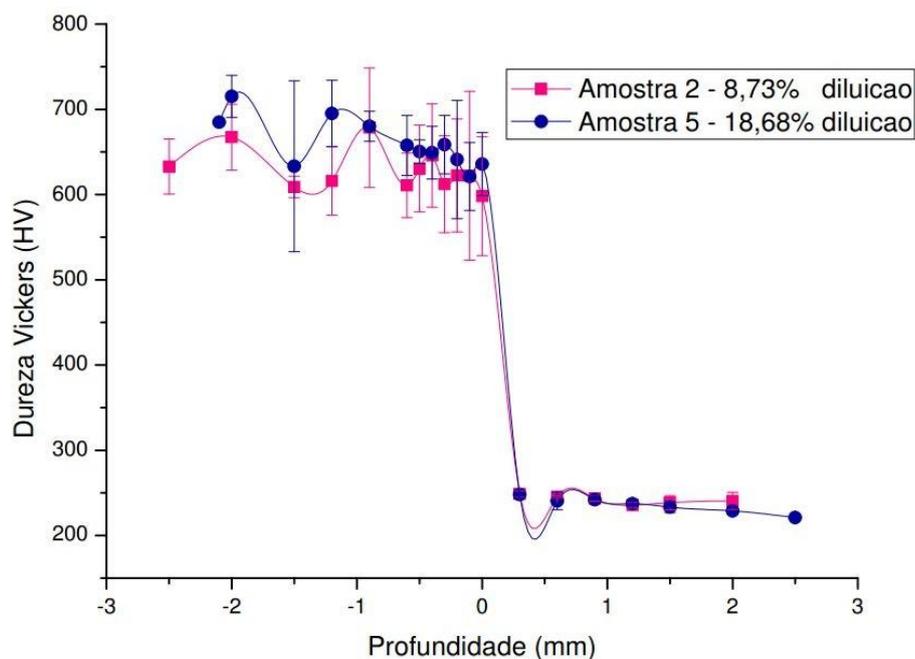


Figura 6 – Perfil de dureza Vickers das amostras 2 e 5 da liga Fe-Mn-Cr-Si com Boro.

## Conclusões

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

Dessa forma foi possível concluir que o Boro em liga com o ferro apresenta influência na microestrutura de solidificação, que se apresentou totalmente dendrítica na liga sem adição de Boro, e com a adição de Boro a microestrutura solidificada apresentou agulhas ricas em Fe-B que promoveram um aumento de dureza do material.

O boro ao alterar a temperatura de fusão da liga, diminui a energia necessária para a fusão do material, dessa forma, criando uma maior facilidade para a soldagem e possibilitando uma melhor diluição do revestimento.

## Referências

- American Standard of Testing Materials: ASTM G32: Standard Test Method for Cavitation Erosion Using Vibratory Apparatus, 2003.
- Amushahi, M.H., Ashfrazizadeh, 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.
- 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.
- Espitia, L. A., Toro, A. Cavitation Resistance, Microstructure and Surface Topography of Materials Used for Hydraulic Components. *Tribology International*, vol. 43, p. 2037-2045, 2010.
- 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*. Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006. Disponível em: <<http://www.demet.ufmg.br/grad/disciplinas/emt019/processo.pdf>>.
- Ribeiro, H. O. *Desenvolvimento de Ligas para Revestimentos por PTA Resistentes à Cavitação*. Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia dos Materiais. UFSC. Florianópolis: 2007.
- 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.