

ANÁLISE DO EFEITO DA ADIÇÃO DE B₄C e Fe-B NA MICROESTRUTURA E DUREZA DE UMA LIGA Fe-Mn-Si DEPOSITADA POR PLASMA PTA¹

Luciana Leite Silveira²

Anderson Geraldo Marenda Pukasiewicz³

Resumo

Este trabalho estuda o efeito da adição boro pelos compostos B₄C e Fe-B na microestrutura e dureza de uma liga Fe-Mn-Si. A dureza de ligas a base de ferro pode ser elevada pela adição de certa quantidade de carbonetos tais como B₄C e Fe-B, levando a formação de fases secundárias de elevada dureza. Três ligas Fe-Mn-Si com adições de B₄C e Fe-B foram selecionadas para análise, sendo depositadas pelo processo plasma de arco transferido em chapas de aço inoxidável austenítico ABNT 304. As amostras tiveram a microestrutura formada e diluição analisadas em microscópio ótico, e as propriedades mecânicas analisadas por microdureza Vickers. Verificou-se até o momento que a adição de boro, tanto pela adição de Fe-B, como pela adição de B₄C causou um aumento da molhabilidade da liga e conseqüentemente melhor condição de deposição. Observou-se também uma alteração significativa da microestrutura, com elevação na microdureza e com formação de maiores teores de fases secundárias e a formação de uma estrutura hipoeutética.

Palavras-chave: Boro; Plasma PTA; Revestimentos.

ANALYSIS OF THE EFFECT OF THE ADDITION OF B₄C AND Fe-B IN THE MICROSTRUCTURE AND HARDNESS OF A Fe-Mn-Si ALLOY DEPOSITED BY PLASMA PTA

Abstract

This paper studies the effect of the addition of boron by B₄C and Fe-B compounds in the microstructure and hardness of a Fe-Mn-Si alloy. The hardness of iron-based alloys can be enhanced by adding certain amount of carbides as B₄C and Fe-B, leading to the formation of high hardness secondary phases. Three Fe-Mn-Si alloys with additions of B₄C and Fe-B were selected for analysis and were deposited by plasma transferred arc process in plates of ABNT 304 austenitic stainless steel. The samples had the microstructure formed and dilution analyzed by optical microscopy, and mechanical properties analyzed by Vickers microhardness. It was found thus far that the addition of boron either by adding Fe-B, such as by adding B₄C caused an increased wettability of the alloy and consequently better deposition. We also observed a significant change in the microstructure, and microhardness increase with formation of higher contents of secondary phases and the formation of a hypoeutectic structure.

Key words: Boron; Plasma PTA; Coatings.

¹ Contribuição técnica ao 68^o Congresso Anual da ABM - Internacional, 30 de julho a 2 de agosto de 2013, Belo Horizonte, MG, Brasil

² Graduando em Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campus Ponta Grossa, PR, Brasil.

³ Dr. Eng. de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campus Ponta Grossa, PR, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho analisa o efeito da adição de boro realizada através da adição de B_4C ou Fe-B na microestrutura e dureza de uma liga Fe-Mn-Si depositada pelo processo Plasma PTA, *plasma transferred arc*, em chapas de aço austenítico ABNT 304.

Pode-se aumentar a dureza de ligas a base de ferro com adição controlada de certa quantidade de carbonetos de alta dureza tais como carbonetos de tungstênio, vanádio ou boro. As propriedades e microestrutura dos revestimentos com adição de B_4C são sensíveis ao comportamento deste durante o processo de deposição por PTA,^(1,2) podendo gerar como produtos α -Fe(C,B), γ -(Fe(C,B), Fe-B, Fe_2B e $Fe_3(C,B)$.⁽³⁾ Diversos trabalhos sobre a utilização do boro como formador de fase resistente à abrasão e erosão em matriz metálica tem sido realizados. A adição de boro leva a formação de fases Fe-B e Fe_2B , sendo que a fase Fe_2B é considerada deletéria, e pode levar a formação de trincas.⁽⁴⁾

A adição de boro a liga leva o revestimento a apresentar a formação de um eutético com 3,8%, formando Fe_2B como fase secundária, elevando a resistência à abrasão da liga, e reduzindo o ponto de fusão, possibilitando uma melhor condição de deposição do revestimento.⁽⁴⁾

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*).⁽⁵⁾ O processo de soldagem Plasma a Arco Transferido que utiliza pó como material de adição é usualmente denominado PTA (*Plasma Transferred Arc*).⁽⁶⁾

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Uma liga Fe-Mn-Si com teores semelhantes de boro através da adição de B_4C e Fe-B foi escolhida para análise, e posteriormente depositada pelo processo Plasma PTA em chapas de aço inoxidável austenítico ABNT 304, de composição 0,08%C, 2%Mn, 0,75%Si, 0,045%P, 0,03%S, 19%Cr, 9%Ni e 0,10%N. A composição das ligas depositadas pode ser observada na Tabela 1.

Tabela 1. Composição Química das Ligas Fe-Mn-Si com diferentes adições de Fe-B e B_4C , 30 de janeiro de 2013

Liga	Composição Química (%)				
	Fe	C	Mn	Si	B
Fe-Mn-Si	79,25	0,41	17,20	3,14	--
Fe-Mn-Si + Fe-B	78,17	0,40	16,91	3,48	1,04
Fe-Mn-Si + B_4C	78,16	0,4	16,91	3,49	1,04

Os diferentes parâmetros de deposição podem ser observados na Tabela 2.

Tabela 2. Parâmetros utilizados na deposição das amostras das Ligas Fe-Mn-Si com diferentes adições de Fe-B e B_4C , 30 de janeiro de 2013

Liga	Corrente (A)	Taxa de Alimentação do Pó (kg/h)	Velocidade de Deposição (cm/min)
Fe-Mn-Si	120	8	10
Fe-Mn-Si + Fe-B	120	8	10
Fe-Mn-Si + B_4C	120	8	10

As peças soldadas foram cortadas e embutidas, e em seguida passaram por lixamento em sistema automatizado, a uma rotação de 350rpm e 30N de força, utilizando-se lixas de 220, 320, 400, 600 e 1200 mesh. Para o polimento, em sistema automatizado, a uma rotação de 150 rpm e 15N de força, foram utilizadas suspensão de diamante 3 μ m e 0,25 μ m e sílica coloidal 0,04 μ m. Após esse procedimento, as amostras passaram por ataques químicos para revelação da microestrutura formada. Os ataques químicos utilizados foram o Villela's, reativo A, de composição 10 ml de H₂O, 1,2% de K₂S₂O₅ e 0,8% de NH₄F₂⁽⁷⁾ e o reativo B de composição 100ml de H₂O, 15ml de HCl, 15g de K₂S₂O₅, 5g NH₄HF₂ e 10g de Na₂S₂O₅.⁽⁷⁾

As amostras foram analisadas por microscopia ótica para a avaliação de microestrutura formada, formação de fases secundárias e presença de defeitos. A composição química do revestimento e das fases presentes foi determinada através de EDX (energy dispersive X-ray) através de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), e as fases presentes nos revestimentos foram identificadas por Difração Raios-X (DRX). A análise das propriedades mecânicas foi realizada através da técnica de Microdureza Vickers com o uso de carga de 300gf.

3 RESULTADOS

Inicialmente caracterizou-se a composição das fases dos revestimentos depositados, e os espectros de difração raios-X das amostras são apresentados nas Figuras 1 e 2.

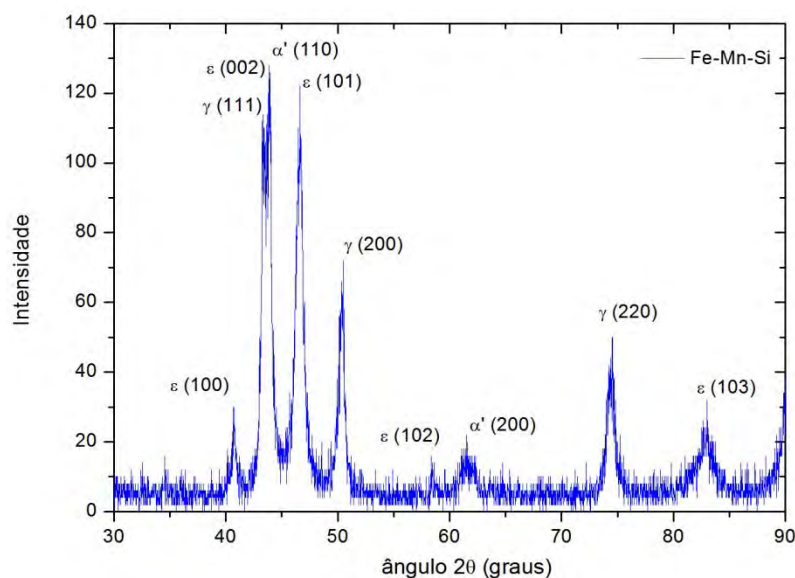
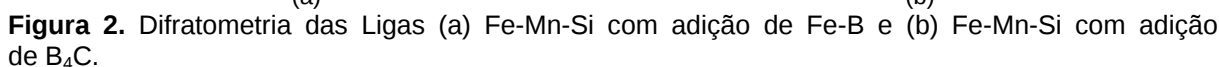
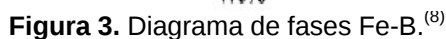


Figura 1. Difratometria da Liga Fe-Mn-Si.

Observa-se pelo espectro da Liga Fe-Mn-Si apresentado na Figura 1 a formação das fases austenita γ e martensita ϵ e α' .



As fases encontradas por difração raio-x são consistentes com o diagrama de fases Fe-B, apresentado na Figura 3.



2741

Tabela 3. Composição química média do revestimento das ligas Fe-Mn-Si e Fe-Mn-Si com diferentes adições de Fe-B e B₄C obtido por EDX

Liga	Composição Química Média (%)			Total (%)
	Fe	Si	Mn	
Fe-Mn-Si	81,856	0	18,144	100
Fe-Mn-Si + Fe-B	77,17	0,17	19,82	100
Fe-Mn-Si + B ₄ C	76,584	0,054	18,342	100

A microestrutura dos revestimentos das ligas depositadas foi analisada por microscopia ótica e microscopia eletrônica de varredura – MEV, na Figura 4 observa-se a microestrutura do revestimento da Liga Fe-Mn-Si em microscópio ótico, pela qual é possível observar a microestrutura dendrítica de fases austenita γ e martensita ϵ e α' , esta última formada devido a deformação ocorrida durante o lixamento e polimento da etapa de preparação metalográfica das amostras.

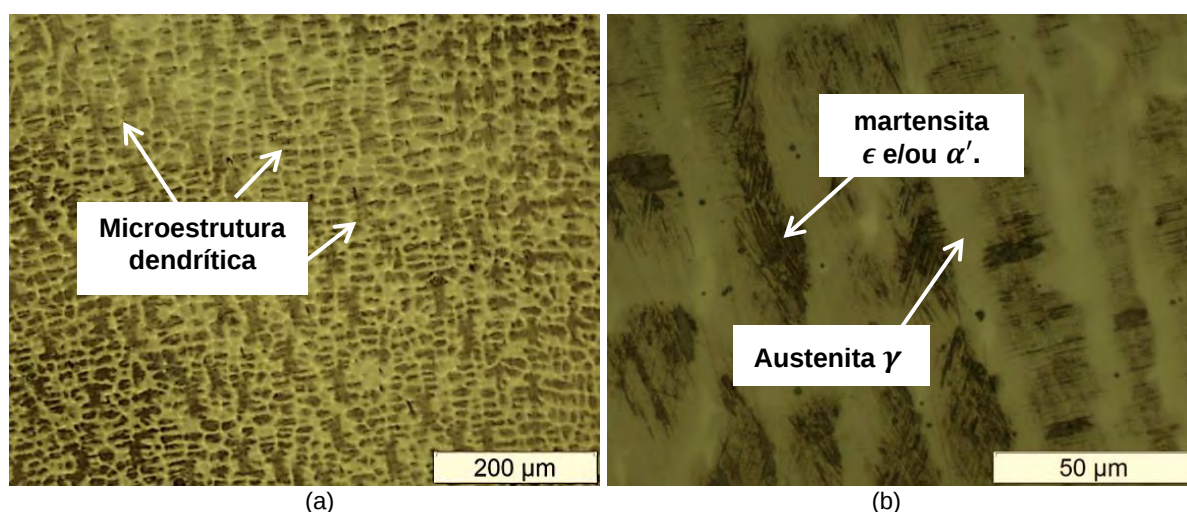


Figura 4. Microestrutura dendrítica de fases austenita γ e martensita ϵ e α' da Liga Fe-Mn-Si observada em microscópio ótico, reativo A, aumento de (a) 200x e (b) 1000x.

Na Figura 5 a seguir é possível observar a orientação dos grãos do revestimento da Liga Fe-Mn-Si em microscópio ótico, com a utilização do reativo B.

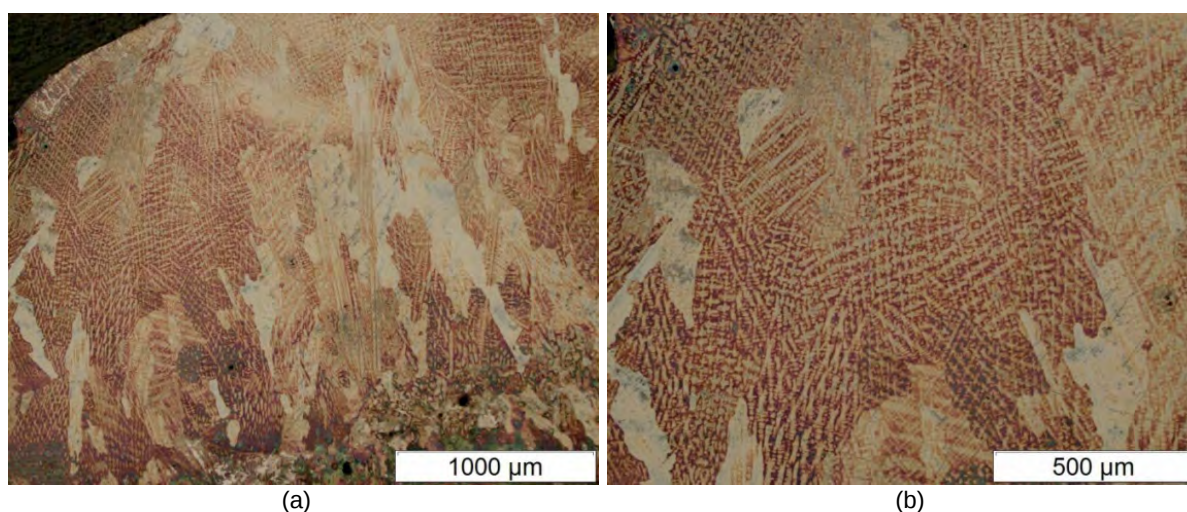


Figura 5. Microestrutura da Liga Fe-Mn-Si observada em microscópio ótico, reativo B, aumento de (a) 50x e (b) 100x.

Na Figura 6 observa-se a liga Fe-Mn-Si em MEV, sendo possível a visualização dos contornos de grão, poros e da fase martensita ϵ e α' .

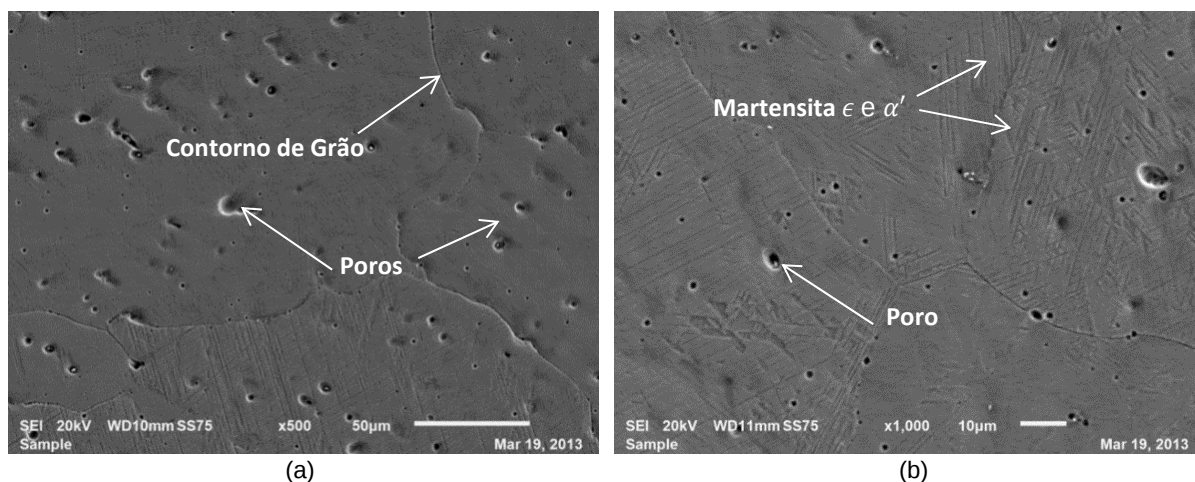


Figura 6. Microestrutura da Liga Fe-Mn-Si observada em MEV, (a) 500x e (b) 1000x.

Na Figura 7 observa-se a microestrutura da Liga Fe-Mn-Si com adição de Fe-B em microscópio ótico, pela qual é possível observar que o revestimento consiste em uma área clara, dendrítica, e uma escura, interdendrítica. Áreas claras consistem em fase austenita γ e a escura consistem em um eutético de fases primária austenita γ e secundárias Fe_2B e/ou FeB .

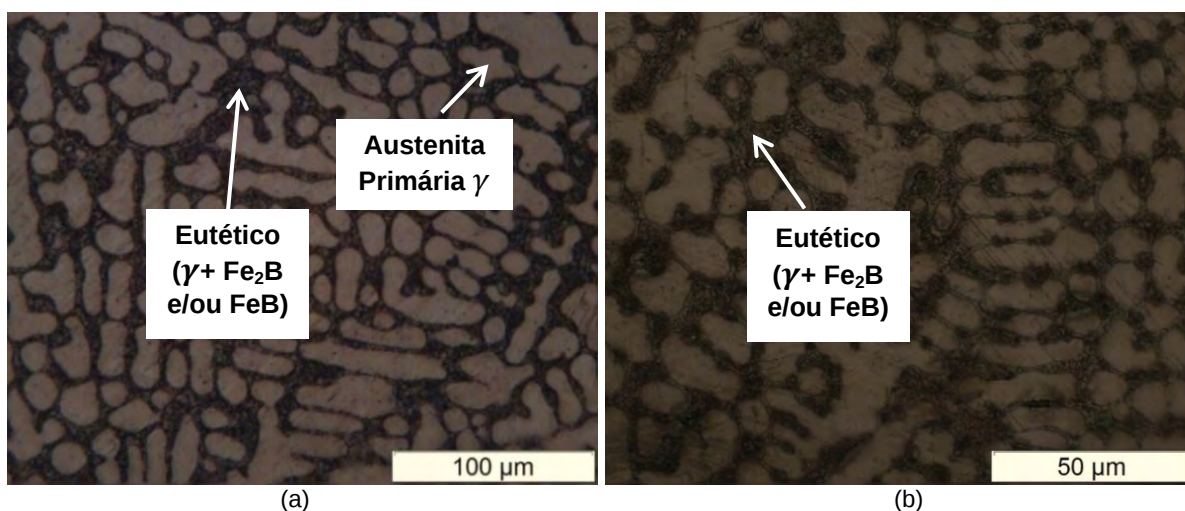


Figura 7. Microestrutura da Liga Fe-Mn-Si com adição de Fe-B observada em microscópio ótico, ataque Villela's, aumento de (a) 500x e (b) 1000x.

Na Figura 8 observa-se a amostra da Liga Fe-Mn-Si com adição de Fe-B em MEV, sendo possível observar as fases austenita primária e o eutético de fases secundárias Fe_2B e/ou FeB , além da presença de poros:

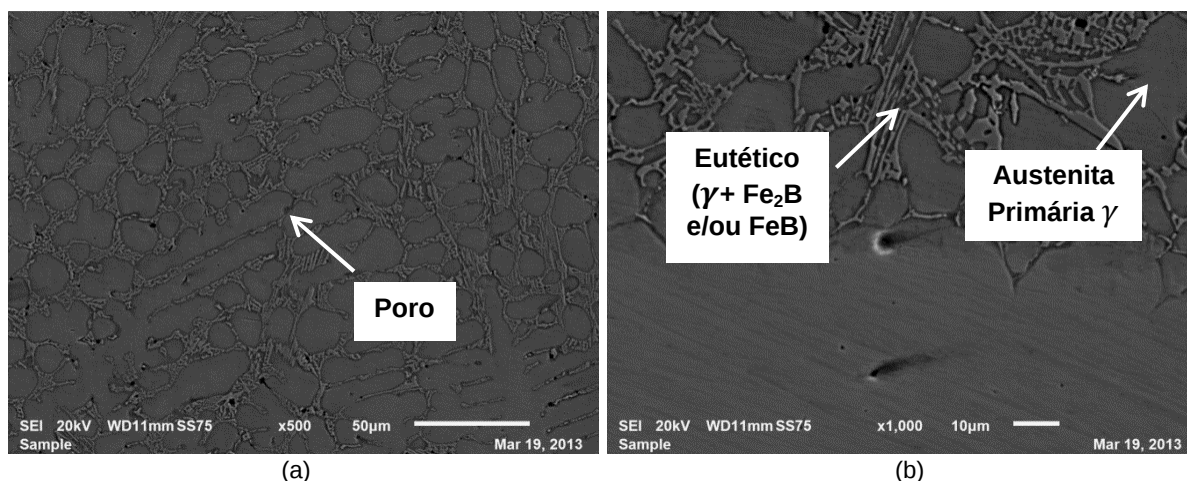


Figura 8. Microestrutura da Liga Fe-Mn-Si com adição de Fe-B observada em MEV, (a) topo cordões a 1 mm, aumento de 500x e (b) interface, aumento de 1000x.

Constata-se pela Figura 8 uma menor quantidade de defeitos do tipo porosidade da liga com adição de Fe-B em comparação com a liga base Fe-Mn-Si, e pela Figura 8 (b) é possível perceber a interface do revestimento com o metal base.

Os revestimentos da liga com adição de Fe-B, além de apresentarem menor quantidade de defeitos, apresentaram melhor molhabilidade sob os mesmos parâmetros de deposição.

Na Figura 9 observa-se a microestrutura da liga Fe-Mn-Si com adição de B_4C , sendo possível a identificação da microestrutura formada, de fase primária austenita γ e eutético de fase primária austenita e fases secundárias FeB e Fe_2B :

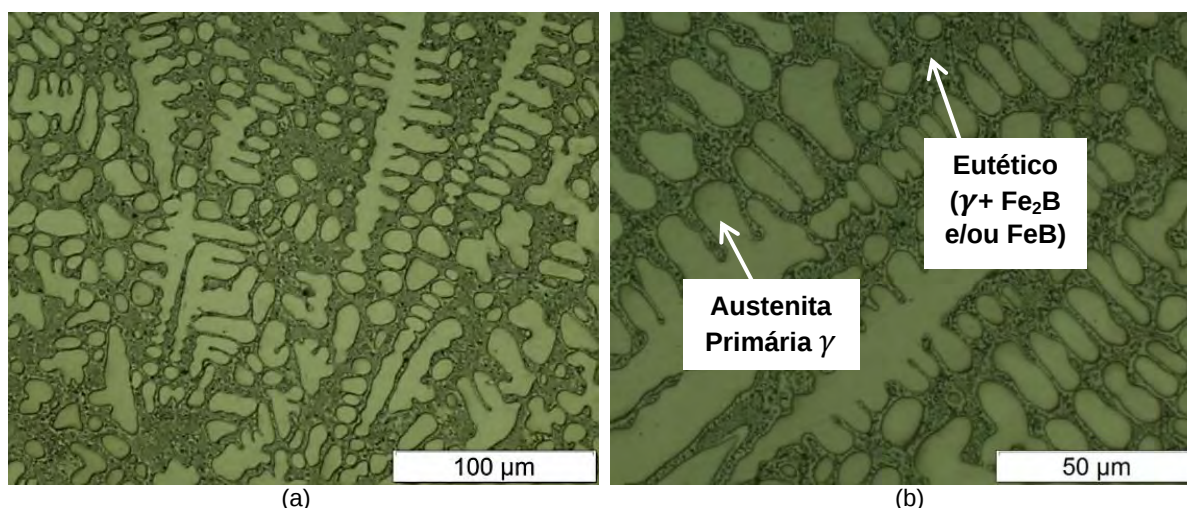


Figura 9. Microestrutura da Liga Fe-Mn-Si com adição de B_4C observada em microscópio ótico, ataque Villela's, aumento de (a) 500x e (b) 1000x.

Na Figura 10 observa-se a microestrutura da liga Fe-Mn-Si com adição de B_4C em MEV, pela qual pode-se observar a microestrutura da liga com as fases presentes identificadas:

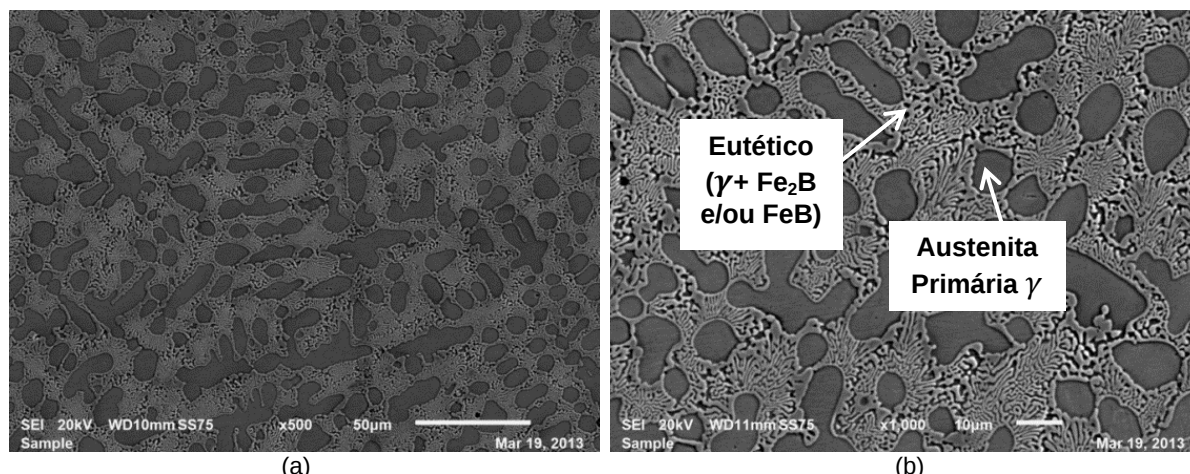


Figura 10. Microestrutura da Liga Fe-Mn-Si com adição de B₄C observada em MEV, (a) interface a 2mm, aumento de 500x, (b) interface cordões superior, aumento de 1000x.

A adição de boro por B₄C causou diminuição dos defeitos no revestimento depositado, semelhante à adição de Fe-B.

Posteriormente, as amostras das ligas passaram por análise de microdureza Vickers, e a dureza média das ligas pode ser observada na Tabela 4.

Tabela 4. Diluição e Dureza Média Vickers dos revestimentos das amostras das ligas Fe-Mn-Si e Fe-Mn-Si com adição de Fe-B e B₄C, 15 de março de 2013

Liga	Corrente (A)	Diluição (%)	Dureza Média dos revestimentos (HV)
Fe-Mn-Si	120	≈ 0	259,90
Fe-Mn-Si + Fe-B	120	≈ 0	424,80
Fe-Mn-Si + B ₄ C	120	≈ 0	548,79

Na Figura 11 observa-se o perfil de dureza Vickers das ligas Fe-Mn-Si depositadas, sendo possível observar a variação de dureza entre as ligas, provocada pela adição de Fe-B e B₄C.

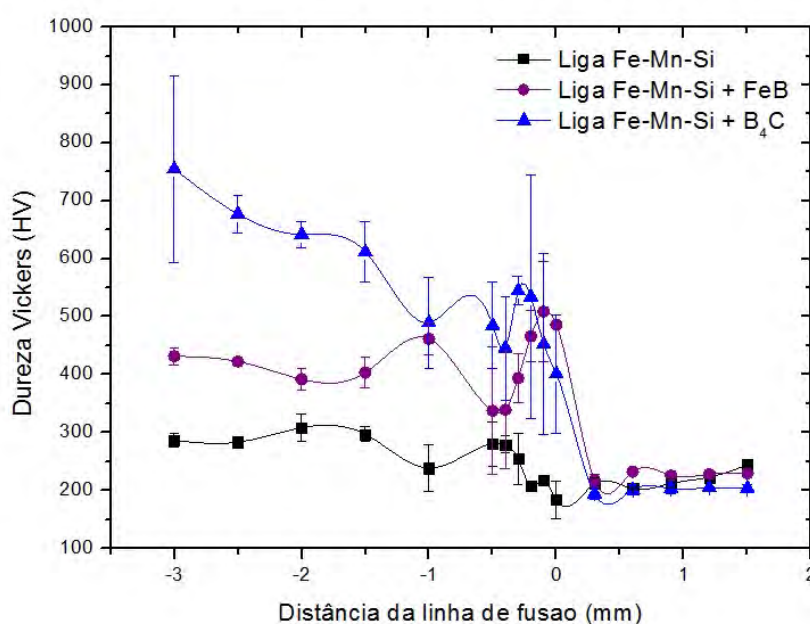


Figura 11. Perfil de Dureza Vickers das amostras das Ligas Fe-Mn-Si com adições de FeB e B₄C.

O perfil de dureza do revestimento da liga Fe-Mn-Si teve valores de dureza entre 201 e 324 HV, enquanto a liga com adição de Fe-B obteve valores de dureza variando desde 200 a 570 HV, possuindo maiores flutuações de dureza no início do revestimento, entre 0,4 e 0,5 mm da linha de fusão.

A dureza do revestimento da liga Fe-Mn-Si com adição de B₄C obteve os maiores valores de dureza entre as três ligas, variando entre 300 a 940 HV, mas também obteve a maior flutuação dos valores, em maior parte no início do revestimento entre 0 e 0,2mm de distância do revestimento, e logo no final deste, a 3mm da linha de fusão.

4 DISCUSSÃO

A adição de boro nas amostras promoveu uma melhor molhabilidade dos revestimentos, devido à formação de um eutético, causando diminuição do ponto de fusão da liga, possibilitando uma melhor condição de deposição.

O revestimento depositado da liga Fe-Mn-Si apresentou como fases formadas austenita γ e martensita ϵ e α' , como determinado por difração raios-x e de composição determinada por MEV. A formação das fases martensita ϵ e α' ocorreu devido a deformação sofrida pelo revestimento durante o lixamento e polimento realizados durante a etapa de preparação metalográfica das amostras da liga.

Os revestimentos com adição de boro, por Fe-B e B₄C, apresentaram a formação de uma microestrutura dendrítica de fase primária austenita γ e eutético com fases secundárias de elevada dureza FeB e Fe₂B.

A formação de FeB foi observada por XIBAO⁽¹⁾ apenas nos revestimentos com quantidades suficientes de B₄C, mas também foi observada a formação de fase grafita, resultado não obtido por esse trabalho. O revestimento das ligas com adição de Fe-B deste trabalho possuiu maior presença da fase austenita, apresentando menor presença de eutético com fases secundárias Fe₂B e FeB, em virtude da menor adição de boro. Foi observado em Amushahi, Ashfrazizadeh e Shamanian⁽⁴⁾ que a adição de boro a liga levou a formação de boretos de Fe₂B e eutético composto de ferrita e Fe₂B entre eles.

Observou-se um aumento de dureza nas amostras com adição de boro, em relação à liga base sem adição de boro. O maior aumento de dureza média observado na liga com adição de B₄C pode ser atribuído a uma maior concentração de fases FeB observados em DRX.

Apesar de ocorrer aumento significativo de dureza nas amostras, a dureza dos revestimentos com adição de boro teve grande flutuação de valores que foram de 200 a 570 HV na liga com adição de Fe-B, e de 300 a 940 HV na liga com adição de B₄C. Essa flutuação de valores foi associada à diferença na dureza entre a fase primária austenita γ e as fases secundárias FeB e Fe₂B, sendo que os valores menores de dureza possivelmente se referem a áreas de maior concentração de fase austenita γ .

Apesar do aumento de dureza observado pela adição de boro as ligas, os valores foram inferiores aos obtidos por XIBAO⁽¹⁾ que variaram de valores de 652-946HV na matriz eutética a valores entre 860 – 1206 HV em estruturas compostas por FeB. Em Amushahi, Ashfrazizadeh e Shamanian⁽⁴⁾ os valores de dureza dos revestimentos de seção transversal foram ainda superiores, variando entre 1400-220 HV, tendo valores mais baixos nas áreas de eutético de ferrita e boretos e valores superiores em áreas contendo boretos primários, principalmente de Fe₂B.

Com esses resultados obtidos pela literatura, pode-se notar que o teor de boro

adicionado a liga tem influência direta a formação de fases primárias e secundárias, e na dureza dos revestimentos, devido a quantidade e forma das fases de elevada dureza resultantes da interação Ferro-Boro, tais como FeB e Fe₂B.

5 CONCLUSÃO

A adição de boro às ligas Fe-Mn-Si, através dos compostos FeB e B₄C, mostrou-se eficiente para aumentar a dureza dos revestimentos das ligas, devido a formação de uma microestrutura contendo fases secundárias de elevada dureza FeB e Fe₂B.

Não foi observada a formação de boretos e carbonetos primários, provavelmente devido ao teor de boro adicionado ser inferior ao eutético do sistema Fe-B com a adição de Mn e Si.

A formação de estrutura eutética levou a uma redução na temperatura de fusão da liga, e consequentemente a uma melhor condição de deposição, possibilitando uma redução na quantidade de defeitos nos revestimentos das ligas com boro.

Agradecimentos

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Ponta Grossa, pela disponibilização da estrutura de pesquisa e a Fundação Araucária pela bolsa de Iniciação Científica.

REFERÊNCIAS

- 1 XIBAO, Wang. The composite Fe-Ti-B-C coatings by PTA powder surfacing process. *Surf. Coat. Technol.* 192(2-3) (2005) 257-262
- 2 XIBAO, Wang; Z. Wenyue; L. Tongli. The microstructures and properties of iron-bases B₄C PTA surfacing coating. *Weld. Res. Abroad* 44 (4) (1998) 39.
- 3 XIBAO, Wang. The metallurgical behavior of B₄C in the iron-based surfacing alloy during PTA powder surfacing. *Applied Surface Science* 252, p. 2021-2028, 2005.
- 4 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*, 2004, p. 2723-2728, 2010.
- 5 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>>. Acesso em: 01 fev. 2013.
- 6 DIAZ, Víctor Vergara; DUTRA, Jair Carlos, D'OLIVEIRA, Ana Sofia Clímaco Monteiro. Deposição por plasma com arco transferido. *Soldag. insp. (Impr.)* [online]. 2010, vol.1.
- 7 NASCIMENTO, Fabiana C.; SORRILA, Flávio V.; OTUBO, Jorge; MEI, Paulo R. Stainless Shape Memory Alloys Microstructure Analysis by Optical Microscopy using different Etchants.
- 8 Alloy Phase Diagrams, 10th Ed, ASM Metals Handbook, Vol. 3, 1992, p. 427.