

# BORETAÇÃO POR IMERSÃO EM BANHO DE SAL DE UMA LIGA DO SISTEMA Fe-Mn-Al E AVALIAÇÃO DE SUA RESISTÊNCIA AO DESGASTE E À CORROSÃO<sup>1</sup>

*Luiz Carlos Casteletti<sup>2</sup>*

*Stênio Cristaldo Heck<sup>3</sup>*

*Frederico Augusto Pires Fernandes<sup>4</sup>*

*Ricardo Gomes Pereira<sup>5</sup>*

## **Resumo**

As ligas do sistema Fe-Mn-Al tem sido estudadas devido as suas propriedades mecânicas, comportamento sob oxidação, propriedade de corrosão e transformação de fases. Neste trabalho uma liga do sistema Fe-Mn-Al foi fundida e boretada em banho de sal. Foram realizados ensaios de microdesgaste e de corrosão potenciodinâmica em água do mar nas amostras com e sem o tratamento de boretção, com a finalidade de comparar os desempenhos. A boretção formou uma camada de elevada dureza na amostra. A resistência ao desgaste e à corrosão aumentou significativamente com esse tratamento.

**Palavras-chave:** Fe-Mn-Al; Boretção; Desgaste; Corrosão.

## **SALT BATH BORONIZING OF A Fe-Mn-Al ALLOY AND EVALUATION OF ITS WEAR AND CORROSION RESISTANCE**

## **Abstract**

The Fe-Mn-Al system alloys have been studied due to its mechanical properties, behavior under oxidation, corrosion properties and phases transformations. In this study an Fe-Mn-Al system alloy was melted and borided by bath salt imersion. Wear and potenciodynamic sea water corrosion tests were performed in the samples with and without the boronizing treatment aiming to compare the performance. Boronizing formed a high hardness layer in sample. Wear and corrosion resistance increased significantly with boronizing treatment.

**Key words:** Fe-Mn-Al, Boronizing; Wear; Corrosion.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao 64º Congresso Anual da ABM, 13 a 17 de julho de 2009, Belo Horizonte, MG, Brasil.*

<sup>2</sup> *Engenheiro de Materiais, Mestre e Doutor - Professor da EESC-USP.*

<sup>3</sup> *Mestrando, Químico - EESC-USP.*

<sup>4</sup> *Doutorando, Engenheiro Químico - EESC-USP.*

<sup>5</sup> *Graduando, EESC-USP.*

## 1 INTRODUÇÃO

Devido a fatores econômicos e estratégicos, torna-se interessante o desenvolvimento dos aços austeníticos do sistema Fe-Mn-Al que possam substituir, em algumas aplicações os aços inoxidáveis tradicionais, que contém o Cromo como elementos de liga. Embora os aços do sistema Fe-Mn-Al apresentem algumas propriedades mecânicas interessantes, a sua baixa resistência à corrosão em meios severos tornam-nos inaceitáveis como substitutos de aços inoxidáveis convencionais.<sup>(1-5)</sup>

Os processos de mudança de superfície podem ser empregados para redução do desgaste e corrosão de materiais de engenharia. Estes processos podem ser definidos como tratamentos nos quais a superfície e o substrato são projetados para produzirem em conjunto propriedades que não são alcançadas por um deles isoladamente.<sup>(6,7)</sup> Neste contexto, a possibilidade de se produzir camadas resistentes ao desgaste e/ou à corrosão nas ligas Fe-Mn-Al pode constituir-se num meio efetivo para o melhoramento de desempenho das mesmas, possibilitando a ampliação de sua faixa de utilização.

A boretção é um processo de mudança de superfície que envolve a difusão do Boro no substrato a altas temperaturas, consistindo de um processo de endurecimento superficial que pode ser realizado nos metais por meio de substâncias gasosas, como diborano ou haletos de boro, em meio líquido, como o bórax fundido, ou alternativamente por meio de agentes boretantes sólidos.<sup>(8,9)</sup>

Neste trabalho foi boretada por imersão em banho de sal uma liga do sistema Fe-Mn-Al, para verificar a influência deste tratamento na resistência à corrosão e ao desgaste desta liga.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

A liga estudada foi fundida ao ar em um forno de indução *Inductoterm*, em cadinho revestido de refratário básico. A Tabela 1 apresenta a composição nominal e obtida da liga.

**Tabela 1.** Composição química nominal e obtida da liga.

	Elementos (% em massa)				
	Fe	Mn	Al	Si	C
<b>Nominal</b>	Bal.	32,00	8,00	1,50	1,00
<b>Obtida</b>	Bal.	31,22	7,54	1,34	0,93

Corpos de prova da liga foram cortados e lixados até a lixa 600 mesh. Bórax ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ) foi fundido em um cadinho de aço inoxidável em forno do tipo poço a  $1.000^\circ\text{C}$  e então foi adicionado ao banho 10% de alumínio. O banho foi homogeneizado e as amostras foram imersas no mesmo por 5 horas naquela temperatura. Após o tempo de tratamento elas foram resfriadas ao ar.

As amostras boretadas foram submetidas a medidas de durezas, análises micrográficas, ensaios de desgaste e de corrosão. As análises metalográficas foram realizadas transversalmente às camadas obtidas nas amostras, que foram embutidas em baquelite, lixadas até lixa 1200, polidas e atacadas com Nital 10% por um minuto.

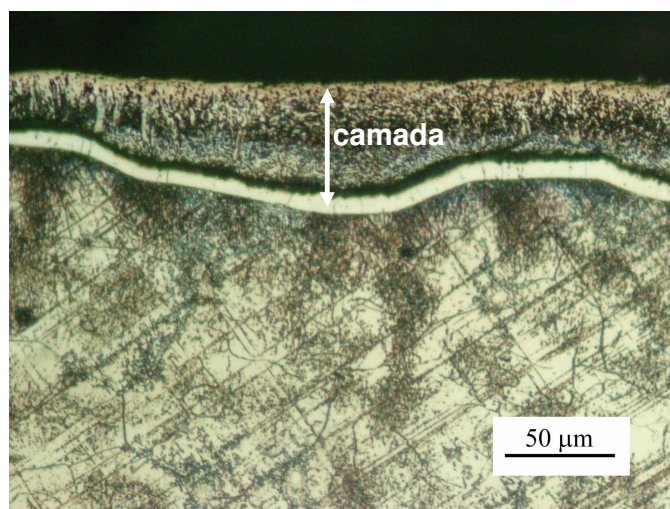
O perfil de microdurezas da amostra boretada foi obtido por meio de um microdurômetro digital Vickers com carga de 25g.

Os ensaios de microdesgaste foram realizados com máquina do tipo esfera fixa sem o uso de abrasivos. Foram usadas também amostras sem tratamento de boretção, para fins de comparação. Foi utilizado carga de 2,4 N e rotação de 500 RPM.

Foram realizados ensaios de corrosão por polarização potenciodinâmica nas amostras com e sem boretção a fim de comparar desempenho, o eletrólito utilizado nos ensaios foi água do mar com PH 8,07.

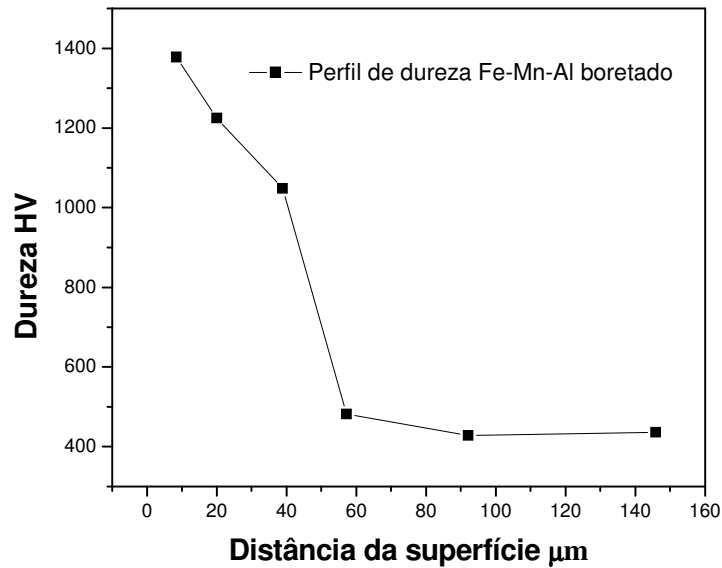
### 3 RESULTADOS

A micrografia da liga do sistema Fe-Mn-Al boretada está apresentada na Figura 1. Nela pode-se observar a camada formada com espessura de aproximadamente 48  $\mu\text{m}$ , e com interface camada/substrato lisa.



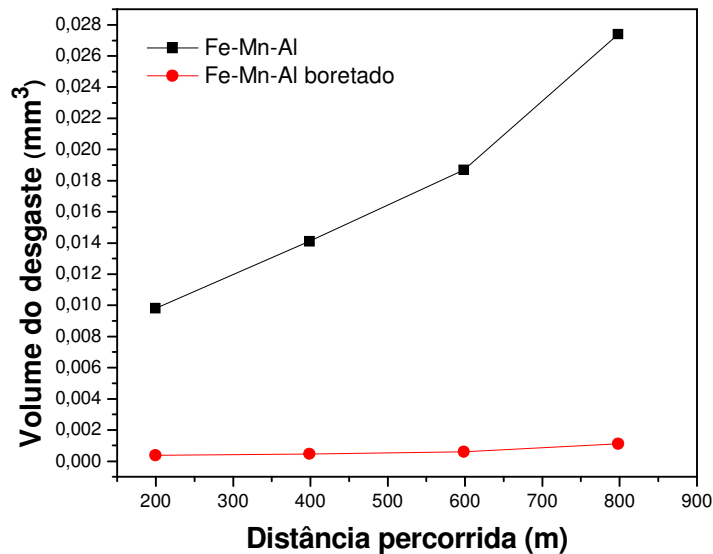
**Figura 1.** Micrografia óptica da liga do sistema Fe-Mn-Al boretada.

A Figura 2 mostra o perfil de microdurezas da amostra boretada. Próximo da superfície a camada apresenta dureza próxima a 1.400 HV, e à medida que se afasta da superfície a dureza diminui gradativamente até que próximo de 50  $\mu\text{m}$  atinge a dureza do substrato que é de 430 HV.



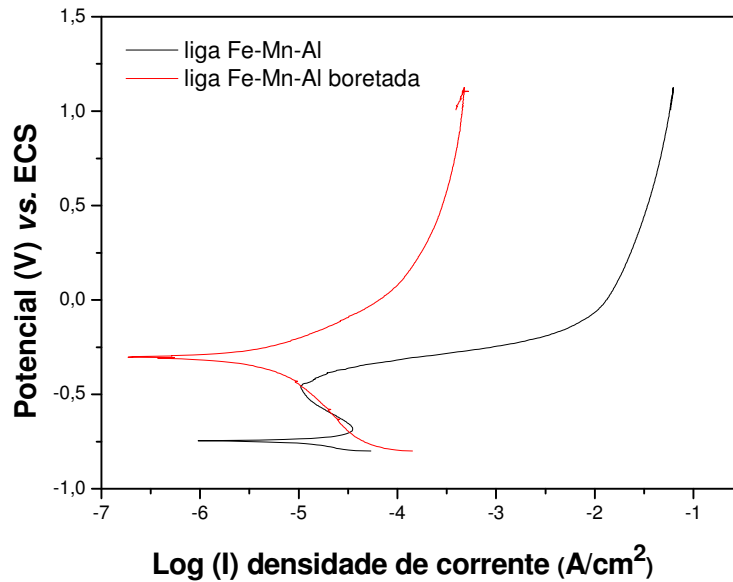
**Figura 2.** Perfil de microdureza da liga do sistema Fe-Mn-Al boretada.

A Figura 3 apresenta o comportamento de desgaste das amostras boretada e não boretada. Pode-se observar que ocorre uma grande redução no desgaste após o tratamento de boretção.



**Figura 3.** Comportamento de desgaste da liga do sistema Fe-Mn-Al boretada e não boretada.

A Figura 4 apresenta as curvas de corrosão em água do mar das amostras boretada e não boretada. Após o tratamento de boretção ocorre aumento no potencial de corrosão e diminuição na corrente de corrosão da amostra, o que caracteriza aumento na resistência á corrosão em água do mar. Além disso, pode-se observar que na amostra não boretada existe uma pequena faixa de passivação devido provavelmente à formação de óxido de alumínio na superfície da amostra, já na amostra não boretada esta passivação não acontece provavelmente devido a maior estabilidade da camada de boreto, não ocorrendo a formação do filme superficial.



**Figura 4.** Curvas de corrosão por polarização potenciodinâmica da liga do sistema Fe-Mn-Al boretada e não boretada.

#### 4 CONCLUSÕES

A boretção por banho de sal da liga do sistema Fe-Mn-Al mostrou-se um tratamento bastante efetivo, produzindo uma camada de elevada dureza. A amostra boretada apresentou desempenho ao desgaste muito superior ao da amostra não boretada. A resistência à corrosão em água do mar também aumentou com o tratamento de boretção.

O grande melhoramento de desempenho produzido pelo tratamento de boretção na liga Fe-Mn-Al pode ampliar sensivelmente a faixa de utilização da mesma, em substituição aos aços inoxidáveis tradicionais.

#### Agradecimentos

Agradecimentos a CAPES pelas bolsas concedidas a F.A.P. Fernandes e S.C. Heck.

#### REFERÊNCIAS

- 1 ALTSTETTER, C.J., BENTLEY, A.P., FOURIE, J.W., KIRKBRIDE, A.N. Processing and Properties of Fe-Mn-Al Alloys. Mater. Sci. Eng. V.82 p.13, 1986.
- 2 WEN, T., JING, B., JU, T. Electrochemical polarization and pitting behaviour of Fe-Al-Mn alloys in chloride solutions. J. Mater. Sci. V.22 p.3517, 1987.
- 3 TJONG, S.C. Aqueous corrosion properties of austenitic Fe-8.7Al-29.7Mn-1.04C alloy. Surf. Coat. Technol. V.28 p.181, 1986.
- 4 SHIN, S.T., TAI, C.Y., PERNG, T.P. Corrosion behavior of two-phase Fe-Mn-Al alloys in 3.5% NaCl solution. Corrosion. V.49 p.130, 1993.
- 5 RUSCAK, M., PERNG, T.P. Deformation and cracking behavior of Iron-Manganese-aluminum alloys in Sodium Chloride solution. Corrosion. V.51 p.738, 1995.

- 6 SUBRAMANIAN, C. STRAFFORD, K. N.; WILKS, T.P. WARD, L.P. On the design of coating systems: Metallurgical and other considerations. J. Mater. Proc. Technol., v.56 p.385-397, 1996
- 7 SIDKY, P.S.; HOCKING, M.G. Review of inorganic coatings and coating processes for reducing wear and corrosion. British Corrosion Journal. V.34 p.171-183, 1999.
- 8 STEWART, K. Boronizing protects metals against wear. Advanced Materials and Processes. V.3 p.23-25, 1997.
- 9 MARTINI, C.; PALOMBARINI, G. CARBUCICCHIO, M. Mechanism of thermochemical growth of iron borides on iron. Journal of Materials Science. V.39 p.933-937, 2004.