

# ESTUDO DA CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL UTILIZANDO PASTA DE BORETAÇÃO A PLASMA EM AÇO INOXIDÁVEL AISIS 304

Andrieli Marques dos Santos<sup>1</sup>  
Marcos Dorigão Manfrinato<sup>2</sup>  
Luciana Sgarbi Rossino<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Aluna do CST, Fatec Sorocaba, andrielimarksdossantos@gmail.com

<sup>2</sup>Professor da FATEC Sorocaba; e-mail: marcos.manfrinato@fatec.sp.gov.br

<sup>3</sup>Professora da FATEC Sorocaba; e-mail: luciana.rossino@fatec.sp.gov.br

**Área de conhecimento:** Engenharia de Materiais e Metalurgia, Metalurgia de Transformação, Tratamento Térmico, Mecânico e Químico

**Palavras-chaves:** Boretação. Plasma. Pasta de boro. Aço inoxidável AISI304.

## 1. INTRODUÇÃO

Os materiais metálicos têm uma enorme gama de aplicação e em algumas dessas aplicações os metais ficam expostos a meios que podem ser prejudiciais, causando corrosão ou desgaste. Devido a isso é necessário que alguns aços passem por tratamentos superficiais buscando aumentar a resistência superficial destes materiais. Um dos métodos para fornecer endurecimento superficial ao metal é o tratamento termoquímico como a boretação (Davis J, 2002). Esse processo aumenta a dureza superficial do aço por meio da difusão de boro, gerando reações com o metal base onde os átomos de boro reagem com o metal tratado formando uma camada de boreto metálico (Oliveira C, Casteletti L, Totten G, Heck S. 2010) (Atik E, Yunker U, Meriç C. 2003)

Este processo de boretação geralmente é realizado com uma pasta de B<sub>4</sub>C como um agente de boretação, Na<sub>3</sub>AlF<sub>4</sub> como um ativador, fluxos e agente de ligação para formação de pasta. (GUNES, I.; ULKER, S.; TAKTAK, S. 2011.)

## 2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é desenvolver o tratamento de boretação a plasma utilizando pasta sólida e verificar a influência da temperatura de boretação na espessura e dureza da camada boretada para o aço inoxidável austenítico AISI 304.

## 3. METODOLOGIA

Neste trabalho foi utilizado amostras de aço inoxidável austenítico AISI 304, cortadas com largura de 25 mm, comprimento de 25 mm e espessura de 12 mm. As amostras foram lixadas em ordem crescente de granulometria da lixa (200, 400, 600, 1200 e 2500) e polidas até o espelhamento, limpas e submetidas ao tratamento de boretação a plasma utilizando pasta sólida, composta de agente boretante comercial EKABOR 2® e álcool isopropílico na proporção de 15% em massa. Foram realizados quatro tratamentos com 550°C com duração de quatro horas, 550°C com duração de seis horas, 600°C com duração de quatro horas e 600°C com a duração de seis horas.

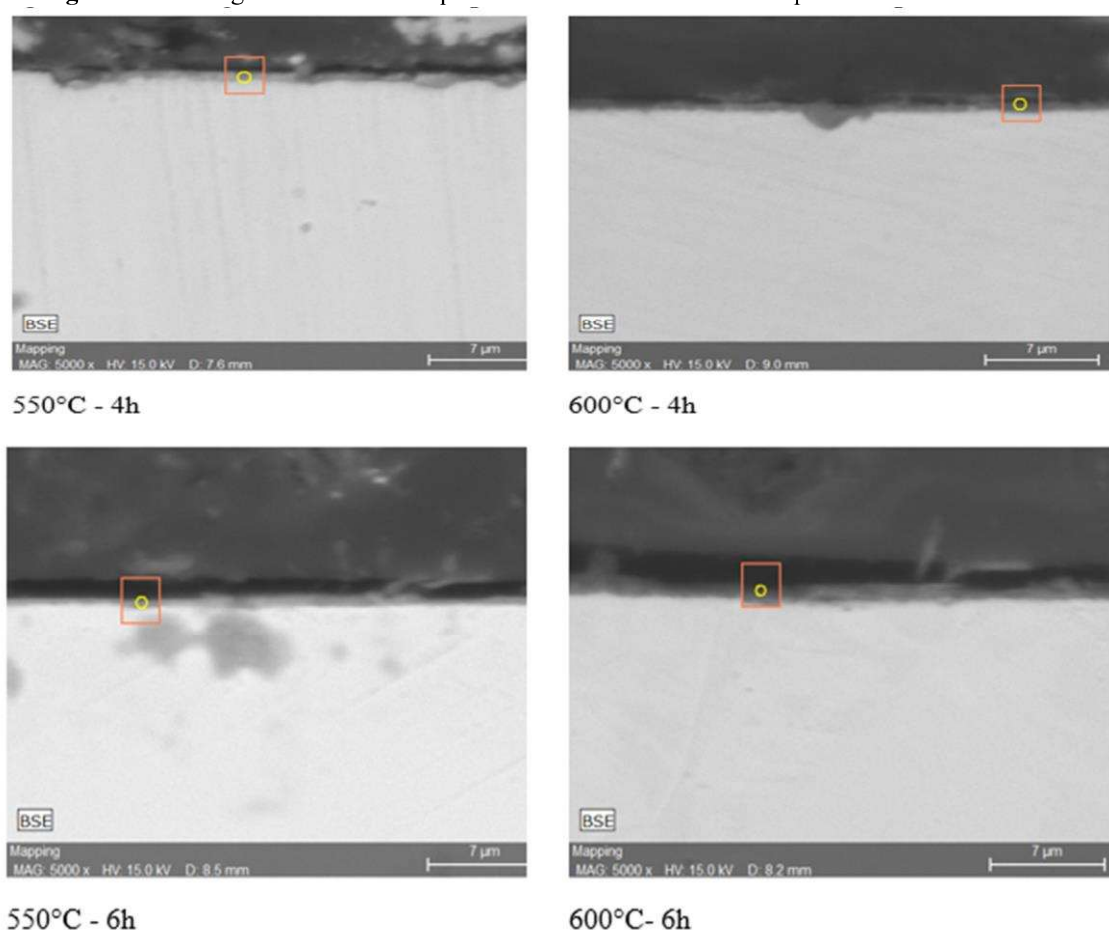
Para análise microestrutural em todas as condições de tratamento as amostras foram cortadas transversalmente e preparadas de acordo com a norma ASTM E3-2015. Após o corte foi realizado o embutimento das amostras em baquelite, as amostras foram lixadas em água em ordem crescente de granulometria evitando as granulometrias muito grosseiras para que a camada de boro formada não fosse quebrada, após o lixamento as amostras foram polidas com pasta de jacaré e para revelar a microestrutura do aço inoxidável austenítico AISI 304 foi utilizado água regia. Para a análise microestrutural da camada formada, foi utilizado um microscópio eletrônico de varredura (MEV) de bancada Hitachi 3000TM.

O ensaio de microdesgaste e microdureza foi realizado nas quatro amostras e no material base para comparação. O ensaio de microdureza Vickers foi realizado com uma carga de 0,025 e um tempo de aplicação de carga de 10s. Os parâmetros usados para o ensaio de microdesgaste abrasivo por esfera fixa foi carga de 8N, esfera de diâmetro 1" atacada com nital 20%, tempos de 2 min, 5 min, 10 min, 15min, 20min, 25min e 30min e com rotação da esfera 158 RPM.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A pasta foi feita de borax calcinado e carbetto de silício (SiC), com composição de 70% borax e 30% SiC. A moldagem da pasta ao redor da amostra foi feita diretamente no porta amostra do reator a plasma. Após a secagem da pasta envolvendo a amostra no porta amostra, foi feito o tratamento de boretção a plasma. As camadas produzidas nos tratamentos de boretção a plasma utilizando pasta sólida são apresentadas na Figura 1.

**Figura 1** – Micrografia das camadas produzidas nos tratamentos de superfície realizados



Através do EDS via MEV, podemos analisar a composição química semiquantitativa, dos elementos ferro (Fe), boro (B) e Cr (cromo) presentes na camada boretada. A amostra tratada a 550°C por quatro horas teve 61.19% de ferro por peso e 31.08% por peso atômico, 22.98% de boro por peso e 60.28% por peso atômico e cromo 15.83% por peso e 8.63 por peso atômico. Enquanto a amostra tratada a 550°C por seis horas teve 42.19% de ferro por peso e 55.22% por peso atômico, 16.93% de boro por peso e 22.16% por peso atômico e cromo 17.29% por peso e 22.63 por peso atômico. Já as amostras tratadas a 600°C por quatro horas obtiveram 52.48% de ferro por peso e 84.69% por peso atômico, 27.58% de boro por peso e 8.62% por peso atômico e cromo 19.94% por peso e 6.69 por peso atômico. Já as amostras tratadas a 600°C por seis horas obtiveram 42.37% de ferro por peso e 78.61% por peso atômico, 31.45% de boro por peso e 11.30% por peso atômico e cromo 26.18% por peso e 10.10 por peso atômico.

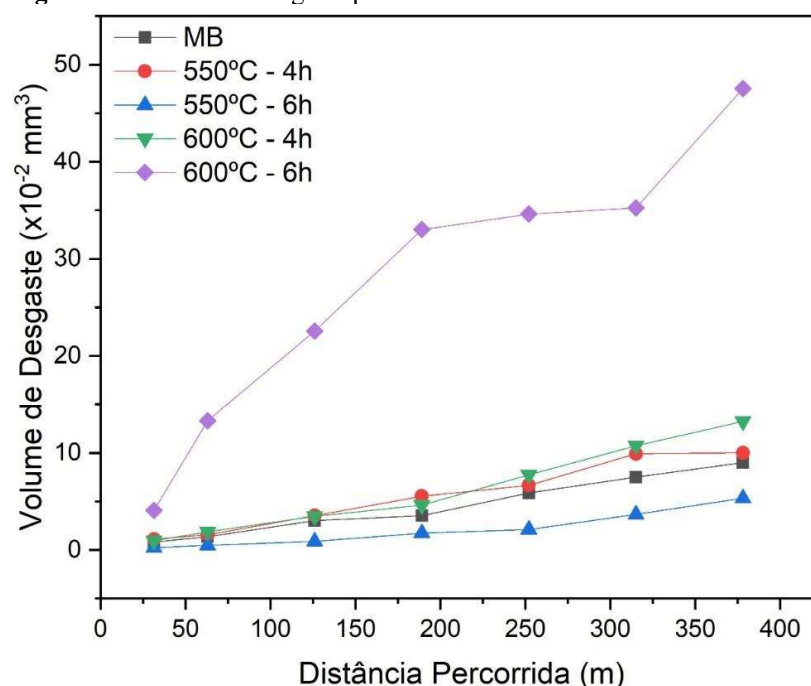
Como podemos observar nas imagens obtidas no MEV, a camada de boro formada na superfície do aço é fina, e a maior temperatura de tratamento propiciou maior difusão do boro na camada formada. A Tabela 1 apresenta a espessura das camadas obtidas nos tratamentos realizados, a média e o desvio padrão da dureza da camada. Pode-se constatar que a amostra tratada a 550°C por seis horas obteve camada mais fina que as demais amostras. Os valores da dureza obtidos são muito baixos e pode ser explicado devido a duas variáveis: a camada ser muito fina e muito dura, dificultando assim a medição efetiva da dureza da camada formada.

**Tabela 1** – Espessura e dureza das camadas de boro difundidas nas amostras

Amostra	550° C – 4h	550° C – 6h	600° C – 4h	600° C – 6h	MB
Espessura da camada ( $\mu\text{m}$ )	0,076	0,058	0,071	0,136	-
Erro ( $\pm \mu\text{m}$ )	0,0075	0,0357	0,0087	0,0133	-
Média da dureza obtida	213,8	274,4	225,2	253,8	183,2
Desvio padrão da dureza	39,179	13,544	11,839	31,352	7,935

A Figura 2 apresenta os resultados de volume de desgaste para todos os materiais tratados e material base. Pode-se observar que a amostra que apresentou melhor resistência ao desgaste foi a amostra tratada a 550°C por seis horas, enquanto as outras condições de tratamento apresentaram resistência ao desgaste menor que o material base.

**Figura 2** – Volume de desgaste para o material base e materiais tratados



## 5. CONCLUSÃO

Conclui-se que o desenvolvimento do tratamento de boretção a plasma utilizando pasta sólida foi efetiva em se obter uma camada boretada na superfície do aço inox 304, permitindo a difusão do boro presente na pasta para a amostra tratada. De acordo com os resultados apresentados, pode-se concluir que a amostra que apresentou melhores resultados foi a amostra tratada a 550°C por seis horas. Esse resultado está relacionado com a formação de uma camada mais fina, maior quantidade de boro difundido na superfície e melhor resistência ao desgaste.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ATIK, E.; YUNKER, U.; MERIÇ, C. The effects of conventional heat treatment and boronizing on abrasive wear and corrosion of SAE 1010, SAE 1040, D2 and 304 steels. **Tribology International**. 36:155-161. 2003.

DAVIS J. Surface Hardening of Steels: Understanding the Basics. **ASM International, Materials Park**. OH. 2002.

GUNES, I.; ULKER, S.; TAKTAK, S. Plasma paste boronizing of AISI 8620, 52100 and 440C steels. **Materials & Design**, v. 32, n.4, p,2380-2386, abr. 2011.

OLIVEIRA C, CASTELETTIL, TOTTEN G, HECK S. Production and characterization os boride layers on AISI D2 tool steel. **Vacuum** 2010.