

REVESTIMENTO RESISTENTE AO DESGASTE UTILIZANDO A LIGA $\text{Fe}_{68}\text{Cr}_8\text{Mo}_4\text{Nb}_4\text{B}_{16}$ E O PROCESSO DE PLASMA DE ARCO TRANSFERIDO

Luana C. M. Rodrigues^{1*}, Guilherme Y. Koga^{1,2}, Claudemiro Bolfarini^{1,2}, Cláudio S. Kiminami^{1,2}, Ana S. C. M. de Oliveira³ e Walter Botta^{1,2}

1 – Universidade Federal de São Carlos, Programa de Pós Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, São Carlos, SP.

2 - Departamento de Engenharia de Materiais (DEMa), Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). Rodovia Washington Luís, km 235, São Carlos, CEP 13565-905, SP.

3 - Universidade Federal do Paraná, Curitiba – PR

luanacmiquel@gmail.com

RESUMO

O processo plasma de arco transferido (PTA, do inglês “Plasma Transferred Arc”) pode ser utilizado com vantagens para produzir revestimentos de alta qualidade, quando comparados a outras alternativas de soldagem para revestimentos, devido a estabilidade direcional e focal do arco, relativamente baixa diluição, baixa distorção e alta densidade. Neste trabalho utilizamos a liga $\text{Fe}_{68}\text{Cr}_8\text{Mo}_4\text{Nb}_4\text{B}_{16}$, com boa capacidade de formar fase amorfa, para revestir substratos de aço carbono através do processo PTA. A liga atomizada foi depositada pelo processo PTA sobre um substrato de aço carbono, abrangendo três condições de processamento. Condição 1: pós com faixa granulométrica de 53 – 106 μm , com taxa de alimentação de 10 g/min e corrente de 120A. Condição 2: pós com faixa granulométrica de 106 – 180 μm , com taxa de alimentação de 10 g/min e corrente de 120A. Condição 3 pós com faixa granulométrica de 53 – 180 μm , sendo 50% pós com tamanho de partículas de 53 – 106 μm e 50% pós com tamanho de partículas de 106 – 180 μm , com taxa de alimentação de 6 g/min e corrente de 120A. Os revestimentos foram avaliados através de difração de raios-x (DRX), microscopia eletrônica de varredura (MEV), microscopia óptica (MO), calorimetria diferencial de varredura (DSC), microscopia eletrônica de transmissão (MET) e microscopia Confocal (MC). A microdureza Vickers foi analisada no topo dos revestimentos polidos. Os ensaios tribológicos foram realizados com base na norma (ASTM G133-05) em superfícies polidas (Al_2O_3 1- μm), em configuração recíproca pino sobre placa. Resultados preliminares indicam elevada resistência ao desgaste, $\sim 1,7 \times 10^{-4} \text{ mm}^3/\text{N.m}$ para os revestimentos sugerindo a viabilidade de utilizar ligas amorfificáveis a base de Fe em processos de revestimento de aços por PTA.

Palavras-chave: Liga vítrea, Revestimento, PTA, Resistência ao desgaste, Microdureza.

INTRODUÇÃO

A engenharia de superfície é uma maneira eficaz para auxiliar na vida útil de aços baixo carbono submetidos à degradação severa por desgaste. Existem diversas técnicas para a proteção desses aços, uma delas é o recobrimento através do processo de Plasma de Arco Transferido (PTA, do inglês “*Plasma Transferred Arc*”).

Neste processo utiliza-se uma combinação arco/jato de plasma para formar uma área de fusão limitada sobre a superfície da peça de trabalho. O resultado é uma baixa diluição do metal base com uma pequena zona afetada pelo calor e um revestimento denso e uniforme. Ademais é uma técnica altamente automatizada, onde é possível obter taxas de recobrimento de até 12 Kg/hora e a espessura do revestimento pode variar de 1 à 6 mm ⁽¹⁾.

A liga Fe₆₈Cr₈Mo₄Nb₄B₁₆, utilizada em outro processo de recobrimento L-PBF, se mostrou viável quanto à resistência ao desgaste, apresentou taxas de desgaste específica na ordem de 10⁻⁵ mm³/N.m superior à taxa de desgaste do substrato de aço SAE 1020 (10⁻⁴ mm³/N.m). Deste modo, o presente estudo visa analisar a resistência ao desgaste dessa liga, utilizando o processo PTA ⁽²⁾.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os pós foram produzidos em um atomizador a gás HERMICA 75/5VI a partir da liga vítrea Fe₆₈Cr₈Mo₄Nb₄B₁₆, sendo o pó resultante peneirado de acordo com a ASTM B214. Pós com tamanhos de partículas variando entre 53 e 180 µm foram utilizados para a fabricação dos três revestimentos por PTA, denominados PTA 2, PTA 3 e PTA 5, ambos, sobre um substrato de aço baixo carbono.

Para a produção dos revestimentos os seguintes parâmetros de processamento foram alterados: taxa de alimentação e faixa granulométrica dos pós, manteve-se apenas o valor da energia.

Em seguida, foi iniciada a análise microestrutural dos pós obtidos por atomização a gás e dos revestimentos como-produzidos através da técnica PTA. As análises tribológicas e de microdureza Vickers também foram avaliadas, tanto para os revestimentos PTA como para o substrato de aço de baixo carbono utilizado, como meio de comparação.

Para ambas as análises, as amostras foram previamente preparadas metalograficamente: lixadas e polidas. Para o lixamento, foram utilizadas lixas de carbetto de silício com granas: 240,400, 600, 800, 1200 e 1500 e para o polimento foi utilizada alumina em suspensão (1 µm).

Para a caracterização microestrutural, as amostras foram analisadas por: difração de raios-X (DRX) usando um equipamento Bruker D8 Advance ECO com radiação Cu-Kα acoplada com um detector de alta velocidade SSD160, para observação das fases formadas. Por microscopia óptica (MO), para verificação da porosidade, usando o equipamento ZEISS Axio, por microscopia eletrônica de varredura (MEV) usando uma pistola de emissão de campo Philips XL-30 acoplada com espectroscopia de raios X de dispersão de energia (EDS), para obtenção das morfologias e microestruturas. O nível de porosidade também foi avaliado, utilizando o software ImageJ (binarização de 10 imagens obtidas através do microscópio óptico).

As medidas de microdureza Vickers, foram baseadas na norma ASTM E384. O ensaio de desgaste pino sobre placa foi realizado em triplicata, seguindo a norma ASTM G133. Após os ensaios de desgaste, as superfícies desgastadas dos revestimentos obtidos por PTA e as superfícies desgastadas do aço baixo carbono, foram avaliadas por microscopia eletrônica de varredura. A perda de volume foi calculada a partir do microscópio confocal OLS4000, Olympus LEXT.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A **Figura 1 (a)**, apresenta a distribuição granulométrica dos pós atomizados a gás, a maior concentração de pós, foi na faixa de 53 à 180 μm (utilizada para a produção dos revestimentos), ademais, devido a morfologia esférica e superfície lisa, foram adequados para a técnica PTA. Padrões de DRX dos pós apresentam um halo característico de fase vítrea em 2θ igual à 44° e também fases cristalinas, que foram indexadas como boretos e ferrita (**Figura 1 (b)**). Termogramas DSC dos pós (**Figura 1 (c)**), mostram que os picos exotérmicos apresentam fases vítreas (a) o identificado nos padrões de DRX (b) ura 1(b)), também se observa uma diminuição de fase vítrea nos pós com tamanho de partícula maior, visto que a curva apresenta picos exotérmicos menos intensos.

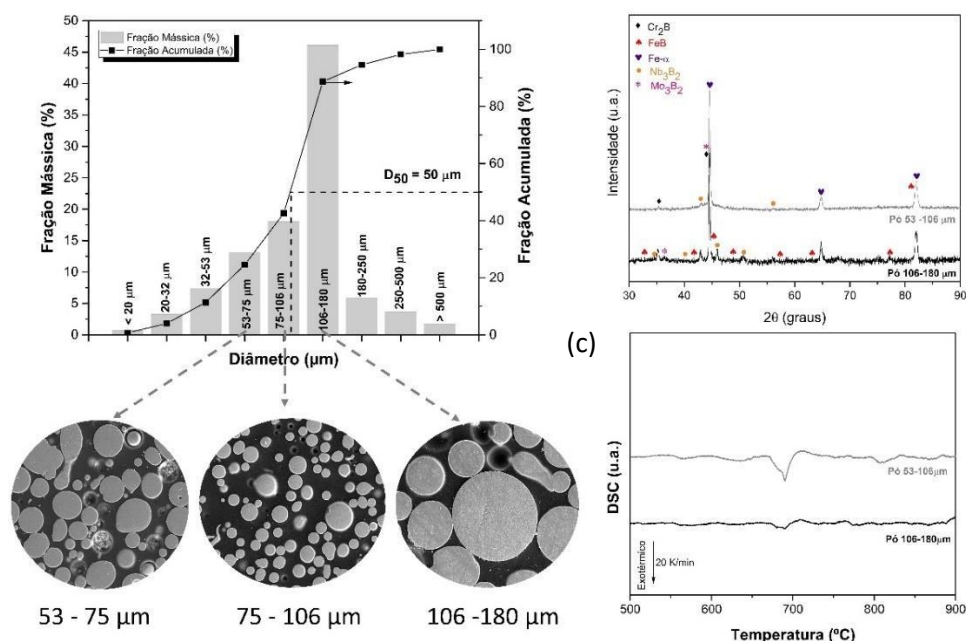


Figura 1 - (a) gráfico da distribuição granulométrica e morfologia dos pós utilizados por PTA, (b) padrões de DRX dos pós e (c) termogramas de DSC dos pós.

Na **Figura 2 (a)**, estão apresentados os padrões de DRX dos revestimentos que foram obtidos por PTA em diferentes condições. Nota-se picos de fases cristalinas, similares às fases encontradas nos padrões de DRX dos pós, porém, para os revestimentos, a fase vítrea está ausente, além disso, os picos das fases cristalinas são ligeiramente mais intensos que os picos dos pós. Os termogramas DSC (**Figura 2 (b)**), confirmam os resultados dos padrões de DRX, ou seja, mostram que os picos exotérmicos dos revestimentos são cristalinos, ausentes de fases vítreas.

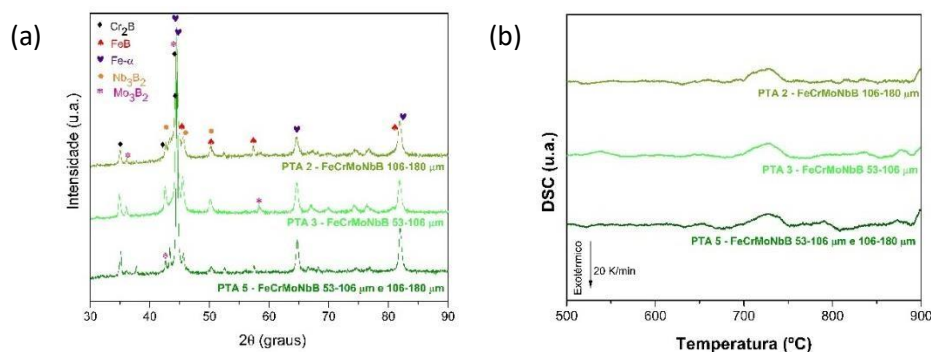


Figura 2 - (a) padrões de DRX dos revestimentos PTA e (b) termogramas de DSC dos revestimentos PTA.

A **Figura 3**, apresenta as micrografias de MEV, seção transversal, dos revestimentos obtidos por PTA, como-produzidos. Em ambas as condições de processamento, nota-se boa adesão metalúrgica entre o revestimento e o substrato, as superfícies são similares com baixa porosidade (0,2%) para o PTA 2 e PTA 3 e (0,3%) para o PTA 5 e ausentes de trincas.

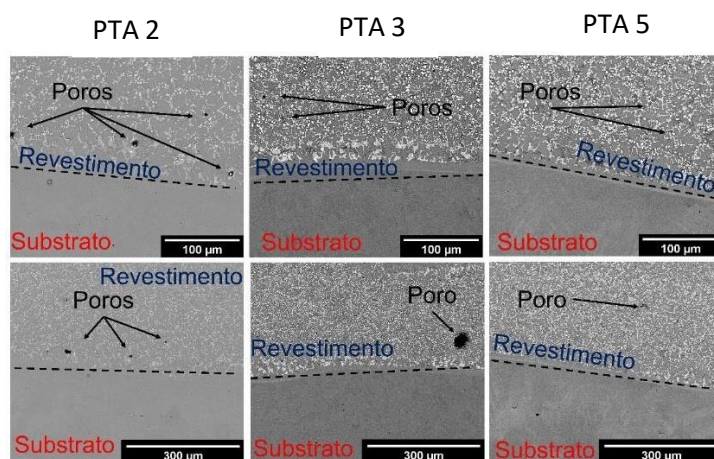


Figura 3 - micrografias de MEV, seção transversal, dos revestimentos PTA como-produzidos.

O perfil de microdureza Vickers também foi avaliado para os revestimentos obtidos por PTA (**Figura 4**). Na **Figura 4 (a)**, nota-se, um decréscimo no valor da microdureza para o substrato em relação aos valores medidos no revestimentos, indicando que os revestimentos processados por PTA em diferentes condições apresentam dureza ligeiramente elevada ($\sim 425 \text{ HV}_{0,5}$), quando comparado com a dureza do substrato ($\sim 250 \text{ HV}_{0,5}$). E a **Figura 4 (b)**, apresenta as taxas de desgaste específica dos três revestimentos. Nota-se, que o revestimento PTA 2 ($435 \text{ HV}_{0,5}$) foi o mais resistente ao desgaste, com taxa de desgaste inferior à taxa dos demais e o revestimento PTA 5 ($343 \text{ HV}_{0,5}$) exibiu a maior taxa de desgaste, sendo considerado o menos resistente ao desgaste, entretanto, ainda apresentou resistência superior à resistência exibida pelo substrato de aço baixo carbono ($141 \text{ HV}_{0,5}$).

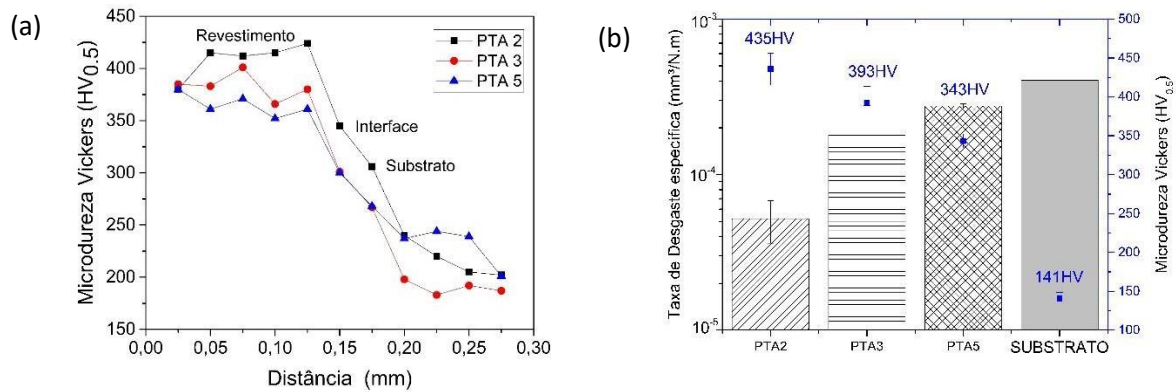


Figura 4 – (a) perfil de microdureza Vickers, (b) relação entre a microdureza Vickers (topo) e taxa de desgaste específica.

A rugosidade e a perda volumétrica dos revestimentos produzidos por PTA, estão apresentadas na **Figura 5**. As imagens obtidas através do microscópio óptico confocal, após os ensaios de desgaste, mostram que o revestimento PTA 2, obteve rugosidade mais baixa: 0,14 μm e consequentemente menor perda volumétrica: 0,13 mm^3 , enquanto que o revestimento PTA 5 apresentou a maior rugosidade: 0,36 μm e também foi o mais desgastado: 0,69 mm^3 .

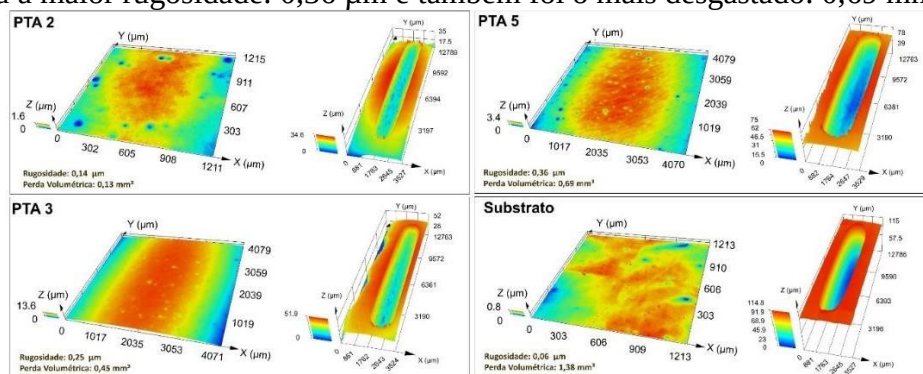


Figura 5 - topografias das superfícies dos revestimentos PTA e do substrato de aço baixo carbono, obtidas por microscopia confocal.

CONCLUSÕES

- Revestimentos foram produzidos com sucesso por PTA a partir de pós atomizados a gás de uma liga vítrea $\text{Fe}_{68}\text{Cr}_8\text{Mo}_4\text{Nb}_4\text{B}_{16}$.
- Os revestimentos apresentaram resistência ao desgaste e dureza ligeiramente superior ao substrato de aço baixo carbono revestido.
- Assim, este trabalho demonstrou que os revestimentos produzidos são interessantes, visto que o material apresenta alta resistência ao desgaste $\sim 1,7 \times 10^{-4} \text{ mm}^3/\text{N.m}$, nas condições testadas.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. Agradeço também, o suporte oferecido pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de (PPGCEM), São Carlos-SP; Universidade Federal de São Carlos (UFSCar).

REFERÊNCIAS

1. RELA, P.R. Processo de Soldagem com Plasma In. WAINER, E.; BRANDI, S. D.; MELLO, F. D. H. Soldagem processos e metalurgia, Capítulo 2f, 4ª reimpressão 2004.
2. RODRIGUES, L.C.M.; FREITAS, B.J.M.; FIGUEIRA, G.; GARGARELLA, P.; BOLFARINI, C.; KIMINAMI, C.S.; BOTTA, W.J. Wear-resistant Fe₆₈Cr₈Mo₄Nb₄B₁₆ glass former coatings - From powder production by gas atomization to coating production by Laser Powder Bed Fusion. SURFACE & COATINGS TECHNOLOGY *rev.* 22, p. 128482, 2022.

WEAR-RESISTANT Fe₆₈Cr₈Mo₄Nb₄B₁₆ GLASS FORMER COATINGS – FROM POWDER PRODUCTION BY LASER POWDER BED FUSION.

ABSTRACT

The Plasma Transferred Arc (PTA) process can be used to advantage to produce high quality coatings when compared to other coating welding alternatives due to the relatively low directional and focal stability of the arc. dilution, low distortion and high density. In this work, we use the Fe₆₈Cr₈Mo₄Nb₄B₁₆ alloy, with good ability to form amorphous phase, to coat carbon steel substrates through the PTA process. The atomized alloy was deposited by the PTA process on a carbon steel substrate, covering three processing conditions. Condition 1: powders with a granulometric range of 53 – 106 µm, with a feed rate of 10 g/min and a current of 120A. Condition 2: powders with a granulometric range of 106 – 180 µm, with a feed rate of 10 g/min and a current of 120A. Condition 3 powders with a particle size range of 53 - 180 µm, 50% powders with a particle size of 53 - 106 µm and 50% powders with a particle size of 106 - 180 µm, with a feed rate of 6 g/min and current 120A. The coatings were evaluated by X-ray diffraction (XRD), Scanning Electron Microscopy (SEM), Optical Microscopy (OM), Differential Scanning Calorimetry (DSC), Transmission Electron Microscopy (TEM) and Confocal Microscopy (MC). Vickers microhardness was analyzed on top of polished coatings. Tribological tests were performed based on the standard (ASTM G133-05) on polished surfaces (1-µm Al₂O₃), in a reciprocal pin-on-plate configuration. Preliminary results indicate high wear resistance, ~ 1.7 x 10⁻⁴ mm³/N.m for the coatings, suggesting the feasibility of using amorphizable Fe-based alloys in PTA steel coating processes.

Keywords: Vitreous alloy, Coating, PTA, Wear resistance, Microhardness.