

## **ANÁLISE DOS PROCESSOS DE ASPERSÃO TÉRMICA POR FLAME SPRAY E PLASMA A ARCO TRANSFERIDO – ESTUDO DO PERFIL DE DUREZA E RESISTÊNCIA AO DESGASTE MICROABRASIVO**

Bruno Silva do Nascimento, Edervaldo Ruy Recla e João Paulo Calixto da Silva\*.

Faculdades Integradas de Aracruz,  
Rua Professor Berílio Basílio dos Santos, nº180, Centro – Aracruz

\* [joao.cs@fsjb.edu.br](mailto:joao.cs@fsjb.edu.br)

### **Resumo**

*O presente trabalho apresenta um estudo da influência do processo de deposição do revestimento de carbeto de tungstênio na resistência ao desgaste e na dureza do material. Para a análise, foram utilizados os processos de Flame Spray e PTA, ambos aplicados em uma superfície de aço ASTM A36. A análise do perfil de dureza do material foi feita através de um microdurômetro em escala Vickers, e a resistência ao desgaste foi ensaiada em uma máquina de ensaio de desgaste microabrasivo do tipo esfera livre. A equação de Archard foi aplicada para o cálculo do coeficiente de desgaste permitindo traçar o comportamento do material em diferentes distâncias de deslizamento. Os resultados obtidos, mostraram que os substratos revestidos pelo processo PTA apresentaram maior dureza em sua camada superficial, menos porosidade e maior resistência ao desgaste microabrasivo, em relação a outra amostra de mesmo material revestida pelo método Flame Spray.*

**Palavras-Chave:** *Revestimento. Carbeto de Tungstênio. Flame Spray. PTA. Desgaste Microabrasivo.*

## 1 INTRODUÇÃO

Estima-se que o custo anual com reparos, causados pelo desgaste abrasivo, é da ordem de 1% a 4% do PIB de uma nação industrializada. Esses gastos acontecem principalmente em áreas como agricultura, mineração, processamento de minerais e outras atividades relacionadas Davis <sup>(1)</sup>.

Assim, como outros métodos para aumento da resistência ao desgaste abrasivo, os processos de aspersão térmica contribuem significativamente para a redução desses gastos. A aspersão térmica melhora a resistência ao desgaste, a eficiência térmica, as propriedades elétricas, retarda a corrosão, influencia no controle dimensional e de folgas, na recuperação de componentes desgastados. A partir dessas melhorias haverá uma redução de custo, otimização de desempenho, aumento da vida útil do componente e diminuição de manutenção <sup>(2)</sup>.

Os processos de aspersão térmica se subdividem em dois grupos: os que utilizam energia elétrica como fonte de energia e os que utilizam a chama <sup>(3)</sup>.

O processo de aspersão térmica por Flame Spray consiste na aspersão do revestimento na forma de material tubular ou em pó, utilizando, como fonte de energia, a combustão. <sup>(3)</sup>.

Pelo processo de PTA (Plasma Transferred Arc – Plasma de Arco Transferido), acontece uma combinação de aspersão térmica e soldagem, o que possibilita um aquecimento e fusão superficial entre o substrato e o revestimento <sup>(4)</sup>.

Assim, o presente trabalho tem como objetivo analisar: as variações das propriedades mecânicas dos revestimentos, em função da alteração do método de aplicação (Flame Spray e PTA).

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para realização dos experimentos foram disponibilizados corpos de prova de dimensões Ø 40mm por 10mm de espessura, com material do substrato, sendo um aço comercial ASTM A36, com uma camada de revestimento aplicado pelos processos de Flame Spray e PTA.

Os corpos de prova revestidos por Flame Spray passaram por um processo de revestimento utilizando um equipamento de aspersão térmica do fabricante Metco INC. WESTBURY L.I., N.Y, modelo ThermoSpray TYPE 5C. Já os corpos de prova revestidos por PTA passaram por um processo de revestimento utilizando um equipamento de aspersão térmica composto por componentes de diferentes fabricantes. O sistema de movimentação automática em dois eixos para aplicação em processos de soldagem e corte de chapas metálicas do fabricante IMC, modelo Tartilope V2, fonte de soldagem do fabricante IMC, modelo MTE DIGITEC 450, alimentador de pó do fabricante Plasma Master, modelo PM-PF-10, tocha de plasma do fabricante Plasma Master, modelo PP-6-02.

Como material de deposição, foi utilizado o pó composto de fabricação SULZER METCO 36C, conforme descrito na tabela 1.

**Tab. 1: Composição da mistura pó METCO 36C.**

<b>Composição</b>	<b>%</b>
Níquel	45
Carbeto de tungstênio	32
Cromo	12
Silício	3
Ferro	3
Boro	2 – 4

Fonte: Manual do fabricante Sulzer Metco - Safety Data Sheet.

Para a realização dos perfis de dureza, as amostras revestidas foram cortadas na seção transversal ao revestimento e embutidas em uma embutidora da marca Arotec, modelo PRE-30S.

Os ensaios de microdureza foram realizadas na UFSCAR – Universidade Federal de São Carlos, através de um microdurômetro FUTURE TECH de modelo FM800.

Para a obtenção dos perfis de microdureza, conforme norma ASTM E92, foi utilizada uma carga de 0,1 kg, aplicadas durante 20 segundos e com distância lateral de 50 µm. Para que não ocorressem interferências nas endentações, foram realizadas três endentações paralelas em cada distância a partir da superfície da peça, com medidas de 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0; 1,2 e 1,4mm.

Para verificação da resistência ao desgaste microabrasivo, foi utilizado o equipamento de microabrasão por esfera livre, da marca *CSM Instruments*, pertencente ao laboratório do IFES – Vitória, apresentado na figura 1.

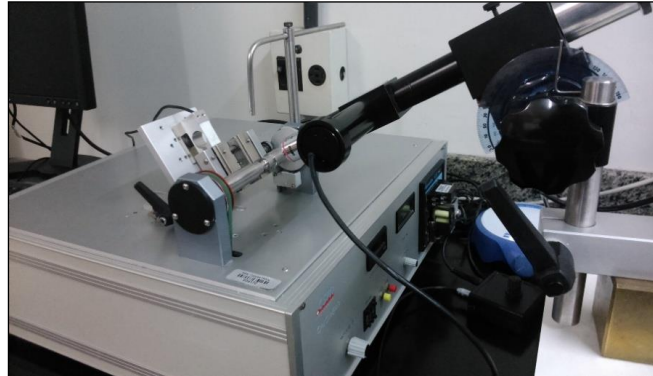


Figura 1 - Equipamento para ensaio de desgaste com esfera livre Calowear.

No ensaio utilizou-se:

- ✓ Esfera com diâmetro de 25,4 mm, em aço AISI 51200;
- ✓ Rotação do eixo fixada em 150 rpm e da esfera de aproximadamente 41 rpm;
- ✓ Alimentação de lama de dióxido de silício entre a amostra e a esfera (uma gota a cada três segundos), com granulometria de 5  $\mu\text{m}$ , e concentração de 0,30g/cm<sup>3</sup> (30 gramas de SiO<sub>2</sub> em 100 ml de água destilada);
- ✓ Carga de ensaio aproximada de 0,33 N.

As crateras de desgaste foram produzidas em intervalos de aproximadamente 60, 120, 180, 240 e 300 metros de deslizamento da esfera (respectivamente 750, 1500, 2250, 3000, 3750 rotações do eixo motor). O coeficiente de desgaste pode ser calculado a partir da equação de Archard <sup>(5)</sup>

$$K = \frac{V}{L \cdot F_n} \quad (1)$$

Onde:  $K$  – coeficiente de desgaste [ $\text{m}^3 / \text{N.m}$ ];

$V$  – volume de material removido pelo desgaste [ $\text{m}^3$ ];

$L$  – distância de deslizamento [ $\text{m}$ ];

$F_n$  – força normal a amostra  $N$ .

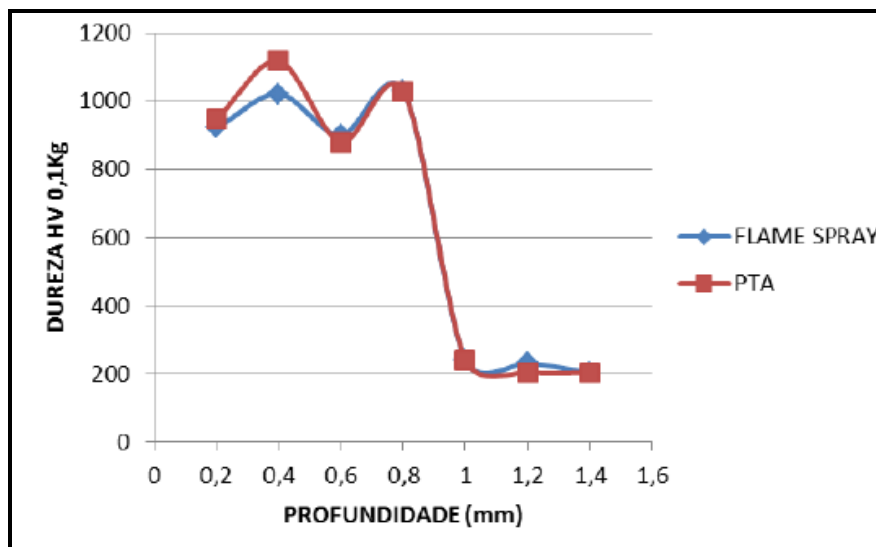
De acordo com a equação ( $a$ ), o coeficiente de desgaste, é dado pela razão entre o volume de material desgastado e o produto da distância de deslocamento e a força normal à amostra Cozza <sup>(6)</sup>.

Para estudo e caracterização do desgaste ocasionado foi utilizado o microscópio eletrônico de varredura (MEV), EVO LS15 da marca Carl Zeiss, pertencente ao laboratório do IFES - Campus Vitória.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 Perfis De Dureza Da Camada Revestida

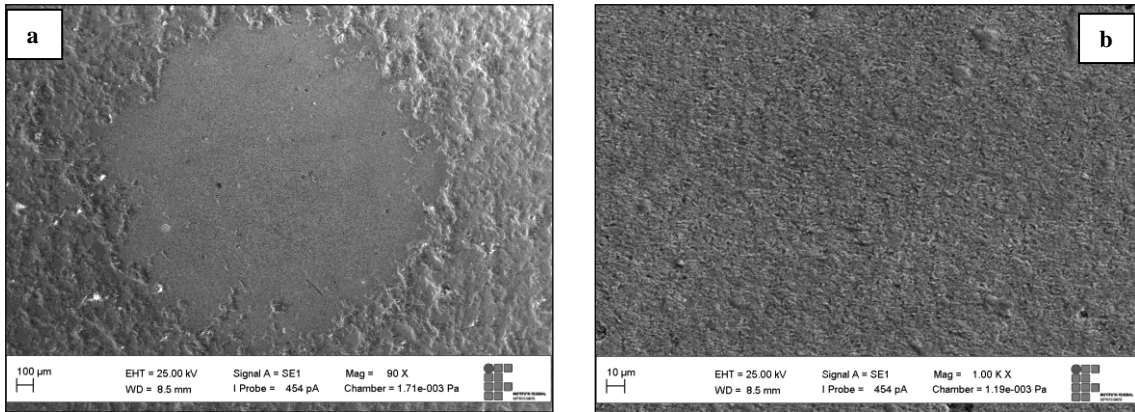
As amostras revestidas por PTA e Flame Spray apresentaram valores de dureza superficiais bem próximos, mostrando que as variáveis e características dos processos não influenciaram significativamente no resultado, conforme figura 3.



**Fig. 3.** Perfis de dureza das camadas revestidas de ambos os processos.

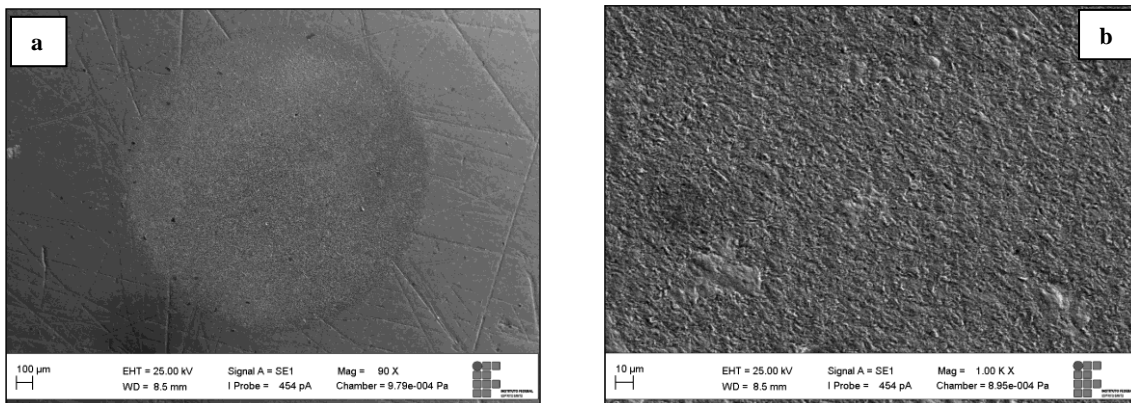
#### 3.2 Caracterização do desgaste microabrasivo

Após realização do ensaio de desgaste, as calotas resultantes foram fotografadas no MEV. A figura 4 mostra, com um aumento de 90 vezes e 1000 vezes, o aspecto da superfície e a calota do revestimento aplicado pelo processo Flame Spray.



**Fig. 4.** Micrografia com MEV. (a) Calota resultante do ensaio de desgaste microabrasivo no revestimento aplicado por Flame Spray. Aumento de 90x. (b) Aspecto da superfície resultante do ensaio de desgaste microabrasivo no revestimento aplicado por Flame Spray. Aumento de 1000x.

A figura 5 apresenta, com um aumento de 90 vezes e 1000 vezes, o aspecto da superfície e a calota do revestimento aplicado pelo processo PTA.



**Fig. 5.** Micrografia com MEV. (a) Calota resultante do ensaio de desgaste microabrasivo no revestimento aplicado por PTA. Aumento de 90x. (b) Aspecto da superfície resultante do ensaio de desgaste microabrasivo no revestimento aplicado por PTA. Aumento de 1000x.

Fazendo-se uma análise da superfície do revestimento adjacente às calotas dos dois revestimentos (Fig. 4 e Fig.5), também é notável a diferença de rugosidade entre ambos. Assim como constatado por Gimenez<sup>(7)</sup> o processo à Plasma apresenta menor porosidade que o processo por Flame Spray.

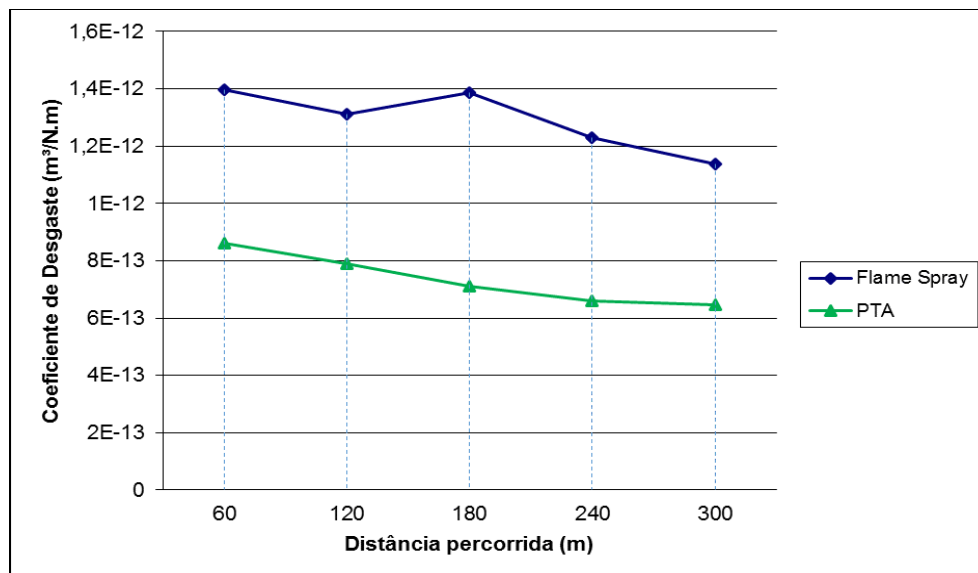
De acordo com as imagens das Figuras 4 e 5, pode-se constatar que os dois processos têm características de desgaste por três corpos ou rolamento, pois apresentam aspectos com padrão de forma aleatório sem presença de linhas de

riscamento, o que demonstra o movimento das partículas soltas durante o ensaio de desgaste.

Essas marcas são formadas aleatoriamente, demonstrando que as partículas estavam livres no momento do ensaio, caracterizando assim que houve um desgaste por rolamento Cozza<sup>(6)</sup>.

### 3.3 Ensaio de desgaste por microabrasão

A figura 6 apresenta os valores dos coeficientes de desgaste (K) em função da distância de deslizamento percorrida pela esfera, medida em metros. Para os processos de PTA e Flame Spray, foi observado um comportamento semelhante. Observou-se que nos valores de distância de deslizamento entre 240 e 300m, a amostra PTA atinge o regime permanente<sup>2</sup>, enquanto na de Flame Spray, nesse intervalo, há uma tendência ao regime permanente. Este comportamento é esperado conforme descrito por Cozza<sup>(6)</sup>, que diz que não existe uma distância de deslizamento padrão para que o processo atinja tal regime. Isso depende principalmente dos materiais do corpo-de-prova, esfera do ensaio, força normal aplicada, dureza, forma e tamanho médio das partículas abrasivas, concentração e sua vazão no contato corpo-de-prova/esfera.



**Fig.6.** Comparação entre valores de coeficiente de desgaste X distância de deslizamento das amostras revestidas.

<sup>2</sup> Diz-se que o processo de desgaste atingiu o regime permanente quando a taxa de desgaste, para uma determinada condição de ensaio, permanece constante ao longo do tempo COZZA<sup>(6)</sup>.

A máxima resistência ao desgaste foi obtida na amostra revestida por PTA. Pois segundo Rutherford e Hutchings<sup>(5)</sup> quanto menor o coeficiente de desgaste, menor será o volume de material desgastado da amostra e conseqüentemente uma maior resistência ao desgaste.

Lima e Trevisan<sup>(9)</sup> afirmam que as velocidades de projeção das partículas do revestimento também influenciam na resistência adesiva, coesiva e porosidade do revestimento o que impacta diretamente na resistência ao desgaste da camada. Além disso, a temperatura da fonte de calor do Arco Plasma alcança valores mais elevados do que a chama oxiacetilênica utilizada como fonte de combustão no processo Flame Spray, resultando em uma superfície mais homogênea e com menos porosidades. Em conformidade, Davis<sup>(1)</sup> diz que a porosidade cria revestimentos com baixa coesão, o que resulta em taxas elevadas de desgaste e corrosão.

#### **4 CONCLUSÃO**

O substrato revestido pelo método PTA apresentou resultados com valores mais satisfatórios: a dureza apresentou valores próximos, mas o coeficiente de desgaste da amostra revestida por PTA foi bem inferior do que a amostra, de mesmo material, revestida pelo método Flame Spray, o que significa que ele possui maior resistência ao desgaste microabrasivo.

Dentre os principais fatores que influenciaram estes resultados, pode-se apontar a maior presença de porosidades e menor aderência, identificadas nos revestimentos obtidos pelo processo Flame Spray. Estas variações dependem de vários parâmetros.

Assim, conclui-se que para aplicação em meio industrial, o revestimento realizado por PTA apresentou melhores resultados para resistência ao desgaste microabrasivo, se utilizado o mesmo pó para deposição, sendo o mais indicado em função dos resultados analisados.

#### **Agradecimentos**

Os autores agradecem a Ricardo Salvador Boldrini, Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura do IFES, campus Vitória, pelas imagens de MEV.



## REFERÊNCIAS

- 1 DAVIS, J. R. Handbook of Thermal Spray Technology. ASM International, 2004.
- 2 ASM International - Thermal Spray Technology White Paper Prepared by the Thermal Spray Society Affiliate of ASM International. <http://www.asminternational.org/documents/17679604/17683439/White+paper.pdf/fba0eade-d6db-4921-b42f-668965d7c70a>. Acesso em 11 de outubro de 2015.
- 3 PAREDES, R. S. C. Aspersão Térmica, Apostila, Departamento de Engenharia Mecânica. Laboratório de Materiais e Tratamento de Superfície, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.
- 4 TIGRINHO, J. J. SUPERFÍCIES ENRIQUECIDAS POR CARBONETOS DE TUNGSTÊNIO DEPOSITADOS A PLASMA POR ARCO TRANSFERIDO – Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção de grau de Mestre em Engenharia e Ciências dos Materiais - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.
- 5 RUTHERFORD, K. L.; HUTCHINGS, I. M. Theory and Application of a Micro-Scale Abrasive Wear Test. Journal of Testing and Evaluation, JTEVA, v. 25, n. 2, pp. 250-260, 1997.
- 6 COZZA, R. A. Estudo do comportamento do coeficiente de desgaste e dos modos de desgaste abrasivo em ensaios de desgaste microabrasivo. Dissertação de mestrado, Escola Politécnica da USP, São Paulo, 2006.
- 7 GIMENEZ, L, SANTOS, E. F, TOLEDO, L. B, CARRILHO, M. S. Comparativo entre os processos de aspersão térmica na manutenção, 1993. Disponível em: <http://www.infosolda.com.br/nucleo/downloads/pb.pdf>. Acesso em 13 set 2015.
- 8 WILLIAMS J. A. and HYNICICA, A. M., “Mechanisms of Abrasive Wear in Lubricated Contacts”, Wear, volume 152, 1992.
- 9 LIMA, C. R. C; TREVISAN, R. E. Aspersão Térmica: Fundamentos e Aplicações. 2ª Ed. São Paulo: Artliber Editora, 2007.

## **ANALYSIS OF SPRAY PROCESSES FOR THERMAL SPRAY FLAME AND PLASMA ARC TRANSFERED - STUDY OF THE HARDNESS PROFILE AND MICROABRASIVE WEAR RESISTANCE**

### **Abstract**

*This paper presents a study of the influence of the deposition process of tungsten carbide coating on the wear resistance and hardness of the material. For the analysis, Flame Spray processes and PTA were used, both applied on a surface ASTM A36 steel. Analysis of the hardness profile of material was made using a Vickers microhardness of scale and the wear resistance was tested in a microabrasive wear test machine of the free ball type. The Archard equation was applied for calculation of the wear coefficient allowing to trace the behavior of the material at different distances from sliding. The results showed that the substrates coated by the PTA process had higher hardness in its surface layer, less porosity and greater resistance to microabrasive wear, compared to another sample of the same material coated by Flame Spray method.*

**Key words:** *Coatings. Tungsten carbide. Flame Spray. PTA. Microabrasive wear.*