

## OTIMIZAÇÃO DE PARÂMETROS DO PROCESSO DE ASPERSÃO TÉRMICA CHAMA PÓ PARA REVESTIMENTO FeCrMnSiB

Pedro Polato Bites Costa, [pedro.bites@gmail.com](mailto:pedro.bites@gmail.com)<sub>1</sub>  
Gustavo Bavaresco Sucharski, [gustavobavaresco@gmail.com](mailto:gustavobavaresco@gmail.com)<sub>1</sub>  
Wagner Chiesorin Uhlmann, [wuhlmann@hotmail.com](mailto:wuhlmann@hotmail.com)<sub>1</sub>  
Hélio Padilha, [padilha.helio@gmail.com](mailto:padilha.helio@gmail.com)<sub>1</sub>  
Ramón Sigifredo Cortés Paredes, [ramoncparedes@gmail.com](mailto:ramoncparedes@gmail.com)<sub>1</sub>

<sub>1</sub>Universidade Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica (PG-Mec), Bloco IV do Setor de Tecnologia, Centro Politécnico da UFPR, Bairro Jardim das Américas, Caixa Postal 19011, CEP 81531-980, Curitiba, Paraná, Brasil.

**Resumo:** Este trabalho é um estudo sobre a influência dos parâmetros de processo de aspersão térmica chama a pó (FS-pó) sobre os mecanismos de oxidação de revestimentos. O material utilizado como matéria prima foi uma liga experimental de aço inoxidável do tipo FeCrMnSiB. Dada a versatilidade e reduzido custo do processo FS, a intenção é atingir com este, resultados similares aos revestimentos obtidos por HVOF (High Velocity Oxi-Fuel), considerando que o processo FS-pó apresenta normalmente desempenho inferior quanto ao teor de oxidação presente no revestimento aspergido. A bibliografia consultada apresenta quatro importantes mecanismos de oxidação: na fonte de calor rica em gás oxigênio (O<sub>2</sub>); durante o voo da partícula; pelo ar comprimido que envolve a zona de transferência das partículas; exposição ao ar das partículas ancoradas ao substrato. Nos experimentos foram realizados estudos sobre a morfologia da seção transversal dos revestimentos, por MEV e EDS; influência da granulométrica na oxidação; influência da temperatura e velocidade de partículas durante o voo, coletadas pelo equipamento DPV eVOLUTION. Para tanto foi definida uma série de combinações de parâmetros baseados nas limitações do equipamento. As combinações exploraram diferentes relações e fluxo dos gases de combustão (combustível, neutro e oxidante); taxa de alimentação do pó; distância de aspersão; e granulométrica do pó a ser aspergido. Na sequência foram preparadas amostras para as análises de morfologia. Como principais conclusões podem ser citadas a forte influência do fluxo total dos gases de combustão e da granulometria, o que permitiu o conhecimento do principal mecanismo de oxidação no processo chama pó e a possibilidade de obter revestimento de aço inoxidável com baixo teor de óxido e reduzida porosidade pelo processo chama a pó.

**Palavras-chave:** aspersão térmica, oxidação, revestimentos, combustão

### 1. INTRODUÇÃO

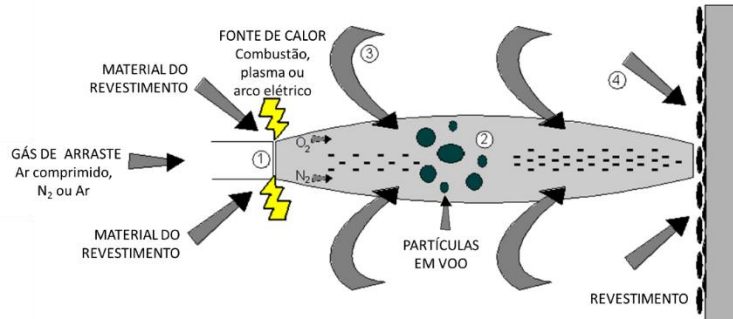
A aspersão térmica é uma tecnologia que, através de diferentes processos, deposita revestimentos superficiais pela projeção de partículas fundidas ou parcialmente fundidas sobre uma superfície previamente preparada (ASM, 2004; AWS, 1985). O desenvolvimento desta tecnologia baseia-se na necessidade de se aumentar a vida útil de sistemas e peças, em face do elevado custo de componentes de reposição aliado às vantagens de se recuperar peças às quais se elimina a substituição (PAREDES, 1998; LIMA, TREVISAN, 2007).

É fundamental que sejam analisadas as mudanças superficiais causadas por um ambiente ou por uma condição de trabalho, para determinar a seleção do material para o revestimento e o seu processo de aplicação. É importante garantir elevada aderência, baixa porosidade, facilidade de deposição e custo adequado comparado com outras técnicas de proteção de materiais (PAREDES, 1998; LIMA, TREVISAN, 2007). No que se refere à tecnologia de Aspersão Térmica ainda é importante avaliar a formação de óxidos no revestimento superficial depositado. Via de regra, revestimentos aspergidos que contêm defeitos na microestrutura, tais como óxidos, poros e trincas, em quantidade e distribuição, podem comprometer a densidade e a aderência do revestimento ao substrato. (Shiefler, et al, 2002)

O processo de aspersão térmica à chama pó tem menor resistência adesiva e resistência coesiva e maior porosidade, sendo que isto em geral ocorre pela menor velocidade alcançada pelas partículas. Quando se compara o processo de aspersão térmica à chama pó com os demais processos de AT verifica-se o expressivo aumento da quantidade de óxidos, por outro lado, em relação inversa tem-se o custo.

Segundo o modelo sugerido por Rodriguez (2007) (Figura 1), existem quatro principais mecanismos de oxidação nos processos de aspersão térmica: no ponto 1, na fonte de calor, as partículas têm o primeiro e mais relevante contato com ambiente oxidante, ponto mais significativo para o processo ASP, onde há neste mesmo ponto, devido à elevada energia do arco elétrico, a dissociação do ar atmosférico, tornando este ponto rico em gás nitrogênio (N<sub>2</sub>) e (O<sub>2</sub>); no ponto 2, durante o voo, há oxidação entre a partícula e o gás de transporte devido ao oxigênio presente no fluxo de aspersão, oriundo do gás de arraste, quando este for por ar comprimido, e da queima incompleta do oxigênio, quando o processo

utiliza combustão como fonte de calor; no ponto 3, ar do meio ambiente que envolve a zona de transferência das partículas, contém uma quantidade considerável de oxigênio e é arrastado devido ao fluxo turbulento; e no ponto 4, partículas e/ou camadas já ancoradas ao substrato, região ainda quente (recém depositada) que ficam expostas ao oxigênio do ar do meio ambiente após deslocamento da pistola.

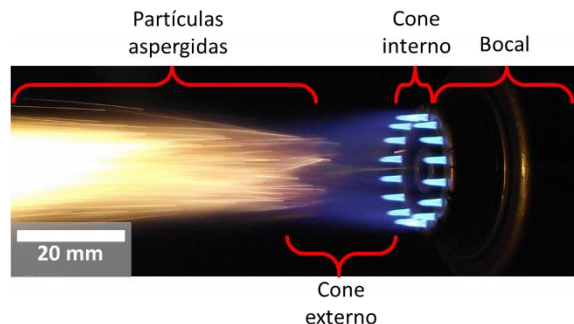


**Figura 1 - Modelo dos principais mecanismos de oxidação nos processos de aspersão térmica. Adaptado de Rodriguez (2007).**

Segundo esse princípio, é possível interferir, sem que seja feita nenhuma adaptação no processo, nos pontos 2 e 3.

No ponto 2, para o processo chama-pó, é possível controlar a proporção dos gases de combustão, a quantidade de gás de transporte, a taxa de alimentação de pó e a granulometria do pó.

A razão dos gases de combustão permite, pelo controle do fluxo dos gases, regular a proporção de oxigênio e de combustível, bem como o fluxo total, a fim de conseguir uma queima completa e sem excesso de oxigênio, maximizando a temperatura da chama, consequentemente a velocidade de projeção dos gases de combustão. A figura 2 mostra uma imagem do pico da pistola em operação, indicando as principais regiões da chama.



**Figura 2 – Representação esquemática das regiões da chama.**

A quantidade de gás de transporte permite, através do controle de vazão de gás, aumentar a velocidade com que o pó é injetado na chama, bem como o volume de gás inerte envolvendo as partículas, porém o excesso desse gás reduz a quantidade de calor transferido para as partículas.

A taxa de alimentação de pó permite controlar a quantidade de pó que será arrastado e injetado na chama, com isso é possível aumentar, ou diminuir, a área de material exposto a fonte de calor e a atmosfera oxidante, ou seja, para uma determinada combinação de parâmetros, menos quantidade de pó significa menos área para dividir com a quantidade de oxigênio disponível (maior o nível de oxidação). Porém, grande quantidade de pó, significa maior volume de material para dividir a mesma quantidade de calor disponível (menor temperatura de partícula).

No ponto 3, é possível ajustar a distância de deposição, minimizando este mecanismo, devido ao menor tempo de voo das partículas, sendo que a distância ideal é aquela que permite que as partículas aqueçam o máximo possível sem perder velocidade.

O objetivo deste estudo é otimizar os parâmetros do processo de Aspersão Térmica por chama a pó bem como analisar a influência desses mesmos parâmetros nas características das partículas aspergidas, tendo como foco os mecanismos de oxidação neste processo.

## 2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Para conhecer a influência desses parâmetros nas características dos revestimentos foram feitos dois estudos:

- Análise das características de temperatura e velocidade de partículas durante o voo, foram realizadas com o equipamento DPV eVOLUTION da Tecnar, que, a partir da luminosidade (comprimento de onda) das partículas aspergidas, calcula a temperatura, bem como a velocidade obtida pela diferença de tempo entre os dois pulsos emitidos através de duas fendas com distâncias conhecidas, localizadas em uma máscara na extremidade de uma fibra óptica;
- Análise da influência da granulometria dos pós sobre a morfologia da seção transversal dos revestimentos, por MEV, depositados com os parâmetros de processo que apresentaram menores taxas de oxidação.

Para tanto, foi definida uma série de combinações de parâmetros baseada nos valores sugeridos pelo fabricante da pistola para deposição de ligas de aço inoxidável (Sulzer Metco, 2012). As combinações exploraram situações onde a chama é carburante (pouco oxigênio), neutra, e oxidante (excesso de oxigênio), com diferentes valores de taxa de alimentação do pó e distância. A Tabela 1 apresenta as combinações de parâmetros utilizadas. Esta etapa serviu para mapear as características de temperatura e velocidade das partículas em função dos parâmetros, a fim de conhecer o comportamento isolado de cada parâmetro do processo, apesar de alguns destes possivelmente apresentarem comportamento interdependentes entre si. Após a análise dos primeiros testes fez-se a necessidade de testes adicionais (Tabela 1) para testar a influência da granulometria da liga aspergida. Nestes testes foram utilizadas as combinações de parâmetros de melhor resultado e algumas combinações que poderiam ter melhor desempenho com base nos resultados prévios.

**Tabela 1 – Combinações de parâmetros do processo chama pó.**

| Teste             | Fluxo total<br>(m³/h) | Relação<br>O <sub>2</sub> / C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> | Oxigênio<br>(m³/h) | Acetileno<br>C <sub>2</sub> H <sub>2</sub><br>(m³/h) | Gás de transporte<br>N <sub>2</sub><br>(m³/h) | Taxa. De<br>Alimentação<br>(g/min) | Distância<br>(cm) |
|-------------------|-----------------------|-----------------------------------------------------------|--------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------|-------------------|
| 1                 | 2,265                 | 1                                                         | 1,133              | 1,133                                                | 0,425                                         | 20                                 | 10                |
| 2                 |                       |                                                           |                    |                                                      |                                               | 30                                 | 10                |
| 3                 |                       |                                                           |                    |                                                      |                                               | 10                                 | 10                |
| 4                 |                       |                                                           |                    |                                                      |                                               | 20                                 | 20                |
| 5                 | 2,832                 | 1,5                                                       | 1,699              | 1,133                                                | 0,425                                         | 20                                 | 10                |
| 6                 |                       |                                                           |                    |                                                      |                                               | 30                                 | 10                |
| 7                 |                       |                                                           |                    |                                                      |                                               | 10                                 | 10                |
| 8                 |                       |                                                           |                    |                                                      |                                               | 20                                 | 20                |
| 9                 | 3,115                 | 2,6                                                       | 2,265              | 0,849                                                | 0,425                                         | 20                                 | 10                |
| 10                |                       |                                                           |                    |                                                      |                                               | 30                                 | 10                |
| 11                |                       |                                                           |                    |                                                      |                                               | 10                                 | 20                |
| 12                |                       |                                                           |                    |                                                      |                                               | 20                                 | 20                |
| 13                | 3,398                 | 2                                                         | 2,265              | 1,133                                                | 0,425                                         | 20                                 | 5                 |
| 14                |                       |                                                           |                    |                                                      | 0,425                                         | 20                                 | 10                |
| 15                |                       |                                                           |                    |                                                      | 0,425                                         | 30                                 | 10                |
| 16                |                       |                                                           |                    |                                                      | 0,425                                         | 10                                 | 10                |
| 17                |                       |                                                           |                    |                                                      | 0,425                                         | 20                                 | 20                |
| 18                |                       |                                                           |                    |                                                      | 0,566                                         | 30                                 | 20                |
| 19                | 3,823                 | 2                                                         | 2,549              | 1,274                                                | 0,425                                         | 10                                 | 20                |
| 20                |                       |                                                           |                    |                                                      | 0,566                                         | 30                                 | 20                |
| 21                | 4,248                 | 2                                                         | 2,832              | 1,416                                                | 0,566                                         | 30                                 | 20                |
| Testes Adicionais |                       |                                                           |                    |                                                      |                                               |                                    |                   |
| 22                | 2,832                 | 1                                                         | 1,416              | 1,416                                                | 0,425                                         | 30                                 | 20                |
| 23                |                       | 0,667                                                     | 1,133              | 1,699                                                |                                               |                                    |                   |
| 24                | 2,973                 | 1,625                                                     | 1,841              | 1,133                                                | 0,425                                         | 30                                 | 20                |
| 25                | 3,398                 | 2                                                         | 2,265              | 1,133                                                | 0,425                                         | 30                                 | 20                |
| 26                |                       | 1,4                                                       | 1,982              | 1,416                                                |                                               |                                    |                   |
| 27                | 3,823                 | 2,375                                                     | 2,690              | 1,133                                                | 0,425                                         | 30                                 | 20                |
| 28                | 4,248                 | 2                                                         | 2,832              | 1,416                                                | 0,425                                         | 30                                 | 20                |

## 2.1. Materiais

Os revestimentos foram produzidos com uma liga experimental de aço inoxidável do tipo FeCrMnSiB, depositados por Aspersão Térmica Chama-pó, com a pistola 6PII, da Sulzer Metco, com diferentes parâmetros, conforme tabela 1. As granulometrias dos pós foram selecionadas por peneiramento com intervalos de  $-45+15\ \mu\text{m}$ ,  $-63+45\ \mu\text{m}$  e  $-106+45\ \mu\text{m}$ .

Os gases de combustão foram acetileno e oxigênio e o gás de transporte do pó foi o Nitrogênio ( $\text{N}_2$ ).

O substrato utilizado foi de aço carbono SAE 1020 (30x100x3,2 mm), recém jateados com óxido de alumínio de granulometria 20 Mesh.

## 2.2. Preparação Metalográfica e Análise Morfológica

Amostras dos revestimentos depositados foram preparadas conforme sugerido pela norma de preparação metalografica para aspersão térmica (ASTM E1920). Após a preparação, as amostras foram analisadas em MEV com tensão de aceleração de 20kV, altura de 15 mm e detector BSE.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 2 mostra as imagens dos principais tipos de chamas observadas para as diferentes combinações de relação de combustão (RC), sendo estas com a taxa de alimentação de pó de 30 g/min. Nestas pode ser observado que há uma grande diferença da formação da chama para cada RC.

Na Figura 3 (a) (Tab. 2), onde há uma RC de 1, pode ser observado que houve uma propagação excessiva do cone interno, quando comparado às outras RC. Na Figura 3 (b) (Tab. 2) onde o RC é de 1,5, caracteriza se uma chama oxidante, apresentando a maior temperatura na região do cone interno, mas que como demonstra a figura 5, não indica a maior temperatura de partícula.

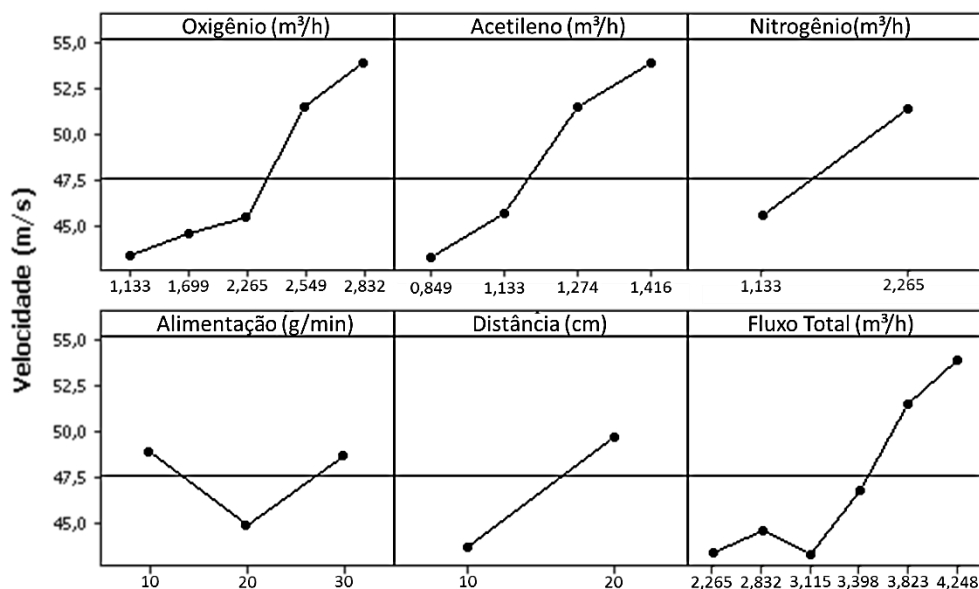
**Tabela 2 – Tipos e Características das chamas utilizadas.**

| Figura | Relação (RC) | Oxigênio ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) | Acetileno ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) | Imagem | Tipo de chama |
|--------|--------------|------------------------------------|-------------------------------------|--------|---------------|
| 3 (a)  | 1            | 1,133                              | 1,133                               |        | Neutra        |
| 3 (b)  | 1,5          | 1,699                              | 1,133                               |        | Oxidante      |
| 3 (c)  | 2,6          | 2,265                              | 0,849                               |        | Oxidante      |
| 3 (d)  | 2            | 2,265                              | 1,133                               |        | Oxidante      |

Na Figura 3 (d) (Tab. 2) vê-se uma chama oxidante com RC igual a 2 e pode ser observado que as partículas aspergidas passam a estar incandescentes há uma distância maior do cone interno, quando comparadas às outras figuras, esta chama

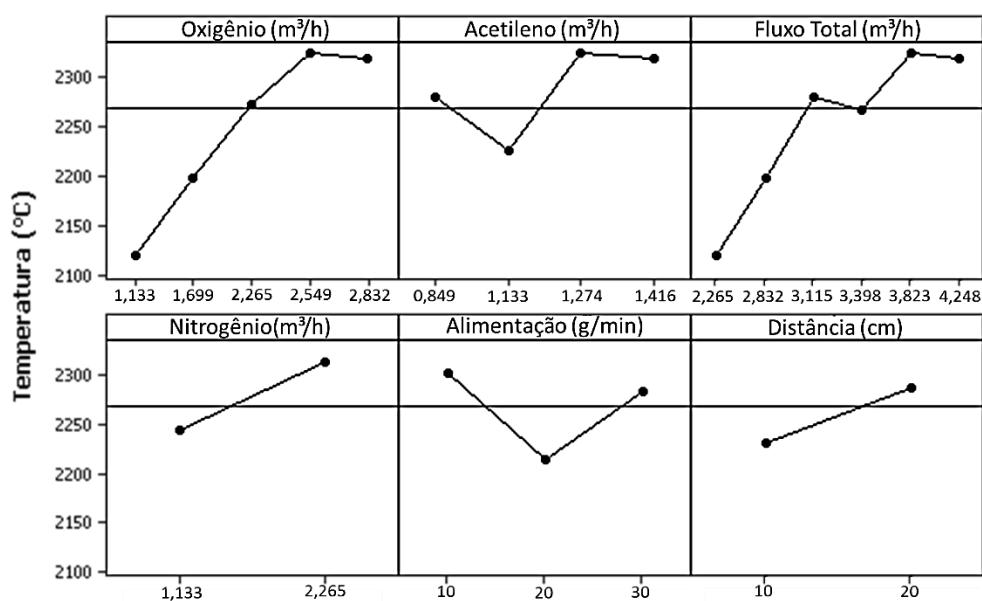
apresenta as partículas com a maior temperatura, no entanto, conforme demonstrado por Wainer (Wainer, 2011), esta RC possui temperatura menor do que a chama com RC de 1,5. Os motivos para estas divergências podem estar no maior arrasto de nitrogênio do ar para o interior da chama, cone externo, ou ainda pela maior taxa de alimentação, sendo que em ambos os casos há redução da temperatura da chama.

As Figuras 4 e 5 mostram os resultados das médias dos efeitos principais para todos parâmetros estudados, utilizando material prima de granulometria  $-45+15\ \mu\text{m}$ .



**Figura 4 - Gráficos dos efeitos principais sobre a velocidade das partículas.**

Os resultados mostram que, em relação aos fluxos dos gases de combustão, existe uma tendência de aumentar a velocidade e a temperatura das partículas para as maiores quantidades de fluxo de gás oxigênio ( $\text{O}_2$ ) e acetileno ( $\text{C}_2\text{H}_2$ ), bem como para maiores quantidades de fluxo total. Isso mostra que a medida de redução de oxigênio na chama como meio de reduzir a oxidação do revestimento reduz a temperatura das partículas, podendo resultar no aumento de porosidade devido a diminuição da molhabilidade das partículas.

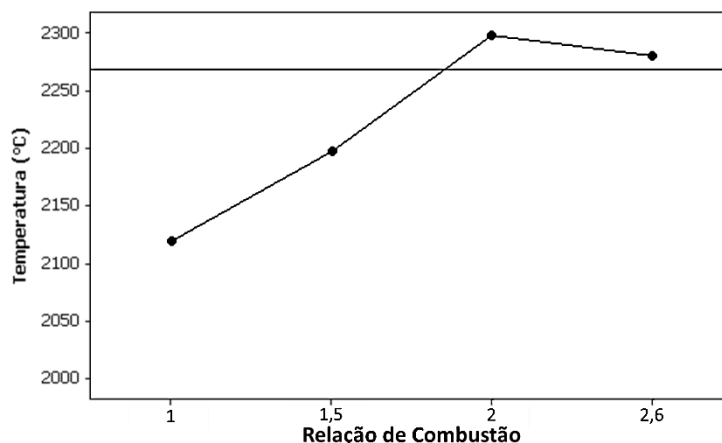


**Figura 5 - Gráficos dos efeitos principais sobre a temperatura das partículas.**

O gás de transporte ( $\text{N}_2$ ) tem maior efeito na velocidade, mas de um modo geral, com o aumento do seu fluxo tem-se um aumento de temperatura e velocidade das partículas.

A taxa de alimentação de pó apresenta pouca influência sobre a velocidade, porém para menores taxas há uma pequena tendência de aumento de temperatura das partículas.

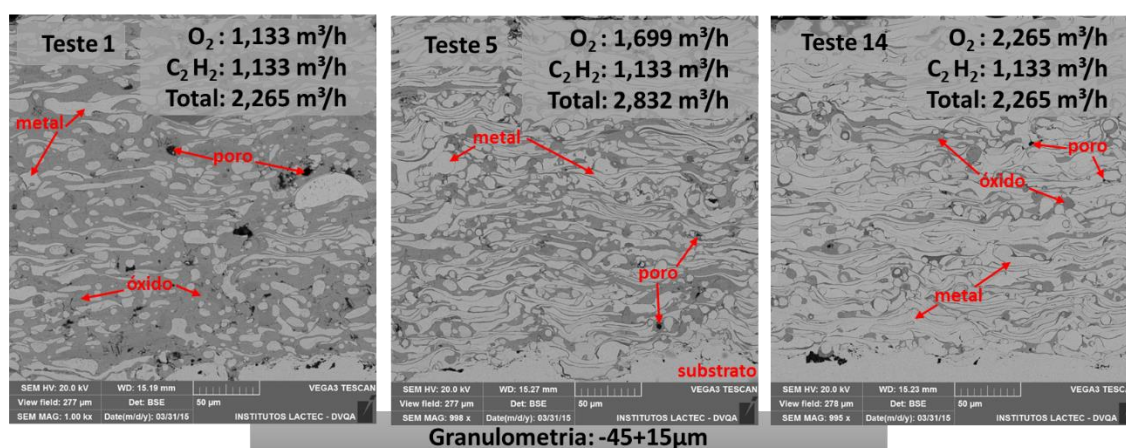
A Figura 6 apresenta o gráfico das médias dos efeitos principais para relação entre os gases de combustão, neste é possível verificar o grande efeito sobre a temperatura, sendo evidente a influência da quantidade de oxigênio da mistura de combustão na temperatura das partículas.



**Figura 6 - Gráfico dos efeitos principais da relação de combustão sobre a temperatura das partículas.**

A Figura 7 mostra a morfologia da seção transversal dos testes 1, 5 e 14, onde é possível comparar o efeito da redução do fluxo de oxigênio para um mesmo fluxo de acetileno, ou seja, redução do fluxo total. O nível de oxidação interlamelar aumentou com a redução de oxigênio. É possível que este evento tenha ocorrido devido a uma soma de fatores:

- A falta de oxigênio na reação de combustão é balanceada pelo oxigênio atmosférico. Sendo assim, devido à falta de oxigênio na mistura, a reação de combustão se propaga por uma distância maior, o que pode gerar uma grande atmosfera onde ainda há oxigênio à queimar, prolongando o tempo de exposição das partículas quentes em voo a essa atmosfera.
- A redução do fluxo total poder diminuir a turbulência dos gases na câmara de mistura, o que poderia aumentar a possibilidade de haver oxigênio livre após o primeiro estágio da queima.
- Menor fluxo total gera uma redução de velocidade de partícula, aumentando o tempo de exposição das partículas quentes em voo nesta atmosfera oxidante.



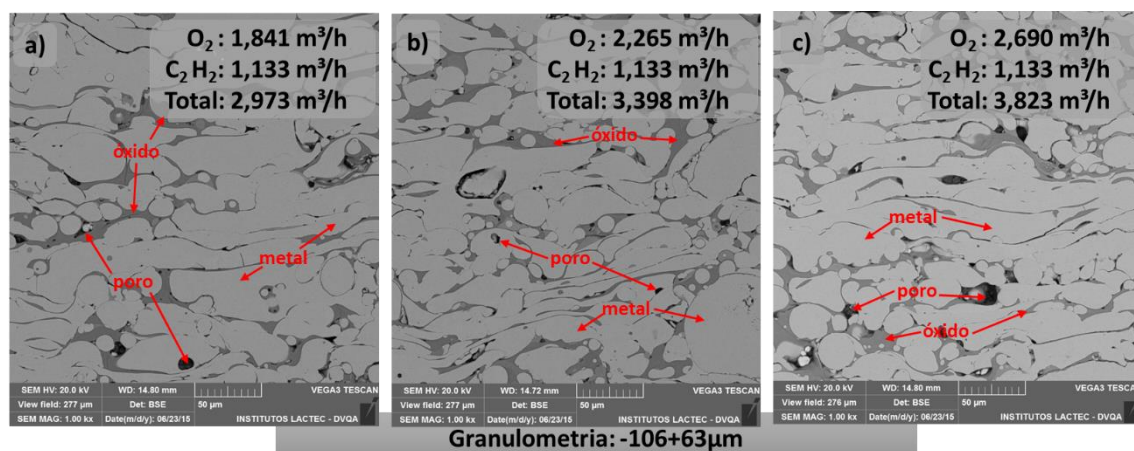
**Figura 7 - Morfologia da seção transversal dos testes 1, 5 e 14 com granulometria -45+15 µm.**

Adicionalmente, foram realizados alguns testes com diferentes granulometrias para verificar sua influência sobre o teor de óxidos. Os parâmetros utilizados para estes testes foram baseados no experimento anterior, onde foi observada uma redução de teor de óxidos para maiores valores de fluxo de oxigênio e fluxo total. Foram utilizadas combinações de parâmetros com maior fluxo de oxigênio, com o objetivo de testar o efeito combinado do aumento da relação de combustão com o aumento do fluxo total, em um pó de granulometria -106+63 µm.

A Figura 8 mostra a morfologia da seção transversal dos testes adicionais. Esses resultados apresentam a grande influência da granulometria sobre o teor de óxidos interlamelares. O revestimento da Figura 8 (a) foi preparado com



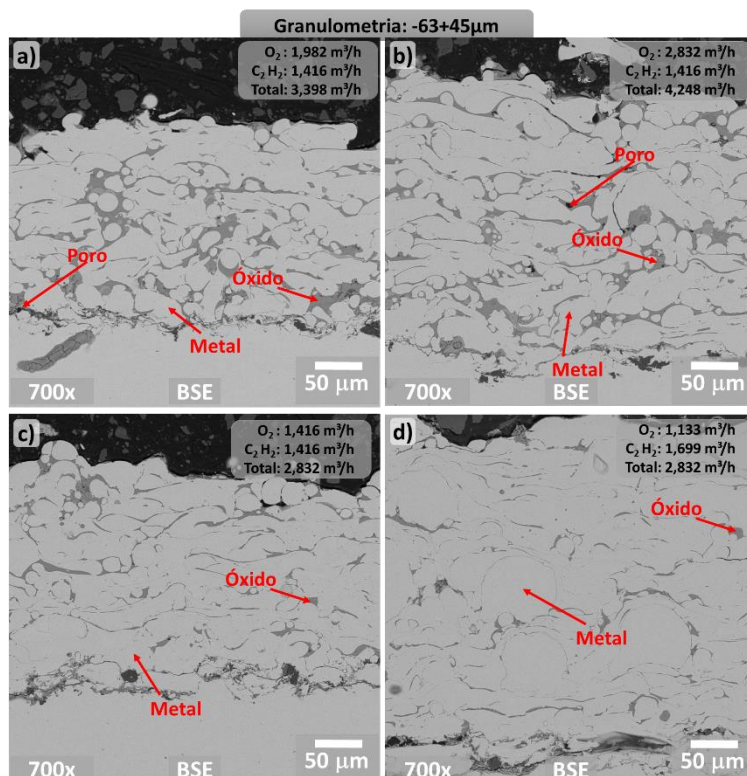
parâmetros muito similares aos utilizados no teste 5 (Figura 7), se diferenciando apenas e um acréscimo de 0,142 m³/h de oxigênio, porém há uma grande diferença morfológica entre esses revestimentos, sendo evidente a grande redução do teor de óxidos interlamelares, porém houve um aumento de porosidade.



**Figura 8 - Morfologia da seção transversal dos testes com granulometria -106+63 µm.**

O aumento do fluxo de oxigênio e fluxo total não gera grande influência no teor de óxidos, apenas é observado uma pequena redução de espessura das lamelas para as condições de maior fluxo total (Figura 8 b) e c)). Isto é o efeito do aumento de velocidade de partícula devido ao aumento de velocidade de propagação dos gases de combustão, gerado pelo aumento de fluxo.

Um teste de confirmação final foi realizado com a matéria prima de granulometria intermediária, -63+45 µm, a fim de conseguir uma combinação dos benefícios de redução do teor de óxidos sem aumentar a porosidade do revestimento. Neste experimento foi testado novamente algumas relações de oxigênio/combustível e fluxo total. Os revestimentos resultantes deste teste são apresentados na Figura 9, que mostra a morfologia da seção transversal dos testes finais.



**Figura 9 - Morfologia da seção transversal dos testes de confirmação com granulometria -63+45 µm.**

A Figura 9 mostra que é possível obter, para esta granulometria e com fluxo total em 2,832 m<sup>3</sup>/h, uma grande redução do teor de óxidos interlamelares, bem como de porosidade.

Este último teste reforça os efeitos das combinações de relação de combustão sobre a morfologia dos revestimentos obtidos por aspersão térmica chama-pó, onde a RC carburante, ou seja, pobre em oxigênio, produzem revestimentos de menores teores de óxidos. Isso ocorre devido à temperatura da partícula não sofrerem redução significativa com a redução do fluxo do oxigênio, conforme visto pelas análises apresentadas nas figuras 4, 5 e 6. Porém, por não haver grande redução do fluxo total dos gases, ainda há turbulência no fluxo dos gases suficiente para garantir a mistura e queima completa, não sobrando oxigênio para oxidar as partículas fundidas ou superaquecidas.

#### 4. CONCLUSÃO

Observando os resultados encontrados nos testes realizados foi possível destacar em uma primeira análise que todos os parâmetros utilizados no processo interferem sobre a oxidação nos revestimentos, bem como na sua morfologia. No entanto, destacam-se o tamanho da partícula aspergida, o tipo de chama utilizada e o fluxo total, sendo que o melhor desempenho quanto à redução dos óxidos foi obtido no Teste 23, onde combinou-se uma chama carburante com uma faixa estreita de tamanho de partículas aspergida.

Nota-se, para o processo de aspersão térmica chama pó, que o principal mecanismo de oxidação é o ponto 2 da Figura 1, ou seja, o momento em que as partículas em voo passam pela chama, pois a partir do controle da atmosfera desse ponto foi possível reduzir significativamente o teor de óxidos interlamelares.

Sendo assim, este estudo mostra que, através do controle dos parâmetros de fluxo dos gases de combustão, foi possível reduzir drasticamente o teor de óxidos e poros no revestimento pelo processo chama pó.

Conclui-se também que uma nova fase de estudos deve ser iniciada. O objetivo desta nova fase é uma análise quantitativa no tocante a formação dos óxidos e dos poros. Desta forma será possível comparar o processo chama pó com os demais processos de Aspersão Térmica.

#### 5. REFERÊNCIAS

- ASM, American Society for Metals, 2004, "Handbook of Thermal Spray Technology", Materials Park, OH, Estados Unidos, ASM Handbook.
- ASTM E1920, 2008, "Standard Guide for Metallographic Preparation of Thermal Spray Coatings. American Standard of Testing Materials." Est Conshohocken.
- AWS, American Welding Society, 1985, "Thermal Spray: practice, theory, and application", Florida, Estados Unidos.
- Bordalo, S. N., Ferziger, J. H. and Kline, S. J., 1989, "The Development of Zonal Models for Turbulence", Proceedings of the 10th Brazilian Congress of Mechanical Engineering, Vol. 1, Rio de Janeiro, Brazil, pp. 41-44.
- Clark, J. A., 1986, Private Communication, University of Michigan, Ann Harbor.
- Coimbra, A.L., 1978, "Lessons of Continuum Mechanics", Ed. Edgard Blücher, São Paulo, Brazil, 428 p.
- Lee, Y. B., 2003, "Studies on the growth of the frost layer based on heat and mass transfer through porous media", Ph.D. thesis, Seoul National University, Seoul.
- Lima, C.C., Trevisan, R., 2007, "Aspersão Térmica Fundamentos e Aplicações", Artliber Editora, São Paulo, Brasil.
- Paredes, R. S. C., 1998, "Estudo de revestimentos de alumínio depositados por três processos de aspersão térmica para a proteção do aço contra a corrosão marinha", Tese de doutorado. UFSC.
- Shiefler, M.F.O., Buschinelli, A.J.A., Gartner, F., Voyer, J., Kreye, H., 2002, "Estudo Eletrolítico e Microestrutural de Revestimento Aspergido Termicamente para Proteção do Aço Contra Corrosão Marinha", Procedencia do 6º Conferência sobre Tecnologia dos Materiais e 22º Congresso Brasileiro de Corrosão, Salvador, Brasil, pp.
- Soviero, P.A.O. and Lavagna, L.G.M., 1997, "A Numerical Model for Thin Airfoils in Unsteady Motion", RBCM- J. of the Brazilian Soc. Mechanical Sciences, Vol. 19, No. 3, pp. 332-340.
- Sparrow, E.M., 1980, "Forced Convection Heat Transfer in a Duct Having Spanwise-Periodic Rectangular Protuberances", Numerical Heat Transfer, Vol. 3, pp. 149-167.
- Sulzer Metco, 2012, "Martensitic Stainless Steel Powders for Thermal Spray: Metco 42C, Diamalloy 1002", Material Product Data Sheet.
- Wainer, E., Brandi, S. D., Mello, F., D., H., 2011, "Soldagem: Processo e Metalurgia", Ed. Edgard Blücher, São Paulo, Brasil, pp 180-186.

#### 6. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

## OPTIMIZATION OF FLAME SPRAY POWDER PROCESS PARAMETERS IN THE PERFORMANCE OF FECRMNSIB COATINGS



Pedro Polato Bites Costa, pedro.bites@gmail.com<sub>1</sub>  
Gustavo Bavaresco Sucharski, gustavobavaresco@gmail.com<sub>1</sub>  
Wagner Chiesorin Uhlmann, wuhlmann@hotmail.com<sub>1</sub>  
Hélio Padilha, padilha.helio@gmail.com<sub>1</sub>  
Ramón Sigifredo Cortés Paredes, ramoncparedes@gmail.com<sub>1</sub>

<sub>1</sub>Federal University of Paraná, Post-graduate Program in Mechanical Engineering (PG-Mec), Block IV, Technology Sector, Polytechnic Center of UFPR, Mail Box 17011, ZIP Code 81531-980, Curitiba, Paraná, Brazil

**Resumo:** *This work is a study about the influence of the flame spray (FS) parameters into mechanics of coatings oxidation. The research material was a FeCrMnSiB type experimental stainless steel alloy. Due to the versatility and low cost of the FS process, the authors intent to achieve similar results to the coatings obtained from HVOF (High Velocity Oxi-Fuel), considering the process FS-powder usually performs poorly about oxidation levels of the coating. The bibliography presents four basic oxidation mechanics: oxygen rich combustion flame, inflight particles, compressed air involving the particle's transference zone, air exposition on the coating. Transverse section coating morphology studies by MEV and EDS were used in the experiments; Influence of the granulometry in oxidation; the particles temperature and speed influence during flight, collected through DPV eVOLUTION. To this purpose, a series of parameter combinations were defined based on the limitations of the equipment. The combinations explored different relations and the combustion gas flux (low oxygen, neutral and oxidant); Feeding rate of the powder; aspiration distance; and Granulometry of the powder to be sprayed. As the main conclusions may be included the strong influence of whole combustion gases and the granulometry, which allowed the knowledge of main oxidation mechanisms and the possibility to obtain stainless steel alloy coatings with low oxide rate and reduced porosity with the flame spray process.*

**Keywords:** *thermal spray, oxidation, coatings, combustion*