

Análise microestrutural de revestimento à base de WC-Co (17%), obtidos pela técnica de aspersão térmica

A.B.C. Arnt

Doutora, Professora da Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC, e-mail: anb@unesc.rct-sc.br

Resumo

Neste trabalho revestimentos à base de WC-Co (17%), obtidos pela técnica de aspersão térmica foram caracterizados de acordo com seus aspectos microestruturais. Na técnica de aspersão térmica, os materiais são aquecidos e lançados a um substrato num estado de alta plasticidade. Ao mesmo tempo que alteram a superfície do substrato, não sofrem alterações em suas propriedades. Os revestimentos à base de WC-Co (17%) foram aspergidos em dois substratos distintos (aço e ligas de alumínio – AA7075). As superfícies revestidas foram submetidas a testes de desgaste e análise microestrutural. A morfologia resultante destes revestimentos mostrou uma discreta porosidade e uma expressiva coesão entre as partículas de WC-Co (17%).

Palavras-chave

Análise microestrutural; revestimentos WC-Co; aspersão térmica.

Abstract

In this work WC-Co(17%) coatings deposited using thermal spray techniques (*HVOF*) were characterized according to their microstructural aspects. The thermal spray techniques, in which materials are heated and propelled onto a substrate in high plasticity state, has been used for material surface modification; at the same time, no modification of their properties are observed. WC-Co(17% wt) composites were sprayed over substrates (steel and AA 7075 aluminum alloy); after the surface treatment, only half the samples were submitted to wear testing; all samples (treated and not treated) were submitted to microstructure analysis. The resultant morphology of the coatings showed low porosity and the WC-Co(17% wt) particles were strongly bonded.

Key words

Microstructural analysis; WC-Co coatings; thermal spray.

Introdução

No processo de aspersão térmica (*thermal spraying*), as partículas do material são aceleradas, aquecidas e projetadas sobre um substrato, sob a forma de pó, fio ou vareta. Quanto mais homogêneas as partículas em suas propriedades, mais sob controle serão obtidas as propriedades finais do revestimento produzido por aspersão térmica.

Durante sua trajetória na chama, as partículas pequenas são lançadas na zona de menor temperatura (periferia da chama), em contrapartida, as partículas grandes não conseguem atingir um estado de alta plasticidade, não se espalham convenientemente sobre o substrato, ou sobre as lamelas já depositadas, favorecendo o surgimento e aumento de porosidade.

Esta técnica é empregada para modificar as propriedades da superfície dos materiais quanto à resistência, ao desgaste, à corrosão, ou outras propriedades específicas, como condutividade térmica (barreiras térmica), biocompatibilidade para implantes e próteses humanas, revestimentos lubrificantes ou, simplesmente, em restauração dimensional de peças ou componentes.

As propriedades finais dos revestimentos estão em função da microestrutura e composição, as quais são determinadas pela escolha correta do pó a ser aspergido e da técnica adequada de aspersão.

A microestrutura típica dos revestimentos aspergidos termicamente é constituída de lamelas, resultantes do choque e espalhamento das partículas contra o substrato (na interface revestimento/substrato) e na sobreposição de lamelas, dando a espessura ao revestimento. Entre as lamelas, há vazios (poros), característicos de revestimentos aspergidos termicamente. Sua variação está associada aos parâmetros de processos como fonte de energia, distância de projeção, pré-aquecimento do substrato e espessura da camada depositada, compatibilidade entre as propriedades físicas, químicas e mecânicas dos materiais. A escolha de qualquer material como revestimento, sua maior ou menor aplicabilidade, está relacionada com a formação da microestrutura, onde ficam definidas as reais vantagens alcançadas com a *Engenharia de Superfície*, na busca de maior vida útil para materiais revestidos e submetidos às mais diversas formas de solicitações ou esforços ⁽¹⁾.

O principal fator para a determinação da qualidade de um revestimento produzido por aspersão térmica é a aderência entre o substrato e o material depositado. Normalmente, a aderência ocorre por um agarramento mecânico do revestimento na rugosidade da superfície do substrato e é extremamente dependente das propriedades mecânicas do substrato. Fatores como a natureza e preparação do substrato, pré-aquecimento e o resfriamento do substrato após a aspersão, variação da distância de aspersão e o uso de revestimentos intermediários, com a finalidade de diminuir as tensões térmicas residuais provocadas por materiais com diferentes coeficientes de expansão térmica exercem grande influência ⁽²⁾.

1. Equipamento

Na aspersão hipersônica (*HVOF- high velocity oxy-fuel*), a queima do combustível com oxigênio ocorre dentro de uma câmara na pistola de aspersão. Os combustíveis mais empregados são querosene e hidrogênio. É o método de deposição mais indicado para pós metálicos e ligas de baixa fusão. Devido à elevada pressão dentro da câmara de combustão, a velocidade da chama chega, algumas vezes, à velocidade do som. Da mesma forma, as partículas injetadas na chama são aceleradas, chegando a atingir velocidades em torno de 2.000m/s. Em relação ao plasma, porém, a chama atinge temperaturas menores; por exemplo, 2.600°C utilizando querosene como combustível⁽¹⁾.

Na Figura 1 está representado esquematicamente o processo de aspersão térmica *HVOF*.



Figura 1 - Representação esquemática do processo de aspersão hipersônica⁽³⁾.

Com altas velocidades de combustão, a descarga do jato pode acelerar a partícula (pó) a uma velocidade alta. O tamanho da partícula é um parâmetro na determinação e extensão do estado de alta plasticidade, como também na velocidade de impacto no substrato. Devido às moderadas temperaturas de operação empregadas neste processo, a homogeneidade da distribuição granulométrica é um fator primordial para a obtenção de revestimentos com alta qualidade⁽⁴⁾. Os revestimentos obtidos apresentam elevada densificação devido à intensidade do choque das partículas com o substrato, baixo *stress* na camada do revestimento e elevada aderência⁽⁵⁾.

MATERIAL ASPERGIDO

Os revestimentos à base de WC-Co (17%) são, via de regra, aspergidos por HVOF. Apresentam alta dureza e elevada resistência ao desgaste. A qualidade dos revestimentos obtidos com o uso de sistemas à base de WC não depende somente da composição de fases, mas também do processo de fabricação do pó.

A resistência ao desgaste destes materiais está associada a sua maior tenacidade (da matriz) e elevada dureza (dos grãos de carbetos de tungstênio). São também empregados onde há desgaste por atrito, até temperaturas de aproximadamente 500°C. Carbetos combinados com metais apresentam melhora na resistência da ligação à oxidação e na tenacidade⁽⁶⁾. A função básica do Co é proteger o núcleo de carbetos contra a oxidação e perda de carbono. O uso como revestimentos aspergidos proporciona à superfície revestida excelente proteção contra o desgaste e ruptura.

O principal cuidado é a prevenção de formação de fases não desejadas durante o processo⁽⁷⁾. O mais efetivo caminho é achar o limite da temperatura e pressão, já que as transformações podem degradar as propriedades do WC.

Fatores secundários como velocidade relativa entre a peça de trabalho e a pistola de aspersão, resfriamento da peça de trabalho, distância do *spray* e ângulo de impacto das partículas aspergidas podem ser manipulados para a otimização das características do jato, quando objetiva-se a obtenção de revestimentos de WC-Co submetidos a situações de desgaste.

A microestrutura, fases e composição química dos revestimentos diferem a partir dos pós. Isso é devido ao complexo fenômeno físico-químico que ocorre no fluxo da chama, com parcial ou total decomposição dos carbetos, e sua dissolução em metais fundidos, além da evaporação e oxidação dos carbetos, dissolvidos, a fusão como também a precipitação de carbetos secundários a partir da fusão durante o resfriamento do material no substrato da superfície fria. A ligação é baseada na aderência mecânica do revestimento, na rugosidade da superfície do substrato, e é extremamente dependente das propriedades mecânicas do substrato.

Devido à alta energia térmica no jato produzido pelo processo de HVOF, a distância é importante para a quantidade de energia térmica junto à peça de trabalho. Por apresentarem alta velocidade, as partículas aspergidas produzem revestimentos extremamente densos. Sabe-se que fatores secundários como método de aspersão, condições de aspersão e propriedades dos materiais de partida podem modificar as propriedades dos revestimentos⁽⁸⁾.

2. Materiais e métodos

Os depósitos com o material à base de WC-Co(17%) (1344T-TAFA, dureza 2200HV) foram obtidos com a técnica de aspersão hipersônica (HVOF) com espessura de 0,5mm. Os parâmetros operacionais foram regulados de acordo com as especificações do fabricante. Os corpos-de-prova, independente do substrato usado, sofreram o mesmo preparo. A superfície foi primeiramente limpa, lixada e após sofreu um jateamento abrasivo (grãos de alumina), com o objetivo de proporcionar uma rugosidade superficial. A deposição foi realizada em cabine com exaustão e proteção acústica.

Antes da deposição propriamente dita, os substratos (aço 1020 e AA76075) sofreram um pré-aquecimento de 30 segundos, com temperaturas de aproximadamente 120°C (com a chama da própria pistola), a fim de minimizar os efeitos de tensões de resfriamento.

Os corpos-de-prova de aço 1020 revestidos sofreram desgaste (através de um abrasímetro –*Thüringer Industriewerk Rauerstein*); como meio de desgaste foi utilizada uma lixa de granulometria 120mm (Norton R818). Os ensaios foram realizados à temperatura ambiente e a seco; o tempo do ensaio foi de 50 segundos e para manter a mesma capacidade de abrasão foi utilizada uma lixa (450 x450 mm²) para cada ensaio. A pressão de contato entre o corpo-de-prova e lixa foi de aproximadamente 0,1 MPa.

Os corpos-de-prova de AA7075 sofreram desgaste em pino em disco – ASTM G999/95. Ambos os corpos-de-prova sofreram análise morfológica (PHILIPS, modelo XL20).

3. Resultados e discussão

Nas Figuras 2 e 3 pode-se comparar a microscopia de topo do WC-Co(17%) em aço 1020 e AA7075, respectivamente.

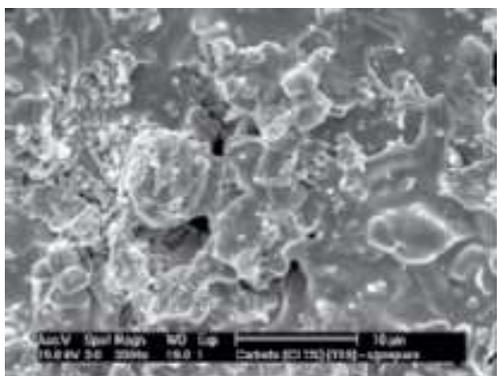


Figura 2 – Micrografia de topo do WC-Co (17%), obtido por HVOF em substrato de aço 1020.

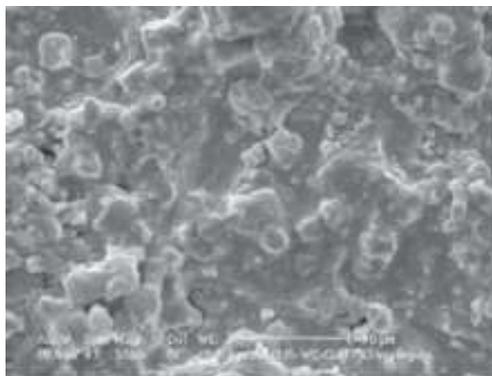


Figura 3 – Micrografia de topo do WC-Co(17%), obtido por HVOF em substrato de AA7075.

Pela observação das duas micrografias, pode-se dizer que há pouca alteração no aspecto final do revestimento aspergido. A presença da matriz metálica de Co promove, no revestimento, uma base elástica. Há uma discreta porosidade nos dois revestimentos, característica da técnica de HVOF.

Alterações provenientes da coesão de lamelas já depositadas, com lamelas incidentes, podem estar associadas à inexistência de controle dos parâmetros de operação do equipamento, preparação do substrato e qualidade do pó utilizado como revestimento.

Como salientado anteriormente ⁽⁷⁾, deve-se ter o cuidado de prevenir a formação de fases que possam degradar as propriedades finais do revestimento, com o controle de temperatura e pressão (parâmetros de operação).

Na Figura 4, encontra-se a análise por EDS, do revestimento aspergido. Há maior presença

de W, acompanhada de discreto percentual de Co. A homogeneidade da composição está associada às propriedades do pó utilizado. Com o uso de sistemas WC+Co sinterizados e triturados, aplicados por HVOF, a distribuição do carreto é pouco afetada, há pouca formação de fases indesejáveis e são mais resistentes ao desgaste.

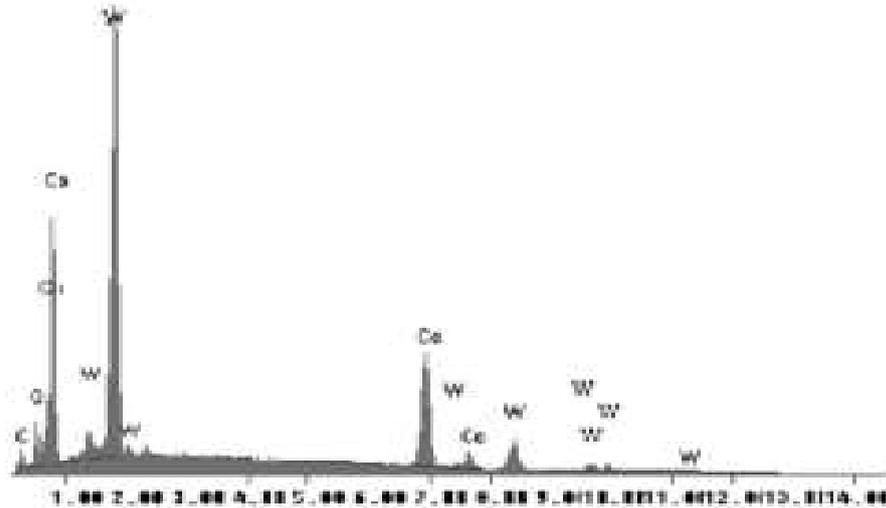


Figura 4 - Espectro do revestimento WC-Co(17%) aspergido por HVOF.

É importante salientar que a resistência ao desgaste destes revestimentos está associada a maior tenacidade da matriz e à elevada dureza dos grãos de carreto de tungstênio (11285,4 MPa, Microdurômetro, Buehler, carga 0,5Kg, indentação de 25 s).

Nas Figuras 5 e 6, estão apresentadas as morfologias do revestimento após procedimento de desgaste.

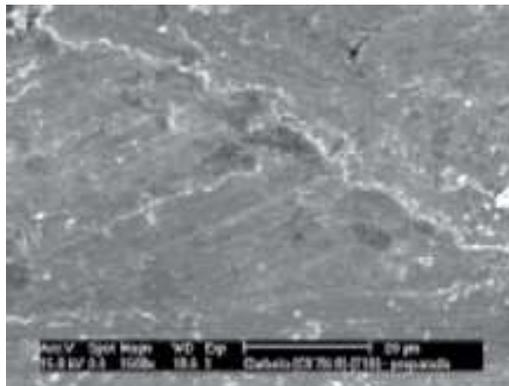


Figura 5 - Micrografia do WC-Co(17%), após desgaste por abrasímetro.

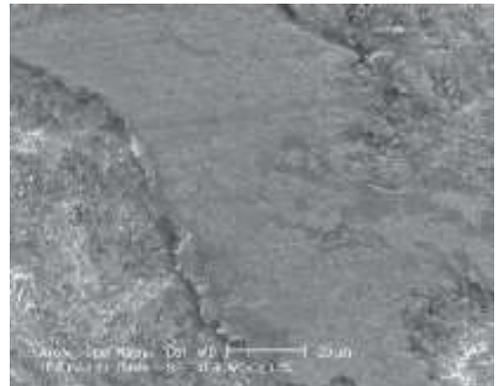


Figura 6 - Micrografia do WC-Co(17%), após desgaste por pino em disco.

Observando as duas micrografias, pode-se dizer que há um polimento da superfície, após o procedimento de desgaste, ficando mais acentuado, na Figura 6, possivelmente devido à superfície polida do próprio pino (metal duro, à base de WC, dureza de 3500 HV – 0.05).

Com a utilização da lixa como agente de desgaste, a superfície resultante apresenta maior descontinuidade, podendo ser atribuído à rugosidade do material. Com maior tempo de ensaio e maior velocidade de rotação do equipamento (47,5 rpm), provavelmente o aspecto final da micrografia se aproxime ao da Figura 6.

Com a carga de 10,8Kg, numa distância de 2400 m, não houve perda significativa de material. O desgaste foi de 0,0011mm³ em volume. Valores semelhantes foram obtidos com o abrasímetro, a perda média em volume de material foi de 0,0013 mm³, o que caracteriza a aplicabilidade do revestimento contra o desgaste abrasivo e adesivo. No primeiro caso (Figura 5), pode-se dizer que há primeiramente um preparo da superfície, ao mesmo tempo em que há um polimento, devido ao meio em que o desgaste se processa. No segundo caso (Figura 6), o aspecto final da superfície desgastada está diretamente relacionado ao agente causador do desgaste.

A rugosidade média do revestimento (*Ra-Taylor hobson Erg 9936*) foi de 188 µin.

Os revestimentos obtidos com a liga AA7075 apresentaram força de adesão substrato/revestimento superior a 7100 Psi (de acordo com padrões internacionais de aviação), o que é justificado pela aplicação deste revestimento em estruturas de aeronaves (motores, fuselagens e hélices).

Conclusões

Após análises microestruturais das superfícies aspergidas e desgastadas, pode-se chegar às seguintes conclusões:

1. A morfologia das lamelas de topo dos revestimentos aspergidos não apresentou alteração em relação aos substratos utilizados;
2. O procedimento de desgaste em revestimentos à base de WC-Co(17%) provoca um aspecto de polimento na superfície;
3. Pode-se dizer que o agente causador do desgaste influi no aspecto final de superfície desgastada dos revestimentos;
4. Independente do agente causador do desgaste, a perda em volume de revestimentos à base de WC-Co(17%) justifica a sua aplicação em situações de desgaste.

Agradecimentos

Ao laboratório de Materiais Cerâmicos (LACER – UFRGS), à Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC – Joinville e a Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul – PUCRS.

Referências Bibliográficas

- [1] ARNT, A.B.C. **Resistência ao Desgaste Abrasivo de Revestimentos Cerâmicos Aplicados por Aspersão Térmica**. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia, PPGEM, UFRGS, p.131, 1999.
- [2] VARDELLE, M; VARDELLE, A; LEGER, A.C; FAUCHAIS, P; GOBIN, D. **Influence of Particle Parameters at Impact on Splat Formation and Solidification in Plasma Spraying Processes**. Journal of Thermal Spray Technology, v.4, p.50-59, Mar. 1994.
- [3] ENGLAND, G. **Plasma thermal Spray Process**. Independent plasma. Metallurgist & Consultant to the thermal spray coating Industry, <http://members.ao.com/england.>, 30p, 1999.
- [4] POECH, M.H; ISFAHANI, S; OPIELKA, H. **Size distribution analysis of powders used for thermal spraying**. Thermal Spraying, pm, v.25, No.5, 1993.
- [5] FILLION, G. **Applying nickel-based alloys HVOF**. Welding Journal, 12p, Oct., 1992.
- [6] SCHWIER, G; BECZKOWIAK, J. **Advanced ceramic powders for thermal spray coatings and monolythic ceramics**. Elsevier Science Publishers B.V., High Performance Ceramic Films and Coatings, p.37-46, 1991.
- [7] BASINSKA – PAMPUCH, S; GIBAS, T. **Observations on some plasma-sprayed metal carbides**. Proceedings of the 3rd CIMTEC 3rd International Meeting on Modern Ceramics Technologies, 27-31-may, p. 201-207, 1976.
- [8] VUORISTO, P; NIEMI, A; MAKELA, A; MANTYLA, T. **Preparation, structure and wear properties of detonation gun sprayed WC and Cr₃C₂ based cermet coatings**. Proc. Int. thermal Spray Conference. DVS 152, p.310-313, 1993.