

AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA AO DESGASTE DE CAMADAS DE STELLITE 6 ASPERGIDAS PELOS PROCESSOS HVOF E LVOF

*Eduardo A.B. Arnoni¹
Luiz Carlos Casteletti²
Rafael Nucci¹*

Resumo

As super ligas à base de cobalto – Stellite – apresentam uma alta resistência à corrosão em diferentes meios aliada a uma elevada resistência ao desgaste, devido a presença de carbonetos e elementos que ocasionam o endurecimento da matriz de cobalto. A liga estudada foi o Stellite 6 com composição química nominal de 3%Fe, 28%Cr, 1%C, 4%W e Co-bal depositada pelo processo LVOF (Flame-Spray) e HVOF. Os diferentes processos de aspersão térmica geram camadas com características distintas. O desgaste abrasivo é uma situação encontrada em aplicações práticas em que as camadas originadas pelos diferentes processos operam. No presente trabalho avaliou-se o desempenho destas camadas sob desgaste abrasivo a três corpos (areia sobre roda de borracha), em condição seca. As camadas obtidas foram analisadas por meio de microscopia ótica, ensaios de microdureza e quantificação de porosidade.

Palavras-chave: Aspersão térmica; HVOF; Desgaste; Stellite.

¹ Eng. Mecânico OGRAMAC Ind. e Com. Ltda

² Prof. Associado da EESC-USP São Carlos-Brasil

³ Eng. Mecânico OGRAMAC Ind. e Com. Ltda.

1 INTRODUÇÃO

Aspersão térmica é o termo genérico usado para o conjunto de processos de recobrimento nos quais o material de revestimento é aquecido rapidamente em um meio gasoso, e simultaneamente projetado a alta velocidade sobre um substrato preparado, onde ele consistirá a camada desejada^[1].

O processo de aspersão térmica por HVOF (*High Velocity Oxygen Fuel*) é baseado em um sistema de combustão interna de alta pressão. Combustível e oxigênio são misturados para produzir um jato de gás supersônico que excede 2000 m/s e 2800°C. Os materiais a serem depositados, em forma de pó, são introduzidos no interior da chama, dentro do tubo de saída dos gases e podem produzir revestimentos sobre uma variedade ilimitada de substratos^[2]. Ao atingirem o substrato, as partículas fundidas/semi-fundidas deformam-se, espalham-se lateralmente e solidificam-se rapidamente para formarem as microestruturas típicas dos revestimentos obtidos por aspersão térmica via HVOF.^[3]

No processo de aspersão térmica LVOF (*Low Velocity Oxygen Fuel*), também conhecido como “*Flame Spray*”, a queima do Oxigênio e Acetileno fornece calor para fundir ou semi-fundir o material a ser depositado e ar comprimido é utilizado para atomizar e aspergir as partículas sobre a superfície a ser revestida. O material a ser depositado na forma de arame ou pó passa pela chama, e a força dos gases mais o ar comprimido aceleram e arremessam as partículas contra o substrato. As velocidades da partícula e dos gases estão abaixo da velocidade do som, o que gera uma menor aderência do revestimento e maior quantidade de óxidos.

As super ligas a base de cobalto denominadas Stellite são muito usadas na fabricação de componentes submetidos a condições de trabalho severas onde predominam situações de desgaste associadas ou não à corrosão. Apresentam também boa resistência à oxidação, devido ao seu alto teor de cromo (cerca de 30%) enquanto a dureza a quente é obtida por meio da formação de carbonetos complexos dos tipos Cr_7C_3 e $M_{23}C_6$.^[4]

Aplicações correntes das super ligas incluem uma grande variedade de usos tais como turbinas, processamento de metais, aplicações médicas, indústrias nucleares, químicas e petroquímicas.

Operações em turbomaquinaria e outros componentes hidráulicos, com uma larga faixa de aplicações, requerem a seleção materiais que podem reduzir economicamente a degradação por desgaste mecânico e a corrosão eletroquímica. A produção e refino do petróleo e a indústria de mineração representam condições muito severas, com a atuação conjunta de abrasão, erosão e corrosão^[4,5].

O baixo coeficiente de atrito das ligas Stellite permite o contato por deslizamento com outros metais, com desgaste mínimo, permitindo sua aplicação em condições onde não se pode utilizar lubrificação.

O processo de deposição por aspersão térmica garante maior controle da camada depositada se comparado a deposição por solda o que resulta em menor desperdício e menor tempo na usinagem posterior. O processo de aspersão via HVOF gera menores níveis de tensões residuais nas camadas depositadas e no substrato em comparação aos processos de aspersão por LVOF com posterior fusão ou solda.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Foram confeccionadas duas amostras em aço AISI 1020 (0,20C; 0,49Mn) nas dimensões de 200mm x 76mm x 9,5mm. Os revestimentos foram realizados na OGRAMAC Metalização. As amostras receberam preparação por jateamento abrasivo da superfície a ser aspergida até o grau Sa3, conforme procedimento interno da empresa, a fim de promover a limpeza da superfície e promover a rugosidade necessária para aderência. Realizou-se o revestimento em uma das faces de cada corpo de prova, pelos processos HVOF (equipamento JP-5000) e LVOF (equipamento Terodyn 2000). A liga de Stellite 6 utilizada no revestimento é fornecida em forma de pó, sendo o mesmo para ambos processos. Sua composição química nominal, conforme indicado pelo fornecedor é apresentada na Tabela 1. Os parâmetros utilizados para a aspersão no processo HVOF são apresentados na Tabela 2.

Tabela 1. Composição química do material depositado.

Porcentagem em peso dos elementos				
Co	Ni	W	Cr	Fe
bal	3	4	28	3

Tabela 2. Parâmetros utilizados para aspersão pelo processo HVOF.

Descrição	Unidades	Descrição	Unidades
Tamanho do canhão	203 mm	Pressão do oxigênio	1448 kPa
Distância de aspersão	355 mm	Vazão do oxigênio	65,4 l/h
Velocidade de alimentação	270 rpm	Pressão do querosene	1172 kPa
Pressão do nitrogênio	345 kPa	Vazão do querosene	18,9 l/h
Vazão de nitrogênio	0,74 l/h		

A preparação dos corpos de prova para análise metalográfica constou das seguintes etapas:

1. Corte na seção transversal, em um *cut-off* ;
2. Embutimento em baquelite;
3. Lixamento por lixa nas granulometrias 220, 320, 400, 600, e 1200;
4. Polimento com pasta diamantada, na seqüência de granulometria $6\mu\text{m}$ $>3\mu\text{m}$ $>1\mu\text{m}$.

Realizou-se análise metalográfica das amostras por meio de microscopia ótica. A aquisição de imagens foi realizada com uma câmera de vídeo *Sony* acoplada a um microscópio *Carl Zeiss*. A quantificação de porosidade foi realizada por meio de software.

O ensaio de microdureza foi realizado em um equipamento Buehler Micromet 2105 digital com carga de 200g.

A partir das amostras originais foram cortados corpos de prova em um *cut-off* nas dimensões de 25,4mm x 76mm para avaliação sob desgaste abrasivo a baixa tensão. Foi utilizado o ensaio de areia sobre roda de borracha conforme norma ASTM G 65 (Procedimento A) para avaliação do desgaste abrasivo, realizado em um ambiente seco, usando uma carga de 130 N e com velocidade de rotação de 200rpm por um período de 6000 revoluções por amostra. A quantificação de perda de massa foi realizada por pesagem das amostras antes e depois do ensaio. Através do valor de densidade mensurado para cada revestimento determinou-se a perda de

volume de material durante o ensaio para posterior comparação do desempenho dos revestimentos.

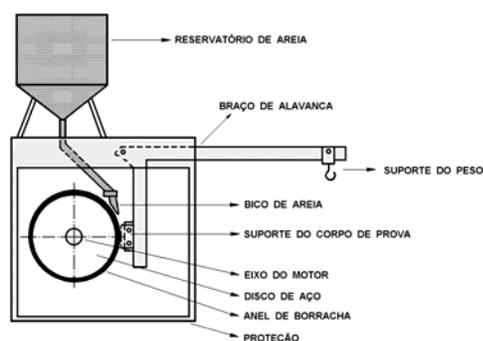


Figura 1. Esquema representativo do equipamento para ensaio de desgaste abrasivo a baixa tensão, ASTM G65-94 (1994).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As micrografias da liga de Stellite depositada pelo processo HVOF são apresentadas nas Figuras 1 e 3. Nas Figuras 2 e 4 ilustra-se as fotomicrografias das camadas da liga de Stellite 6 obtidas pelo processo de deposição por LVOF. Verifica-se que através do processo de deposição via HVOF obteve-se camadas com uma menor quantidade de óxidos entre as lamelas de material aspergido.

Através da análise de imagens verificou-se que o nível médio de porosidade encontrado nas camadas obtidas pelo processo HVOF é de 2,2%, sendo o máximo valor encontrado de 2,5% e o mínimo de 1,37%, dependendo da região analisada. A análise de imagens das camadas obtidas pelo processo de deposição por LVOF evidenciou a presença de uma maior quantidade de poros, se comparado ao processo HVOF, sendo o máximo valor encontrado de 4,9%, o mínimo de 4,12% e a média de 4,6%.

São apresentados nas Tabelas 3 e 4 os resultados do ensaio de microdureza nas camadas aspergidas pelo processo HVOF e por LVOF, respectivamente. Verifica-se uma maior homogeneidade dos valores encontrados para a camada aspergida pelo processo HVOF, enquanto que os valores obtidos para o processo LVOF apresentaram maior variação (até 151,6HV contra 103,2 para o processo HVOF). Os valores de microdureza encontrados na camada aspergida por HVOF também apresentaram-se superiores aos obtidos com o processo LVOF. As diferenças encontradas são provavelmente devidas à maior quantidade de óxidos, maior porosidade e degradação do material aspergido, presentes na microestrutura da camada aspergida pelo processo LVOF.

Na Tabela 5 são apresentados os parâmetros utilizados no ensaio de desgaste abrasivo de areia sobre roda de borracha. A Tabela 6 apresenta os resultados obtidos do ensaio de desgaste para cada condição estudada. Verifica-se, através dos dados de perda de volume, que a liga de Stellite 6 depositada por HVOF obteve o melhor desempenho. A menor resistência ao desgaste da liga depositada pelo processo LVOF deve-se à maior quantidade de poros e óxidos presentes entre os lamelas de material depositado, que reduz a força de coesão entre as partículas do revestimento e provavelmente a sua menor dureza. As Figuras 5 e 6 ilustram as

superfícies dos revestimentos realizados por HVOF e por LVOF, respectivamente, após o ensaio de desgaste.

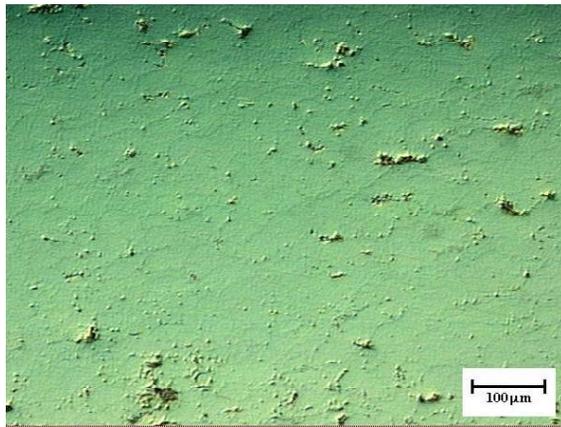


Figura 1. Fotomicrografia da superfície de Stellite depositada por HVOF.

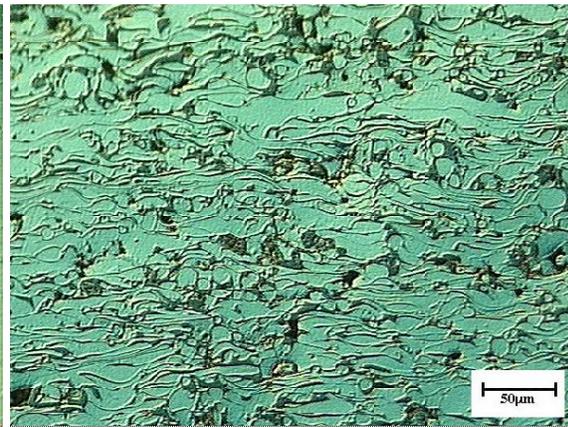


Figura 2. Fotomicrografia da superfície de Stellite depositada por LVOF.

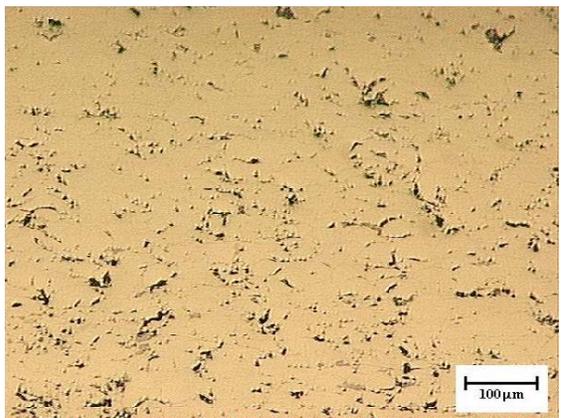


Figura 3. Fotomicrografia da superfície de Stellite depositada por HVOF.

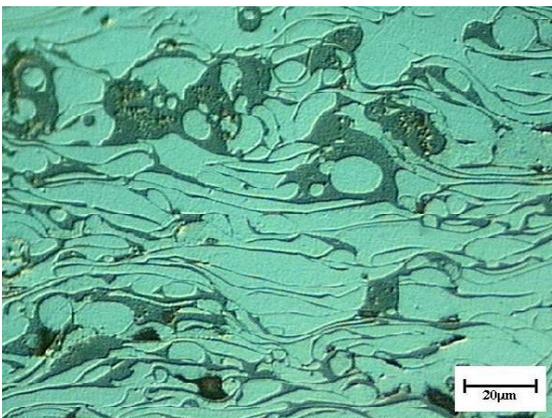


Figura 4. Fotomicrografia da superfície de Stellite depositada por LVOF.

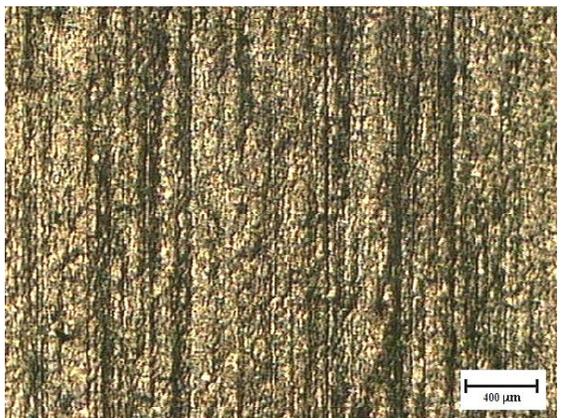


Figura 5. Fotomicrografia da superfície de Stellite depositada por HVOF após ensaio de desgaste.

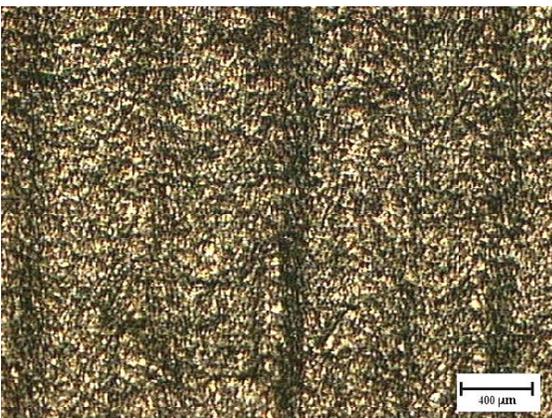


Figura 6. Fotomicrografia da superfície de Stellite depositada por LVOF após ensaio de desgaste.

Tabela 3. Valores de microdureza encontrados na camada de Stellite 6 depositada pelo processo HVOF.

Unidade	Microdureza					
HV	663,0	794,9	698,0	766,2	759,3	732,6
HRc	58,4	63,8	60,0	62,7	62,5	61,4

Tabela 4. Valores de microdureza encontrados na camada de Stellite 6 depositada pelo processo LVOF.

Unidade	Microdureza					
HV	579,4	610,3	607,9	565,9	628,0	476,4
HRc	54,1	55,8	55,7	53,3	56,7	47,4

Tabela 5. Parâmetros utilizados no ensaio de desgaste abrasivo de areia sobre roda de borracha.

Parâmetros Utilizados	
Dureza da Borracha (Shore A)	60
Diâmetro da Roda (mm)	203
Revoluções	6000
Vazão de Areia (g/min)	300 a 400
Carga (N)	130

Tabela 6. Resultados obtidos do ensaio de desgaste abrasivo de areia sobre roda de borracha para a liga de Stellite 6 depositada por HVOF e por LVOF.

Resultados Obtidos		
Material Ensaiado	Stellite 6 HVOF	Stellite 6 LVOF
Massa Inicial (g)	155,81727	153,80065
Massa Final (g)	155,61286	153,54100
Perda de Massa (g)	0,19441	0,25965
Densidade (g/cm ³)	7,86	7,35
Perda de Volume (mm ³)	24,7	35,33

A relação H_a/H_m , entre as durezas do abrasivo (H_a) e a do material (H_m), indica o comportamento do desgaste quanto a sua severidade. A dureza da areia é de aproximadamente $950HV^{[06]}$. Tem-se que a relação H_a/H_m para os revestimentos é próximo a 1,2. Segundo Hutchings^[07], a morfologia arredondada da partícula do abrasivo combinada a baixas tensões e a relação dureza abrasivo/material, menor que 1,5, proporciona um desgaste de média intensidade.

O mecanismo de desgaste predominante consiste no riscamento do material do revestimento pelo abrasivo, outro mecanismo atuante é a remoção de lamelas do revestimento pelo abrasivo. A deterioração da superfície desgastada apresenta indentações de várias dimensões, que são geradas pelo movimento de rotação do abrasivo entre as duas superfícies, característica do desgaste a três corpos, conforme observado nas Figuras 5 e 6.

4 CONCLUSÕES

A liga de Stellite 6 aspergida por diferentes processos resultou em camadas com diferentes propriedades.

Comparando-se ao revestimento depositado pelo processo LVOF, o revestimento de Stellite 6 obtido através do processo de HVOF apresentou-se mais denso devido ao menor índice de poros e menor nível de óxidos. Tais características

resultaram em uma camada mais homogênea, com maior dureza e melhor performance sob desgaste abrasivo de baixa tensão,

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [01] TAN J. C. ET AL, - *Component repair using HVOF thermal spraying*, Journal of Materials Processing Technology, 92-95, 1999, p. 203.
- [02] THORPE R. ET AL, - *HVOF Thermal Spray Technology*, Advanced Materials e Processes, 2000, p. 27-28.
- [03] PARKER D. W. ET AL, - *HVOF – Spray Technology – Poise for Growth*, Advanced Materials and Processes, 4, 1991, p. 6
- [04] METALS HANDBOOK, Wrought Superalloys, In Properties and selection: stainless steels, tool materials and special – purpose metals, 9th edition, v. 3, p. 207-267.
- [05] NEVILLE, A. & HODGKIESS, T., Characterisation of high-grade alloy behaviour in severe erosion-corrosion conditions. *Wear*, v. 233-235, p. 596-607, 1999.
- [06] ASM Handbook, *Friction, Lubrication and Wear Technology - Volume 18*, Edited by S.D. Henry, ASM International, 1992, page 192.
- [07] Hutchings, I.M., *Ductile–brittle transitions and wear maps for the erosion and abrasion of brittle materials*, J. Phys. D: Appl. Phys. 25, 1992 A212–A221.

WEAR RESISTANCE EVALUATION OF STELLITE 6 COATINGS THERMAL SPRAYED BY HVOF AND LVOF

*Eduardo A.B. Arnoni¹
Luiz Carlos Casteletti²
Rafael Nucci³*

Abstract

The super alloy cobalt based - Stellite - present a high resistance to the corrosion in different environments allied to a high resistance to the wear, due to carbides presence and elements that cause the hardening of the matrix of cobalt. The studied alloy was Stellite 6 with nominal chemical composition of 3%Fe, 28%Cr, 1%C, 4%W and Co-bal deposited by the process LVOF (Flame-spray) and HVOF. The different processes of thermal spray generate layers with different characteristics. The abrasive wear is a situation found in practical applications where the layers originated by the different processes operate. In the present work the performance of these layers was evaluated under abrasive wear (rubber wheel abrasion test), in dry condition. The obtained layers were analyzed through optic microscopy, microhardness and porosity quantification.

Key-words: Termal Spray, HVOF, Stellite; Wear.

¹ Eng. Mecânico OGRAMAC Ind. e Com. Ltda

² Prof. Associado da EESC-USP São Carlos-Brasil

³ Eng. Mecânico OGRAMAC Ind. e Com. Ltda.