

EFEITO DA DILUIÇÃO NA MICRODUREZA DE REVESTIMENTOS DE Ni-Cr-B-Si DEPOSITADOS POR LASER CLADDING

João Victor El-Hage Meyer Osório¹

Jurandir Marcos Sá de Sousa¹

Milton Pereira¹

¹Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Reitor João David Ferreira Lima, s/nº, Trindade-CEP 88040-900 Florianópolis-SC.

joaoosorio1@hotmail.com

marcos.jurandir@yahoo.com.br

eng.milton@gmail.com

Resumo. Na indústria, alguns aspectos geram grandes gastos para o setor, como o desgaste de componentes. Buscando suprir as necessidades industriais, visando aumentar os lucros e prolongar o tempo de vida de equipamentos, é recorrente o desenvolvimento de tecnologias capazes de reduzir estes problemas. Neste contexto, o presente trabalho avalia a resistência mecânica de revestimentos de Ni-Cr-B-Si depositados através do processo LASER cladding, avaliando aspectos de diluição, microestrutura e microdureza, no intuito de analisar a melhoria na resistência mecânica proporcionada pela adição dos revestimentos frente as propriedades do material de substrato. A partir dos resultados obtidos, notou-se o estabelecimento de variados níveis de diluição, sendo estes maiores nos revestimentos depositados com maior potência de feixe LASER. A diluição, por sua vez, exerceu efeito direto sobre as características de microestrutura, onde identificou-se três regiões distintas, cujo perfil de microdureza acompanhou esta variação.

Palavras chave: Desgaste de componentes. Diluição. Microdureza. LASER cladding. Ni-Cr-B-Si.

1. INTRODUÇÃO

Vários setores industriais sofrem com problemas relacionados ao desgaste de componentes. Neste viés, surge como possível solução dos problemas o revestimento da superfície de um substrato com uma liga metálica de maior resistência mecânica, a fim de obter propriedades mecânicas específicas. Neste procedimento, o LASER cladding é utilizado por apresentar um feixe altamente direcionado, alta potência e grande densidade de energia localizada, onde aliado a utilização de ligas de maior resistência como as que são constituídas a base de níquel (Ni), fornece simultaneamente resistência aos mecanismos de desgaste abrasivo e corrosivo, mesmo em altas temperaturas.

Recentemente, Toyserkani; Corbin; Khajepour (2005) e Davim (2013) destacaram que para o processo LASER cladding, três parâmetros são classificados como tendo maior influência sobre a qualidade do revestimento, sendo estes a potência do feixe (P_{FL}), velocidade de varredura (V_{VAR}) e taxa mássica de alimentação do pó ($\dot{m}$). Visando obter os parâmetros que melhor atendem à demanda de cada aplicação específica, é necessário parametrizar corretamente estas variáveis do processo, juntamente com a porcentagem de sobreposição (overlap). O resultado desta parametrização trará características de maior ou menor diluição do substrato no material de adição e a maior ou menor incidência de defeitos, como porosidades e falta de adesão metalúrgica do revestimento.

As ligas do grupo Ni-Cr-B-Si têm se destacado por suprir as demandas desejadas de resistência ao desgaste associado à resistência a corrosão. Marakov; Soboleva; Malygina (2017) ressaltam que os valores de dureza das fases de Ni-Cr-B-Si são muito superiores em comparação a matriz na qual estas são geralmente inseridas.

Deste modo, será feita uma análise das características mecânicas de uma liga de Ni-Cr-B-Si depositada pelo processo LASER cladding sobre substrato de aço carbono AISI 1020, abordando os aspectos de diluição, com sua influência na microestrutura e consequentemente microdureza do revestimento. O presente trabalho avaliará o efeito de três diferentes parametrizações do processo LASER cladding sobre o comportamento da liga quanto à resistência mecânica.

2. METODOLOGIA

Os procedimentos experimentais foram divididos em duas etapas:

Etapas 1: Deposição dos revestimentos via LASER cladding empregando diferentes parâmetros do processo.

Etapas 2: Avaliação da resistência mecânica dos revestimentos obtidos na Etapa 1, empregando análises de diluição, microestrutura e microdureza Vickers.

2.1. Deposição dos Revestimentos

Foram utilizadas três chapas retangulares (76,0 mm x 25,0 mm x 10,0 mm) de aço AISI 1020 como material de substrato. A liga Ni-Cr-B-Si 1545-00 (na forma de pó) fabricada pela Höganäs S.A (2018) foi utilizada como material de revestimento. Conforme indica a fabricante, a liga apresenta dureza na faixa de 446 a 484 HV₁, tamanho de partícula de pó de -106 + 53 µm e composição química (% peso) 0,3-0,4 (C); 2,0-3,4 (Fe); 7,5-10,0 (Cr); 1,7-2,0 (B); 3,3-3,9 (Si) e Ni (balanço).

Recentemente, Miguel; Guilemany e Vizcaino (2003), Houdková *et al.* (2014) e Natarajan *et al.* (2016) destacam que o uso das ligas de Ni-Cr-B-Si se justifica porque o Cr confere resistência ao desgaste e a corrosão em altas temperaturas, o B reduz o ponto de fusão da liga e o Si proporciona as propriedades auto fluxantes da liga, enquanto o C incrementa carbonetos resistentes ao desgaste.

Os revestimentos foram depositados utilizando uma fonte LASER de fibra (Yt-Ítrbio) do fabricante IPG PHOTONICS®, com potência máxima de 10,0 kW, utilizando como parâmetros fixos: taxa mássica de alimentação de pó de 11,2 g/min; diâmetro de feixe de 0,8 mm; overlap de 30%; vazão de gás argônio de 15 l/min.

A partir de uma série de ensaios realizados em um estudo prévio mais amplo, foram escolhidos conjuntos de parâmetros considerados estáveis para nortear o presente estudo. Assim, a potência do feixe LASER (P_{FL}) e velocidade de varredura (V_{VAR}) foram variados em três níveis diferentes, gerando as seguintes combinações de parâmetros: R1 (1,05 kW e 5,00 mm/s); R2 (1,40 kW e 21,70 mm/s) e R3 (1,75 kW e 30,00 mm/s). Os três substratos obtidos, conforme mostra a Fig. 1 foram revestidos com trilhas paralelas.

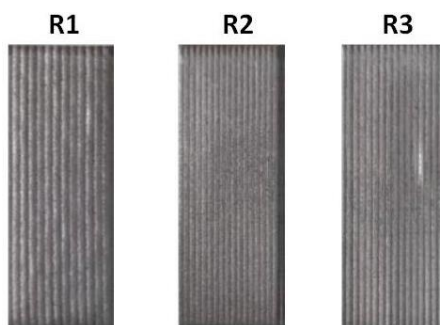


Figura 1. Revestimentos R1, R2 e R3 depositados.

2.2. Caracterização dos revestimentos

Após realizar a deposição, os três corpos de prova revestidos foram seccionados transversalmente em uma cortadora metalográfica CMR-60 e submetidas a um processo de lixamento (lixa 80, 220, 400, 600 e 1200 Mesh), seguido de polimento com alumina 0,3 µm e ataque químico por imersão em ácido nital 2,0% durante 3,0 s. As amostras foram conduzidas ao microscópio óptico LEICA EC3 OLYMPUS BX60M e ao microscópio eletrônico de varredura (MEV) HITACHI TM-3030, no intuito de obter as micrografias. Estas amostras foram utilizadas para mensurar diluição através do método geométrico.

A seguir, as seções transversais foram submetidas ao ensaio de microdureza Vickers utilizando o equipamento do fabricante SHIMADZU, modelo HMV-2TADW na escala HV₁ (carga de 10,0 N durante 10,0 s). O procedimento seguiu a norma ASTM-E92-17, que diz que a distância entre indentações deve ser igual ou superior a 2,5 vezes a diagonal da indentação. A Fig. 2 representa as indentações feitas na seção transversal.

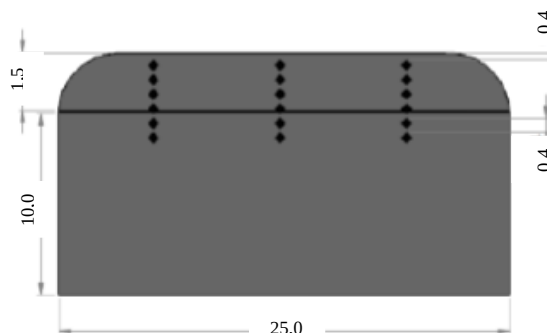


Figura 2. Representação das indentações na seção transversal.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Aspectos gerais dos revestimentos

Os parâmetros de deposição utilizados geraram revestimentos com bom acabamento de superfície e eficiente adesão metalúrgica do material de revestimento ao substrato, avaliada visualmente com auxílio de microscopia eletrônica de varredura (MEV). A largura das trilhas variou de acordo com a V_{VAR} , apresentando redução proporcional ao aumento da mesma. A Fig. 3 ilustra as seções transversais obtidas via MEV.

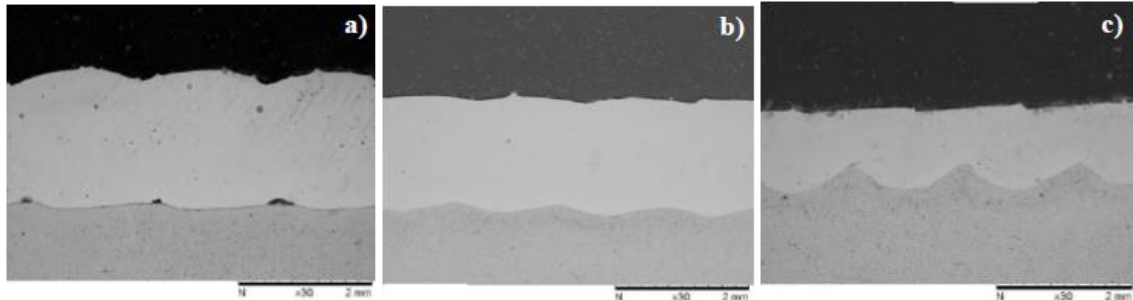


Figura 3. Imagem das seções transversais obtidas via MEV (30x) dos revestimentos: a) R1, b) R2 e c) R3.

As seções transversais também não revelam irregularidade na geometria das trilhas, inclusões ou trincas. Alguns pontos de porosidade podem ser observados na amostra R1, porém estes, dependendo da aplicação, podem não comprometer significativamente a integridade dos revestimentos. Como as respectivas discontinuidades são constatadas apenas em R1, conclui-se que a potência empregada neste não foi suficiente para fundir todo o pó adicionado, visto que a taxa de alimentação de pó foi mantida constante. Esta afirmação é corroborada por R2 e R3, que foram produzidos com potência mais alta e não apresentaram porosidade na seção transversal.

3.2. Diluição

Os valores de diluição apresentam-se crescentes segundo o incremento de P_{FL} e V_{VAR} , que foram os parâmetros de deposição variados: R1 (3,0%), R2 (5,0%) e R3 (23,0%).

Há certa complexidade para levantar afirmações na relação entre parâmetros de deposição e diluição. Como a $\dot{m}$ foi mantida constante, constatou-se que as maiores V_{VAR} utilizadas na deposição de R2 e R3 desfavoreceram a adesão do pó por unidade de tempo. Maiores valores de diluição apresentaram estrutura química com maior quantidade de Fe e menor concentração de Ni, caracterizando redução nas propriedades mecânicas desejadas com o incremento da liga ao substrato, o que poderia limitar as áreas de aplicação destes revestimentos. Autores como Chen *et al.* (2015) e Da Silva; D'Oliveira (2016) destacam que a presença de maior teor de Fe é diretamente associada à redução de dureza, resultado confirmado pelo presente trabalho.

O aumento da diluição também pode ser conferido a relação gradiente de temperatura / taxa de solidificação (G/R). Kou (2003) descreve que esta relação é mais elevada próximo a linha de fusão, caracterizada por uma frente de solidificação planar, que não apresenta precipitados e possui baixa resistência mecânica. Porém, a medida em que a solidificação prossegue, esta relação se inverte, cedendo lugar a um crescimento dendrítico. Esta característica é reportada por vários autores consultados, como Hemmati; Ocelík; De Hosson (2012), Chen *et al.* (2015) e Da Silva; D'Oliveira (2016), e também foi encontrada neste artigo.

3.3. Microestrutura e microdureza

Os aspectos de microestrutura são diretamente influenciados pelas características da liga e parâmetros de deposição. Entretanto, a microestrutura apresentada na Fig. 4 se repetiu nas três amostras ensaiadas. Na região de interface (Fig. 4a), é possível distinguir três diferentes regiões microestruturais distintas, sendo uma planar (região de elevada concentração de Fe localizada junto a interface com a linha de fusão), uma hipoeutética (região que também detém alto teor de Fe) e uma terceira região, que apresenta uma morfologia de crescimento colunar dendrítico (região destacada em amarelo, na qual a concentração de Fe é inferior as demais).

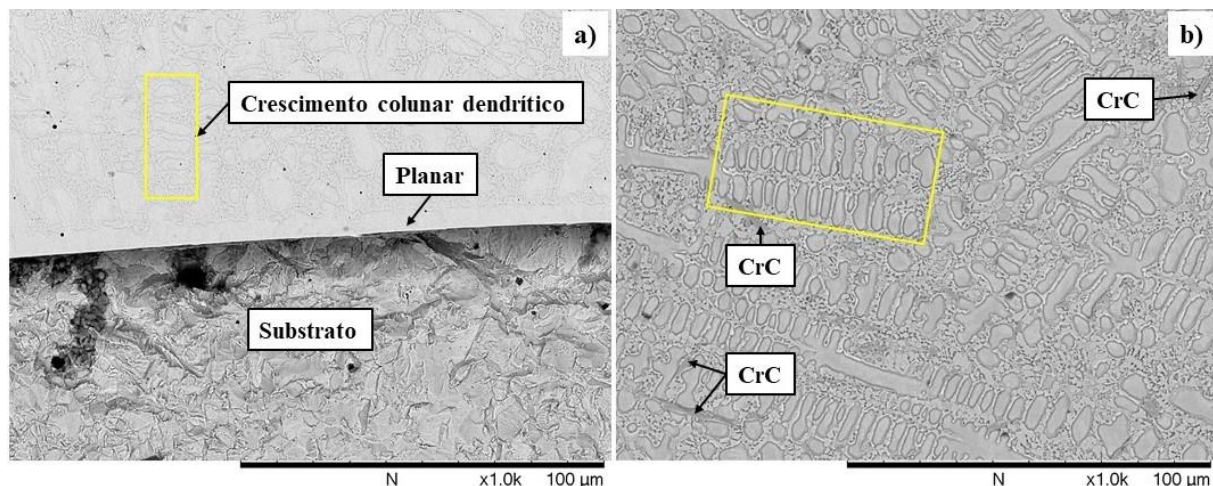


Figura 4. Microestrutura: a) região de interface substrato / revestimento e b) região central.

Todos os três revestimentos analisados apresentaram estas mesmas regiões de microestrutura. Porém, nos revestimentos de maior diluição, o maior teor de Fe proporciona o estabelecimento de maiores faixas planares (sem a presença de precipitados). Este resultado é corroborado por outros autores consultados, como Hemmati; Ocelík; De Hosson (2012) e Da Silva; D'Oliveira (2016). Uma outra justificativa para o aumento desta faixa está relacionada a relação G/R. Conforme destacado anteriormente, nas proximidades da linha de fusão, G é alto e R é baixo, ou seja, têm-se uma relação G/R elevada, que é caracterizada por uma região de solidificação planar. Porém, a medida em que prossegue o processo de solidificação, esta relação se inverte, cedendo lugar a uma região de crescimento dendrítico.

Os valores de microdureza obtidos nos revestimentos foram bastante superiores ao substrato de aço AISI 1020 (valor médio de microdureza do substrato - 153 HV). A Fig. 5 mostra graficamente os valores obtidos desde o topo do revestimento até atingir o substrato. O crescimento colunar dendrítico apresentado após o final da faixa planar é caracterizado por maior concentração e dimensão de fases de carbonetos de Cr (CrC). Estas fases, identificadas por análise química de EDX, podem ser indicadas como uma das principais influência sobre as médias de microdureza observadas, sendo que os revestimentos com maior quantitativo destas apresentaram maior microdureza. Em aplicações reais, a melhoria desta propriedade pode indicar maior tempo de vida ao componente submetido a uma condição severa de esforço e / ou desgaste. Basicamente todos os autores consultados reportam incremento de dureza nos revestimentos com maior concentração de fases de reforço.

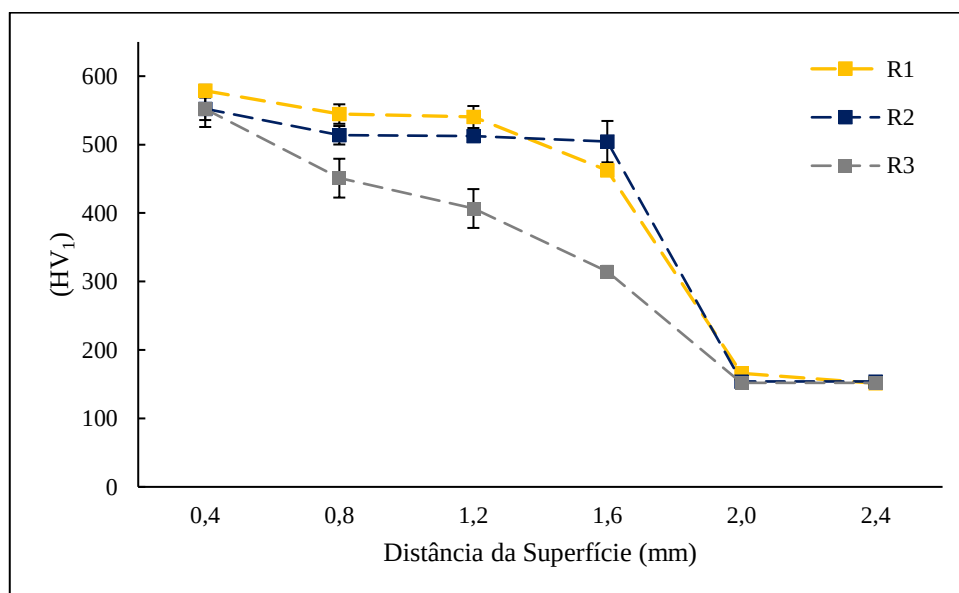


Figura 5. Perfil médio de microdureza

É possível observar na Fig. 5 que os valores de microdureza do perfil para as três diferentes amostras apresentam três patamares, seguindo diretamente a variação de microestrutura exibido na Fig. 4. Autores como Da Silva; D'Oliveira (2016) relatam resultados similares. R1, com a menor diluição e com presença de porosidades, apresentou uma

microdureza mais alta. R2, com diluição bem similar a R1, mas sem porosidade, apresentou microdureza bastante estável e uniforme na espessura do revestimento. R3, por outro lado, com a maior porosidade, foi a amostra que obteve a maior perda de microdureza na medida em que as medições se aproximaram do substrato, o que deve refletir significativamente na resistência à abrasão e à corrosão em comparação com as demais amostras.

Quanto a influência dos parâmetros de deposição do processo LASER *cladding*, há trabalhos na literatura que analisam a influência da variação de parâmetros separados. Um exemplo é o trabalho de Chen *et al.* (2015), que avaliaram a relação entre a V_{VAR} e os valores de microdureza dos revestimentos depositados e obtiveram maior média em revestimentos depositados com a maior V_{VAR} da faixa avaliada. Este resultado difere um pouco do presente artigo, porém, neste, os parâmetros foram avaliados em conjunto.

4. CONCLUSÕES

A partir do exposto, pode-se concluir com base nas análises de diluição, microestrutura e microdureza que o processo de revestimento de uma superfície com uma liga Ni-Cr-B-Si utilizando LASER *cladding* é apropriado para suprir a necessidade de aumentar a dureza da superfície do componente, atribuindo-lhe elevada resistência mecânica. Esta característica pode ser, em boa parte, conferida as fases de reforço que se precipitam, elevando a dureza e resistência dos revestimentos.

Desta forma, esta tecnologia pode ser desenvolvida e aprimorada para atingir níveis de produção que possam atender demandas industriais, uma vez que esta pode ser aplicada em inúmeras superfícies metálicas de componentes que sofrem efeito direto ou indireto de variados mecanismos de desgaste, reduzindo perdas econômicas e aumentando o tempo de vida destes componentes. A vantagem desta abordagem é a possibilidade de realizar deposições em regiões específicas de interesse nos componentes projetados, o que reduz drasticamente os custos de produção.

5. REFERÊNCIAS

- Chen, J. et al. Effect of the scanning speed on microstructural evolution and wear behaviors of laser cladding NiCrBSi composite coatings. *Optics & Laser Technology*, v. 72, p. 86-99, 2015.
- Da Silva, L. J.; D'OLIVEIRA, A. S. C. M. NiCrSiBC coatings: Effect of dilution on microstructure and high temperature tribological behavior. *Wear*, v. 350, p. 130-140, 2016.
- Davim, J. P. *Laser in manufacturing*. John Wiley & Sons, 2013. 306 p.
- Hemmati, I; Ocelík, V.; De Hosson, J. T. M. Dilution effects in laser cladding of Ni–Cr–B–Si–C hardfacing alloys. *Materials Letters*, v. 84, p. 69-72, 2012.
- Houdková, Š. et al. Properties of NiCrBSi coating, as sprayed and remelted by different technologies. *Surface and Coatings Technology*, v. 253, p. 14-26, 2014.
- Kou, S. *Welding metallurgy*. Book. John Wiley & Sons, 2003. 466 p.
- Makarov, A. V.; Soboleva, N. N.; Malygina, I. Y. Role of the strengthening phases in abrasive wear resistance of laser-clad NiCrBSi coatings. *Journal of Friction and Wear*, v. 38, n. 4, p. 272-278, 2017.
- Miguel, J.; Guilemany, J.; Vizcaino, S. Tribological study of NiCrBSi coating obtained by different processes. *Tribology international*, v. 36, n. 3, p. 181-187, 2003.
- Natarajan, S. et al. Effect of graphite addition on the microstructure, hardness and abrasive wear behavior of plasma sprayed NiCrBSi coatings. *Materials Chemistry and Physics*, v. 175, p. 100-106, 2016.
- Toyserkani, E.; Corbin, S.; Khajepour, A. *Laser Cladding* CRC Press. Boca Raton, Florida, 2005. 263 p.

6. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.

EFFECT OF DILUTION IN THE Ni-Cr-B-Si COATINGS MICROHARDNESS DEPOSITED BY LASER CLADDING

João Victor El-Hage Meyer Osório¹

Jurandir Marcos Sá de Sousa¹

Milton Pereira¹

¹Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Reitor João David Ferreira Lima, s/nº, Trindade-CEP 88040-900 Florianópolis-SC.

joaoosorio1@hotmail.com

marcos.jurandir@yahoo.com.br

eng.milton@gmail.com

Abstract. *In industries, some aspects make many expenses, like the components wear. Searching fulfill the industrial necessities, looking for increase profits and rise the life-time of these equipments, is normal the development technologies capable to lower and solve these problems. In this context, the present work estimates the mechanical resistance of Ni-Cr-B-Si coatings deposited via LASER cladding process, considering dilution, microstructure and microhardness aspects, showing the improvement in the mechanical resistance because these coatings addition, compared to the basis material. From the results, notice different dilution levels, greater in the coatings deposited with higher laser beam power. The dilution exercised direct effect in the microstructure characteristics, where there's three different areas, whose microhardness profile accompanies this variation.*

Keywords: *Components wear. Dilution. Microhardness. LASER cladding. Ni-Cr-B-Si.*

RESPONSIBILITY NOTICE

The authors are the only responsible for the printed material included in this paper.