

# CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DOS REVESTIMENTOS DE WC DEPOSITADOS POR ASPERSÃO TÉRMICA DE HVOF E TRATADO POR LASER DE CO<sub>2</sub>\*

Renato Camponogara Panziera<sup>1</sup>  
Ana Cláudia Costa de Oliveira<sup>2</sup>

## Resumo

Para obter uma superfície que aumenta a vida útil de peças e componentes de máquinas e que possua propriedades mecânicas que são resistentes ao desgaste abrasivo, devido ao contato com o grão de arroz com casca, uma superfície foi aspergida por meio do método de aspersão térmica oxi-combustível de alta velocidade (HVOF) com pó de carboneto de tungstênio no substrato SAE 1020 e pós-tratamento com laser de CO<sub>2</sub>, desejando obter uma melhor adesão do revestimento com o substrato (interface). Este revestimento tem uma estrutura densa, baixa porosidade, alta adesão ao substrato e é altamente resistente ao desgaste abrasivo. As amostras revestidas foram caracterizadas por microscopia eletrônica de varredura e análise de microdureza. As amostras revestidas com WC apresentaram uma maior dureza em relação as amostras revestidas e tratadas com laser.

**Palavras-chave:** Aspersão térmica; Dureza; Laser; Revestimento.

## MECHANICAL CHARACTERIZATION OF WC COATING DEPOSITED BY HVOF THERMAL SPRAYING AND CO<sub>2</sub> LASER TREATMENT

### Abstract

In order to obtain a surface that increases the useful life of parts and components of machines and that possesses mechanical properties that are resistant to the abrasive wear, due to the contact with the rice grain with husk, a surface was sprayed by means of the high-velocity oxygen fuel thermal spray method (HVOF) with tungsten carbide powder on the SAE 1020 substrate and post-treatment with CO<sub>2</sub> laser, wishing to obtain better adhesion of the coating to the substrate (interface). This coating has a dense structure, low porosity, high adhesion to the substrate and is highly resistant to abrasive wear. The coated samples were characterized by scanning electron microscopy and microhardness analysis. WC coated samples exhibited a higher hardness compared to coated and laser-treated samples.

**Keywords:** Thermal spray; Hardness; Laser; Coating.

<sup>1</sup> Engenheiro Mecânico, Universidade Federal do Pampa – Unipampa, Alegrete, RS, Brasil.

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Pampa – Unipampa, Alegrete, RS, Brasil.

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente, a diversidade de opções para o uso de materiais, para obter um melhor desempenho e menor custo, fez com que o ramo da engenharia de revestimento tenha crescido consideravelmente nas últimas décadas. O desgaste é um dos principais problemas encontrados em peças e equipamentos de máquinas agrícolas que trabalham em culturas de cereais. Isto é devido ao fato de que o grão geralmente apresenta uma textura que o torna abrasivo, como no caso do grão de arroz com casca. Desta forma, o equipamento que tenha contato direto com o grão terá uma vida útil menor do que as outras partes [1].

Os métodos de aspersão térmica visam a necessidade de aumentar a vida útil de componentes e peças, permitindo a reutilização dessas com deposição de materiais metálicos ou não metálicos sobre os componentes devidamente preparados [2]. Neste processo, existem várias variáveis envolvidas que, ao atuar em conjunto e aplicadas corretamente, produzem um resultado melhor do que se considerado individualmente. O material de revestimento pode ser na forma de pó, vareta, cordão ou arame [3].

Para o processo Oxi-combustível de Alta Velocidade (HVOF), o material de revestimento está na forma de pó. Por meio deste método, o pó que servirá de revestimento no substrato é expelido por meio de uma tocha de aspersão específica que opera sob alta pressão. Através da combustão de um combustível e oxigênio, as partículas do pó são fundidas ou parcialmente fundidas e jogadas com velocidades de até 1200 m/s contra o substrato de acordo com Lima e Trevisan [4].

De acordo com Castro *et al.* [5], a aplicação de revestimento de carboneto de tungstênio através de aspersão térmica aumentará a durabilidade e reduzirá o desgaste abrasivo, de modo que este procedimento pode ser aplicado a equipamentos e peças de máquinas agrícolas que tenham contato com o grão de arroz. De acordo com Garcia *et al.* [6] sobre o processo a laser para aumentar a adesão do revestimento, o tratamento a laser do revestimento aspergido foi considerado um meio eficiente para densificar esse revestimento, conseguindo o refinamento da estrutura e o aprimoramento da adesão do revestimento/substrato. Isto é devido à homogeneização e eliminação de poros e lamelas do revestimento aspergido. Além disso, acredita-se que a ligação metalúrgica seja estabelecida após a refusão do revestimento [7, 8].

A fusão a laser é uma técnica bem estabelecida, muitas vezes usada para reduzir defeitos inerentes, como a porosidade dos revestimentos em pó. Além disso, a técnica de *laser surface alloying* (LSA) é uma área de pesquisa relativamente nova e importante, que também é usada para melhorar as propriedades resistentes ao desgaste das superfícies. O objetivo dessas técnicas é derreter completamente os poros dentro dos revestimentos para que o processo de fusão e solidificação resulte em um revestimento homogêneo [9-11]. De acordo com Ganeevet *al.* [12], o uso de um laser de CO<sub>2</sub> com parâmetros de potência de 100 W, diâmetro do feixe de 0,1 mm, duração do pulso de 6 ns, repetição da frequência de pulso 20 Hz e comprimento da onda 1064 nm foi suficiente para produzir padrões de extinção superficial em aço carbono anteriormente revestido com grafite cuja dureza resultante do tratamento a laser foi de 950 HV, com uma profundidade de 170 µm. No estudo de Continet *al.* [13], a aplicação da formação de barreiras intermediárias, feita por processo a laser foi eficiente para aumentar a ligação do revestimento de carbono superficial.

Conforme Lima e Trevisan [4], dentre os vários métodos de aspersão térmica, o processo via HVOF é um dos que apresenta melhor resistência adesiva, elevada densidade e dureza quando utilizado pó de WC como revestimento.

Este estudo explora o uso da deposição de WC por HVOF e o processo de refusão a laser, a fim de obter melhores propriedades mecânicas.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O material utilizado no substrato foi aço 1020. O pó de WC foi aspergido em amostras retangulares com dimensões de 60 mm X 22 mm X 10 mm. A preparação da superfície dos corpos de testes consistiu simplesmente em jateamento abrasivo por granalha de  $Al_2O_3$  de granulação de 120 grãos para remover os resíduos de óleo da superfície e promover uma rugosidade final  $Ra$  5  $\mu m$ . Para a aplicação do revestimento de carboneto de tungstênio por aspersão térmica HVOF, um aparelho de aspersão Praxair-TAFA JP-5000 HP/HVOF foi utilizado e movido por um braço robótico PraxairModel 1270, juntamente com um funil e a combustão foi feita a querosene.

O pó utilizado no processo de aspersão térmica foi o WOKA 3653 (WC-10Co-4Cr), fornecido pela empresa Harris Brastak Soldas especiais S.A. A composição química do pó de carbetto de tungstênio utilizado com certificado fornecido pela Suzer METCO é apresentado na Tabela 1 conforme a norma standard METCO.

**Tabela 1.** Composição química do pó utilizado no processo de aspersão térmica.

ELEMENTO	ESPECIFICADO [% EM PESO]	ENCONTRADO [% EM PESO]	DENSIDADE [g/cm <sup>3</sup> ]
C	4,500 / 7,500	5,320	5,0
Co	9,000 / 11,000	10,380	
Cr	3,000 / 4,500	4,230	
W	RESTANTE / RESTANTE	80,07	

Após a aspersão do pó de carboneto de tungstênio (WC), as amostras foram irradiadas por um feixe de laser de  $CO_2$ , com potência de saída de 125 W, comprimento de onda de 10,6  $\mu m$  e distribuição de energia Gaussiana. Inicialmente, foram analisados 6 parâmetros diferentes nas condições de laser. O equipamento utilizado é da marca SYNRAD, modelo Evolution 125. O feixe de laser foi direcionado para a superfície das amostras pelos espelhos galvanométricos localizados nas cabeças de varredura FH FlyerMarking Head, gerando faixas múltiplas, sucessivas e adjacentes.

Para a seleção dos parâmetros do laser, foi necessário elaborar uma carta de processos, contendo parâmetros de sentido de varredura, velocidade de varredura, densidade de potência e taxa de sobreposição (resolução), como pode ser visto na Tabela 2.

**Tabela 2.** Carta de processos com Laser.

PARÂMETRO 1				
Irradiação	Sentido de varredura	Velocidade de varredura(mm/s)	Potência (%)	Resolução
1ª	Horizontal	100	50	300
2ª	Vertical	50	100	300
PARÂMETRO 2				

Irradiação	Sentido de varredura	Velocidade de varredura(mm/s)	Potência (%)	Resolução
1ª	Horizontal	100	50	300
2ª	Horizontal	50	100	300
<b>PARÂMETRO 3</b>				
Irradiação	Sentido de varredura	Velocidade de varredura(mm/s)	Potência (%)	Resolução
1ª	Horizontal	100	50	300
2ª	Vertical	50	100	127
<b>PARÂMETRO 4</b>				
Irradiação	Sentido de varredura	Velocidade de varredura(mm/s)	Potência (%)	Resolução
1ª	Horizontal	100	50	300
2ª	Horizontal	50	100	127
<b>PARÂMETRO 5</b>				
Irradiação	Sentido de varredura	Velocidade de varredura(mm/s)	Potência (%)	Resolução
1ª	Horizontal	100	50	300
2ª	Horizontal	50	100	127
3ª	Horizontal	200	100	127
<b>PARÂMETRO 6</b>				
Irradiação	Sentido de varredura	Velocidade de varredura(mm/s)	Potência (%)	Resolução
1ª	Horizontal	100	50	300
2ª	Horizontal	50	100	127
3ª	Vertical	400	100	127

## 2.1 Caracterização do Material

Para a análise microestrutural de alta resolução das amostras revestidas com WC e posteriormente irradiadas com laser de CO<sub>2</sub>, utilizou-se um microscópio eletrônico de varredura (SEM) modelo EVO MA10 da marca Zeiss Mark.

Para medidas de microdureza, um microdurômetro da marca Buehler, modelo MicroMet 6010 foi usado. Uma carga de 100 g foi utilizada para realizar as indentações, tanto no revestimento como no substrato, para assim, ser possível mensurar a microdureza ao longo do revestimento. As indentações distanciaram-se mutuamente até três vezes o diâmetro do entalhe.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 1 apresenta as partículas de WC com morfologia arredondada e tamanho médio de 39,2 µm. De acordo com um estudo de Van Ackeret *al.* [14], o tamanho das partículas de pó pode influenciar o comportamento de desgaste dos revestimentos aspergidos. O tamanho médio de grão encontrado para o presente estudo é de 39 µm, o que está dentro da faixa recomendada para o processo HVOF. A morfologia esférica do pó proporciona um bom fluxo das partículas na pistola de aspersão [15].

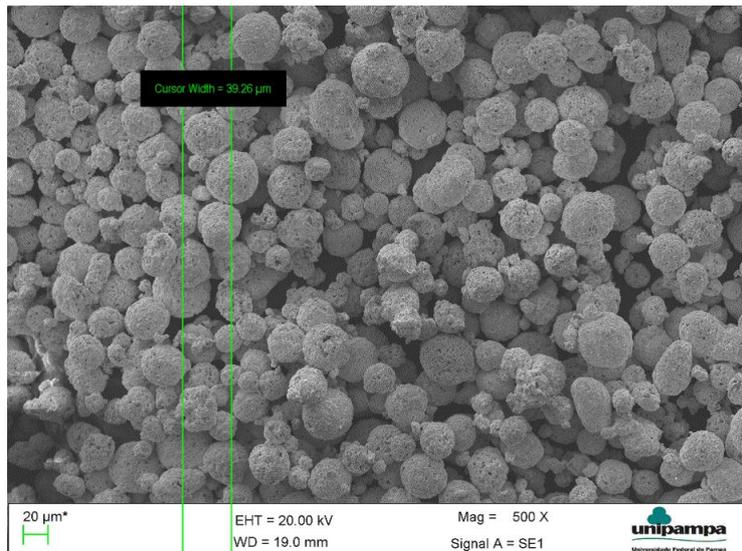


Figura 1. Imagem do pó de WC com magnitude de 500X.

A análise de MEV na seção de interface foi utilizada para determinar a espessura do revestimento de WC aspergido pelo método HVOF, como pode ser visto na Figura 2 onde foi encontrada uma espessura média de 325,2 µm. A espessura homogênea ao longo do seu comprimento, foi encontrada devido ao uso de um braço robótico em sua aplicação.

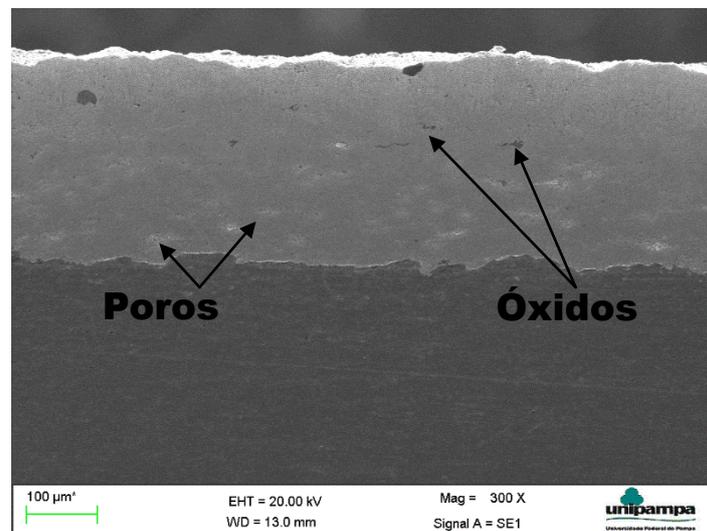
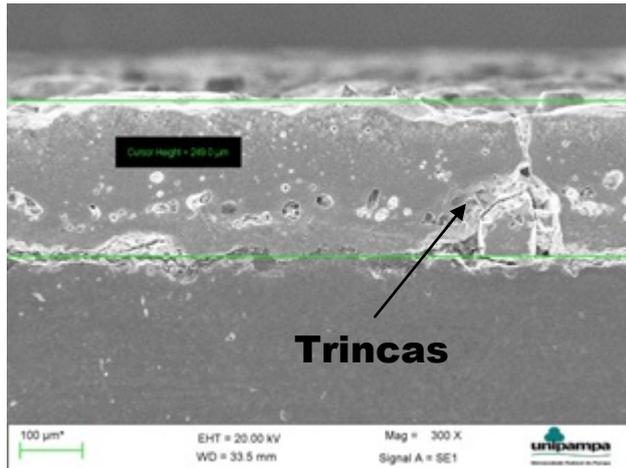
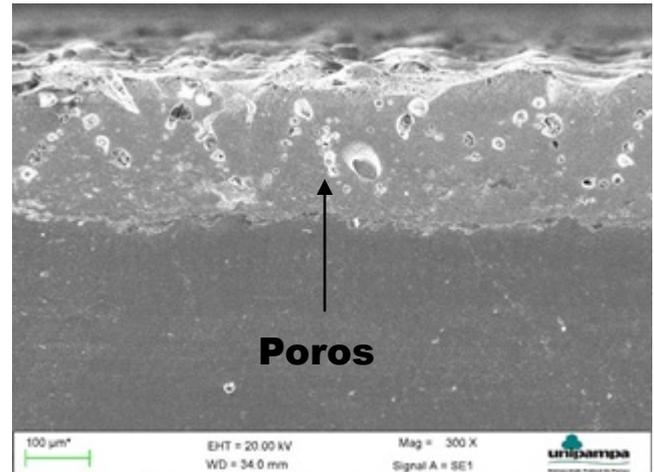


Figura 2. Espessura do revestimento por MEV.

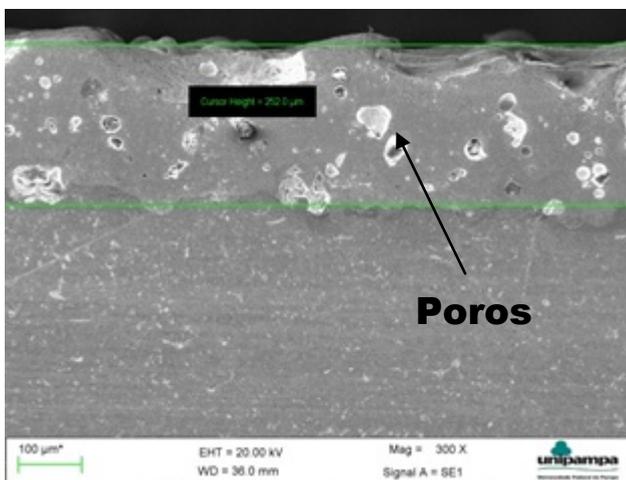
A Figura 3 mostra a análise do revestimento com tratamento de laser de CO<sub>2</sub> em MEV com ampliação de 300X para analisar o revestimento e a interface entre revestimento e substrato. Pode-se ver que a Figura 3 (a) e (e) apresentam desprendimento, fissuras e imperfeições tanto na interface entre o revestimento e o substrato quanto no revestimento devido aos parâmetros utilizados para estes casos. As imagens mostradas na Figura 3 (b), (c) e (d) têm poros e vazios no revestimento, mas estes têm boa aderência ao substrato. Finalmente, a imagem na Figura 3 (f) mostra o parâmetro 6, que apresenta baixo índice de porosidade, boa adesão ao substrato e um revestimento homogêneo na sua totalidade.



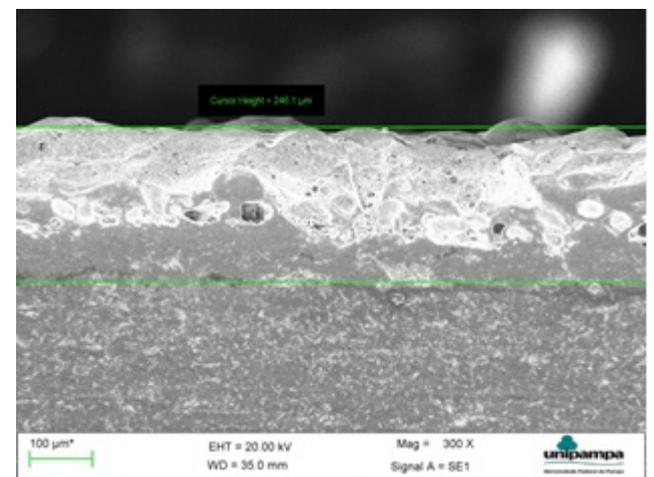
(a) Parâmetro 1



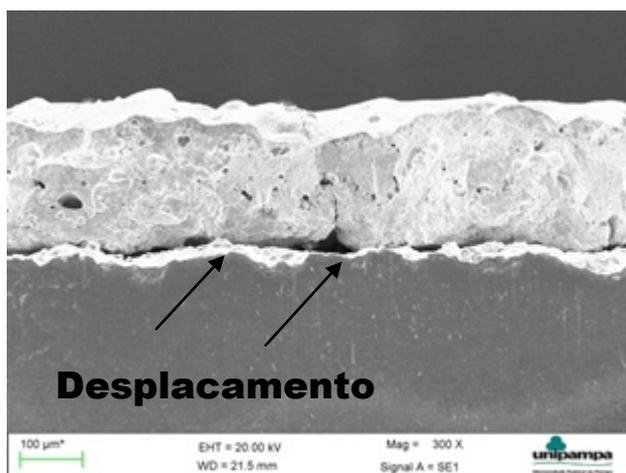
(b) Parâmetro 2



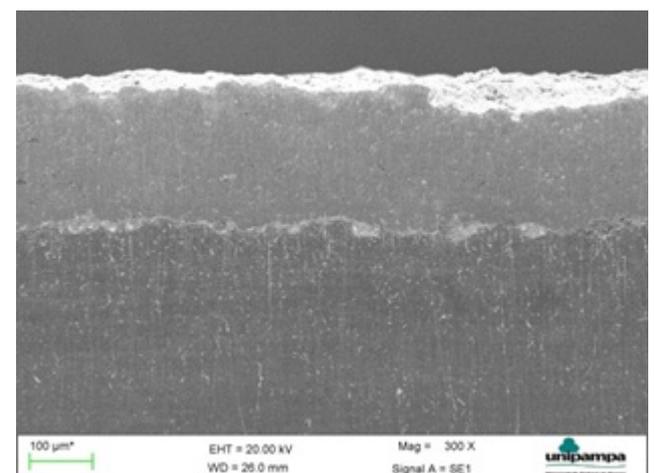
(c) Parâmetro 3



(d) Parâmetro 4



(e) Parâmetro 5

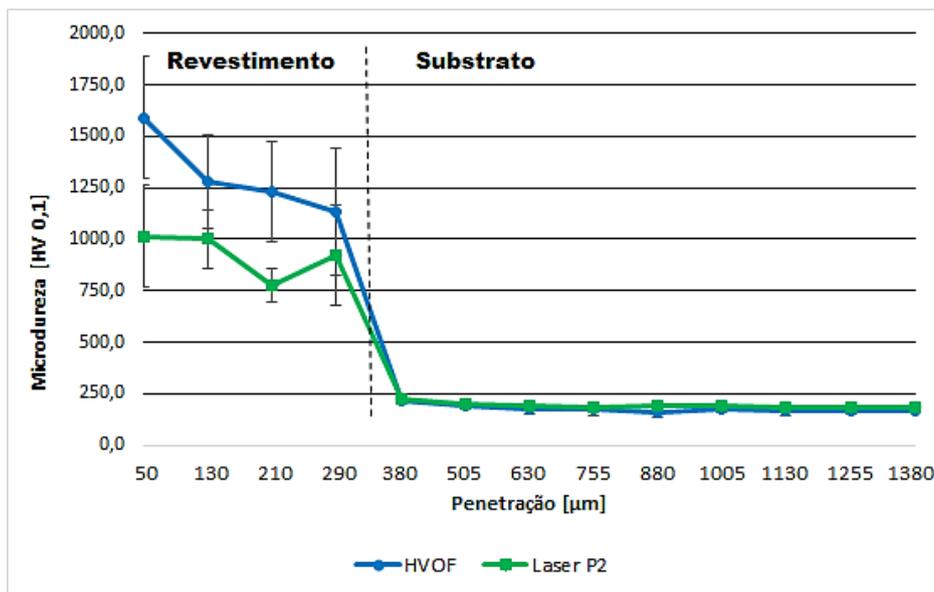


(f) Parâmetro 6

**Figura 3.** Imagens do revestimento de WC com tratamento a Laser de CO<sub>2</sub> para os Parâmetros de 1 a 6.

### 3.1 Microdureza

O teste de microdureza foi realizado na escala de Vickers (HV) com uma carga de 0,1 kg. As indentações distanciaram-se três vezes o diâmetro do entalhe realizado na direção diagonal à superfície. Foi possível obter quatro indentações no revestimento de WC aspergido e nove indentações no substrato. Este procedimento foi realizado quatro vezes e, portanto, uma média das indentações foi realizada. A Figura 4 apresenta os resultados das medições de microdureza em uma amostra revestida com WC e numa amostra revestida e irradiada com laser cuja parâmetro analisado foi o P2.



**Figura 4.** Efeito da microdureza com revestimento de WC via HVOF e irradiação a laser de Parâmetro 2.

Pode-se perceber que a amostra revestida com WC sem a irradiação do laser, Figura 4, apresentou uma microdureza superior as demais, obtendo uma média de dureza próxima a 1560 HV com desvio padrão amostral de 337 para a primeira indentação. Na segunda, terceira e quarta indentação, ainda sobre o revestimento, a média ficou entre 1238 HV e 1131HV com desvio padrão menor. Para as nove restantes indentações sobre o substrato de aço 1020 a microdureza se manteve abaixo dos 250 HV. Espera-se que os valores de alta dureza das amostras revestidas na aquisição de amostras não revestidas sejam maiores mesmo em condições sem tratamento a laser, uma vez que as partículas de WC apresentam alta dureza, 3000-4000HV e são estáveis a altas temperaturas. Estas propriedades torná-los atraentes para uso em revestimentos resistentes ao desgaste [14].

Para a amostra revestida com WC irradiada com Laser a primeira, segunda e quarta indentação manteve-se com uma microdureza próxima a 1000 HV e desvio padrão semelhantes, porém, a terceira indentação mostra um menor valor de microdureza, 776 HV, que pode caracterizar uma região possivelmente enfraquecida pela refusão entre o meio e a interface entre revestimento e substrato pelo tratamento a laser. As demais indentações no substrato mantiveram-se abaixo dos 250 HV.

#### 4 CONCLUSÃO

Com a irradiação por laser de CO<sub>2</sub> contínuo no revestimento superior, o mesmo passou a apresentar uma maior porosidade em sua estrutura, como pode ser visto

nas imagens feitas com o MEV, e alguns dos parâmetros utilizados nas cartas de processo apresentaram deslocamento do revestimento, trincas ou poros.

No teste de microdureza, as amostras revestidas com WC sem irradiação a laser tiveram um valor próximo de 1600 HV na primeira indentação, mais próxima da superfície do revestimento, e as três próximas ainda no revestimento em torno de 1250 HV. Foram realizadas indentações no substrato, porém, esse não apresentou alterações nas microdurezas restantes mantendo-se abaixo de 250 HV. As amostras revestidas com WC e irradiadas com laser de CO<sub>2</sub> com parâmetro P2, apresentou um valor em torno de 1000 HV nas indentações no revestimento. Para o laser o valor também permaneceu abaixo de 250 HV nas indentações sobre o substrato.

## Agradecimentos

Os autores agradecem a empresa Rijeza Metalurgia, IEAv (Instituto de Estudos Avançados)/DCTA (Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial) e a Universidade Federal do Pampa.

## REFERÊNCIAS

- 1 Panziera RC. Aplicação do revestimento de WC depositado por aspersão térmica pelo método HVOF para diminuir a abrasão do grão de arroz em máquinas agrícolas [trabalho de conclusão de curso]. Brasil: Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA; 2016.
- 2 Nunes RAX, Costa VC, Calado VMDA, Branco JRT. Wear, friction, and microhardness of a thermal sprayed PET: poly (ethylene terephthalate) coating. *Materials Research*. 2009;12(2):121-125.
- 3 Davis JR. *Handbook of Thermal Spray Technology*. ASM International; 2004.
- 4 Lima C, Trevisan R. *Aspersão Térmica: fundamentos e aplicações*. São Paulo: Artliber;2007.
- 5 Castro RDM, Cavaler LCDC, Kejelin NZ, Comeli FW, Rocha ADS. Revestimento WC depositado por aspersão térmica (HVOF) como alternativa ao cromo duro eletrodepositado aplicados em equipamentos hidráulicos. *Revista Iberoamericana de IngenieríaMecánica*. 2015;19(2):27.
- 6 Garcia-Alonso D, Serres N, Demian C, Costil S, Langlade C, Coddet C. Pre-/during-/post-laser processes to enhance the adhesion and mechanical properties of thermal-sprayed coatings with a reduced environmental impact. *Journal of Thermal Spray Technology*. 2011;20(4):719-735.
- 7 Sidhu BS, Puri D, Prakash S. Characterisations of plasma sprayed and laser remeltedNiCrAlY bond coats and Ni3Al coatings on boiler tube steels. *Materials Science and Engineering: A*. 2004;368(1-2):149-158.
- 8 Teleginski V, Chagas DC, de Oliveira ACC, Santos JCG, Azevedo JF, Riva R, de VasconcelosG. Yb: fiber laser surface texturing of stainless steel substrate, with MCrAlY deposition and CO<sub>2</sub> laser treatment. *Surface and Coatings Technology*. 2014;260:251-259.
- 9 Chikarakara E, Punset M, Picas JA, Brabazon D, Naher S. Characterisationof laser modified WC-CoCrcoatings. In: *AIP Conference Proceedings*; 2011; Vol.1353; p. 1087-1092
- 10 Afzal M, Khan AN, Mahmud TB, Khan TI, Ajmal M. Effect of laser melting on plasma sprayed WC-12 wt.% Co coatings. *Surface and Coatings Technology*. 2015;266:22-30.
- 11 Zhang SH, Yoon JH, Li MX, Cho TY, Joo YK, Cho JY. Influence of CO<sub>2</sub> laser heat treatment on surface properties, electrochemical and tribological performance of HVOF sprayed WC–24% Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>–6% Ni coating. *Materials Chemistry and Physics*. 2010;119(3):458-464.

- 12 Ganeev RA. Low-power laser hardening of steels. Journal of materials processing technology. 2002;121(2-3):414-419.
- 13 Contin A, Alves KA, Campos RA, Vasconcelos GD, Damm DD, Trava-Airoldi VJ, Corat EJ. Diamond films on stainless steel substrates with an interlayer applied by laser cladding. Materials Research.2017;20(2):543-548.
- 14 Van Acker K, Vanhoyweghen D, Persoons R, Vangrunderbeek J. Influence of tungsten carbide particle size and distribution on the wear resistance of laser clad WC/Ni coatings. Wear. 2005;258(1-4):194-202.
- 15 Brandolt CDS, Ortega Vega MR, Menezes TL, Schroeder RM, Malfatti CDF. Corrosion behavior of nickel and cobalt coatings obtained by high-velocity oxy-fuel (HVOF) thermal spraying on API 5CT P110 steel. Materials and Corrosion. 2016;67(4):368-377.