

AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA AO DESGASTE ABRASIVO E ADESIVO DO AÇO ABNT 52100 DE UM ROLO “STRETCH BENDING” REVESTIDO COM WC-Co E NiCCr APLICADOS PELO PROCESSO HVOF

Wender Pereira de Oliveira, wender.oliveira@sqa.pucminas.com.br¹

Dr. José Rubens Gonçalves Carneiro, joserub@pucminas.br¹

David Filipe Rocha Pereira, davidfiliperp@gmail.com¹

Isabelle Caroline Antunes de Souza, isabelle.antunes@sqa.pucminas.br¹

¹Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Av. Dom José Gaspar, 500 Coração Eucarístico, Belo Horizonte - MG.

Resumo: Os revestimentos de carboneto de tungstênio na matriz de cobalto (WC-Co) e carboneto de níquel cromo (NiCCr) são muito utilizados para conferir maior resistência ao desgaste abrasivo ao aço carbono. Neste trabalho, avalia-se a possibilidade de se aplicar esses dois revestimentos no aço ABNT 52100 de um rolo de um stretch bending, com a adição ou não de uma camada intermediária de NiAl, utilizando-se o processo de aspersão térmica HVOF (Oxicombustível de Alta Velocidade), já que este processo apresenta pequeno aporte térmico e permite a possibilidade de se aplicar uma grande variedade de revestimentos como, inclusive, os não-metálicos. Propôs-se avaliar o desempenho das amostras em situações de alto desgaste abrasivo, avaliando-se também o papel da camada intermediária para a melhoria da adesão do revestimento ao substrato. Para a avaliação da resistência ao desgaste abrasivo e adesivo, foram utilizados os ensaios pino-sobre-disco (ASTM G99-17) e ensaio de tração (ASTM E8E8M-16a), respectivamente. As superfícies das amostras também foram avaliadas por microscopia óptica e de varredura eletrônica, além disso, as durezas de cada amostra também foram avaliadas. Com os ensaios, conclui-se que as amostras com dureza mais elevada e com a presença de camada intermediária apresentaram falhas na interface do substrato com revestimento, já a resistência ao desgaste abrasivo não se afastaram muito dos valores presentes na literatura.

Palavras-chave: HVOF, Pino-sobre-Disco, Rolo Stretch Bending, ABNT 52100.

1. INTRODUÇÃO

Os aços são classificados em baixo, médio e alto carbono, e também baixa e alta liga. Os aços de alta liga (somatório de elemento de liga acima de 10%) tais como os aços ferramenta representam uma porcentagem de aproximadamente de 20% do mercado, devido às suas características e excelentes propriedades mecânicas. Dentre os aços ferramenta, têm-se o aço ABNT 52100. Além de ser utilizado na fabricação de ferramentas e rolamentos, o aço ABNT 52100 também possui aplicabilidade na fabricação de roletes, esferas, rolos de calandra, pistas de rolamento e roletes guia de laminação. Este aço apresenta propriedades que o difere dos aços carbono comuns, como boa resistência à fadiga, elevada dureza e boa estabilidade dimensional e microestrutural, principalmente quando submetidos à alta temperatura (BOUACHA et al., 2010).

O campo da engenharia que estuda a utilização de revestimentos sobre componentes metálicos vem crescendo ao longo dos anos devido ao custo dos materiais estruturais e requisitos de ciclo de vida dos componentes de alto desempenho. Revestimentos a base de carbonetos aplicados por aspersão térmica são utilizados nas indústrias aeronáutica, automotiva, petrolífera e siderurgia. Denomina-se aspersão térmica “um grupo de processos nos quais materiais metálicos ou não metálicos, finamente divididos, são depositados em uma condição fundida ou semi-fundida sobre um substrato preparado, formando um depósito aspergido” (LIMA; TREVISAN, 2001). Conforme Papst (2007), como parte do conhecimento industrial sobre os processos de revestimentos por aspersão térmica é de caráter prático, esse estudo é fruto da necessidade de se avaliar o efeito do uso de camadas intermediárias e a escolha do revestimento com melhor resistência à abrasão, possibilitando assim tanto a economia de materiais quanto o aumento do desempenho dos componentes mecânicos.

O estudo deste trabalho se caracteriza pela ocorrência de problemas de deslocamento no processo de revestimento realizado pela empresa SMS Group® em rolos de uma máquina de conformação.

Essa máquina é, conforme mostrado na Figura 1, uma aplainadora sob tensão presente na área de decapagem do processo de laminação de uma siderúrgica. O rolo necessita de uma alta dureza e resistência ao desgaste, uma vez que trabalha em contato com as bobinas de aço para o seu desempenho.

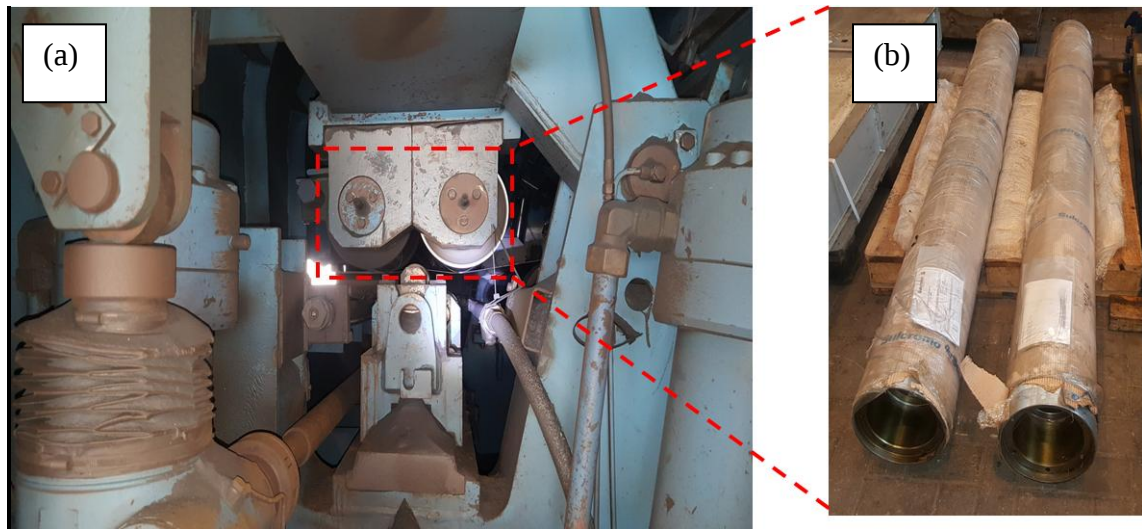


Figura 1: Equipamento alvo de estudo. (a) Stretch bending; (b) rolo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Aspersão Térmica por HVOF

A deposição por oxi-combustível de alta velocidade (HVOF) é baseada em um projeto especial de tocha, conforme ilustrado na Figura 2. Nela, o oxigênio e o combustível são queimados, fundindo assim o pó que também entra na câmara de combustão de forma axial. A chama sofre uma expansão através do bocal no final da câmara de combustão, o que faz com que ela atinja altas velocidades. Segundo Ladeira (2000), após o impacto as partículas se achatam e aderem bem ao substrato e às partículas vizinhas, tornando o revestimento denso e com uma boa adesão.

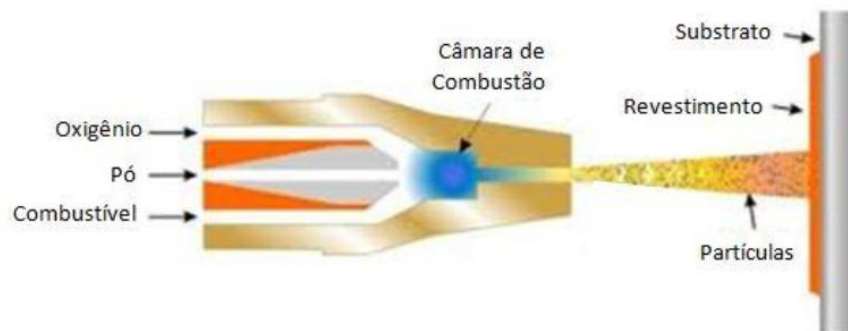


Figura 2: Tocha de Aspersão Térmica pelo processo HVOF.

2.2. Ensaios de Resistência aos Desgastes Abrasivos e Adesivos

Um dos principais enfoques do estudo tribológico de um material é o desgaste. Ele pode ser definido como a perda de material de uma superfície, transferência de material de uma superfície para outra ou movimento de material em uma única superfície.

O desgaste adesivo é devido à adesão das camadas superficiais de materiais colocados em contato. Quando essa ligação é suficientemente alta, o material começa a se deformar plasticamente antes das superfícies se separarem, causando assim o desgaste adesivo. O desgaste abrasivo é gerado por causa da alta dureza dos materiais que estão em contato, sendo que o material de maior dureza ao deslizar sobre o de menor dureza acaba removendo material e ocasionando o desgaste.

De acordo com a norma ASTM (2016b), o corpo de prova tipicamente utilizado nesse teste possui forma regular de 25 mm de largura por 76 mm de comprimento (1 por 3 in) e espessura entre 3,2 mm e 12,7 mm (0,12 a 0,50 in). O desgaste é avaliado através da perda mássica que, posteriormente, é convertida para perda volumétrica através da Equação 1.

$$\text{Perda Volumétrica (mm}^3\text{)} = \frac{\text{Perda mássica}}{\text{densidade (g/cm}^3\text{)}} \times 1000 \quad (1)$$

Um método de avaliação de desgaste abrasivo bastante utilizado é o teste de Pino sobre Disco, regido pela norma ASTM (2017), que consiste em posicionar um pino ou uma esfera de determinado material e com determinadas dimensões perpendicularmente sobre um disco em movimento, com a aplicação de carga pré-estabelecida, conforme Figura 3. O pino tipicamente utilizado no teste é de formato cilíndrico e com ponta esférica, possuindo diâmetro de 2 a 10 mm, ao passo que o disco possui diâmetros que variam de 30 a 100 mm e espessura de 2 a 10 mm.

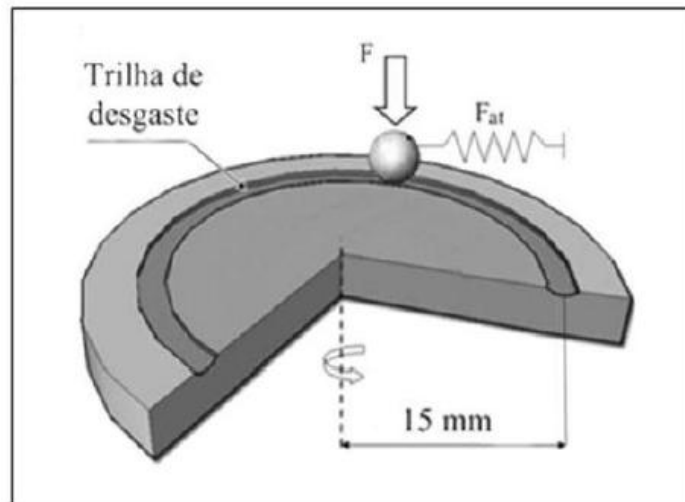


Figura 3: Forma esquemática do ensaio pino-sobre-disco.

Existem algumas formas de se avaliar a resistência ao desgaste adesivo de um material. Uma das formas mais simples e eficazes é a avaliação através do ensaio de tração.

O ensaio de tração, conforme estipulado na norma em ASTM (2016a), consiste em submeter um corpo de prova, de dimensões padronizadas, a uma carga axial de valor crescente até a sua ruptura.

Este ensaio fornece o valor do alongamento do corpo de prova em função da carga aplicada. Isso possibilita se comparar a carga máxima suportada por um determinado material, informada em catálogo, sem haver o descolamento do revestimento com a real carga máxima que o material suporta sendo submetido em um ensaio de tração até o ponto de descolamento.

3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Para análise da resistência ao desgaste dos materiais propostos, foram comparados os resultados dos ensaios de desgaste abrasivo e adesivo, dureza e microscopia de varredura eletrônica de quatro amostras, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 – Amostras utilizadas nos ensaios.

	<i>Têmpera</i>	<i>Autoligante</i>	<i>Revestimento</i>
Amostra 1	60 HRC	NiAl	WC-Co
Amostra 2	60 HRC	NiAl	WC-Co + NiCCr
Amostra 3	30 HRC	----	WC-Co
Amostra 4	30 HRC	----	WC-Co + NiCCr

O processo de aspersão térmica por HVOF foi realizado na empresa SMS GROUP ® utilizando-se equipamento fabricado pela GTV®, composto por tocha JP500, jateamento integrado e alimentador de pó GTV-PF 2/2 WH, conforme a Figura 4.

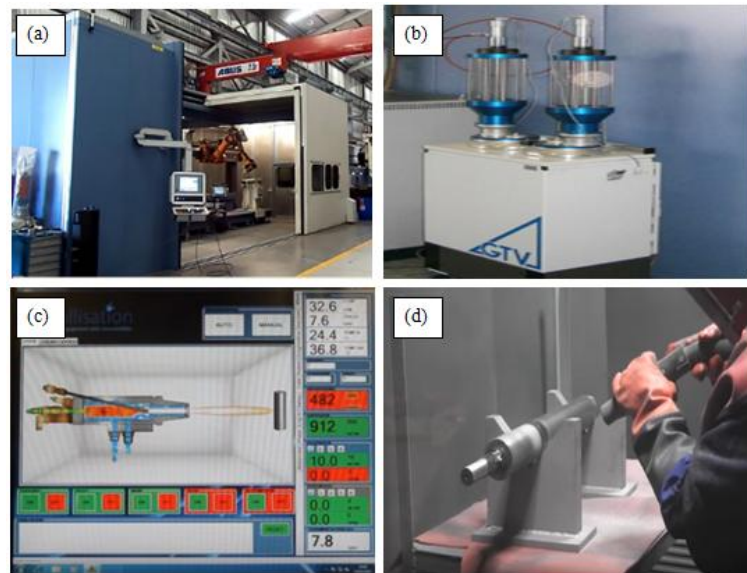


Figura 4: Equipamento de HVOF. (a) Cabine de Aspersão; (b) Alimentador de pó; (c) Monitor; (d) Jateamento integrado.

Para se avaliar a resistência ao desgaste abrasivo das amostras, utilizou-se o ensaio de Pino-sobre-disco (ASTM, 2017), com o valor de rotação do disco de 1000 rpm, força normal contra o disco de 10N, diâmetro da esfera de metal duro de 10 mm e tempo de ensaio de 20 minutos para cada amostra. Já para a resistência ao desgaste abrasivo, utilizou-se o modelo de corpo de provas de base retangular, conforme a Figura 5.

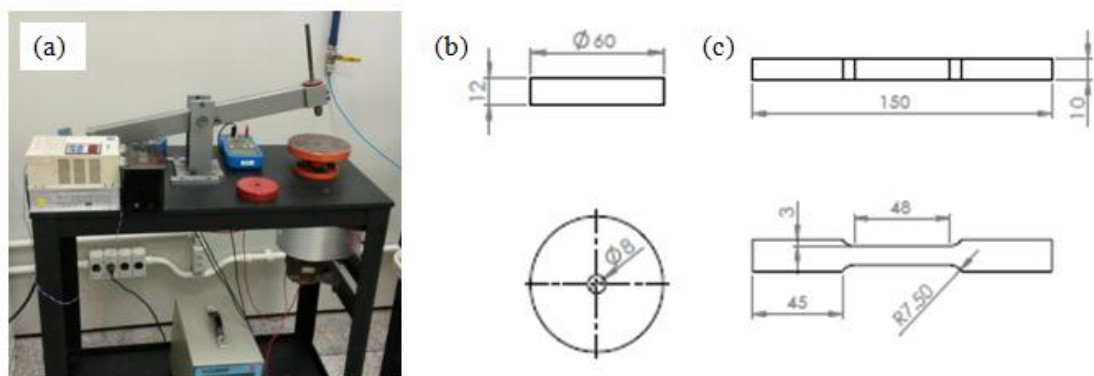


Figura 5: Realização dos ensaios. (a) Equipamento de Pino-sobre-disco; (b) Dimensões dos discos; (c) Dimensões do corpo de prova do ensaio de tração.

4. RESULTADO E DISCUSSÃO

Após o processo de têmpera em óleo ou sal, ocorre a transformação da microestrutura em martensítica, como pode ser observado na Figura 6, com aproximadamente 3 a 4 % de cementita não dissolvida e 6 % de austenita retida (MARCOMINI, 2012).

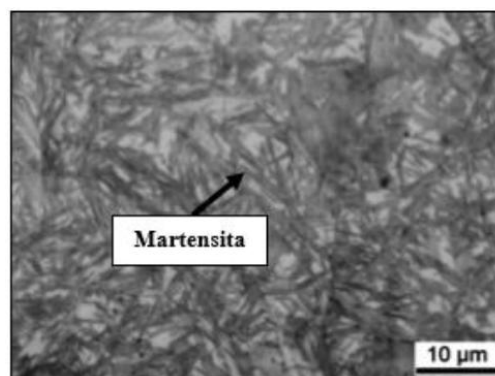


Figura 6: Microestrutura do aço ABNT 52100 após têmpera.

Analisando os resultados do microscópio eletrônico, conforme Figura 7, pode-se observar que as amostras 1 e 2 – que possuem dureza do substrato mais elevada e presença de camada intermediária de revestimento – apresentaram falhas de ancoragem mecânica das partículas aspergidas na interface do revestimento com o substrato. Uma das justificativas para esse resultado insatisfatório é o fato de que as partículas, ao se chocarem com o substrato, encontram maior dificuldade de deformá-lo plasticamente uma vez que o material possui elevada dureza, dificultando assim a ancoragem.

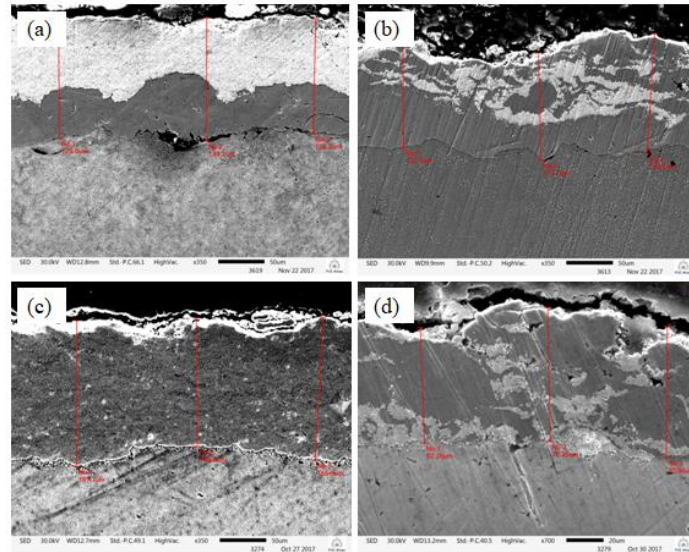


Figura 7: Microscopia Eletrônica. (a) Amostra 1; (b) Amostra 2; (c) Amostra 3 e (d) Amostra 4.

Com os valores de variação de massa obtidos após o ensaio pino-sobre-disco, calculou-se o valor da perda volumétrica através equação de densidade, sendo que o seu valor aproximado para os revestimento é de 14,03 g/cm³ (PRAXAIR, 2017). Analisando os resultados da Tabela 2 e comparando-os com o valor típico fornecido por Lima e Trevisan (2001) para o WC-Co aspergido por HVOF de 0,9 mm³, percebe-se que os valores encontrados não estão muito distantes dos valores esperados para os revestimentos estudados.

Tabela 2 – Taxa de desgaste abrasivo.

	$M_{Antes} (g)$	$M_{Depois} (g)$	$\Delta M (g)$	$\Delta V (mm^3/1000rpm)$
Amostra 1	277,686	277,645	0,041	2,9223
Amostra 2	272,512	272,487	0,025	1,7818
Amostra 3	243,651	243,644	0,007	0,4989
Amostra 4	234,727	234,715	0,012	0,8553

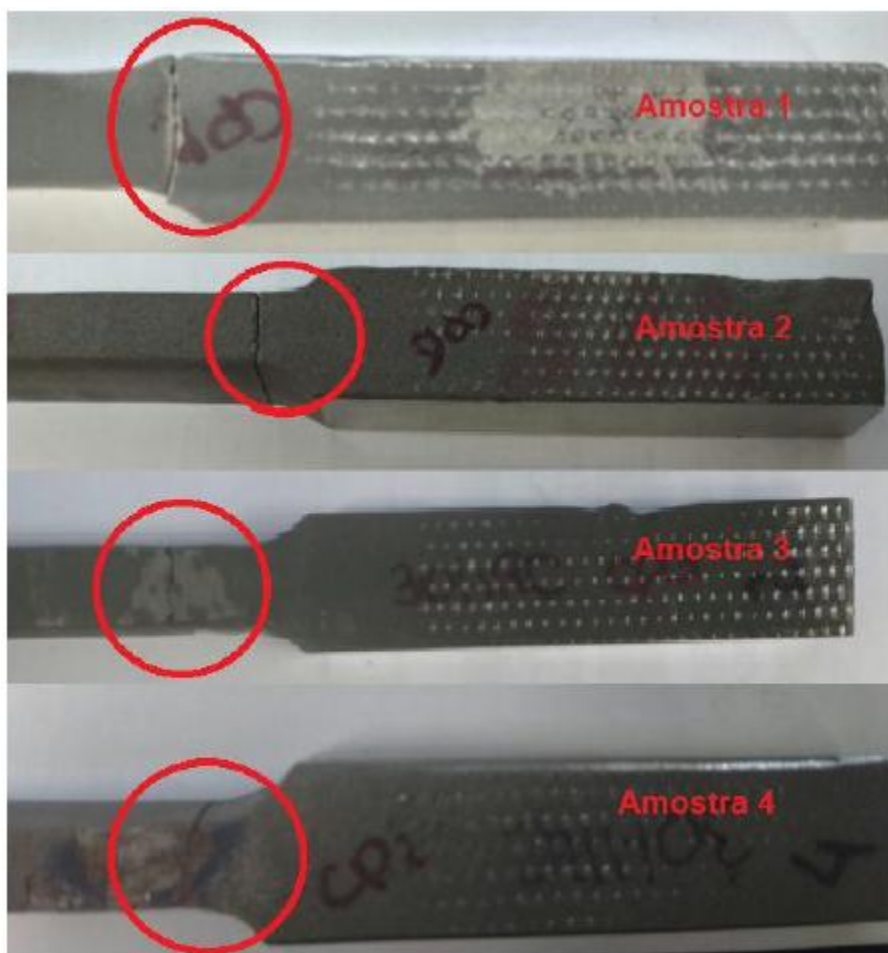


Figura 8: Corpos de prova após ensaio de tração.

Realizando uma análise visual, conforme pode ser visto na Figura 8, as amostras 1 e 2 apresentaram bom desempenho em relação ao desgaste adesivo, uma vez que elas não sofreram nenhuma avaria por deslocamento de revestimento, nem mesmo na iminência de ruptura. Já as amostras 3 e 4 apresentaram deslocamento do revestimento.

Uma das amostras sobressalentes sofreu ruptura durante o processo de usinagem, antes mesmo de ser realizado o ensaio de tração, o que sugere que na verdade as amostras são frágeis em relação à carga de impacto e não à aplicação de cargas de forma contínua. Para tal avaliação, será necessário realizar um teste de impacto Charpy. Outro ponto que pode ter ocasionado a ruptura da amostra seria a concentração de tensões devido às tentativas anteriores de ensaio de tração e possíveis influências do tipo de corte utilizado.

5. CONCLUSÃO

Quanto à avaliação da adesividade do revestimento ao substrato, após o ensaio de tração verificou-se que as amostras 1 e 2 apresentaram um desempenho satisfatório. Já nas amostras 3 e 4 foram observados deslocamentos próximo à região de ruptura. Com relação aos resultados de tensão obtidos, observou-se que nas amostras 1, 2 e 3 os valores foram até superiores ao especificado no folheto do material. Porém, o documento não informa sob quais condições e qual tipo de ensaio foi utilizado para tal resultado, o que dificulta a análise.

Na análise realizada no MEV, pode-se concluir que nas amostras 1 e 2 nas quais foi utilizado a camada intermediária, observou-se a presença de vazios e falhas na interface de ligação entre revestimento e substrato. Nesse sentido, verifica-se a necessidade de controle principalmente da rugosidade e da temperatura do processo, uma vez que essa rugosidade traz consigo influência direta nos resultados, pois dependendo do valor utilizado essa diferença de picos e vales podem acarretar nesse tipo de problema.

Quanto ao desgaste abrasivo, pode-se concluir que todas as amostras atendem à especificação técnica, pois apresentam uma taxa de desgaste relativamente baixa com relação aos valores de referência. Com relação ao tipo de revestimento, verifica-se que o carboneto de tungstênio foi mais eficiente apresentando uma menor taxa de desgaste, como observado na amostra de número 3 da Tabela 2, devido à alta dureza e resistência à abrasão proporcionada pelo carboneto de tungstênio.

Considerando que todas as amostras foram submetidas aos mesmos parâmetros de revestimento – parâmetros da aspersão térmica por HVOF, jateamento, pré-aquecimento, etc. – pode-se afirmar que nas condições atuais há uso excessivo de recursos como tempo e dinheiro empreendidos na têmpera de elevada dureza e aplicação de camada intermediária de revestimento sem se obter um resultado de melhor qualidade.

6. AGRADECIMENTOS

À SMS Group ® que nos receberam de portas abertas e que nos atenderam sempre que precisamos.

À CNPQ e à FAPEMIG pelo auxílio que viabilizou a realização deste trabalho.

À PUC Minas, por ter cedido o uso dos seus laboratórios e instalações.

Ao Centro de Desenvolvimento de Tecnologia Nuclear (CDTN), por ter permitido o uso do laboratório de Ensaios Mecânicos.

7. REFERÊNCIAS

- ASTM - American Society for Testing and Materials. ASTM E8/E8M-16a: Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials. Pennsylvania, 2016a.
- ASTM - American Society for Testing and Materials. ASTM G65-16: Standard Test Method for Measuring Abrasion Using the Dry Sand/Rubber Wheel Apparatus. Pennsylvania, 2016b.
- ASTM - American Society for Testing and Materials. ASTM G99-17: Standard Test Method for Wear testing with a Pin-on-Disk Apparatus. Pennsylvania, 2017.
- BOUACHA, K.; YALLESE, M. A.; MABROUKI, T.; RIGAL, J. F. Statistical analysis of surface roughness and cutting forces using response surface methodology in hard turning of AISI 52100 bearing steel with CBN tool. *International Journal of Refractory Metals & Hard Materials*, v. 28, p. 349–361, 2010.
- LADEIRA, L. W. A. Conjugados Duplex de WC-Co/NiCrAl ou NiCr, processados por aspersão térmica, para aplicações em meios corrosivos e/ou desgaste. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2000.
- LIMA, Carlos Camello. TREVISAN, Roseana da Exaltação. *Aspersão Térmica: fundamentos e aplicações* / Carlos Camello Lima, Roseana Trevisan. São Paulo: Artiber Editora, 2001.
- MARCOMINI, J. B. Caracterização da nova liga Fe-C-Mn-Si-Cr: Fragilização da martensita revenida e curvas de revenimento. 182 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo. São Paulo, 2012.
- PAPST, Norman Araújo. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE SOLDAGEM: Aspersão Térmica – Metalização. Programa de Cursos Modulares em Tecnologia de Soldagem. Módulo: Metalização. Édile Serviços Gráficos e Editora. São Paulo, 2007.
- PRAXAIR – Surface Technologies. Technical data Bulletin Coating Properties. Data Sheet. Disponível em: <http://www.praxairsurfacetechnologies.com/components-materials-and-equipment/materials/thermal-spray-powders/carbide>. Acesso em: 28/11/2017.

8. RESPONSABILIDADE AUTURAL

“Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho”.

ABRASIVE AND ADHESIVE WEAR RESISTENCE EVALUATION OF THE STEEL ABNT 52100 FROM A STRETCH BENDING ROLL COATED WITH WC-Co AND NiCr APPLIED BY THE HVOF PROCESS

Wender Pereira de Oliveira, wender.oliveira@sqa.pucminas.com.br¹

Dr. José Rubens Gonçalves Carneiro, joserub@pucminas.br¹

David Filipe Rocha Pereira, davidfiliperp@gmail.com¹

Isabelle Caroline Antunes de Souza, isabelle.antunes@sqa.pucminas.br¹

¹Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Av. Dom José Gaspar, 500 Coração Eucarístico, Belo Horizonte - MG.

Abstract. *The tungsten carbide coatings in the cobalt matrix (WC-Co) and nickel-chromium carbide (NiCCr) are widely used to confer greater resistance to abrasive wear in carbon steel. In this work, the possibility of applying these two coatings in the ABNT 52100 steel of a stretch bending roll, with the addition or not of an NiAl's intermediate layer, using the thermal spray process HVOF (High Velocity Oxi-fuel), since this process has a small thermal input and allows the possibility of applying a great variety of coatings, as well as non-metallic ones. It was proposed the evaluation of the samples's performance in situations of high abrasive wear, evaluating the role of the intermediate layer to improve adhesion of the coating to the substrate. For the assessment of the abrasive and adhesive wear resistance, the pin-on-disc test (ASTM G99-17) and tensile test (ASTM E8E8M-16a) were used. The samples' surfaces were also evaluated by optical microscopy and electronic scanning. In addition, the hardness of each sample was also evaluated. With the tests, it was concluded that the samples with higher hardness and the presence of intermediate layer presented cracks in the interface of the substrate with the coating. On the other hand, the abrasive wear resistance did not deviate much from the values in the literature.*

Keywords: *HVOF, Pin-on-disc, Stretch Bending Roll, ABNT 52100.*