

REVESTIMENTOS DUROS PRODUZIDOS COM CAVACOS DE TITÂNIO: AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA AO DESGASTE ABRASIVO.

G. M. P. do Egito¹, G. I. Pontin¹, J. G. F. Júnior¹, J. Gallego¹, V. A. Ventrella¹.

¹ Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Departamento de Engenharia Mecânica, 15385-000, Ilha Solteira, SP, Brasil.

Email: guilhermempegito@gmail.com

RESUMO

Setores industriais, como o sucroalcooleiro e a mineração, sofrem com a grande perda de eficiência ou até a parada de seus equipamentos causada pelo desgaste abrasivo. Para reduzir as paradas utiliza-se técnicas para aumentar a vida útil das peças, como revestimentos duros. Neste trabalho foi analisada a microestrutura e o comportamento ao desgaste de metal de solda endurecido por carbonetos de titânio, formados a partir de uma mistura de cavacos de titânio (ASTM F67 e ASTM F136) após soldado pelo processo de soldagem ao arco tungstênio em atmosfera gasosa (SATG) em uma base de aço ASTM A36. As amostras foram analisadas por microscopia eletrônica de varredura (MEV) e difração de raios-X (DRX). A resistência ao desgaste foi avaliada por ensaios de microabrasão, nos quais foi empregado um microabrasômetro de esfera fixa (ISO 26424). Houve uma massiva formação de carbonetos de titânio (TiC) na matriz ferrosa, reforçada pela presença de carbonetos finos. As taxas de desgaste dos metais de solda foram significativamente menores que a determinada para o metal base, evidenciando a qualidade do novo revestimento para aplicações que demandam maior resistência ao desgaste.

Palavras-chave: Ligas de titânio, revestimento duro, resistência ao desgaste, soldagem, microestrutura.

INTRODUÇÃO

Na maioria das ocorrências de parada de máquinas para reparo de peças desgastadas, dentre os vários mecanismos de desgaste, há a presença muito grande do desgaste abrasivo, por ser um mecanismo de desgaste responsável por 50% dos problemas industriais [1,2].

No setor sucroalcooleiro há a presença do desgaste abrasivo em ferramentas de corte, como os desfibriladores e moedores, nos quais os martelos desfibriladores e as facas são os elementos primários ao contato com o desgaste abrasivo, devido a partículas de areia ou pedras que estão juntas com a cana-de-açúcar [3, 5].

Para evitar esse problema de desgaste acentuado das ferramentas, aplica-se revestimento na camada superficial da ferramenta com material de maior resistência ao desgaste para minimizar a parada das máquinas para reparo ou troca da peça. Esse tipo de revestimento denomina-se revestimento duro, que por sua vez é uma técnica utilizada nos setores sucroalcooleiro e mineração, afim de aumentar a durabilidade da peça e realizar os reparos de forma programado. O processo de revestimento duro torna a superfície mais resistente a abrasão [8].

Dentro do contexto de desgaste abrasivo, em que se busca ensaios em laboratórios, e que os resultados possam ser transferidos para situações próximas ao real, tem-se o desgaste micro abrasivo [10]. A diferença entre desgaste abrasivo e desgaste micro abrasivo está no tamanho médio das partículas, sendo no segundo um tamanho médio máximo de 5 μm [9]. O objetivo desse trabalho é avaliar a resistência ao desgaste abrasivo de carbonetos de titânio formados pelo processo STAG a partir da deposição de uma mistura carbonetante contendo cavacos finos de titânio e pó de grafite, visando analisar as mudanças microestruturais e de resistência ao desgaste abrasivo.

MATERIAIS E MÉTODOS

O material de base utilizado para a soldagem de revestimento duro foi o aço ASTM A36, como medidas de 80 mm x 32 mm x 10 mm.

Um dos elementos do metal de adição é pó de titânio, no qual esse pó foi obtido a partir de cavacos de ligas de titânio, ASTM F67 (titânio puro) e ASTM F136 (Ti-6Al-4V), de implantes odontológicos doados pela empresa *IMPLALIFE*

BIOTECNOLOGIA, localizada em Jales, São Paulo [6]. Os cavacos recebidos passaram por processos de limpeza, para a remoção de lubrificantes e fluido de corte, imergindo-os em solução de água e detergente e banhos ultrassônicos, como mostra a Tabela 1 [4].

Tabela 1 - Processo de limpeza dos cavacos.

Etapas	Descrição	Cavacos [g]	Água [ml]	Detergente [ml]	Tempo [min]
1	Limpeza	500	4000	200	360
2	Limpeza	500	4000	200	360
3	B U ¹	20	500	30	10
4	B U ¹	20	500	-	5

¹Banho Ultrassônico.

Após a limpeza, os cavacos foram postos em uma estufa para secagem por um período de 24 horas à 75 °C. Em seguida os cavacos foram moídos por um dispositivo com peça de granito, para obtenção do pó de titânio e, assim, produzir a mistura para revestimento duro. [4]

O pó foi classificado por uma peneira de granulometria de 40 Mesh (0,42 mm), e os pós finos foram utilizados para a preparação da mistura para soldagem, com a estequiometria 10:3 de massa de pó de titânio/ massa de grafite. Também foi inserido na massa total da mistura 2% de massa de silicato de sódio (Na₂ SiO₃) e pequenas partes de água destilada. [4]

Essa mistura foi posta sobre o metal base, em uma chapa como molde de 3 mm de espessura com canal de 6 mm x 80 mm. Preenchido todo o canal, colocou-se o metal base com a mistura carbonetante na estufa à 75 °C por 24 horas antes da soldagem. Para a soldagem da peça, utilizou-se uma fonte de energia da marca LINCOLN ELECTRIC modelo PRECISION TIG 225, com corrente de 230 A e trator de corte automático da WHITE MARTINS modelo MC 46, velocidade de 100 a 1000 mm/min, com adaptação para suporte da tocha [4].

Os parâmetros para soldagem da peça, como tipo de eletrodo, diâmetro do eletrodo, bocal de proteção, corrente (I), tensão (V), velocidade de soldagem (v), vazão de argônio (Q) e energia de soldagem (E), estão contidas na Tabela 2 [4]

Tabela 2 - Parâmetros de soldagem.

Eletrodo	Tungstênio com 2% de tório
Diâmetro do eletrodo [mm]	3,25
Bocal de proteção	n° 10
Corrente [A]	230
Tensão [V]	29
v [mm/min]	100
Q [L/min]	12
E [kJ/mm]	3,2

As amostras foram cortadas com uma policorte da marca PANTEC modelo PANCUT 80, rotação de 3600 rpm, segundo o padrão da Figura 1 e catalogadas segundo a *Figura 2*. Após isso, foram realizados os processos de lixamento, com lixa de grana 80 a 1200, e polidas com pasta de alumina de granulometria de 1 μm e acabado com de 0,3 μm . Realizou-se banhos ultrassônicos após o polimento e feito ataque com nital 2% [4].

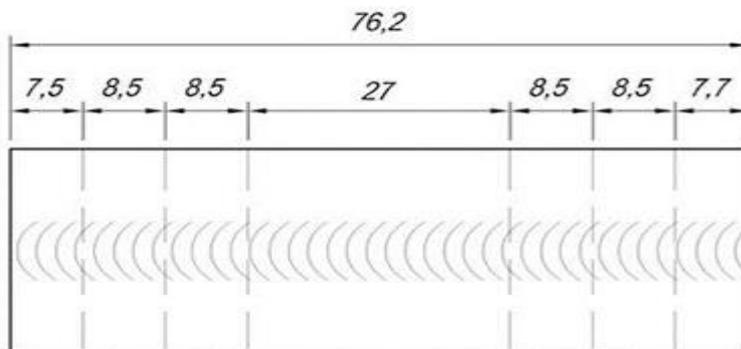


Figura 1 - Esquematização do corte das amostras.

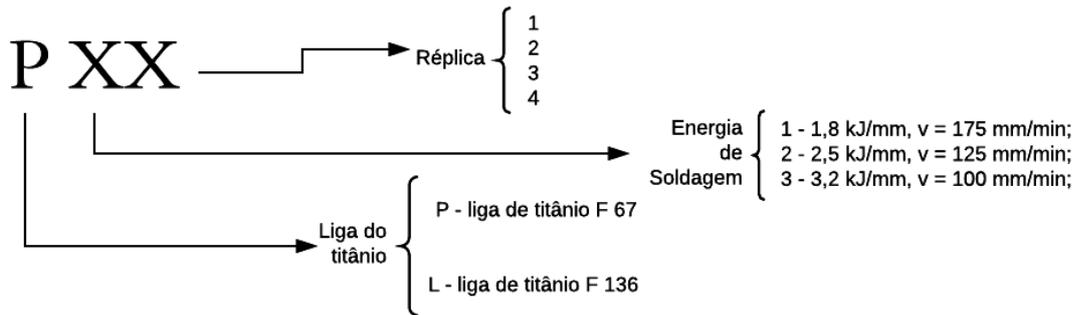


Figura 2 - Identificação das amostras.

As extremidades foram descartadas, as amostras de dimensão 8,5 mm x 32 mm x 10 mm foram embutidas em baquelite para caracterização microestrutural (através do MEV) e a amostra de 27 mm x 32 mm x 10 mm foi feita a análise de difração por raios-X (DRX) e ensaio de micro desgaste abrasivo de esfera fixa [4].

Os ensaios de micro desgaste abrasivo de esfera fixa foi realizado em uma máquina de micro desgaste abrasivo de esfera fixa, Figura 3, projetada e construída seguindo a norma ISO 26424-2008 [7] e o guia de boas práticas “*Ball cratering or Micro-Abrasion Wear Testing of Coatings*” [9].



Figura 3 - Máquina de micro desgaste abrasivo.

A partir desse ensaio, determina-se o diâmetro da cratera (d) e, assim, através da Equação A, o volume de material removido (V).

$$V = \frac{\pi d^4}{64R} \quad \text{para } d \ll R \text{ (A)}$$

Com o valor do volume de material removido, pode-se determinar o valor da taxa de desgaste (Q) pela Equação B.

$$Q = \frac{V}{S} \quad (B)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises microestruturais das amostras foram realizadas pela microscopia eletrônica de varredura (MEV), equipamento da marca ZEISS modelo EVO LS15, por técnicas de detecção da emissão de elétrons retroespalhados (BSE), Figura 4, a diferença da tonalidade da imagem é estabelecida por massa atômica do elemento, onde os tons mais claros para elementos de maior massa atômica e os tons escuros para elementos de menor massa atômica.

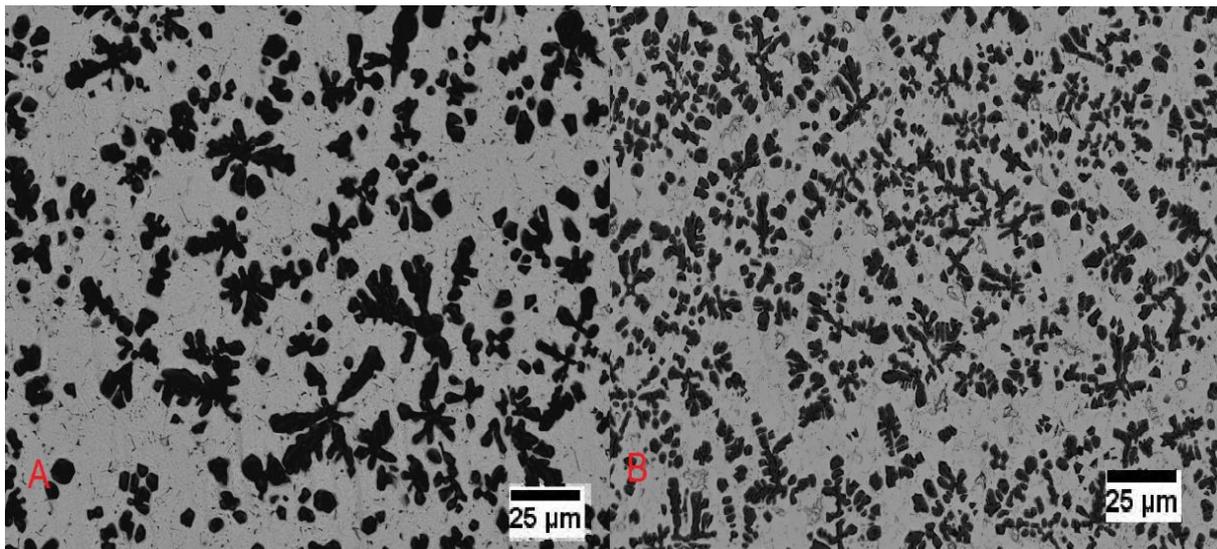


Figura 4 - Micrografia gerado por MEV (BSE): A) F 67/E = 3,2 kJ/mm, B) F 136/E = 3,2 kJ/mm.

A Figura 4 mostra uma matriz ferrítica como a fase predominante e os carbonetos de titânio com segunda fase, com distribuição uniforme, e os carbonetos de titânio apresentam ramificações dendríticas típico desse elemento.

Os resultados de difração de raios-X definiram quais as fases contidas nos cordões de solda, utilizando como suporte as fichas CIF [4], indicado na Tabela 3 [4]. As fases presentes no cordão (Figura 5) são os carbonetos de titânio (TiC), a ferrita

(Fe) e a cementita (Fe_3C) refugo. Além disso, a presença de titânio puro mostrou-se ausente, indiciando a total transformação do titânio puro em carboneto. Com esses resultados pode-se afirmar que há a presença de carbonetos de titânio, e assim, o processo descrito anteriormente de utilização de cavacos para produção de uma mistura carbonetante.

Tabela 3 - Parâmetros das fases encontrados por DRX.

Fase	Ficha ICSD	Estrutura	Parâmetros de rede [Å]		
			a	b	c
α -Ti	44390	HEX	2,951	2,951	4,679
β -Ti	44391	CCC	3,311	-	-
TiC	44494	CFC	4,318	-	-
Fe	53451	CCC	2,866	-	-
Fe_3C	38308	ORT	5,092	6,741	4,527

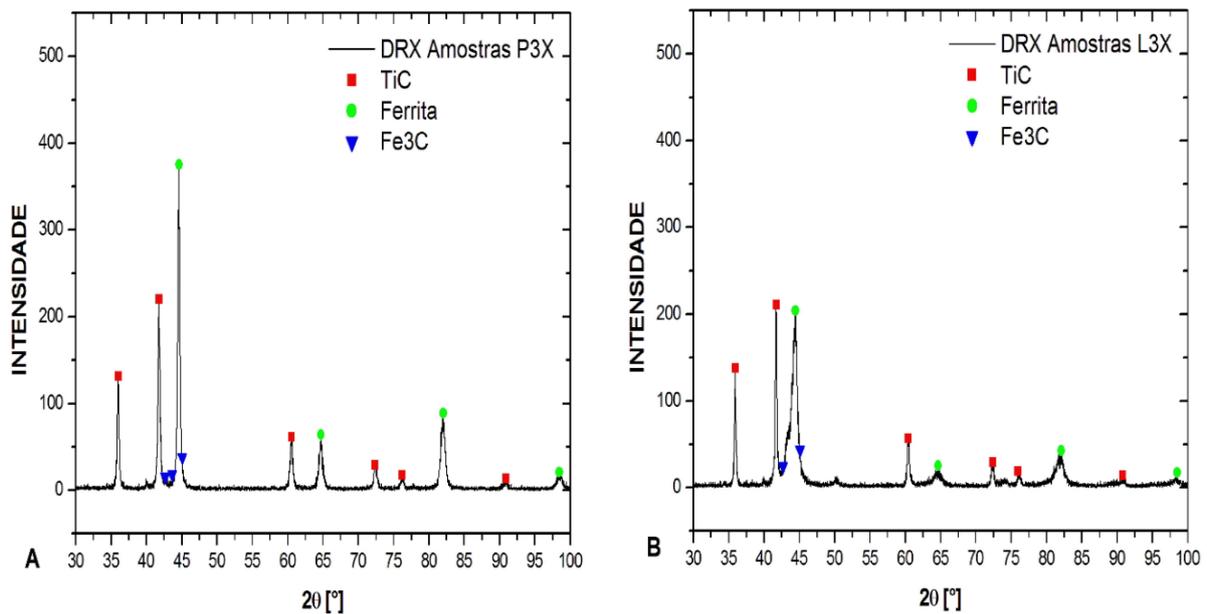


Figura 5 - Resultado DRX cordão de solda: A) F 67/E = 3,2kJ/mm, B) F 136/E = 3,2 kJ/mm.

Nos ensaios de micro desgaste abrasivo de esfera fixa, utilizou-se dos parâmetros da Tabela 4 para sua execução nas amostras ASTM F67 e ASTM F136 com energia de soldagem $E = 3,2$ kJ/mm.

Tabela 4 - Parâmetros para ensaio de micro desgaste abrasivo de esfera fixa.

Rotação [rpm]	150
Carga [N]	4,9
Tempo [s]	300, 420 e 600
Distâncias de deslizamento [m]	119,7; 167,6; 239,4
Abrasivo	Carbeto de silício (SiC)
Gotejamento	1 gota/ 10s
Diâmetro da esfera [mm]	25,4

As imagens obtidas pelo estereomicroscópio então contidas na Figura 6. Os resultados do ensaio micro abrasivo de esfera fixa estão na Tabela 5, na qual podemos verificar o diâmetro das crateras e os valores do volume de material removido e a taxa de desgaste do metal base (MB), do cordão de solda com ASTM F67 (F67) e com ASTM F136 (F136).

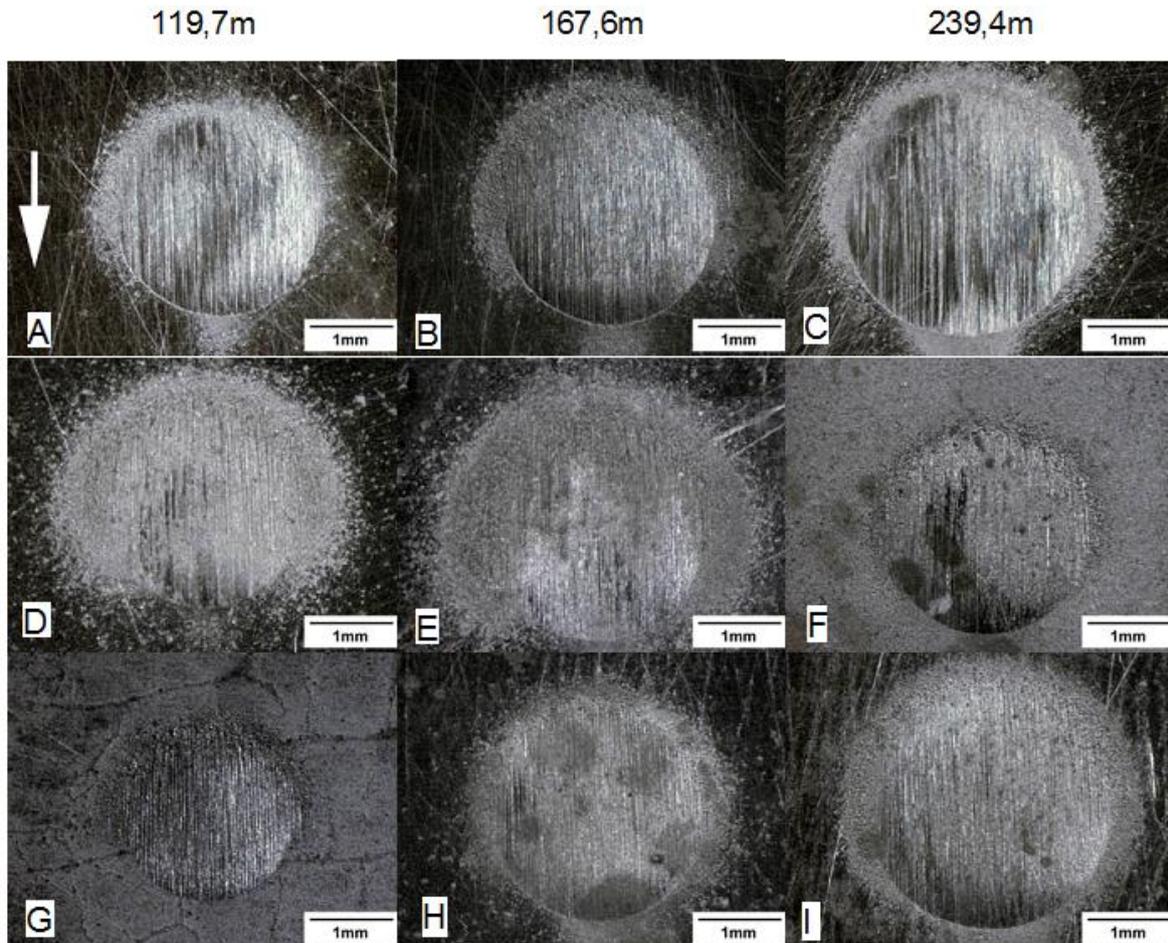


Figura 6 - Imagens do ensaio de micro desgaste abrasivo nas regiões do substrato: A) 5min, B) 7min e C) 10min; no cordão de solda ASTM F67: D) 5min, E) 7 min e F) 10min; e no cordão de solda ASTM F136: G) 5min, H) 7min e I) 10min.

Tabela 5 - Dados obtidos após ensaio micro abrasivo de esfera fixa

Amostra	MB	MB	MB	F67	F67	F67	F136	F136	F136
Distância [m]	119,7	167,6	239,4	119,7	167,6	239,4	119,7	167,6	239,4
D ¹ [mm]	2,47	2,70	3,01	2,04	2,35	2,57	2,15	2,57	2,88
V ² [mm ³]	0,072	0,102	0,159	0,034	0,059	0,084	0,041	0,084	0,133
T _d ³ [mm ³ /m]	601 ⁻⁶	608 ⁻⁶	663 ⁻⁶	280 ⁻⁶	351 ⁻⁶	352 ⁻⁶	342 ⁻⁶	499 ⁻⁶	555 ⁻⁶

¹ Diâmetro da cratera, ² Volume de material removido, ³ Taxa de desgaste

CONCLUSÕES

De acordo com os resultados apresentados, os cordões de solda com as ligas de titânio ASTM F67 e ASTM F136 apresentaram um bom desempenho ao desgaste

abrasivo, isso implica que a diluição tem um papel importante na resistência a abrasão.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Implalife Biotecnologia pelos insumos, a bolsa CAPES durante o desenvolvimento do trabalho e ao Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) – Departamento de Física e Química UNESP/Ilha Solteira.

REFERÊNCIAS

- [1] ASTM G 40 – 96 Standard Terminology Relating to Wear and Erosion.
- [2] COZZA, R. C. Estudo do desgaste e atrito em ensaio micro-abrasivo por esfera rotativa fixa em condições de força normal constante e pressão constante. 2011. 290f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.
- [3] FAGUNDES JÚNIOR, J. G.; MANERA, R. S.; TOKIMATSU, R. C.; VENTRELLA, V. A.; GALLEGO, J. Aplicação de Cavacos de Titânio para Produção de Revestimento Resistentes ao Desgaste. Soldagem e Inspeção, São Paulo, v. 19, p. 264-270, jul/set 2014. DOI: 10.1590/0104-9224/SI1903.09.
- [4] FAGUNDES JÚNIOR, J. G. Reciclagem de cavacos para a formação de carbonetos de titânio no metal de solda produzido por soldagem GTAW em aço-carbono. 2015. 80f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de Ilha Solteira, São Paulo, 2015.
- [5] GAHR, K. H. Z. Microstructure and wear of materials. New York: Elsevier, 1987.
- [6] IMPLALIFE BIOTECNOLOGIA. Site da Implalife Biotecnologia, 2014. Disponível em: <<http://www.implalife.com.br/>>.
- [7] ISO 26424 – 2008 “Fine ceramics (advanced ceramics, advanced technical ceramics) – Determination of the abrasion resistance of coatings by micro-scale abrasion test.”.
- [8] JEFFUS, L. Welding: principles and application. 7 ed. New York. Delmar, 2012. 946p.

- [9] OLIVEIRA, D. L. Construção de um equipamento de ensaio de desgaste micro abrasivo por esfera rotativa fixa para análise do desgaste em revestimento duro aplicado por soldagem. 2015. 85f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de Ilha Solteira, São Paulo, 2015.
- [10] SANTOS, W. C.; Neto, J. O. P.; Silva, R. O.; Rodriguês, G.; Moreto, J. A.; Manfrinato, M. D.; Rossino, L. S. Desenvolvimento de dispositivo e estudo do comportamento ao microdesgaste abrasivo do aço AISI 420 temperado e revenido. 2015 Revista Matéria, v.20, n.3, p. 304 – 315, 2015.

HARDFACING PRODUCED WITH TITANIUM CHIPS: EVALUATION OF THE ABRASIVE WEAR RESISTENCE.

ABSTRACT

Industrial sectors, such as sugar cane and mining, suffer with a large loss of efficiency or stopped its equipment caused by abrasive wear. To reduce the stops is used of techniques to extend the life of parts, such as hard coatings. In this work was analyzed the microstructure and wear behavior of the weld metal hardened by carbides of titanium, formed from a mixture of chips of titanium (ASTM F67 and ASTM F136) after welded by Gas Tungsten Arc Welding (GTAW) on a steel base ASTM A36. The samples were analyzed by Scanning Electron Microscopy (SEM) and diffraction X-ray (XRD). The wear resistance was evaluated by micro abrasive wear test, in which it was employed a ball cratering test. There was a massive formation of carbides of titanium (TiC) in the ferrous matrix, reinforced by the presence of thin carbides. The wear rates of weld metals were significantly lower than determined to base metal, showing the quality of the new coating for applications that demand higher wear resistance.

Keywords: Titanium alloys, hard coating, wear resistance, welding, microstructure.