

ESTUDO DA VIABILIDADE NA APLICAÇÃO DE CAVACOS DE TITÂNIO PARA A FORMAÇÃO DE CARBONETOS EM SOLDAS DO TIPO MCAW*

José Gedael Fagundes Júnior¹

Cláudio Turani Vaz²

Alexandre Queiroz Bracarense³

Resumo

O aumento na demanda de ligas de titânio utilizadas para a fabricação de implantes ortodônticos, nos quais os processos de usinagem são comumente aplicados como fabricação, traz consigo uma elevada geração de cavacos, sendo descartados sob baixo valor econômico quando comparado as ligas comerciais do titânio. Cavacos das ligas de titânio foram moídos, classificados quanto à granulometria e utilizados como componente de fluxo em arames tubulares experimentais do tipo MCAW. As soldas formadas apresentaram a formação de TiC primários como segunda fase, promovendo melhoria significativa dos valores de dureza superficial do metal de base. Os difractogramas das amostras indicaram que majoritariamente, todo o titânio presente na solda reagiu na forma de carbonetos, uma vez que fases do titânio puro não foram encontradas. Assim espera-se uma melhoria significativa na resistência aos mecanismos de desgastes, principalmente do tipo abrasivo, sendo este tido como um dos modos mais agressivos de desgaste.

Palavras-chave: Arames Tubulares; Fluxo; Reciclagem; Resistência ao Desgaste;

STUDY OF TITANIUM CHIPS UTILITY TO PRODUCE CARBIDE IN MCAW WELD BEAD

Abstract

Increasing in demand for titanium alloys used for manufacture of orthodontic implants, which the machining processes are commonly applied have been generated a huge volume of residues (chips). Commonly these chips are discarded under a low economic value comparing to commercial titanium alloys. Titanium alloy chips were milled, classified as granulometry and used as a flux component in experimental tubular wires of MCAW type. The welds formed showed the formation of primary TiC as the second phase, resulting in significant improvement of the surface hardness values of the substrate. Diffractograms plots of the samples indicated that titanium present in weld reacted in the form of carbides, since phases of pure titanium were not found. As a result, microstructure of the weld has shown high hardness which are expected to increase the wear resistance of the substrate surface.

Keywords: Abrasive wear resistance. Metallic Flux. Recycling. Tubular wire.

¹ *Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Laboratório de Robótica Soldagem e Simulação, UFMG, Belo Horizonte, Minas Gerais Brasil.*

² *Professor Titular do Departamento de Engenharia de Materiais, CEFET, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.*

³ *Professor Titular do Departamento de Engenharia Mecânica, Laboratório de Robótica Soldagem e Simulação, UFMG, Belo Horizonte, Minas Gerais Brasil.*

1 INTRODUÇÃO

Ligas de titânio tem se mostrado como grande inovação na fabricação de próteses e implantes ortodônticos utilizados em humanos. Nos últimos anos tem se notado uma enorme elevação na fabricação destas componentes devido as propriedades biomecânicas do titânio, tornando-o com grande aceitabilidade pelo organismo humano. A crescente demanda na utilização das ligas de titânio traz consigo uma grande geração de resíduos na forma de cavacos na indústria de implantes ortodônticos, uma vez que a usinagem tem sido o processo de fabricação comumente utilizado na produção das próteses e implantes ortodônticos [1,2].

Os cavacos de usinagem apresentam baixas densidades ocupando grandes espaços nos procedimentos de descarte dos resíduos e gerando custos adicionais às empresas destas atividades.

A composição química destas ligas pode, em alguns casos apresentar o titânio com percentagem em peso superior a 90% (ASTM F67 e ASTM F136) e assim podem se tornar um grande atrativo para que os cavacos resultantes possam ser beneficiados e reinseridos novamente na cadeia produtiva e a baixo custo quando comparados as ligas comerciais do titânio [3].

Por outro lado, a presença de componentes tais como carbonetos metálicos tem sido uma grande alternativa para melhorar as propriedades de resistência aos mecanismos de desgaste [4]. Elevada dureza, alto ponto de fusão e estabilidade química justificam a sua aplicação [5]. Apesar de ser reportado por alguns autores que elevada dureza não significa resistência ao desgaste, Holleck mostrou em seu trabalho o TiC com melhores propriedades de resistência ao desgaste abrasivo, mesmo apresentando dureza inferior aos demais carbonetos (B_4C) e ainda sob diferentes tipos de abrasivos [6].

Industrialmente os metais de adição voltados para a deposição de metal duro por soldagem (hardfacing) possuem o cromo como elemento principal visando a formação de carbonetos de cromo (Cr_3C_2), entretanto o TiC apresenta melhores propriedades de resistência ao desgaste. O alto valor comercial do titânio como matéria prima tem colocado o cromo com melhor viabilidade econômica [7- 9].

O objetivo do presente trabalho é investigar a aplicação de finos dos cavacos da liga Ti6Al4V (F136 – Grau IV) aplicados como componentes do fluxo metálico inseridos em arames tubulares do tipo Metal Core (MCAW) viabilizando a formação de revestimentos duros resistente ao desgaste.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Cavacos da liga de titânio F136 – Grau IV (Ti6Al4V) foram limpos em soluções decapantes, para a remoção dos fluidos de corte aplicados no processo de usinagem e posteriormente submetidos a moagem em um moinho de panela, Figura 1. Os finos da liga de titânio foram classificados em tamanhos de +40 -70 Mesh e utilizados como pós para o fluxo de soldagem. A partir dos cálculos estequiométricos para a formação de TiC, determinou-se que a proporção em massa para formar o fluxo de pós de titânio e grafite, $m_{Ti} : m_{grafite}$, foi de 10 gramas de cavacos para 3 gramas de grafite .

Os arames tubulares foram fabricados a partir de uma fita metálica de aço SAE 1010, com seção retangular de 10mm x 0,5mm. A conformação e trefilação do arame foi realizada em um equipamento experimental pertencente ao Laboratório de Robótica Soldagem e Simulação (LRSS-UFMG), Figura 2(a). A mistura de cavacos e

grafite foi inserida no processo após a conformação da fita em “U”, onde em seguida foi submetida ao rolete de fechamento, conforme processo convencional utilizado para o processo [10,11]. O arame foi submetido a várias sequências de fiação para redução do diâmetro até atingir a medida de 2,2 mm.

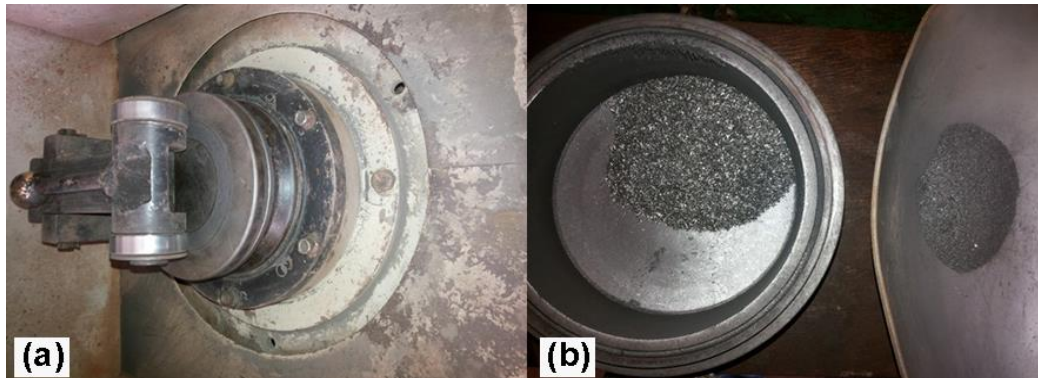


Figura 1: Moagem dos cavacos. (a) Moinho de panelas. (b) Aspectos dos cavacos na moagem.

A soldagem foi realizada em um conjunto para soldagem constituído por fonte ARISTOTM U82 e alimentador de arame ARISTO feed 300. Para controle da velocidade de soldagem, a tocha foi fixada em um carro de velocidade conforme indicado na Figura 2(b). A partir de testes preliminares definiu-se os parâmetros de soldagem do arame, Tabela 1. Como material de base foi utilizada uma chapa de aço SAE 1020, com seção de 10 mm x 50 mm se fez a deposição de cordões com 1, 2 e 3 passes sobrepostos para contornar os efeitos de diluição do metal de base e evidenciar melhor a presença dos TiC na solda.

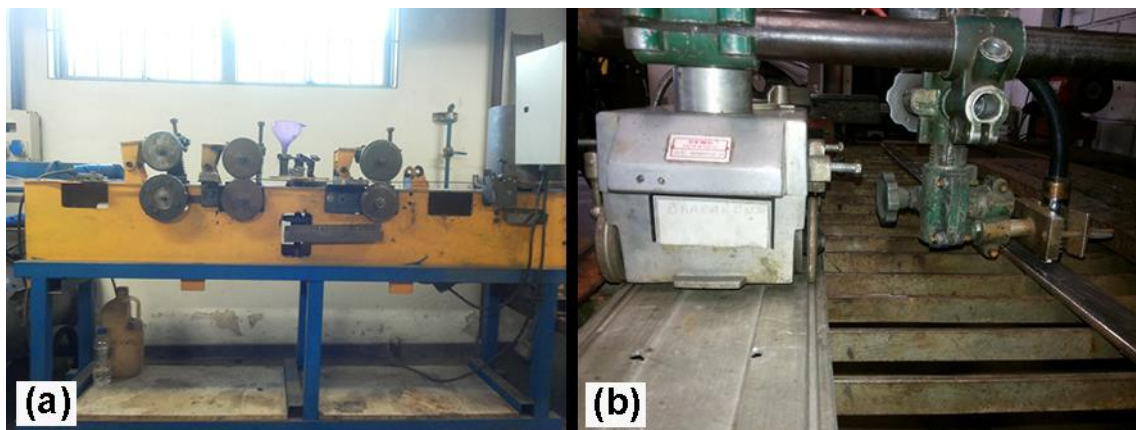


Figura 2: (a) Equipamento de Fabricação dos arames tubulares (LRSS - UFMG). (b) Esquema de deposição do arame tubular.

Tabela 1: Parâmetros de soldagem para deposição do arame tubular.

Parâmetros de Soldagem	
Tensão, V	24
Vazão do gás, l/min	30
Velocidade de alimentação do arame, m/min	5
Velocidade de Soldagem, cm/min	300
DBCP (*), mm	25
Diâmetro do arame, mm	2,2

(*) *Distância bico de contato peça*

Os cordões de solda formados foram divididos em amostras de acordo com a região de corte, Figura 3. As amostras indicadas pelas letras A e B foram embutidas em baquelite. Amostras identificadas com a letra C foram separadas para testes futuros de DRX. A preparação metalográfica se fez a partir de técnicas convencionais de lixamento e polimento em alumina. Para a revelação da microestrutura foi utilizado NITAL 2%. As macrografias foram realizadas em uma máquina fotográfica Nikon com lentes de aumento. A microestrutura foi examinada por microscopia ótica e MEV (EBS e EDS). A identificação das fases do pó de titânio moído e das soldas depositadas, foi realizada por difração de raios-X (DRX) usando um difratômetro equipado com tubo de cobre (1,5405Å) e monocromador de grafite. A intensidade difratada pelas amostras foi registrada no intervalo entre 20 a 100°, varrida com velocidade de 2° por minuto. A identificação das fases foi baseada nas fichas cristalográficas CIF, as quais foram consultadas no banco de dados do Inorganic Crystal Structure Database [12]. As medições de microdureza foram realizadas em um microdurômetro digital SHIMADZU com cargas de 0,1 N mantidas por 15 segundos (HV0,1). As identificações foram realizadas nas seções dos cordões, em 3 linhas de medição, partindo do topo do cordão, em passes de 0,3 mm até atingir o metal de base ultrapassando a ZTA.

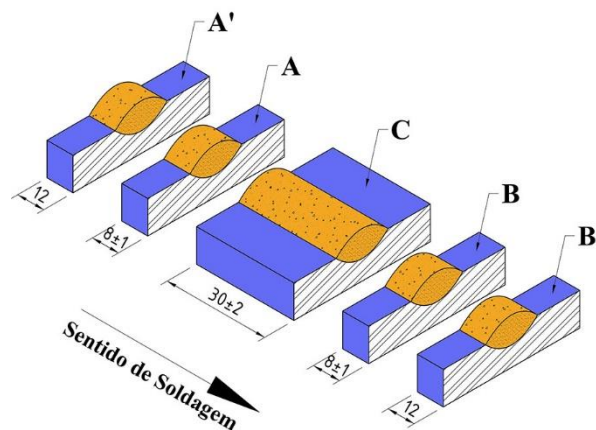


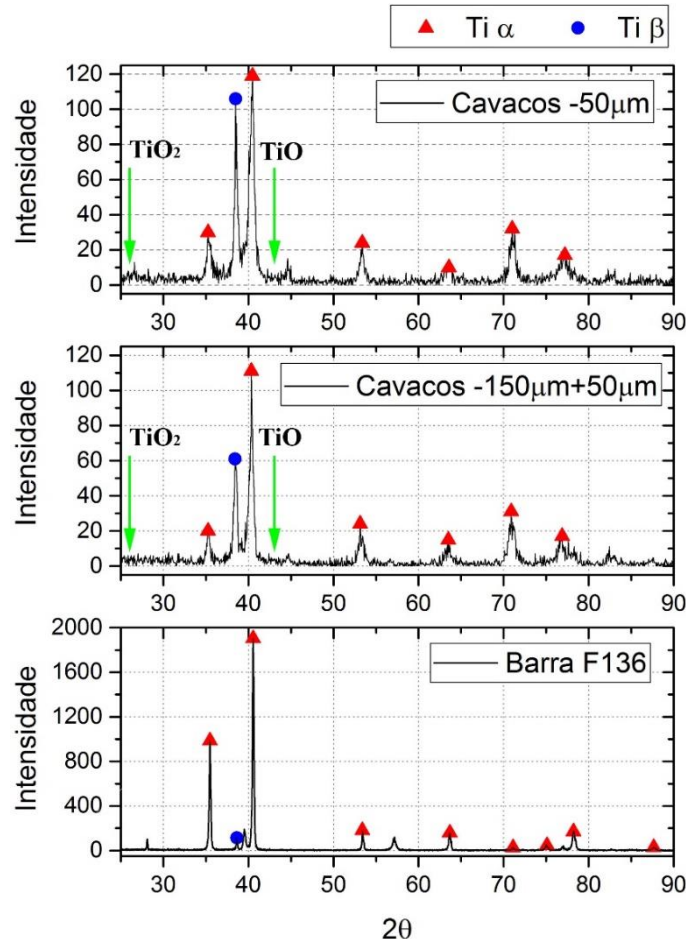
Figura 2: Esquema de corte das amostras.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As curvas caracterizadas pelos difratogramas mostraram que os finos obtidos no processo de moagem se mostraram isento de óxidos e apresentando as fases encontradas idênticas a da barra de titânio, da qual se fabricou os implantes ortodônticos, Figura 4.

Os arames tubulares apresentaram fechamento do tipo de topo e bons aspectos de circularidade, Figura 5(a). Conforme mostrado na Figura 5(b), a taxa de eficiência de preenchimento do fluxo apresentou valores abaixo daqueles recomendados para arames tubulares, com aplicação voltadas para a deposição de revestimento duro, onde são recomendados valores com variações entre 30% a 50% [11]. Este comportamento se justifica por dois fatores densidade do fluxo e a espessura da fita metálica. O titânio apresenta densidade bem abaixo dos elementos comumente utilizados nos arames tubulares comerciais e assim a taxa de eficiência de preenchimento é determinada levando em consideração o peso do arame com o fluxo e sem fluxo. A espessura da fita afeta o diâmetro interno do arame que virá a

ser preenchido com o fluxo. Utilizando a fita de 0,55 mm, o arame apresentou diâmetro externo de $2,25 \pm 0,04$ mm e espessura de $0,47 \pm 0,05$ mm, resultando em um diâmetro interno aproximado de 1,26 mm. Fitas com espessuras menores resultarão em maiores diâmetros internos do arame e conseqüentemente maiores quantidades de fluxo por unidade de comprimento do arame.



20
Figura 4: Difratoograma dos cavacos após a moagem e de uma barra de titânio.

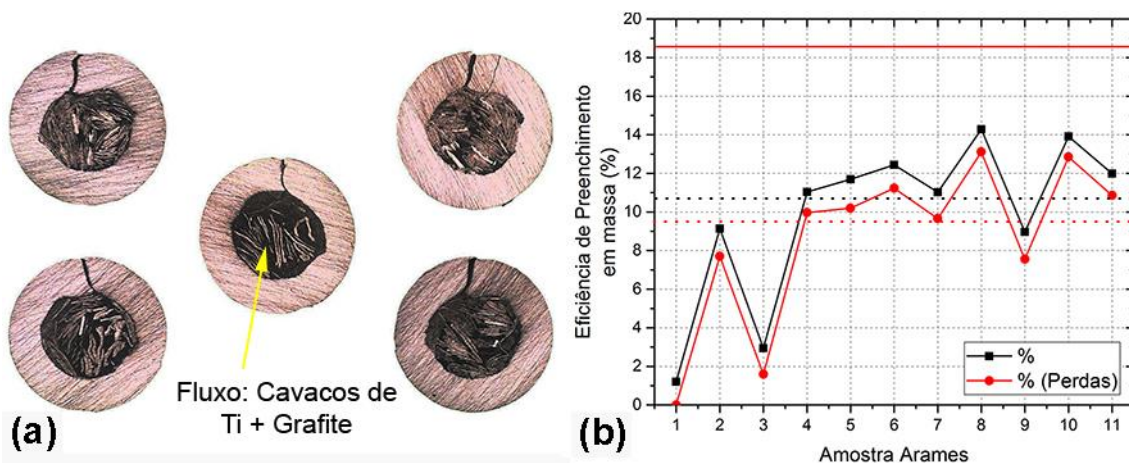


Figura 5: Aspectos do arame tubular. (a) Geometria e acomodação dos finos a base de cavacos de titânio. (b) Variação da eficiência de preenchimento.

Os cordões formados apresentaram aspectos de topografia e acabamento típicos do processo MCAW. As regiões da solda onde ocorreram a transição de arame como

fluxo para arame sem fluxo podem ser observadas a partir da topografia da solda, Figura 6.

Nos cordões com três passes nota-se que houve uma sobreposição fazendo com que o material da solda apenas se depositasse sobre o metal de base sem ocorrer a fusão, Figura 7. A presença de respingos tornou-se mais evidente nos cordões de 02 e 03 passes, possivelmente como resultado de irregularidades superficiais promovidas pela solda do passe anterior, resultando em instabilidade na soldagem e deste modo, pode estar afetando o modo de transferência metálica (curto circuito para globular e vice-versa).

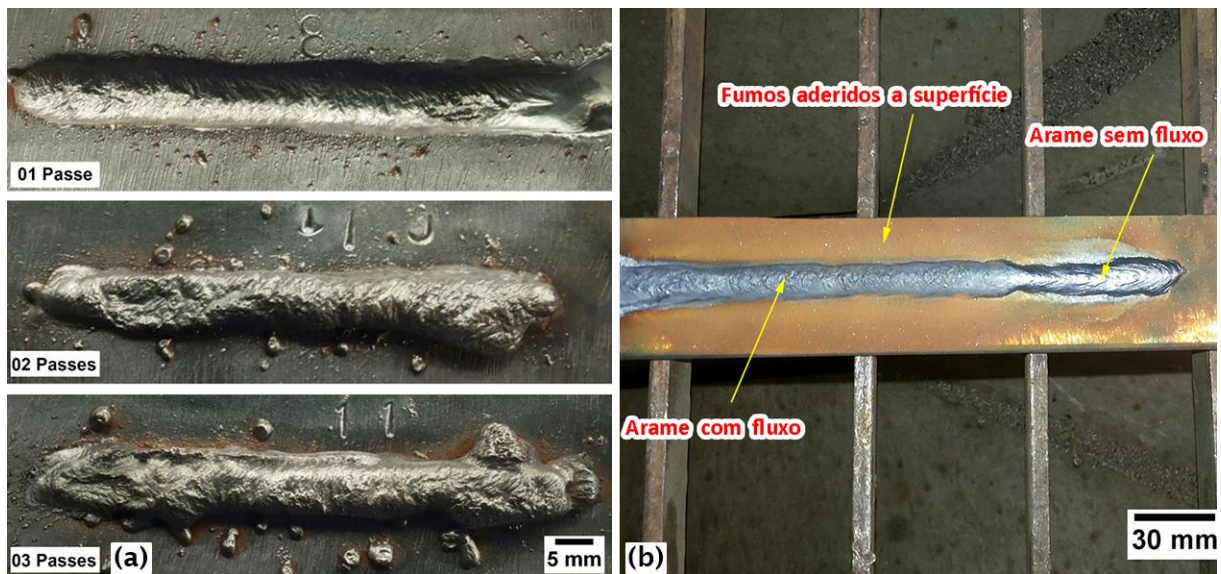


Figura 3: Aspectos topográficos dos cordões de solda. (a) Variação dos passes. (b) Transição da solda pelo arame com e sem a presença do fluxo.

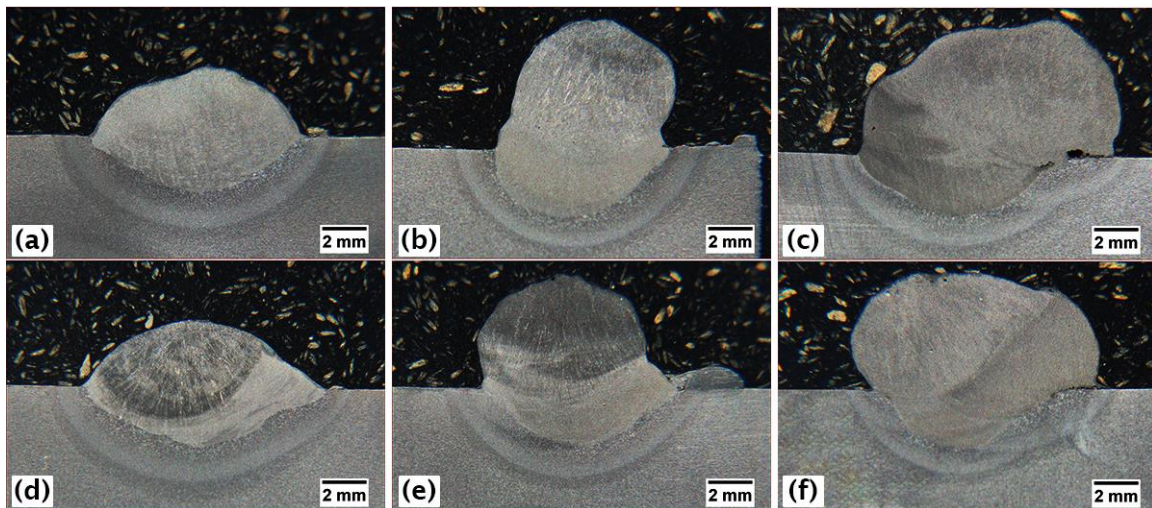


Figura 4: Seção transversal das amostras.

Como consequência do processo de soldagem em cordões sobrepostos, as soldas formadas com 02 e 03 passes promoveram uma redução nos valores das taxas de diluição, resultando em um maior efeito do metal de adição (arame tubular) na solda. Os valores médios foram de $50,5 \pm 12,29\%$ para as soldas de 01 passe, $30,9 \pm 3,71\%$ para as soldas de 02 passes e $22,1 \pm 0,02\%$ para as soldas de 03 passes, Figura 8. É importante considerar que os cordões depositados estão ainda sob influência da composição química e porcentagem (em peso) do Fe presente na composição

química da fita utilizada para conforme e trefilar o arame tubular, afetando a participação dos elementos de liga (titânio e carbono) formadores de carbonetos, presentes no fluxo. A formação de carbonetos de titânio foi evidenciada na microestrutura de forma bem distribuída ao longo da matriz ferrítica. Os valores de fração volumétrica apresentaram um crescimento à medida que passes sobrepostos eram depositados. Este comportamento se deu a partir da redução dos efeitos de diluição de metal de base na solda. Entretanto, os valores de frações volumétricas não apresentaram efeitos sobre o tamanho das partículas de carbonetos. Análise estatística pelo teste de significância tem indicado que para as soldas depositadas em passes sobrepostos, o tamanho dos carbonetos não apresentou diferenças significantes.

Os TiC se caracterizam por uma microestrutura constituída de ramos dendríticos com uma morfologia arredondada ou estrelada [13,14]. Entretanto para as soldas formadas nota-se pelas micrografias, Figura 9, que os carbonetos apresentaram uma forma prismática com arestas e formação de quinas, e deste modo podem apresentar grande concentração de tensões na interface com a matriz, reduzindo as propriedades da microestrutura de resistência ao desgaste [15]. Apesar de tal comportamento necessitar de estudos mais aprofundados, a morfologia das partículas de carbonetos pode estar sendo afetada pelo teor de Ti no arame tubular. Alguns trabalhos reportados pela literatura têm apresentado a morfologia das partículas de TiC mais arredondadas ou globulares quando a concentração de Ti no metal de adição tem apresentado valores mais elevados [16,17].

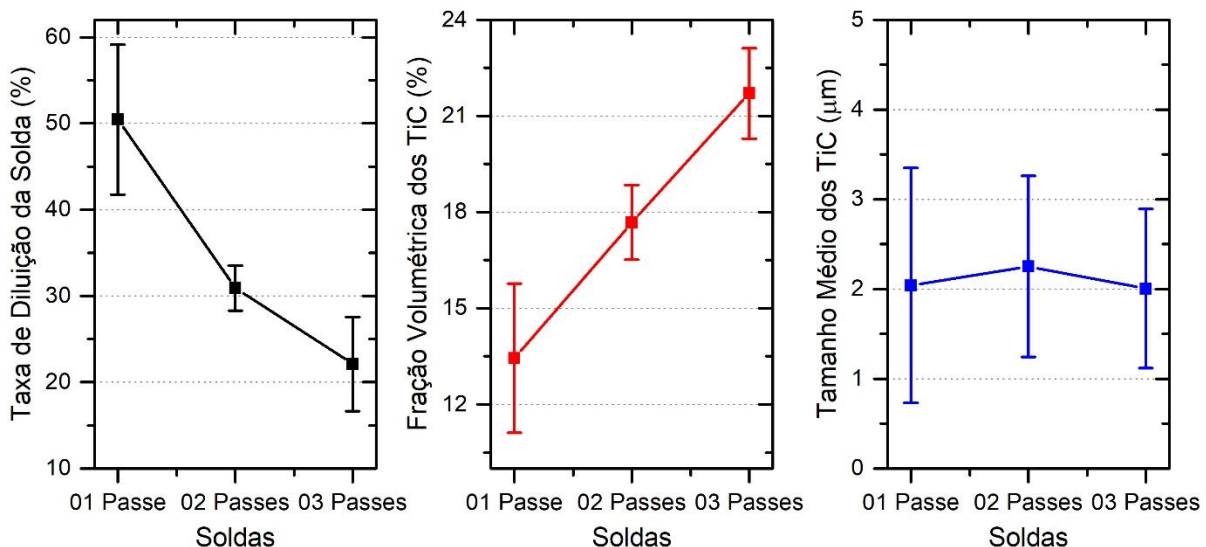


Figura 8: Comparação dos valores da taxa de diluição, fração volumétrica e tamanho dos TiC nas soldas com 01, 02 e 03 passes de soldagem.

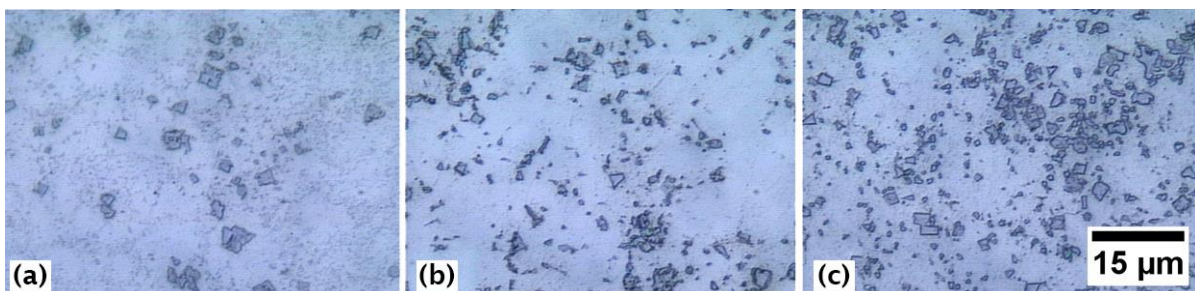


Figura 9: Micrografia dos TiC na solda. (a) 01 passe. (b) 02 passes. (c) 03 passes.

A formação dos TiC pode também ser evidenciada pelo considerável aumento da dureza superficial na região de solda, esperando assim que seja atribuído a superfície uma considerável melhoria na resistência ao desgaste, Figura 10. A baixa dispersão apresentada pelos valores de microdureza também podem ser tidos como um indicativo de uma microestrutura com a presença de TiC de modo bem homogênea, uma vez que a presença destas partículas no ponto de identificação da microdureza é altamente sensível às fases presentes.

Os cordões com 02 passes foram os que apresentaram valores de microdureza superior aos demais, mesmo apresentando uma baixa densidade de carbonetos presentes quando comparado as demais soldas. A elevação de dureza nestas amostras pode ter sido efeito da microestrutura da matriz que possivelmente apresente a distribuição de carbonetos finos. Os microconstituintes formados na matriz (martensita, ferrita, etc.) podem também estar afetando os valores de dureza. Entretanto tais comportamentos carecem de maiores investigações.

Somente a elevada dureza de uma superfície não significa resistência ao desgaste, por outro lado, esta propriedade mecânica é tida como um forte indicativo no comportamento dos materiais quando submetido aos mecanismos de desgaste [4]. Por esta razão, a presença dos carbonetos como uma segunda fase envoltos em uma matriz ferrítica pode apresentar condições necessárias para fornecer resistência ao desgaste abrasivo na superfície em que o revestimento esteja sendo depositado.

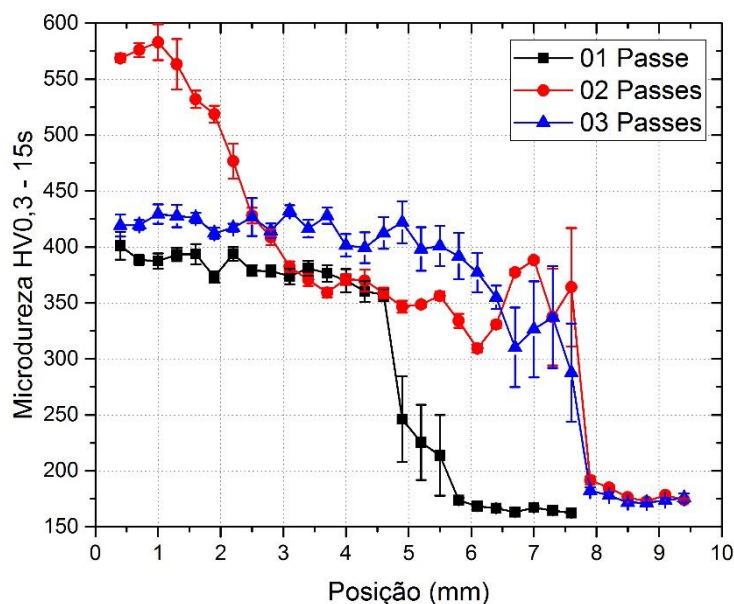


Figura 10: Microdureza dos cordões de solda.

4 CONCLUSÃO

A formação de TiC foi evidenciada a partir da utilização de cavacos de titânio como fluxo dos arames tubulares. Como resultado da presença de TiC a solda apresentou elevação considerável da dureza superficial.

A espessura da fita metálica proporcionou baixos valores de taxa de eficiência de preenchimento do fluxo nos arames promovendo baixas proporções de titânio no metal de solda formando baixas frações volumétricas de TiC na microestrutura. A utilização de fitas metálicas com espessuras menores poderá favorecer a presença

de TiC na solda e deste modo aumentar a dureza e possivelmente melhorar as propriedades de resistência ao desgaste abrasivo.

Os carbonetos de titânio apresentaram uma morfologia prismática provavelmente como consequência da baixa oferta do titânio na solda.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a empresa Neodent pelo fornecimento dos cavacos de titânio utilizados neste trabalho, aos Departamentos de Engenharia Metalúrgica e Materiais (DEMET) e de Minérios (DEMIN), ambos UFMG, pela disponibilização dos recursos de Caracterização Microestrutural e Moagem. Ao apoio financeiro da CAPES durante a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- 1 MOSTAFA, B. E.; FIKY, L. E.; HASSAN, O. Functional results in ossiculoplasty with different titanium prostheses. *Egyptian Journal of Ear, Nose, Throat and Allied Sciences* (14), 2013. 79-84.
- 2 ELIAS, C. N.; MEIRELLES, L. Improving osseointegration of dental implants. *Expert Review of Medical Devices*, 2010. p241+.
- 3 ASTM INTERNATIONAL. F 136 - 02A. Standard specification for wrought titanium-6aluminum-4vanadium eli (extra low interstitial) alloy for surgical implant applications (unsr56401), West Conshohocken, 10 Novembro 2002. 1-4.
- 4 GAHR, K.-H. Z. *Microstructure and Wear of Materials*. 1º. ed. New York: Elsevier, v. 10, 1987.
- 5 PIERSON, H. O. *Handbook of refractory carbides and nitrides*. New Jersey: Noyes Publications, 1996.
- 6 HOLLECK, H. Material Selection for Hardfacing. *Journal of Vacuum Science & Technology*, Harlsruhe, 3 Julho 1986. 2660-2669.
- 7 MELLOR, B. G. *Surface Coatings for Protection Against Wear*. Boca Raton: Woodhead Publishing Limited, 2006.
- 8 BARNES, N; JOSEPH, T.; MENDEZ, P. F. Issues associated with welding and surfacing of large mobile mining equipment for use in oil sands applications. *Science & Technology of Welding & Joining* 20(6), 2015. 483-493.
- 9 GÜNTHER, K; BERGMANN, J. P.; SUCHODOLL, D. Hot wire-assisted gas metal arc welding of hypereutectic FeCrC hardfacing. *Surface & Coatings Technology* 334, 2018. 420-428.
- 10 WIDGERY, D. *Tubular Wire Welding*. Cambridge: Abington Publishing, 1994.
- 11 FORTES, C.; WELERSON, A. *Apostila de Arames Tubulares*. [S.l.]: ESAB, 2004.
- 12 (ICSD), I. C. S. D. *Inorganic Crystal Structure Database (ICSD)*., 2017. Disponível em: <<http://icsd.fiz-karlsruhe.de.w31001.dotlib.com.br/search/basic.xhtml>>. Acesso em: 25 de setembro 2017.
- 13 KE YANG et al. Formation Mechanism of Titanium and Niobium Carbides in Hardfacing Alloy. *Rare Metals*, 29 June 2016. 1-5.
- 14 PENG, D.-X. The effects of welding parameters on wear performance of clad layer with TiC ceramic. *Industrial lubrication and tribology*, Chung-Li, Taiwan, 2012. 303-311.
- 15 XINBA YAER, K. S. H. M. T. K. T. M. Erosive Wear Characteristics of Spheroidal Carbides Cast Iron. *Wear*, Osaka, 31 Agosto 2007. 947-957.
- 16 FAGUNDES, J. G. J.; VENTRELLA, V. A.; GALLEGO, J. Reciclagem de Cavacos de Titânio para a Deposição de Revestimentos Duros por Soldagem. *Soldagem e Inspeção*, v. 20, n. 1, p. 117-127, 2015. ISSN DOI 10.1590/0104-9224/SI2001.12.
- 17 XINHONG, W. et al. Microstructure and wear properties of in situ TiC/FeCrBSi composite coating prepared by gas tungsten arc welding. *Wear*, Jinan, China, 31 Março 2005. 705-710.

- 18 PENG, D.-X. et al. Wear behavior of ceramic powder cladded on carbon steel surface by gas tungsten arc welding. Industrial Lubrication and Tribology 65/2, 2013. 129-134.