

CONEM 2016
CONGRESSO NACIONAL DE
ENGENHARIA MECÂNICA

21-25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

REVESTIMENTO DEPOSITADO POR ATRITO DE Ti-6Al-4V: EFEITOS DA VELOCIDADE DE DEPOSIÇÃO

Resumo: No presente estudo foram aplicados revestimentos de Ti-6Al-4V sob um substrato do mesmo material, com 2 mm de espessura, através do processo de deposição por atrito. O objetivo dessa pesquisa foi investigar o efeito da velocidade de avanço do substrato na geometria e na adesividade do revestimento, bem como na evolução microestrutural e nas propriedades mecânicas do revestimento produzido. Os principais parâmetros do processo de revestimento por atrito são: velocidade de avanço do substrato, velocidade de rotação do pino consumível e a força axial aplicada. Para a aplicação dos revestimentos foi determinado que o modo de controle no equipamento seria através da taxa de consumo da vareta, que foi mantida constante em 1,8 mm/s e, portanto, a força axial variou ao longo da deposição a fim de manter essa taxa constante. Quanto à velocidade de rotação, para esses experimentos foi mantida constante em 3000 rpm, e a velocidade de avanço variou entre 8, 16 e 24 mm/s. A qualidade dos revestimentos produzidos foi avaliada através da microscopia ótica: macroscopicamente, por meio da geometria do revestimento, isto é, sua espessura e largura e, microscopicamente, da evolução microestrutural ao longo do revestimento até o substrato. Além de caracterizar metalurgicamente os revestimentos, também foram realizados os ensaios de microdureza e dobramento para análise das propriedades mecânicas do material revestido. Desta forma, o ensaio de dureza foi executado perpendicularmente à interface revestimento/substrato, e o ensaio de dobramento do material revestido foi realizado visando avaliar a adesividade do revestimento ao substrato. Os resultados obtidos através desse estudo indicaram que, para diferentes velocidades de avanço, o Ti-6Al-4V pode ser depositado com sucesso sob um substrato do mesmo material. A análise da geometria do revestimento mostrou que esta varia significativamente com a velocidade de avanço do substrato, de forma que quanto maior for esta velocidade, mais estreitos e de menor espessura serão os revestimentos. Ainda, os revestimentos apresentaram uma maior dureza que o substrato, pela formação de martensita, e o ensaio de dobramento revelou a adesividade da ligação entre o revestimento e o substrato.

Palavras-chave: Revestimento, Fricção, Titânio, Microestrutura, Propriedades

1. INTRODUÇÃO

O processo de Revestimento Depositado por Atrito, ou mais comumente conhecido por Friction Surfacing (FS), faz parte dos processos de soldagem por fricção no estado sólido. Essa tecnologia foi primeiramente patenteada por Klopstock e Neelands, em 1941, sendo esta a terceira patente realizada com relação aos processos de soldagem por fricção (Macedo, 2011). Pesquisas e desenvolvimentos em soldagem por fricção e de revestimentos depositados por fricção foram liderados nos anos 50 e 60 por cientistas da ex-União Soviética e da ex-Tchecoslováquia. Entretanto, apenas nas últimas décadas essa técnica vem sendo mais explorada em escala industrial para o recobrimento de diversos tipos de materiais metálicos (Fitseva, 2015; Gandra, 2014 e Macedo, 2011). A busca por revestimentos funcionais se tornou uma importante área da indústria de manufatura, visto que a deposição de camadas por esse processo aumenta a vida útil de diversos componentes, servindo como método de prevenção contra desgaste e corrosão dos mesmos, mas também sendo bastante utilizado para reparo de componentes desgastados.

Este processo de recobrimento por fricção ocorre no estado sólido, isto é, abaixo da temperatura de fusão dos materiais, e se baseia na deformação plástica de um pino consumível para a deposição. O princípio básico do processo para aplicação do revestimento por atrito envolve um pino metálico consumível em rotação, que é pressionado contra um substrato sob a aplicação de uma carga axial. A Fig. 1 representa esquematicamente o processo de deposição por atrito. O movimento relativo entre o consumível e o substrato resulta em um calor decorrente da fricção na sua interface, permitindo a deformação plástica na superfície de contato do pino consumível. Pelo deslocamento da posição do substrato, o material amolecido da ponta da vareta é transferido para o substrato e forma um revestimento contínuo, sendo sua largura semelhante ao diâmetro da vareta.

Esse processo é conhecido pela geração de uma rebarba (flash), que ascende ao redor da ponta da vareta deixando o revestimento livre deste defeito. A rebarba é formada como consequência de uma parcela do material amolecido da periferia da vareta ser espremida, devido à força axial, para fora da zona de contato. Outra característica típica desse processo é a formação da solda fria (undercut ou cold lap), que ocorre em decorrência do material, que está termicamente amolecido nas periferias da vareta, não carregar a força de forjamento axial, sendo possível observar a presença de falta de ligação em uma pequena região nas bordas do depósito. Este fenômeno ocorre em ambos os lados do depósito: no lado de avanço (LA), onde a direção da velocidade de rotação do pino é a mesma da velocidade de deposição, e no lado de recuo (LR), em que o vetor entre essas velocidades é contrário.

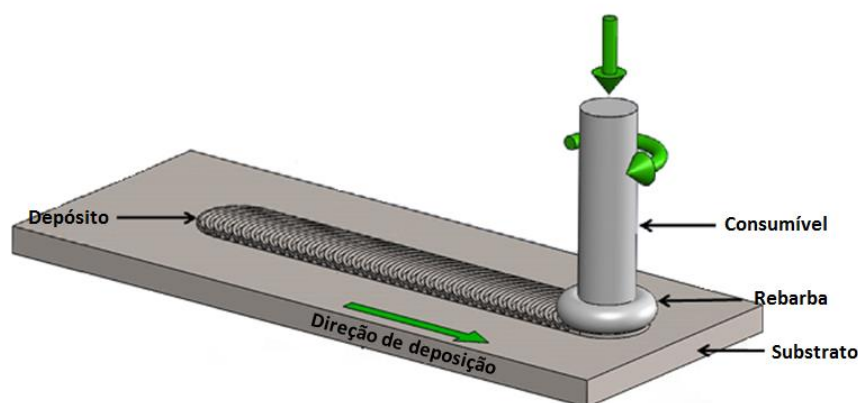


Figura 1. Desenho esquemático do processo de revestimento depositado por atrito (adaptado de Fitseva, 2015)

Existem diversos parâmetros que são capazes de influenciar a formação dos revestimentos (Hanke, 2014), mas aqueles com o maior impacto na qualidade do revestimento e da ligação na interface substrato/revestimento, como mostrados na Figura 1, são: a velocidade de avanço do substrato (ou velocidade de deposição), a velocidade de rotação do pino consumível e a força axial aplicada na barra consumível. Esses fatores são responsáveis pelo controle de características importantes do revestimento produzido, influenciando significativamente nas dimensões do depósito, isto é, na espessura e largura do revestimento, assim como na aderência do revestimento ao substrato (Ferreira, 2010 e Macedo 2011).

Apesar de existirem vários estudos (Gandra, 2013; Kumar, 2015 e Rafi, 2010) para a produção de revestimentos utilizando a tecnologia de deposição por atrito, estes focam em sua maioria nos aços e em ligas de alumínio, não contemplando as ligas de titânio que, embora possuam um custo mais elevado que os citados, pelas suas propriedades, têm um papel importante na indústria, principalmente na aeronáutica. Apenas os trabalhos realizados por Fitseva et al (2015) e Rao et al (2013) relataram o desenvolvimento de revestimentos utilizando titânio. Neste último estudo, entretanto, não foi possível realizar a deposição do titânio comercialmente puro em nenhum substrato, inclusive em um substrato de Ti-6Al-4V. Em contraposição, no trabalho de Fitseva et al (2015) foi publicado que a geração de revestimentos pelo processo de deposição por atrito de Ti-6Al-4V foi bem sucedida em substrato do mesmo material com 10 mm de espessura, para diferentes velocidades de rotação do pino consumível.

O objetivo desse estudo, portanto, é primeiramente demonstrar que a liga Ti-6Al-4V pode ser depositada com sucesso utilizando a deposição por atrito, em um substrato do mesmo material com 2 mm de espessura. Ainda, o estudo busca investigar o efeito da velocidade de avanço do substrato na geometria (largura e espessura) e na aderência do revestimento, na evolução da microestrutura e nas propriedades mecânicas do revestimento produzido.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O processo utilizado foi a aplicação de revestimento depositado por atrito, para formação de depósito de Ti-6Al-4V sob um substrato do mesmo material com 2 mm de espessura. O equipamento utilizado é chamado de FlexiStir (Figura 2), que é uma máquina experimental capaz de fornecer 40kN de força axial e 80Nm de torque. Esse equipamento não permite o revestimento de componentes largos e de grossa espessura e pode ser operado em modo de controle de força ou de taxa de consumo da vareta. De acordo com o estudo realizado por Fitseva et al (2015), a taxa de consumo da vareta provou ser o modo de controle mais adequado, pois é capaz de assegurar que uma determinada quantidade de

material seja depositada, e por isso este modo foi utilizado neste trabalho. Para a realização dos experimentos não foi utilizado gás de proteção. Como pinos consumíveis foram utilizadas barras redondas e todas as soldas foram realizadas com a mesma taxa de deposição e velocidade de rotação do pino consumível, e alteração na velocidade de avanço do substrato, conforme mostrado na Tabela 1.

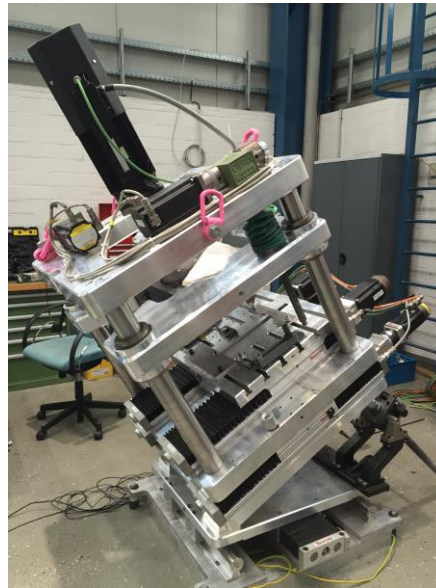


Figura 2. Equipamento FlexiStir utilizado nos experimentos (propriedade do instituto alemão HZG)

Tabela 1. Condições de soldagem utilizadas

Ferramenta	Diâmetro da Vareta Consumível		Material
	20 mm		Ti-6Al-4V
Equipamento	FlexiStir		
Parâmetros de Soldagem	Taxa de consumo da Vareta (mm /s)	Velocidade Rotacional (RPM)	Velocidade de soldagem (mm/s)
	1,8	3000	3 a 6
Material do Revestimento	Ti-6Al-4V		

Os revestimentos produzidos foram analisados através da microscopia ótica: macroscopicamente, por meio da geometria do revestimento, isto é, sua espessura e largura e, microscopicamente, para analisar a evolução da sua microestrutura, ao longo do revestimento até o substrato. As amostras foram cortadas em discos abrasivos de diamante e embutidas a frio, seguidas por lixamento e polimento. A análise metalográfica foi realizada utilizando um ataque eletrolítico com reagente Kroll, para a visualização da microestrutura através de um microscópio ótico, de acordo com a norma ASTM E3-01.

Foi executado, ainda, o ensaio de micro dureza perpendicularmente à interface revestimento/substrato, em que as medidas de micro dureza Vickers foram realizadas utilizando 0.2 kgf durante 10 segundos, de acordo com a norma ASTM E 384-10. O ensaio de dobramento do material revestido também foi realizado com o intuito de avaliar a aderência do revestimento ao substrato. Para a realização desse ensaio foi utilizada a máquina universal Zwick/Roell, com velocidade constante de 10 mm/min, seguindo a norma ASTM E190 -92.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Análise Superficial do Revestimento

A aplicação de revestimentos através do método de deposição por atrito possui como característica inerente ao processo o desenvolvimento de uma ondulação na superfície, também referida na literatura como a presença de arcos uniformes, depois de estabilizado o processo, como pode ser observado na superfície mostrada na Fig. 3. A análise superficial dos revestimentos aplicados mostra que os depósitos se iniciaram a esquerda da Fig. 3, e nesta região apresentaram um depósito irregular com uma maior área afetada pelo calor. Essa irregularidade ocorre no início do revestimento como consequência da manutenção, em contato de fricção, por um determinado período de tempo, da

vareta consumível em rotação, até que se inicie a deformação plástica do material do consumível para depois, então, ocorrer a deposição e o processo se estabilizar. Nos experimentos foi constatado que quanto maior a velocidade de avanço do substrato, mais homogênea se tornou a região inicial da superfície do revestimento, devido a uma menor geração de energia no processo.

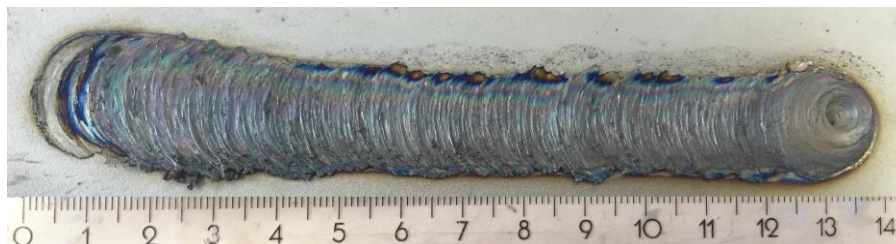


Figura 3. Análise da Superfície do Revestimento Depositado por Atrito

No presente trabalho, para as diferentes velocidades de avanço do substrato os revestimentos apresentaram um bom acabamento superficial sem formação de rebarba ao longo do revestimento. Na maioria das publicações encontradas na literatura, para os diversos tipos de materiais utilizados na aplicação de revestimento pela deposição por atrito, também não foi encontrada a formação de rebarba no revestimento. A única exceção foi o trabalho desenvolvido por Fitseva et al (2015), que apresentou a formação de rebarba no revestimento de Ti-6Al-4V como consequência de valores muito baixos de velocidade de rotação.

Observou-se ainda uma coloração azulada na superfície dos depósitos, que é resultado da oxidação superficial do material quando submetido a elevadas temperaturas. Esse fenômeno também foi encontrado na tese desenvolvida por Macedo (2011), onde para aplicação do revestimento foi utilizado aço inoxidável, que tem essa característica de sofrer oxidação quando submetidos a temperaturas elevadas. Para evitar ou diminuir essa oxidação é necessária uma proteção da região durante a deposição com algum gás inerte, o que não foi realizado no presente estudo. No trabalho desenvolvido por Fitseva et al (2015) foi utilizado o argônio como gás de proteção.

3.2. Análise Macrográfica e da Geometria do Revestimento

A geometria do revestimento foi investigada através de macrografias em sua seção transversal para as diferentes velocidades de avanço. A Fig. 4 mostra a macrografia do revestimento produzido com 16 mm/s, que pode ser considerada como representativa das demais. Todos os revestimentos mostraram uma largura efetivamente ligada da camada mais estreita que o diâmetro da vareta consumível.

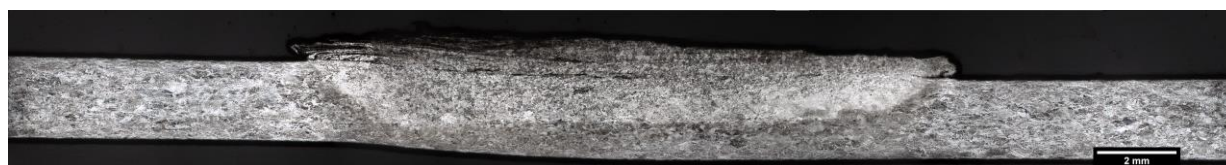


Figura 4. Macrografia da Seção Transversal do Revestimento de Ti-6Al-4V Depositado por Atrito sob um Substrato do Mesmo Material

Através dessa análise pôde-se verificar que, de acordo com as alterações de velocidade de avanço do substrato, essa técnica é capaz de promover mudanças significativas nas características metalúrgicas dos depósitos, tanto quanto a sua largura e espessura, assim como da Zona Termicamente Afetada (ZTA) e na formação de solda fria nas bordas do depósito. Ainda, foi possível observar que a deposição de Ti-6Al-4V promoveu uma deformação considerável na base do substrato, que foi maior para menores velocidades de avanço. Esse fenômeno é consequência de uma maior força que é aplicada durante o processo quando há uma menor velocidade de avanço, devido à necessidade de confinar um maior volume de material plasticizado. Desta forma, um aumento da velocidade de avanço promove um revestimento mais homogêneo sem ou com mínima distorção do substrato e com menos defeitos na interface revestimento/substrato.

Para as diferentes velocidades de avanço, ambos os lados dos depósitos apresentaram a ocorrência de solda fria, ou seja, uma parte do depósito não se aderiu ao substrato, o que é uma característica inerente ao processo. As larguras da solda a frio corresponderam a aproximadamente 10% da largura nominal do revestimento. Em velocidades menores um tempo mais prolongado de deformação plástica causa a formação de um grande volume de metal plasticizado e, consequentemente, o efeito de forjamento pode não ser suficiente para consolidar o metal depositado. Desta forma, foi observado que quanto menor a velocidade de avanço do substrato maior era se mostrou ser a largura da solda a frio. É possível notar ainda que a região efetivamente ligada do revestimento ao substrato não está centrada com a largura total do revestimento, o que foi constatado para todas as soldas. Isso também foi relatado no trabalho de Gandra et al (2013), mas em seu estudo foi apresentado uma ligação mais pobre na borda do lado de avanço do que no lado de recuo, enquanto que no presente estudo, o oposto ocorreu.

A energia gerada durante o processo de deposição por atrito é em sua maior parte dissipada por condução para o substrato e, portanto, uma Zona Termicamente Afetada (ZTA) é originada no substrato. A profundidade da ZTA diminuiu com o aumento da velocidade de avanço do substrato, visto que uma menor quantidade de calor é gerada durante o processo e o substrato está submetido a um menor tempo de exposição a esse calor. Embora no estudo realizado por Macedo (2011) as ZTAs tenham apresentado como característica a forma semi-elíptica, com a maior profundidade ao centro da largura do depósito diminuindo progressivamente em direção as bordas do depósito, isso não pôde ser constatado no trabalho em questão.

Com relação à geometria do revestimento obtido, o efeito da velocidade de avanço do substrato na espessura, na largura nominal (total) e na largura efetiva (ligada) dos depósitos é mostrado na Fig. 5.

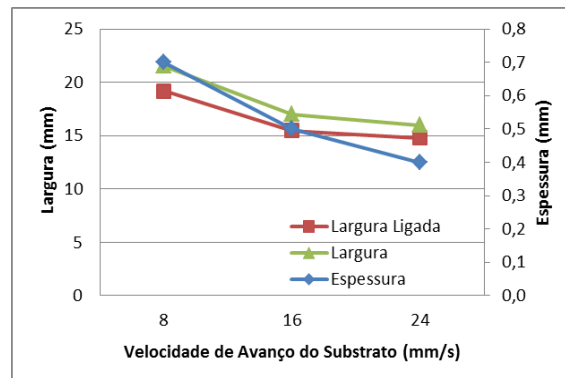


Figura 5. Variação da Largura Nominal, Largura Efetiva e Espessura do Revestimento de Acordo com a Velocidade de Avanço do Substrato

Através da figura mostrada acima pode ser observado que tanto a espessura quanto a largura (nominal e efetiva) dos revestimentos são significativamente influenciadas pela velocidade de avanço do substrato, de forma um aumento deste leva a uma diminuição dos valores daqueles. Esse fenômeno pode ser explicado devido a uma distribuição mais eficiente do metal plasticizado assistida da aplicação de uma carga axial inferior e a menores períodos de exposição à força.

Resumidamente, ao aumentar a velocidade de avanço há uma diminuição da largura, da espessura e da profundidade da ZTA, menor largura da solda fria, assim como uma redução da distorção no substrato e de possíveis defeitos na interface, pois a deposição levará um menor tempo e, conseqüentemente, um menor tempo de contato do pino ao substrato, com uma aplicação de forças inferiores e diminuindo a energia de soldagem gerada durante o processo.

3.3. Análise da Microestrutura

O Ti-6Al-4V é um tipo alfa - beta ($\alpha + \beta$) de liga de titânio, que contém aproximadamente 6wt% de alumínio e 4wt% de vanádio, com a possibilidade de ajuste da quantidade dos seus elementos de acordo com a sua aplicação. Essa liga contém um alto percentual de alumínio com a principal razão de estabilizar a fase alfa e tem o vanádio como um estabilizador da fase beta, resultando na estabilidade da fase beta em baixas temperaturas. Sua microestrutura é mostrada na Fig. 6.

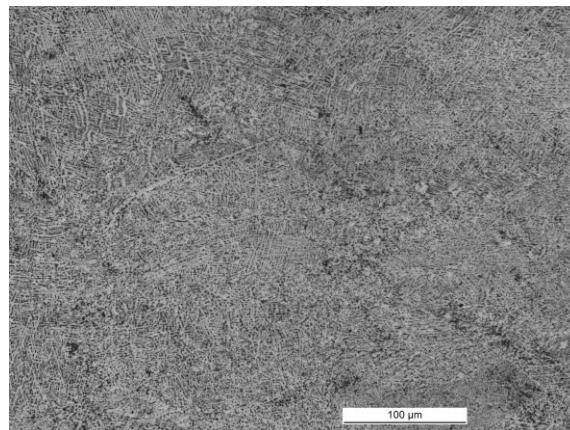


Figura 6. Microestrutura do Metal de Base (Ti-6Al-4V)

A Fig. 7 mostra como a microestrutura evoluiu quando da aplicação de revestimento depositado por atrito do Ti-6Al-4V sob um substrato do mesmo material. Devido às elevadas temperaturas atingidas durante o processo, como consequência do calor devido a fricção, os experimentos ultrapassaram a temperatura de transição da fase beta, que é a temperatura em que a fase alfa - beta ($\alpha + \beta$) se transforma em 100% beta. Desta forma, após o resfriamento a microestrutura passa a ser como mostrada na micrografia da Fig.7 (a): ao centro do revestimento, é formada por contornos de grãos relativos aos grãos betas anteriores, e pela martensita lamelar, visto que a decomposição da fase beta nas ligas de titânio ocorre através de transformações martensíticas. A Fig. 7 (b) mostra a interface revestimento/substrato, o que no caso consta da ZTA do substrato e, por fim, a Fig. 7 (c) mostra a microestrutura da ZTA do substrato.

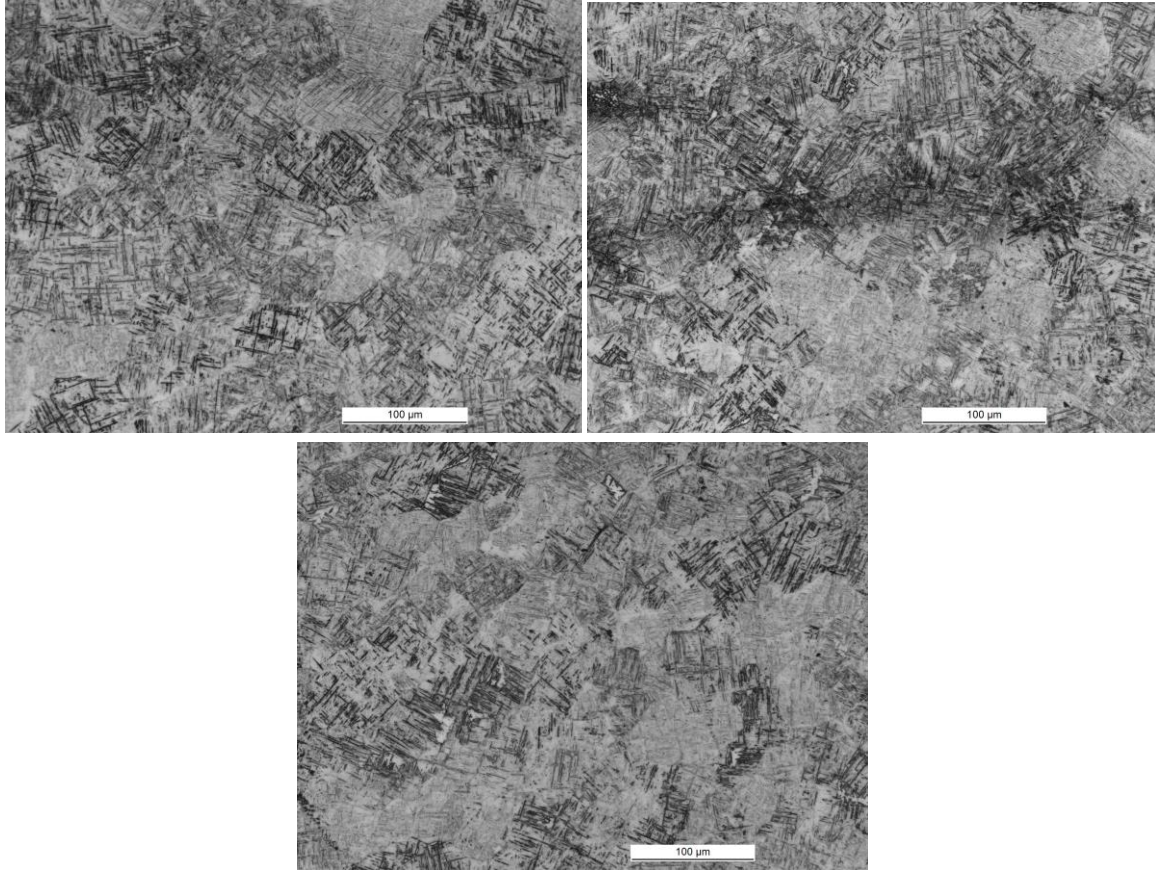


Figura 7. Microscopia Ótica para Análise da Microestrutura no (a) Centro do Revestimento, (b) na Interface Revestimento/Substrato e (c) na Zona Termicamente Afetada

3.4. Avaliação do Perfil de Micro Dureza

A distribuição de micro dureza na direção perpendicular à interface revestimento/substrato é mostrada na Fig. 8 para as diferentes velocidades de avanço do substrato.

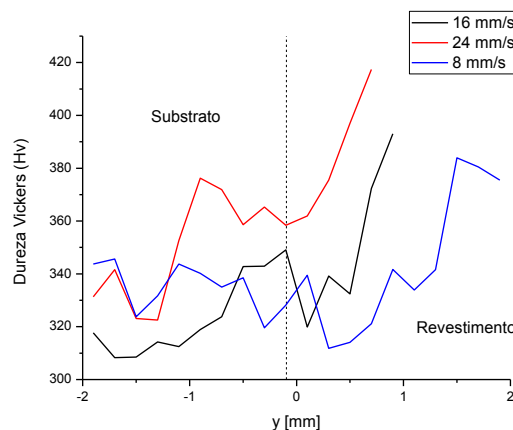


Figura 8. Perfil de Micro Dureza Perpendicular à Interface Revestimento/Substrato

Como pode ser observada através do gráfico mostrado na Fig. 8, de forma global, a dureza aumenta a partir do substrato até o revestimento. Desta forma, ao longo do próprio revestimento a dureza continua a aumentar e os maiores valores de dureza são encontrados próximo à superfície do revestimento. Esse fenômeno pode ser explicado pela ocorrência de decomposição da fase beta nas ligas de titânio que ocorre através de transformações martensíticas, que é uma fase extremamente dura, tornando o revestimento com uma maior dureza que o substrato. Em medidas de micro dureza realizadas apenas no metal de base, foi encontrado um valor de aproximadamente 339 Hv para o Ti-6Al-4V como substrato. A dureza próxima à interface, que corresponde a zona afetada pelo calor, apresenta valores mais elevados quando comparado a sua dureza original. Esse aumento de dureza associado à interface pode ser relacionado diretamente à microestrutura formada na interface como resultado do calor gerado da fricção e da deformação plástica. O efeito combinado de calor e deformação plástica causa uma diminuição no tamanho de grão o que leva a um endurecimento nas regiões próximas a interface.

Pode ser observado que com o aumento da velocidade de deposição tem-se um aumento da dureza em cada ponto do revestimento. Ainda, como encontrado no trabalho de Rafi et al (2010), quando utilizadas baixas velocidades de avanço, tempos prolongados de aquecimento propagam mais calor para o substrato resultando em uma maior ZTA. As regiões no substrato que exibem maior dureza indicam a extensão da ZTA. Isso é mais facilmente percebido no caso do revestimento aplicado com uma velocidade de avanço de 8 mm/s, em que o substrato foi completamente afetado pelo calor e, portanto, a variação de dureza ao longo de sua espessura teve uma alteração menos significativa que nos demais casos, onde há uma região que não foi afetada pelo calor.

3.5. Ensaio de Dobramento

As amostras foram submetidas ao teste de dobramento em três pontos, para avaliar os revestimentos levando em consideração a sua integridade de ligação e a sua ductilidade. O titânio é um material bastante dútil, portanto, quando submetido ao ensaio de dobramento, sem a aplicação de revestimento ou qualquer tratamento térmico, até as condições anteriormente determinadas para o ensaio, não apresentou quaisquer defeitos.

As amostras revestidas também foram submetidas ao ensaio de dobramento, sob as mesmas circunstâncias. Entretanto, nessa situação, os ângulos de dobramento até o aparecimento a olho de nu de trincas foram pequenos. Esse fato pode ser explicado pela presença de martensita no revestimento, como explicado anteriormente. A martensita, então, aumenta a dureza do material, mas diminui a sua ductilidade.

Visando analisar a integridade/aderência da ligação, o ensaio de dobramento foi realizado até a ruptura da amostra. Como pode ser observado na Fig. 9, foi constatada a aderência do revestimento ao substrato, visto que não houve descolamento.



Figura 9. Superfície após Ruptura da Amostra para Avaliação da Aderência

4. CONCLUSÕES

Através deste trabalho foi possível concluir que a velocidade de avanço do substrato influencia significativamente nos resultados dos revestimentos. Desta forma, um aumento na velocidade de avanço promove um revestimento mais homogêneo, com menos defeitos, uma menor largura e espessura do depósito, uma menor profundidade da zona termicamente afetada e uma menor largura da solda fria. Ainda, a evolução na microestrutura mostrou a presença da martensita nos revestimentos, apresentando uma maior dureza e uma menor ductilidade do que o substrato, apresentando para todos os revestimentos uma boa aderência do revestimento ao substrato.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao laboratório COMPOLAB da UFPE, ao CNPQ e ao Joining Technology Group do Instituto de pesquisa alemão HZG, pelo suporte e apoio ao presente trabalho.

6. REFERÊNCIAS

- ASTM E190 -92: Standard Test Method for Guided Bend Test for Ductility of Welds, ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States; 2008.
- ASTM E3-01: Standard Practice for Preparation of Metallographic Specimens, ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States; 2008.

- ASTM E384-10: Standard Test Method for Knoop and Vickers Hardness of Materials, ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States; 2008.
- Ferreira, M., 2010, “Caracterização Mecano Tribológica e Comportamento em Corrosão de Revestimentos Depositados por Atrito”, 77 p., Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória.
- Fitseva, V., Krohn, H., Hanke, S. and dos Santos, J.F., 2015, “Friction surfacing of Ti–6Al–4V: Process characteristics and deposition behaviour at various rotational speeds”, *Surface & Coatings Technology*, 278, pp. 56–63.
- Gandra, J., Pereira, D., Miranda, R.M., Silva, R.J.C. and Vilaça, P., 2013, “Deposition of AA6082-T6 over AA2024-T3 by friction surfacing - Mechanical and wear characterization”, *Surface & Coatings Technology*, 223, pp. 32–40.
- Gandra, J., Pereira, D., Miranda, R.M. and Vilaça, P., 2013, “Influence of process parameters in the friction surfacing of AA 6082-T6 over AA 2024-T3”, *Procedia CIRP*, 7, pp. 341 – 346.
- Hanke, S., 2014, “Microstructural Alterations of Commercial Metallic Alloys by Friction Surfacing”, 114 p., Tese (Doutorado em Engenharia) - Universität Duisburg-Essen, Essen.
- Kumar, B.V., Madhusudhan Reddy, G. and Mohandas, T., 2015, “Influence of process parameters on physical dimensions of AA6063aluminium alloy coating on mild steel in friction surfacing”, *Defence Technology*, pp. 1-7.
- Macedo, M.L., 2011, “Caracterização de Depósitos Realizados pelo Processo de Deposição por Fricção em Chapas de Aço de Alto Carbono”, 148 p., Tese (Doutorado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Rafi, H.K., Ram, G.D.J., Phanikumar, G. and Rao, K.P., 2010, “Friction Surfacing of Austenitic Stainless Steel on Low Carbon Steel: Studies on the Effects of Traverse Speed”, *Proceedings of the World Congress on Engineering*, Vol 2, London, U.K.
- Rao, K.P., Sankar, A., Rafi, H.K., Ram, G.D.J., Reddy, G.M., 2013, “Friction surfacing on nonferrous substrates: a feasibility study”, *Int J Adv Manuf Technol*, 65, pp. 755–762.

7. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

FRICION SURFACING OF Ti-6Al-4V: EFFECTS OF THE DEPOSITION SPEED

Natália Lopes do Vale, natalia.dovale@hotmail.com¹
 Severino Leopoldino Urtiga Filho, severino.urtiga@gmail.com¹
 Viktoria Fitseva, viktoriam.fitseva@hzg.de²
 Stefanie Hanke, stefanie.hanke@hzg.de²
 Jorge Fernandez dos Santos, jorge.dos.santos@hzg.de²

¹Federal University of Pernambuco, Pos Graduation Program in Mechanical Engineering, Recife, PE, Brasil

² Helmholtz-Zentrum Geesthacht GmbH, Institute of Materials Research, Materials Mechanics, Solid State Joining Processes (WMP), Germany

Abstract. In the present work it were produced coatings of Ti-6Al-4V on a substrate of the same material, with 2 mm thickness, using Friction Surfacing. The objective of this research was to investigate the effect of the deposition speed on the geometry and bonding integrity of the coating, as well as the microstructural evolution and the mechanical properties of the coating produced. The main process parameters of Friction Surfacing are: deposition speed, rotational speed of the consumable rod and axial force applied. To produce the coatings it was used the rod consumption rate as a control mode, which was kept constant at 1,8 mm/s and, therefore, the axial force varied during the deposition in order to keep the rate constant. Regarding the rotational speed, for this experiments it was kept constant at 3000 rpm, and the deposition speed varied between 8, 16 and 24 mm/s. The quality of the coatings were analyzed by optical microscope: macroscopically, by the coating geometry, i.e., its thickness and width and, microscopically, by the microstructural evolution from the coating until the substrate. Besides the metallurgical characterization of the coatings, it was also made the microhardness and bending tests, in order to analyze the mechanical properties of the coated material. Thus, the microhardness test was done perpendicularly to the interface coating/substrate, and the bending test was done in order to evaluate the bonding integrity of the coating to the substrate. The results obtained through this study indicated that, for different deposition speed, the Ti-6Al-4V can be deposited successfully on a substrate of the same material. The coating geometry analysis showed that it varies significantly with the deposition speed, in a way that as higher is this speed, thinner and narrower are the coatings. Still, the coatings presented a higher hardness than the substrate, due to the formation of martensite, and the bending test revealed the bonding integrity between the coating and the substrate.

Keywords: Coating, Friction, Titanium, Microstructure, Properties