

## Medidas das propriedades mecânicas e estruturais do depósito em STELLITE 6 com $Al_2O_3$

## Mechanical and structural properties of the deposit in STELLITE 6 with $Al_2O_3$

### RESUMO

Este trabalho buscou investigar o efeito que a adição de óxido de alumínio trouxe para os revestimentos superficiais realizados com a liga, à base de cobalto, Stellite 6 e depositadas em um material base SAE 1020 com o processo de soldagem GTAW-P. Para tal, foram confeccionadas três misturas de  $Al_2O_3$ +Stellite 6 com variações de concentração de óxido de alumínio. Após a deposição há o surgimento de uma “casca” esverdeada na superfície dos revestimentos, que pode ser devido a formação de óxidos e, após a preparação dos corpos de prova, verificou-se que houve uma grande diluição do pó depositado no substrato. Os revestimentos atingiram valores de microdureza na faixa de 400 Hv à 500 Hv<sup>0,5</sup>, tais números corresponderam aos valores encontrados na literatura para a liga Stellite 6 pura. As micrografias encontradas convergiram com os resultados de outros pesquisadores, no qual notou-se uma microestrutura mais refinada na região da superfície do revestimento. No entanto, os resultados indicam que com o controle adequado da diluição do processo, as propriedades do revestimento, como a microdureza e a resistência ao desgaste abrasivo, melhorem.

**PALAVRAS-CHAVE:** Revestimento. STELLITE 6.  $Al_2O_3$ .

### ABSTRACT

This work aimed to investigate the effect that the addition of aluminum oxide brought to the surface coatings made with the alloy, cobalt-based, Stellite 6 and deposited by the GTAW-P welding process. For this, three mixtures of  $Al_2O_3$  + Stellite 6 with variations of aluminum oxide concentration were made, in which such mixtures were used to coat SAE 1020 carbon steel. After the deposition, a greenish "shell" was observed on the surface of the coatings due to the formation of oxides and after preparation of the test specimens, it was found that there was a large dilution of the powder deposited on the substrate. The coatings reached values of microhardness in the range of 400 Hv to 500 Hv<sup>0,5</sup>, such numbers corresponded to the values found in the literature for pure Stellite 6 alloy. The micrographs converged with the results of other researchers, in which a more refined microstructure was noticed in the surface region of the coating. However, the results indicate that with proper control of the process dilution, coating properties, such as microhardness and abrasive wear resistance, improve.

**KEYWORDS:** Coating. STELLITE 6.  $Al_2O_3$ .

**Nadine Carla Pepe de Souza**  
[nadi\\_pepe@hotmail.com](mailto:nadi_pepe@hotmail.com)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil

**João Roberto Sartori Moreno**  
[joaosartori@utfpr.edu.br](mailto:joaosartori@utfpr.edu.br)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil

**Paulo Cezar Moselli**  
[moselli@utfpr.edu.br](mailto:moselli@utfpr.edu.br)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil.

**Eduardo Ferracin Moreira**  
[eduardofmoreira@outlook.com](mailto:eduardofmoreira@outlook.com)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil

**Recebido:** 19 ago. 2019.

**Aprovado:** 01 out. 2019.

**Direito autorial:** Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



## INTRODUÇÃO

O aço carbono é um dos materiais mais utilizados nas indústrias e algumas das principais desvantagens deste material são as suas propriedades tribológicas pobres, tal como a baixa resistência ao desgaste, o qual limita as aplicações industriais. Há diversas técnicas que visam aprimorar o aço carbono, como por exemplo o tratamento térmico e a cementação. No entanto, uma das abordagens mais eficientes para tal aprimoramento é o revestimento duro por processos de soldagem (PENG et al., 2013).

Um dos métodos de revestimento superficial é o processo de soldagem *Gas Tungsten Arc Welding* (GTAW), que utiliza como fonte de calor o arco elétrico para fundir metais, através de um eletrodo não consumível de tungstênio. O processo utiliza uma fonte de gás inerte, sendo autógena ou com metal de adição. Ele como principal característica possui uma excelente qualidade de cordão e sem respingos e menor aquecimento da peça soldada. A deposição do material de adição no processo GTAW ocorre apenas por arames e varetas e, portanto, possui baixa produtividade devido à baixa taxa de deposição de material. O pesquisador Moselli (2013) desenvolveu uma adaptação do processo GTAW denominada *Gas Tungsten Arc Welding Powder* (GTAW-P), tal adaptação permite a deposição com ligas em pó. A possibilidade de utilizar o processo GTAW com adição de pó permite a deposição de ligas com composição química variada, ou seja, distinta das encontradas comercialmente.

Há uma grande variedade de ligas que podem ser aplicadas como revestimentos, entre elas é possível destacar as superligas à base de Cobalto (Co) (BADISCH; ROY, 2013; BAPTISTA; DO NASCIMENTO, 2012; DAVIS; ASM INTERNATIONAL, 2000). Essas são conhecidas como “*Stellites*” sendo suas propriedades mecânicas a elevada dureza e resistência ao desgaste. Entretanto, em diversas situações a liga utilizada não possui as propriedades tribológicas necessárias, nestes casos elementos com propriedades mais adequadas podem ser inseridos diretamente na mistura de cobalto, estes costumam ser óxidos, carbonetos, nitretos e boretos (SCHNEIDER, 1998).

Destaca-se dentre os óxidos mais utilizados na indústria o óxido de alumínio ( $Al_2O_3$ ), também conhecido como alumina, por ser um cerâmico estrutural com intensas propriedades mecânicas, como por exemplo, a refratariedade, a dureza, resistência ao ataque químico, a elevada rigidez dielétrica, bem como sua condutividade térmica. Além de suas propriedades, a alumina é de baixo custo e de grande abundância (SOUZA et al., 2015).

A partir disso, tem-se como objetivo adicionar  $Al_2O_3$  na composição da liga STELLITE 6 para a utilização do método de revestimento superficial STAG-PÓ o qual será alimentado por corrente contínua. Posteriormente os resultados serão comparados com os resultados de Moselli (2013) e Moreira (2015) no intuito de determinar a influência do óxido de alumínio no revestimento superficial.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização do presente trabalho foi necessário a preparação das amostras, com material base aço SAE 1020, que necessitou o jateamento para a remoção de óleo e sujeiras. O material de adição foi a liga à base de cobalto Stellite 6, do fabricante Deloro Stellite, na forma de pó, com granulometria entre 45 e 180  $\mu m$  e dureza de 41,3 HRC, aproximadamente, 405 Hv (Ferracin, 2019). A Tabela 1 explicita a composição química da Stellite 6 utilizada.

Tabela 1 – Composição química Stellite 6

Compostos	Percentual (%)
Co	59
Cr	30
W	5
C	1,2
Ni	1
Mo	1,5
Fe	1
Si	1,2

Fonte: Comersul (2018).

Houve a adição de Alumina CT3000 SG na liga Stellite 6 utilizada. A Tabela 2 apresenta a composição da Alumina.

Tabela 2 – Composição química Alumina

Compostos	Percentual (%)
Na <sub>2</sub> O	0,08
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,0223
SiO <sub>2</sub>	0,0183
MgO	0,0619
CaO	0,0230
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	99,7945

Fonte: Adaptado de Almatix INC (2010).

Para a deposição da liga, foi feita 3 tipos de amostras com diferentes porcentagens de ambas as composições. Para a mistura 1, tem-se 0,5% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + 99,5% STELLITE 6, mistura 2 com 0,8% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + 99,2% STELLITE 6 e mistura 3 contendo 1% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + 99,0% STELLITE 6.

A Alumina e a liga Stellite 6 WM foram inseridas em um refratário de vidro e aquecidas em uma temperatura de 150 °C utilizando um forno durante duas horas e, assim, depois de resfriadas naturalmente, homogeneizadas em um misturador em Y. A Figura 1 mostra o misturador em Y confeccionado de PVC e o conjunto misturador-torno.

Figura 1 – (a) Misturador em Y e (b) conjunto misturador-torno



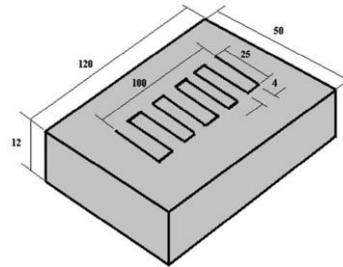
(a)

(b)

Fonte: Ferracin (2019).

Para a deposição do cordão de solda, utilizou-se o método GTAW-P, desenvolvido por Moselli (2013). O deslocamento da tocha foi na forma de tecimento, Figura 2, com amplitude de 25 mm e avanço de 4 mm.

Figura 2 – movimentação em forma de tecimento



Fonte: Moselli (2013).

Todos os parâmetros de revestimento foram iguais ao de Moselli (2013). A Tabela 3 apresenta os parâmetros utilizados.

Tabela 3 – Parâmetros de soldagem

Parâmetros	
Corrente (A)	150
Gás de arraste (l/min)	3
Vel. De soldagem (mm/min)	120

Fonte: Ferracin (2019).

Após a deposição da liga, foi realizado o corte de amostras do cordão, seguindo de lixamento, ataque químico com a solução 5 ml H<sub>2</sub>O, 15 ml HNO<sub>3</sub>, 15 ml CH<sub>3</sub>COOH e 60ml HCl, para revelar a microestrutura do revestimento a ser analisar. Todas as microdurezas foram feitas na seção transversal ao cordão de solda, seguindo a norma ABNT NBR NM ISO 6507-1-2008, carga de 500gf e equipamento PANANTEC ATMI.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Será tratado nessa seção os resultados obtidos através dos ensaios relatados anteriormente.

### ANÁLISE VISUAL DO REVESTIMENTO

Após a realização das deposições foram obtidas imagens das superfícies recém revestidas e escovadas. A Figura 3 mostra, respectivamente, a superfície recém revestida e escovada da mistura 1 (0,5% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + 99,5% STELLITE 6)

Figura 3 – (a) Superfície recém revestida da Mistura 1 e (b) superfície escovada



(a)

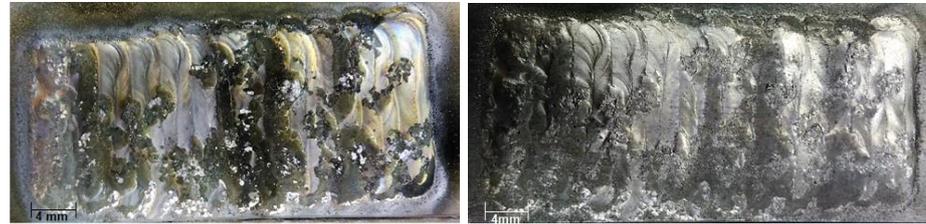
(b)

Fonte: Ferracin (2019).

As deposições com as Misturas 2 (0,8% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + 99,2% STELLITE 6) e Misturas 3 (1% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + 99,0% STELLITE 6) também apresentaram uma “casca” esverdeadas, assim como

a Mistura 1 (Ferracin, 2019). As Figuras 4 e 5 apresentam, respectivamente, as Misturas 2 e 3.

Figura 4 – (a) Superfície recém revestida da Mistura 2 e (b) superfície escovada

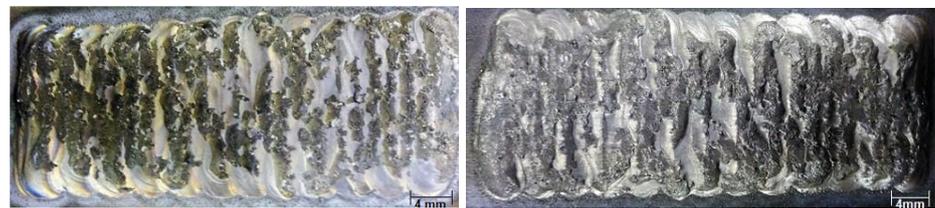


(a)

(b)

Fonte: Ferracin (2019).

Figura 5 – (a) Superfície recém revestida da Mistura 3 e (b) superfície escovada



(a)

(b)

Fonte: Ferracin (2019).

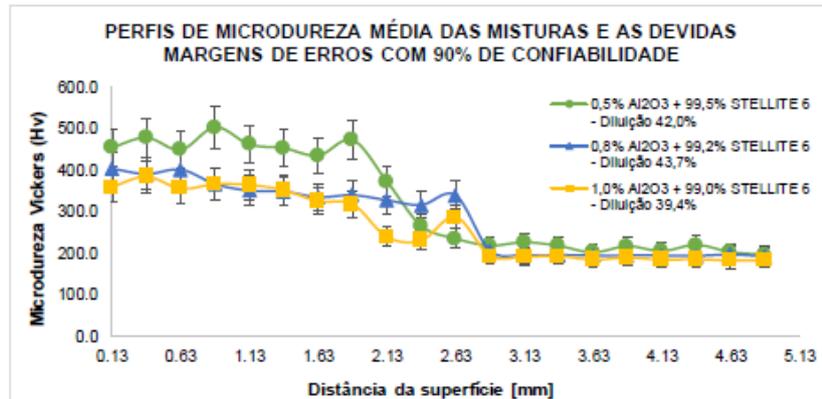
Com as análises visuais, é possível destacar a formação de uma casca esverdeada na superfície do revestimento, esta presente em todas as amostras e em maior quantidade quando a concentração de  $Al_2O_3$  é maior (Figura 5a). Este fator pode ter sido causado por meio de íons de oxigênio fornecidos pelo óxido de alumínio que, devido a fusão com a Stellite 6, permitiu a formação de  $Cr_2O_3$  em reação *in situ*, mas para a certeza desta afirmação, será necessário obter ensaios futuros como difração de raio-x ou microanálise por EDS. Identifica-se também alguns pontos com falta de fusão do material depositado. Atribui-se estes fenômenos relatados à alumina, uma vez que, os trabalhos de Moselli (2013) e Moreira et al. (2016) mostram revestimentos limpos e com aporte térmico o suficiente para a fusão total da liga Stellite 6 (Ferracin, 2019).

### MICRODUREZA VICKERS (HV)

Para a mistura 1 pode-se identificar que os maiores valores encontrados estão, em sua maioria, entre 400 Hv e 500  $Hv^{0,5}$ . Em relação a misturas 2 e 3, pode-se identificar que os maiores valores encontrados estão, em sua maioria, entre 300 Hv e 400  $Hv^{0,5}$  e que, a microdureza superficial de ambas as amostras estão dentro da margem de erro (Ferracin, 2019). Todos os perfis de microdureza foram realizados no centro das amostras seguindo a norma ABNT NBR NM ISO 6507-1-2008.

Em um contexto geral, as deposições atingiram os valores de microdureza na faixa de 300 Hv à 500  $Hv^{0,5}$ . Tais valores de microdureza correspondem e ultrapassam os valores encontrados na literatura para a liga Stellite 6 pura (TAKEYAMA, 2005; MOSELLI, 2013; KUSMOKO; DUNNE, 2014). Nota-se também, que conforme a concentração do óxido de alumínio aumenta, a microdureza diminui. A Figura 6 traz o resultado do ensaio de microdureza, sendo a coloração verde a mistura 1, azul a mistura 2 e amarela mistura 3.

Figura 6 – Perfis de microdureza



Fonte: Ferracin (2019).

## CONCLUSÃO

A mistura 1 apresentou os maiores valores de microdureza, estando na faixa de 415 Hv à 578 Hv<sup>0,5</sup>, essa variação pode ter sido ocasionada por uma difusão da alumina no repasse do processo, uma vez que não foram identificadas no contorno de grão vestígio visuais de alumina, entretanto serão necessários ensaios como difração de raio-X e MEV para uma averiguação mais precisas das concentrações de materiais. Já em comparativo com os valores de dureza mais elevados se comparado com o trabalho de Moselli (2013), uma possível explicação se dá a ação da alumina sinterizada no revestimento, que por suas propriedades mecânicas causaria essa elevação de dureza pois promove a diminuição do contorno de grão. Uma observação pertinente e a que durante a preparação da amostra notou-se um desprendimento de alumina fazendo que assim ocorresse o aparecimento de poros na superfície, uma hipótese levantada e da homogeneidade da liga que não havendo uma mistura entre seus elementos de liga a alumina foi encapsulada durante o processo de recristalização, fazendo assim com que sua distribuição na liga fosse mais pontual, o que explica também a variação das durezas, já que ao se realizar o ensaio pode ter sido atingido apenas alumina e não uma mistura mais homogênea de liga.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador, João Roberto Sartori Moreno, e aos que me ajudaram nessa pesquisa com os dados primário, Eduardo Ferracin Moreira e Paulo Cezar Moselli.

## REFERÊNCIAS

MOREIRA, F. E. Efeito da adição de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> na liga stellite 6 para a realização de revestimento superficial pelo processo GTAW-P. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procopio, 2019.

SCHNEIDER, M.F., LASER CLADDING WITH POWDER - Effect of some machining parameters on clad properties. Ph.D. Thesis University of Twente. Netherlands: Enschede, 1998.

ASSIS, J. M. K. ESTUDO COMPARATIVO DE COMPÓSITOS ALUMINA-ZIRCÔNIA TETRAGONAL E DE CERÂMICAS DE ALUMINA ADITIVADA COM NIÓBIO PARA

**APLICAÇÕES ESTRUTURAIS.** 2007. 116 p. Dissertação (Engenharia e Tecnologia Espaciais/Ciências e Tecnologia de Materiais e Sensores) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2007.