

CONEM 2016
CONGRESSO NACIONAL DE
ENGENHARIA MECÂNICA

21-25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

PROPRIEDADES MECÂNICAS E TRIBOLÓGICAS DE METAL PATENTE DEPOSITADO POR ASPERSÃO TÉRMICA A MECÂNICA

Paulo Roberto Campos Alcover Junior, alcover_jr@hotmail.com¹
Anderson Geraldo Marena Pukasiewicz, anderson@utfpr.edu.br¹
Gabriel Medeiros Bozza, bozzagabriel@gmail.com²
Ricardo Diego Torres, ricardo.torres@pucpr.br²

¹Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR – Campus Ponta Grossa, Av. Monteiro Lobato s/n – Km 04

²Pontifícia Universidade Católica do Paraná – PUC-PR – Rua Imaculada Conceição, 1155–Prado Velho – Curitiba-PR

Resumo: Ligas de metal patente são largamente empregadas para fins deslizantes, são basicamente ligas à base de estanho ou chumbo. Estas oferecem vantagens devido ao baixo coeficiente de atrito, alta ductilidade e boa tenacidade, que ao longo da operação, absorvem a energia gerada pela rolagem do eixo, assim como as ondas de choque provenientes das flutuações do sistema, atribuindo ao sistema maior vida útil e confiabilidade. Neste trabalho avaliou-se as propriedades mecânicas e tribológicas dos revestimentos resultantes de processos de aspersão térmica em comparação aos processos de metalização convencionais, por meio da caracterização da microestrutura formada, dos microconstituintes, composição química, microdureza e propriedades de deslizamento. A aspersão térmica mostrou-se vantajosa, devido principalmente às altas taxas de resfriamento alcançadas pelo processo, ocorrendo assim uma microestrutura mais refinada, com menor desgaste por deslizamento.

Palavras-chave: Metal Patente, Aspersão Térmica, Tribologia.

1. INTRODUÇÃO

Ligas de metal patente, ou *babbitt* são basicamente ligas à base de estanho e chumbo, endurecidas com cobre ou antimônio, utilizadas em larga escala para a fabricação de componentes deslizantes, tais como mancais de deslizamento. As propriedades de deslizamento são satisfatórias devido à combinação de algumas propriedades mecânicas, tais como: baixa dureza, alta ductilidade, boa tenacidade e elevada resistência ao choque, de modo a absorver energia gerada pelo rolamento do eixo, assim como as ondas de choque causadas pelas flutuações do sistema (Asm Metals Handbook, 1992; Higgins, 1982). As propriedades destas ligas também devem combinar boa resistência ao desgaste, baixo coeficiente de atrito, com elevada tenacidade, resistência ao choque, e ductilidade. Esta combinação de propriedades não é vista em ligas monofásicas, pois neste caso não é possível conciliar as propriedades de dureza, tenacidade e ductilidade (Higgins, 1982; Zeren, 2007 e Duarte Jr, 2005).

Segundo (Duarte Jr, 2005), quanto aos processos de deposição de metal patente, a centrifugação se mostra como o de maior eficiência entre os processos convencionais, pois o metal patente adere ao substrato sob ação da força centrífuga, e o resfriamento é o de maior homogeneidade, originando revestimentos com baixa porosidade e maior aderência. Realizado em ambiente controlado, utilizando como gás de proteção o argônio, entretanto este método se limita somente a peças cilíndricas e simétricas.

No processo de metalização por gravidade, utiliza-se coquilhas aliadas ao substrato, a corrida do metal patente é feita manualmente, normalmente em ambiente não controlado, obtendo-se assim revestimentos com propriedades inferiores, entretanto, a vantagem deste método é a possibilidade de processamento de peças em geometrias planas, ou complexas, que dificilmente se fariam possíveis por centrifugação (Klaas, 2013).

A aspersão térmica vem sendo utilizada como um método alternativo na deposição de metal patente, regularmente na recuperação de mancais de deslizamento devido principalmente à sua mobilidade quanto aos tipos construtivos, à facilidade de operação e boa produtividade (Alcover Junior, 2015; Pawlowski, 2008; Marrocco, 2006; Pukasiewicz, 2008 e Capra, 2005). Conforme trabalho conduzido por Marrocco *et al.* (2006), os processos de aspersão térmica de metal patente destacam-se pela elevada aderência que estes proporcionam, baixa complexidade de operação e elevada mobilidade.

Dentre os processos de aspersão térmica, têm-se o arco elétrico ASP - *Arc Spray Process*, onde a fonte de calor é proveniente da abertura de um arco elétrico entre dois arames que são continuamente alimentados, dando origem à

fusão integral ou parcial do material que é então projetado pelo ar comprimido em direção ao substrato, propiciando boa aderência, superior ao processo por chama, entretanto o teor de óxidos e a poros neste processo tende a ser maior (Pukasiewicz, 2008 e Capra, 2005).

No processo de aspersão por chama oxiacetilênica FS - *Flame Spray*, a fonte de calor é proveniente da combustão de uma mistura de gases, oxigênio e acetileno, promovendo assim a fusão do arame que é projetado na direção do substrato por ar comprimido, este processo distingui-se dos demais pela baixa complexidade do equipamento e custo de operação (Capra, 2005).

O objetivo deste trabalho é a avaliação da deposição do metal patente ASTM B23-2 por diferentes processos de aspersão térmica, verificando-se a influência do processo, na morfologia, microestrutura, formação de microconstituintes, microdureza dos revestimentos e desgaste do revestimento em ensaio pino sobre disco.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Chapas de aço carbono ABNT 1045, com dimensões de 100 x 40 x 10 mm, foram utilizadas como substrato. Realizou-se o jateamento prévio à deposição, obtendo rugosidade entre 6,0 e 10,0 μm Ra. A liga de metal patente utilizada na forma de arame maciço foi a ASTM B23-2, cuja composição química é descrita na Tab.I.

Tabela I. Composição química da liga ASTM B23-2

Elemento	Sn	Sb	Cu	Pb	outros
(%)	restante	7,0 – 8,0	3,5 – 4,5	0,35 máx	0,25

2.1. Preparo das amostras

Realizou-se o corte em cortadeira de precisão Buehler ISOMET 4000 com disco abrasivo específico, embutimento com resina epóxi de cura a frio garantindo que não houvesse mudança microestrutural durante o embutimento. No lixamento utilizou-se lixas de carvão de silício (SiC) de 400 a 1200 mesh, em equipamento automatizado Buehler Vector com aplicação de carga de 10 N, e rotação de 200 rpm. No polimento fez-se o uso de suspensão de diamante, como abrasivo, com granulometria de 3.0 até 0.25 μm , e rotação de aproximadamente 150 rpm, e por fim, em uma politriz vibratória Buehler Vibromet em sílica coloidal 0.04 μm por duas horas.

2.2. Deposição dos revestimentos

As deposições foram realizadas para ambos os processos por meio de passes sobrepostos, mantendo-se distância de aproximadamente 300 mm, e pressão do gás de arraste, em 6 bar. No processo arco elétrico utilizou-se o equipamento da marca TBA modelo 300 com bocal e bicos específicos para o material, e arame maciço com diâmetro 2,00 mm. Para o processo chama oxiacetilênica utilizou-se a pistola de metalização do fabricante Sulzer Metco modelo 11E, com arame maciço de diâmetro 3,18 mm e bocal (CH), os parâmetros empregados em ambos os processos de aspersão são listados na Tab. II. Os revestimentos produzidos foram comparados com revestimentos comerciais depositados por gravidade e centrifugação.

Tabela II. Parâmetros utilizados na deposição arco elétrico (ASP)

Amostra	Corrente (A)	Tensão (V)
ASP	150 $\pm$ 5	37,1 $\pm$ 0,5
Amostra	Fluxo de O ₂ (l/min)	Fluxo de C ₂ H ₂ (l/min)
FS	42,00	29,00

2.3. Caracterização metalográfica

A análise da morfologia foi realizada com o auxílio de microscopia ótica e eletrônica de varredura, utilizando o Microscópio Ótico (MO) Zeiss A2.m e o Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) TESCAN VEJA 3, respectivamente. Realizou-se a medição porosidade a partir das imagens de microscopia ótica com ampliações de 500x, com o auxílio do software de análise de imagens AxioVision SE 64, com o tratamento das imagens, alteração para tons de cinza e ajuste de contraste.

Ao longo das análises por microscopia eletrônica de varredura, fez-se o uso de técnicas de EDS (*Energy Dispersive Spectroscopy*) – Espectroscopia de Energia Dispersiva para a análise de composição química das amostras.

2.4. Propriedades mecânicas e tribológicas

O ensaio de Microdureza foi realizado em um Microdurômetro Shimadzu HVM-G, segundo a norma ASTM E384, *Standard Test Method for Microindentation Hardnesses of Materials*, por meio de carregamentos de 50gF (~ 0.5 N), e 100 gF (~ 1.0 N) na escala Vickers, durante um período de 15 segundos.

Para o ensaio de desgaste, seccionou-se amostras com dimensões de aproximadamente 40 x 40 mm, e na sequência foram retificadas e posteriormente polidas com suspensão de diamante e sílica coloidal, obtendo-se assim uma rugosidade de aproximadamente 0.5 μm Ra, segundo a norma ASTM G99, *Standard Test Method for Wear Testing with a Pin - on - Disk Apparatus*. No ensaio utilizou-se um tribômetro tipo pino sobre disco do fabricante CSM modelo TRB em interface com o Software Tribex. Durante o ensaio realizou-se o desgaste ao longo de uma distância linear de 100 m com velocidade linear constante de 0,1 m/s e carregamento de 5N utilizando esfera de alumina de 6 mm de diâmetro. Fez-se então duas trilhas para cada amostra, com raios de 7 e 14 mm respectivamente.

Por fim, realizou-se as análises dos desgastes através do levantamento topográfico utilizando um perfilômetro ótico sem contato 3D Talysurf CCI - Lite do fabricante Taylor Hobson, de modo a quantificar o desgaste para ambas as trilhas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Realizou-se a medição da espessura das camadas aspergidas, possibilitando conhecer a taxa de deposição por passe, conforme ilustra a Tab.III.

Tabela III. Espessura média dos revestimentos para cada processo

Amostra	Espessura (μm)	n° de Passes	Espessura/ Passe (μm)
ASP	$455,0 \pm 2,0$	8	$56,9 \pm 0,5$
FS	$656,28 \pm 2,0$	4	$164,1 \pm 0,5$

A morfologia geral dos revestimentos, analisada a partir das imagens obtidas por microscopia ótica pode ser observada na Figura 1.

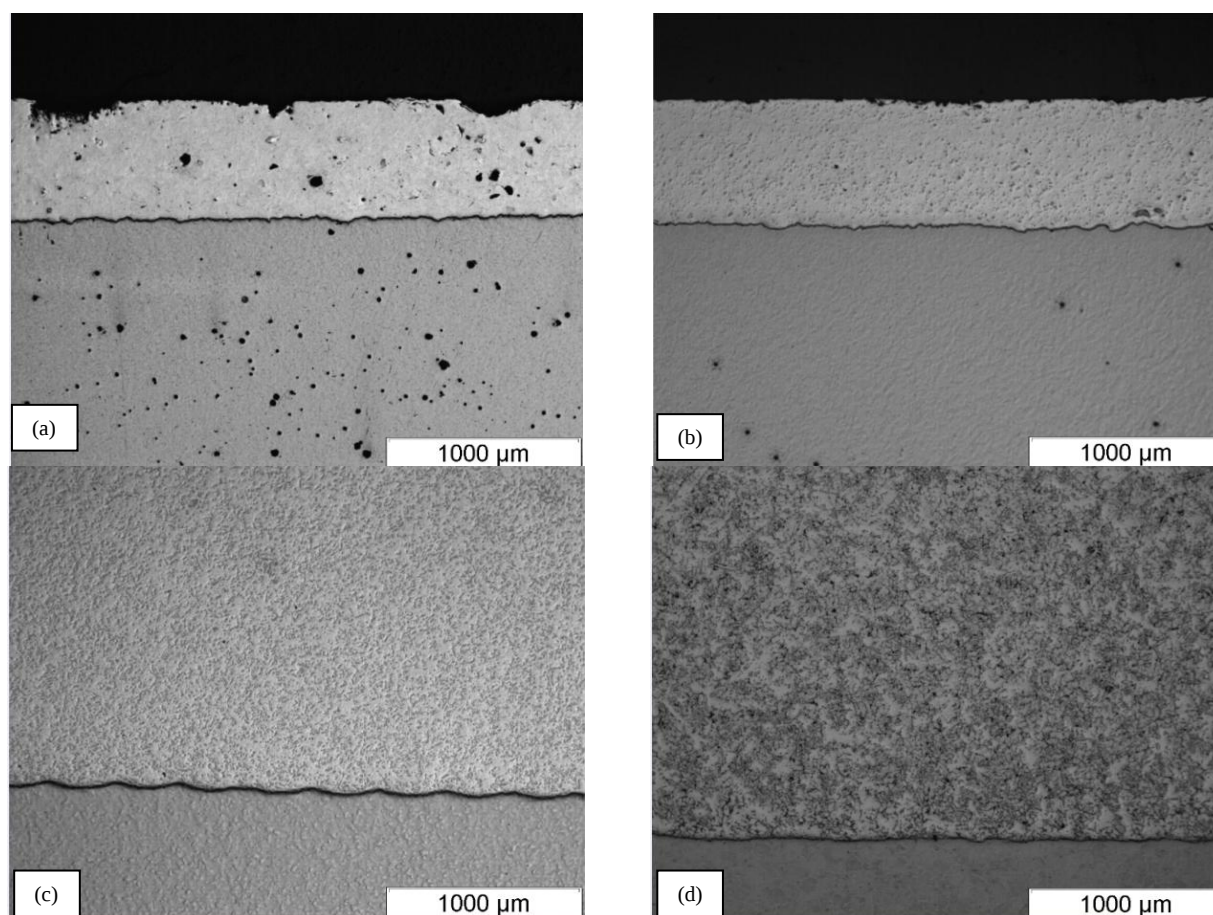


Figura 1: Morfologia geral dos revestimentos, ASP (a), FS (b), Centrifugação (c) e Gravidade (d).

Segundo Sturgeon *et al.* (2003), revestimentos de metal patente depositados por aspersão térmica, tendem a apresentar maior porosidade em comparação aos métodos convencionais de deposição, entretanto observou-se que os revestimentos depositados no presente trabalho apresentaram níveis de porosidade muito próximos aos obtidos por gravidade, por exemplo, Tab. IV.

As microestruturas obtidas pelos processos de aspersão são muito semelhantes entre si, onde o revestimento ASP apresenta maior porosidade. Estas características já foram observadas por Sturgeon *et al.* (2006), onde o maior aporte térmico empregado neste processo está diretamente relacionado com a maior porcentagem em área de poros e o maior teor de óxidos formados no revestimento. Esta característica é decorrente principalmente da maior temperatura gerada no processo ASP, em relação ao processo FS (Paredes, 2002). A Tab. IV apresenta os valores médios, provenientes das medições de porosidade.

Tabela IV. Percentual de porosidade em área dos revestimentos

Amostra	ASP	FS	Grav.	Centr.
Porosidade (%)	$3,8 \pm 0,9$	$2,3 \pm 0,7$	$2,1 \pm 0,2$	$<1,0$

Na Figura 2 é possível observar a formação dos poros, bem como das lamelas do revestimento depositado por ASP, (a) e (b), assim como a presença de precipitados de CuSn e SnSb. A presença destes precipitados foi confirmada em ensaios de DRX e EDS. Observa-se também a maior porosidade do revestimento ASP que o FS, resultado já observado por (Alcover Junior, 2015).

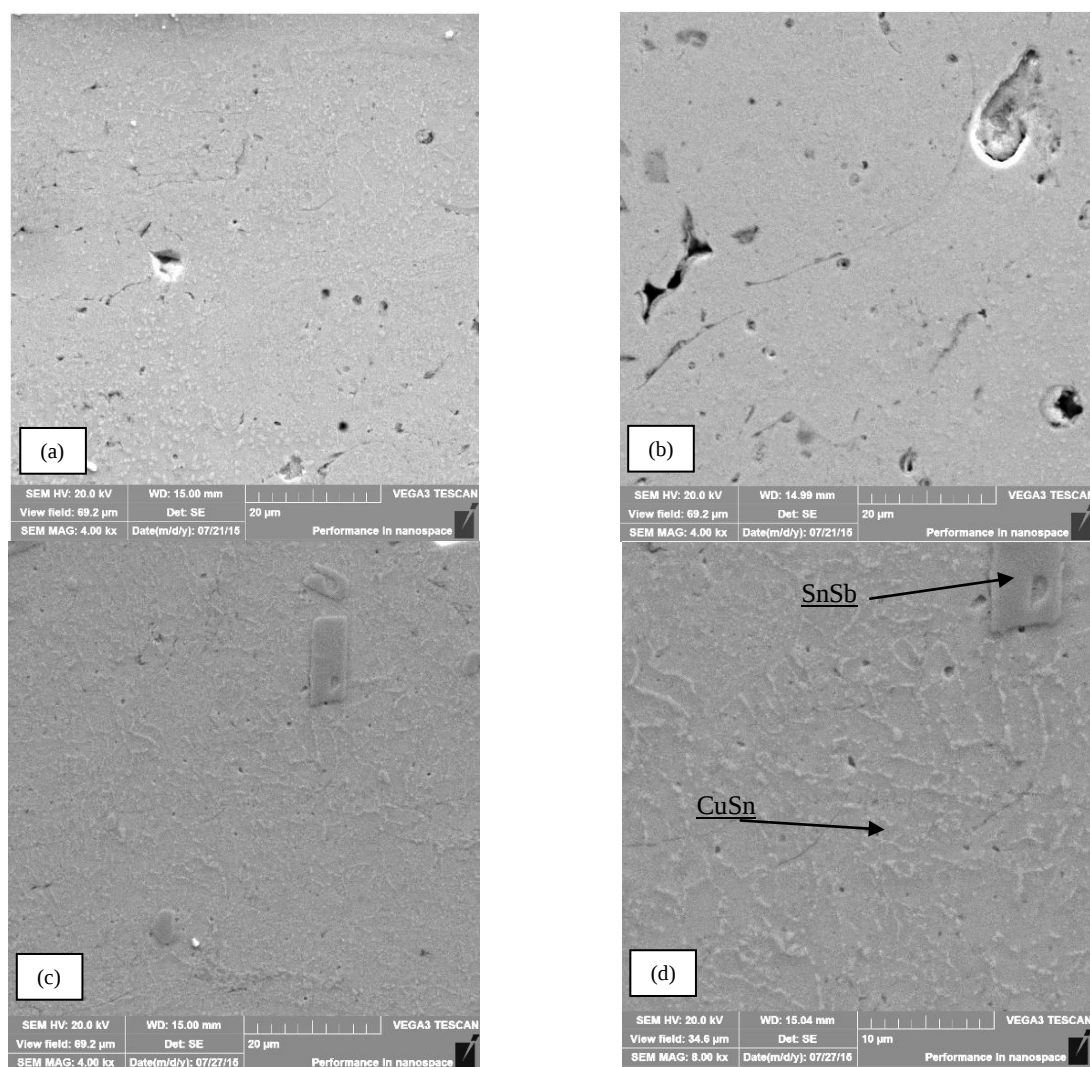


Figura 2: Micrografia da amostra depositada por aspersão térmica ASP, com aumento de 2000 x (a), 4000 x (b), e FS, com aumento de 2000 x (c), e 4000 x (d).

Verificou-se também que o revestimento obtido por gravidade (d) apresentou uma microestrutura mais grosseira que por centrifugação (c), além de apresentar uma maior porosidade, Figura 3. Os revestimentos depositados por processos convencionais são ligeiramente mais densos que os obtidos por aspersão térmica. É possível verificar por meio das

imagens obtidas por MEV que a microestrutura dos revestimentos aspergidos é muito mais refinada que das ligas depositadas comercialmente, devido provavelmente à maior taxa de resfriamento proveniente do processo. Sendo que no revestimento mais denso, depositado pelo processo FS, identifica-se com maior facilidade os compostos SnSb em formato retangular, e as agulhas de CuSn, imersos na matriz de Sn.

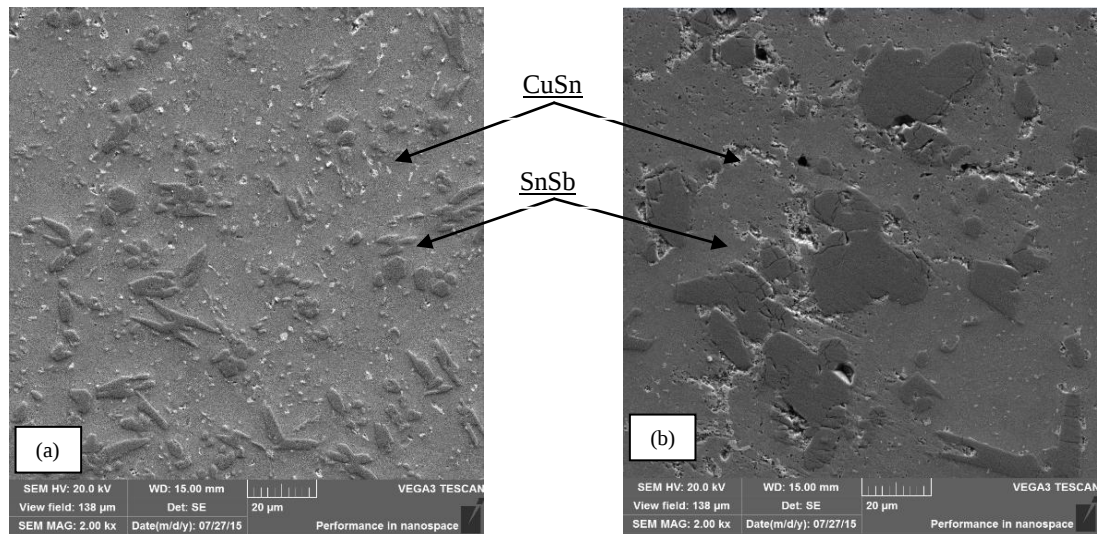


Figura 3: Micrografia dos revestimentos depositados por centrifugação (a), e por gravidade (b), obtidas por MEV, com aumento de 1000 x (Alcover Junior, 2015).

Ligas de *Babbitt* obtidas pelo processo convencional são caracterizadas normalmente por agulhas finas e quebradiças provenientes da formação de compostos de CuSn, e por compostos intermetálicos formados por SnSb no formato geralmente de cubos imersos em uma matriz mole de Sn, conforme já verificado por Sturgeon *et al.* (2003). Comparativamente as amostras aspergidas termicamente não geraram as fases CuSn e SnSb na mesma proporção e tamanho, provavelmente em virtude da elevada taxa de resfriamento.

Na análise de composição química por microscopia eletrônica de varredura por meio do método de espectrometria de energia dispersiva, EDS (*Energy Dispersive Spectroscopy*) verifica-se a composição química obtida para as amostras, Tab V.

Tabela V. Composição química das amostras (%)

Elemento	Sn	Sb	Cu	O	Ni	Outros
ASP	84,9	7,3	4,7	2,6	0,3	0,2
FS	85,1	7,7	3,3	3,5	0,2	0,2

Os ensaios de microdureza indicaram que o processo ASP detém de dureza ligeiramente superior ao FS. Evidencia-se que a amostra obtida pelo processo de centrifugação apresentou dureza superior às demais, devido à tendência de formação dos compostos intermetálicos CuSn em maior quantidade e à maior densidade proveniente da ação da força centrífuga, compilando os resultados observados por Hernández *et al.* (2011). Revestimentos obtidos por gravidade apresentam precipitados maiores, quando comparados aos revestimentos obtidos por centrifugação, apresentando propriedades inferiores de dureza. A Fig. 4 ilustra os dados de microdureza.

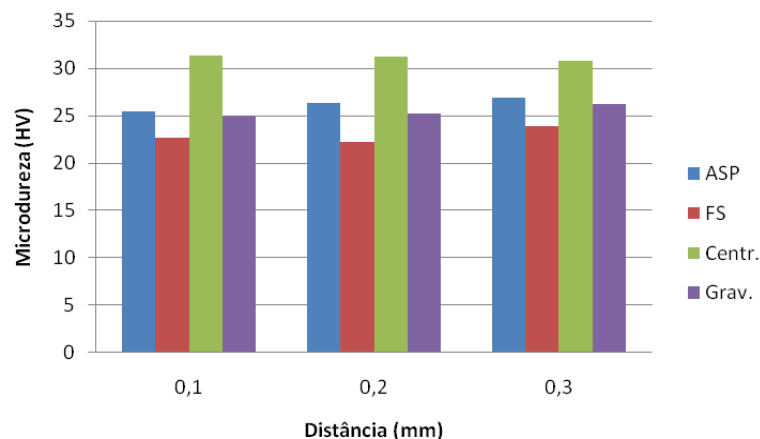


Figura 4: Microdureza das amostras das ligas de Sn depositadas por diferentes processos.

As amostras aspergidas revelam valores inferiores de dureza, devido principalmente à menor formação de precipitados CuSn, sendo o processo FS o que apresentou menor dureza, devido provavelmente à maior taxa de resfriamento característica do processo ASP, assim como devido à maior formação de óxidos.

Após ensaios de desgaste pino sobre disco avaliou-se as pistas de desgaste por Perfilometria Ótica, Figura 5. Deve-se ressaltar que não foi possível realizar este ensaio em amostras obtidas por centrifugação, pois não é possível produzir amostras planas. Observa-se nas imagens obtidas por perfilometria ótica, que na amostra obtida por Gravidade (e, f) e ASP (a, b) observou-se a formação de trilhas de desgaste com elevada oscilação. Na amostra depositada por gravidade, esta oscilação foi acompanhada por extensa deformação plástica nas laterais da pista de rolamento. Na amostra FS (c) e (d) o desgaste ocorreu de maneira uniforme, sem vibrações com menor profundidade de desgaste, na ordem de 8 μm , já na amostra ASP a amplitude foi de aproximadamente 25 μm havendo vibração e pequena quantidade de deformação plástica lateral. A amostra depositada por gravidade apresentou a maior amplitude de desgaste, aproximadamente 50 μm e a vibração ocorreu de maneira acentuada, quando comparada às demais, devido principalmente ao desgaste elevado, e ao amassamento do material, semelhante ao observado por Zhang *et al.* (2014).

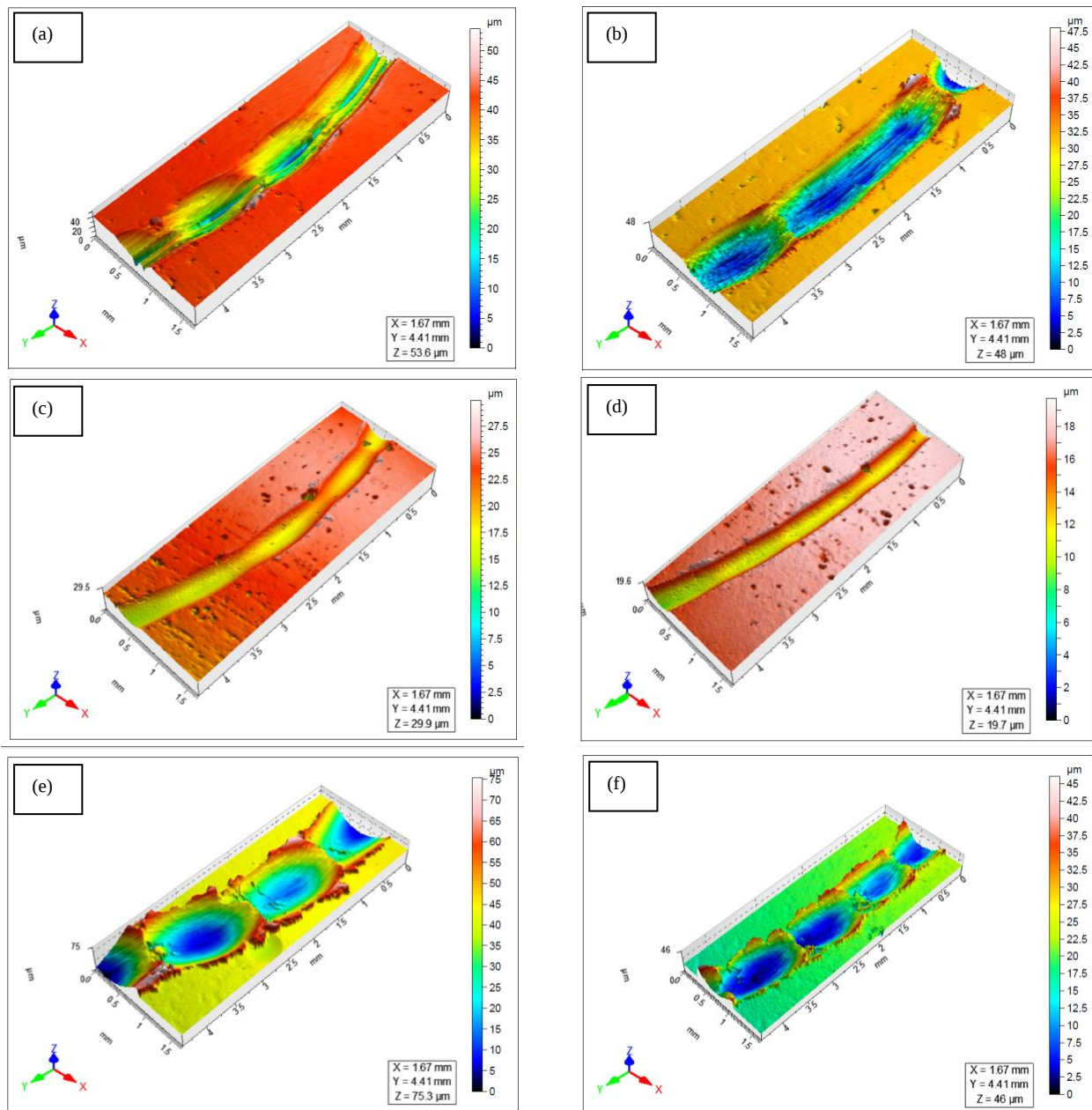


Figura 5: Trilhas de desgaste interna e externa, (a) e (b) ASP, (c) e (d) FS e, (e) e (f) Gravidade.

4. CONCLUSÕES

Os revestimentos termicamente aspergidos mostraram-se eficientes, assim como viáveis, de modo que os percentuais de porosidade encontrados em ambos atendem à norma ABNT (NBR 4378-1/2011). As amostras FS apresentaram menor porosidade, em comparação com as amostras ASP, assim como a formação de precipitados ligeiramente maiores. Nos ensaios de microdureza verificou-se a maior dureza da amostra obtida por centrifugação, em virtude do maior teor de precipitados e menor porosidade. No que diz respeito aos microconstituintes formados, pode-se verificar que a amostra ASP e FS apresentaram microestrutura mais refinada que as demais, devido à maior taxa de resfriamento. As análises de tribologia pelo ensaio de pino sobre disco permitiram concluir que as amostras aspergidas termicamente apresentaram maior resistência ao desgaste e com menor deformação plástica e vibração, com destaque para o revestimento aspergido por chama FS.

5. REFERÊNCIAS

- Alcover Junior, P. R. C., Pukasiewicz, A. G. M., “Estudo da Viabilidade da Aspersão Térmica Arco Elétrico na Deposição de Metal Patente em Mancais de Deslizamento”, Congresso Nacional de Soldagem, Salvador, BA, Brazil, 12-15 Oct. 2015.
- Asm Metals Handbook. “Friction, lubrication and wear technology”. v.18, 1746 p., Ohio, 1992.
- ASTM E384-11e1, “*Standard Test Method for Microindentation Hardnesses of Materials*”, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2011.
- ASTM G99 – 04, “*Standard Test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disk Apparatus*”, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2004.
- Capra, A. R., “Desenvolvimento de intermetálicos Fe/Al através de aspersão térmica e tratamento posterior” Curitiba 2005, Dissertação de Mestrado, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, 133p.
- Duarte Jr, D. Tribologia, lubrificação e mancais de deslizamento. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda., 2005.
- Hernández, A. A.; Potheikin, B. A.; Castellanos, L. M.; Khristolyubov, A., S. “Propriedades especiales del babbitt b-83, obtenido por el método de fundición turbulento” 9th Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology, Medellín, Colombia, 3-5 August 2011.
- Higgins, R. A., “Propriedades e estruturas dos materiais em engenharia” São Paulo: DIFEL, 1982.
- Klaas, L. S. “Estudo da viabilidade de obtenção de metal patente por metalurgia do pó e comparação do desgaste com liga fundida e bronze sinterizado” Joinville 2013, Dissertação de mestrado, Departamento de Pós Graduação em Engenharia de Materiais, Universidade do Estado de Santa Catarina, 93p.
- Marrocco, L.C.T. Driver, S.T. Harris, D.G. McCartney, “Microstructure and properties of thermal sprayed Al-Sn based alloys for plain bearing applications” Proceedings of the International Thermal Spray Conference and Exposition (ITSC), May 15-18, 2006.
- Paredes, R. S. C.; Procopiak, L. A.; “Otimização dos reparos de turbinas através da pesquisa em novos processos e materiais de soldagem”, Projeto otimização, Curitiba: Lactec 2002, p.19, Relatório técnico.
- Pawlowski, L. “The science and engineering of thermal spray coatings”, 2nd Ed. England: John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, 2008.
- Pukasiewicz, A. G. M. “Desenvolvimento de revestimentos Fe-Mn-Cr-Si-Ni Resistentes à cavitação depositadas por aspersão ASP”, Curitiba 2008, Engineering Doctor Thesis, Departamento de Pós Graduação em Engenharia, Universidade Federal do Paraná, 173p.
- Sturgeon, A. J.; Perrin, C.; McCartney, D., G.; “Development of thermal sprayed plain bearings for automotive engine applications”, Surface Engineering & Tribology for Future Engine and Drivelines, IMechE, London, UK, 12-14 July 2006.
- Sturgeon, A. J.; Reignier, C.; Laing, I.; Perrin, C. “Development of HVOF sprayed aluminium alloy engine bearings”, International Thermal Spray Conference & Exposition, Orlando, FL, USA, 5-8 May 2003.
- Zeren, A.; Feyzullahoglu, E.; Zeren, M. “A study on tribological behaviour of tin-based bearing material in dry sliding”, Materials & Design, v. 28, n. 1, p. 318-323, 2007.
- Zhang, H.; Zhang, D. Y.; Hua, M.; Dong, G. N.; Chin, K. S. “A Study on the Tribological Behavior of Surface Texturing on Babbitt Alloy under Mixed or Starved Lubrication”, Tribol Lett. 305-315, 2014.

MECHANICAL AND TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF BABBITT ALLOY DEPOSITED BY THERMAL SPRAY

Paulo Roberto Campos Alcover Junior, alcover_jr@hotmail.com¹

Anderson Geraldo Marendia Pukasiewicz, anderson@utfpr.edu.br¹

Gabriel Medeiros Bozza, bozzagabriel@gmail.com²

Ricardo Diego Torres, ricardo.torres@pucpr.br²

¹Paraná Federal Technology University - UTFPR, Campus Ponta Grossa, Av. Monteiro Lobato s/a, Km 04

²Pontifical Catholic University of Paraná – PUC – PR - Rua Imaculada Conceição, 1155 – Prado Velho – Curitiba-PR

Abstract: White Metal Alloys are largely employed on sliding purposes, being composed of tin or lead. These offer advantages due to the low friction coefficient, high ductility and high tenacity, which throughout the operation absorb the energy generated by the rolling movement of the shaft, as well as the shock waves from the system's fluctuations, offering the system a longer lifespan and reliability. In this work, we evaluated the mechanical and tribological properties of the coatings resulting from thermal spray process in comparison to conventional metallizing methods, via characterization of the formed microstructure, microconstituents, chemical composition, microhardness and sliding properties. Thermal Spray showed itself as advantageous, mainly due to the high cooling rates reached with the process, therefore resulting in a more refined microstructure, with less sliding wear.

Keywords: Babbitt Alloy, Thermal Spray, Tribology.