

ANÁLISE DA TRIBOLOGIA E MORFOLOGIA DOS FILMES CERÂMICOS DEPOSITADOS POR ANODIZAÇÃO A PLASMA ELETROLÍTICO NA LIGA DE ALUMÍNIO AA 5052

Jonas Renato Dias Alves Dinis

Instituição e Endereço: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)

Av. dos Astronautas, 1.758 - Jardim da Granja, São José dos Campos - SP, 12227-010

E-mail: jonas.dinis@hotmail.com

Brendon de Pádua Moreira

Sérgio Roberto Montoro

Emerson Augusto Raymundo

Instituição e Endereço: Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba (FATEC Pindamonhangaba)

Rodovia Vereador Abel Fabrício Dias 4010 Agua preta, Pindamonhangaba - SP, 12445-010

E-mail: brendonpmoreira@gmail.com

sergio.montoro@fatec.sp.gov.br

emersonaugustoray@gmail.com

Resumo. Este trabalho tem por objetivo analisar as características dos filmes cerâmicos obtidos por anodização a plasma eletrolítico (PEO), o estudo desse processo é uma alternativa com um número menor de etapas no processo de anodização comumente utilizada na indústria, o PEO possui apenas 3 etapas no processo enquanto a anodização convencional tem de 6 a 7 etapas. Além da diminuição das etapas do processo, as análises indicam que a anodização por meio da PEO traz aplicações viáveis do processo na indústria e as características do filme cerâmico obtido por tal processo, mostram resultados satisfatórios dependendo da adequação do processo ao que se espera obter do filme cerâmico, foi analisado as características tribológicas e morfológicas comparando-as entre as duas configurações do processo, utilizando densidades de corrente diferentes entres os processos, sendo eles; 10 A/dm² com e sem refrigeração e 20 A/dm² com e sem refrigeração. O filme cerâmico obtido através do processo PEO gera uma maior resistência ao desgaste e a possíveis corrosões, além de poder ser aplicado em outras ligas metálicas. Este trabalho avaliou o efeito da temperatura do processo PEO na morfologia e tribologia dos filmes depositados em diferentes densidades de corrente, sobre a liga de alumínio AA 5052.

Palavras-chave: Anodização. Plasma. PEO. Tribologia. Morfologia.

1 INTRODUÇÃO

A anodização é um processo muito utilizado na indústria em geral, no seguimento de alumínio a anodização é um processo importante e que possui muitas etapas, visando à otimização deste processo, foi desenvolvido o estudo sobre a oxidação eletrolítica a plasma (PEO) que se trata de um processo de anodização realizada com um plasma gerado em alta tensão elétrica, essa varia de centenas a milhares de volts. Enquanto o processo de anodização convencional utiliza de 6 a 7 etapas o PEO utiliza apenas 3 etapas, sendo elas a limpeza da peça, o desengraxe e o tratamento PEO. As propriedades dos filmes depositados em neste tipo de processo dependem da potência e da densidade de corrente aplicada aos eletrodos, da temperatura obtida durante o processo, do tipo da liga metálica e da composição química da solução eletrolítica. Devido ao efeito Joule, altas densidades de corrente elevam a temperatura do processo isso gera uma interferência na taxa de crescimento, na estrutura química e na morfologia dos filmes, que são tipicamente cerâmicos. Esse filme cerâmico tem por objetivo gerar uma maior resistência ao desgaste e possíveis corrosões sobre a liga de alumínio, possibilitando assim uma maior aplicabilidade do material na indústria, este processo também pode ser aplicado em outras ligas metálicas. Este trabalho avaliou o efeito da temperatura do processo PEO na morfologia e tribologia dos filmes depositados em diferentes densidades de corrente, sobre a liga de alumínio AA 5052.

2 MATERIAIS E METODOS

A solução eletrolítica usada, neste tratamento foi preparada com 15,0 g de silicato de sódio (Na₂SiO₃) e 2,0 g de fosfato trissódico (Na₃PO₄) diluídos em 1000 ml de água destilada. Os processos foram realizados nas densidades de corrente de 10 e 20 A/dm², nos sistemas com ou sem refrigeração, num tempo de 4,0 min. No PEO realizado a 10 A/dm² a elevação da temperatura foi de 33°C no processo sem refrigeração e de 15 °C naquele refrigerado; no PEO a 20 A/dm² a variação da temperatura foi de 65°C e 37 °C, respectivamente nos processos com e sem refrigeração. O sistema de

refrigeração utilizado consiste na simples circulação contínua de água em contato com o recipiente com a substância eletrolítica. A morfologia dos filmes foi avaliada por um microscópio eletrônico de varredura (MEV). A rugosidade dos filmes foi avaliada por perfilometria óptica, que usa o princípio da interferometria a laser, com o auxílio do software Vision, utilizando como fator de análise as rugosidades Ra e Rt.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O filme crescido no PEO a 10 A/dm^2 com refrigeração apresenta uma superfície com formações granulares, que apresentam saliências e microporosidades com diferentes tamanhos e formas, que variam de $1 \mu\text{m}$ à $3 \mu\text{m}$ como pode ser visto na Figura 1, A amostra tratada no PEO sem refrigeração apresenta uma superfície com uma concentração maior de poros em relação aquele refrigerado que variam de $1 \mu\text{m}$ à $5 \mu\text{m}$, seus vários formatos e profundidades não são perfeitamente circulares, e se concentram muito próximo um ao outro visto na Figura 2.

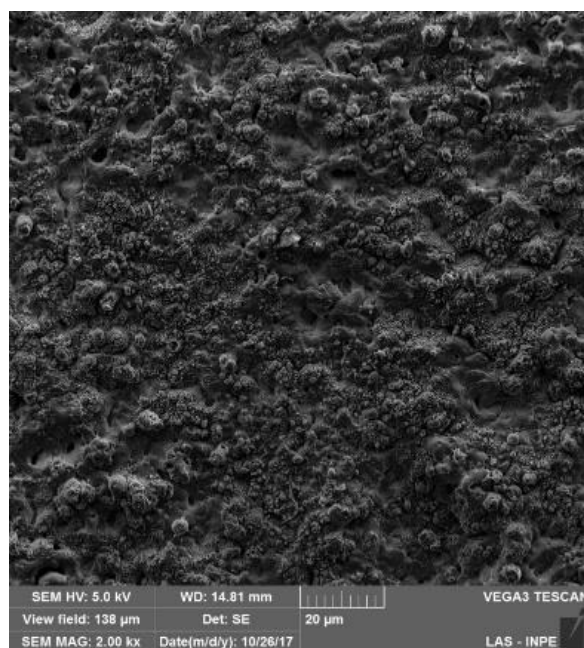


Figura 1. Amostra Sistema Refrigerado, 10 A/dm^2

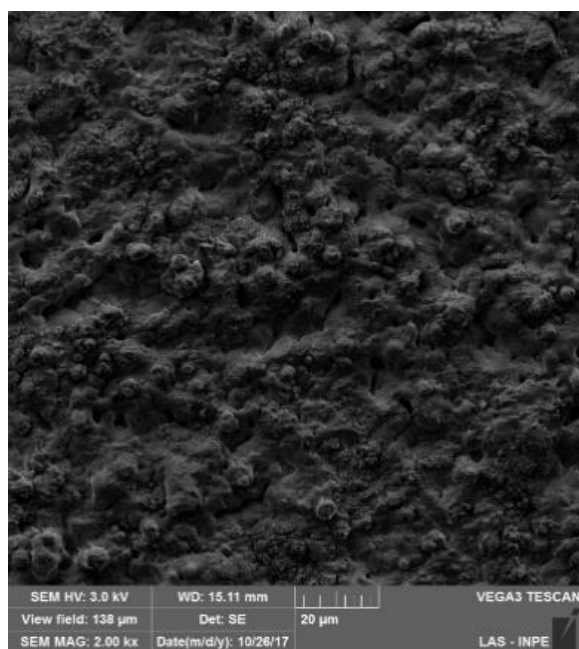


Figura 2. Amostra Sistema Não Refrigerado, 10 A/dm^2

O filme crescido no PEO a 20 A/dm^2 com refrigeração mostra uma superfície lisa, provavelmente devido à fusão e nova solidificação do óxido ao redor dos canais de descarga, os poros variam de $1 \mu\text{m}$ à $10 \mu\text{m}$ de diâmetro, não sendo

perfeitamente circulares (Figura 3). Entretanto, no processo sem refrigeração, a superfície apresentam maior concentração de poros que tem características circulares e profundas que variam de 1 μm à 12 μm de diâmetro (Figura 4), além de apresentar uma trinca longa e profunda que atravessa um desses poros, essas trincas são ocasionadas pelas significantes diferenças de temperatura entre o revestimento e o eletrólito, que são causadas pelo choque térmico local da camada cerâmica, essas trincas também se originam devido a diferença de tensão superficial entre a superfície da peça e a superfície do filme cerâmico, essa tensão superficial e essas trincas causam uma deficiência na aderência do filme cerâmico na superfície da peça. Apresentam também aglomeração de cristais (*whiskers*), que são chamados de mulitas ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$), que é constituída de alumina e sílica e encontra-se estável em pressão atmosférica, geralmente origina na deposição em baixa frequência e sua formação fica em torno de 1.000 $^{\circ}\text{C}$ dependendo do tipo processo; origina da reação entre a Al_2O_3 e SiO_2 e acredita-se que nesse caso o aumento do silicato de sódio na solução ocasionou no aparecimento de mulita, provavelmente o aumento de Si na superfície da amostra também favorece a formação de mulita.

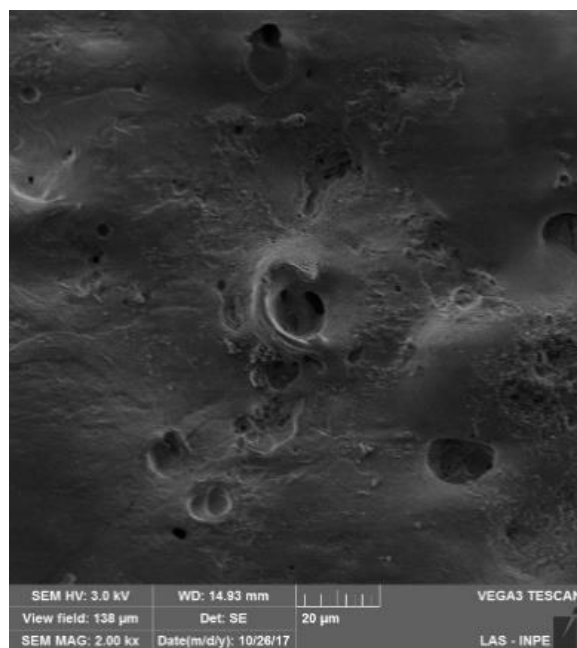


Figura 3. Amostra Sistema Refrigerado, 20 A/dm^2

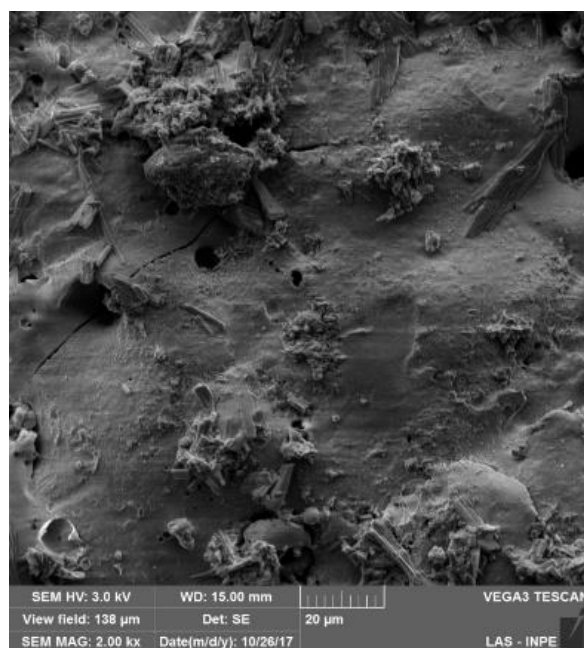


Figura 4. Amostra Sistema Não Refrigerado, 20 A/dm^2

Consequentemente, tais superfícies apresentaram diferentes características tribológicas. A amostra tratada em 20 A/dm^2 (Figura 3) no sistema com refrigeração, apresentou uma característica mais uniforme do filme com poucos poros

profundos e uma superfície mais lisa o que indica uma boa fusão e solidificação do filme cerâmico. A (Figura 4) que trata da amostra de 20 A/dm² sem refrigeração traz uma característica mais desregulada ao longo da sua superfície além de conter poros profundos que posteriormente podem ser concentradores de tensão, apresenta uma trinca oriunda de diferença de temperatura de superfície da peça no processo PEO e diferença de tensão superficial entre o filme cerâmico e a peça, essa trinca atravessa um dos poros profundo que o filme cerâmico desta amostra apresenta. Já nas amostras tratadas em corrente de 10 A/dm² (Figura 1 e Figura 2), apresentam uma uniformidade entre os dois processos com e sem refrigeração, isso se dá ao fato da densidade de corrente ser menor que a do processo das amostras da (Figura 3 e Figura 4) isso acarreta em uma temperatura de processo menor que é um dos principais fatores que influencia na qualidade do filme obtido, por isso os filmes cerâmicos obtidos através dos processos que possuem refrigeração, apresentam melhores características dos filmes.

A tribologia foi analisada por interferometria a laser usando o equipamento que pode ser visto na (Figura 5) que foi disponibilizado para uso pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

A Figura 6 mostra a rugosidade da superfície de uma amostra de alumínio da liga AA5052, sem qualquer tratamento, como fornecido pelo fabricante, nela podemos perceber a sua baixa rugosidade, o que implica em alguns pontos negativos para a indústria, pois desta forma ela não apresenta uma proteção e nem uma rugosidade que permitiria uma melhor aderência de uma pintura.



Figura 5. Equipamento de Interferometria a laser da Veeco.

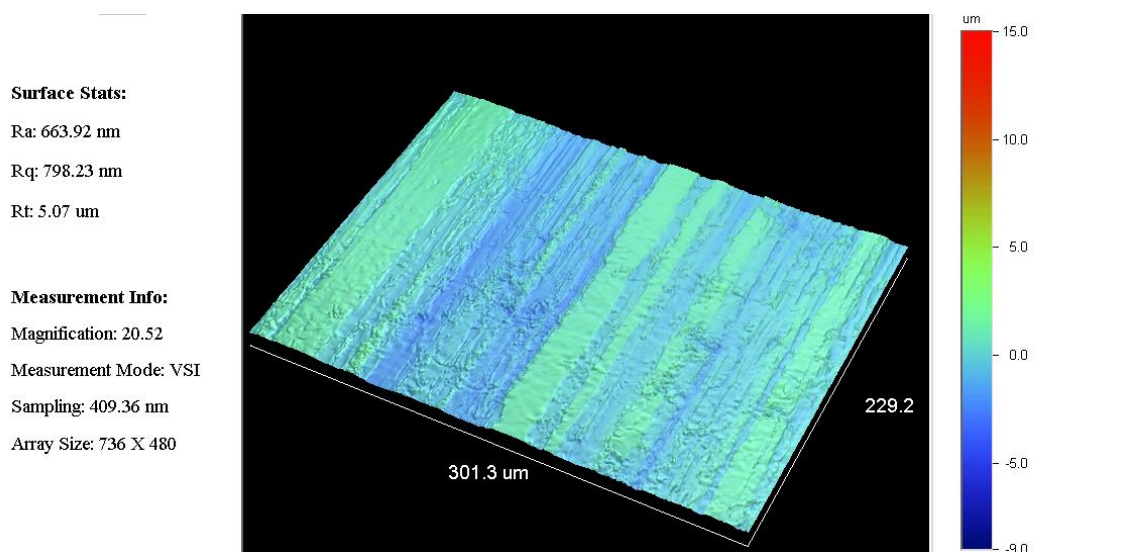


Figura 6. Rugosidade da Amostra de Alumínio AA5052 sem Tratamento.

As (Figura 7 e Figura 8) correspondem as análises tribológicas feita nas amostras da (Figura 1 e Figura 2), pode ser notado que neste caso o sistema de refrigeração empregado no processo não apresenta uma grade interferência nas características tribológicas do filme cerâmico formado nas amostras, as análises apontam apenas diferença de alguns décimos na rugosidade media e na rugosidade Rt.

O PEO com ou sem refrigeração com densidade de corrente de 10 A/dm^2 apresentam características dos filmes que possibilita o emprego deste tipo de tratamento a peças que serão submetidas ao assentamento de rolamento, neste caso além de garantir os parâmetros de rugosidade média solicitados em normas técnicas para tal emprego o filme cerâmico ainda garante uma proteção maior contra corrosão e desgastes por atrito.

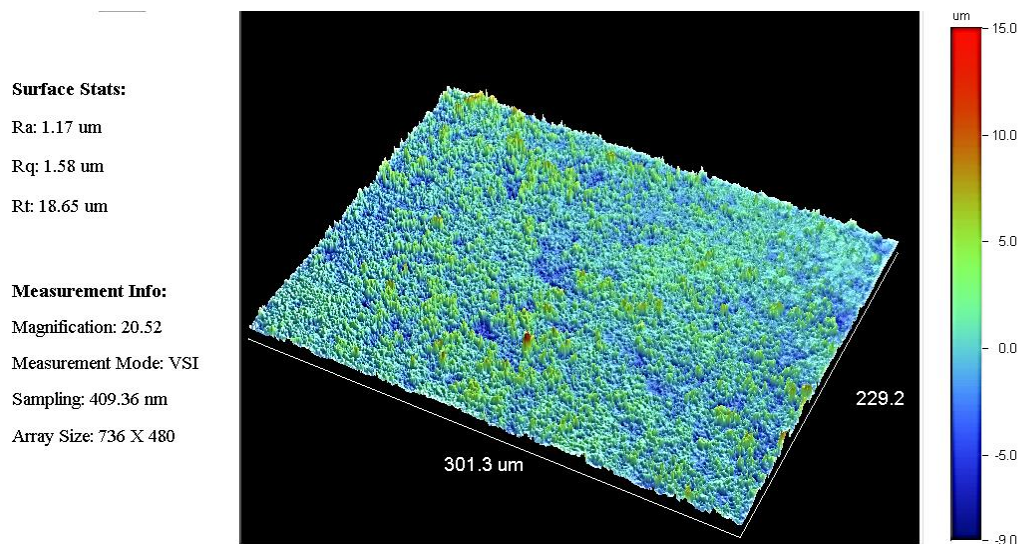


Figura 7. Rugosidade da Amostra de Alumínio AA5052 com PEO de densidade 10 A/dm^2 com Refrigeração

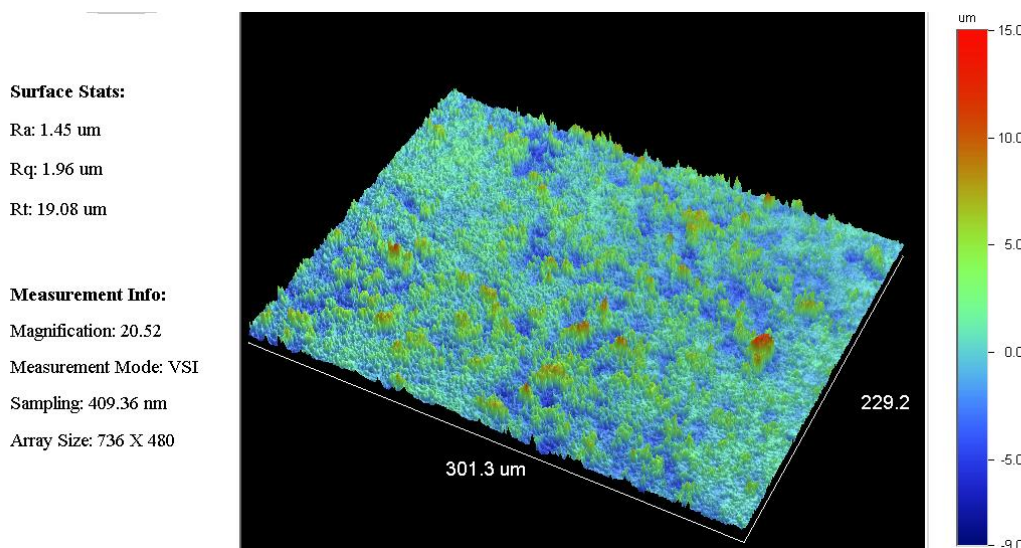


Figura 8. Rugosidade da Amostra de Alumínio AA5052 com PEO de densidade 10 A/dm^2 sem Refrigeração

As (Figura 9 e Figura 10) correspondem as análises tribológicas feita nas amostras da (Figura 3 e Figura 4), neste caso nota-se que o sistema de refrigeração do processo foi de grande importância na qualidade do filme cerâmico formado, as análises mostram uma grande diferença entre o PEO com refrigeração e o sem refrigeração, mostrando uma discrepância entre as rugosidades medias das amostras analisadas de até três unidades, isso também reflete na rugosidade Rt, mas esses dados não inutilizam o PEO na densidade de corrente de 20 A/dm^2 , pois essas rugosidades apresentadas pelas análises das amostras são excelentes para o processo de pintura pois tal rugosidade gera uma melhor aderência da tinta a superfície da peça.

Essa diferença de temperatura entre o processo de densidade de corrente de 10 A/dm^2 e 20 A/dm^2 , é devido a diferença de tensão elétrica e corrente aplicada ao processo que implica na elevada temperatura obtida no processo com densidade de corrente maior.

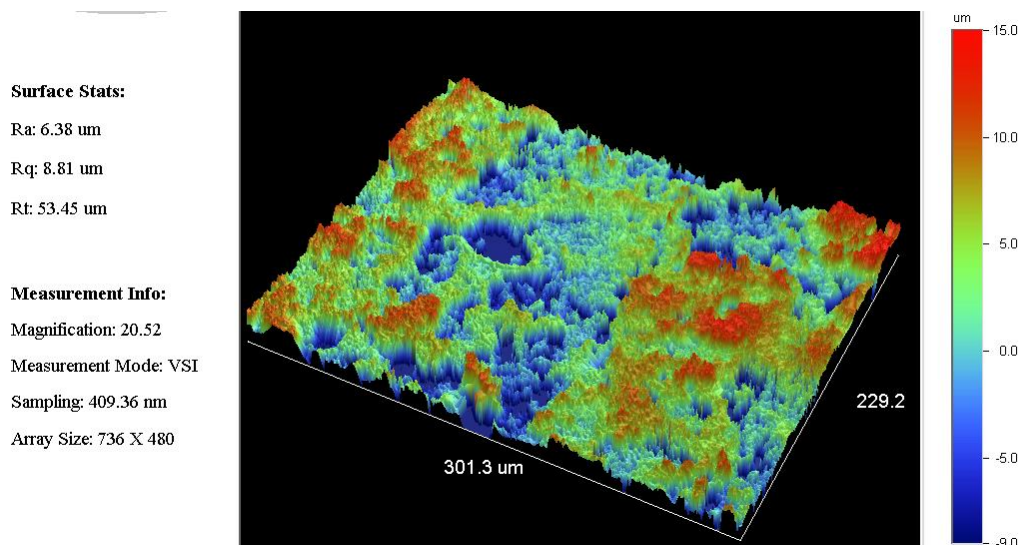


Figura 9. Rugosidade da Amostra de Alumínio AA5052 com PEO de densidade 20 A/dm² com Refrigeração

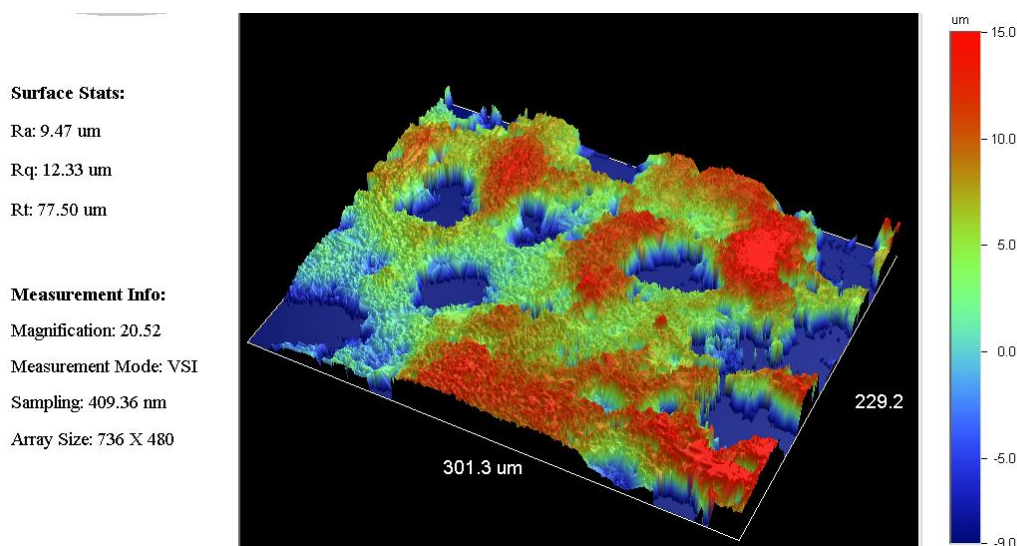


Figura 10. Rugosidade da Amostra de Alumínio AA5052 com PEO de densidade 20 A/dm² sem Refrigeração

Contudo as análises mostram que há diferenças tribológicas das amostras tratadas em diferentes PEO, como a amostra tratada em 20 A/dm² (Figura 3, Figura 4, Figura 9 e Figura 10) no sistema com e sem refrigeração, apresentou respectivamente as rugosidades médias Ra de $(6,50 \pm 0,33)$ µm e $(9,39 \pm 0,14)$ µm. Já nas amostras tratadas em corrente de 10 A/dm² (Figura 1, Figura 2, Figura 7 e Figura 8), a rugosidade Ra resultou em torno de $(1,14 \pm 0,02)$ µm para o sistema refrigerado, e $(1,49 \pm 0,14)$ µm para o sistema sem refrigeração.

4 CONCLUSÕES

Portanto, as análises confirmam que a temperatura é um importante parâmetro nos processos PEO, pois modificam as características morfológicas dos filmes. Entretanto deve-se observar que as tais alterações são mais significantes nos processos realizados em alta densidade de corrente, podendo resultar em defeitos como trincas, que impedem o caráter protetivo dos filmes. Portanto, o controle da temperatura nos processos PEO deve ser uma condição fundamental para a aplicação dos mesmos. Além de o tipo de escolha do PEO influenciar na característica final que se pretende chegar com o tratamento, ou seja para qual fim a peça tratada será utilizada e qual a rugosidade necessária, visando sempre a melhor qualidade do filme cerâmico e sua capacidade de proteção.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Profº. Dr. João Paulo Machado do INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

6. REFERÊNCIAS

Denhavi *et al.* Phase transformation in plasma electrolytic oxidation coatings on 6061 aluminum alloy.

Surface & Coatings Technology 251 (2014) 106–114.

Zhu *et al.* A mechanism for the growth of a plasma electrolytic oxide coating on Al.

Electrochimica Acta 208 (2016) 296–303.

DINIS, J. R. D. A.; SANTOS, D. C. R. Dos; CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA DE FILMES CERÂMICOS DEPOSITADOS POR PLASMA ELETROLÍTICO NA LIGA DE ALUMÍNIO AA 5052.

XI Simpósio de Tecnologia da FATEC Pindamonhangaba – 16, 17 e 18 de outubro de 2018, V Jornada de Iniciação Científica.

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

O(s) autor(es) é (são) o(s) único(s) responsável(is) pelas informações incluídas neste trabalho.

ANALYSIS OF THE TRIBOLOGY AND MORPHOLOGY OF CERAMIC FILMS DEPOSITED BY ANODIZING THE ELECTROLYTIC PLASMA IN THE ALUMINUM ALLOY AA5052

Jonas Renato Dias Alves Dinis

Institution and address: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)

Av. dos Astronautas, 1.758 - Jardim da Granja, São José dos Campos - SP, 12227-010

E-mail: jonas.dinis@hotmail.com

Brendon de Pádua Moreira

Sérgio Roberto Montoro

Emerson Augusto Raymundo

Institution and address: Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba (FATEC Pindamonhangaba)

Rodovia Vereador Abel Fabrício Dias 4010 Agua preta, Pindamonhangaba - SP, 12445-010

E-mail: brendonpmoreira@gmail.com

sergio.montoro@fatec.sp.gov.br

emersonaugustoray@gmail.com

Abstract. This work aims to analyze the characteristics of the ceramic films obtained by anodizing to electrolytic plasma (PEO), the study of this process is an alternative with a smaller number of steps in the anodizing process commonly used in industry, PEO has only 3 steps in process while conventional anodizing has 6 to 7 steps. In addition to the reduction of the process steps, the analyzes indicate that anodizing through PEO brings viable applications of the process in the industry and the characteristics of the ceramic film obtained by such process, show satisfactory results depending on the suitability of the process to what is expected to be obtained from the process. ceramic film, tribological and morphological characteristics were analyzed by comparing them between the two process configurations, using different current densities between the processes, being them; 10 A / dm² with and without refrigeration and 20 A / dm² with and without refrigeration. The ceramic film obtained through the PEO process generates greater resistance to wear and possible corrosion, in addition to being able to be applied in other metallic alloys. This work evaluated the effect of the temperature of the PEO process on the morphology and tribology of the films deposited at different current densities, on the aluminum alloy AA 5052.

Keywords: Anodizing. Plasma. PEO. Tribology. Morphology.

RESPONSIBILITY NOTICE

The author(s) is (are) the only responsible for the printed material included in this paper.