

Copyright 2016, ABRACO

Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2016, em Búzios/RJ no mês de maio de 2016.

As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).

Influência do tempo de ataque ácido da liga de alumínio 5052 para obtenção de superfícies super-hidrofóbicas

Luma R. R. B. de Vasconcelos^a; Magda R. S. Vieira^b; Edval G. de Araújo^c; Rodrigo F. da Silva^d; Maria I. C. Malta^e; Maxime Montoya^f; Severino L. Urtiga Filho^g

Abstract

The super-hydrophobicity based on the Lotus effect, which is observed association of substructures micrometer and nanometer structures that alter the material roughness parameters. The combination of suitable roughness and surface action of reducing agents provides energy obtaining superhydrophobic surfaces (SHF), which among other features, provides improved corrosion resistance. This study aimed to evaluate the influence of the 5052 aluminum alloy etching time in getting SHF surfaces, aiming at better anticorrosive properties. Specimens were made of alloy AA5052 dimensions (20x20x3) mm, which were sanded to # 1200. The specimens were attacked in Beck solution at four different times (5, 10, 15 and 20) s. The samples were passivated in aqueous zinc nitrate in the presence of ammonium hydroxide and subsequently treated in ethanolic solution of stearic acid. The contact angle was determined by analysis with a goniometer. Electrochemical tests linearly polarized were conducted to evaluate the corrosion resistance of the coatings obtained. The morphology and composition of SHF surfaces were analyzed by scanning electron microscopy (SEM) coupled with analysis of energy dispersive spectroscopy (EDS). The results showed that the attack time influences the contact angle obtained in SHF. Greater angle of contact and corrosion resistance were observed for specimens that were attacked by 20 seconds in Beck solution.

Keywords: Aluminum Alloy 5052, Super-Hydrophobic Surfaces; Super-hydrophobicity, Corrosion.

^a Mestranda em Engenharia Mecânica – UFPE

^b Doutora, Professora/Pesquisadora do Departamento de Engenharia Mecânica - UFPE

^c Doutor, Professor/Pesquisador do Departamento de Engenharia Mecânica – UFPE

^d Estudante de Engenharia de Materiais – UFPE;

^e Estudante de Engenharia Mecânica– UFPE;

^d Doutor, Professor/Pesquisador do Departamento de Engenharia Mecânica - UFPE

^e Doutor, Professor/Pesquisador do Departamento de Engenharia Mecânica - UFPE

Resumo

A super-hidrofobicidade baseia-se no efeito Lótus, onde se observa a associação de estruturas micrométricas e subestruturas nanométricas que alteram os parâmetros de rugosidade do material. A associação da rugosidade adequada e ação de agentes redutores de energia de superfície propicia a obtenção de superfícies super-hidrofóbicas (SHF) que, entre outras funcionalidades, confere maior resistência à corrosão. O presente trabalho teve como objetivo avaliar a influência do tempo de ataque ácido da liga de alumínio 5052 na obtenção de superfícies SHF, visando melhores propriedades anticorrosivas. Foram confeccionados corpos de prova da liga AA5052 de dimensões (20x20x3) mm, os quais foram lixados até #1200. Os corpos de prova foram atacados em solução de Beck em quatro diferentes tempos (5, 10, 15 e 20) s. As amostras foram passivadas em solução aquosa de nitrato de zinco em presença de hidróxido de amônio e, posteriormente, tratadas em solução etanólica de ácido esteárico. O ângulo de contato foi determinado por meio de análise com goniômetro. Ensaio eletroquímico de polarização linear foram realizados para avaliar a resistência à corrosão dos revestimentos obtidos. A morfologia e a composição das superfícies SHF foram analisadas através de microscopia eletrônica de varredura (MEV) acoplada à análise de espectroscopia de energia dispersiva (EDS). Os resultados mostraram que o tempo de ataque influencia no ângulo de contato obtido nas SHF. Foram observados maior ângulo de contato e a maior resistência à corrosão para os corpos de prova que foram atacados por 20 s em solução de Beck.

Palavras-chave: Liga de Alumínio 5052, Superfícies Super-Hidrofóbicas; Super-hidrofobicidade, Corrosão.

Introdução

Estudos recentes vêm destacando o fenômeno natural conhecido como efeito Lótus, que na planta de Lótus confere características de super-hidrofobicidade e autolimpeza. Visando reproduzir este efeito em superfícies metálicas, a obtenção de superfícies super-hidrofóbicas (SHF) onde o ângulo de contato (AC) da água com a superfície deve ser maior que 150° é de elevado interesse para área de engenharia, pois confere ao material, propriedades como autolimpeza, anti-congelamento, antibiofouling e propriedades anticorrosivas (1,2).

Superfícies capazes de agir como repelentes de água podem ser obtidas a partir da formação hierárquica binária de estruturas micro/nanométricas, e posterior modificação química da superfície a partir de materiais de baixa energia (3,4).

Na engenharia de materiais procura-se mimetizar o que ocorre na natureza, obtendo-se a superfície SHF, principalmente em metais pela obtenção de uma superfície rugosa em níveis micro e nanométrico, associando-se a esta um revestimento de baixa energia de superfície. Desta forma, revestimentos SHF, quando aplicados a metais, como o alumínio, aumentam significativamente a resistência à corrosão, em até quatro ordens de grandeza, tanto em meio atmosférico quanto em meio aquoso, bem como contribuem para a redução da corrosão microbiologicamente induzida (5).

A obtenção de uma superfície SHF é fundamentada pela teoria de Cassie-Baxter. Nesse modelo, para superfícies muito rugosas, o ar fica aprisionado abaixo da gota de água e esta não penetra as saliências existentes na superfície. Esse estado de superfície propicia a

ocorrência de uma gota esférica, que tende a deslizar facilmente sobre a superfície do material (6,7).

Nesta pesquisa o procedimento de formação da superfície SHF foi realizado em três etapas: a primeira etapa consiste no ataque químico após a preparação de superfície, responsável pela remoção da camada de óxido existente na liga, assegurando a rugosidade necessária. Na segunda etapa, é realizada a passivação e por último a imersão em ácido orgânico para formação do filme SHF.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a influência do tempo de ataque ácido da liga de alumínio 5052 no desenvolvimento e obtenção de superfícies super-hidrofóbicas, visando melhores propriedades anticorrosivas.

Metodologia

Materials

Foram confeccionados corpos de prova com dimensões de (20x20x3) mm, a partir da liga AA5052, cuja composição é de alumínio e magnésio (2,5%). As soluções utilizadas foram: solução de Beck; solução aquosa de nitrato de zinco hexa-hidratado (0,1 mol/L) na presença de hidróxido de Amônio e uma solução etanólica de ácido esteárico (28mmol/L); solução de cloreto de sódio (35g/L).

Tratamento superfície

Os corpos de prova foram submetidos a um tratamento de superfície, com lixas d'água até a granulometria #1200. Em seguida, realizou-se processo de limpeza em banho ultrassônico, respectivamente em acetona (5 min) e água destilada (5 min).

Fabricação de superfícies de SHF na liga de alumínio 5052

O processo de modificação de superfície teve início com o ataque ácido em solução de Beck, em tempos de (5, 10, 15 e 20) s. Após ataque, os corpos de prova foram imediatamente lavados em água destilada em banho ultrassônico. Posteriormente as amostras foram imersas em solução de nitrato de zinco hexa-hidratado com hidróxido de amônio, por 180 min à temperatura de 70°C. Em seguida, foram lavados em água destilada e imersos numa solução de ácido esteárico, por 90 min a temperatura ambiente. Por fim, foram submetidos à secagem em estufa a 80°C durante 120 min.

Caracterização das amostras

Os ângulos de contato da água nas superfícies SHFs foram medidos por meio de um equipamento de medição de ângulo de contato (KSV- CAM 200 Optical Contact Angle Meter) a temperatura ambiente. O valor médio de 5 medidas obtidos em diferentes posições na amostra foi adotado como o ângulo de contato. As morfologias das superfícies da liga após ataque ácido, processo de passivação e recobrimento SHF foi observada através de um Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV; Hitachi TM 3000). A composição química da superfície antes e após processo de passivação com nitrato de zinco foi examinada por Espectroscopia de Energia Dispersiva de Raios-X (EDS). A resistência à corrosão das superfícies SHFs foi avaliada em solução de NaCl (35 g/L) por polarização linear. Foi utilizado um potenciostato (AUTOLAB PGSTAT 302N - interface NOVA) a temperatura ambiente e uma célula eletroquímica de três eletrodos composta por uma amostra com área de teste de 1 cm² como eletrodo de trabalho, um eletrodo auxiliar de platina e um eletrodo

referência de Calomelano Saturado. As amostras foram imersas na solução de NaCl por 1 h para o sistema atingir estabilização. As curvas de polarização foram obtidas a uma taxa de varredura de 1 mV/s e uma faixa de potencial de -1800 mV a 600 mV. Todos os ensaios eletroquímicos foram realizados em triplicata.

Resultados e discussão

Morfologia da superfície em função do tempo de ataque ácido

Nesse trabalho o tempo de ataque ácido em solução de Beck na liga de alumínio 5052 foi investigado. As imagens de MEV da superfície apenas lixada e após ataque ácido nos diferentes tempos investigados (5, 10, 15 e 20) s são mostradas respectivamente nas Figuras 01 e 02.

A Figura 01 mostra a superfície da liga de alumínio 5052 após lixamento até #1200.

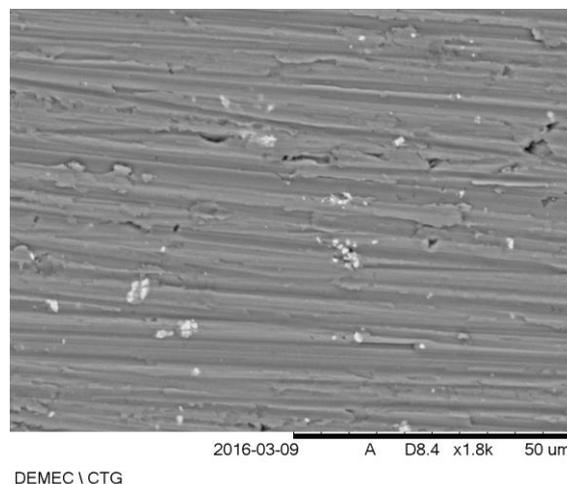


Figura 01: Imagem de MEV da superfície da liga de alumínio 5052 após lixamento

A Figura 01 mostra a condição da superfície antes do ataque, onde se observam as marcas provenientes do lixamento efetuado para uniformização da superfície e aumento da rugosidade. Na Figura 2(a), tem-se a amostra após ataque ácido no tempo de 5 s, onde se percebe a presença de sulcos na superfície do metal, contudo ainda são perceptíveis os riscos do lixamento. Para os tempos de (10, 15 e 20) s, as Figuras 2 (b, c, d), respectivamente, mostram uma intensificação do processo de ataque superficial em função do tempo e não mais são observadas as marcas de lixamento. Em todos os tempos investigados, observa-se um aumento da rugosidade superficial, quando comparado à liga não submetida ao ataque ácido. Escavações com estruturas côncavo-convexo em microescala começam a ser observadas já com 5 s de ataque. Com o aumento do tempo de ataque a superfície vai se tornando cada vez mais rugosa, e as escavações começam a ficar interligadas ao longo de toda superfície. Estudo utilizando ataque ácido com solução 4M de HCl, foi realizado por Li et al (8), que obtiveram um comportamento similar para ataques em diferentes tempos de imersão em solução ácida da liga de alumínio 5052. Em seu estudo Li et al (8) identificaram que o aumento do tempo de ataque, propiciava a geração de pites mais profundos, atacando regiões mais internas do material.

A obtenção da microrrugosidade é fundamental para gerar uma estrutura binária hierárquica micrométrica e nanométrica, visando à fabricação de superfícies SHFs. (9,10)

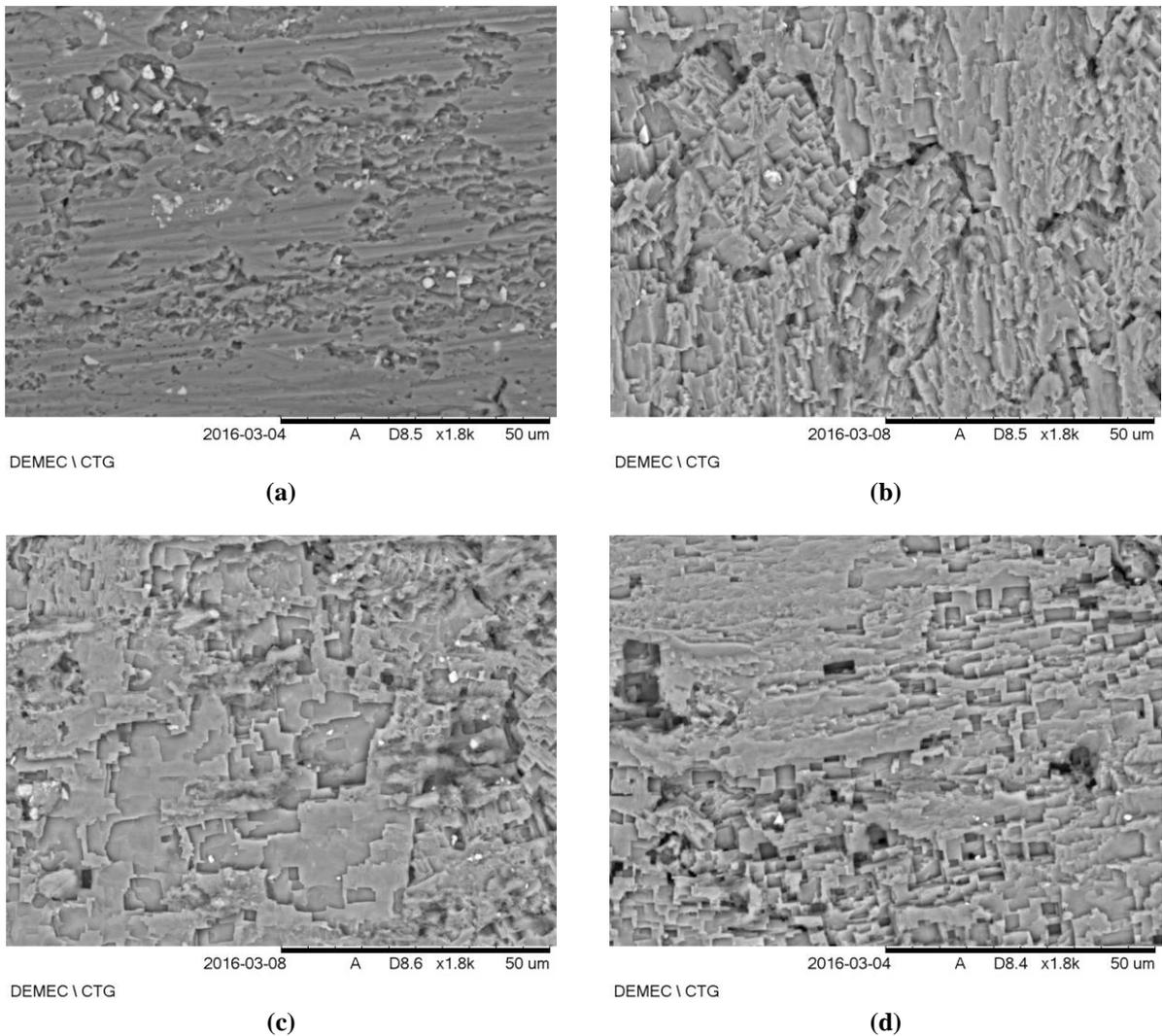


Figura 02- Imagens de MEV da superfície da liga de alumínio 5052 após ataque em solução de Beck: (a) 5 s; (b) 10 s; (d) 15 s e (e) 20 s.

A perda de massa média sofrida pela liga 5052 após os diferentes tempos de ataque em solução de Beck é mostrada na Figura 03. A perda de massa percentual observada em todos os tempos de ataque foi inferior a 2%, o que foi bastante satisfatório. Valores de perda de massa elevados não são tecnicamente viáveis, pois acarretaram na perda excessiva de material e dificultando a aplicação desse processo industrialmente.

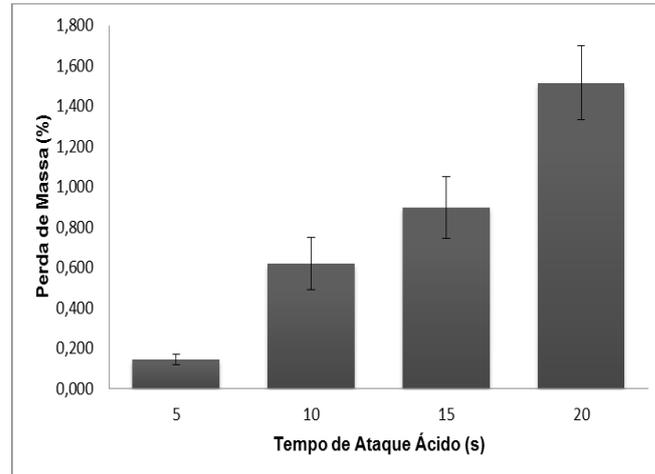


Figura 03: Perda de massa da liga de alumínio 5052 em função dos diferentes tempos de ataque em solução de Beck

Morfologia e composição dos revestimentos SHFs

A propriedade de SHF da liga de alumínio é alcançada por meio da morfologia e composição adequados. Uma vez obtida uma microrrugosidade superficial via ataque ácido, a segunda etapa consiste na obtenção da nano-rugosidade, que foi alcançada nesse trabalho por meio da modificação química da superfície com uma solução de nitrato de zinco na presença de hidróxido de amônia.

As Figuras 04 (a) e (b) mostram os resultados de EDS obtidos, respectivamente, para a liga AA5052 apenas lixada, e após recobrimento com nitrato de zinco, etapa que antecede o tratamento com ácido esteárico.

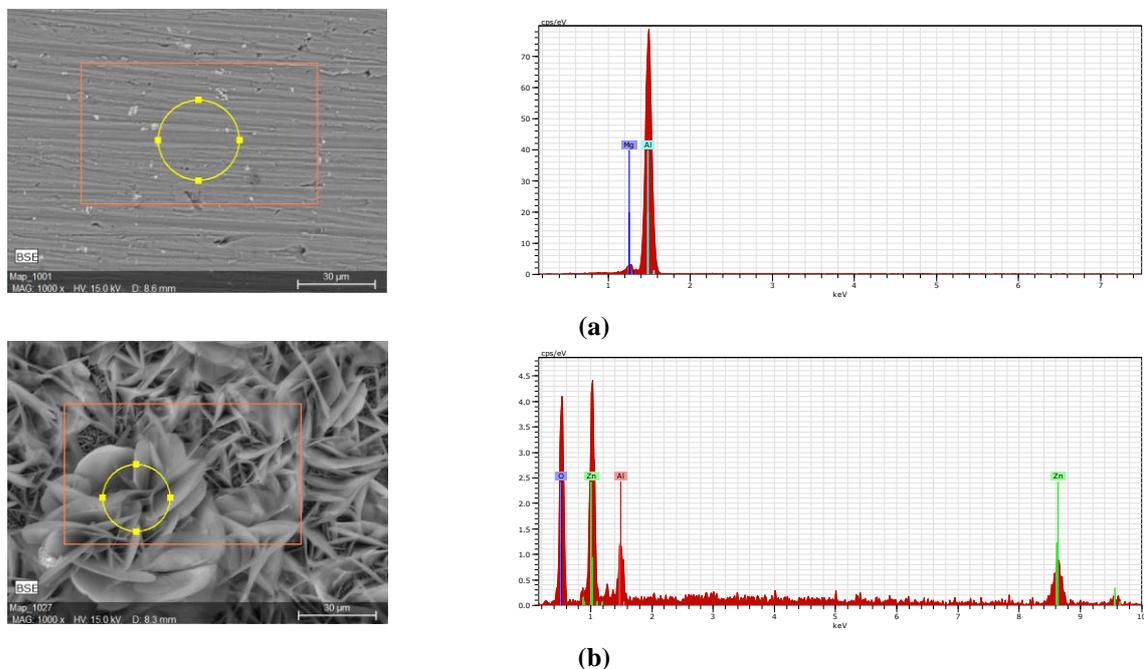


Figura 04 – EDS obtidos para a liga de alumínio 5052: (a) apenas lixada e (b) atacada 20 s em solução de Beck e tratada com nitrato de zinco.

Na Figura 04(a) observam-se apenas picos de alumínio (Al) e magnésio, que são característicos da liga investigada. A Figura 04(b) além dos picos de Al e Mg, apresenta picos relativos ao oxigênio (O) e zinco (Zn), que sugere a deposição de óxidos de zinco sobre a superfície da liga de alumínio.

A Figura 05 apresenta as condições de superfície da liga de alumínio atacada em solução de Beck por 20 s: (a) após tratamento com nitrato e hidróxido de amônia e (b) após tratamento com ácido esteárico.

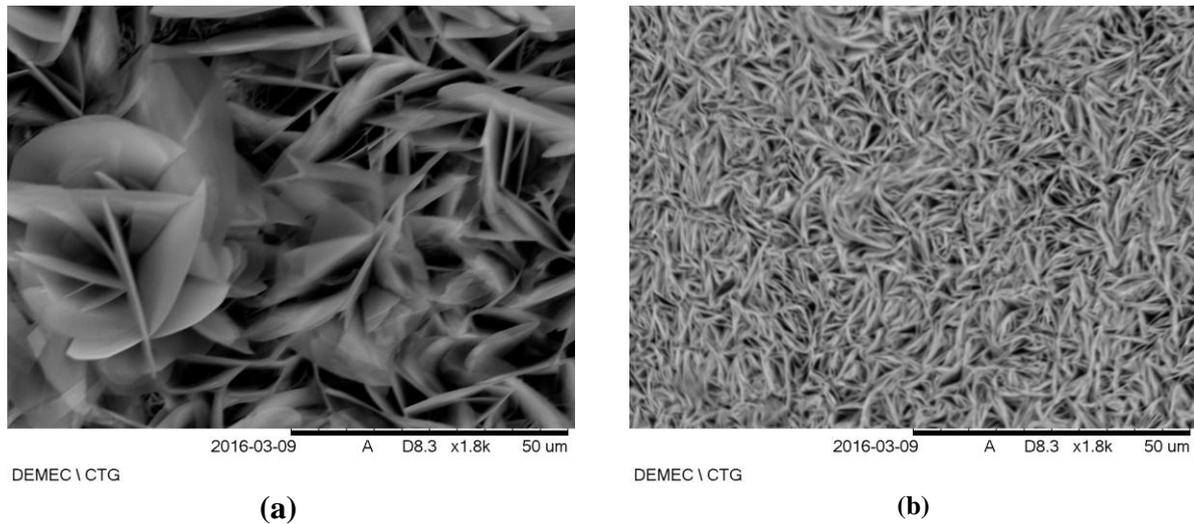


Figura 5- Imagens de MEV da liga de alumínio atacada 20 s na solução de Beck: (a) após tratamento com nitrato de zinco e (b) após tratamento com ácido esteárico.

A morfologia encontrada na Figura 5(a) corresponde a uma estrutura no formato de flor, onde se tem se o detalhe de pétalas com paredes nanométricas, que possibilitam a formação de uma estrutura hierárquica micrométrica e nanométrica, essencial para se alcançar a propriedade de SHF. Estruturas semelhantes foram obtidas por Guo et al (3) e Zhang et al (11).

Após tratamento com o ácido esteárico obteve-se uma camada de recobrimento mais refinada, com morfologia de plaquetas, que se apresentou distribuída uniformemente ao longo de toda a superfície. O ácido esteárico corresponde a um ácido carboxílico de cadeia longa (ácido ocatdecanóico – 18 carbonos), cujo grupamento polar (grupo carboxila) irá interagir com a superfície modificada com nitrato de zinco, e a cadeia carbônica, de caráter hidrofóbico, irá se direcionar de forma oposta, proporcionando uma redução da energia de superfície e repelência a água. Ressalta-se, porém que a SHF não é alcançada apenas pelo o efeito morfológico da rugosidade ou apenas por meio da aplicação de um agente redutor de energia de superfície, essa propriedade requer a associação dessas duas condições (12).

O valor do ângulo de contato para a superfície apenas lixada foi de $AC = 63^\circ \pm 2^\circ$. Os valores de ângulo de contato para a liga 5052 após modificação química da superfície com ácido esteárico, em função do tempo de ataque ácido são mostrados na Figura 06.

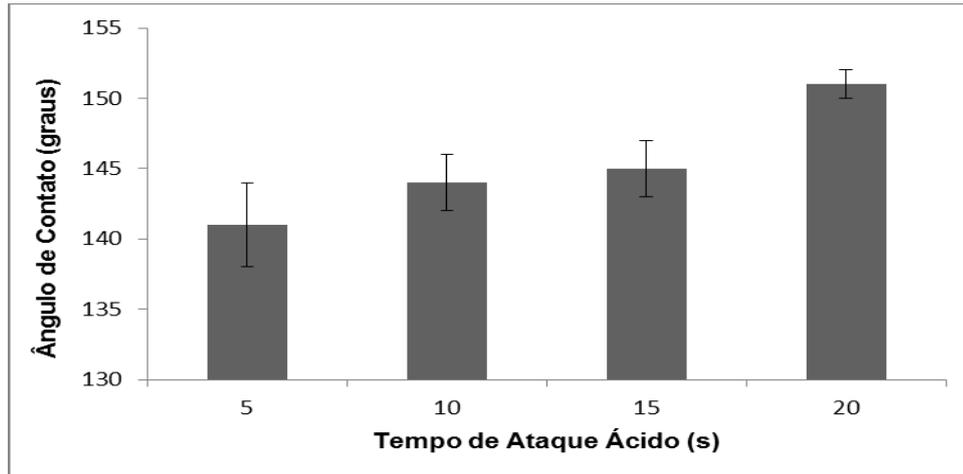


Figura 06: Ângulo de contato para superfícies SHF em liga de alumínio 5052, em função do tempo de ataque ácido em solução de Beck.

O fenômeno de SHF obtido neste trabalho para a liga de alumínio 5052 pode ser ilustrado na Figura 07, que mostra a fotografia da superfície contendo gotas de água destilada coradas com o indicador azul de metileno. A imagem corresponde um corpo prova atacado por 20 s em solução de Beck e posterior tratamento em nitrato de zinco e ácido esteárico.

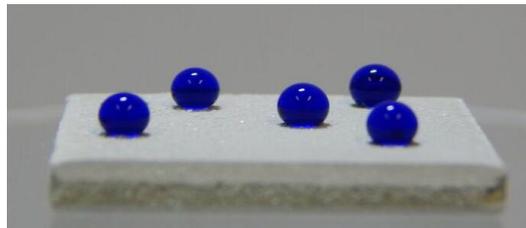


Figura 07- Fotografia de superfície SHF obtida para a liga de alumínio 5052 – (20 s de ataque de ácido).

Conforme visualizado na Figura 06, houve um aumento do ângulo de contato em função do incremento do tempo de ataque em solução de Beck. A obtenção de superfícies SHF, segundo o modelo de Cassie-Baxter é atingido para valores de ângulo de contato $\geq 150^\circ$ (1). No presente estudo, para os tempos de (5, 10, 15 e 20) s em solução de Beck, foram encontrados valores de ângulos de contato de $141^\circ \pm 3^\circ$; $144^\circ \pm 2^\circ$; $145^\circ \pm 2^\circ$ e $151^\circ \pm 1^\circ$. Todas as superfícies apresentaram elevada repelência à água. A superfície atacada por 20 s apresentou o efeito de SHF comprovado, mediante o valor de ângulo de contato medido ser superior a 150° .

Para avaliação da resistência à corrosão das superfícies SHF fabricadas, foram obtidas curvas de polarização potenciostática em NaCl (35 g/L). A Figura 08 mostra as curvas de polarização obtidas para a liga 5052 sem e com tratamento SHF, em função do tempo de ataque em solução de Beck.

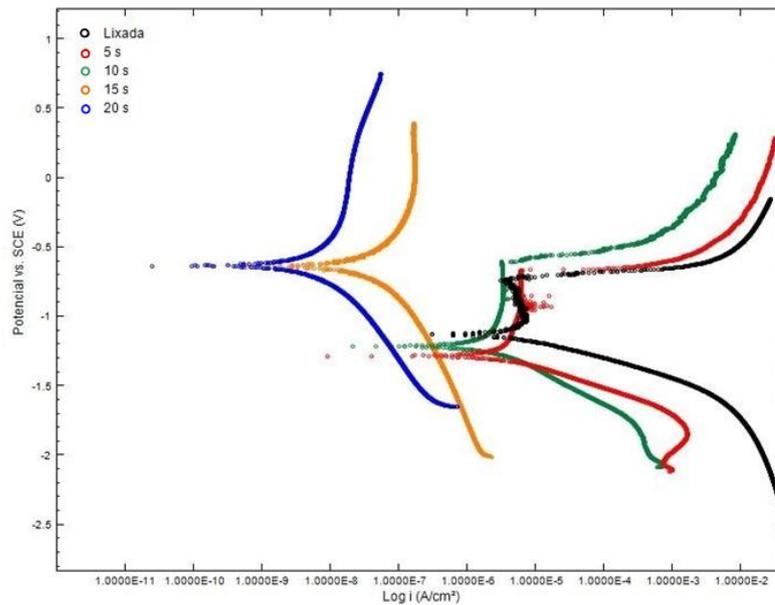


Figura 08: Curvas de Polarização Potenciodinâmica para a liga de alumínio 5052 sem e com tratamento SHF medidas em solução aquosa de NaCl 3,5% em função do tempo de ataque de Beck

Conforme pode ser observado na Figura 08, as superfícies atacadas nos tempos de 5 s e 10 s apresentaram valores de potencial de corrosão abaixo do potencial de corrosão do metal apenas lixado, sugerindo que nesses tempos não se atinge uma superfície suficientemente rugosa para garantir uma proteção eficiente (9,10). Apesar desse comportamento quanto ao potencial, valores menores de densidade de corrente anódica, foram observados para a liga revestida, quando comparado à superfície apenas lixada. Houve um aumento da proteção anticorrosiva em função do tempo de ataque ácido, sendo obtido maior valor de potencial de corrosão e menor valor de densidade de corrente para o sistema que foi atacado por 20 s. O tempo de ataque ácido apresenta-se nesse trabalho como um parâmetro bastante relevante para a fabricação de SHF, visto que uma superfície com rugosidade insuficiente não permitirá a associação conjunta do efeito da micro/nano rugosidade com o agente redutor de superfície (3).

Os valores de potencial de corrosão obtidos para os tempos de 15 s e 20 s foram muito semelhantes, contudo, uma vez que a densidade de corrente para o tempo de 20 s foi menor, pode-se afirmar que esse foi o tempo de ataque que propiciou melhores resultados de resistência à corrosão.

Correlacionando os valores do ângulo de contato, com os resultados eletroquímicos, pode-se afirmar que maiores valores de ângulos de contato, propiciam a formação de superfícies mais resistentes ao processo de corrosão, conforme pode ser comprovado pela Figura 09, que mostra fotografias da superfície após ensaios de polarização.

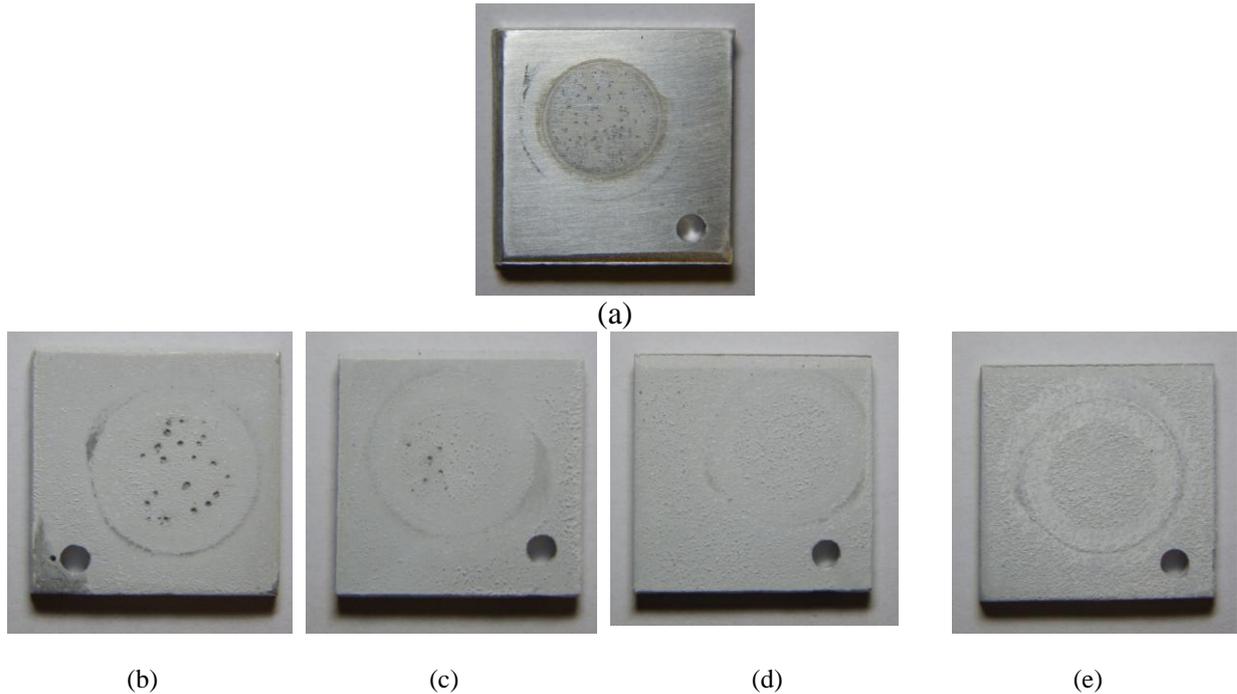


Figura 09: Fotografias dos corpos de prova após ensaios de polarização: (a) superfície lixada; SHF – (b) 5 s; (c) 10 s; (d) 15 s e (e) 20 s.

As fotografias da Figura 09 mostram que a superfície da liga de alumínio apenas lixada apresentou corrosão localizada. Esse comportamento pode ser visualizado na Figura 08, curva preta, onde se observa na zona anódica do gráfico, o comportamento típico de um material passivável, onde se tem inicialmente uma redução da densidade de corrente anódica, seguido pelo aumento da densidade de corrente, que caracteriza o fenômeno de transpassivação, que está associado à formação de corrosão localizada por pite.

Analisando a Figura 09 (b) e (c) observa-se uma redução da quantidade de pites na superfície, respectivamente para os tempos de 5 s e 10 s. Esse comportamento pode ser compreendido por meio dos gráficos de polarização, curvas vermelha e verde, da Figura 08. Observa-se comportamento semelhante ao do metal não revestido. Para a superfície revestida que foi atacada por 5 s, observa-se um maior número de pites, quando comparado ao tempo de 10 s de ataque. Para ambos os tempos, observa-se a diminuição da densidade de corrente, e posterior aumento, caracterizando também a formação de ataque localizado sobre o revestimento.

Para os tempos de 15 s e 20 s não houve deterioração do revestimento por ataque localizado, conforme pode ser visto nas Figuras 9 (d) e (e). O comportamento dessas duas condições de superfície pode ser compreendido por meio da análise das curvas de polarização, respectivamente, curvas laranja e azul da Figura 08. Observa-se uma redução da densidade de corrente de corrosão, e esta diferentemente das demais condições de superfície investigadas, não volta a aumentar, o que justifica a não formação de corrosão localizada, indicando melhor comportamento anticorrosivo para essas duas situações de superfície.

Pode-se relacionar que para o tempo de 20 s obteve-se uma superfície com estrutura micro-nanométrica mais eficiente que, associada à ação do agente redutor de energia de superfície, permitiu a fabricação de um revestimento SHF com maior ângulo de contato e melhores propriedades anticorrosivas, alcançando-se potenciais de corrosão superior, menor densidade de corrente anódica e maior resistência à corrosão por pite.

Resultados encontrados na literatura (12,13) relatam que superfícies SHF tendem a apresentar um deslocamento de potencial de corrosão para valores mais positivos e uma redução na corrente anódica, o que reforça os resultados obtidos no presente trabalho.

A maior resistência à corrosão alcançada para as superfícies SHF é atribuída ao fato dessas superfícies apresentarem uma maior fração no revestimento, desse modo reduz-se a área de contato entre a água e a superfície sólida, conforme descrito pelo modelo de Cassie-Baxter. Portanto, superfícies SHF podem manter afastados agentes externos de caráter hidrofílico, como consequência, quanto maior o ângulo de contato alcançado, mais difícil será para o íon cloreto, que é bastante corrosivo, penetrar pelo revestimento e atingir a superfície do Al, levando assim a um aumento considerável da resistência à corrosão dessas superfícies (13).

Conclusões

- Através de um método simples e de baixo custo foram fabricadas superfícies super-hidrofóbicas em ligas de alumínio 5052;
- O tempo de ataque ácido apresentou-se com um fator bastante importante para definir o nível de rugosidade superficial adequado para obtenção de superfícies super-hidrofóbicas;
- A morfologia da estrutura nanométrica no formato pétalas obtidas pelo tratamento com nitrato de zinco, é fundamental para o estabelecimento da estrutura hierárquica micro-nanométrica, necessária para obtenção da SHF.
- Superfícies atacadas por mais tempo em solução de Beck (20 s) apresentaram melhor comportamento SHF, após tratamento com nitrato de zinco e ácido esteárico, o que foi confirmado pela obtenção ângulo de contato superior a 150°.
- Melhores resultados de resistência à corrosão foram alcançados para os revestimentos com maior ângulo de contato, sendo obtidos maiores valores de potencial de corrosão, menor valor de densidade de corrente e maior resistência à corrosão por pite.
- Superfícies SHF dificultam o acesso de íons cloretos à superfície do metal base, aumentando consideravelmente a resistência à corrosão do material.

Referências Bibliográficas

- (1) QU, M.; ZHANG, B.; SONG, S.; CHEN, L.; ZHANG, J.; CAO, X. Fabrication of Superhydrophobic Surfaces on Engineering Materials by a Solution-Immersion Process. **Advanced Functional Materials**, v. 17, p. 593-596, 2007.
- (2) WU, W. C.; WANG, X.L.; WANG, D.A.; CHEN, M.; ZHOU, F.; LIU, W.M.; XUE, Q.J. Alumina nanowire forests via unconventional anodization and super-repellency plus low adhesion to diverse liquids. **Chemical Communication**, v. 9, p. 1043-1045, 2009.
- (3) GUO, Y., WANG, Q., WANG, T. Facile fabrication of superhydrophobic surface with micro/nanoscale binary structures on aluminum substrate. **Applied Surface Science**, v. 257, p. 5831-5836, 2011.

-
- (4) LIU, X.J.; WU, W.C.; WANG, X.L.; LUO, Z.Z.; LIANG, Y.M.; ZHOU, F. A replication strategy for complex micro/nanostructures with superhydrophobicity and superoleophobicity and high contrast adhesion. **Soft Matter**, v. 5, p. 3097-3105, 2009.
 - (5) HE, T.; WANG, Y.; ZHANG, Y., IV, Q.; XU, T.; LIU, T. Super-hydrophobic surface treatment as corrosion protection for aluminum in seawater. **Corrosion Science**, v. 51, 1757- 1761, 2009.
 - (6) CRICK, C. R. and PARKIN, I. P. Preparation and Characterisation of Super-Hydrophobic Surfaces. **Chemistry a European Journal**, v. 16, p 3568-3588, 2010.
 - (7) CASSIE, A. B. D.; BAXTER, S. Wettability of porous surfaces. **Transactions of the Faraday Society**, v. 40, p. 546-551, 1944.
 - (8) LI, X.; ZHANG, Q.; GUO, Z.; YU, J.; TANG, M.; HUANG, X. Low-cost and large-scale fabrication of a superhydrophobic 5052 aluminum alloy surface with enhanced corrosion resistance. **Royal Society of Chemistry**, v. 5, p. 29639–29646, 2015.
 - (9) WU, R.; CHAO, G.; JIANG, H.; HU, Y.; PAN, A. The superhydrophobic aluminum surface prepared by different methods. **Materials Letters**, v. 142, p. 176-179, 2014.
 - (10) LEE, H. J.; OWENS, J. R. Motion of liquid droplets on a superhydrophobic oleophobic surface. **Journal of Materials Science**, v. 46, p. 69-76, 2011.
 - (11)ZHANG, X.; ZHANG, P.; WU, Z.; ZHANG, Z. Facile fabrication of stable superhydrophobic films on aluminum substrates. **Journal of Materials Science**, v. 47, p. 2757-2762, 2012.
 - (12)REZAYI, T.; ENTEZARI, M. H. Toward a durable superhydrophobic aluminum surface by etching and ZnO nanoparticle deposition. **Journal of Colloid and Interface Science**. v. 463, p. 37–45, 2016.
 - (13)FENG, L.; ZHANG, H.; WANG, Z.; LIU, Y. Superhydrophobic aluminum alloy surface: Fabrication, structure,and corrosion resistance. **Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects**. v. 441, p. 319– 325, 2014.