

Caracterização da superfície de zamac 5 anodizado

Surface characterization of anodized zamac 5

Caracterización superficial de zamac anodizado 5

Recebido: 09/11/2022 | Revisado: 20/11/2022 | Aceitado: 22/11/2022 | Publicado: 29/11/2022

Felipe Rangel Milcharek

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6616-7909>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-Rio-Grandense, Brasil

E-mail: feliperangelmil@gmail.com

Sandra Raquel Kunst

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8060-3981>

Projeto de Fixação de Recursos Humanos do CNPq - Nível A, Brasil

E-mail: tessaro.sandra@gmail.com

Cláudia Trindade Oliveira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4472-5359>

Universidade Feevale, Brasil

E-mail: ctofeevale@gmail.com

Pedro Carlos Hernandez Junior

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6832-6432>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-Rio-Grandense, Brasil

E-mail: pedrohernandez@ifsul.edu.br

Resumo

O Zamac é uma liga metálica de base Zn-Al que tem se mostrado extremamente versátil. Esta liga apresenta baixo ponto de fusão e ótima fluidez, o que possibilita obtenção de peças de geometria complexa em larga escala, através do processo de fundição sob pressão. Entretanto, o processo de fabricação gera porosidades gasosas no interior das peças, que faz com que a liga apresente uma resistência à corrosão inferior ao mínimo estabelecido pela NBR 10283 referente à superfície dos metais sanitários. O objetivo deste trabalho é caracterizar a superfície do Zamac 5 injetado sob pressão após ser submetido ao processo de anodização. Para realizar a análise proposta, foram empregadas amostras de Zamac 5 injetadas sob pressão e submetidas em diferentes tempos de anodização: 20, 50, 110, 300, 1800 e 3600 segundos. As amostras foram analisadas com microscopia eletrônica de varredura (MEV), ensaio de microdureza, rugosidade e polarização potenciodinâmica. Os resultados mostraram que o Zamac antes do processo de anodização apresentava maior resistência a corrosão do que após este tratamento. Isto pode ser explicado pelo processo de preparação para a anodização, o qual torna a peça mais suscetível à corrosão e pelo surgimento de trincas e rachaduras que surgiram com o processo de anodização. Entretanto, entre as amostras anodizadas, quanto maior o tempo de anodização, mais nobre tornava-se o seu comportamento. Foi verificado que a camada superficial é composta por oxalatos e óxidos de zinco e alumínio. Esta camada superficial evidenciou aumento da dureza e da rugosidade superficial.

Palavras-chave: Zamac; Anodização; Zn-Al.

Abstract

Zamak is a Zn-Al-based metal alloy that has proven to be extremely versatile. This alloy has a low melting point and excellent fluidity, which makes it possible to obtain parts of complex geometry on a large scale, through the pressure casting process. However, the manufacturing process generates gaseous porosities inside the parts, which makes the alloy present a corrosion resistance lower than the minimum established by NBR 10283 regarding the surface of sanitary metals. The objective of this work is to characterize the surface of Zamak 5 injected under pressure after being subjected to the anodizing process. To carry out the proposed analysis, Zamak 5 samples were injected under pressure and subjected to different anodizing times: 20, 50, 110, 300, 1800 and 3600 seconds. The samples were analyzed with scanning electron microscopy (SEM), microhardness, roughness and potentiodynamic polarization assay. The results showed that the Zamak before the anodizing process presented greater corrosion resistance than after this treatment. This can be explained by the preparation process for anodizing, which makes the part more susceptible to corrosion and by the appearance of cracks and cracks that appeared with the anodizing process. However, among the anodized samples, the longer the anodizing time, the more noble its behavior became. It was found that the surface layer is composed of oxalates and oxides of zinc and aluminum. This surface layer showed an increase in hardness and surface roughness.

Keywords: Zamak; Anodizing; Zn-Al.

Resumen

Zamac es una aleación de metal a base de Zn-Al que ha demostrado ser extremadamente versátil. Esta aleación tiene un bajo punto de fusión y una excelente fluidez, lo que permite obtener piezas de geometría compleja a gran escala, mediante el proceso de fundición a presión. Sin embargo, el proceso de fabricación genera porosidades gaseosas en el interior de las piezas, lo que hace que la aleación presente una resistencia a la corrosión inferior al mínimo establecido por la NBR 10283 con respecto a la superficie de los metales sanitarios. El objetivo de este trabajo es caracterizar la superficie de Zamac 5 inyectado a presión luego de ser sometido al proceso de anodizado. Para llevar a cabo el análisis propuesto, se inyectaron muestras de Zamac 5 a presión y se sometieron a diferentes tiempos de anodizado: 20, 50, 110, 300, 1800 y 3600 segundos. Las muestras se analizaron con microscopía electrónica de barrido (SEM), microdureza, rugosidad y ensayo de polarización potenciodinámica. Los resultados mostraron que el Zamac antes del proceso de anodizado presentó mayor resistencia a la corrosión que después de este tratamiento. Esto se puede explicar por el proceso de preparación para el anodizado, que hace que la pieza sea más susceptible a la corrosión y por la aparición de grietas y grietas que aparecieron con el proceso de anodizado. Sin embargo, entre las muestras anodizadas, cuanto mayor era el tiempo de anodizado, más noble se volvía su comportamiento. Se encontró que la capa superficial está compuesta por oxalatos y óxidos de zinc y aluminio. Esta capa superficial mostró un aumento en la dureza y rugosidad superficial.

Palabras clave: Zamac; Anodizado; Zn-Al.

1. Introdução

O Zamac é uma liga metálica composta por Zn, Al, Mg e Cu, tendo como base o Zn e como elemento secundário o Al com cerca de 4% de sua composição química. A liga vem sendo muito utilizada industrialmente na fabricação de metais sanitários, acessórios para bolsas, calçados e roupas, componentes automotivos, componentes para móveis, entre outras aplicações (Metals Handbook, 1990).

Devido à baixa temperatura de fusão da liga, ótima fluidez e propriedades mecânicas semelhantes, o zamac tem se mostrado um bom substituto para outros metais, principalmente o latão. O metal é uma excelente opção para fabricação de peças de geometria complexa, possibilitando a obtenção de paredes mais finas, sem comprometer a resistência mecânica. Estas características permitem a obtenção de peças pelo processo de injeção sob pressão, principal processo de fabricação para as peças de Zamac (Yoshino et al., 2010; Babapour et al., 2021; Malavazi, 2015; Tamini et al., 2021, Su e Zhou, 2008).

Entretanto, apesar das ótimas características do zamac, o latão ainda é superior quanto à resistência à corrosão. O processo de injeção, apesar de possibilitar maior escala de produção e custos menores, tende a gerar defeitos internos nas peças de Zamac, como por exemplo a porosidade oriunda de gases e vapores que não tem tempo suficiente para se deslocar até as bolsas de ar do molde antes que a peça solidifique. Estas porosidades tendem a diminuir a resistência mecânica e ainda agrava o caso da resistência à corrosão (Führ et al., 2012; Andreoni, 1998; Reveko, 2018; Goodwin, 2010; Ghomashchi, 2000).

Neste sentido, a indústria vem procurando maneiras de sanar ou diminuir os defeitos causados pelo processo de fabricação, através de processos de acabamento. Para proporcionar um melhor aspecto visual, além de tentar diminuir os defeitos causados, têm-se utilizado o processo de eletrodeposição de vários metais, por exemplo. Todavia, dependendo da aplicação, tais como em metais sanitários, este processo não apresentou progressos relevantes, uma vez que não cobre as cavidades das porosidades internas da peça (Yang, 2003; Marcolin et al., 2017; Hu et al., 2017; Kanani, 2004). Buscando encontrar um processo alternativo para reduzir os defeitos causados pela injeção, estudos pioneiros mostraram que é possível utilizar o processo de anodização, como alternativa ao processo de eletrodeposição (Dienstmann, F.K. et al., 2021; Dieter, F.B. et al., 2020). No entanto, as propriedades das camadas obtidas por anodização em zamac ainda não são bem entendidas, uma vez que o processo é muito recente.

Portanto, este trabalho tem como objetivo verificar as propriedades mecânicas e tribológicas dos óxidos formados em zamac por diferentes tempos de anodização.

2. Metodologia

Na metodologia empregada será apresentada na sequência a síntese, sequência de passos do processo de elaboração bem como as caracterizações referentes as técnicas desenvolvidas (Pereira et al., 2018; Estrela, 2018; Severino, 2013).

Preparação das amostras

Amostras de Zamac 5 injetadas sob pressão foram submetidas aos processos de lixamento e polimento. Para preparação das amostras a serem anodizadas, buscou-se reproduzir o mais próximo possível do que é utilizado industrialmente, realizando o desengraxe eletrolítico com aplicação de 2 A/cm² de corrente durante 60 segundos, seguida por uma lavagem com água e ativação em solução de cobre alcalino, durante 45 segundos, seguido de lavagem com água novamente.

Anodização das amostras

As amostras já preparadas foram conectadas como ânodo, enquanto uma barra de grafite foi conectada como cátodo. Ambos imersos em uma solução de 0,3 M de ácido oxálico. Foi utilizada uma fonte de tensão de 300 V – 500 mA acoplada a um computador com software de registro dos dados. O processo foi iniciado com a aplicação de corrente constante de 10 mA/cm² até o potencial alcançar 100 V, as anodizações foram mantidas por 20 segundos, 50 segundos, 110 segundos, 300 segundos, 1.800 segundos e 3.600 segundos, totalizando seis amostras anodizadas.

Para facilitar o desenvolvimento do estudo, as amostras foram nominadas conforme a Tabela 1.

Tabela 1 - Nomenclatura das amostras e correspondentes condições de anodização.

Amostra	Condições de anodização
ZP	Zamac puro – lixado e polido
Zatv-20-G	Desengraxe eletrolítico – ativado – 20 segundos
Zatv-50-G	Desengraxe eletrolítico – ativado – 50 segundos
Zatv-110-G	Desengraxe eletrolítico – ativado – 110 segundos
Zatv-300-G	Desengraxe eletrolítico – ativado – 300 segundos
Zatv-1.800-G	Desengraxe eletrolítico – ativado – 1.800 segundos
Zatv-3.600-G	Desengraxe eletrolítico – ativado – 3.600 segundos

Fonte: Autores.

Caracterizações das amostras

As amostras foram avaliadas quanto seu comportamento morfológico por MEV. Equipamento utilizado da marca Jeol e de modelo JSM-6510LV. Para as análises no MEV, todas as sete amostras foram cortadas em seções menores, com cerca de 0,5 cm², com a utilização de uma serra de ourives e embutidas em uma placa metálica para a microscopia. Na sequência, foram metalizadas com alvo de ouro para obtenção das imagens. Em seguida, as amostras foram analisadas em vista de topo, viabilizando diferenciar o comportamento das camadas anodizadas quanto à sua morfologia.

Para avaliação do comportamento eletroquímico das amostras, foi realizado o ensaio de polarização potenciodinâmica. Este ensaio realiza a varredura contínua dos potenciais, iniciando na região catódica (menor potencial de corrosão) e progredindo a uma taxa constante até as regiões anódicas (maior potencial de corrosão). O ensaio foi realizado em eletrólito de 0,6 M de cloreto de sódio. Foi empregado um potenciostático da marca AUTOLAB, modelo PGSTAT 302. A análise foi feita com varredura de 10 mV, iniciando em -200 mV até +1.000 mV, com relação ao potencial de circuito aberto.

O ensaio de microdureza se baseia na marcação superficial da peça, através da aplicação de força por uma ponta de penetração piramidal. Em função das marcações impressas na superfície, se obtém o resultado da dureza superficial. Para os

ensaios de microdureza, foi utilizado um microdurômetro da marca DIGIMESS, modelo 400.310. Na preparação das amostras também se procedeu com o corte em seções menores das amostras, equivalentes à $\frac{1}{4}$ da amostra original, utilizando a serra de ourives. Inicialmente, foram realizadas três indentações em cada amostra, em diferentes regiões, aplicando uma força de 9,81 N (1 Kg) durante 10 segundos. Os resultados se mostraram semelhantes em todas as amostras, por este motivo, resolveu-se diminuir a carga para identificar alterações mais sutis de dureza. Desta forma, foram realizadas novamente três indentações em cada amostra, durante 10 segundos, entretanto, com aplicação de 1,96 N (200g). Após a aplicação de força, realizada por uma ponteira de diamante, as amostras ficam com o registro piramidal em sua superfície. Para aferição das durezas, as diagonais da marcação são medidas através de um microscópio ótico com ampliação de 400x, acoplado no próprio equipamento. Ao inserir os dados medidos, o equipamento exibe o valor da dureza vickers (HV).

Avaliou-se a rugosidade das amostras, sendo utilizado um rugosímetro da marca Mitutoyo, modelo SJ-201P. O raio do apalpador deste equipamento é de 5 μm , ou seja, picos e vales com diâmetros inferiores a este não serão registrados pelo equipamento. Em cada amostra foram feitas duas medições perpendiculares uma em relação a outra. O curso de deslocamento linear definido foi de 1 cm. Como foram feitas duas medições perpendiculares, a área medida foi de 1 cm^2 em cada amostra.

3. Resultados e Discussão

Análise morfológica das amostras

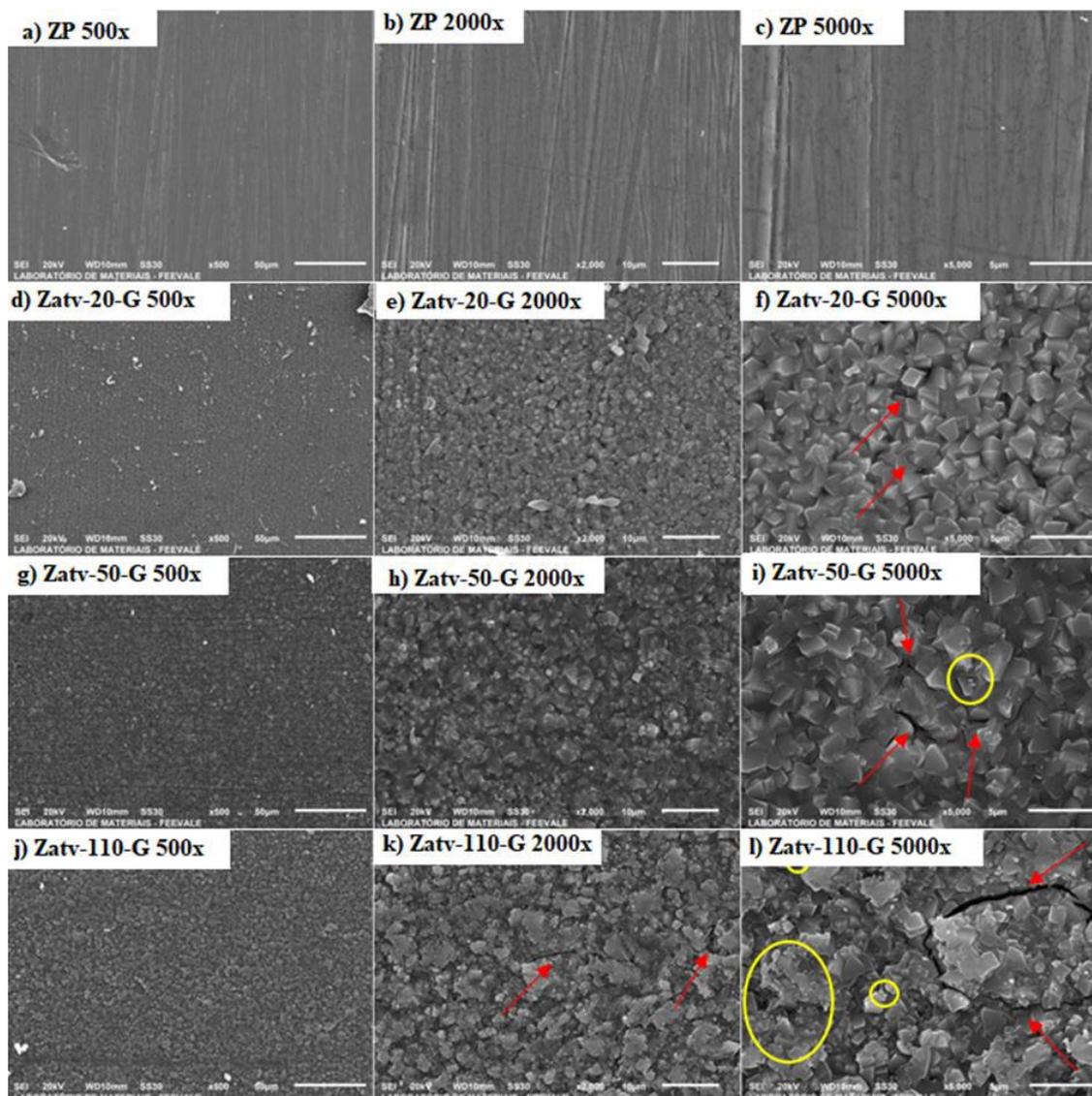
A Figura 1 apresenta as micrografias obtidas ao MEV das amostras de ZP, Zatv-20-G, Zatv-50-G e Zatv-110-G enquanto que a Figura 2 apresenta as micrografias obtidas ao MEV das amostras de Zatv-300-G, Zatv-1800-G e Zatv-3600-G. Para cada amostra foram extraídas três imagens, com ampliações de 500x, 2000x e 5000x.

Na Figura 1 (a, b e c), observam-se riscos oriundos dos processos de lixamento e polimento na amostra de ZP. Isto já era esperado, uma vez que a amostra foi preparada por processos metalográficos. Em maior magnificação, observa-se a microestrutura característica do Zamac, contendo a fase η e eutética (Fuhr et al., 2020).

Nas Figuras 1 (c, d e e), observa-se a diferença entre o ZP e o primeiro estágio de anodização, aos 20 segundos de tratamento. Se percebe que o processo de anodização cobre toda a superfície do Zamac, uma vez que não se identificam mais os riscos do processo de lixamento e polimento. Neste estágio, a amostra de Zatv-20-G já apresenta uma camada completa e uniforme de cristalitos de oxalato de zinco, inerente a fase de indução. De acordo com Lilov et al. (2019), o período de indução para o zinco puro imerso em ácido oxálico 0,3 M dura aproximadamente 30 segundos (Kunst et al., 2021).

Na Figura 1 (h e i), tornam-se presentes cristalitos muito menores, porém, em quantidade mínima (círculos amarelos). Na Figura 1 (l) estes cristalitos já se apresentam em maior quantidade, além de estarem presentes em toda superfície da amostra. Estes cristalitos são produtos óxidos criados a partir da dissolução do oxalato de zinco (Lilov et al., 2019).

Figura 1 - Micrografia das amostras ZP, Zatv-20G, Zatv-50-G e Zatv-110-G em diferentes magnificações (500x, 2000x e 5000x).

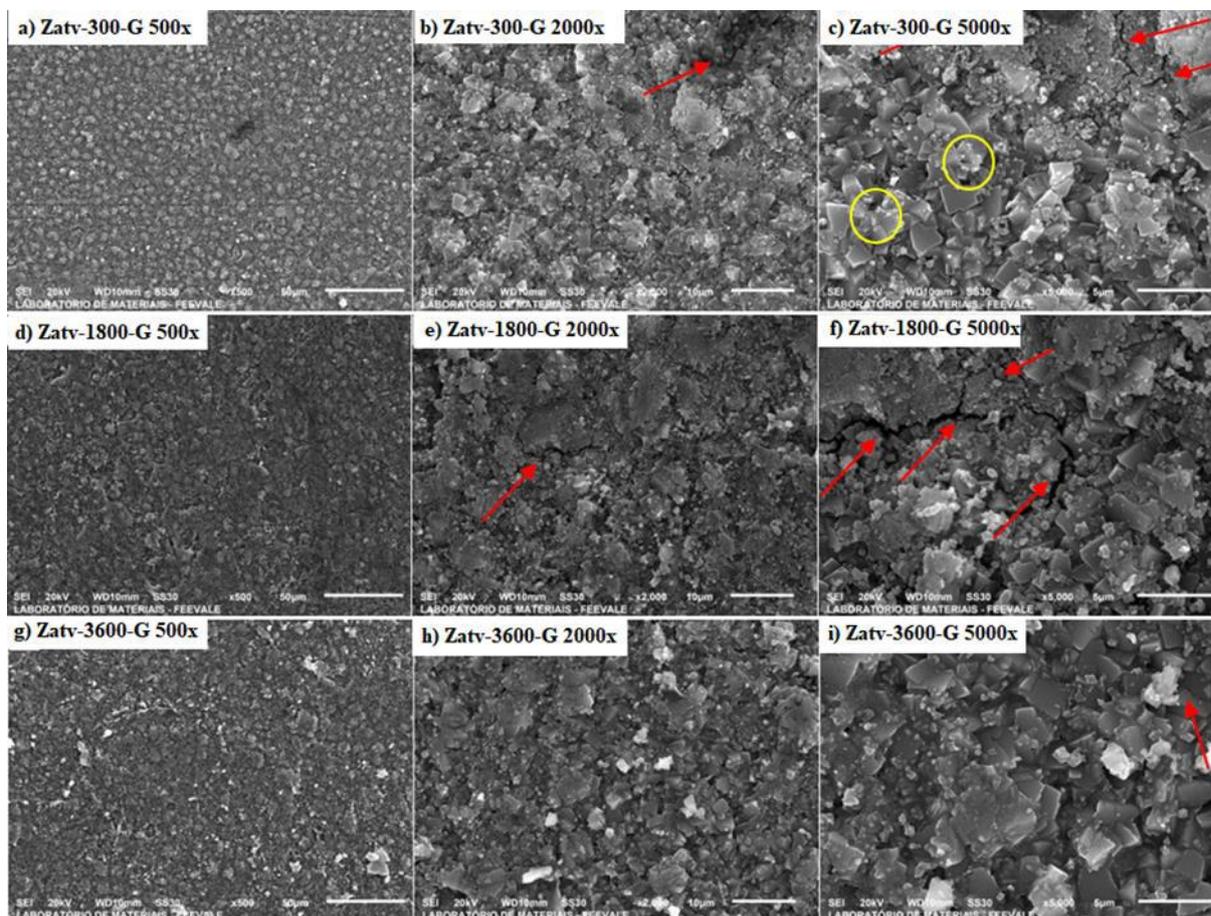


Fonte: Autores.

A Figura 2 (c e f) exibe cristálitos mais aglomerados, com aspecto liso, ou menos rugoso. De acordo com Lilov et al. (2019), o aumento do tempo de anodização faz com que o oxalato de zinco dissolva ao mesmo tempo que óxidos de zinco e alumínio são formados, originando camadas mais lisas na superfície do Zamac anodizado. Portanto, é possível que a dissolução do oxalato de zinco inicie antes dos 50 segundos, originando óxidos de zinco e alumínio.

Além disso, observam-se também trincas nas amostras anodizadas. Estas trincas tornam-se perceptíveis já em 20 segundos e mais evidentes a partir de 110 segundos (flechas vermelhas). O crescimento contínuo da camada anodizada causa uma expansão no volume, que por sua vez provoca aumento nas tensões internas e, por fim, gera as trincas observadas (Kao e Chang, 2014).

Figura 2 - Micrografia das amostras Zatv-300-G, Zatv-1800-G e Zatv-3600-G em diferentes magnificações (500x, 2000x e 5000x).



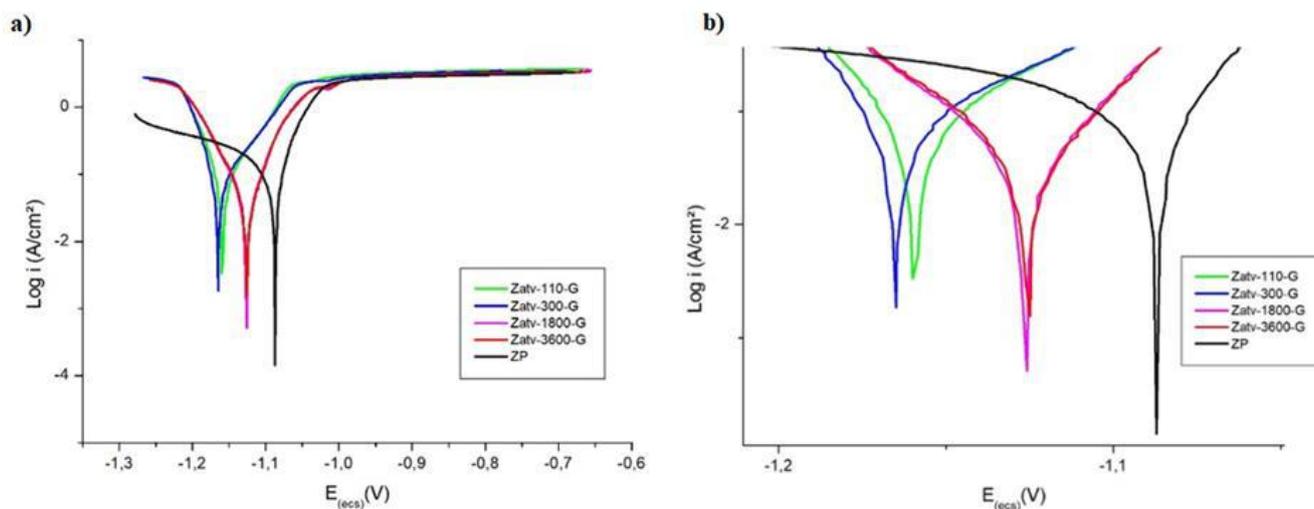
Fonte: Autores.

Polarização potenciodinâmica das amostras

A Figura 3 mostra as curvas de polarização potenciodinâmica das amostras de ZP, Zatv-110-G, Zatv-300-G, Zatv-1800-G e Zatv-3600-G. As amostras de Zatv-20-G e Zatv-50-G exibiram resultados que extrapolaram a escala esperada, o que pode ter sido causado pela falta de cobertura completa na superfície submetida à anodização, tendo a formação de um possível par galvânico durante a polarização, ou por alguma falha de isolamento durante a preparação para o ensaio. Por este motivo, estes dois resultados foram desconsiderados.

Na Figura 3 (a e b) observa-se que o ZP apresentou um potencial mais nobre do que as amostras anodizadas. Isto pode ser explicado pelo fato de não ter sido submetido aos processos de desengraxe eletrolítico e de ativação catódica, fazendo com que impurezas superficiais e a presença de óxido de alumínio superficial impedisse a penetração do eletrólito. Já nas amostras anodizadas, por apresentarem comportamento quebradiço e craquelado, foi possível que o eletrólito penetrasse na camada anodizada, induzindo ao comportamento menos nobre.

Figura 3. Curvas de polarização das amostras (a) e ampliação das curvas de polarização das amostras (b).



Fonte: Autores.

Estudos anteriores de corrosão forçada confirmam esta hipótese, evidenciando que a corrosão das amostras é mais pontual e profunda do que as oxidações observadas em materiais sem tratamento. De acordo com os autores, dentre as amostras anodizadas, a Zatv-3600-G teve o comportamento mais nobre, seguida de perto pela Zatv-1800-G. Desta forma, entende-se que os maiores tempos de anodização melhoram a resistência a corrosão do Zamac 5. Isto se dá pelo fato do crescimento dos pequenos cristaltos de oxido de zinco e de alumínio, preenchendo, ao menos em parte, as lacunas abertas pelas rachaduras e trincas na superfície (Bianchin et al., 2020).

Microdureza das amostras

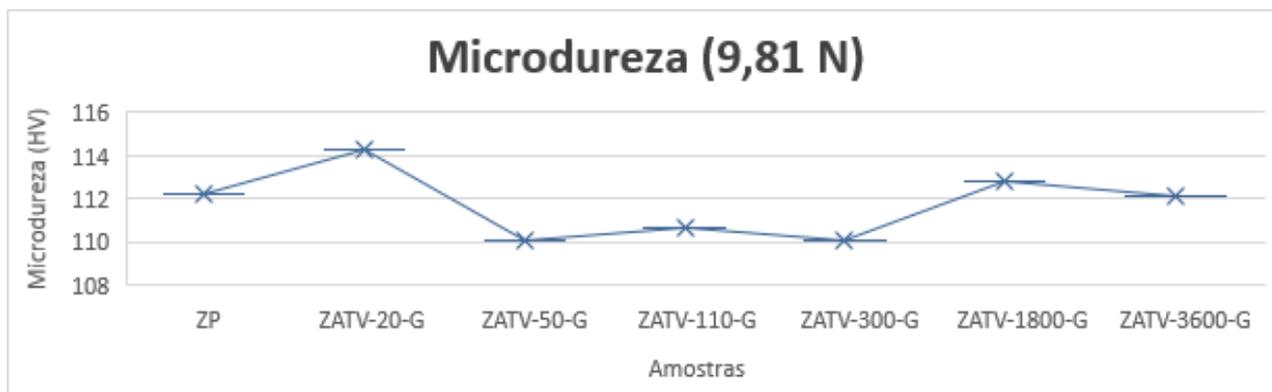
A Tabela 2 e a Figura 4 exibem os dados obtidos através da realização do ensaio de microdureza com aplicação da carga de 9,81 N (1 kg) e realização de três medições em diferentes locais das amostras.

Tabela 2. Medição de microdureza – aplicação de carga de 9,81 N.

Amostras	Medição 1	Medição 2	Medição 3	Desvio Padrão	Dureza média (HV)
ZP	110,2	114,1	112,3	1,95	112,2
Zatv-20-G	113,6	116,3	112,8	1,83	114,23
Zatv-50-G	111,5	111,5	107,3	2,42	110,1
Zatv-110-G	109,4	109,4	113,2	2,19	110,66
Zatv-300-G	111,9	109,4	109,0	1,57	110,1
Zatv-1.800-G	112,3	111,0	115,0	2,04	112,76
Zatv-3.600-G	110,6	115,9	109,8	3,32	112,1

Fonte: Autores.

Figura 4 - Gráfico da medição de microdureza com aplicação de carga de 9,81 N.



Fonte: Autores.

Os dados mostrados acima não são conclusivos, não sendo clara a observação de um padrão de aumento ou diminuição de dureza. Ainda é possível notar que as alterações são extremamente sutis, variando aproximadamente 6 HV entre a menor medição e a maior medição.

Com isto, entende-se que a carga era elevada demais para aferição da microdureza da camada superficial. Na verdade, o equipamento estava penetrando até o metal base, transfixando toda a camada anodizada, o que explica a normalização dos resultados.

Desta forma, procedeu-se com a diminuição da carga para 1,96 N (200 g) e uma nova realização dos ensaios. Os dados obtidos na segunda bateria de ensaios são mostrados na Tabela 3 e na Figura 5.

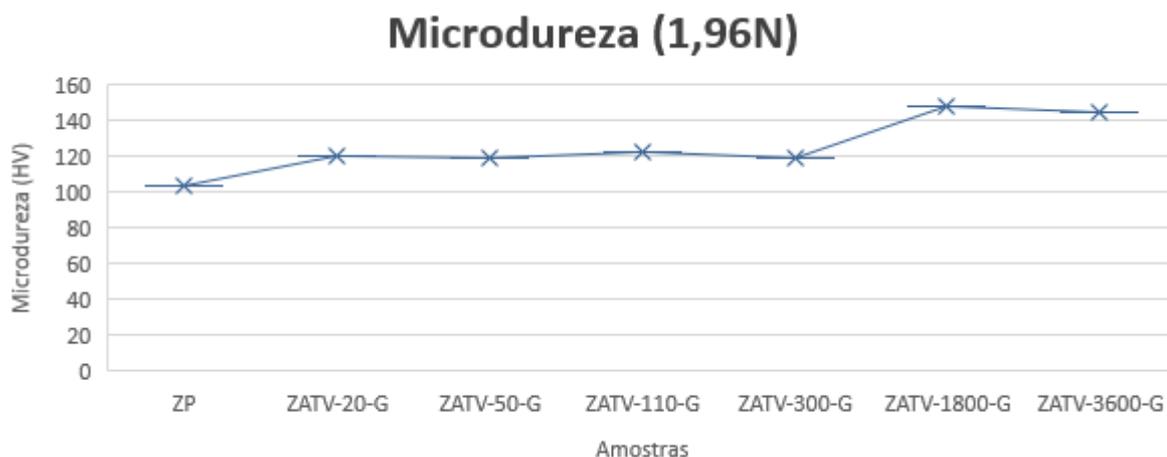
Tabela 3 - Medição de microdureza – aplicação de carga de 1,96 N.

Amostras	Medição 1	Medição 2	Medição 3	Desvio Padrão	Dureza média (HV)
ZP	101,6	100,8	110,5	5,38	104,3
Zatv-20-G	119,5	122,8	120,6	1,68	120,96
Zatv-50-G	118,5	115,4	123,9	4,30	119,26
Zatv-110-G	120,6	116,4	129,7	6,80	122,23
Zatv-300-G	118,5	122,8	118,5	2,48	119,93
Zatv-1.800-G	154,4	144,0	146,9	5,37	148,43
Zatv-3.600-G	148,3	133,4	152,8	10,15	144,83

Fonte: Autores.

Os ensaios com carga reduzida evidenciaram claramente um aumento na microdureza desde os 20 segundos de anodização, mesmo durante a fase de indução e formação exclusiva de oxalato de zinco.

Figura 5 - Gráfico da medição de microdureza com aplicação de carga de 1,96 N.



Fonte: Autores.

A dureza permanece sem grandes alterações entre as amostras de 20 segundos de anodização até a amostra submetida a 300 segundos de anodização. Aos 1800 segundos de tratamento, observamos um novo aumento considerável da dureza superficial, devido a predominância dos óxidos de zinco e de alumínio. Cabe ressaltar, também, que nas amostras de ZATV-1800-G e ZATV-3600-G as três medições se dispersam mais do que quando comparadas às amostras anteriores (desvio padrão na Tabela 3). Esta variação não pode ser atribuída à microestrutura em que é feita a penetração, uma vez que a área de penetração do indentedor é de aproximadamente 0,0015 mm², ou seja, muito maior do que as microestruturas observadas ao MEV.

Rugosidade das amostras

A Tabela 4 mostra os resultados da rugosidade média obtidos, enquanto a Tabela 5 mostra os resultados da rugosidade máxima encontrados.

Tabela 4 - Medição da rugosidade média (Ra) das amostras.

Amostras	Medição 1 (µm)	Medição 2 (µm)	Medição 3 (µm)
ZP	0,07	0,06	0,065
Zatv-20-G	0,09	0,14	0,115
Zatv-50-G	0,23	0,19	0,21
Zatv-110-G	0,14	0,13	0,135
Zatv-300-G	0,18	0,16	0,17
Zatv-1.800-G	0,17	0,21	0,19
Zatv-3.600-G	0,24	0,23	0,235

Fonte: Autores.

Tabela 5 - Medição da rugosidade máxima (Rz) das amostras.

Amostras	Medição 1 (μm)	Medição 2 (μm)	Medição 3 (μm)
ZP	0,42	0,36	0,39
Zatv-20-G	0,57	1,14	0,855
Zatv-50-G	1,28	1,08	1,18
Zatv-110-G	1,09	0,97	1,03
Zatv-300-G	1,29	0,88	1,085
Zatv-1.800-G	1,36	1,29	1,325
Zatv-3.600-G	1,36	1,29	1,325

Fonte: Autores.

Na Tabela 4 observa-se que a rugosidade média da amostra de ZP é a menor encontrada, havendo uma diferença considerável entre a amostra de Zatv-20-G. Na sequência, ao se comparar as amostras anodizadas, é possível observar um aumento da rugosidade conforme se aumenta o tempo de anodização, porém, este aumento é muito menos expressivo do que quando se compara ao Zamac Puro.

Na Tabela 5 também se nota que a rugosidade máxima da amostra de ZP é a menor encontrada, apresentando comportamento semelhante ao que se encontra na Tabela 6. Novamente, fica evidenciado um leve aumento nas rugosidades máximas conforme se aumenta o tempo de anodização.

O comportamento descrito nos parágrafos anteriores já era esperado, conforme pôde ser observado nas micrografias ao MEV (Figuras 1 e 2), onde percebe-se maior irregularidade na superfície com o aumento do tempo de tratamento.

Entretanto, cabe ressaltar que o diâmetro do apalpador do rugosímetro é de 5 μm , o que limita a capacidade de detecção de imperfeições por este equipamento. Como pode ser observado nas figuras 1 e 2, existem irregularidades e trincas inferiores a 1 μm que certamente não foram medidas pelo rugosímetro. Desta forma, os resultados expostos são uma forma genérica de se estimar as rugosidades, mas não são absolutos.

4. Conclusão

O presente trabalho se propôs a avaliar a camada superficial anodizada em Zamac 5, verificando se esta seria uma alternativa viável para cobrir as porosidades gasosas e imperfeições superficiais oriundas do processo de fundição sob pressão, melhorando, conseqüentemente, a resistência à corrosão. Após análise dos resultados, as seguintes conclusões foram obtidas:

- O processo de anodização recobriu e eliminou todos os riscos identificados antes da realização do procedimento, substituindo-os por uma camada de oxalatos e óxidos de zinco e alumínio.

- O ensaio de polarização demonstrou que quanto maior o tempo de anodização, mais nobre a resistência a corrosão do Zamac 5, entre as amostras anodizadas. Entretanto, o ZP ainda demonstrou o comportamento mais nobre dentre todas as amostras. Isto se explica pelo fato da amostra de Zamac Puro não ter sido submetida ao desengraxe eletrolítico e à ativação catódica.

- A microdureza superficial do Zamac 5 foi consideravelmente aumentada com o processo de anodização, podendo ser percebido dois grandes saltos na dureza: o primeiro deles na primeira amostra anodizada e o segundo a partir dos 30 minutos de tratamento.

- A rugosidade superficial também aumentou com o tempo de anodização, porém, de forma quase que linear e bastante sutil.

Contudo, como sugestão para trabalhos futuros, indica-se: avaliar através de ensaios de névoa salina a corrosão das amostras e comparar com as curvas de polarização potenciodinâmica bem como avaliar através do estudo comparativo as

amostras anodizadas com amostras anodizadas e posteriormente seladas, observando também seu comportamento após estes tratamentos.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com o apoio do do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), entidade do governo brasileiro focada na formação de recursos humanos. Os autores também agradecem ao apoio financeiro de agências brasileiras: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) e a Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP).

Referências

- Andreoni, L. (1998). *Le lighe de zinco Zama*. Edimet SPA, 171p.
- Babapour, H., Jalali, H., Mohammadi, N. A. (2021). The synergistic effects of zinc oxide nanoparticles and fennel essential oil on physicochemical, mechanical, and antibacterial properties of potato starch films. *Food Science & Nutrition*, 9(7), p. 3893–3905.
- Bianchin, A., Kunst, S. R., Mueller, L. T., Ferreira, J. Z., Carone, C. L. P., Oliveira, C. T. (2020). Influence of the Anodization Process on Zamak 5 Corrosion Resistance. *Materials Research*, 23(4), p. 1-12.
- Dienstmann, F. K., Kunst, S. R., Fuhr, L. T., Scheffel, L. F., Carone, C. L. P., Morisso, F. D. P., Schneider, E. L., Ferreira, J. Z., Oliveira, C. T. (2021). Tratamento térmico em Zamak visando diminuir defeitos de porosidade. *Tecnologia em metalurgia, materiais e mineração*, 18, p. e2070.
- Dieter, F. B., Scheffel, L. F., Morisso, F. D. P., Carone, C. L. P., Kunst, S. R., Mueller, L. T., Fuhr, L. T., Vecchia, F. D., Schneider, E. L., Oliveira, C. T. (2020). Análise dos Efeitos da Adição de Alumina (Al₂O₃) na Microestrutura e Dureza do Zamak 5 Fundido Por Gravidade. *Tecnologia em metalurgia, materiais e mineração*, 17, p. e1963.
- Estrela, C. (2018). *Metodologia científica: Ciência, Ensino e Pesquisa*. 3ª Edição, Editora: Artes Médicas, Universidade Federal de Goiás (FO/UFG) – Goiás, 738p.
- Führ, Luciane Taís. *Influência dos defeitos de solidificação na resistência à corrosão do zamak 5*. 2012. 70 f. Dissertação (Mestrado) – Curso Profissional em Tecnologia dos Materiais e Processos Industriais, Universidade Feevale, Novo Hamburgo, 2012.
- Fuhr, L. T., Moura, A. B. D., Carone, C. L. P., Morisso, F. P., Scheffel, L. F., Kunst, S. R., Ferreira, J. Z., Oliveira, C. T. (2020). Colored anodizing of titanium with pyrolytic solutions of black wattle. *Matéria (Rio de Janeiro)*, 25(2), p. 104-122.
- Ghomashchi, M. R., Vikhrov, A. (2000). Squeeze casting: an overview. *Journal of Materials Processing Technology*, 101, p.1-9.
- Goodwin, F. (2010). Desenvolvimento de ligas de zinco com propriedade de fluidez melhorada. *Revista Fundição e Serviços*, 210, p. 20-31.
- Hu, X. G., Zhu, Q., Midson, S. P. et al. (2017). Blistering in semi-solid die casting of aluminium alloys and its avoidance. *Acta Materialia*, 124, p. 446-455.
- Kanani, N. (2004). *Electroplating- Basic Principles, Processes and Practice*. Elsevier, Berlin, Germany, 354p.
- Kao, T. T., Chang, Y. C. (2014). Influence of Anodization Parameters on the Volume Expansion of Anodic Aluminum Oxide Formed in Mixed Solution of Phosphoric and Oxalic Acids. *Applied Surface Science*, 288(1), p. 654-659.
- Kunst, S.R., Bianchin, A. C. V., Mueller, L. T., Santana, J. A., VolkmeR, T. M., Morisso, F. D. P., Carone, C. L. P., Ferreira, J. Z., Mueller, I. L., Oliveira, C. T. (2021). Model of Anodized Layers Formation in Zn–Al (Zamak) Aiming to Corrosion Resistance. *Journal of Materials Research and Technology*, 12, p. 831-847.
- Lilov, E., Lilova, V., Girginov, Ch., Kozhukharov, S., Tsanev, A., Yancheva, D. (2019). Induction periods during anodic polarization of zinc in aqueous oxalic acid solutions. *Materials Chemistry and Physics*, 233(1), p. 727-736.
- Malavazi, Jefferson. *Votorantim metais: manual de fundição sob pressão*. São Paulo – SP, 2015.
- Marcolin, P., Kunst, S. R., Oliveira, C. T. et al. (2017). Effects of the Casting Temperature in the Leakage of Zamak 5. *Materials Science Forum*, 899, p. 458-462.
- Metals Handbook. *Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials*. v.2. Editora ASM. 1990.
- Pereira, A. S., Shitsuka, D. M., Parreira, F. J., Shitsuka, R. (2018). *Metodologia da pesquisa científica*. 1ª Edição UAB/NTE/UFSM, Universidade Federal de Santa Maria – RS, 119p.
- Reveko, V., Moller, P. (2018). Special Aspects of Electrodeposition on Zinc Die Castings. *Nasf Surface Technology White*, 82(8), p.1-9.
- Severino, A. J. (2013). *Metodologia do trabalho científico*. 3ª Edição, Cortez Editora, São Paulo – SP, 274p.
- Su, Z.; Zhou, W. (2008). Porous Anodic Metal Oxides. *Science Foundation in China*, 16(1), p.16-36.

Tamimi, N., Nafchi, A.M., Moghaddam, H.H., Baghaie, H. (2021). The effects of nanozinc oxide morphology on functional and antibacterial properties of tapioca starch bionanocomposite. *Food Science & Nutrition*, 9(8), p. 4497–4508.

Yang, L. J. (2003). The effect of casting temperature on the properties of squeeze cast aluminium and zinc alloys. *Journal of Materials Processing Technology*, 140, p.391-396.

Yoshino, N.Y. (Brasil) (Org.). *Manual de Fundição sob Pressão*. São Paulo: Grupo Votorantim Metais, 2010.