

doi 10.46943/VII.CONAPESC.2022.01.009

INFLUÊNCIA DA DENSIDADE DE CORRENTE E pH DO BANHO ELETROLÍTICO NA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA LIGA Zn-Ni OBTIDA POR ELETRODEPOSIÇÃO

EVELYN LOUISE SANTOS SOUZA

Mestranda do Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, evelynssouza@outlook.com;

MOISÉS INOCÊNCIO ROSAS NETO

Mestrando do Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, moisesr4neto@gmail.com;

ARTHUR FILGUEIRA DE ALMEIDA

Doutor em Engenharia Química pela Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, arthur.filgueira@eq.ufcg.edu.br;

RENATO ALEXANDRE COSTA DE SANTANA

Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, renatoacs@ufcg.edu.br;

RESUMO

O processo de corrosão está constantemente transformando os materiais metálicos de modo que a durabilidade e o desempenho dos mesmos deixam de satisfazer os fins a que se destinam. Uma alternativa de mitigar a corrosão desses materiais são os revestimentos metálicos. Dentre eles destaca-se a eletrodeposição, por se tratar de uma técnica relativamente simples, quando comparada a outros procedimentos. A utilização dos depósitos da liga metálica Zinco-Níquel (Zn-Ni) eletrodepositados para melhorar a resistência à corrosão de chapas de aço tem atraído um interesse crescente porque oferece uma alternativa particularmente promissora ao Zinco (Zn) puro, devido às suas melhores propriedades mecânicas e de resistência à corrosão. Neste

trabalho foram estudados os efeitos dos parâmetros operacionais densidade de corrente e pH do banho eletrolítico sobre a composição química da liga binária de Zn-Ni. Para otimização do processo e obtenção dos melhores revestimentos, foi utilizado um Planejamento Fatorial completo (2^2) associado à Metodologia de Superfície de Resposta (MSR). Os depósitos foram caracterizados quanto à sua Composição Química através da técnica de Energia Dispersiva de Raios-X (EDX). Estudou-se o processo de eletrodeposição de liga Zn-Ni utilizando um banho eletrolítico contendo sulfato de níquel, sulfato de zinco, citrato de sódio e tartarato de sódio e potássio como complexantes. Os experimentos com maiores teores de Zn foram os experimentos 1, 4 e 3. Os resultados comprovaram a influência da densidade de corrente e pH na composição química das ligas, bem como mostrou uma maior proporção de zinco em todos os experimentos confirmando o fenômeno anômalo de codeposição.

Palavras-chave: Eletrodeposição, Composição Química, Ligas de Zn-Ni, Planejamento Experimental.

INTRODUÇÃO

Devido à variedade de materiais (metais, ligas metálicas, polímeros, etc.) o papel de escolha destes, por um profissional, para uso em estruturas ou equipamentos se torna difícil. O material ideal terá que apresentar três características importantes: propriedades desejadas, menor custo possível e durabilidade. Porém, quando se relaciona a durabilidade do material com a sua resistência à corrosão, prever como será seu comportamento se torna trabalhoso. Isto porque a natureza do meio corrosivo e as condições de exposição do material a este meio têm que ser consideradas. O processo de corrosão causa a deterioração do material, produzindo alterações prejudiciais e indesejáveis nos elementos estruturais. Sendo o produto da corrosão um elemento diferente do material original, a liga acaba perdendo suas qualidades essenciais, tais como resistência mecânica, elasticidade, ductilidade, estética, etc. (SOUSA, 2015).

Neste aspecto, os problemas causados pela corrosão de materiais se tornam frequentes em diversos setores da atividade humana (construção civil, automobilística, ferroviária, marítima, odontológica, indústria química, etc.) proporcionando grandes gastos econômicos diretos (substituição e prevenção dos materiais) e indiretos (consequência da corrosão dos materiais) (SOUSA, 2015).

Os danos podem ser irreversíveis se os fenômenos de desgaste e corrosão não forem controlados corretamente. Segundo a The World Corrosion Organization (2020), o Custo anual estimado para reparos provenientes da corrosão está estimado em 2,5 trilhões de dólares em todo o mundo, isso representa de 3 a 4% do PIB dos países industrializados. Portanto, investir em tecnologia de superfície pode ser considerada peça chave no processo de engenharia e manufatura.

Uma forma de se minimizar a corrosão em materiais metálicos é revesti-los com outros materiais que apresentam características mais nobres. Dessa forma, o revestimento metálico é uma das formas de prevenção anticorrosiva. Estes revestimentos podem ser obtidos através de deposição em fase gasosa, eletrodeposição, metalização, imersão a quente, redução química, etc. (SOUSA, 2015).

A eletrodeposição é o processo pelo qual um revestimento metálico é aplicado sobre uma superfície através de uma corrente elétrica, geralmente contínua. A deposição pode ser feita em superfície condutora (metais e ligas metálicas: aço carbono, latão) ou não condutora (plásticos, couro, madeira) (GENTIL, 1996). Através da eletrodeposição é possível obter materiais metálicos

com propriedades satisfatórias como dureza, resistência à corrosão, propriedades catalíticas, boa ductilidade, etc.

Os revestimentos de zinco são usados para proteção contra corrosão de produtos e estruturas de aço em diferentes ramos da indústria. Sabe-se que a liga de revestimentos de zinco com metais do grupo 8, como cobalto ou níquel, pode aumentar significativamente sua resistência à corrosão, deslocando seu potencial para a região positiva (ADUDIN et al., 2021).

A deposição de ligas de Zn-Ni tem sido interessante, uma vez que essas fornecem melhor proteção contra corrosão do que os revestimentos de zinco puro (BAJAT et al., 2001), além de aprimorar as propriedades mecânicas e estabilidade térmica (J. B. BAJAT ET AL., 2005; FRATESI & ROVENTI, 1996). O elemento menos nobre, neste caso, o zinco deposita-se mais preferencialmente do que o elemento mais nobre, neste caso o níquel, fenômeno conhecido por codeposição anômala (BRENNER, 1963; LI ET AL., 2019; QIAO ET AL., 2013; ROVENTI ET AL., 2015).

O sucesso da eletrodeposição de revestimentos de Zn-Ni depende de muitos parâmetros operacionais e de banho, como pH, densidade de corrente, temperatura, agitação e composição do banho. Os agentes complexantes também desempenham um papel importante para a produção de revestimentos de boa qualidade. Dessa forma, buscar técnicas que promovam a otimização desses parâmetros se torna interessante.

Portanto, neste trabalho foram avaliados os efeitos dos parâmetros operacionais densidade de corrente e pH do banho eletrolítico, utilizando um planejamento experimental completo (2^2) como ferramenta de otimização do processo de eletrodeposição da liga Zn-Ni obtida utilizando um banho com sulfato de níquel, sulfato de zinco citrato e tartarato de sódio como agentes complexantes. Associado ao planejamento fatorial experimental é utilizada a Metodologia de Superfície de Respostas (MSR) que consiste em uma coleção de técnicas matemáticas e estatísticas utilizada para desenvolvimento, melhoria e otimização de processos. Ela pode ser usada para avaliar a significância relativa de muitos fatores que são afetados por interações complexas (EVARISTO, 2019).

A liga obtida foi caracterizada quanto à sua composição química através da técnica de Energia Dispersiva de Raios-X (EDX), apresentando uma maior proporção de zinco em todos os experimentos, confirmando o fenômeno de codeposição anômala.

METODOLOGIA

O banho eletrolítico foi preparado com reagentes de alto grau de pureza. Água destilada foi usada para preparação do banho, que contia a seguinte composição: citrato de sódio, tartarato de sódio, sulfato de níquel e sulfato de zinco. Os valores de pH do banho foram ajustados adicionando ácido sulfúrico concentrado (24) e hidróxido de sódio () conforme fosse necessário. As massas são referentes a preparação de um banho de 500 ml, apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Composição do banho eletrolítico da liga Zn-Ni.

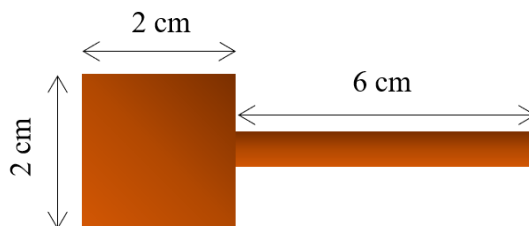
Reagente	Concentração (mol. L ⁻¹)
Citrato de Sódio (CH ₂ COONa) ₂ ·2H ₂ O	0,2
Tartarato de Sódio C ₄ H ₄ Na ₂ O ₆	0,2
Sulfato de Zinco ZnSO ₄ ·7H ₂ O	0,1
Sulfato de Níquel NiSO ₄ ·6H ₂ O	0,1

Fonte: Autores (2022).

Inicialmente, os reagentes foram pesados sobre vidro de relógio em uma balança analítica com precisão de 0,0001 g e em seguida foram colocados simultaneamente com água destilada dentro de um becker com capacidade de 500 ml, sendo homogeneizado através de um agitador magnético. Por fim, a solução foi vertida e reservada em um balão volumétrico com capacidade de 500 ml, finalizando assim a preparação do banho.

Os eletrodos de trabalho utilizados foram chapas planas de cobre com área superficial de 8 cm² (utilizando os dois lados úteis) como mostrado esquematicamente na Fig. 1 e uma haste de 6 cm para facilitar o mecanismo de deposição. Antes do início da eletrodeposição, o eletrodo foi polido mecanicamente com lixas em granulação decrescente de 400, 600 e 1200 *mesh*, seguido de imersão em soluções de hidróxido de sódio (10% m/v), para desengraxe e em ácido sulfúrico (1% v/v), para ativação da superfície do eletrodo.

Figura 1. Eletrodo de trabalho (substrato de cobre)

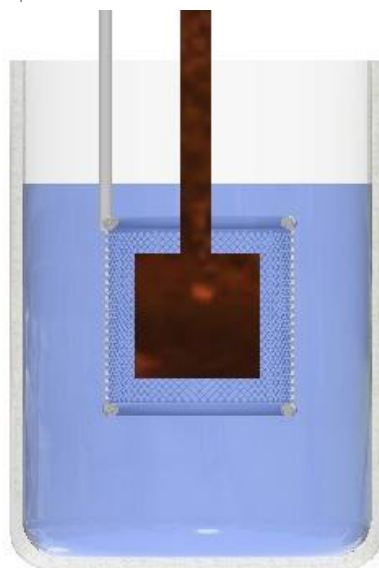


Fonte: Autores (2022).

Posteriormente, os eletrodos foram lavados com água destilada e imediatamente colocados no banho de eletrodeposição. Após a deposição as amostras foram lavadas com água destilada, secas em estufa e resfriadas no dessecador.

O processo de eletrodeposição foi realizado sob controle galvanostático em um sistema convencional de deposição de dois eletrodos, esboçado na Fig. 2. Neste sistema, o cátodo (substrato de cobre) permanece localizado no centro do ânodo (uma malha cilíndrica de platina), ambas imersas no banho eletrolítico (solução de Zn-Ni).

Figura 2. Esquema ilustrativo da célula de eletrodeposição



Fonte: Autores (2022).

Um potenciostato Autolab PGSTAT 302N foi usado para configurar e controlar a densidade de corrente. Para se obter uma igualdade teórica nas espessuras dos revestimentos fixou-se uma carga de 600 Coulombs (C) para cada revestimento, modificando, durante a eletrodeposição, a densidade de corrente e o pH da solução eletrolítica. O tempo para cada deposição foi estimado por meio da lei de Faraday:

$$Q = i \times t$$

Na qual Q é a carga em Coulomb (C), i é a corrente em Ampère (A) e t o tempo em segundos (s). Um Banho maria foi utilizado para controle da temperatura e um pHmetro para ajuste do pH. Depois de etapa de eletrodeposição, o substrato revestido foi enxaguado com água destilada e novamente seco em estufa e resfriado em dessecador. A temperatura do banho foi mantida em 30°C e sem agitação mecânica.

Neste estudo foi utilizado um planejamento fatorial completo 2^2 com dois pontos centrais (totalizando 6 amostras) e em triplicada, associado à metodologia de superfície de resposta (MSR). Os parâmetros escolhidos (fatores de entrada) foram: densidade de corrente (variando de 20 – 30 mA/cm²) e pH do banho (variando de 5,0 – 9,0). As variáveis foram avaliadas nos níveis inferior (-), superior (+) e central (0). A resposta utilizada para quantificar os efeitos das variáveis foi a composição química. A Tabela 2 apresenta os valores reais e codificados dos parâmetros operacionais utilizados no planejamento experimental.

Os experimentos foram realizados em triplicata e em ordem aleatória para evitar erros sistemáticos e um intervalo de confiança de 95% foi utilizado para calcular o erro experimental associado com as respostas individuais. A análise estatística dos resultados foi realizada utilizando o *software* STATISTICA® versão 10.0.

Tabela 2. Níveis reais e codificados das variáveis do planejamento fatorial 2^2

Variáveis	Nível (-1)	Nível (0)	Nível (+1)
pH	5	7	9
Densidade de Corrente (mA/cm ²)	20	50	80

Fonte: Autores (2022)

A composição química foi determinada pela técnica de Energia Dispersiva de Raios-X (EDX), usando um espectrômetro de Energia Dispersiva de Raios-X EDX-720 Shimadzu. como mostrado na Fig. 3.

Figura 3. Espectrômetro de Energia Dispersiva de Raios-X EDX-720 Shimadzu



Fonte: SHIMADZU (2009).

A análise microscópica e estudo morfológico da estrutura superficial dos revestimentos eletrodepositados, com objetivo de identificar a presença de trincas e grãos nos revestimentos metálicos, foi realizada por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) utilizando um microscópio Tescan, modelo Vega3 XM, como evidenciado na Fig. 4. As imagens superficiais foram feitas sem que os revestimentos sofressem qualquer tipo de tratamento anterior, como polimento ou ataque químico superficial.

Figura 4. Microscópio Tescan Vega3 XM



Fonte: Costa (2015).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A eletrodeposição da liga Zn-Ni foi executada de acordo com as condições planejadas (Tabela 3) e indicam que todos os fatores escolhidos para o estudo foram variados simultaneamente. A análise de EDX foi realizada para identificar a composição elementar dos revestimentos de liga de Zn-Ni desenvolvidos em densidades de corrente de 20 – 80 mA/cm² e pH de 5,0 – 9,0. As respostas de composição química de Zinco e Níquel (percentual em átomo do elemento, at%) foi determinada de acordo com o planejamento experimental.

Tabela 3. Matriz experimental com fatores de entrada e respostas do planejamento fatorial 2².

Exp.	pH	Densidade de Corrente (mA/cm ²)	Zn (at.%)	Ni (at.%)
1	-1(5)	-1(20)	95	5
2	-1(5)	+1(80)	73	27
3	+1(9)	-1(20)	89	11
4	+1(9)	+1(80)	93	7
5	0(7)	0(50)	86	14
6	0(7)	0(50)	86	14

Fonte: Autores (2022).

Como mencionado, foi utilizado um planejamento fatorial completo 2², com adição de dois experimentos no ponto central totalizando 6 experimentos, em triplicata. As respostas medidas foram modeladas usando a seguinte equação matemática que envolve as variáveis independentes e suas interações para várias respostas medidas geradas pelo planejamento fatorial 2²:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_{12}X_1X_2$$

Onde Y é a variável dependente (resposta), enquanto b₀ é a interseção, b₁, b₂ e b₁₂ são coeficientes de regressão; X₁ e X₂ são as variáveis independentes (densidade de corrente e pH); X₁X₂ é a interação entre as variáveis. A análise de variância (ANOVA) foi aplicada para estimar a significância do modelo (p < 0,05) e os parâmetros de resposta individual.

Para se chegar a esses parâmetros foram realizados vários testes, variou-se o pH entre 5,7 e 9 e foi verificado que para essas condições a liga Zn-Ni tinha sido depositada com sucesso. Macroscopicamente, os revestimentos em pH

mais ácidos eram mais escuros quando comparados a pH 7 e 9. Também foram realizados testes para a variável densidade de corrente e dentro do intervalo 20 – 80 mA/cm² não houve dificuldades na eletrodeposição, por isso o mesmo foi escolhido.

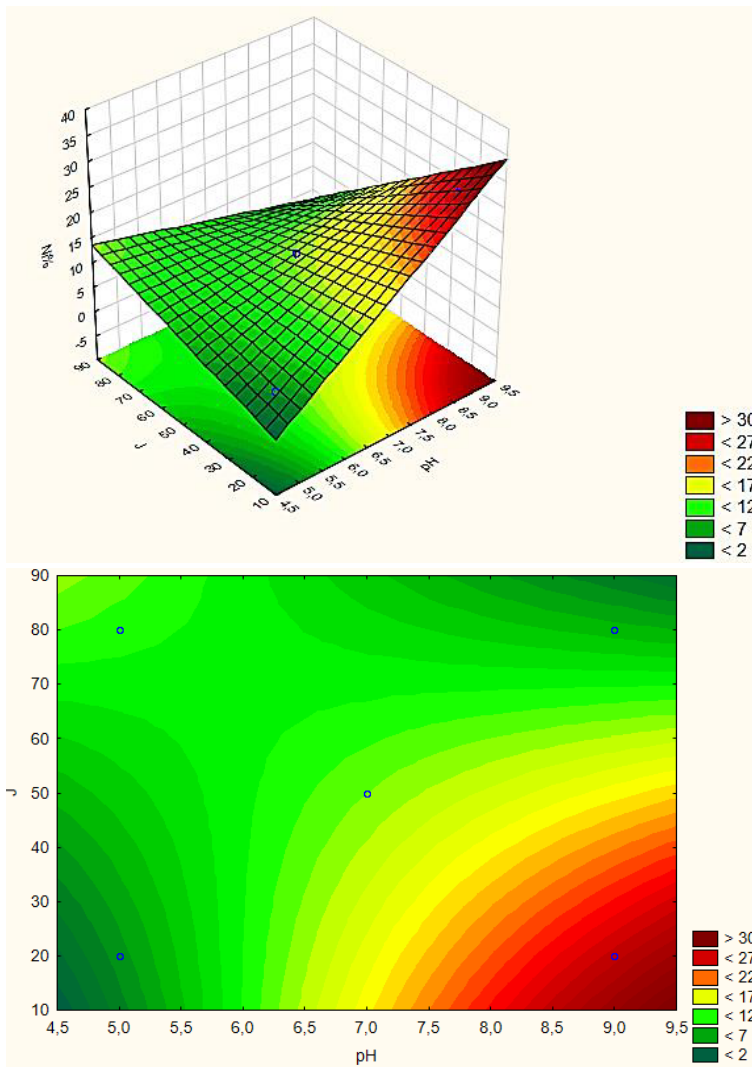
As Figuras 5 e 6 apresentam as superfícies de respostas (MSR) com o efeito da densidade de corrente (representada pela letra J) e do pH na composição química da liga. Nota-se que a deposição do zinco aumenta em toda faixa de densidade de corrente, enquanto que para a deposição do níquel, um maior pH favoreceu a sua deposição.

O aumento na densidade de corrente na faixa de 20 para 80 mA/cm² leva ao aumento do teor de níquel nas ligas conforme evidenciado pela Fig. 5. Isso pode ser explicado por uma atividade superficial muito maior dos íons de zinco em comparação com os de níquel, o que resulta na substituição dos íons de níquel na parte densa da dupla camada pelos íons de zinco (BYK et al., 2008).

Avaliar a composição química dos depósitos se torna importante, principalmente porque outras características são determinadas a partir dela, como por exemplo as características de corrosão do revestimento, que dependem geralmente do teor de níquel. Ligas com teor de Níquel de 12 – 14% em peso apresentam maior resistência à corrosão do que os revestimentos de zinco puro (BALDWIN; ROBINSON; SMITH, 1993; BYK; GAEVSKAYA; TSYBULSKAYA, 2008; FENG et al., 2015; MACIEJ et al., 2019).

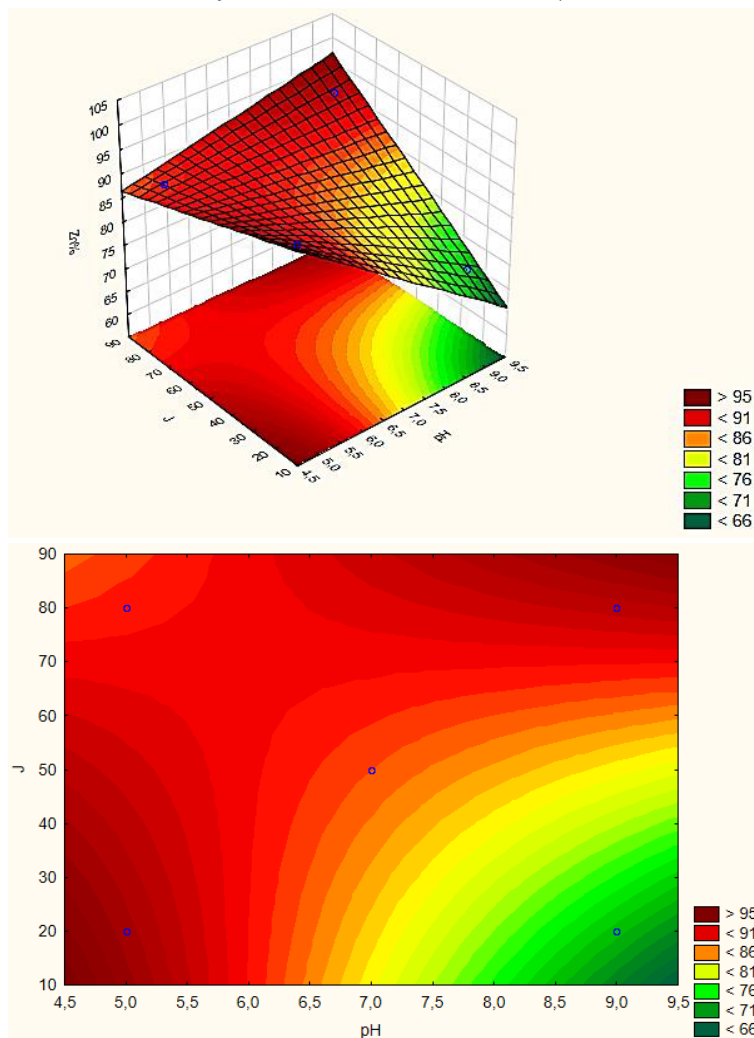
Para banhos de revestimento de liga de zinco-níquel, o mecanismo de codeposição de níquel e zinco pode ser alterado de anômalo para normal, alterando os parâmetros de revestimento (como densidade de corrente e pH) (BYK; GAEVSKAYA; TSYBULSKAYA, 2008), no entanto, para todos os experimentos deste estudo, os experimentos evidenciaram maior proporção de zinco em relação ao níquel, confirmando o fenômeno de codeposição anômala da liga, também mostrado por Brenner, (1963); Li et al., (2019); Qiao et al., (2013); Roventi et al., (2015).

Figura 5. Gráfico de contorno do teor de Ni nos revestimentos da liga Zn-Ni em função da densidade de corrente e pH.



Fonte: Autores (2022).

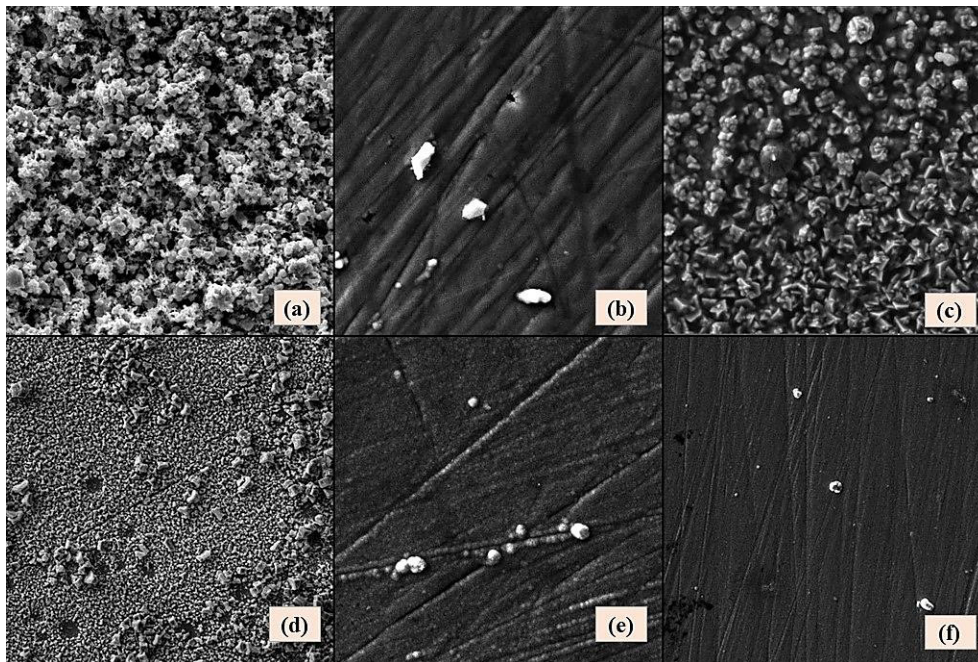
Figura 6. Gráfico de contorno do teor de Zn nos revestimentos da liga Zn-Ni em função da densidade de corrente e pH.



Fonte: Autores (2022).

A Fig. 7 apresenta as micrografias (MEV) dos 6 experimentos da liga de Zn-Ni. O domínio do conteúdo de Zn sobre o Ni é apoiado pelos dados da Tabela 3. Os dados apontam que, sendo depositados em uma densidade de corrente de 20 mA/cm² a quantidade de Zn em peso é de 95% e o teor de níquel é o menor (5%), que no entanto, diminui para 73% e 27% de Zn-Ni respectivamente, quando há um aumento na densidade de corrente para 80 mA/cm². Essa redução drástica no conteúdo de Zn indica um forte efeito da densidade de corrente na composição química dos revestimentos.

Figura 7. Imagens obtidas a partir do MEV dos experimentos



Fonte: Autores (2022)

Em altas densidades de corrente, os íons de Zn presentes na camada de difusão do cátodo se esgotam. Conseqüentemente, a % em peso de Ni no depósito aumenta. Um novo aumento no teor de Zn é observado nos experimentos 3 e 4, onde apesar da faixa de corrente ser a mesma dos experimentos 1 e 2, foi-se utilizado um pH 9,0.

Morfologicamente, há influência do aumento da densidade de corrente na morfologia superficial dos revestimentos. Na Fig. 7(a), em relação à densidade de corrente, sendo ela de 20 mA/cm², nota-se uma estrutura com grãos maiores, permitindo uma cobertura total e satisfatória da superfície. Em contrapartida, a Figura 7(b) (80 mA/cm²) apresenta nódulos, vazios e trincas.

Nos revestimentos elucidados pelas fotografias da Figura 7(c) e 7(d), onde houve um aumento do pH de 5,0 para 9,0 e mesma faixa de densidade de corrente, em (c) há o surgimento de grãos com tamanhos e formas diferentes e em (d) o depósito sofre com orifícios e vazios.

No geral, os experimentos 2, 4, 5 e 6, apresentados morfologicamente nas imagens 4(b), (d) (e) e (f), os revestimentos com densidades de corrente maiores (50 - 80 mA/cm²) exibiram grãos mais desregulares, maiores, com nódulos e vazios, isso pode remontar ao alto teor de evolução de hidrogênio.

Esta afirmação pode ser explicada claramente pelo mecanismo de crescimento do revestimento. O processo de deposição sob uma corrente contínua ocorre de forma ininterrupta e o revestimento da liga cresceu rapidamente, tornando os grãos maiores e irregulares. Portanto, a superfície parece irregular.

Além disso, a grande tensão residual no revestimento contribui para deslocamentos de superfície, resultando na formação de numerosos micros poros perceptíveis, especialmente nos revestimentos desenvolvidos em densidade de correntes superior (CRASTA & SHETTY, 2021).

Quando maior a densidade de corrente, menor o tempo de deposição dos revestimentos, e conseqüentemente uma mudança na estrutura do grão.

Em síntese, quando há uma operação de baixas densidades de corrente, os íons tem tendência a depositarem de modo mais lento no cátodo e conseqüentemente a taxa de crescimento dos cristais é maior que a taxa de formação dos núcleos. Já para uma densidade de corrente alta, a taxa de deposição pode exceder a taxa de difusão dos íons no banho fazendo com que os íons façam um percurso pelo menor caminho entre o revestimento em formação e o meio da solução, dessa forma, criando na estrutura uma formação dendrítica.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente trabalho, um banho eletrolítico contendo sulfato de zinco e de níquel foi usado e depósitos da liga de Zn-Ni foram obtidos usando diferentes variáveis, como densidade de corrente e valores de pH.

Os revestimentos obtidos, seguindo os parâmetros operacionais utilizados neste trabalho, foram aderentes ao substrato, apresentaram coloração cinza escuro. Os resultados de composição química foram influenciados pela densidade de corrente e pH. O maior conteúdo de zinco nos revestimentos para todos os valores de densidade de corrente e pH estudados confirmam a codeposição do tipo anômala.

Os dados apontaram que, sendo depositados em uma densidade de corrente de 20 mA/cm^2 a quantidade de Zn em peso foi de 95% e o teor de níquel foi o menor entre os experimentos (5%). Entretanto, o teor de níquel aumentou para 27% quando houve um aumento na densidade de corrente para 80 mA/cm^2 .

Um novo aumento no teor de Zn foi observado nos experimentos 3 e 4 onde foi-se utilizado um pH alcalino 9,0.

As imagens de microscopia eletrônica de varredura apresentaram depósitos com aparência mais irregular em altas densidades de corrente e onde a densidade de corrente foi menor, notou-se uma estrutura com grãos menores, mais homogêneos e finos, permitindo uma cobertura total e satisfatória da superfície. Foi observado que o depósito sofreu com orifícios vazios em pH 9,0.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado da Paraíba – (FAPESQPB) pelo apoio financeiro. Ao laboratório de Eletroquímica e Corrosão (LabCorr/UFCG) e ao laboratório de Microscopia Eletrônica do departamento de engenharia mecânica da UFCG pelas análises de MEV.

REFERÊNCIAS

ADUDIN, I. A. et al. A study of zinc–nickel alloy electrodeposition from an alkaline electrolyte. **International Journal of Corrosion and Scale Inhibition**, v. 10, n. 2, p. 580–591, 2021.

BAJAT, J. et al. 11-Electrodeposition-and-characterization-of-ZnNi-alloys-as-sublayers-for-epoxy-coating-deposition. **Journal of Applied Electrochemistry**. **Journal of Applied Electrochemistry**, 2001.

BAJAT, J. B.; PETROVIĆ, A. B.; MAKSIMOVIĆ, M. D. Electrochemical deposition and characterization of zinc-nickel alloys deposited by direct and reverse current. **Journal of the Serbian Chemical Society**, v. 70, n. 12, p. 1427–1439, 2005.

BALDWIN, K. R.; ROBINSON, M. J.; SMITH, C. J. E. **THE CORROSION RESISTANCE OF ELECTRODEPOSITED ZINC-NICKEL ALLOY COATINGS**. **Corrosion Science**. [s.l.: s.n.].

BRENNER, A. Electrodeposition of Alloys: PRINCIPLES and PRACTICE. 1963.

BYK, T. V.; GAEVSKAYA, T. V.; TSYBULSKAYA, L. S. Effect of electrodeposition conditions on the composition, microstructure, and corrosion resistance of Zn-Ni alloy coatings. **Surface and Coatings Technology**, v. 202, n. 24, p. 5817–5823, 15 ago. 2008.

CRASTA, R. J.; SHETTY, S. Comparative Study of Electrodeposited Zn and Zn-Ni Alloy Coatings for Improved Corrosion Protection in Chloride Medium. **Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces**, v. 57, n. 1, p. 139–146, 1 jan. 2021.

EVARISTO, B. DE O. **OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE REVESTIMENTOS METÁLICOS DE Zn-Ni-P DEPOSITADOS SOBRE O AÇO API 5L X65**. [s.l.: s.n.].

FENG, Z. et al. Electrodeposition of nanocrystalline Zn-Ni coatings with single gamma phase from an alkaline bath. **Surface and Coatings Technology**, v. 270, p. 47–56, 25 maio 2015.

FRATESI, R.; ROVENTI, G. **Corrosion resistance of Zn-Ni alloy coatings in industrial production** **Surface and Coatings Technology**. [s.l.: s.n.].

GENTIL, V. **Corrosão**. [s.l.: s.n.]. v. 3

LI, R. et al. Electrodeposition of composition controllable Zn-Ni coating from water modified deep eutectic solvent. **Surface and Coatings Technology**, v. 366, p. 138–145, 25 maio 2019.

MACIEJ, A. et al. Improvement of corrosion resistance of Zn-Ni alloy coatings by anodizing in selected alcoholic solutions. **Corrosion Science**, v. 158, 1 set. 2019.

QIAO, X. et al. Effects of deposition temperature on electrodeposition of zinc-nickel alloy coatings. **Electrochimica Acta**, v. 89, p. 771–777, 1 fev. 2013.

ROVENTI, G. et al. Electrodeposition of nickel-zinc alloy coatings with high nickel content. **Surface and Coatings Technology**, v. 276, p. 1–7, 25 ago. 2015.

SOUSA, M. B. **Estudo da caracterização da liga Cu-Zn-Ni obtida pelo processo da eletrodeposição**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/xmlui/bitstream/handle/riufcg/422/MIKARLA%20BA%c3%8dA%20DE%20SOUSA%20-%20DISSERTA%c3%87%c3%83O%20%28PPGEQ%29%202015.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 15 mar. 2022.