

# ESTUDO COMPARATIVO DA CONFORMABILIDADE E DA RESISTÊNCIA À CORROSÃO DE ELETRODEPÓSITOS DE ZINCO OBTIDOS EM BANHO DE CLORETO COM ADITIVOS E EM BANHO DE SULFATO/CLORETO SEM ADITIVOS. PARTE I: CARACTERIZAÇÃO DOS REVESTIMENTOS

Fabiano Raymundo dos Santos <sup>1</sup>  
Zehbour Panossian <sup>2</sup>

## Resumo

Revestimentos de zinco aplicados em processo contínuo de eletrodeposição são obtidos em banho de sulfato/cloreto sem aditivos. Esse tipo de revestimento é fosco, sendo obtido brilho com tratamentos adicionais, como escovamento. Ofertas de banhos que produzem revestimentos brilhantes têm surgido no mercado, como os de cloreto com aditivos. No entanto, não se tem conhecimento técnico desses revestimentos no que se refere à conformabilidade e à resistência à corrosão. O objetivo desse trabalho é caracterizar chapas de aço-carbono revestidas com esses dois banhos, verificar de maneira qualitativa a conformabilidade e avaliar a resistência à corrosão. Os resultados obtidos permitiram confirmar a influência da textura cristalográfica dos depósitos de zinco na conformabilidade e na resistência à corrosão. Verificou-se que o obtido em banho de cloreto com aditivos apresentava características desfavoráveis ao desempenho. Esse trabalho será apresentado em duas partes. A primeira apresentará a metodologia e os resultados dos ensaios de caracterização e de conformabilidade avaliada de maneira qualitativa. A segunda parte apresentará a metodologia e os resultados obtidos referentes à resistência à corrosão.

**Palavras-chave:** Eletrodeposição; Corrosão; Zinco; Textura.

## COMPARATIVE STUDY OF THE CORROSION RESISTANCE OF ZINC ELECTRODEPOSITS OBTAINED IN CHLORIDE BATH WITH ADDITIVES AND IN SULFATE/CHLORIDE BATH WITHOUT ADDITIVES. PART I: ELECTRODEPOSIT CHARACTERISTICS

## Abstract

Continuous zinc plating is traditionally performed in sulfate/chloride bath without additives. This type of coating is dull. Bright coatings are obtained only with additional treatments as brushing. In the market, chloride baths with additives are available for producing bright coatings without additional treatments. However, the performance of the later, regarding formability and corrosion resistance, is not well known. This work aimed at characterizing zinc coated sheets produced using the two mentioned plating baths. The performance of these coatings was verified through a qualitative formability test and through corrosion tests. The results obtained showed the significant influence of the crystallographic texture of zinc deposits on the formability and on the corrosion resistance. This work will be presented in two parts. This first will present the methodology and the results of characterization tests, as well as the results of a qualitative formability test. The second part will present the methodology and the results obtained regarding corrosion resistance.

**Keywords:** Electrodeposition; Corrosion; Zinc; Texture.

<sup>1</sup>Fundação de Apoio, Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo, SP, Brasil. E-mail: fbray@ipt.br

<sup>2</sup>Laboratório de Corrosão e Proteção, Centro de Tecnologia em Metalurgia e Materiais, Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo, SP, Brasil



## I INTRODUÇÃO

Para a proteção do aço-carbono, um dos revestimentos mais utilizados é o de zinco [1]. Esse metal pode ser aplicado por diferentes processos, destacando-se a eletrodeposição, a imersão a quente e a aspersão térmica que são os principais processos de aplicação de revestimentos de zinco usados para proteção contra corrosão [2]. A eletrodeposição do zinco pode ser feita utilizando banhos ácidos e alcalinos, sendo possível revestir produtos acabados (processo por batelada) ou chapas e fios (processo contínuo).

Os banhos ácidos foram os primeiros a serem utilizados comercialmente. A primeira patente surgiu na Inglaterra em 1852. Os primeiros banhos tinham como característica o aspecto fosco e suas formulações, no que se refere aos compostos básicos, eram muito parecidas às formulações utilizadas até hoje [3]. No entanto, tais banhos eram utilizados praticamente sem aditivos e os processos eram caracterizados por apresentarem baixo poder de cobertura e de penetração e os revestimentos obtidos não eram brilhantes. Em contrapartida, os banhos ácidos apresentavam alta velocidade de deposição, o que justificava a sua principal aplicação que era a produção de chapas, fios e conduítes em processos contínuos [3]. A aplicação para produtos acabados era dificultosa, sendo que para tal finalidade era necessário o uso de anodos auxiliares [4].

A utilização dos banhos ácidos para produtos acabados foi completamente abandonada com o surgimento dos banhos alcalinos cianídricos. O fato que determinou o sucesso na zincagem por batelada foi o alto poder de penetração desses banhos.

No entanto, devido à alta toxicidade e as regulamentações rigorosas contra a poluição das águas naturais e tratamentos de efluentes com altos custos, os banhos não cianídricos e banhos com baixo teor de cianeto começaram a ser intensamente investigados [1-5]. A preocupação de se desenvolver os banhos ácidos em substituição aos banhos cianídricos já surgiu em 1960. Grandes esforços foram feitos para desenvolver aditivos que tornassem os banhos ácidos adequados para revestir produtos acabados, por batelada. Para os banhos apenas à base de sulfatos e à base de sulfatos e cloretos, os esforços não tiveram grande sucesso, sendo, por esta razão, esses banhos praticamente abandonados como alternativas para produtos acabados. Para os processos contínuos, os banhos ácidos continuaram a ser utilizados e os estudos não se aprofundaram com esse tipo de banho, mesmo porque o consumidor de chapas eletrozincadas já se tinha acostumado com chapas foscas [4].

Para os banhos ácidos apenas à base de cloretos destinados a produtos acabados, os esforços dispendidos deram resultados, tendo sido desenvolvidos aditivos capazes de conferir a esse tipo de banhos alto poder de penetração e permitir a obtenção de depósitos brilhantes. Assim, atualmente, os banhos ácidos apenas à base de cloretos com aditivos constituem entre 40% e 50% de todos os banhos de zinco [1-5], sendo utilizados para revestir peças

acabadas como alternativa aos banhos alcalinos à base de cianetos, sendo também utilizados, em menor escala, em processos contínuos.

Como os produtos revestidos em processos contínuos (chapas e fios) possuem geometria simples, o poder de cobertura e o poder de penetração não são características imprescindíveis para o setor. Os produtores geralmente adaptam as instalações, adotando uma geometria de disposição anodo/chapa que permita uma boa distribuição de corrente. Além disso, conforme mencionado, o mercado consumidor de chapas e fios não considera indispensável o brilho do revestimento, já que tradicionalmente os revestimentos produzidos em processo contínuo são foscos ou semifoscos. Quando o consumidor deseja um revestimento brilhante, o produtor adota o abrillamentamento mecânico (como escovamento após zincagem) ou químico (como imersão em solução de ácido nítrico a 10% ou em soluções cromatizantes destinadas a dar brilho). Apesar de se ter atualmente aditivos disponíveis no mercado para processos contínuos, raramente se utilizam banhos brilhantes para produção de chapas e fios.

Segundo a literatura consultada [4], os banhos mais utilizados em processos contínuos, na prática, são à base de sulfatos e cloretos sem aditivos por serem mais estáveis, eficientes e versáteis do que os banhos apenas à base de sulfatos e, ainda, menos agressivos do que os banhos apenas à base de cloretos.

No mercado brasileiro, têm surgido ofertas de banhos apenas à base de cloretos com aditivos para processos contínuos os quais produzem chapas brilhantes, característica essa requerida em alguns setores. No entanto, a aceitação das chapas revestidas com esse processo esbarra na falta de conhecimento das características requeridas para esse produto: a conformabilidade e a resistência à corrosão. Assim, o presente trabalho tem por objetivo comparar as características de resistência à corrosão e de conformabilidade de dois lotes de chapas zincadas cedidos por uma empresa produtora de chapas zincadas, um obtido em banho apenas à base de cloretos com aditivos e outro obtido em banho à base de sulfatos e cloretos tradicional sem aditivos, ambos em processo contínuo. Esse trabalho será apresentado em duas partes. Nesse trabalho (Parte 1), serão apresentados e discutidos os ensaios de caracterização das chapas zincadas sem e com pintura. Na Parte 2, serão apresentados e discutidos os ensaios de desempenho no que se refere à resistência à corrosão e à conformabilidade dessas mesmas chapas.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Duas amostras de chapas zincadas em processo contínuo foram fornecidas pela empresa *Brasmetal Waelzholz S.A.* Ambos os revestimentos estavam aplicados sobre chapas relaminadas de aço baixo carbono para estampagem Grau 2 da NBR 5007 [6]. A Tabela 1 apresenta a composição dos

**Tabela 1.** Composição e condições de deposição de zinco em banho comercial

Parâmetros	Cloreto	Sulfato/cloreto
Sulfato de zinco	-	400 g/L
Cloreto de zinco	165 g/L	-
Cloreto de potássio	360 g/L	8 g/L
Cloreto de amônio	-	10 g/L
Ácido bórico	30 g/L	30 g/L
Aditivo*	30 mL	-
Abrilhantador*	3 mL	-
Antiespumante*	0,5 mL/L	-
pH	5,0 a 5,3;	2,5 a 3,5
Temperatura	45 a 55°C	60 a 70°C
Densidade de corrente	10 A/dm <sup>2</sup>	10 A/dm <sup>2</sup>
Tempo de deposição	2,5 min	1,5 min

Composição não informada pela fornecedora das chapas. Fonte: Brasmetal Waelzholz S.A.

banhos de eletrodeposição usados para revestir as chapas, juntamente com as condições de operação adotadas.

A amostra de chapa de zinco obtida a partir do banho apenas à base de cloretos com aditivos, denominado nesse trabalho de “cloreto”, apresentava aspecto liso e brilhante. Já a amostra de chapa de zinco obtida a partir do banho à base de sulfatos e cloretos sem aditivos, identificada como “sulfato/cloreto”, era rugosa e fosca.

A espessura da camada de zinco das chapas revestidas foi obtida por método gravimétrico e por método microscópico. Pelo método gravimétrico, obtém-se a espessura média da camada de zinco, já o método microscópico fornece a espessura do revestimento apenas do local de medição, porém, em contrapartida esse método permite avaliar a uniformidade microscópica (nivelamento) do revestimento além de fornecer informações sobre a sua porosidade e microestrutura.

O método gravimétrico foi realizado segundo a NBR 7397 [7]. Segundo essa norma, a solução de decapagem para a retirada da camada de zinco é obtida da seguinte maneira: primeiramente se dissolvem 32 g de cloreto de antimônio P.A. em 1 L de ácido clorídrico concentrado (densidade 1,16 g/cm<sup>3</sup> a 1,18 g/cm<sup>3</sup>). Em seguida, 5 mL dessa solução é diluída em 100 mL de ácido clorídrico concentrado. A retirada da camada de zinco foi feita em ambas as faces de corpos de prova de 50 mm × 50 mm.

O método microscópico foi feito medindo-se diretamente a espessura da seção transversal produzida por remoção de material com FIB (*Focused Ion Beam*) em um microscópio eletrônico de varredura (MEV) modelo Quanta 3D FEG da FEI Company (MEV/FEG/FIB). Cita-se que para a preparação da seção transversal dos eletrodepósitos, primeiramente foi feita a deposição de uma camada de proteção de platina sobre a região de interesse e finalizada com uma série de remoções de material com feixe iônico de gálio até a obtenção de uma superfície lisa.

As superfícies das camadas de zinco foram examinadas com auxílio de um microscópio eletrônico de varredura (MEV) modelo Quanta FEG (*Field Emission Gun*) da FEI Company (MEV/FEG).

A rugosidade *Ra* das camadas de zinco foi obtida em um microscópio confocal de luz branca da marca Zeiss, modelo Axio CSM 700, tendo sido realizadas varreduras em uma área de 5 μm × 5 μm em cinco corpos de prova de dimensões 5 cm x 5 cm.

Para avaliar o comportamento dos revestimentos de zinco quando submetidos a uma deformação mecânica, foi adotado o ensaio de embutimento. Esse ensaio, realizado segundo a ISO 1520 [8], é normalmente utilizado para revestimentos orgânicos. Nesse trabalho, esse ensaio foi adotado como método de avaliação qualitativa da conformabilidade dos revestimentos de zinco estudados.

O embutimento foi realizado com o uso de um dispositivo de marca BYK Gardner, tendo sido realizado em corpos de prova com dimensões de 50 mm × 10 mm. A altura da calota adotada foi 7 mm, que é a máxima que não provocou a ruptura do substrato de aço-carbono. Após o embutimento, a região de máxima deformação da calota dos corpos de prova foi examinada no microscópio eletrônico MEV/FEG citado anteriormente.

A textura dos depósitos foi determinada por meio das figuras de polo (00.1), (10.0) e (10.1). A técnica de difração de raios X foi empregada usando um difratômetro de marca Rigaku, acoplado a um goniômetro de textura, modelo RINT.

Foi realizado um ensaio para a verificação qualitativa da presença de tensões residuais nas camadas de zinco. O ensaio consistiu na eletrodeposição de zinco (usando a mesma composição e condição de operação apresentados na Tabela 1) em apenas um dos lados de uma tira muito fina de liga de níquel, número PN270 NI da Specialty Test. O outro lado das tiras era revestido com um material isolante. A deposição foi feita fixando uma das extremidades da tira e deixando livre a outra. Essa configuração permite que a tira sofra deflexão. Tensões residuais de tração do eletrodepósito fazem com que a superfície revestida da extremidade livre da tira defleta em direção ao anodo, enquanto que tensões residuais de compressão provocam deflexões no sentido contrário.

### 3 RESULTADOS

As espessuras dos revestimentos obtidas por método gravimétrico e por método microscópico estão apresentadas na Tabela 2. Pode-se notar que a espessura da camada do revestimento de zinco cloreto, medida pelos dois métodos, apresenta um valor maior do que a do revestimento de zinco sulfato/cloreto (cerca de duas vezes maior). Muito provavelmente, essa diferença é decorrente do maior tempo de deposição adotado pela empresa fornecedora do revestimento para o banho de cloreto (2,5 min no banho de cloreto e 1,5 min no banho de sulfato/cloreto), uma vez

que foram depositados utilizando a mesma densidade de corrente ( $10 \text{ A/dm}^2$ ).

É importante observar que os valores de desvio padrão obtidos nas medidas feitas pelo método gravimétrico são iguais para as duas camadas e não refletem às diferenças microscópicas entre ambas. No entanto, há uma grande diferença nos valores de desvio padrão obtidos pelo método microscópico: o baixo valor do desvio padrão ( $0,09 \mu\text{m}$ ) para a camada obtida com o banho apenas de cloretos é indicativo de uma uniformidade microscópica muito superior à da camada obtida em banho de sulfato/cloreto que apresentou um elevado valor de desvio padrão ( $1,2 \mu\text{m}$ ). Esses resultados refletem o aspecto visual dos revestimentos: o de apenas à base de cloretos brilhante e o de sulfato/cloreto fosca. Essa diferença pode ser atribuída à presença de aditivos no banho apenas à base de cloretos. Muito provavelmente, havia um aditivo nivelador na composição desse banho. Essas diferenças foram claramente verificadas por exames microscópicos da seção transversal dos revestimentos obtidas no MEV/FEG/FIB, conforme mostrado na Figura 1. Pode-se verificar que o revestimento de zinco cloreto apresenta uma uniformidade microscópica (nivelamento) muito superior à do revestimento de zinco sulfato/cloreto.

A Tabela 3 apresenta os resultados da rugosidade das camadas de zinco. Pode-se verificar que a rugosidade do revestimento cloreto é cerca de 12,5 vezes inferior à do revestimento sulfato/cloreto. Esses resultados são concordantes com os resultados discutidos.

A Figura 2 mostra micrografias da superfície no MEV/FEG das camadas de zinco estudadas. Pode-se verificar que, no revestimento de zinco cloreto, (Figura 2a), os grãos são muito pequenos, não sendo possível visualizá-los mesmo com uma magnificação de 10.000 vezes. Isso indica que os grãos são de tamanho nanométrico, podendo ser

explicado pela presença de aditivos refinadores de grãos ou abrillantadores no banho de eletrodeposição apenas à base de cloretos [9-10]. Já, no revestimento de zinco sulfato/cloreto, ao contrário do revestimento cloreto, a estrutura hexagonal do zinco pode ser perfeitamente percebida. Para facilitar a visualização, o contorno hexagonal de algumas plaquetas foi ressaltado em amarelo. Esse tipo de revestimento é citado por diferentes autores [11,12] como sendo obtidos em banhos comerciais apenas à base de sulfatos sem aditivos, tendo sido descrito como conjuntos de plaquetas hexagonais, de tamanho variando entre  $5 \mu\text{m}$  e  $10 \mu\text{m}$ , paralelas entre si e inclinados em relação à superfície do substrato, formando textura piramidal. As dimensões das sete plaquetas hexagonais mais visíveis da Figura 2b foram medidas tendo sido obtida um valor médio de  $3,2 \mu\text{m}$  com um desvio de  $1,0 \mu\text{m}$ , valores esses que estão muito próximos aos citados na literatura [11,12]. Essa microestrutura (cristais

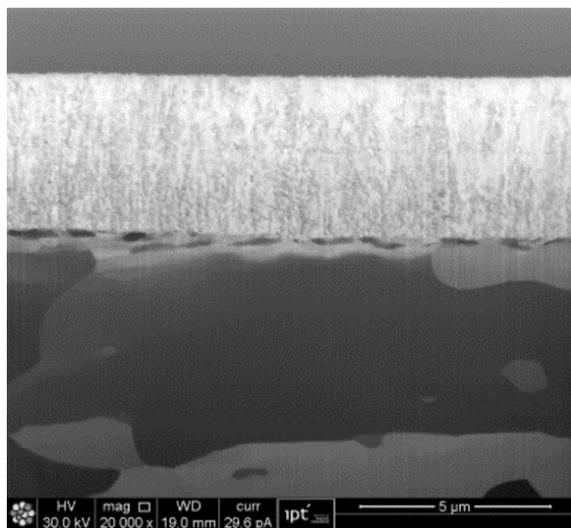
**Tabela 2.** Espessura da camada de zinco

Banho	Método gravimétrico (ambas as faces)		Método microscópico (uma face)	
	Média ( $\mu\text{m}$ )	Desvio padrão ( $\mu\text{m}$ )	Média ( $\mu\text{m}$ )	Desvio padrão ( $\mu\text{m}$ )
Cloreto	6,7	0,3	5,34	0,09
Sulfato/ cloreto	3,4	0,3	3,50	1,2

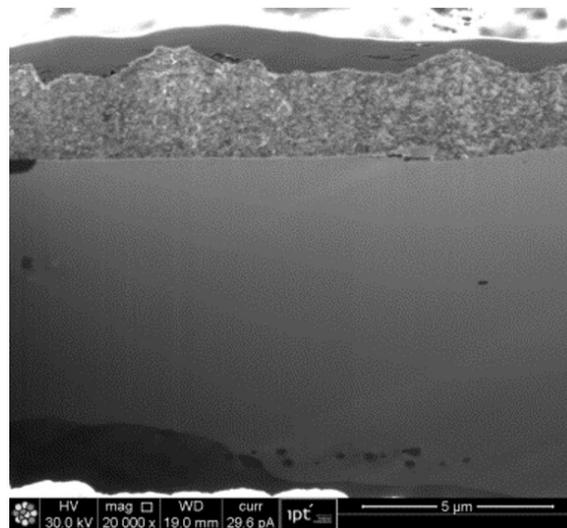
**Tabela 3.** Rugosidades  $R_a$  das camadas de zinco ( $\mu\text{m}$ )

	Cloreto		Sulfato/cloreto	
	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
	0,64	0,08	8,03	0,11

(a) Cloreto



(b) Sulfato/cloreto



**Figura 1.** Micrografias da seção transversal das camadas do banho de cloreto (a) e do banho de sulfato/cloreto (b) em microscópio eletrônico de varredura Dual Beam MEV/ FEG/ FIB.

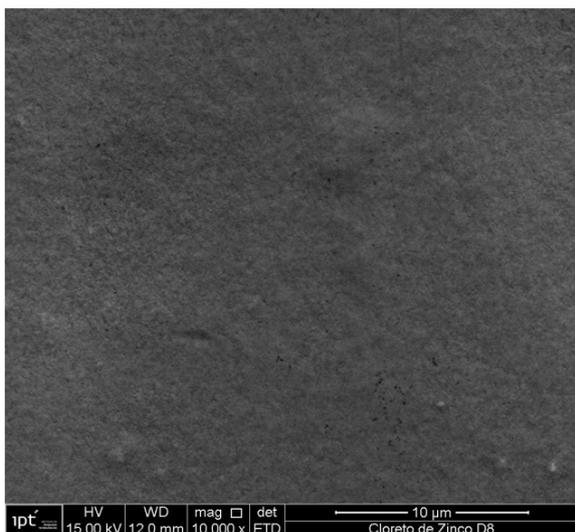
grandes) é um dos fatores responsáveis pela aparência fosca da camada obtida em banho de sulfato/cloreto. Convém mencionar que a obtenção de cristais grandes é favorecida em banhos ácidos, sem aditivos, operando a densidades de corrente moderadas [13], como o banho de sulfato/cloreto sem aditivos do presente estudo.

A Figura 3 mostra o aspecto da região de máxima deformação das camadas de zinco após o embutimento. Pode-se observar a diferença marcante do aspecto das superfícies dos depósitos. Em toda a superfície do revestimento cloreto, são observadas trincas que expõem o substrato.

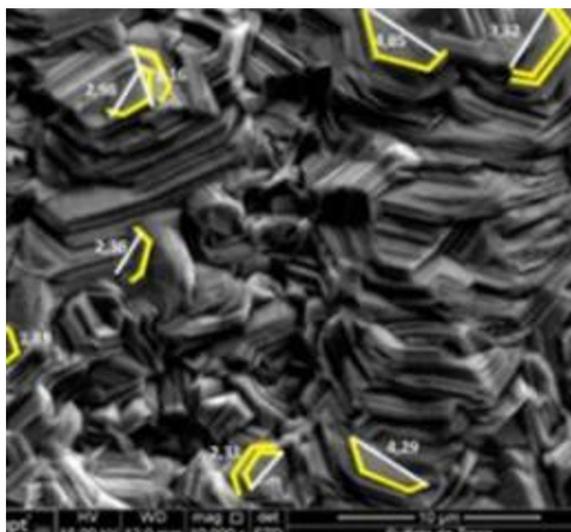
Na literatura, é citada que revestimentos de textura prismática quando deformados apresentam trincas capazes de expor o substrato [14]. Por outro lado, o revestimento sulfato/cloreto não apresentou trincas, mas somente modificação da aparência da superfície quando comparado com a superfície sem deformação. Essa modificação, muito provavelmente, decorre da mudança da textura da camada devido à deformação [14].

Os resultados da difração de raios X realizada para a determinação da textura dos depósitos estão apresentados na Tabela 4. Pode-se verificar que o revestimento cloreto

(a) Cloreto

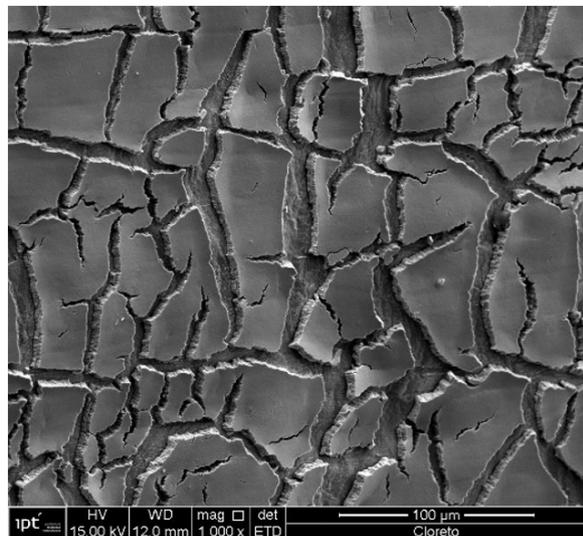


(b) Sulfato/cloreto

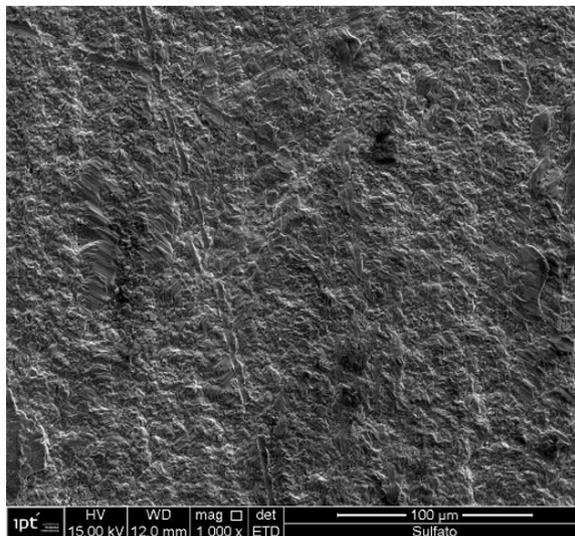


**Figura 2.** Micrografias da superfície das camadas do banho de cloreto (a) e do banho de sulfato/cloreto (b) obtidas em microscópio eletrônico de varredura (MEV/FEG).

(a) Cloreto



(b) Sulfato/cloreto



**Figura 3.** Imagens obtidas em MEV/ FEG da região de máxima deformação dos revestimentos do banho de cloreto (a) e do banho de sulfato/cloreto (b).

apresenta textura prismática (10.0) com o eixo *c* apontado para todas as direções de maneira aleatória. Uma representação esquemática dessa textura é apresentada na Figura 4a. Já o revestimento obtido em banho de sulfato/cloreto apresentou uma textura piramidal (10.3) com o eixo *c* inclinado de 35,6°. Nesse caso, o eixo *c* não está apontando uniformemente em todas as direções. A Figura 4b mostra uma ilustração esquemática simplificada (com apenas uma direção do eixo *c*) da textura do revestimento sulfato/cloreto.

Os resultados do ensaio de verificação qualitativa das tensões residuais das camadas de zinco mostraram que o revestimento cloreto apresentava tensões residuais de tração (deflexão das tiras em direção aos anodos de zinco) e o revestimento sulfato/cloreto não apresentaram tensões residuais nem de tração e nem de compressão (nenhuma deflexão nas tiras).

#### 4 DISCUSSÃO

Os ensaios de caracterização dos revestimentos de zinco obtidos com banhos ácidos apenas à base de cloretos com aditivos e com banho à base de sulfatos e cloretos sem aditivo mostraram diferenças marcantes. O primeiro apresentou aspecto brilhante, grãos de tamanho nanométrico, baixa rugosidade e textura prismática. A conformação desse revestimento provocou trincas que expuseram o substrato. Já o segundo apresentou aspecto fosco, grãos de tamanho micrométrico, alta rugosidade e textura piramidal

**Tabela 4.** Orientações preferenciais dos revestimentos de zinco obtidos por difração de raios X

Amostra	Orientação
Cloreto	Plano prismático (10.0) está paralelo à superfície da chapa com distribuição radial uniforme.
Sulfato/cloreto	O plano piramidal (10.3) está paralelo à superfície da chapa com distribuição radial não uniforme.

de baixo ângulo. A conformação não causou trincamento do revestimento sulfato/cloreto.

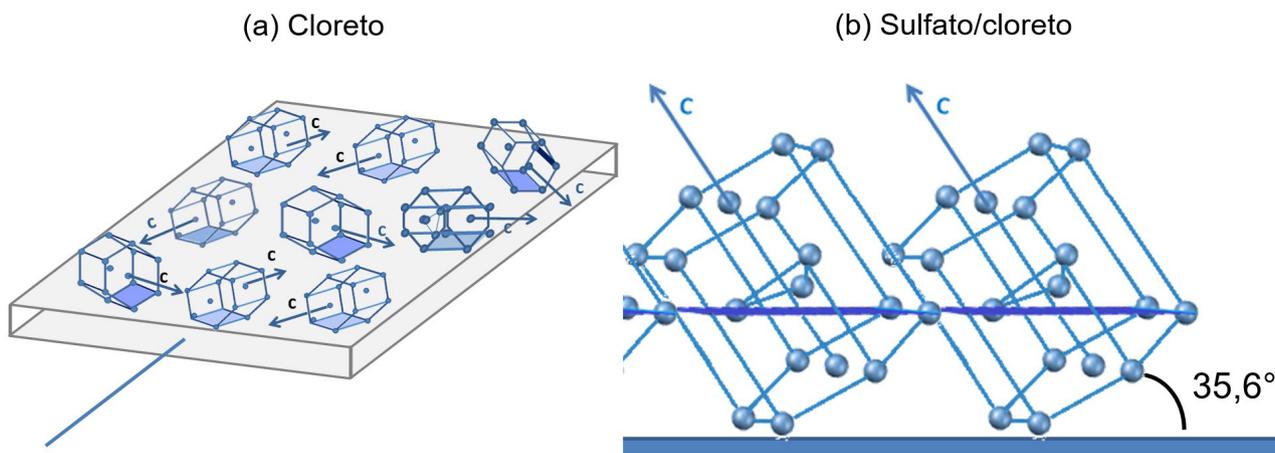
A deformação plástica dos materiais policristalinos envolve escorregamento, isto é, o deslocamento de um átomo sobre o outro por meio da movimentação de discordâncias. Os planos e as direções compactas são também muito importantes no que se refere à deformação plástica de metais. Os átomos de um cristal solicitado mecanicamente escorregam ao longo de planos compactos, seguindo direções compactas [15]. Assim, o melhor plano de escorregamento do zinco é o plano basal (00.1) que é o plano mais compacto. Nesse plano, o deslizamento é pelo menos 30 vezes mais fácil do que para qualquer outro plano da estrutura hexagonal compacta [16].

Quando chapas de aço-carbono com depósitos de zinco com textura basal (com plano basal paralelo à direção de laminação) são submetidos a um dobramento, vão exibir alongamento dos grãos individuais, com um grão escorregando sobre o outro, apresentando mudança de textura [14]. Esse tipo de comportamento favorece a continuidade do revestimento após o dobramento o que é benéfico para a resistência à corrosão.

Por outro lado, em uma chapa com depósito de zinco com textura prismática pura (com plano basal perpendicular à direção de laminação), o dobramento causará fissuras, pois o plano de escorregamento é perpendicular à direção da deformação [14].

Texturas piramidais, intermediárias entre a basal e a prismática, podem ou não apresentar trincas dependendo do ângulo que o plano paralelo à superfície do substrato forma com o plano basal. Texturas com ângulos maiores trincam ao serem deformadas e as que apresentam ângulos menores não [14,17].

No presente estudo, os resultados obtidos estão em concordância com a literatura. Conforme visto, o revestimento cloreto de textura prismática apresentou trincas após deformação e o revestimento sulfato/cloreto com textura piramidal de baixo ângulo não apresentou



**Figura 4.** Ilustração esquemática da textura dos depósitos de zinco das camadas do banho de cloreto (a) e do banho de sulfato/cloreto (b).

nenhuma trinca tendo sofrido apenas modificações na aparência, o que pode ser atribuído à mudança de textura causada pela deformação.

ângulo. Essa diferença influenciou na conformabilidade desses revestimentos. O de textura prismática apresentou trincas após conformação e o de textura piramidal de baixo ângulo não trincou ao ser deformado.

## 5 CONCLUSÃO

Eletrodepósitos de zinco obtidos, em processo contínuo, em banho de cloreto com aditivos e em banho de sulfato/cloreto sem aditivos foram caracterizados e a sua conformabilidade foi verificada de maneira qualitativa. Diferenças significativas foram observadas entre ambos, principalmente no que se refere ao tamanho de grão e textura. O primeiro apresentou grãos nanométricos e textura prismática e o segundo grãos micrométricos e textura prismática de baixo

## Agradecimentos

À *Brasmetal Waelzholz S.A.* pelo fornecimento das chapas revestidas, ao Prof. Dr. Nelson Lima do IPEN, pela determinação da textura dos eletrodepósitos do zinco e à Adriana Rocha Azevedo da empresa GP Isolamentos Mecânicos Ltda pelo fornecimento das tiras de liga de níquel para a verificação da presença das tensões residuais.

## REFERÊNCIAS

- 1 Loto CA. Electrodeposition of zinc from acid based solutions: a review and experimental study. *Asian Journal of Applied Sciences*. 2012;5(6):314-326. <http://dx.doi.org/10.3923/ajaps.2012.314.326>.
- 2 Panossian Z. Proteção contra corrosão atmosférica do aço por meio de revestimentos metálicos de zinco, de alumínio e de ligas de zinco/alumínio: la red temática patina. In: *Cyted. Corrosion y proteccion de metales em las atmosferas de iberoamericana. Parte II: proteção anticorrosiva de metais nas atmosferas da Iberoaméricas*. Madrid; 2002. p. 233-268.
- 3 Geduld H. Zinc plating. Middlesex: Finishing Publications; 1988. p. 107-138
- 4 Panossian Z. Principais tipos de banhos para eletrodeposição de zinco: revisão bibliográfica. *Tratamento de Superfície*. 1999;20:32-40.
- 5 ASM International. Metals handbook. 9th ed. Metals Park: ASM; 1994. vol. 5. Surface engineering; p. 504-523.
- 6 Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5007: tiras relaminadas de aço baixo teor de carbono para estampagem: especificação. Rio de Janeiro: ABNT; 2008.
- 7 Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7397: produto de aço e ferro fundido galvanizado por imersão a quente: determinação da massa do revestimento por unidade de área: método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT; 2016.
- 8 International Organization for Standardization. ISO 1520: paints and varnishes: cupping test. Genebra: ISO; 2006.
- 9 Panossian Z. Eletrodeposição de metais. São Paulo: Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo; 1986. 101 p. Apostila do curso da disciplina PMT 5742.
- 10 Karahan IH, Çetinkara HA, Güder HS. Electrodeposition and characterization of Zn, Zn-Fe and Zn-Fe-Ni coatings in the presence of gelatin as additive. *Transactions of the Institute of Metal Finishing*. 2008;86(3):157-161. <http://dx.doi.org/10.1179/174591908X304171>.
- 11 Lindsay JH. The interaction between electrogalvanized zinc deposit structure and the forming of sheet steel. *Plating and Surface Finishing*. 1989;76:62-89.
- 12 Rangarajan V, Giallourakis NM, Matlock DK, Krauss G. The effect of texture and microstructure on deformation of zinc coatings. *Journal of Materials Shaping Technology*. 1989;6(4):217-227. <http://dx.doi.org/10.1007/BF02834736>.
- 13 Dini JW. Electrodeposition: the materials science of coatings and substrates. Saddle River: Noyes Publications; 1993.
- 14 De Boeck A, Vanthournout M, Van der Hoeven JM. The influence of texture on the deformation behavior of electrodeposited zinc coatings. In: *Proceedings of the International Deep Drawing Research Group*; 1994; Lisbon. Lisbon: IDDRG; 1994. p. 55-66.
- 15 Caram R Jr. Estrutura e propriedades dos materiais. São Paulo: Departamento de Engenharia de Materiais, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade de São Paulo; 2006.
- 16 Dini JW. Electrodeposition: the materials science of coatings and substrates. Saddle River: Noyes Publications; 1993.

Santos; Panossian

17 Shaffer SJ, Morris JW Jr, Wenk HR. Textural characterization and its applications on zinc electrogalvanized steels. Berkeley: Lawrence Berkeley Laboratory, Center for Advanced and Chemical Sciences Division, University of California; 1990.

Recebido em: 06 Fev. 2017

Aceito em: 14 Jul. 2017