

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
Escola de Engenharia

Departamento de Metalurgia

ESTUDO COMPARATIVO DO DESEMPENHO DE UM REVESTIMENTO
NANOCERÂMICO À BASE DE ÁCIDO HEXAFLUORZIRCÔNIO JUNTAMENTE COM
O PROCESSO DE POLIMERIZAÇÃO VISANDO A SUBSTITUIÇÃO DO PROCESSO
DE FOSFATIZAÇÃO EM UMA EMPRESA DO SETOR AUTOMOBILÍSTICO

Brigite Blank

Trabalho de Diplomação

Orientador: Professora Dra. Jane Zoppas Ferreira

Porto Alegre

2018

BRIGITE BLANK

**ESTUDO COMPARATIVO DO DESEMPENHO DE UM REVESTIMENTO
NANOCERÂMICO À BASE DE ÁCIDO HEXAFLUORZIRCÔNIO JUNTAMENTE
COM O PROCESSO DE POLIMERIZAÇÃO VISANDO A SUBSTITUIÇÃO DO
PROCESSO DE FOSFATIZAÇÃO EM UMA EMPRESA DO SETOR
AUTOMOBILÍSTICO**

Trabalho de Diplomação em Engenharia apresentado ao
Departamento de Metalurgia da Universidade Federal do Rio
Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do
título de Engenheira Metalurgista.

Orientador: Professora Dra. Jane Zoppas Ferreira

Porto Alegre

2018

CIP - Catalogação na Publicação

Blank, Brigitte
ESTUDO COMPARATIVO DO DESEMPENHO DE UM
REVESTIMENTO NANOCERÂMICO À BASE DE ÁCIDO
HEXAFLUORZIRCÔNIO JUNTAMENTE COM O PROCESSO DE
POLIMERIZAÇÃO VISANDO A SUBSTITUIÇÃO DO PROCESSO DE
FOSFATIZAÇÃO EM UMA EMPRESA DO SETOR AUTOMOBILÍSTICO
/ Brigitte Blank. -- 2018.
43 f.
Orientadora: Jane Zoppas Ferreira.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de
Engenharia, Curso de Engenharia Metalúrgica, Porto
Alegre, BR-RS, 2018.

1. Revestimentos de proteção. 2. Revestimento
nanocerâmico hexafluorzircônio. 3. polimerização. I.
Zoppas Ferreira, Jane, orient. II. Título.

AGRADECIMENTOS

A todos aqueles que um dia acreditaram em mim, que me deram a mão e até mesmo me carregaram no colo quando eu não aguentava mais, que me fizeram rir quando o que eu mais sentia era vontade de chorar, que me deram conselhos essenciais quando eu queria e quando eu não queria também, minha eterna gratidão, vocês fizeram esta minha conquista possível e com certeza são parte desta vitória.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1 CONCEITOS E FORMAS DE CORROSÃO.....	12
2.2 PREVENÇÃO E PROTEÇÃO CONTRA CORROSÃO	13
2.3 FOSFATIZAÇÃO	15
2.4 POLIMERIZAÇÃO	17
2.5 NANOTECNOLOGIA E REVESTIMENTOS NANOCERÂMICOS.....	19
3 ESTUDO DE CASO	20
3.1 CENÁRIO ATUAL.....	20
3.2 CENÁRIO SUGERIDO.....	20
4 MATERIAIS E MÉTODOS	20
4.1 CORPOS DE PROVA	20
4.2 CARACTERIZAÇÃO METALÚRGICA E MECÂNICA.....	20
4.3 AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À CORROSÃO	20
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
5.1 CARACTERIZAÇÃO METALÚRGICA E MECÂNICA.....	20
5.2 AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À CORROSÃO	20
6 CONCLUSÕES	20
7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	Erro! Indicador não definido.
8 REFERÊNCIAS	21

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Linha de deposição da camada de fosfato.....	16
Figura 2: Composição química do BONTERITE L-FM 743.....	17
Figura 3: Mecanismo de deposição da camada de polímero.....	18
Figura 4: Etapas processo de polimerização para conformação à frio.....	18
Figura 5: Mecanismo de formação da camada de nanocerâmico.....	20
Figura 6: Desenho 3D ilustrando Tulipas e Pontas de Eixo.....	20
Figura 7: Semi – eixo e seus componentes.....	20
Figura 8: Comparativo de processos da empresa.....	20
Figura 9 : Fluxograma de produção de dois tratamentos de superfícies distintos.....	20
Figura 10: Fluxograma do processo com a adição da etapa de conversão da camada nanocerâmica.....	20
Figura 11: Peça antes, à esquerda, e depois da imersão no banho de nanocerâmico.....	20
Figura 12: CP3 preparado.....	20
Figura 13: Microscópio ótico Olympus SZ61.....	20
Figura 14: Microscópio ótico Zeiss Observer.A1m.....	20
Figura 15: Microdurômetro utilizado.....	20
Figura 16: Camada temperada do CP3 (a) e CP5 (b) utilizando o microscópio ótico Olympus SZ61.....	20
Figura 17:Microestrutura nuclear do CP3 (a) e CP5 (b) em aumento de 100x. Grãos escuros Perlita e claros Ferrita.....	20
Figura 18:Microestrutura martensítica da camada temperada do CP3 (a) e CP5 (b) em aumento de 50x.....	20
Figura 19: Microestrutura martensítica da camada temperada do CP3 (a) e CP5 (b) em aumento de 100x.....	20
Figura 20: Microestrutura martensítica da camada temperada do CP3 (a) e CP5 (b) em aumento de 200x.....	20
Figura 21: Perfil de microdureza do CP3 e CP5.....	20
Figura 22: Acompanhamento Névoa Salina.....	20

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Composição química do aço utilizado.....	20
Tabela 2: Relação dos corpos de provas utilizados.	20
Tabela 3: Dureza superficial e profundidade da camada temperada do CP3 e CP5.	20
Tabela 4: Resultado Névoa Salina.....	29

RESUMO

O processo de fosfatização é um tratamento superficial de metais que visa promover a lubrificação de peças para a posterior conformação mecânica, assim como também proteger contra a corrosão e melhorar a aderência entre o substrato e as camadas de tinta. Porém, juntamente com as suas vantagens, nascem as preocupações ambientais provenientes deste processo. Sendo assim, novas alternativas vêm sendo estudadas, aprimoradas e aplicadas para o tratamento de superfícies. Visando não somente o sucesso econômico, mas também a proteção ambiental, uma determinada empresa do setor automobilístico visa eliminar sua linha de fosfatização até 2020. Em 2015 a empresa substituiu parte de sua linha por um processo de revestimento à base de polímero, todavia este método não tem apresentado resultado satisfatório, visto que muitas peças estão oxidando após sua implementação, o que não ocorre com o revestimento de fosfato. Com o intuito de encontrar uma alternativa para contornar este problema, o presente trabalho relata um estudo comparativo do desempenho de um revestimento nanocerâmico à base de ácido hexafluorzircônio juntamente com o processo de polimerização. Para a avaliação desta alternativa foram preparados corpos de prova com três tipos de revestimentos: fosfato, polímero e um terceiro com a camada de conversão nanocerâmica e posterior aplicação do polímero. Ensaio metalográficos e mecânicos foram realizados para avaliar o comportamento dos corpos de prova preparados com o revestimento nanocerâmico. A resistência à corrosão dos três revestimentos distintos foi analisada a partir do ensaio de névoa salina. Os resultados comprovaram que a camada de conversão nanocerâmica pode trazer benefícios às peças estudadas e ao mesmo tempo manter o padrão de qualidade requerido pela empresa.

ABSTRACT

The phosphating process is a surface treatment: a phosphate-based coating, used for metals for promoting the lubrication of parts for further mechanical conformation. In addition this process protects against corrosion and improves the adherence between the substrate and subsequent coats of paint. In spite of its advantages, this process has a negative environmental impact. Therefore, new alternatives for the treatment of metallic surfaces are being investigated, developed, and improved. With the goal of not only economic gain but also environmental protection, a company from the automobile industry plans to eliminate phosphating from its production line by 2020. In 2015, this company replaced its phosphating process with a polymer-based coating in part of its production line. However, this method had not yet provided a satisfactory result. Many pieces produced with this process exhibit unacceptable oxidation, which does not happen with the phosphating process. Herein, a case study, which primary goal was to evaluate an alternative to overcome the oxidation problem, is presented. The performance of a hexafluorizirconic acid based nanoceramic coating followed by a polymer-based coating is compared with the aforementioned processes. For evaluating this new process, specimens treated with three different coating were prepared: a phosphate-based coating, a polymer-based coating, and a nanoceramic conversion layer followed by a polymer-based coating. Metallographic and mechanical tests were performed for evaluating the behavior of the specimens prepared with these coatings. The resistance to corrosion of the three coatings was individually analyzed using the salt spray test. The results demonstrate that nanoceramic conversion layer brings the lower environmental impact of the polymer-based process without the undesired oxidation, thereby conforming to the quality standard required by the company.

1 INTRODUÇÃO

A indústria automobilística é o segundo segmento que mais consome aço no Brasil, perdendo apenas para o setor de construção civil. Uma pesquisa realizada pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) mostra que o aço corresponde a quase 56% do peso de um carro, sendo mais aproveitado na carroceria dos veículos e autopeças, tais como: eixos, rodas, parafusos, biela, cilindro, estrutura do banco, entre outras (AÇO BRASIL, 2015).

Por ser um dos maiores consumidores de aço, o setor automobilístico se destaca na pesquisa e consequente aplicação de novas técnicas que visam a melhoria tanto de processo quanto de produto, como os procedimentos que visam a proteção das peças contra a corrosão. Os objetivos corporativos de hoje incluem não apenas o sucesso econômico, mas também a proteção ambiental como parte integrante da estratégia de criação de valor a longo prazo da empresa. Um exemplo disso é a fosfatização, um dos processos de tratamentos de superfícies ainda mais utilizados, seja com a intenção de proteção temporária, revestimento de base para outros tipos de tratamento superficial, como até mesmo como condicionamento para outros processos de fabricação, em especial em produtos que requerem alta qualidade e resistência à corrosão. Sabendo que a fosfatização convencional apresenta sérios problemas ao meio ambiente, com o passar dos anos, diversos processos sustentáveis vêm sendo estudados e aprimorados a fim de reduzir os impactos ambientais, assim como os custos com esse tipo de processo.

Com o intuito de minimizar os resíduos industriais e também atingir o desenvolvimento sustentável, tendo em vista à geração de menores quantidades de resíduos e reduções significativas do uso de recursos naturais, a utilização da nanotecnologia como substituição do processo de fosfatização vem sendo cada vez mais utilizada pelas indústrias como uma alternativa para o tratamento de superfícies e proteção contra corrosão. Revestimentos nanocerâmicos podem ser aplicados em diversos tipos de metais, pois apresentam uma grande eficiência como protetivo contra corrosão, promovem uma excelente aderência entre a camada de tinta e o substrato metálico, além de demandarem um menor consumo de energia por trabalharem à temperatura ambiente e permitirem aplicação sem a necessidade de enxágue final. O tratamento dos efluentes gerados é mais simples e a geração de resíduos é em torno de quarenta vezes inferior ao processo de fosfatização.

Em função das melhorias que o revestimento nanocerâmico pode trazer aos processos industriais e visando a substituição total da linha de fosfatização de uma empresa do setor automotivo no sul do Brasil, sem aumentar os impactos ambientais produzidos, bem como preparar as peças para conformação a frio e protegê-las contra corrosão, mantendo o mesmo padrão de qualidade, o presente trabalho apresenta um estudo comparativo do desempenho do revestimento nanocerâmico juntamente com o processo de polimerização.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta seção será apresentada uma breve revisão da literatura envolvendo os conceitos importantes que acercam o assunto retratado no presente trabalho, a fim de proporcionar a melhor compreensão do estudo de caso.

2.1 CONCEITOS E FORMAS DE CORROSÃO

Corrosão é definida como a deterioração de um material, geralmente metálico, resultante de uma reação com o meio em que se encontra. Ocorre de forma espontânea, ou seja, até mesmo o ar, carregado de umidade e oxigênio, pode desencadear esse processo que está presente em todos os metais e segmentos, desde o princípio da extração do mineral até o cotidiano. Por ser uma forma de degradação do metal, é um processo que, além de afetar visualmente os materiais, afeta sua microestrutura e, conseqüentemente, suas propriedades mecânicas. Isto reduz drasticamente o ciclo de vida do material, sendo extremamente nocivo. É um processo que progride através do material até sua destruição total (HOUSTON, 2000).

Os revestimentos anticorrosivos são usados para combater os danos causados pela corrosão a estruturas e equipamentos críticos. Existem diversos métodos que podem minimizar a corrosão, todavia esta não pode ser eliminada definitivamente.

A corrosão pode ocorrer de diversas formas e o seu conhecimento é imprescindível para encontrar as técnicas e mecanismos necessários para a proteção do metal, a fim de aplicar medidas preventivas capazes de reduzir a corrosão à fatores desprezíveis. O primeiro passo é descobrir e investigar os tipos e formas de corrosão. O tipo de corrosão é determinado de acordo com a redução na espessura do material, falha da estrutura, contaminação e valor reduzido de mercadoria, vazamentos, perda de resistência mecânica e a deterioração de outras propriedades essenciais para sustentar a estabilidade das estruturas materiais. (GENTIL, 2003; CALLISTER JR, 2006).

Os tipos de corrosão uniforme ou localizada causadas por reações químicas ou eletroquímicas são diversos e incluem:

- Uniforme ou generalizada – a perda da espessura é uniforme;
- Por placas – localizada em algumas parcelas da peça, apresenta uma espécie de escavação no material;

- Galvânica – resulta do contato elétrico, em presença de um eletrólito, de materiais diferentes;
- Filiforme – filamentos delgados e não profundos que se propagam em diferentes direções;
- Intergranular – corrosão entre grãos da rede cristalina;
- Intragranular – corrosão através dos grãos da rede cristalina;
- Corrosão sob tensão – ação combinada de uma tensão de tração e um ambiente corrosivo;
- Esfoliação – acontece paralelamente à superfície metálica de chapas que tiveram seus grãos achatados e ou alongados, devido à trabalho mecânico;
- Empolamento por H — H atômico penetra no metal e difunde-se rapidamente na rede cristalina;
- Pite – corrosão localizada formando profundos defeitos pontuais, podendo levar à perfuração

2.2 PREVENÇÃO E PROTEÇÃO CONTRA CORROSÃO

A corrosão do metal pode ser minimizada em quase todas as situações, gerenciada ou até mesmo interrompida, fazendo uso de técnicas adequadas. Tais métodos de prevenção e proteção estão disponíveis em diversos tipos e são implantados de acordo com as instâncias envolvidas em um metal corrosivo.

A prevenção e proteção contra corrosão tem como finalidade controlar a reação do metal com o meio, preservando características técnicas e tempo de vida útil. É possível evitar a corrosão a partir de uma boa compreensão das condições que contribuem para que ela ocorra, sendo assim, medidas são elaboradas para proteger materiais, substratos e estruturas metálicas da destruição ou deterioração resultante da interação química ou eletroquímica de uma substância com seus arredores. Podemos definir a prevenção da corrosão como: técnicas utilizadas para evitar o esgotamento das propriedades físicas, mecânicas e químicas de um determinado material, além de manter a segurança, confiabilidade e eficácia dos materiais.

Para que um determinado material sobreviva à corrosão, as seguintes medidas preventivas devem ser consideradas: determinar o efeito galvânico do material, estudando sua posição na

série galvânica e analisar e identificar as condições ambientais circundantes que aceleram a corrosão.

As técnicas para prevenção de corrosão podem ser categorizadas em seis grupos básicos: condições de superfície e seleção do metal, modificações ambientais, revestimento protetor, proteção catódica, e inibidores da corrosão (GENTIL, 2003).

Visto que a corrosão não pode ser eliminada em sua totalidade, por ser um processo espontâneo e estar presente em todos os metais, além dos métodos de prevenção existem métodos de proteção contra corrosão, tais como, aplicação de revestimento anti corrosão, proteção catódica ou outros métodos que tornam o metal resistente à corrosão, que são técnicas utilizadas para minimizar o seu efeito. Dentre os fatores a considerar para a seleção do método de proteção podemos citar: condições ambientais, custo, grau de proteção necessário e consequências de falha imprevista em serviço.

A proteção contra a corrosão pode ser feita das seguintes formas: criação de uma barreira entre o metal e o meio corrosivo, introdução de uma substância que inibe a ação química da corrosão e indução de uma atividade galvânica que atua contra a atividade galvânica da corrosão.

Entende-se por Revestimento Protetor o processo de cobrir uma superfície com outra substância a fim de protegê-la temporariamente ou permanentemente da deterioração ou degradação devido ao resultado da sua reação ao meio ambiente ou à agentes corrosivos. Alguns revestimentos não eliminam a corrosão, apenas a minimizam. Já outras variedades de revestimentos, assim como tintas, são utilizados não apenas como protetores, mas também como decorativos.

Existem diversos fatores a serem considerados ao escolher o revestimento mais adequado, tais como: combinações, condições e relações entre materiais, tipo de corrosão que a peça está mais propensa de desenvolver, aplicação da peça, condições ambientais a que a peça será exposta (temperatura, umidade, etc), tempo que peça será exposta ao ambiente corrosivo, e qualidade da superfície da peça.

Alguns revestimentos anticorrosivos apresentam ação protetora devido à formação de películas formadas por óxidos, hidróxidos e outros compostos que reagem com os oxidantes do

meio corrosivo, desde que ocorra a formação de óxidos aderentes. Os mais comuns são: alumínio, cromo, níquel, titânio e zinco.

Para revestimentos não metálicos inorgânicos, os compostos depositados diretamente sobre a superfície como óxidos, nitretos, boretos, carbetos, e silicetos são, de acordo com suas características particulares, processos de proteção onde cada caso e situações corrosivas devem ser analisados. Dentre os processos de proteção de revestimentos não metálicos inorgânicos, pode-se destacar os mais utilizados: anodização, cromatização e fosfatização (GENTIL, 2003; CALLISTER JR, 2006; OLIVEIRA, 2012).

2.3 FOSFATIZAÇÃO

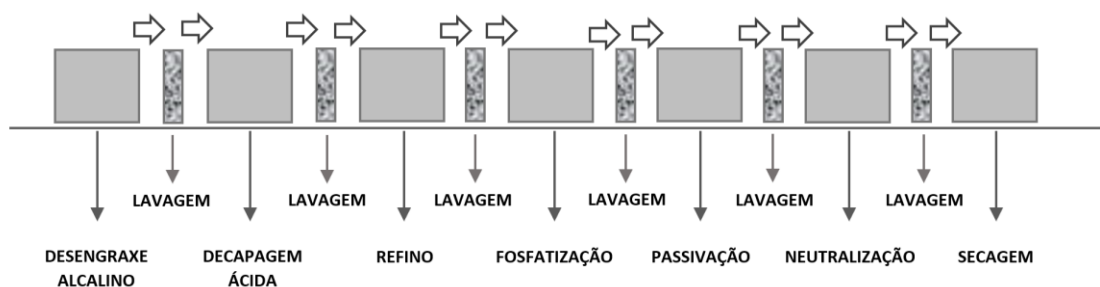
Fosfatização é um dos métodos mais utilizados e importantes do setor de tratamento de superfícies. Além de aumentar a resistência à corrosão, serve como base aderente para uma posterior pintura ou outro revestimento orgânico. Pode ser aplicada na conformação plástica, prevenindo o contato metal-metal devido à sua ação lubrificante, e a consequente redução do coeficiente de atrito. Sendo assim, é possível elevar a vida útil das matrizes ou ferramentas e, eventualmente, aumentar a velocidade das operações de conformação (WOLPERS, 2003).

A fosfatização consiste em recobrir peças metálicas através da deposição de uma camada de fosfato insolúvel, devido à conversão superficial do substrato. O revestimento é formado a partir de uma solução de fosfato de ferro, fosfato de zinco, fosfato de manganês ou fosfato tricatiônico (Zn, Mn, Ni), aceleradores (ClO_3^- e NO_3^-), catalisadores (Ni ou Cu) e água. Em função da alteração do pH interfacial, depositam-se sobre a superfície metálica sob a forma de uma espessa camada de finos cristais. A superfície ativa do metal é, então, convertida em uma superfície não ativa. Pode ser aplicado por pulverização da solução no substrato ou por imersão do substrato na solução.

O processo industrial de fosfatização por imersão, exemplificado na Figura 1, é constituído de diversas etapas e entre cada uma delas há uma etapa de lavagem com o intuito de evitar possíveis contaminações dos banhos. A primeira etapa é o desengraxe alcalino e tem por objetivo remover óleos e sujidades orgânicas presentes. A segunda etapa é a decapagem ácida, que serve para remover óxidos e carepas. Em sequência, a etapa de refino cria pontos de nucleação na superfície metálica que induzem à formação de pequenos cristais. Na etapa de fosfatização o objetivo é depositar uma camada de cristais insolúveis sobre a superfície. Os

cristais se formam por reação química, o que lhes confere ótima ligação com o metal e praticamente cobrem toda a superfície. A camada formada de fosfato apresenta alta porosidade, sendo assim, a etapa de passivação é um tratamento indispensável para se obter a aparência desejada e, dentre outras propriedades, resistência à corrosão, pois tem como finalidade a selagem da camada de fosfato. Nesta etapa as falhas na camada de fosfato são preenchidas, melhorando a proteção anticorrosiva. Segue a etapa de neutralização para a remoção de vestígios de produtos oriundos dos processos de passivação. Por fim a peça passa pela a etapa de secagem, que é de extrema importância, pois superfícies molhadas oxidam mais rapidamente e, no caso da pintura, impedem a ancoragem da tinta (GENTIL, 2003; DONOFRIO, 2004).

Figura 1: Linha de deposição da camada de fosfato.



FONTE: Adaptação de (GNECCO, 2003)

Por ser um processo que contém diversas etapas que consomem um elevado volume de água e por conter em sua composição fósforo, uma alta quantidade de produtos químicos perigosos e metais pesados, tais como ácido sulfúrico e níquel, o que, conseqüentemente, promove consideráveis quantidades de efluentes e resíduos, a fosfatização convencional apresenta sérios riscos e danos ao meio ambiente. Além disso, para a realização deste tratamento, é necessária uma alta quantidade de energia para o aquecimento dos tanques, alto custo para tratamento, confinamento e incineramento do lodo gerado no processo e altos custos de manutenção devido à corrosão química do equipamento, o que acaba impactando também na viabilidade econômica do processo (WENG, WANG e ZHANG, 1998).

2.4 POLIMERIZAÇÃO

A reação de polimerização é um dos tipos mais importantes de composição de macromoléculas e, em geral, ocorre entre compostos de dupla ligação que se combinam quimicamente. Esse tipo de reação pode ser dividido basicamente em dois grupos: polimerização por adição e a polimerização por condensação. A escolha de uma técnica específica depende dos fatores cinéticos relacionados ao comprimento e composição da cadeia, tecnológicos, tais como troca de calor, velocidade de reação, viscosidade da mistura reacional, morfologia do produto e econômicos, custos de produção, aspectos ambientais, etapas de purificação, dentre outros (FELTRE, 2002).

O processo a base de polimerização vem sendo recentemente estudado e utilizado como alternativa na substituição do processo de fosfatização, a Figura 2 apresenta a composição química de um exemplo de produto polimerizante que vem sendo utilizado para esses fins. Esse processo é chamado industrialmente de polímero, apesar de ser a base de compostos inorgânicos, de acordo com as informações do fabricante, ilustrada na Figura 2.

Figura 2: Composição química do BONTERITE L-FM 743.

Produtos de base do preparado:

Sais inorgânicos

Declaração dos ingredientes de acordo com o Regulamento CLP (EC) N° 1272/2008:

Componentes nocivos N.º CAS	Número CE Reg. REACH N°	Conteúdo	Classificação
tetraborato de dipotássio 1332-77-0	215-575-5	10- 20 %	Repr. 2 H361d
bis(ortofosfato) de trizínco 7779-90-0	231-944-3 01-2119485044-40	2,5- < 10 %	Aquatic Chronic 1 H410 Aquatic Acute 1 H400 Factor-M 10
piritona zinco 13463-41-7	236-671-3 01-2119511196-46	< 0,25 %	Acute Tox. 3; Oral H301 Eye Dam. 1 H318 Acute Tox. 3; Inalação H331 Aquatic Acute 1 H400 Aquatic Chronic 1 H410 Factor-M 100

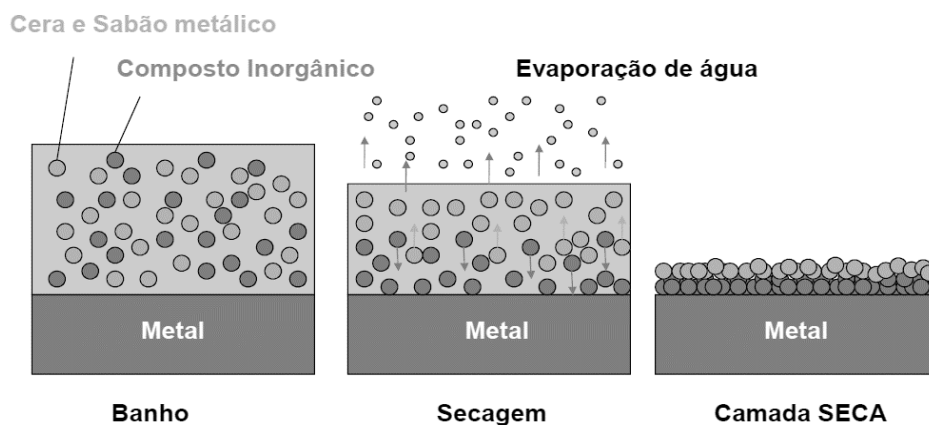
A etiquetagem do produto é indicada na secção 2. O texto completo de todas as abreviaturas indicadas por códigos nesta ficha de dados de segurança é o seguinte:

H301 Tóxico por ingestão.
H318 Provoca lesões oculares graves.
H331 Tóxico por inalação.
H361d Suspeito de afectar o nascituro.
H400 Muito tóxico para os organismos aquáticos.
H410 Muito tóxico para os organismos aquáticos com efeitos duradouros.

FONTE: FISPQ (Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos) do BONTERITE L-FM 743.

O depósito de polímero sobre o substrato cria uma camada homogênea, conforme podemos ver na Figura 3. O filme polimérico apresenta resultados semelhantes em relação à sua ação lubrificante, ou até melhores, em comparação com a camada convertida de fosfato. É um processo mais simples que a fosfatização, pois apresenta menos etapas para a formação do filme protetor. A aplicação do polímero pode ser feita, dentre outras formas, por imersão. As etapas pertencentes a este processo estão exemplificadas na Figura 4 e são respectivamente as seguintes: limpeza mecânica por jateamento de granalha e banho com água deionizada, para lavagem e preparo da superfície da peça, imersão na solução contendo o polímero diluído, para que inicie a deposição do polímero sobre a peça e, por fim, secagem, etapa na qual toda a água da solução evapora e sobre a superfície só permanece a camada de polimérica (Boletim Técnico do produto BONTERITE L-FM 743).

Figura 3: Mecanismo de deposição da camada de polímero.



FONTE: FABRETE, 2017

Figura 4: Etapas processo de polimerização para conformação à frio.



FONTE: Adaptado de (FABRETE, 2017)

2.5 NANOTECNOLOGIA E REVESTIMENTOS NANOCERÂMICOS

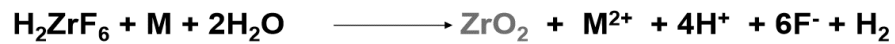
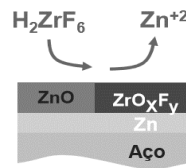
A nanotecnologia é o estudo de manipulação da matéria em escala atômica e molecular, inclui o desenvolvimento de materiais associados a diversas áreas como a medicina, eletrônica, ciência da computação, física, química, biologia, engenharia, entre outras. A atuação nessas áreas tem como princípio básico a elaboração de estruturas e novos materiais a partir do arranjo de átomos. Esse tipo de tecnologia trabalha dentro da escala nanométrica, geralmente entre 0,1 e 100 nanômetros. Propriedades térmicas, ópticas, magnéticas e elétricas podem ser atingidas quando certos materiais são submetidos à miniaturização em nanopartículas, mantendo-se a composição química. A possibilidade de manipular o átomo abre inúmeros panoramas e trabalhar a matéria em escala atômica permite expandir o horizonte de inovações.

Dentre os principais benefícios do avanço da nanotecnologia pode-se destacar: controle das características desejáveis, otimização do uso de recursos, menor impacto ambiental, desenvolvimento de fármacos com menores efeitos colaterais e aumento da capacidade de processamento de sistemas computacionais. (BUSHAN, 2004)

Com o decorrer dos anos a nanotecnologia, tem sido cada vez mais incorporada em tratamentos de superfícies. Os revestimentos nanocerâmicos, por exemplo, apresentam uma delgada camada em escala nanométrica que se deposita sobre o substrato. Essa camada inorgânica de alta densidade resulta em uma elevada resistência à oxidação, corrosão, erosão e desgaste em altas temperatura, além de serem compatíveis com revestimentos poliméricos, garantindo uma boa adesão entre o substrato e a tinta.

O revestimento nanocerâmico é produzido em um curto espaço de tempo e o seu depósito de óxidos metálicos atinge um pico nos primeiros trinta segundos, após isso, segue um comportamento aproximadamente constante. A Figura 5 exemplifica a formação da camada nanocerâmica a base de hexafluorzircônio em um substrato de aço.

Figura 5: Mecanismo de formação da camada de nanocerâmico.



M = Substrato Tratado Fe, Zn, Al, Mg

FONTE: Adaptado de (FABRETE, 2018)

O processo de revestimento nanocerâmico, ao ser comparado com o processo de fosfatização, pode ser considerado ambientalmente favorável, uma vez que não apresenta metais pesados e íons de fosfatos. Além disso, reduz o volume de efluente a ser tratado devido ao baixo número de produtos químicos utilizados e por consumir menos água. É economicamente vantajoso por apresentar um menor tempo de tratamento, resultando em ganho de produção, necessitar menos estágios no decorrer do processo e de poder ser realizado à temperatura ambiente, o que resulta na redução do consumo de energia (DRONIOU, 2005).

8 REFERÊNCIAS

AÇO BRASIL. **Aço no Dia a Dia**. Disponível em: <<http://www.acobrasil.org.br/site2015/diadia.html>> Acesso em: 27 de abril de 2018.

ASTM B 117 - 09 Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus.

Boletim Técnico do produto BONDERITE M-NT CC 42 BR. Henkel Ltda, 2013.

Boletim Técnico do produto BONTERITE L-FM 743. Henkel Ltda, 2014.

BUSHAN, B. Springer Handbook of Nanotechnology, First Edition, New York, Springer Verlag, 2004.

CALLISTER JR, W. D. **Fundamentos da Ciência e Engenharia de Materiais - Uma abordagem integrada**. Rio de Janeiro : LTC, 2006.

DONOFRIO, John. **Zinc phosphating. Metals and Plastics Publications. s.l. : Oakite Products Inc, 2004. Vol. 102.**

DRONIOU, Patrick. **Nanoceramic-based Conversion Coating: Ecological and economic benefits position process as a viable alternative to phosphating systems**. Organic Finishing, 2005.

FABRETE, Emerson. **Substituição do fosfato e Lubrificante para Conformação à Frio**. Henkel, 2017.

FABRETE, Emerson. **Tratamento de Superfície: Fosfatização, Nanotecnologia e Autodeposição**. Henkel, 2018.

FELTRE, Ricardo. **Química**. São Paulo: Moderna, 2004.

FISPQ (Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos) do BONDERITE M-NT CC 42 BR. Henkel Ltda, 2017.

FISPQ (Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos) do BONTERITE L-FM 743. Henkel Ltda, 2015.

GENTIL, Vicente. **Corrosão. s.l. : LTC, 2003.**

GNECCO, Celso, Mariano, Roberto e Fernandes, Fernando. **Tratamento de superfície e pintura**. Rio de Janeiro : IBS/SBCA, 2003.

NBR8094 - Método de ensaio para material metálico revestido e não revestido: corrosão por exposição à névoa salina.

OLIVEIRA, Antônio Roberto de. **Corrosão e tratamento de superfície** / Antônio Roberto de Oliveira. — Belém: IFPA ; Santa Maria : UFSM, 2012.

VAN DELINDER, L.S. **Corrosion Basics: An Introduction** Ed., NACE International, 1984.

WENG, Duan, WANG, Rizhong e ZHANG, Guoqing. **Environmental Impact of Zinc Phosphating in surface treatment of metals**. Metal Finishing, 1998.

WOLPERS, Kevin Ogle e M. **Phosphate Conversion Coatings**; ASM Handbook; ASM International; 2003.