

3. Corrosão – Mecanismos, Prevenção e Teste	
GalvInfoNote	Como o Zinco Protege o Aço
3.1	
	Rev1.1jan 2011

Introdução

A chapa de aço é um produto muito versátil. Ela existe em muitos tamanhos e tipos, além de ser aplicada em muitos usos finais, incluindo construções de aço, painéis automotivos, placas e eletrodomésticos. O baixo custo, força e conformabilidade do aço são algumas razões para seu uso tão popular. Infelizmente, ele é propenso à ferrugem, um fenômeno que faz com que a superfície se torne disforme e, com passar do tempo, isso pode contribuir para falhas do produto. Por esse motivo, o aço é protegido por uma série de métodos, variando de ligas internas, como aço inoxidável, até revestimentos com metais e/ou tintas.

A corrosão é um processo eletroquímico que, no caso de chapa de aço, oxida o ferro no aço e faz com que o aço se torne mais fino com o passar do tempo. A oxidação, ou ferrugem, ocorre como resultado de uma reação química entre o aço e o oxigênio. O oxigênio está sempre presente no ar, ou pode estar dissolvido em forma de umidade na superfície da chapa de aço. Durante o processo de ferrugem, o aço é, na verdade, consumido durante a reação de corrosão, que o converte em produtos de corrosão. Na maioria dos casos de chapas de aço com baixo teor de carbono, o óxido de ferro (ferrugem) se desenvolve na superfície, que não é protetora porque não se forma como um filme aderente contínuo. Em vez disso, ocorrem desgastes, expondo o ferro fresco à atmosfera, o que, por sua vez, permite que a corrosão ocorra. Este aspecto do comportamento da chapa de aço é muito indesejável, tanto esteticamente como com relação ao tempo de vida. Geralmente mais cedo do que desejado, a chapa de aço é corroída o suficiente para diminuir indevidamente seu tempo de vida, isto é, acarretando perda de força estrutural ou perfuração e invasão de água.

Felizmente, há muitos revestimentos que podem ser aplicados ao aço de maneira econômica para conferir ao aço proteção contra corrosão suficiente, de modo que ele possa ser utilizado para uma variedade de aplicações exigidas. Consulte a GalvInfoNote 1.6 para mais informações sobre a escolha de designações e tipos de revestimento.

Revestimentos de Tinta

Um revestimento bem desenvolvido para o aço é a tinta. Vários tipos de tinta foram desenvolvidos através dos anos, que oferecem um excelente desempenho em chapas de aço. Tintas são revestimentos de barreira que, quando aplicados e utilizados adequadamente, oferecem proteção suficiente contra corrosão ao aço para muitas aplicações comuns. No entanto, tintas não são impermeáveis à água e a ferrugem pode ocorrer por baixo, mesmo com a tinta perfeitamente aplicada, se o tempo de exposição à umidade for longo o suficiente ou em tempos mais curtos se a umidade contiver químicos corrosivos. Além disso, as áreas expostas do aço, tais como bordas cisalhadas e arranhões na tinta, são propensas aos mesmos mecanismos de ferrugem do aço não-pintado. Ferrugem adicional nessas áreas expostas pode causar degradação de aderência da pintura. Por exemplo, o óxido de ferro que se forma em um arranhão levanta o filme da pintura adjacente ao arranhão. Isso permite uma corrosão mais avançada por baixo do filme do aço e uma perda final de aderência. Algumas tintas são melhores em resistir a isso do que outras, mas no fim, se há umidade suficiente presente, e especialmente se a umidade contiver químicos altamente corrosivos, níveis de ferrugem inaceitáveis serão apresentados. Mesmo se a quantidade de ferrugem não tiver impacto adverso na força do aço, ela certamente causa uma aparência desagradável.

Revestimentos Metálicos

Revestimentos metálicos são métodos bem desenvolvidos de proteção ao aço que podem ser feitos de duas maneiras:

1. Fornecem **Proteção por Barreira** e
2. **Proteção galvânica** na maioria dos casos.

Estes mecanismos de proteção estão descritos abaixo.

Proteção por Barreira

O mecanismo principal através do qual revestimentos galvanizados protegem o aço é por meio de uma barreira impermeável que não permite que a umidade entre em contato com o aço, já que sem umidade (eletrólito) não há corrosão. A natureza do processo de galvanização garante que o revestimento metálico de zinco tenha ótima aderência, abrasão e resistência à corrosão.

Revestimentos galvanizados não degradarão (rachaduras, bolhas e descasques) da mesma maneira que se houvesse outros revestimentos de barreira como tinta. Entretanto, o zinco é um material reativo que vai se corroendo e desgastando lentamente. Por este motivo, a proteção oferecida pelo revestimento galvanizado é proporcional à sua espessura e ao índice de corrosão. Portanto, é importante compreender o mecanismo de corrosão do zinco e quais fatores afetam esse índice.

A chapa de aço galvanizada recentemente exposta reage com a atmosfera ao seu redor para formar uma série de produtos de corrosão do zinco. Na presença de ar, o zinco recém-exposto reage com o oxigênio para formar uma camada de óxido de zinco firme e muito fina. Quando a umidade está presente, o zinco reage com a água, resultando na formação de hidróxido de zinco. O produto final da corrosão é o carbonato de zinco, que se forma quando o hidróxido de zinco reage com o dióxido de carbono no ar. O carbonato de zinco é uma camada fina, firme e estável (insolúvel em água) que proporciona uma proteção ao zinco abaixo e é a razão primária para seu baixo índice de corrosão na maioria dos ambientes. Consulte a GalvInfoNote 3.2 para mais informações sobre os filmes que se formam no zinco.

Outros revestimentos metálicos, como o alumínio, também proporcionam uma boa proteção e barreira para a chapa de aço. Por que esse é o caso do alumínio? Similar ao aço e ao zinco, o alumínio reage no ar para formar um filme óxido em sua superfície. No entanto, ao contrário do comportamento do óxido de ferro, e semelhante ao que acontece com o zinco, o filme de óxido de alumínio que se forma não se divide e se mantém como um filme com aderência muito forte e intacto na superfície do alumínio. Ao prevenir a exposição do alumínio fresco ao ar e à umidade, este filme intacto impede a corrosão do alumínio abaixo. O óxido se mantém como um filme não corrosivo estável.

Proteção Galvânica (Catódica)

O segundo mecanismo de defesa é a habilidade do zinco em proteger o aço galvanicamente. Quando o aço base está exposto, como numa extremidade cortada ou em um arranhão, o aço é catodicamente protegido pela corrosão anódica do revestimento de zinco. Isso ocorre porque o zinco é mais eletronegativo (mais reativo) que o aço na série galvânica, conforme mostrado abaixo.

Série Galvânica de Metais e Ligas
Extremidade Corroída – Anódica
(Eletronegativo)
Magnésio
Zinco
Alumínio
Cádmio
Ferro ou Aço
Aço Inoxidável (ativo)
Chumbo
Estanho
Cobre
Ouro
(Eletropositivo)
Extremidade Protegida – Catódica ou mais nobre

Observação: qualquer um desses metais e ligas irá teoricamente corroer enquanto protege qualquer outro que estiver abaixo na série, **contanto que ambos sejam parte de um circuito elétrico.**

Na prática, isso significa que um revestimento de zinco não será rebaixado por aço enferrujado porque o aço adjacente ao revestimento de zinco não pode ser corroído. Qualquer exposição do aço na camada abaixo, devido à danificação severa do revestimento ou corte na extremidade, não resultará em corrosão do aço até que o zinco adjacente seja consumido. A menos que áreas relativamente grandes de aço estejam expostas, o efeito no tempo de vida geral do revestimento é mínimo.

A distância de proteção galvânica efetivada do zinco depende do ambiente. Quando umedecido completa e continuamente, especialmente por um eletrólito forte, como água do mar, áreas relativamente grandes de aço expostas serão protegidas contanto que ainda exista um pouco de zinco. Na presença de ar, onde o eletrólito é somente superficial ou presente de maneira descontínua (como de orvalho ou chuva), áreas menores de aço nu estão protegidas. A “potência de cobertura” é de cerca de 0,125 pol. [3.2 mm], embora isso possa variar de modo significativo de acordo com o tipo de atmosfera.

Se o revestimento é consumido, por que utilizá-lo? No caso do revestimento de zinco, o índice de corrosão a que ele se submete ao proteger o aço é consideravelmente mais baixa do que a do aço (pelo menos 10 vezes menor). Assim, um revestimento fino de zinco pode proteger o aço por um longo tempo. Por exemplo, em uma atmosfera rural, onde o número e a concentração de poluentes no ar são geralmente bem baixos, o zinco deve corroer em um índice de 0,04 mil/ano [1.0 η m/ano], enquanto o aço de baixo teor de carbono neste mesmo ambiente pode corroer a um índice 10 vezes mais alto (0.4 mil/ano [10 η m/ano ou]), ou até mais. A principal razão para o índice reduzido de corrosão do zinco em comparação com o índice do aço é que, à medida que ocorre a corrosão, o zinco forma um filme aderente protetor de óxido/carbonato em sua superfície, semelhante ao filme óxido na superfície de alumínio. Este filme ajuda a prevenir o contato entre o ambiente e o zinco fresco, mantendo baixo o índice de corrosão. Lembre-se que o aço normalmente não forma um filme protetor, pois a camada de óxido se destaca, constantemente expondo ferro fresco no ambiente.

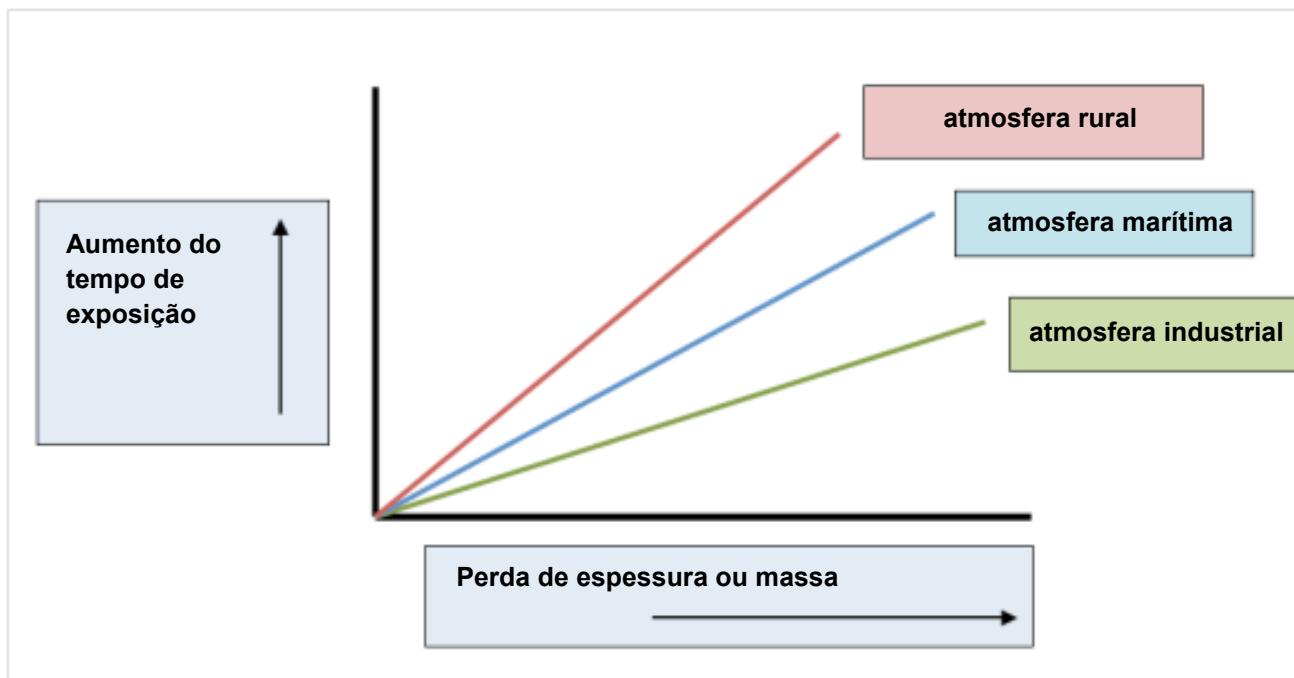
O filme que se forma na superfície do zinco não é tão protetor quanto o filme do óxido de alumínio na superfície do alumínio metálico. Uma razão para isso é que o carbonato/óxido de zinco é propenso à dissolução se a umidade for ácida o suficiente. Isso pode ser bom e ruim. É bom porque, se o filme óxido protegesse totalmente, o zinco não poderia mais oferecer proteção galvânica ao aço em áreas expostas. A ferrugem do aço ocorreria, portanto, em arranhões e outras áreas expostas. O lado ruim da proteção do filme de óxido numa chapa galvanizada é que o revestimento corrói e é eventualmente consumido.

Outros Revestimentos de Proteção Galvânica

Dentre as chapas de aço com revestimentos metálicos disponíveis no mercado, o zinco (galvanizado) oferece a maior proteção galvânica. O revestimento de liga de zinco-5% alumínio se comporta de modo semelhante no tocante ao nível de proteção galvânica que é fornecido. A chapa de aço com revestimento de liga de 55% de alumínio-zinco oferece uma proteção galvânica reduzida contra um revestimento de liga de Zn-5% Al ou galvanizado. O que isso significa sobre o desempenho relativo desses produtos?

Como muitas coisas na vida, tudo vem com um preço. Revestimentos com proteção galvânica são consumidos pela corrosão com o tempo. Por isso uma chapa galvanizada tem uma longevidade definida, isto é, o tempo antes que a corrosão do aço comece. Assim, a quantidade de zinco aplicada durante a fabricação, descrita como peso [massa] do revestimento, é importante para a vida do produto. O peso [massa] do revestimento é expresso utilizando terminologia como G60 [Z180], G90 [Z275], G200 [Z600] etc. conforme Especificação ASTM A653/A653M. G60 [Z180] significa que o peso [massa] do revestimento é de 0,60 oz/ft² [180 g/m²], no mínimo (revestimento total nos dois lados da chapa). Este peso [massa] do revestimento pode ser traduzido em espessura; um revestimento G60 [Z180] de zinco tem cerca de 0,00055 pol. [0,014 mm] de espessura por lado.

Para um revestimento galvanizado, o índice de corrosão é normalmente linear na maior parte dos ambientes, isto é, a espessura de revestimento aumentada em duas vezes significa o dobro do tempo de “vida”. Claro que alguns ambientes são mais ou menos corrosivos que outros; portanto, a “vida” do revestimento varia consideravelmente em diferentes “tipos de ambiente”. O seu comportamento é mostrado na figura abaixo.



Nota: para uma versão quantitativa deste quadro, consulte a GalvInfoNote 1.6

Nos três tipos de atmosferas, todas exibem diferentes índices de corrosão, mas o comportamento é linear. Por exemplo, um revestimento G90 [Z275] exibirá uma vida mais longa em uma atmosfera rural do que em uma atmosfera industrial poluída, mas a taxa ainda é linear em ambos os ambientes. Uma espessura ou massa aumentada em duas vezes é igual ao dobro de tempo de vida do revestimento.

Agora, considere a vida de um revestimento de liga de 55% Al-Zn, um produto que claramente exibe menos proteção galvânica do que um revestimento galvânico, pelo menos após algum tempo de exposição. Um revestimento de liga de 55% Al-Zn, sendo menos galvânico por natureza, é menos reativo. Esta é a razão pela qual a vida deste produto revestido é consideravelmente maior (na maioria dos casos) do que um revestimento galvanizado de espessura comparável. Este comportamento de um revestimento de liga de 55% Al-Zn é a razão pela qual ele vem sendo utilizado com sucesso em aplicações de coberturas nuas. Claro que há aplicações na quais uma natureza galvânica mais alta do zinco é desejada. Além disso, há outros pontos que precisam ser levados em consideração ao selecionar um produto para uma aplicação específica.

Vida de um Revestimento Galvanizado em Diferentes Ambientes

Estabelecemos que um revestimento galvanizado protege o aço:

1. Por meio de dois mecanismos – proteção por barreira e proteção galvânica, e
2. Por meio de índice linear de corrosão para qualquer tipo de ambiente específico, e
3. Por períodos de tempo consideravelmente diferentes, dependendo do ambiente específico

Qual é a vida do produto em aplicações específicas? A resposta a essa pergunta é muito complexa. Há artigos escritos sobre este assunto. Duas excelentes referências são:

Corrosion Resistance of Zinc and ZincAlloys[resistência contra corrosão de zinco e ligas de zinco], de Frank C. Porter, publicado pela Marcel Decker, Inc., 1994

Corrosion and Electrochemistry of Zinc[corrosão e eletroquímica do zinco], de Xiaoge Gregory Zhang, publicado pela Plenum Press, 1996

A seguinte tabela contém uma pequena quantidade de dados do livro Frank Porter.

Tipo de Local/Ambiente	Índice de Corrosão, $\eta\text{m/ano}$ por 5 anos
State College, PA/rural	1,0
South Bend, In/semi-rural	1,9
Middletown, OH/semi-industrial	1,3
Kearny, NJ/Industrial-urbano	4,5
Kure Beach, NC/marítimo	1,1
Daytona Beach, FL/marítimo	1,8
Montreal, Quebec/industrial-marítimo	3,5
Esquimalt BC/rural-marítimo	0,5
Sheffield GreatBritain/industrial	5,1

Estes dados são para exposição na atmosfera. Há muitas outras aplicações para chapas galvanizadas nas quais o índice de corrosão pode ser diferente. Estas incluem: contatos com água, enterradas no solo, contato com concreto, áreas cobertas em construções tais como debaixo de beirados, dutos em prédios, etc. Para cada uma dessas e outras aplicações, o desempenho à corrosão depende de muitos aspectos específicos de aplicação. Por exemplo, quando utilizada em contato com concreto, com que frequência a chapa galvanizada/concreto entra em contato com água? Quando enterrada no solo, qual o pH e a permeabilidade do solo, a quantidade de oxigênio, etc.? Quando utilizada em dutos, o produto sofre condensação ocasionalmente ou com regularidade? Há poluentes na condensação? Muitas perguntas desse tipo são respondidas nos artigos de referência.

Conforme explicado na GalvInfoNote 1.6, é preciso enfatizar que muitos dos dados de corrosão do zinco foram criados nas décadas de 1950–1970. Poluentes agressivos, tais como o dióxido de enxofre, possuem níveis bem menores do que em meados do século XX. O tempo de vida de um galvanizado em, digamos, áreas urbanas-industriais é agora mais longo do que era entre 30 e 50 anos atrás. Por outro lado, as taxas de corrosão em ambientes marinhos não mudaram muito, uma vez que a taxa de perda de zinco é regida mais pela quantidade de sal marinho depositado do que em poluentes do ar.

A expectativa de vida de chapas galvanizadas é agora determinada de maneira mais confiável utilizando um **Indicador de Vida de Revestimento de Zinco (ZCLP)**. Este software foi desenvolvido por Gregory Zhang, da TeckCominco, e pode ser encontrado em www.galvinfo.com na seção **GalvInfo Library – Additional Information**. É aplicável para todo aço zincado, isto é, revestimentos compostos exclusivamente de zinco. Isso não se aplica aos revestimentos de zinco/alumínio ou alumínio/zinco. Ele realiza cálculos baseados em modelos estatísticos, tecnologia de rede neural e um banco de dados mundial extenso. Os dados ambientais inseridos, obtidos pelo AGA, são da Internet. Os **índices de corrosão calculados** utilizados para gerar o quadro de tempo de vida na Figura 1 da GalvInfoNote 1.6 são baseados no modelo ZCLP e são uma média de seis diferentes cidades da América do Norte em cada uma das cinco categorias climáticas. É importante enfatizar que os índices de corrosão dados pela ZCLP são **cálculos** baseados em modelos que utilizam dados ambientais e **não** são baseados em índices reais de corrosão medidos nos respectivos ambientes.

Resumo

Esperamos que esta discussão auxilie na explicação de algumas dúvidas associadas ao efeito dos revestimentos no comportamento de chapas de aço revestidas perante a corrosão. Este campo de tecnologia possui muitos aspectos que não podem ser explicados em um breve artigo como esse. Caso você tenha outras perguntas sobre este assunto muito extenso, por favor, entre em contato com a Central GalvInfo. Consulte a GalvInfoNote 1.6 para mais informações sobre como escolher tipos e designações de revestimentos.

Outra fonte de informação sobre como o zinco protege o aço pode ser encontrada no Guia de Metais ASM Vol. 13B Corrosão: Materiais, 2005, pp. 402-417, disponível em: <http://asmcommunity.asminternational.org/portal/site/www/>

Copyright © 2011 - IZA

Isenção de Responsabilidade:

Artigos, relatórios de pesquisas e dados técnicos são fornecidos apenas para fins informativos. Embora os editores esforcem-se para fornecer informações precisas e atuais, a Associação Internacional de Zinco não abona os resultados das pesquisas e informações relatadas neste comunicado e se isenta de toda e qualquer responsabilidade por danos resultantes da confiança nos resultados relatados ou outras informações contidas neste comunicado, incluindo, mas não limitando a, danos acidentais ou consequentes.

GalvInfo Center

email: info@galvinfo.com