

3. Corrosão – Mecanismos, Prevenção e Teste	
GalvInfoNote	<b>Corrosão de Atrito (Abrasão durante o Transporte) em Chapas Galvanizadas</b>
<b>3.5</b>	
Rev 1fev 09	

## Introdução

Às vezes, as superfícies de chapas galvanizadas exibem uma imperfeição que aparece como nódoas, marcas, linhas ou manchas permanentemente pretas. Este defeito tem muitos nomes, incluindo abrasão durante o transporte, oxidação por fricção, oxidação por desgaste e fadiga por atrito; todos são termos utilizados para uma forma de corrosão-erosão conhecido como corrosão de atrito. É um fenômeno que é visto com mais frequência em superfícies de metal em conjuntos mecânicos (ex: juntas com parafusos, rebites, chavetas ou pinos) e contatos elétricos, mas que pode ocorrer em superfícies de chapas galvanizadas sob certas condições. Apesar de superficial, as marcas pretas de atrito em chapas galvanizadas são quase impossíveis de se remover e não é resultado direto de danos causados por água em grande volume – que também pode causar manchas pretas (junto com brancas) em suas formas mais graves. Quando a corrosão por atrito ocorre nas superfícies de chapa galvanizadas, água em seu estado líquido não é necessária para sua criação, embora a corrosão por atrito possa ocorrer nas mesmas áreas de chapas que estão também danificadas por mancha de estocagem devido à umidade presa.

## Mecanismos de Corrosão de Atrito

*A corrosão de atrito trata de danos de corrosão causados por asperezas de superfícies de contato. Este dano ocorre sob carga e na presença de movimento relativo de superfície repetitivo, geralmente induzido por vibraçãoii.*

Os requisitos para a corrosão de atrito são: a interface deve estar sob carga, vibração ou movimento relativo repetitivo deve ocorrer, e a carga e o movimento relativo devem ser suficientes para produzir deformação na superfícieiii. Dois mecanismos são propostos para corrosão de atrito: desgaste por oxidação ou oxidação por desgaste. O primeiro teoriza que soldagem a frio (fusão) ocorre no contato de asperezas sob carga e, durante movimento relativo subsequente, esses pontos de contato se rompem, com pequenos fragmentos de metal sendo removidos. Estes pequenos fragmentos imediatamente oxidam. O processo é repetido, resultando em um acúmulo de resíduos de óxido. O modelo de desgaste por oxidação propõe que a camada de oxidação já esteja presente e, quando as superfícies de contato são submetidas a movimento relativo sob carga, esta camada é rompida nos pontos mais altos produzindo detritos de óxido. O metal exposto é oxidado e o processo é repetido. Investigações mostraram que estes mecanismos operam para produzir uma corrosão de atrito.

Um deslocamento tão pequeno quanto  $4 \times 10^{-9}$  pol. [10-4  $\mu\text{m}$ ] pode causar atritoiv. Raramente é visto em amplitudes acima de 0,001 pol [25  $\mu\text{m}$ ] e alcança um máximo de 0,0003 pol [7.5  $\mu\text{m}$ ].v

A razão pela qual o atrito pode ser um problema sério é que ele comumente acontece na interface de duas superfícies altamente carregadas, que não estão projetadas para mover uma contra a outra. No caso de maquinário, isso pode, sem intenção e prematuramente, desgastar peças e ainda induzir trincas que podem causar falhas por fadiga. Em equipamentos elétricos, pode aumentar a resistência e causar conexões intermitentes ou falhas de circuito inesperadas.

## A Corrosão de Atrito na Chapa Galvanizada

Por muitos anos, problemas de atrito foram observados em aço galvanizado, tanto em forma de bobinas e em feixes de chapas cortadas. O defeito nunca é visto na linha de produção e, quando descoberto, é quase sempre nas instalações do cliente. Isso tende a ser mais comum em bobinas e materiais mais espessos que 0,030 pol [0.8mm]vi. Também é caracterizado por uma imagem espelhada de menor intensidade do lado reverso da chapa.

As figuras 1 e 2 ilustram a aparência de atrito nas superfícies galvanizadas. Neste caso, as marcas estão próximas das bordas desta chapa e supostamente possuem imagens simétricas no lado oposto da superfície. A Figura 2 é um aumento da marca do lado direito da Figura 1.



Figura 1 Atrito perto da borda da bobina

(Cortesia da Shantanu Chakraborty/Rajib Chatterjee – TATA STEEL - Índia)



Figura 2 Close do lado direito da Figura 1

Outra observação feita sobre a natureza dessas marcas, no caso do material em forma de bobina nas Figuras 3 e 4, é que as marcas estão localizadas exclusivamente na área de contato do suporte que prende o gancho à(s) bobina(s). As bobinas foram enviadas com seus olhais em posição horizontal e alinhados de maneira perpendicular à direção do movimento.



Figura 3 Atrito na área de contato

(Cortesia de Shantanu Chakraborty/Rajib Chatterjee – TATA STEEL - Índia)



Figura 4 Atrito na área de contato

A Figura 5 é de um atrito em chapa galvanizada ondulada observado após o transporte de uma unidade de conformação de chapas por rolos a um canteiro de obras.



Figure 5 Abrasão durante o Transporte (atrito) em chapa de aço galvanizada ondulada

Considerando que o movimento relativo entre as superfícies é um requisito para que o atrito ocorra, de onde estas marcas no galvanizado vieram e por que elas são pretas e impossíveis de remover?

Os movimentos relativos vêm das vibrações que ocorrem durante o envio do produto. Enquanto esse tipo de dano pode ocorrer em envios por caminhões, isso é raro, provavelmente porque as transportadoras tendem a cobrir curtas distâncias (com menos ciclos de vibrações) e porque a amplitude das vibrações talvez esteja acima do máximo conhecido para causar atrito (25  $\mu\text{m}$ ). No entanto, o modo como o material é apoiado em caminhões (pontos de apoio) e as condições das rodovias podem ter um efeito na ocorrência de abrasão durante o transporte. O transporte por trem e navio/barco é geralmente de maior duração; portanto, qualquer vibração que cause movimento de superfície relativo de baixa amplitude tem muito mais tempo para causar danos à superfície; além disso, a natureza do movimento sobre trilhos de aço e através da água pode ter um papel maior na geração de vibrações de baixa amplitude. Além disso, os grandes motores de energia a diesel utilizados para mover trens e navios pode ser um fator que contribui para a geração destas vibrações.

O segundo fator que contribui para a abrasão de trânsito é a carga nas superfícies. As marcas pretas são raramente encontradas sobre toda a área da superfície de uma chapa, mas estão concentradas em regiões específicas, que foram identificadas em alguns casos, como nas Figs. 3 & 4, como sendo os pontos que carregaram o peso de toda a bobina ou fardo, talvez além de uma carga adicional de produtos empilhados no topo. Estes pontos de apoio são onde a maior pressão pode resultar em asperezas de superfície e é onde o atrito começaria se o movimento relativo entre as superfícies ocorresse.

Com relação às observações de que atrito é menos comum em chapas mais finas que 0,8 mm, isso está possivelmente relacionado ao número de sobreposições por peso unitário de bobina, ou número de chapas por peso unitário de feixes cortados. Quando mais fina a chapa, maior será a área de superfície de contato por volume de unidade para resistir ao movimento relativo induzido pela vibração. Além disso, no caso de bobinas, a chapa fina é rebobinada utilizando uma tensão mais alta do que a utilizada para chapas mais espessas, assim oferecendo menos chance para que as superfícies deslizem umas contra as outras. Em outras palavras, sem outras modificações, chapas mais espessas deslizarão com mais facilidade umas contra as outras do que o mesmo peso em chapas mais finas porque há menos força de fricção (por volume de unidade) para resistir ao deslizamento.

Acredita-se que a razão pela qual as marcas em galvanizados são pretas se origina na natureza das pequenas partículas de óxido de zinco (detritos de desgaste) que são o resultado provável de vibrações de pequena amplitude. O óxido de zinco que é formado pela corrosão de zinco na atmosfera, ou fabricado intencionalmente para utilização industrial, é um pó branco. As marcas pretas de abrasão durante o transporte nas superfícies galvanizadas mostraram ser zinco combinado com uma porcentagem de oxigênio mais alta do que a encontrada no zinco metálico no resto da superfície (veja a Figura 6)viii, indicando uma forma diferente de óxido de zinco. Teorizou-se que este óxido é preto devido a propriedades óticas distintas do óxido de zinco que aparece branco ou devido à maneira através da qual as partículas de óxido muito finas estão ligadas à superfície do zinco básico.

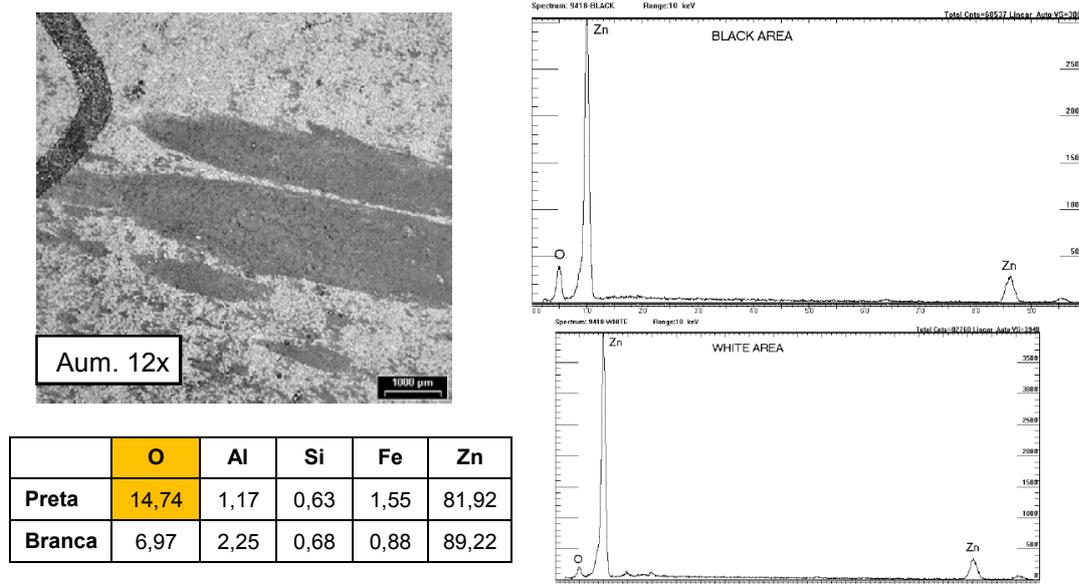


Figura 6 Análise indicando que a área preta tem pelo menos duas vezes mais o conteúdo de oxigênio do que o zinco branco normal  
(Cortesia de Shantanu Chakraborty/Rajib Chatterjee – TATA STEEL - Índia)

## Minimizar a Corrosão de Atrito em Chapa Galvanizada

Há um grande número de medidas preventivas ix,x que podem ser tomadas para minimizar a corrosão de atrito em conjuntos mecânicos. Elas incluem: lubrificar com óleos ou graxas de baixa viscosidade, aprimorando a aspereza da superfície pra alterar os coeficientes de fricção, isolando contra vibração, aumentando a carga ou tensão de recuo para reduzir o deslize e diminuir a carga nos pontos de apoio.

Todas as medidas acima não são práticas no caso de chapas galvanizadas, mas as investigações em um fornecedor de aço indicaram que algumas são eficientes, em graus variados. Uma ação muito efetiva é redesenhar suportes para reduzir cargas concentradas pontuais na parte de baixo da bobina. Distribuindo o peso da bobina na área total da(s) selas(s), há uma diminuição geral de pressão, resultando em menos danos durante o transporte, considerando que sempre haverá vibração presente. Um modo ligeiramente menos eficiente de alcançar os mesmos resultados é reduzir o tamanho da bobina, mas essa talvez não seja uma opção desejada em todas as situações. Com qualquer ação, é preciso tomar cuidado para evitar empilhar bobinas durante o transporte, já que materiais na parte de baixo podem sofrer sobrecarga, mesmo com um bom projeto de berços para transporte.

Outra opção de reduzir atrito é aplicar óleo à chapa, reduzindo a fricção. A aplicação de óleo não foi considerada eficaz em todas as circunstâncias e possui outras desvantagens, como encaixamento das paredes da bobina; óleo vazando pelas paredes e tornando o produto inaceitável para o cliente.

Uma solução óbvia seria eliminar a vibração de pequena amplitude de chapas galvanizadas bobinadas ou em feixes. Atingir isso é muito improvável, considerando a natureza dos métodos de entrega de longa distância.

## Chapa com Marcas de Atrito – Adequação para o Uso

As marcas de atrito em chapa galvanizada são fenômenos óxidos em superfícies, que podem ser um problema majoritariamente estético, mas não há evidência de que elas tenham um efeito negativo na resistência à corrosão. Galvanizados brilhantes possuem uma camada de cobertura de óxido de zinco que não é visível, ao passo que qualquer marca de atrito possui uma camada de óxido, que é preta. Neste caso, o produto pode geralmente ser utilizado em situações onde a aparência não é um fator, como partes estruturais ocultas. Na verdade, a especificação EN 10326 – Condições técnicas de entrega de tirase chapas de aço estruturais revestidas por processo de imersão a quente contínuo declara na cláusula 11.2 que marcas escuras resultantes de fricção durante a entrega geralmente só prejudicam a aparência.

### Resumo

As marcas pretas vistas ocasionalmente em chapas galvanizadas foram apresentadas como sendo resultado de corrosão de atrito, que pode ocorrer durante o transporte do produto, tanto do produtor para o centro fabricante/de serviço quanto do centro fabricante/de serviço para canteiros de obra. Os métodos mais efetivos de minimizar os danos de atrito (abrasão durante o transporte) são reduzir as cargas nos pontos de apoio em bobinas e feixes e aplicar óleo na superfície. O produto com marcas de atrito é geralmente adequado para a utilização e não é um fator importante como no caso de membros estruturais ocultos.

Copyright© 2009 – 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 do 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.

i Bradford, S.A., Corrosion Control, 1993, Van Nostrand Reinhold, (Intl), p.110

ii [www.corrosion-doctors.org](http://www.corrosion-doctors.org)

iii Fontana, M.G., Corrosion Engineering, 1986, McGraw Hill Companies, p.106

iv Ibid. p.106

v Bradford, Op. Cit., p.111

vi Chatterjee, Rajib, TATA STEEL, private communication with the GalvInfo Center

vii Ibid.

viii Ibid

ix Bradford: Op. Cit., p.111

x Fontana, Op. Cit., p.108

xi Chatterjee, Op. Cit.