

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINASUNIS
ENGENHARIA MECÂNICA
WALBERT CARDOSO FRADE

N. CLASS.	M620.11283
CUTTER	F7996
ANO/EDIÇÃO	2013

CORROSÃO E SUAS FORMAS DE MINIMIZAÇÃO

Varginha

2013

FEPESMIG

WALBERT CARDOSO FRADE

CORROSÃO E SUAS FORMAS DE MINIMIZAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS/MG como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel sob Orientação do Prof. Rullyan Marques Vieira.

Varginha
2013

WALBERT CARDOSO FRADE

CORROSÃO E SUAS FORMAS DE MINIMIZAÇÃO

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário de Sul de Minas – UNIS, como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel pela Banca Examinadora composta pelos Membros:

Aprovado em/ /2013

Prof. Me. Luiz Carlos Vieira Guedes

Profa. Esp. Luciene de Oliveira Prósperi.

Prof. Me. Alexandre Lopes

OBS.:

Dedico este trabalho a todos meus professores,
pelos conhecimentos passados, aos amigos
pela ajuda nos momentos difíceis e
principalmente aos meus Pais pelo incentivo
nessa caminhada tão difícil.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus principalmente pela capacidade e sabedoria. Aos meus pais, minha irmã e demais familiares, me auxiliando mesmo com as dificuldades encontradas. Aos meus amigos e colegas do curso de Engenharia Mecânica, que me apoiaram até este momento. Aos professores que compartilharam todos os conhecimentos possíveis. E em especial para o professor Rullyan Marques Vieira pela orientação neste trabalho.

“A coisa mais indispensável a um homem é reconhecer o uso que deve fazer do seu próprio conhecimento” (Platão).

RESUMO

O seguinte estudo aborda todo o processo de corrosão, relacionando suas propriedades, seus tipos e as diversas formas de minimizar seus efeitos. O objetivo do trabalho foi descrever métodos que são mais utilizados por todos os setores na tentativa de minimizar os gastos e os riscos desencadeados por esse processo uma vez que a busca por técnicas mais eficazes e que causem menos prejuízo é contínua. Através deste estudo verificou-se que conhecer e realizar medidas de prevenção e buscar formas para reduzir o efeito corrosivo das estruturas é de suma importância principalmente devido ao alto custo que tal deterioração gera. Verificou-se também que os meios mais utilizados são os revestimentos metálicos, como a galvanização, e os revestimentos não metálicos, que são as tintas.

Palavras-chaves: Corrosão. Efeito Corrosivo. Galvanização.

ABSTRACT

The following study covers the entire process of corrosion, relating their properties, their types and the various ways to minimize its effects. The objective of this study was to describe methods that are most used by all sectors in order to minimize the costs and risks triggered by this process since the search for more effective techniques that cause less damage and is continuous. Through this study it was found that meet and perform preventive measures and seek ways to reduce the corrosive effect of the structures is of paramount importance mainly due to the high cost that such deterioration generates. It was also found that the means most used are metal coatings, such as electroplating, and non-metallic coatings that are inks.

Keywords: *Corrosion. Corrosive effect. Plating.*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 –Corrosão Eletrolítica	18
Figura 02 –Corrosão Eletrolítica	18
Figura 03 –Corrosão Uniforme	19
Figura 04 –Corrosão Galvânica.....	20
Figura 05 –Corrosão Galvânica.....	20
Figura 06 –Corrosão Galvânica.....	20
Figura 07 –Corrosão por pontos.....	21
Figura 08–Corrosão por pontos.....	22
Figura 09–Corrosão por frestas	22
Figura 10–Corrosão por frestas	23
Figura 11–Corrosão por ranhuras.....	24
Figura 12–Como evitar corrosão por frestas	28
Figura 13–Como evitar cavitação	28
Figura 14–Contatos de materiais metálicos diferentes.....	28
Figura 15–Cantos vivos.....	29
Figura 16 –Áreas de estagnação de água.....	29
Figura 17–Componentes básicos das tintas.....	31
Figura 18–Peças Galvanizadas.....	35
Figura 19–Comparação de revestimentos	35

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2METODOLOGIA	11
3PROPRIEDADES E DETERIORAÇÃO DO AÇO.....	12
3.1 Propriedades físicas.....	12
3.2 Propriedades mecânicas	12
4 CORROSÃO.....	13
4.1 Definição.....	13
4.2 Importância do estudo da corrosão	13
4.3 Custos da Corrosão	13
4.4 Processos Corrosivos Benéficos.....	14
5MECANISMOS BÁSICOS DE CORROSÃO.....	15
5.1 Meios Corrosivos	15
6FORMAS DE CORROSÃO.....	17
6.1 Segundo a morfologia.....	17
6.2 Segundo a causa e mecanismos	17
6.3 Segundo a localização do ataque.....	18
6.3.1 Corrosão Uniforme.....	19
6.3.2 Corrosão Galvânica	19
6.3.3 Corrosão por lixiviação	21
6.3.4 Corrosão por Erosão.....	21
6.3.5 Corrosão sobre tensão	21
6.3.6 Corrosão por pontos	21
6.3.7 Corrosão por frestas	22
6.3.8 Corrosão em ranhuras.....	23
7 MÉTODOS DE MONITORAMENTO DA CORROSÃO.....	25
7.1 Testes não-destrutivos.....	25
7.2 Testes destrutivos	26
8 MÉTODOS PARA COMBATE À CORROSÃO.....	27
8.1 Métodos baseados na modificação de projetos	27
8.2 Revestimentos não metálicos orgânicos.....	29
8.2.1 Limpeza e preparo da superfície	29
8.2.2 Jateamento	30
8.2.3 Carepa de Laminação	30
8.2.4 Tintas.....	31
8.3 Revestimentos metálicos	32
8.3.1 Proteção Catódica.....	32
8.3.2 Proteção anódica	33
8.3.3 Deposição por imersão quente (ou Galvanização).....	33
8.3.4 Vantagens e Desvantagens da Galvanização.....	34
9 CONCLUSÃO	37
REFERÊNCIAS	38

1 INTRODUÇÃO

A corrosão é a deterioração de um material, na maior parte das vezes, metálicos, apesar de alguns autores considerarem materiais não metálicos como a borracha, polímeros, madeira e concreto como também susceptíveis à corrosão.

Este trabalho tem como objetivo descrever os métodos mais utilizados por todos os setores como forma de minimizar os efeitos que a deterioração do material ou da estrutura pode causar. Este é um tema que intriga os engenheiros há muitos anos, uma vez que os processos corrosivos geram gastos e riscos de acidentes.

A busca por técnicas mais eficazes e com custo menor é contínua, tanto para justificar os gastos em determinado projeto (seja de construção ou de equipamentos), tanto para a própria segurança dos colaboradores ou qualquer que seja o indivíduo que terá contato com a estrutura ou o equipamento que está susceptível a corrosão.

Com o avanço tecnológico os custos com corrosão se elevaram consideravelmente, se tornando imprescindível que medidas de proteção e prevenção sejam analisadas e incorporadas desde o início do projeto visando à minimização futuras dos problemas causados pela corrosão.

2 METODOLOGIA

A metodologia apresentada tem como objetivo consolidar os principais materiais bibliográficos que colaboraram na realização deste trabalho. Foram realizadas pesquisas em livros e artigos acadêmicos, defendidos pelos mais renomados autores quando se trata de corrosão, entre eles Pannoni e Gentil. Visando sempre obter mais conhecimentos, foram realizadas pesquisas em sites seguros, tais como o site da Gerdau, da Associação Brasileira de Construção Metálica e do Centro Brasileiro da Construção em Aço.

3 PROPRIEDADES E DETERIORAÇÃO DO AÇO

3.1 Propriedades físicas

Aço é uma liga ferro-carbono contendo menos de 2% de carbono que contém pequenas quantidades de outros elementos químicos tais como o manganês, silício, fósforo, enxofre e oxigênio. A concentração do elemento químico carbono no aço exerce profundo efeito em suas propriedades mecânicas e transformações de fase, propiciando, em conjunto com outros elementos de liga, a produção de um grande número de produtos. Esta liga é a mais versátil e a mais importante das ligas metálicas conhecidas e é produzida em mais de 3.500 diferentes especificações, cada qual atendendo eficientemente a uma ou mais aplicações. (PANNONI, 2007).

3.2 Propriedades mecânicas

Segundo Pfeil (1980) a seguir estão algumas propriedades mecânicas:

- a) Resistência: o aço é isotrópico e suporta altas tensões de compressão e de tração, que variam drasticamente com o tipo de aço;
- b) Elasticidade: o módulo de elasticidade é praticamente independente do tipo de aço, geralmente adota-se o valor de 205.000 MPa;
- c) Ductilidade: É a boa capacidade do aço de se deformar sob a ação de cargas; entretanto, em virtude de tratamento térmico, de soldas ou da fadiga, eles podem se tornar frágeis;
- d) Resistência ao Fogo: Quando sujeito a altas temperaturas, tais como as que resultam de incêndios, o aço perde resistência e se deforma;
- e) Resistência à Corrosão: aços-carbono, não especiais e não protegidos por pintura ou revestimento, sofrem corrosão de forma rápida.
- f) Soldabilidade: os aços são soldáveis, porém é necessário selecionar os processos adequados de soldagem, compatíveis com a composição dos aços;
- g) Fadiga: em virtude de numerosos ciclos de tensões de cargas móveis e de alguns detalhes condenáveis de soldas e de conexões, os efeitos da fadiga podem se manifestar nos elementos estruturais e nas conexões.

4 CORROSÃO

4.1 Definição

Segundo Pannoni (2007), podemos definir corrosão, de modo objetivo, como sendo a tendência do metal produzido e conformado de voltar ao seu estado original, de mais baixa energia livre. Outra definição bastante aceita é aquela que afirma que corrosão é a deterioração de propriedades do material quando reage com o ambiente.

4.2 Importância do estudo da corrosão

Segundo Nunes e Lobo (1998), os principais fatores são:

- a) Viabilizar economicamente as instalações industriais construídas com materiais metálicos;
- b) Manter a integridade Física dos Equipamentos e instalações industriais;
- c) Garantir a Máxima Segurança Operacional, evitando-se paradas operacionais não programadas e lucros cessantes;
- d) Garantir a máxima Segurança Industrial, evitando-se acidentes e problemas de poluição ambiental.

4.3 Custos da corrosão

Os custos relacionados à corrosão são classificados em custos diretos ou indiretos. Os custos diretos são aqueles relacionados às perdas de materiais, peças ou equipamentos que sofrerão corrosão. Os custos indiretos por sua vez, estão associados à acidentes, vazamentos e paralizações inesperadas do processo (GENTIL, 1994).

Sob o ponto de vista econômico, os prejuízos causados pela corrosão são extremamente altos. Segundo Gentil (1994), os primeiros estudos relacionados ao custo foram:

- 1950 H.H Uhlig – Estados Unidos : 2,1% do Produto Interno Bruto (PIB);
- 190 T.P Hoar – Reino Unido: 3,5% do PIB (aproximadamente 1 bilhão e 356 milhões de libras esterlinas);
- 1974 – Japão: 1,2% do PIB;
- 1975 – Battelle/NBS – Estados Unidos: 4,5% PIB (aproximadamente 70 bilhões de dólares)

O material mais recente dos Estados Unidos é do ano de 2001, realizada pela Federal Highway Administration (FHWA), no qual os custos referentes à corrosão foram estimados em 3,1% do PIB (aproximadamente 276 bilhões de dólares em custos diretos e 552 bilhões de dólares em custos indiretos). No Brasil, ainda não há nenhuma estatística referente aos custos de corrosão (GENTIL, 1994).

Após todos estes dados, torna-se evidente a necessidade de um investimento no monitoramento e controle da corrosão, uma vez que os custos desse fenômeno aumentam com o avanço tecnológico dos países (GENTIL, 1994).

4.4 Processos corrosivos benéficos

De acordo com Gentil (1994) a corrosão não causa somente a deterioração e destruição dos materiais, ela pode ser vista sobre outros pontos de vista, como por exemplo:

- a) Oxidação de aços inoxidáveis, formação da película protetora de óxido de cromo, Cr_2O_3 .
- b) Anodização do alumínio, ou suas ligas, através da oxidação de peças de alumínio, ocorre a formação do óxido de alumínio (Al_2O_3), que é bastante protetor e fornece um aspecto visual bom a peça (GENTIL, 1994).
- c) Fosfatização de superfícies metálicas com o intuito de melhorar a aderência de tintas. É etapa fundamental em uma linha de pintura das indústrias automobilísticas e de eletrodomésticos (GENTIL, 1994).
- d) Proteção catódica com anodos de sacrifício ou galvânicos, utilizados como proteção de aço carbono, das instalações submersas ou enterradas. Forma-se uma pilha galvânica, onde o catodo será o material protegido, aço e o anodo, material corroído, podendo ser zinco, alumínio ou magnésio (GENTIL, 1994).
- e) Aspectos decorativos de monumentos e esculturas em bronze. Promove a corrosão superficial com formação de patinas constituídas (GENTIL, 1994).

5 MECANISMOS BÁSICOS DE CORROSÃO

No estudo do processo de corrosão devem ser analisadas algumas variáveis, tais como:

- a) Material metálico: composição química, presença de impurezas, processo de obtenção, tratamentos térmicos e mecanismos, estado da superfície, forma, união de materiais;
- b) Meio corrosivo: composição química, concentração, impurezas;
- c) Condições operacionais: solicitações mecânicas, movimento relativo entre o material e o meio, condições de imersão no meio (total ou parcial)(GENTIL, 1994).

5.1 Meios corrosivos

Os meios corrosivos mais encontrados são a atmosfera, a umidade relativa e os gases. Após 10 anos de pesquisas os Estados Unidos da América (EUA) estabeleceram como etapa inicial estudos envolvendo poluentes (óxidos de enxofre, óxido de nitrogênio, ozônio e particulados) e materiais (estátuas e estruturas de valor cultural, metais e ligas) (GENTIL, 1994).

Algumas questões devem ser consideradas, tais como: ação da deposição ácida e poluente relacionada na deterioração do material, taxas de danos nos materiais especificados, valor econômico dos danos, distribuição geográfica dos materiais suscetíveis à deterioração, proteção apropriada e estratégias de redução (GENTIL, 1994).

A umidade relativa é definida pela relação entre o teor de vapor d' água encontrado ar e o teor máximo que pode existir no mesmo. É de extrema importância, pois o aço em um meio de baixa umidade praticamente não sofre corrosão, porém em condições contrárias sofre um ataque bastante expressivo. Em termos de porcentagem para umidade até 60% o processo corrosivo é lento, mas acima de 70% é acelerado (GENTIL, 1994).

Além dos gases encontrados na atmosfera, como oxigênio e nitrogênio, temos monóxido de carbono, CO; dióxido de carbono, CO₂; ozônio, O₃; dióxido de enxofre, SO₂; trióxido de enxofre SO₃, monóxido de nitrogênio, NO; dióxido de nitrogênio, NO₂. E em áreas mais localizadas, gás sulfídrico, H₂S; amônia, NH₃; cloreto de hidrogênio, HCL; fluoreto de hidrogênio, H₂F₂; e cloro, Cl₂ (GENTIL, 1994).

A temperatura quando elevada irá diminuir a condensação de vapor d' água no metal e a absorção de gases, minimizando a corrosão. Já a relação do tempo de permanência do filme de eletrólito na superfície metálica é que, quanto menor esse tempo, menor o efeito corrosivo.

Se não houver frestas ou regiões de estagnação, locais estes onde as soluções de sais podem ficar depositadas, as chuvas podem ser benéficas, solubilizando e retirando os sais presentes na superfície metálica (GENTIL, 1994).

Os ventos podem arrastar agentes poluentes e nevoas salina para as superfícies metálicas. As variações cíclicas de temperatura e umidade ocorrem em função das estações do ano. Em alguns países o teor de SO_2 aumenta muito durante o inverno, devido a maior queima de carvão como fonte de alimentação dos sistemas de aquecimentos, aumentando assim as taxas de corrosão (GENTIL, 1994).

A insolação, que são os raios ultravioleta, causa a calcinação ou empoamento (deterioração) em películas de tintas a base de epóxi e em Plástico Reforçado com Fibra de Vidro (PRFV), como poliéster reforçado com fibra de vidro e ocasiona ataque no material plástico. Para evitar essa destruição, são usados na formulação de PRFV, aditivos e revestimentos resistentes a essas radiações. No caso de revestimentos, em estruturas metálicas ou equipamentos expostos à insolação, é recomendado o uso de tintas a base de resina poliuretânica, que são resistentes à radiação Ultra-Violeta (UV) (GENTIL, 1994).

6 FORMAS DE CORROSÃO

Os processos de corrosão são considerados reações químicas heterogêneas ou eletroquímicas que ocorrem na superfície de separação entre o metal e o meio corrosivo. Podem ser classificados segundo a morfologia, segundo causas e mecanismos e por último segundo o local de ataque (GENTIL, 1994).

6.1 Segundo a morfologia

A corrosão pode manifestar-se de acordo com a aparência da superfície corroída:

- a) Uniforme: Ocorre em toda a área da superfície, promovendo perda uniforme da espessura. Alguns costumam chamá-la de corrosão generalizada, porém não é uma terminologia exclusiva desse tipo de corrosão, pois temos também corrosão por pite ou alveolar generalizadas;
- b) Por placas: Formam-se placas com escavações em algumas regiões da superfície e não em toda a área;
- c) Alveolar: Produz sulcos ou escavações semelhantes a alvéolos, apresentando fundo com característica arredondada e profundidade geralmente menor que seu diâmetro;
- d) Puntiforme ou por pite: A corrosão acontece em pontos ou em pequenas áreas localizadas na superfície metálica produzindo os pites, que são cavidades que apresentam fundo em forma angulosa e profundidade geralmente maior que seu diâmetro (GENTIL, 1994).

6.2 Segundo a causa e mecanismos

A corrosão segundo a causa e mecanismo pode ser dividida em três partes: corrosão eletroquímica, corrosão química e corrosão eletrolítica (NUNES e LOBO, 1998).

A corrosão eletroquímica é um processo espontâneo, que ocorre quando o metal entra em contato com um eletrólito, promovendo assim de forma simultânea, reações catódicas e anódicas. É caracterizada por realizar-se necessariamente na presença de água, na maioria das vezes à temperatura ambiente e com a formação de uma pilha de corrosão. Como exemplo, tem-se a formação da ferrugem (MERÇON, et al, 2004).

A corrosão química, também é conhecida como seca, pelo fato de não necessitar de água. Ela corresponde basicamente ao ataque diretamente de um agente químico sobre o material, sem transferência de elétrons de uma área para outra. O processo consiste em uma reação química entre o meio corrosivo e o metal, tendo como resposta a formação de um produto de corrosão sobre a superfície (MERÇON, et al, 2004).

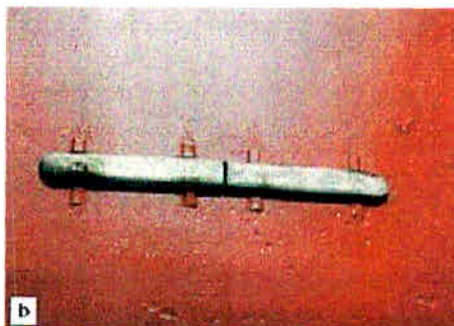
A corrosão eletrolítica caracteriza-se por ser um processo eletroquímico, que acontece devido à aplicação de corrente elétrica externa, ou seja, trata-se de uma corrosão não espontânea. Esse fenômeno é provocado por correntes de fuga, conhecidas também como parasitas ou estranhas, e ocorre frequentemente em tubulações de petróleo e de água potável, em cabos telefônicos enterrados, em tanques de postos de gasolina. Essas correntes ocorrem devido às deficiências de isolamento ou de aterramentos fora de especificações técnicas (MERÇON, et al, 2004).

Figura 1. Corrosão Eletrolítica.



FONTE:CORROSÃO...,(2008).

Figura 2. Corrosão Eletrolítica.



FONTE:CORROSÃO...,(2008).

6.3 Segundo a localização do ataque

A corrosão de acordo com sua localização do ataque pode ser dividida em:

6.3.1 Corrosão uniforme

É a formação de uma camada visível de óxido de ferro pouco aderente que se forma ao longo do perfil e é facilmente controlável. É caracterizada pela perda uniforme de massa e consequente diminuição da secção transversal da peça. Ocorre devido à exposição direta do aço carbono a um ambiente agressivo e à falta de algum método de proteção (CORROSÃO... , 2008).

Figura 3:Corrosão Uniforme.



FONTE: CORROSÃO...,(2008).

Prevenção e Controle: Dependendo do grau de deterioração da peça, pode-se apenas realizar uma limpeza superficial com jato de areia e renovar a pintura antiga. Em corrosões avançadas, deve-se optar pelo reforço ou substituição dos elementos danificados. Pode ser evitada mantendo uma constante inspeção da estrutura e com o uso de ligas especiais como o aço inoxidável (CORROSÃO... , 2008).

6.3.2 Corrosão Galvânica

Esse tipo de corrosão ocorre devido à formação de uma pilha eletrolítica quando utilizados metais diferentes. As peças metálicas podem se comportar como eletrodos e promover os efeitos químicos de oxidação e redução. A galvanização é facilmente encontrada nas construções, nos parafusos, arruelas, torres metálicas de transmissão de energia que são inteiramente constituídas por elementos galvanizados (CORROSÃO... , 2008).

Figura 4: Corrosão Galvânica



FONTE:CORROSÃO...,(2008).

Figura 5:Corrosão Galvânica



FONTE:CORROSÃO...,(2008).

Prevenção e Controle: O uso de inibidores de corrosão, o isolamento elétrico dos materiais de nobrezas diferentes, a proteção catódica, que consiste basicamente em fazer com que os elementos estruturais se comportem como cátodos de uma pilha eletrolítica associado ao uso de metais de sacrifício, fazendo com que a estrutura funcione como agente oxidante e receba corrente elétrica do meio, e a aplicação de revestimentos protetores, onde é recomendável aplicar a pintura tanto no metal que está funcionando quanto no cátodo, pois caso haja falha na pintura do anodo, a superfície não fique exposta à uma área catódica muito grande (CORROSÃO... ,2008).

Figura 6:Corrosão Galvânica



FONTE:CORROSÃO...,(2008).

6.3.3 Corrosão por Lixiviação

Esse tipo de corrosão forma lâminas de material oxidado e se espalha por debaixo dele atingindo camadas mais profundas. A forma mais utilizada para combater essa flocculação seria com tratamento térmico (CORROSÃO... ,2008).

6.3.4 Corrosão por Erosão

Ocorre em locais turbulentos onde o meio corrosivo se encontra em alta velocidade aumentando o grau de oxidação das peças. É possível encontrar esse problema em locais que contenham esgotos em movimento, despejo de produtos químicos (indústrias) ou ação direta de água do mar (portos, pontes e embarcações). Podendo ser minimizada com revestimentos resistentes, proteção catódica, redução do meio agressivo e materiais resistentes à corrosão (CORROSÃO... ,2008).

6.3.5 Corrosão sobre tensão

Ocorre com a soma de tensão de tração e um meio corrosivo. Essa tensão é provocada devido ao encruamento, solda, tratamento térmico e cargas. As regiões que foram tensionadas funcionam como ânodos em relação ao resto do material e tendem a concentrar a cessão de elétrons. Essa corrosão começa com microfissuras que posteriormente podem acarretar em um rompimento brusco do material antes da detecção do problema (CORROSÃO... ,2008).

6.3.6 Corrosão por pontos

Figura 7. Corrosão por pontos



FONTE:Corrosão...,(2008).

É um tipo de corrosão bastante destrutivo, provoca perfurações em peças sem uma perda expressiva de massa e peso da estrutura. Quando em estágio inicial, sua detecção se torna mais difícil, devido à pequena degradação superficial comparada à profundidade atingida. Geralmente ocorre em locais expostos a meios aquosos, salinos ou com drenagem insuficiente, através da deposição concentrada de material nocivo ao aço, por pilha de aeração diferencial ou por pequenos furos que possam permitir a infiltração e o alojamento de substâncias líquidas na peça (CORROSÃO... ,2008).

Figura 8: Corrosão por pontos



FONTE:CORROSÃO...,(2008).

Prevenção e Controle: Deve-se evitar o acúmulo de substâncias na superfície e durante as manutenções todos os depósitos encontrados devem ser removidos. É necessário também fazer a limpeza no local para verificar se a estrutura está comprometida e qual o estado do processo corrosivo, para então realizar a intervenção mais adequada. Caso a superfície não esteja comprometida pode-se cobrir o furo aplicando um selante especial sobre ele. O fiscal para realizar essa inspeção deve ter bastante experiência na área, pois pode ser necessária uma intervenção mais complexa, como reforço na estrutura ou até mesmo substituição de peça.

6.3.7 Corrosão por frestas

Figura 9: Corrosão por Frestas



FONTE:Corrosão...,(2008).

Ocorre em locais que duas superfícies estão em contato ou muito próximas (0,025 a 0,1 mm). A água deposita-se nas fendas e tende a causar pilhas de aeração diferencial, devido à sua tensão superficial. Nas fendas, a concentração de oxigênio é maior nas bordas do que na área mais interna, fazendo dessa uma região anódica. Como consequência, o processo de corrosão acontece na parte mais profunda da fresta, dificultando assim o acesso e o diagnóstico desse problema.

Prevenção e Controle: Quando a corrosão se encontra em estágio inicial, pode ser feita limpeza superficial, secagem do interior da fenda e vedação com um líquido selante, aplicando-se em seguida um revestimento protetor. Porém, se estiver em nível avançado, torna-se necessário como nos outros processos o reforço ou substituição de peças.

Figura 10: Corrosão por frestas



FONTE:CORROSÃO...,(2008).

6.3.8 Corrosão em ranhuras

Essa corrosão ocorre quando há defeitos que contenham cantos vivos, locais que são que depósitos de solução aquosa ou exposição do material não protegido. Devido à sua dimensão, muitas vezes as ranhuras passam despercebidas nas manutenções, tornando-se visíveis somente quando o material oxidado aflora na superfície. Entram nesta classe, riscos, gretas, pontos parafusados entre outros e recebem solução semelhante à corrosão por frestas.

Figura 11. Corrosão por ranhuras



FONTE: CORROSÃO...,(2008).

Prevenção e Controle: É necessário fazer a remoção de todas as impurezas do local. Por não degradarem muito o material, essas ranhuras podem ser pintadas garantindo a interrupção da corrosão (CORROSÃO...,2008).

7 MÉTODOS DE MONITORAMENTO DA CORROSÃO

“Para aplicação dos métodos de monitoramento, é necessária uma capacitação especial do operador. Esses ensaios são divididos em dois tipos: os que ao serem executados irão afetar a estrutura e os que não vão alterá-la.” (PFEIL, 2004).

7.1 Testes não-destrutivos

- a) Emissões Acústicas: São usados em casos onde as fissuras estão em constante crescimento, os sons são emitidos através das fissuras, por isso são colocados sensores que irão capturar estes sons.
- b) Programas Computadorizados: foram desenvolvidos com o intuito de valorizar e analisar os dados colhidos nas inspeções. Antes de cada inspeção, o computador é alimentado com dados do projeto e com anomalias verificadas na inspeção anterior. O computador irá responder com um checklist individualizado, identificando as áreas mais críticas e como reagir perante a isso (PFEIL, 2004).
- c) Tomografia Computadorizada: através da utilização de raios-X e raios-Gama é possível detectar quaisquer tipos de descontinuidade em elementos de aço (PFEIL, 2004).
- d) Líquido Penetrante: é realizado com o intuito de definir a grandeza e a extensão das descontinuidades nas superfícies dos elementos de aço. Primeiramente a área a ser testada deverá estar limpa e no metal nu, o líquido então é aplicado e penetra na superfície e o excesso é retirado para detectar as descontinuidades superficiais. Porém este teste não revela a profundidade da fissura e nem os defeitos não superficiais (PFEIL, 2004).
- e) Radiografias: são usadas para localizar fissuras trincas e vazios, sejam eles superficiais ou não, determinando também a espessura do elemento estrutural. Os raios-X ou raios-Gama são absorvidos diferentemente pelas diversas descontinuidades do elemento, quando um filme é exposto aos raios, é possível identificar os defeitos por sombras (PFEIL, 2004).
- f) Ultrassom: é usado para detectar anomalias em peças chatas e finas e em pinos, usado para medir a espessura do elemento e também fornece informações detalhadas sobre perda de seção transversal e para inspeção de soldas, onde será detectada porosidade, vazios, inclusões, corrosões, fissuras e outras descontinuidades (PFEIL, 2004).

7.2 Testes destrutivos

- a) Teste de Dureza Brinell : consiste basicamente em uma bola de aço endurecido que será pressionada contra a amostra de aço, determinando assim a resistência do aço à penetração. Através da carga aplicada e da endentação geradas é calculada a dureza do aço, para aços que não passaram por um resfriamento, a dureza está diretamente ligada a com sua resistência à tração, na ruptura (PFEIL, 2004).
- b) Teste de Impacto Charpy: irá determinar a quantidade de energia necessária para provocar fratura na amostra. Após sofrer uma depressão em forma de “V”, a mesma é submetida a um golpe de martelo que cai de uma determinada altura. Uma vez que a força do golpe do martelo está concentrada na depressão, a tensão resultante provoca a fratura e não a deformação da amostra. Com base na massa do martelo e na altura da sua queda é determinada a energia necessária para a fratura. Para saber se o aço é suscetível a ruptura frágil, este teste é aplicado em temperaturas diferentes (PFEIL, 2004).
- c) Análise Química: através da composição química do aço indica-se a possibilidade de fissuração da solda, seja por fissuras a frio quanto por fissuras a quente. São retiradas amostras do material para determinar a composição química do mesmo. Existem dois tipos de fissuras, as fissuras a frio podem ser previstas antecipadamente, através da equação do carbono equivalente, que é baseada na composição química do aço. Já as fissuras a quente, ocorrem com o inicio da solidificação da solda, e para eliminar basta a adição de produtos químicos ao eletrodo da solda (PFEIL, 2004).
- d) Teste de Resistência à Tração: para determinar a resistência do aço à tração a amostra é submetida a tensões cada vez maiores, até chegar ao ponto de ruptura ou até que ela comece a alongar-se excessivamente, com estreitamento de seção (PFEIL, 2004).

8 MÉTODOS PARA COMBATE À CORROSÃO

A corrosão pode ter consequências diretas e indiretas, e algumas delas de natureza econômica, tais como: - Substituição de equipamento corroído; - Paralisação do equipamento por falhas ocasionadas pela corrosão; - Emprego de manutenção preventiva – pintura, adição de inibidores de corrosão, revestimentos etc. ; -Contaminação ao ou perda de produtos; - Perda de eficiência do equipamento, como ocorre em caldeiras, trocadores de calor, bombas etc.; - Superdimensionamento de projetos (GENTIL,1994).

8.1 Métodos baseados na modificação de projetos

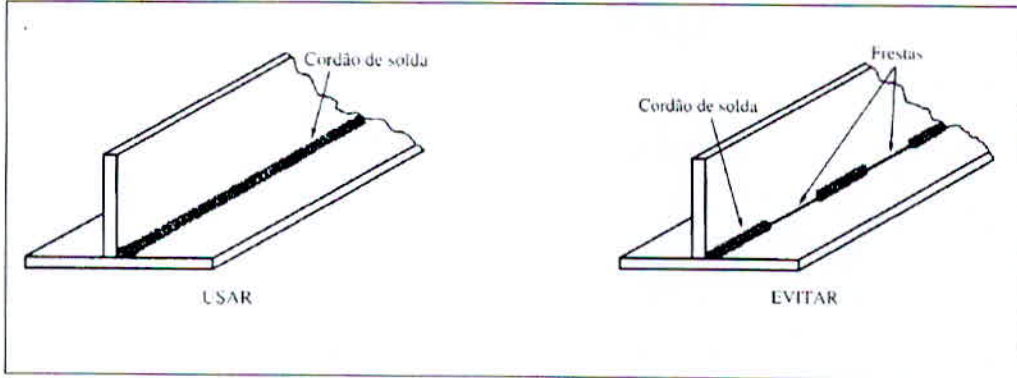
Segundo Gentil (1994), o engenheiro projetista, ao especificar os detalhes do projeto e determinar os métodos de fabricação e de montagem de estruturas ou equipamentos, deve ter bastante conhecimento sobre corrosão, para não incidir em erros que poderão significar grandes perdas futuras. Na especificação do projeto de materiais, deve se considerar, além das variáveis do processo corrosivo, aquelas relacionadas com:

- a) propriedades mecânicas e aparência
- b) facilidade de obtenção, de soldagem e de usinagem
- c) compatibilidade com equipamentos já existentes
- d) disponibilidade e tempo de fornecimento
- e) segurança
- f) vida estimada do material ou processo
- g) custos dos materiais, de fabricação, de inspeção e de manutenção
- h) retorno do investimento

Segundo Gentil (1994), algumas informações que orientam no sentido do emprego correto de materiais metálicos e não metálicos, são de grande valia na fase de projetos de equipamentos e de instalações industriais. As principais precauções na hora do projeto são:

- Soldas descontínuas possibilitam a presença de corrosão em frestas.

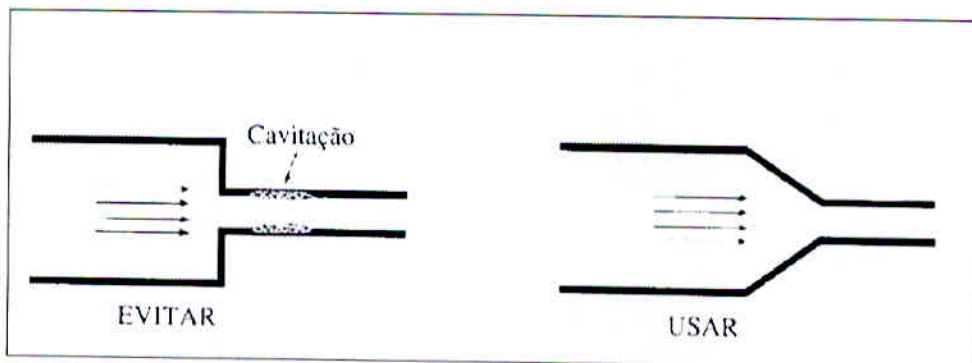
Figura 12: Corrosão em frestas.



FONTE: Gentil (1994)

- Com o intuito de evitar ação erosiva do meio, como a cavitação, não formar ângulos fechados e estrangulamentos desnecessários nas tubulações.

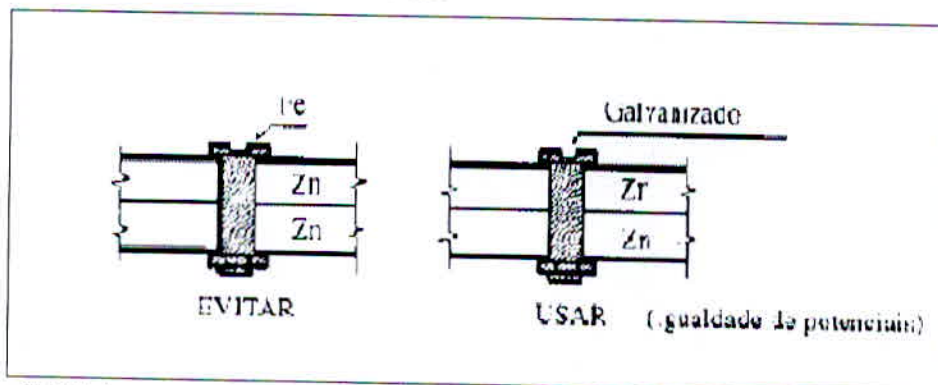
Figura 13: Evitar cavitação.



FONTE: Gentil (1994)

- Evitar contatos diretos de materiais metálicos de potenciais diversos.

Figura 14. Contatos de materiais metálicos diferentes.

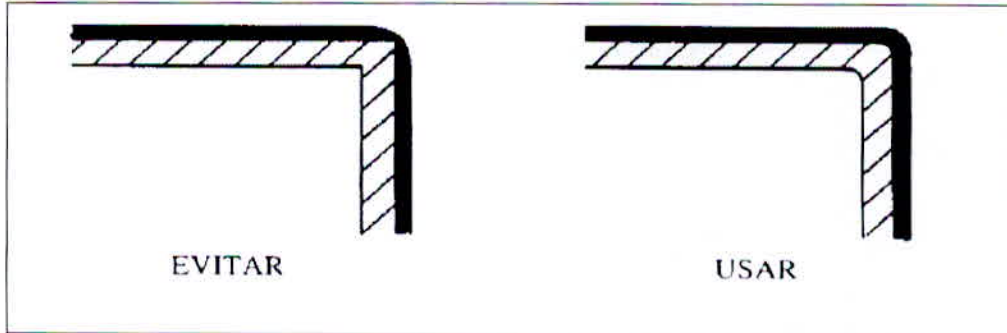


FONTE: Gentil (1994)

- Fornecer o máximo de acessibilidade à parte do equipamento mais sujeita a corrosão, a fim de facilitar a inspeção e manutenção.

- Evitar cantos vivos onde películas protetoras de tintas possam romper-se facilmente.

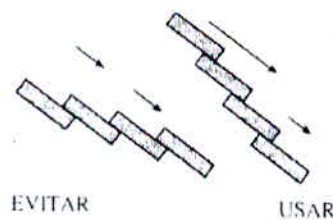
Figura 15: Cantos vivos.



FONTE: Gentil (1994)

- Evitar áreas de estagnação de água ou de soluções corrosivas.

Figura 16. Áreas de estagnação de água.



FONTE:Gentil (1994)

8.2 Revestimentos não metálicos orgânicos

8.2.1 Limpeza e preparo da superfície

A eficiência dos revestimentos ou recobrimentos depende do preparo da superfície. Para um bom recobrimento, é necessário eliminar da superfície ferrugem, graxas, sujidades e umidade. Não existe um tratamento preparatório de superfícies metálicas de caráter universal. Diversos fatores influenciarão na escolha, tais como tipo de material, fim ao qual se destinam, condições econômicas, quantidade e qualidade das impurezas, a serem removidas(GENTIL,1994).

Pannoni (2007) cita em seu estudo que o grau mínimo de limpeza superficial varia de acordo com o tipo de tinta a ser aplicada e as condições a que estas ficarão expostas. A norma mais comentada e utilizada para a preparação de da superfície do aço é a Norma Sueca SIS05

59 00-1967 “Graus de Enferrujamento da Superfície de Aço Laminado a Quente e Graus de Preparo destas Superfícies para Aplicação de Revestimentos Anticorrosivos.”

8.2.2 Jateamento

É um sistema bastante empregado na pintura industrial, também nos fabricantes de estruturas metálicas. Consiste no impacto de partículas, geralmente abrasivas, projetadas a alta velocidade contra a superfície a ser limpa. Possui duas grandes vantagens:

- a) Permite o contato do revestimento com o substrato, pois elimina todas as impurezas da superfície.
- b) Fornece rugosidade à superfície, permitindo a ancoragem do revestimento.

Podem ser utilizados como abrasivos: areia, granalha de aço (esférica e angular), vidro, ferro fundido, escórias e outros. O mais utilizado em campo é a areia, onde o jateamento é feito a céu aberto e não existe preocupação em se recuperar o abrasivo, podendo ser utilizada no máximo 2 vezes). Já a granalha é frequentemente usada em cabines fechadas. É feita de aços especiais, muito duros. Possui dois formatos em relação à suas partículas, redondo (shot) ou angular (grit).

8.2.3 Carepa de Laminação

Segundo Pannoni (2007), devido ao aquecimento do aço carbono em temperaturas situadas na faixa de 575 ° C e 1370 °C forma-se uma camada de óxidos denominada carepa de laminação. Película esta formada por três camadas de óxidos sobrepostas: wustita (FeO), magnetita (Fe₂O₄) e hematita (Fe₂O₃). Placas, tarugos, blocos, chapas, vergalhões e Perfis são laminados em temperaturas próximas de 1000°C(PANNONI, 2007).

A carepa formada tem aspecto cinza azulada, bastante dura, aderente e lisa, e possui espessura média em torno de 10 mm a 1000 mm. Muita gente considera esse revestimento como sinal da existência de um ótimo revestimento que servirá como base para pintura. Porém devido ao fato da carepa possuir coeficiente de dilatação diferente do aço, ela irá se trincar durante os processos de aquecimento e resfriamento, possibilitando assim a penetração de água, oxigênio e contaminantes variados. Diante da presença de eletrólitos forma-se uma pilha, onde o aço é oxidado e a reação de redução do oxigênio acontece sobre a carepa. Após

algum tempo sofrendo esse ataque, a ferrugem progride por baixo da carepa, expulsando-a da superfície do aço (PANNONI, 2007).

8.2.4 Tintas

A pintura é o principal meio de proteção das estruturas metálicas.

Tintas são suspensões homogêneas de partículas sólidas (pigmentos) dispersas em um líquido (conhecido como veículo), em presença de componentes em menores proporções, chamados de aditivos. Os pigmentos são pós orgânicos ou inorgânicos finamente divididos (aproximadamente 5 μ m de diâmetro). Em suspensão na tinta líquida, são aglomerados pela resina após a secagem, formando uma camada uniforme sobre o substrato. Os pigmentos promovem a cor, opacidade, coesão e inibição do processo corrosivo, e também a consistência, a dureza e resistência da película. (PANNONI, 2007).

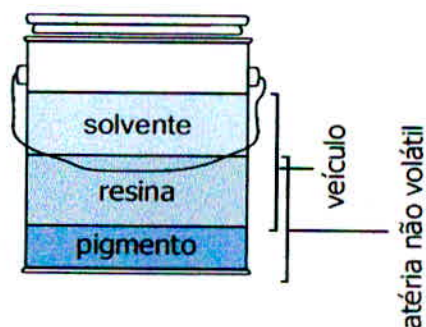
Segundo Pannoni (2007), os pigmentos anticorrosivos mais utilizados nas tintas de proteção ao aço carbono são:

Zarcão – Possui uma coloração laranja, é um dos pigmentos mais antigos utilizados na proteção do aço. Tem características alcalinas, capazes de neutralizar compostos ácidos, e oxidantes (íons solúveis, como o íon ferroso são oxidados a férricos, insolúveis). É considerado como tóxico, pois o chumbo é um metal pesado (PANNONI, 2007).

Fosfato de zinco – Quando em contato com água, esse pigmento dissolve-se parcialmente, liberando ânions fosfato que passivam localmente a superfície do aço, produzindo fosfatos de ferro (PANNONI, 2007).

Zinco metálico – As tintas que possuem em sua composição alto teor de zinco, são conhecidas também de “galvanização a frio” e fornecem proteção catódica ao substrato de aço, ou seja, o zinco se corrói, protegendo o aço, idêntico à proteção auferida pela galvanização tradicional. Um risco identificado na pintura a zinco começará a se corroer, protegendo o aço (PANNONI, 2007).

Figura 17: Componentes básicos das tintas



Fonte: PANNONI(2007)

Para a escolha da tinta de fundo ou primers, é necessário identificar o principal pigmento anticorrosivo presente, enquanto para as tintas intermediárias e de acabamento, são classificadas de acordo com a resina empregada, como por exemplo:

Alquídicas. Conhecidas como esmaltes sintéticos, são tintas monocomponentes de secagem ao ar. São utilizadas em interiores secos e abrigados, ou em exteriores não poluídos. Como as resinas utilizadas são saponificáveis, não resistem ao intemperismo constante ou à imersão em água.

Epoxídicas. São tintas bicomponentes de secagem ao ar. A cura se dá pela reação química entre os dois componentes. O componente A é, de modo geral, à base de resina epoxídica, e o B, o agente de cura, pode ser à base de poliamida, poliamina ou isocianato alifático. São mais impermeáveis e mais resistentes aos agentes químicos do que as alquídicas. Resistem à umidade, imersão em água doce ou salgada, lubrificantes, combustíveis e diversos produtos químicos. As epoxídicas à base de água têm a mesma resistência daquelas formuladas à base de solventes orgânicos. De modo geral, não são indicadas para a exposição ao intemperismo (ação do sol e da chuva), pois desbotam e perdem o brilho (calcinação).

Poliuretânicas. São tintas bicomponentes em que o componente A é baseado em resina de poliéster ou resina acrílica, e, o B, o agente de cura, é à base de isocianato alifático. As tintas poliuretânicas são bastante resistentes ao intemperismo. Assim, são indicadas para a pintura de acabamento em estruturas expostas ao tempo. São compatíveis com primers epoxídicos e resistem por muitos anos com menor perda da cor e do brilho originais.

Acrílicas. São tintas monocomponentes à base de solventes orgânicos ou de água, e, assim como as tintas poliuretânicas, são indicadas para a pintura de acabamento. São tintas bastante resistentes à ação do sol. (PANNONI, 2007)

8.3 Revestimentos metálicos

8.3.1 Proteção Catódica

Essa técnica vem sendo aplicada com sucesso no mundo, e cada vez mais no Brasil, utilizada para combater a corrosão das instalações metálicas enterradas, submersas e em contatos com eletrólitos. Com sua utilização mantem-se essas instalações completamente livres da corrosão por tempo indeterminado, mesmo não havendo nenhum tipo de revestimento e as condições agressivas dos meios (água, solo ou eletrólitos) sejam extremamente severas. O grande diferencial dessa proteção é permitir o controle absoluto da corrosão em instalações, que por estarem imersas ou enterradas, não podem ser inspecionadas com a mesma frequência das instalações aéreas. Embora citado acima que sua aplicação pode ser feita no elemento nu, quando aplicada em superfícies previamente revestidas sua eficácia e economia são melhores (GENTIL, 1994).

8.3.2 Proteção Anódica

Aqueles cujos revestimentos são de metais cujos potenciais de oxidação são maiores que o metal base. Ex.: Al, Zn, Cd(GENTIL, 1994).

Se houver qualquer porosidade, descontinuidade ou falha no revestimento, este protegerá anódicamente o metal base, como uma espécie de ânodo de sacrifício (GENTIL, 1994).

Por exemplo, na chapa galvanizada (aço coberto de zinco) uma falha no revestimento criará uma célula galvânica entre o Zn e o Fe exposto nesta célula. O Zn é o anodo e o Fe é o cátodo. Assim, não ocorrerá ataque ao Fe até que o Zn nas vizinhanças da fenda se consuma(GENTIL, 1994).

Segundo sua aplicação os revestimentos metálicos podem ser subdivididos nas seguintes partes:

- a) Deposição por imersão a quente (ou galvanização): pela imersão à quente obtém-se, entre outras, as superfícies zincadas e as estanhadas(GENTIL, 1994).
- b) Metalização: o processo por meio do qual se deposita sobre uma superfície previamente preparada camadas de materiais metálicos. Os metais de deposição são fundidos em uma fonte de calor gerada no bico de uma pistola apropriada, por meio de combustão de gases, arco elétrico, plasma e por detonação(GENTIL, 1994).
- c) Eletrodeposição: consiste na deposição de metais que se encontram sob a forma iônica em um banho. A superfície a revestir é colocada no catodo de uma célula eletrolítica. Por eletrodeposição é comum revestir-se com cromo, níquel, ouro, prata, estanho e cádmio(GENTIL, 1994).
- d) Deposição química: consiste na deposição de metais por meio de um processo de redução química. Por este processo é comum revestir-se com cobre e níquel (cobre e níquel químicos) (GENTIL, 1994).

8.3.3 Deposição por imersão a quente (ou galvanização)

Galvanização a fogo (por vezes chamada de galvanização a quente) trata-se da aplicação de revestimentos de zinco em componentes de aço ou ferro fundido através da imersão do componente em um banho de zinco fundido. Tem como vantagem sua simplicidade em relação aos outros métodos contra corrosão(GENTIL, 1994).

Esse método teve início no ano de 1741, através do químico francês Melouin, onde descobriu a capacidade do zinco na proteção do aço da corrosão. Porém o método não obteve o sucesso esperado, e no ano de 1837, outro químico francês conhecido como Sorel, obteve patente e aperfeiçoou o processo introduzindo a decapagem sulfúrica (a 9%) e afluxagem com cloreto de amônio como etapas anteriores e fundamentais do processo. Sorel denominou o método de “galvanização”, referindo-se à cela galvânica que é criada quando o revestimento de zinco é danificado. Como visto anteriormente, o aço é protegido galvanicamente pelo revestimento de zinco (GENTIL, 1994).

A galvanização a fogo é encontrada em quase todo tipo de aplicação e indústria onde o aço é empregado. Indústrias nos setores domésticos, processos químicos, papel e celulose, construção civil, automotiva e de transporte, tem feito grande uso, histórico, da galvanização, no controle da corrosão. É um processo utilizado há mais de 140 anos e tem sido um sucesso comercial como método de proteção frente à corrosão de uma grande variedade de aplicações, por todo o mundo (GENTIL, 1994).

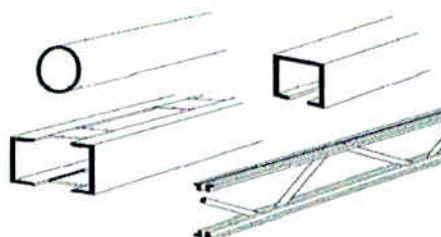
8.3.4 Vantagens e Desvantagens da Galvanização

Pannoni (2007) em seu manual citou as principais vantagens da galvanização a fogo conforme apresentadas abaixo:

- a) Vida longa. Revestimentos galvanizados possuem uma expectativa de vida sobre os elementos estruturais acima de 40 anos na maior parte dos ambientes rurais e se situa entre 10 a 30 anos na maior parte dos ambientes agressivos, urbanos e costeiros (PANNONI, 2007).
- b) Preparo superficial. A imersão em ácido, como pré-tratamento, garante a limpeza uniforme das superfícies de aço. Em contraste, revestimentos orgânicos tradicionais devem ser aplicados sobre superfícies limpas com jato abrasivo (em geral, de acordo com a Norma ISO 8501-17, em grau Sa 2 ½, ou superior) e inspecionadas. Adicionalmente, a aplicação de revestimentos orgânicos é limitada em termos das condições ambientais e umidade relativa na época da aplicação. Isto adiciona custo na aplicação de um sistema de pintura robusto (PANNONI, 2007).
- c) Adesão. O revestimento obtido através da galvanização a fogo está ligado metalurgicamente ao substrato de aço (PANNONI, 2007).

- d) Contaminação ambiental. O revestimento não é tóxico e não contém substâncias voláteis (PANNONI, 2007).
- e) Velocidade na aplicação do revestimento. Um revestimento protetor é aplicado em minutos. Um sistema de pintura tradicional pode levar vários dias (PANNONI, 2007).
- f) Aplicação do revestimento galvanizado não depende das condições do tempo (PANNONI, 2007).
- g) Custo inicial inferior. Uma vez que o custo da aplicação de revestimentos requer mão de obra especializada, como a pintura, tem crescido mais do que os custos de aplicação (na indústria) da galvanização a fogo (PANNONI, 2007).
- h) Em longo prazo pequena manutenção/custo menor. Em alguns casos o custo inicial da galvanização a fogo é maior do que revestimentos alternativos, porém apresentará menores custos de manutenção ao longo da vida útil dos componentes estruturais (PANNONI, 2007).
- i) Proteção uniforme. Todas as superfícies de um componente galvanizado a fogo são protegidas tanto internamente quanto externamente, incluindo rebaixas, cantos-vivos e áreas inacessíveis à aplicação de outros métodos de revestimento (PANNONI, 2007).

Figura 18. Peças Galvanizadas.



FONTE:Pannoni(2007).

Figura 19: Comparação Revestimentos.



Fonte:Pannoni (2007).

-Proteção de sacrifício em áreas danificadas. Como dito anteriormente, o revestimento de sacrifício fornece proteção catódica às pequenas áreas de aço expostas à atmosfera, como poros e riscos. Diferentemente dos revestimentos orgânicos, pequenas áreas danificadas não necessitam de retoques; a corrosão sob o revestimento não é possível quando se utilizam revestimentos de sacrifício (PANNONI, 2007).

Pannoni (2007) as principais desvantagens são:

- a) A galvanização a fogo não pode ser feita no canteiro de obras. A coloração do zinco somente pode ser alterada através da pintura. As dimensões dos componentes ou estrutura a galvanizar são limitadas pelas dimensões da cuba de zinco líquido (PANNONI, 2007).
- b) A alta temperatura do banho pode causar distorções em certos componentes.
- c) Existe o risco de que, painéis grandes e planos, não enrijecidos, possam sofrer distorções, assim como o empenamento de perfis I, H ou U, de grandes dimensões e pequena espessura de alma/mesas. Um bom projeto aliado à boa prática de galvanização previne as distorções (PANNONI, 2007).
- d) A soldagem de componentes de aço galvanizados a fogo pode demandar procedimentos diferentes daqueles demandados pelos aços não revestidos (PANNONI, 2007).
- e) A soldagem de componentes galvanizados resultará na perda, em algum nível, de parte da camada de revestimento. A camada é volatilizada durante o processo. Torna-se necessário, assim, o condicionamento do revestimento ao longo do cordão de solda e áreas adjacentes, através da metalização, da utilização de tintas ricas em zinco ou outro método (PANNONI, 2007).

9 CONCLUSÃO

Com o passar dos anos, e o acelerado desenvolvimento da economia e da globalização conseqüentemente os custos com a corrosão também foram elevados. As empresas estão ficando cada vez mais exigentes ao escolher o tipo de material (aço) que será utilizado na fabricação ou armazenamento de seus produtos. A busca é sempre pelo melhor produto, com maior durabilidade e que gere o menor custo perante o processo de corrosão.

Vários estudos são realizados na tentativa de encontrar formas mais baratas e mais eficazes para minimizar o efeito corrosivo nos materiais e estruturas. Há vários tipos de corrosão, sendo os mais frequentes: corrosão eletrolítica, galvânica, por erosão, entre outras.

Da mesma forma que existem vários tipos de corrosão existem alguns métodos para minimização da frequência ou da gravidade das corrosões. Os métodos mais utilizados são os métodos baseados nas modificações de projetos, revestimentos não metálicos orgânicos e os revestimentos metálicos.

Os métodos baseados na modificação de projetos estão diretamente relacionados ao engenheiro projetista, sendo ele o responsável por ponderar e analisar todas as variáveis do processo corrosivo. Nos métodos de revestimento não metálicos orgânicos temos a limpeza e preparo da superfície, o jateamento, a carepa de laminação e a tinta. Já nos revestimentos metálicos temos a proteção catódica, anódica e a galvanização. Cada um desses métodos tem as suas características e cada um é escolhido de acordo com a finalidade.

Como a corrosão é um processo geralmente espontâneo é importante que medidas de minimizaçãosejam adotadas, porém o mais importante e efetivo, seja em uma empresa, em uma construção, indústria ou qualquer outro tipo de instalação é que seja realizado o monitoramento e a manutenção preventiva de materiais, equipamentos e estruturas.

REFERÊNCIAS

CORROSÃO em estruturas metálicas, 2008. Disponível em:

<<http://www.cesec.ufpr.br/metálica/patologias/corrosao/corrosao-texto.htm>>. Acesso em: 20 out.2013.

FERREIRA, Luiz Antônio et al. **Química Aplicada: Corrosão**. Curitiba: Equipe Petrobras, 2002.

GENTIL, Vicente. **Corrosão**. 7. ed. Riode Janeiro: LTC, .

MAGNAN. Murillo de Carvalho. **Pintura na proteção anticorrosiva**. Rio de Janeiro: Centro Universitário Estadual da Zona oeste, 2011.

MANUAL de fiscalização. Câmera especializada de Engenharia Mecânica e Metalúrgica. 2011.

MERÇON, Fábio et al. Corrosão: um exemplo usual do fenômeno químico. Rv. Química Nova Escola. Maio, 2004.

NUNES, Laerce de Paula; LOBO, Alfredo Carlos O. **Pintura Industrial na Proteção Anticorrosiva**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998.

O QUE é galvanização a fogo, 2012. Disponível em:

<<http://www.abcem.org.br/galvanize/galvanizacao-a-fogo.php>> Acesso em: 25 out.2013.

PANNONI, Fabio Domingos. **Princípios da proteção de estruturas metálicas em situação de corrosão e incêndio**. 4.ed. São Paulo: Perfis Gerdau Açominas, 2007.

PFEIL, Walter. **Manual de inspeção de pontes rodoviárias**. 2. ed. Rio de Janeiro: DNIT, 2004.

SILVA, Mauro César de Brito e. **Proteção contra corrosão e incêndio**. [S.l.]: 2010.

TRATAMENTO da corrosão- especificação do serviço. Norma DNIT. Rio de Janeiro, 2006.