

CENTRO DE INSTRUÇÃO
ALMIRANTE GRAÇA ARANHA- CIAGA
ESCOLA DE FORMAÇÃO DE OFICIAIS DA
MARINHA MERCANTE- EFOMM

CORROSÃO EM NAVIOS: TÉCNICAS ANTICORROSIVAS

Por: WALESKA Loiola Pereira Souza

Orientador

Professor Engo. Hermann Regazzi Gerk

Rio de Janeiro

2011

CENTRO DE INSTRUÇÃO
ALMIRANTE GRAÇA ARANHA- CIAGA
ESCOLA DE FORMAÇÃO DE OFICIAIS DA
MARINHA MERCANTE- EFOMM

CORROSÃO EM NAVIOS: TÉCNICAS ANTICORROSIVAS

Apresentação de monografia ao Centro de Instrução Almirante Graça Aranha como condição prévia para a conclusão do Curso de Bacharel em Ciências Náuticas do Curso de Formação de Oficiais de Náutica (FONT) da Marinha Mercante.

Por: WALESKA Loiola Pereira Souza.

CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA – CIAGA

CURSO DE FORMAÇÃO DE OFICIAIS DA MARINHA MERCANTE –

EFOMM

AVALIAÇÃO

PROFESSOR ORIENTADOR (trabalho escrito): _____

NOTA - _____

BANCA EXAMINADORA (apresentação oral):

Prof. (nome e titulação)

Prof. (nome e titulação)

Prof. (nome e titulação)

NOTA: _____

DATA: _____

NOTA FINAL: _____

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus;
A toda minha família e amigos, por todo apoio
nessa caminhada;
Ao meu orientador Prof. Engo. Hermann
Regazzi Gerk;
Aos demais professores, que também me
auxiliaram durante todo esse tempo.

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho à minha família, amigos e
àqueles que contribuíram para a minha formação
acadêmica.

RESUMO

Esta monografia tem por objetivo abordar a corrosão em navios e as técnicas anticorrosivas ao longo de quatro capítulos.

No primeiro, é feito um estudo sobre o que é a corrosão em metais, seus principais tipos, controle e prevenção.

O capítulo seguinte trata do sistema de pintura industrial, técnica utilizada como prevenção anticorrosiva e que aumenta a resistência do material à corrosão.

O sucessor aborda uma segunda técnica anticorrosiva largamente utilizada, a proteção catódica. Neste é possível encontrar explicações relativas às duas principais formas de proteção catódica: por anodos de sacrifício e por corrente impressa.

Encerrando no quarto capítulo com a abordagem sobre cavitação que é mais um problema de corrosão em navios.

Palavras chave: corrosão, pintura industrial, proteção catódica, cavitação.

ABSTRACT

This monograph aims to address corrosion in ships and corrosion techniques over four chapters.

At first a study is done on what is corrosion of metals, its main types, control and prevention.

The next chapter deals with the system of industrial painting technique used to prevent corrosion and increases the material's resistance to corrosion.

The successor addresses a second technique widely used, corrosion cathodic protection. This is possible to find explanations for the two main forms of cathodic protection: for sacrificial anodes and for impressed current.

Finishing in the fourth chapter with the approach on cavitation which is more a problem of corrosion on ships.

Descriptors: corrosion, industrial painting, cathodic protection, cavitation.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO _____	11
CAPÍTULO I: CORROSÃO _____	12
1- Conceitos _____	12
2- Corrosão Química _____	13
3- Corrosão Eletroquímica _____	13
4- Como ocorre a corrosão _____	14
5- Tipos de corrosão _____	15
5.1- Corrosão Uniforme _____	15
5.2- Corrosão por pites _____	16
5.3- Corrosão por tensão _____	16
5.4- Corrosão Galvânica _____	17
5.5- Corrosão Seletiva _____	18
5.6- Corrosão Intergranular ou Intercristalina _____	19
5.7- Corrosão transgranular ou transcristalina _____	20
5.8- Corrosão-Erosão _____	20
5.9- Corrosão Bacteriológica _____	20
5.10- Corrosão por concentração diferencial _____	21
5.11- Corrosão por concentração iônica diferencial _____	21
5.12- Corrosão por aeração diferencial _____	22
5.13- Corrosão em frestas _____	22
5.14- Corrosão filiforme _____	23
5.15- Corrosão com cavitação _____	23
5.16- Corrosão por turbulência ou impingimento _____	24

5.17- Corrosão por placas	24
5.18- Corrosão alveolar	25
6- Fatores que influenciam a corrosão	27
7- Corrosão em navios	28
8- Como evitar a corrosão	28
9- Controle, prevenção e custos	29
10- Métodos que melhoram a resistência à corrosão	31
CAPÍTULO II: PINTURA INDUSTRIAL	33
1- Para que serve a pintura industrial?	33
2- Importância do tratamento da superfície	34
3- Sistemas de pintura	35
4- Aplicação de sistemas de pintura	36
5- Pintura de navio	37
6- Maior velocidade da inspeção e aquisição de dados	39
7- Garantindo maior durabilidade	40
8- Falhas durante a aplicação de tintas	40
CAPÍTULO III: PROTEÇÃO CATÓDICA	42
1- Métodos de aplicação da proteção catódica	43
2- Proteção catódica com anodos galvânicos	43
3- Aplicação dos anodos de sacrifício em navios	44
4- Proteção catódica por corrente impressa aplicada a navios	47
5- Manutenção do sistema de proteção catódica	49

6- Custo da proteção catódica	49
CAPÍTULO IV: CORROSÃO POR CAVITAÇÃO	51
1- Introdução	51
2- Tipos de cavitação	52
3- Processo de desgaste por cavitação	54
4- Prevenção do dano por Cavitação	54
CONSIDERAÇÕES FINAIS	56
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57

INTRODUÇÃO

Para um leigo a corrosão não passa de um simples enferrujamento de uma peça ou estrutura de aço e para combatê-la ele sabe que deve lançar mão da pintura ou de produtos oleosos. A corrosão, no entanto, além do enferrujamento do aço pela ação da atmosfera engloba uma grande variedade de outros tipos de deterioração de materiais por ação da própria atmosfera ou de outros meios, como as águas naturais, o solo e os produtos químicos em geral. Esta deterioração pode tomar diversas formas. Assim, por exemplo, no caso da corrosão atmosférica do aço ocorre um ataque generalizado do metal com a conversão em óxidos e hidróxidos que passam a formar a ferrugem. Em muitos casos têm-se ataque localizado, conhecido como corrosão por pite, em que, num período bastante curto, um recipiente ou tubulação podem sofrer perfuração, ficando inutilizados para o uso. Este tipo de ataque é muito comum em aços inoxidáveis e ligas de alumínio. Na presença de tensões mecânicas pode-se ter um dos mais drásticos tipos de destruição de um metal, conhecido como corrosão-sob-tensão. Neste caso, apesar das tensões solicitantes estarem bem abaixo do limite de resistência, ocorre um trincamento do metal que pode conduzir à fratura e conseqüente colapso da estrutura ou equipamento.

A corrosão pode combinar-se com outras formas de deterioração de materiais, acelerando o processo destrutivo, como ocorre nos casos de fadiga, erosão, cavitação e abrasão. A lista de tipos e formas com que a corrosão se manifesta é bastante extensa e os mecanismos envolvidos são bastante complexos. Do mesmo modo, apesar dos grandes avanços na tecnologia de controle da corrosão, ainda se tem muitas formas de ataque de difícil diagnose e combate.

Verifica-se, assim, que a corrosão, sendo um processo destrutivo, causa danos a praticamente todos os setores da atividade humana.

O estudo da corrosão é importante para a solução de problemas de peças equipamentos e partes estruturais do navio. Ter o conhecimento dos tipos de corrosão existentes, compreender os seus mecanismos de atuação e suas causas é importante para se saber que

medidas devem ser tomadas para prevenir a sua ocorrência ou minimizar os impactos gerados por ela nas embarcações.

CAPÍTULO I

CORROSÃO

1- Conceitos

A corrosão tem sido definida de forma bastante variada, muitas vezes enfocando apenas uma peculiaridade do fenômeno. Assim, por exemplo, uma definição bastante popular é aquela que afirma que a corrosão é o processo inverso da metalurgia extrativa, em que o metal retorna ao seu estado original, ou seja, o minério do qual foi extraído. Trata-se, sem dúvida, de uma concepção bastante limitada. Atualmente procura-se conceituar a corrosão de maneira bastante ampla. Assim, a corrosão pode ser definida como a *destruição ou inutilização para o uso de um material pela sua interação química ou eletroquímica com o meio em que se encontra*. Nesta definição o conceito de corrosão é estendido a outros materiais além dos metais, tais como plásticos, concretos, materiais cerâmicos, ficando excluída a madeira, para o qual o termo corrosão não é aplicado. Esta definição, ao especificar a interação química ou eletroquímica com o meio, exclui os processos de desgaste e deterioração por ação puramente mecânica, tais como o desgaste abrasivo ou a fratura mecânica. No entanto, os casos em que, além da componente mecânica, tem-se também uma ação de natureza química ou eletroquímica, mesmo parcial, são englobados pela corrosão. Finalmente, a corrosão contempla desde os casos de destruição total do material até simples manchas de superfície.

Corrosão é a deterioração dos materiais, especialmente metálicos, pela ação eletroquímica ou química do meio, podendo estar ou não associado a esforços mecânicos. Quando do emprego de materiais na construção de equipamentos ou instalações é necessário

que estes resistam à ação do meio corrosivo, além de apresentar propriedades mecânicas adequadas.

A corrosão pode incidir sobre diversos tipos de materiais, sejam metálicos como os aços ou as ligas de cobre, por exemplo, ou não metálicos, como plásticos, cerâmico ou concreto .

A ênfase será dada à corrosão dos materiais metálicos. Os processos corrosivos podem ser classificados em dois grupos que abrangem todos os casos de deterioração por corrosão : corrosão eletroquímica e corrosão química.

2- Corrosão Química

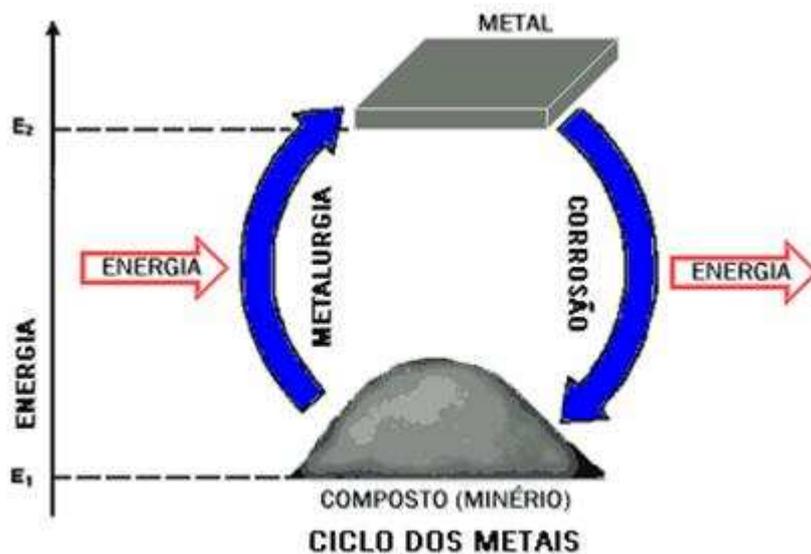
Como na corrosão química não se necessita de água líquida, ela também é denominada corrosão em meio não aquoso ou corrosão seca. Estes processos são menos freqüentes na natureza, envolvendo operações onde as temperaturas são elevadas, sendo também denominados por corrosão ou oxidação em altas temperaturas. Tais processos corrosivos se caracterizam basicamente por: - ausência da água líquida; - temperaturas em geral, elevadas, sempre acima do ponto de orvalho da água; - interação direta entre o metal e o meio corrosivo.

Existem processos de deterioração de materiais que ocorrem durante a sua vida em serviço, que não se enquadram na definição de corrosão. Um deles é o desgaste devido à erosão, que remove mecanicamente partículas do material. Embora esta perda de material seja gradual e decorrente da ação do meio, tem-se um processo eminentemente físico e não químico ou eletroquímico. Pode-se entretanto ocorrer, em certos casos, ação simultânea da corrosão, constituindo o fenômeno da **corrosão-erosão**.

3- Corrosão Eletroquímica

São mais freqüentes na natureza e acontecem em grande maioria na temperatura ambiente com formação de uma pilha ou célula de corrosão. O processo é acompanhado da circulação de elétrons na superfície metálica. Em face da necessidade do eletrólito conter água líquida, a corrosão eletroquímica é também denominada corrosão em meio aquoso. Os metais reagem com os elementos não metálicos presentes no meio, O₂, S, CO₂, produzindo

compostos semelhantes aos encontrados na natureza. Conclui-se, portanto, que nestes casos a corrosão corresponde ao inverso dos processos metalúrgicos.



4- Como ocorre a corrosão

Os metais raramente são encontrados no estado puro. Eles quase sempre são encontrados em combinação com um ou mais elementos não-metálicos presentes no ambiente. Minérios são, de modo geral, formas oxidadas do metal.

Com raras exceções, quantidades significativas de energia devem ser fornecidas aos minérios para reduzi-los aos metais puros. A fundição e conformação posterior do metal envolvem processos onde mais energia é gasta.

Corrosão pode ser definida, de modo simples, como sendo a tendência espontânea do metal produzido e conformado de reverter ao seu estado original, de mais baixa energia livre. Uma outra definição, amplamente aceita, é a que afirma que corrosão é a deterioração de propriedades que ocorre quando um material reage com o ambiente.

De uma perspectiva puramente termodinâmica, a tendência de decréscimo energético é a principal força encorajadora da corrosão metálica.

A corrosão afeta a sociedade de várias maneiras: utilização de maiores coeficientes de segurança, necessidade de manutenção preventiva (p. ex.: pintura) e corretiva, utilização de materiais mais "nobres" e caros, parada temporária da utilização do equipamento ou da estrutura, contaminação de produto, perda de eficiência, perda de credibilidade, etc.

Obviamente todos estes itens envolvem aspectos econômicos. Assim, existem muitas razões para se evitar a corrosão.

A corrosão pode ocorrer através de variadas formas, e sua classificação pode ser feita através da aparência do metal corroído. As formas mais comuns de corrosão que acometem o aço carbono são a corrosão uniforme, a corrosão galvânica, a corrosão por frestas e a corrosão por pites, menos comum, mas não menos importante.

O ataque uniformemente distribuído por grandes regiões da superfície metálica é certamente a forma mais comum de corrosão. Ela se distribui, em geral, por grandes áreas da superfície metálica e a velocidade com que progride, por ser uniforme, pode ser estimada.

A corrosão galvânica pode ocorrer quando dois metais diferentes, em contato elétrico (ou conectados por um condutor elétrico) são expostos a uma solução condutora de eletricidade de potencial elétrico existente entre diferentes metais ou ligas acaba por

fornecer o potencial termodinâmico necessário à manutenção do processo de corrosão.

As condições ambientais dentro de uma fresta podem, com o tempo, tornar-se muito diferentes daquelas encontradas em uma superfície próxima, limpa e exposta ao ambiente externo. Um ambiente muito mais agressivo pode se desenvolver e causar a corrosão localizada no interior da fresta. Frestas acontecem, por exemplo, em parafusos, pontos de solda descontínua e rebites, mas também podem ser criadas por depósitos de sujeira, produtos de corrosão, riscos em pintura, etc. Grande parte das ocorrências de corrosão envolve reações eletroquímicas.

5- Tipos de corrosão

5.1- Corrosão Uniforme

Consiste no ataque de toda a superfície metálica em contato com o meio corrosivo com a conseqüente diminuição da espessura.

Na corrosão uniforme, a perda de espessura da peça metálica é aproximadamente constante em toda a peça, Nessa forma de corrosão a diferença de potencial é causada pelas irregularidades microscópicas na estrutura metalúrgica, milhões de anodos e catodos estão espalhados por toda a superfície do metal em contato com o meio eletrolítico.

Embora a mais comum das corrosões, este tipo de corrosão não é, em geral, a mais perigosa, por ser facilmente diagnosticada por medidas da espessura das peças metálicas.

A ferrugem em peças de ferro e aço assume normalmente a forma de corrosão uniforme, sendo esta forma a mais encontrada em materiais não passiváveis.

5.2- Corrosão por pites

É aquela em que sua profundidade é maior em relação ao seu diâmetro. Essa forma de corrosão localizada consiste na formação de cavidades de pequeno diâmetro e maior profundidade na peça metálica. É uma forma de corrosão que não há perda da espessura da peça. A corrosão por pites é característica (embora não exclusiva) de materiais passiváveis, isto é, dos materiais que apresentam, devido à passivação, grande resistência a corrosão uniforme.

A causa da corrosão por pites é a existência de pequenas áreas no material, altamente anódinas em relação às áreas catódicas adjacentes. Entre os motivos que causam a corrosão por pites pode-se citar: danificação ou destruição da camada passivadora, defeitos superficiais locais no material, defeitos que permitam a penetração em meios corrosivos, ou a formação de crostas.

A corrosão alveolar é uma variante da corrosão por pites onde as cavidades apresentam um maior diâmetro e uma menor profundidade.

5.3- Corrosão por tensão

A corrosão sob tensão é uma forma de corrosão grave que é provocada pela existência de tensões de tração de um certo valor em algumas regiões da peça metálica.

Manifesta-se pelo aparecimento de trincas perpendiculares à direção da tração, podendo as trincas ser intergranulares, transgranulares ou ramificadas. As trincas vão aumentando e propagando até causarem a ruptura da peça.

Para essa forma de corrosão ocorrer é necessário a presença simultânea de três fatores:

- _ tensão de tração elevada,
- _ meio corrosivo,
- _ metal suscetível

E pode ser agravada por:

- _ aumento dos valores do limite de escoamento e da dureza do material,
- _ aumento do nível de tensão de tração
- _ aumento da concentração e temperatura do meio corrosivo.

A corrosão sob tensão tem aumentado muito ultimamente por consequência do aparecimento dos aços de alta resistência e dos novos códigos de projetos, que permitem tensões mais elevadas.

Quando as trincas ocasionadas pela corrosão sob tensão são iniciadas é impossível interrompê-las assim para os casos graves recomenda-se a utilização de materiais mais resistentes a corrosão. Já nos casos menos graves podem-se usar materiais menos resistentes à corrosão, mas é indispensável um cuidadoso tratamento térmico de alívio de tensão.

5.4- Corrosão Galvânica

É a corrosão característica que se dá quando dois materiais ou duas ligas diferentes estão em contacto mutuo em um meio eletrolítico, formando uma pilha passiva-ativa, na qual o material menos nobre (anodo) é corroído.

A corrosão galvânica é tanto mais intensa quanto mais distanciados entre si estiverem os dois materiais na série do potencial elétrico ou quanto melhor condutor de eletricidade for o meio eletrolítico.

A intensidade da corrosão galvânica depende também da relação da área entre o metal anódico e o metal catódico. Para o mesmo par de materiais a corrosão é mais intensa quando a área anódica for muito menor, porque haverá, nesse caso, a corrosão localizada de pequena área.

A corrosão galvânica é geralmente controlada pela colocação uma junta ou arruela ou outro material dielétrico (borracha, plásticos, etc.) entre os dois metais ou pela colocação de anodos de sacrificio. Anodos de sacrificio são constituídos por elementos de metais altamente (série galvânica) anódico, e que, por isso, são corroídos preferencialmente, protegendo o equipamento. A colocação dos anodos de sacrificio é dispendiosa por obrigar uma constante inspeção e troca dos anodos.

5.5- Corrosão Seletiva

É um nome genérico para designar algumas formas de corrosão preferencial, nas quais apenas um dos elementos de uma liga metálica é corroído. O resultado da corrosão seletiva é uma estrutura esponjosa sem nenhuma resistência mecânica. Alguns exemplos de corrosão seletiva são:

- **DEZINCIFICAÇÃO**: ocorre em latões com mais de 20% de Zn em contacto com água salgada e com ácidos nos quais o zinco é atacado.

- **CORROSÃO GRAFÍTICA**: ocorre em ferros fundidos cinzentos em contacto com meios: ácidos e água salgada. O ferro é atacado e o material fica reduzido a uma estrutura composta de carbono livre e carbonetos.

CORROSÃO GALVÂNICA



CORROSÃO SOB TENSÃO





CORROSÃO SOB TENSÃO

CORROSÃO SELETIVA



5.6- Corrosão Intergranular ou Intercristalina

Corrosão que ocorre quando a velocidade de corrosão das áreas de contorno de grãos (metalúrgicos) de uma liga excede àquela do interior do grão. Este fenômeno ocasiona a migração de elementos em direção aos contornos de grãos e o conseqüente empobrecimento da matriz metalúrgica.

A corrosão intergranular acontece principalmente nos aços inoxidáveis expostos em alguns meios corrosivos (capítulo sobre aços inoxidáveis), quando a periferia do grão fica

com menor quantidade de cromo livre do que o interior dos grãos, tornando-se assim, regiões anódicas, aonde vão se formar trincas.

A corrosão incisiva, também chamada de “Corrosão de fio de faca” é uma variante da corrosão intergranular, que ocorre nos aços inoxidáveis austeníticos estabilizados, apresentando-se, apenas, em uma faixa estreita ao longo das soldas. É também causada pela diminuição do cromo livre.

Quando o ataque se manifesta no contorno dos grãos, ocorre com mais frequência nos aços inoxidáveis austeníticos, quando sensibilizados e expostos a meios corrosivos, porém ocorre também no alumínio, duralumínio, cobre e suas ligas, além de outros materiais.

5.7- Corrosão transgranular ou transcristalina

Quando o fenômeno se manifesta sob a forma de trincas, que se propagam pelo interior dos grãos do material, como no caso da corrosão sob tensão dos aços inoxidáveis austeníticos, etc.



5.8- Corrosão-Erosão

Desgaste mecânico provocado pela abrasão superficial de uma substância sólida, líquida ou gasosa.

Quando os fluidos estão em velocidades acima de um certo valor limite ou em movimento turbilhonar intenso, aparece essa forma especial de corrosão denominada de corrosão-erosão, devido à desagregação do filme passivador ou de outro revestimento protetor.

A corrosão por turbulência e a corrosão sob atrito são variante da corrosão-erosão.



5.9- Corrosão Bacteriológica

Também chamada de biocorrosão, são formas de corrosão devido à ação de microorganismos, que podem atacar materiais metálicos de varia maneiras entre as quais:

- Produzindo ácidos minerais (H₂SO₄, H₂S etc) ou ácidos orgânicos (acético, fórmico)

- Destruindo a camada passivadora ou revestimentos protetores

- Despolarizando áreas catódicas pelo consumo de hidrogênio

Corrosão microbiológica refere-se à corrosão e perda de metal causada por microorganismos. É caracterizada por pequenas colônias dispersas. Ex. corrosão da hélice de barcos quando microorganismos a ela se agregam liberando ou absorvendo oxigênio.

5.10- Corrosão por concentração diferencial

A variação de determinados componentes no meio no qual o material está permanentemente ou mesmo eventualmente imerso (em contato) provoca igualmente ação corrosiva, a qual é denominada **corrosão por concentração diferencial**. Seu mecanismo de ação é a formação de pilhas de concentração iônica diferencial e pilhas de aeração diferencial.

Este tipo de corrosão pode ser dividido em **corrosão por concentração iônica diferencial**, associada com a variação de determinadas concentrações iônicas propriamente ditas do meio, a **corrosão por aeração diferencial**, variando a concentração de determinados gases da atmosfera gasosa em contato com o material, a **corrosão em frestas**, ocasionada por configuração geométrica do material corroível, que possibilita a formação de variações de concentração ou de aeração e pelo mesmo motivo, a **corrosão filiforme**, mas associada a configurações dos revestimentos aplicados, tais como a pintura.

5.11- Corrosão por concentração iônica diferencial

A corrosão por concentração iônica diferencial ocorre quando no eletrólito com o qual o metal está em contato apresentam-se diferenças de concentração de íons do metal ou ainda outro cátion ou ânion que propicie a corrosão, como o Na⁺ e outros íons alcalinos ou ainda sulfatos, por exemplo, conseqüentemente propiciando a partir de um primeiro ataque, a variação de cátions do metal. Este diferencial propiciará a formação de pilhas através da presença de diferentes potenciais eletroquímicos das áreas de maior e menor concentração, que funcionarão respectivamente como cátodo e como ânodo.

5.12- Corrosão por aeração diferencial

Quando há variações nas concentrações de oxigênio no meio eletrólito ocorre a chamada tecnicamente corrosão por aeração diferencial.

Com a concentração de oxigênio mais alta no meio circundante, mais catódico se torna o potencial eletroquímico de um material metálico, tornando as áreas em contato com esta concentração mais elevada de oxigênio catódicas, gerando diferença de potencial em relação as áreas de meio de menor concentração de oxigênio, que passam a ser anódicas. Este tipo de corrosão ocorre frequentemente em regiões intermediárias entre dois meios, como ar e água ou ar e solo, como nas estruturas metálicas com partes subaquáticas ou no solo.

5.13- Corrosão em frestas

A corrosão em frestas é uma forma localizada de corrosão que ocorre quando pequenas quantidades de um meio corrosível ficam retidas ou estagnadas em frestas, cavidades ou quaisquer espaços confinados, ou seja, onde o fluxo de fluido corrosível é muito difícil ou nulo, e o suprimento de oxigênio fica assim diminuído.

No interior da fresta, ocorrem reações eletrolíticas que modificam a composição do eletrólito, tornando-o mais ácido. A diminuição do pH permite a ruptura da camada passivadora dos aços inoxidáveis, resultando em intensa corrosão localizada.

Cavidade com abertura maior que 3 mm, em geral, não oferecem riscos, A corrosão é, principalmente grave para cavidades em forma de frestas, sendo o ataque tanto maior quanto menor for a abertura da fresta e quanto maior for sua profundidade.

A corrosão em frestas é também chamada de corrosão sob contacto de corrosão “por célula de concentração” e de corrosão intersticial.

A ação da aeração diferencial e/ou da concentração iônica diferencial produzem a formação de pilhas em frestas em materiais metálicos. Estas frestas podem ser definidas como as ocorrentes em juntas soldadas de chapas sobrepostas, em juntas de chapas unidas por rebites, em ligações de tubulações unidas por flanges, em ligações de tubulações proporcionadas por roscas de parafusos, nos revestimentos feitos através de chapas aparafusadas e inúmeras configurações de geometrias que proporcionem a formação de frestas.

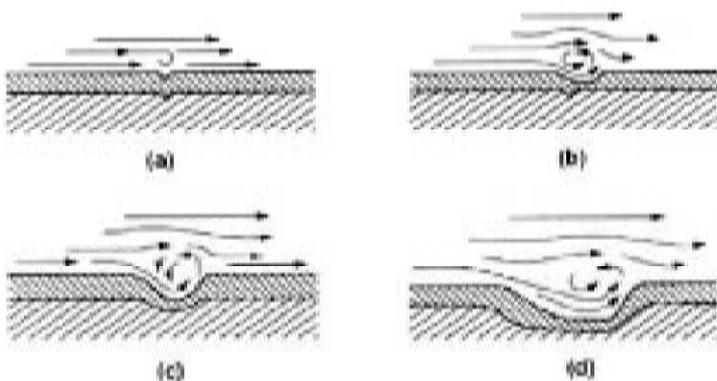
5.14- Corrosão filiforme

Quando a corrosão se processa sob camadas de revestimento, como a pintura, ela é denominada de corrosão filiforme. Embora o mecanismo principal desta corrosão não seja completamente entendido, atribui-se aos mesmos mecanismos da corrosão por frestas a esta corrosão, especialmente quando em defeitos no revestimento a aeração diferencial. Esta corrosão processa-se tipicamente nas bordas da superfície do material, progredindo por filamentos que curiosamente apresentam reflexões de mesmo ângulo do de incidência quando encontram obstáculos.

5.15- Corrosão com cavitação

Define-se cavitação como o processo de desgaste provocado em uma superfície, especialmente metálica, devido a ondas de choque no líquido, oriundas do colapso de bolhas gasosas nele temporariamente formadas por ebulição, normalmente a baixa pressão. Nas regiões de um sistema em movimento (como são os casos de pás de bombas centrífugas) ou em vibração (como são os casos das camisas de fluidos refrigerantes dos motores), onde ocorrem pelo menos momentos de baixas pressões, o suficiente para produzir bolhas de vapor ou mesmo de gases até então dissolvidos, e havendo a reversão para situações de pressão mais alta, causando o colapso de tais bolhas, que por redução praticamente instantânea de seu volume provocando ondas de choque e causando o impacto do fluido com as paredes, num

efeito de "martelamento". Do mesmo modo que a erosão por partículas em suspensão nos fluidos, a cavitação provoca a destruição das camadas de oxidação protetora das superfícies, propiciando de maneira similar o ataque corrosivo, com o acréscimo de provocar a deformação plástica com o encruamento causado pela ação das ondas de choque de alta pressão e portanto a formação de novas regiões anódicas.



Igualmente a processo de corrosão com ação conjunta da erosão, a ação dos dois fatores

somados causa maiores perdas de material que a ação isolada da cavitação ou da corrosão.

É de se citar igualmente a formação, propiciando a maior formação de bolhas, de "focos de ebulição", que são regiões de maior aspereza (ou pontas e arestas) no material, de onde há a mais fácil formação de bolhas de vapor, exatamente pela ação inicial da corrosão ou da cavitação, sinergizando o processo, propiciando ainda mais cavitação.

5.16- Corrosão por turbulência ou impingimento

A chamada corrosão por turbulência ou impingimento é um processo corrosivo associado aos fluxos turbulentos de um líquido, ocorrendo especialmente quando há a redução da área do fluxo, ou em outras palavras, quando seu caminho torna-se mais estreito ou apresentar mudança de direção, como em curvas ou como se usa dizer em tubulações, "cotovelos". De modo similar à cavitação, os fluxos turbulentos podem provocar regiões de baixa pressão e bolhas especialmente de gases dissolvidos (como por exemplo o ar) e vapor que podem colapsar, causando a ação de ondas de choque do fluido contra a parede metálica e o processo erosivo deste modo resultante é denominado de impingimento. O ataque é um tanto diferente da cavitação, propiciando alvéolos na forma de ferradura e pela ação dominante de bolhas (geralmente ar) enquanto na cavitação a fase gasosa dominante é o vapor do líquido.

5.17- Corrosão por placas

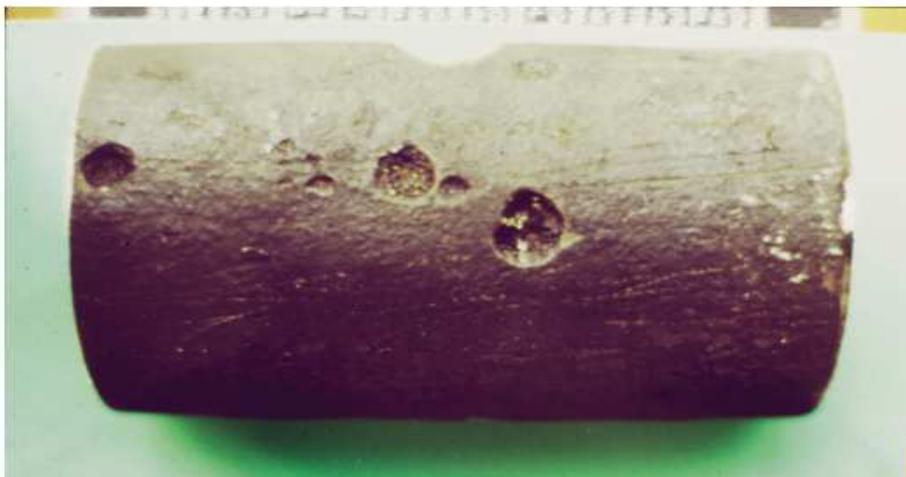
A corrosão por placas se dá quando os produtos da reação de corrosão formam-se em placas que se progressivamente se desprendem do volume do material. É comum em metais que formam películas protetoras a princípio mas ao estas ganharem espessura pelo aumento do volume do produto de corrosão, causarem fraturas, perderem aderência no material principal, pesprenderem-se e exporem novas massas de metal ao ataque.



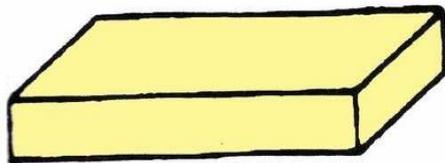
Corrosão em placas.

5.18- Corrosão alveolar

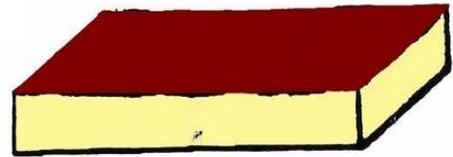
A corrosão alveolar ocorre quando a perda de volume provocado pela corrosão se dá sob forma mais localizada, com maior profundidade que a corrosão por placa e sem o desprendimento de material não corroído como a corrosão por placas, passando a formar crateras. Normalmente iniciam por **corrosão por pite**. São frequentes em metais que formam películas semi-protetoras ou quando o processo de corrosão se dá por depósito, como em casos de corrosão por aeração diferencial.



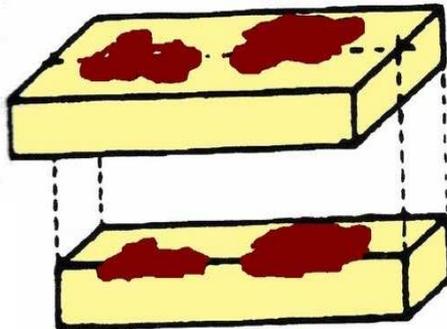
Corrosão alveolar.



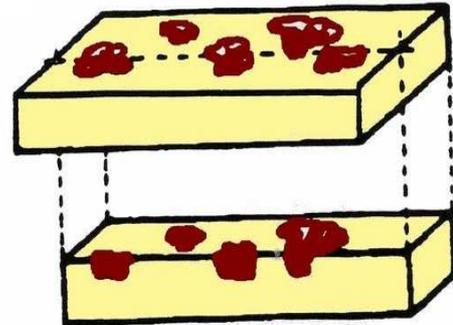
CHAPA SEM CORROSÃO



CORROSÃO UNIFORME

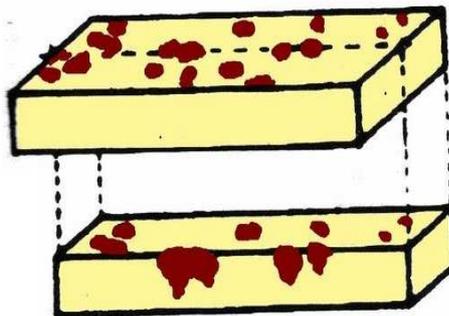


CORROSÃO EM PLACAS



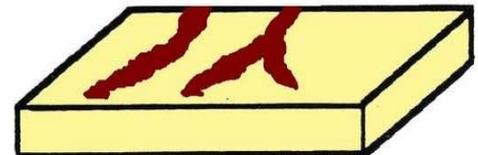
CORROSÃO ALVEOLAR

Diâmetro da base maior que a profundidade

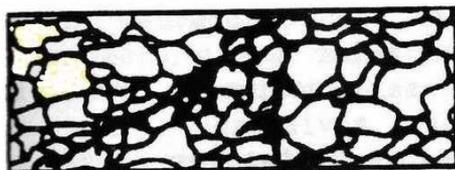


CORROSÃO PUNTIFORME (PITE)

Profundidade maior que o diâmetro de base



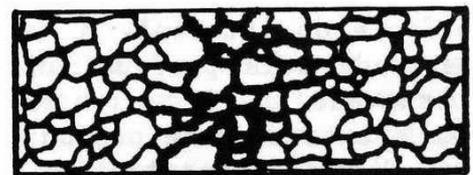
CORROSÃO INTERGRANULAR OU INTRAGRANULAR (VISTA DA ÁREA EXPOSTA)



CORROSÃO INTRAGRANULAR

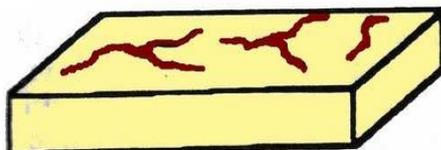
ou Transgranular

- ocorre nos próprios grãos da rede cristalina do metal



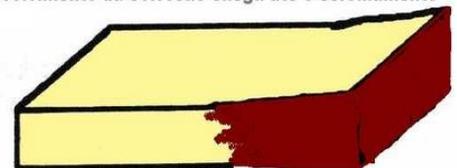
CORROSÃO INTERGRANULAR (MICROGRAFIA)

- o desenvolvimento da corrosão chega até o esfolhamento



CORROSÃO FILIFORME

principal causa: pintura envelhecida



CORROSÃO POR ESFOLIAÇÃO

TIPOS DE CORROSÃO

6- Fatores que influenciam a corrosão

Existem vários fatores que influenciam o fenômeno da corrosão, abaixo discutiremos alguns destes fatores. Novamente relembro que a corrosão é um processo que se dá na superfície do material, assim, a corrosão é influenciada pelas características do meio corrosivo ao seu redor. No caso de equipamentos de processo, a maior parte das vezes, o meio corrosivo é o próprio fluido de trabalho.

As características do fluido que influenciam no processo de corrosão são entre outras, sua natureza, temperatura, concentração, impurezas, umidade, velocidade.

Em geral a corrosão é mais severa para as altas concentrações de fluidos, contudo para fluido ácidos pode haver violenta corrosão dos materiais mesmo para pequenas concentrações. A presença de impurezas no fluido pode atenuar ou agravar a corrosão, é mais freqüente o agravamento. A presença do oxigênio é benéfica se o metal puder ser passivado pela formação de óxidos, caso contrário o oxigênio agrava a corrosão. A presença de gases dissolvidos ou sólidos em suspensão no fluido em geral agrava a contaminação.

Em geral o aumento da temperatura agrava a corrosão. Cabe ressaltar que para temperaturas acima da temperatura de orvalho, as formas de corrosão eletroquímicas não ocorreram. Contudo quando os equipamentos são parados a temperatura decresce e pode ficar menor que a temperatura de orvalho causando intensa corrosão nestes momentos.

Para que a corrosão eletroquímica ocorra é necessário a presença de umidade, assim, a umidade é agravante da corrosão. Cabe ressaltar que a umidade pode reagir com gases poluentes da atmosfera gerando ácidos.

Quando a velocidade do fluido é baixa e sem turbilhonamento, aparecerá na parede do material a camada de aderência, a qual serve de proteção contra a corrosão, contudo se a velocidade for muito baixa ou nula poderá ocorrer a corrosão por fretas.

Para velocidade acima de um certo valor, ocorrendo ou não o turbilhonamento, essa arrancará as crostas e escamas formados na superfície do material, agravando a corrosão.

De forma geral quando o material metálico for sujeito a corrosão sob tensão ela será agravada caso a freqüência cíclica das tensões for aumentada ou se a própria tensão de tração for elevada.

Um outro fator que influencia a corrosão é o acabamento da peça metálica, principalmente da forma de corrosão por pites quanto melhor o acabamento menor a corrosão.

As regiões de interface com gases (líquido-gás, por exemplo) sempre são mais sujeitas a presença do fenômeno de corrosão, pois nestas regiões haverá a dissolução dos gases que variaram a natureza dos líquidos. Também na interface haverá a diferença de potencial causada pela diferença entre a parte seca e a parte molhada da peça.

7- Corrosão em navios

A destruição causada pelo processo corrosivo é responsável por grandes prejuízos, tanto pela necessidade de substituição de chapas de aço, quanto pelo aumento da rugosidade das superfícies do casco, com consequente aumento no consumo de combustível, utilizado para o deslocamento do navio ou embarcação. Sendo assim, a corrosão do casco, tanques, equipamentos, etc contribui para a necessidade de reparos periódicos e trabalhosos, bem como para redução considerável da segurança operacional, causando um lucro cessante.

Em corrosão naval, vários aspectos devem ser considerados, tais como: a região climática em que os navios operam, natureza das águas, águas dos portos, tipos de cargas a transportar, tipo de construção e a qualidade de manutenção dos mesmos.

8- Como evitar a corrosão

A forma mais eficiente para prevenir a oxidação e a corrosão é criando uma camada protetora anticorrosiva chamada proteção de barreira. A maioria dos produtos que geram camadas protetoras contra a corrosão são feitos a base de Cera, Teflon ou Silicone. Alguns são selantes, o que impede a penetração do ar e da umidade. Por outro lado, não podemos deixar de lembrar que as principais causas da corrosão e oxidação são o sal e a umidade. Produtos selantes normalmente conseguem isolar a área do meio-ambiente, entretanto, não conseguem expulsar o sal e a umidade previamente depositados sobre a camada a ser protegida.

Com isso, embora de forma mais lenta, a corrosão continua se formando entre a camada selante e o metal base, pois continuam reagindo através da eletrólise. Percebe-se claramente essa reação quando observamos bolhas na superfície dos selantes ou nos revestimentos dos metais. Além disso, os selantes são isolantes e não podem ser usados para revestir contatos eletromecânicos, pois impediria a transferência de energia.

Outra forma eficiente e barata para se precaver contra a corrosão é evitar frestas, que podem acumular água e umidade. Qualquer região em que duas superfícies estejam muito próximas pode ser considerada uma fresta. Devem ser analisados: parafusos, rebites, cantoneiras perfiladas, soldas irregulares, respingos de solda, cantos vivos, descontinuidades e soldas intermitentes.

Para impedir o acesso da água a áreas em que ela possa ficar retida por longos períodos, frestas devem ser preenchidas com selantes e os componentes devem ter furos de drenagem. Se forem bem ventilados, a água pode evaporar. A criação de cavidades, no entanto, deve ser evitada. Dê preferência às juntas parafusadas, já que as soldadas em campo necessitam de controle e testes. Caso utilize Perfis, eles devem ser colocados de modo que as superfícies possam ser devidamente pintadas e protegidas. A tinta de fundo, aplicada com pincel ou spray, serve como uma barreira adicional contra a corrosão.

É preciso ter em mente que a corrosão apenas ocorre se houver umidade, mas não só a água causa umidade, depósitos sólidos (como a lama, por exemplo) também causam. Por isso, as juntas devem ser feitas de forma contínua, as soldas devem ter boa penetração (para evitar porosidades) e é recomendado fazer o lixamento de cantos vivos, soldas e respingos.

Já para evitar a corrosão galvânica, o melhor é intercalar, entre dois metais ou ligas, um isolante elétrico. Mas atenção: o material isolante não deve ser poroso, pois ele pode absorver água e causar a corrosão por frestas. O uso de juntas coladas ajuda bastante neste sentido.

A maneira eficaz e barata de evitar a corrosão é projetar corretamente à obra, não favorecendo o ataque corrosivo. Uma construção econômica é aquela que apresenta os menores custos ao longo de sua vida.

9- Controle, prevenção e custos

Os métodos gerais para controle e prevenção de corrosão mais amplamente aceitos na indústria são: o uso de materiais de construção especiais resistentes à corrosão, a aplicação de barreiras inertes como a pintura industrial, a utilização de métodos de proteção catódica ou

anódica, bem como os ajustes no meio eletrólito ou corrosivos da química, a aplicação de inibidores específicos para controle de corrosão, além da aplicação de sistemas anti-corrosivos.

Um sistema anti-corrosivo é composto por dois componentes que formam um conjunto. Este conjunto funciona como uma barreira que controla a oxidação e evita o ataque de fatores externos.

Os componentes de um sistema anti-corrosivo têm, em primeiro lugar, a função de fornecer ao sistema a aderência suficiente para o substrato, além de agir como um inibidor de corrosão catódica (devido à sua elevada proporção de zinco). O acabamento, que consiste em uma película ou camada, complementa o sistema e fornece uma alta resistência ao ataque do meio ambiente.

Como já havíamos mencionado o processo de corrosão é um processo natural por isso é impossível impedir o surgimento de todas as formas de corrosão. De uma maneira geral um bom projeto do equipamento de processo será meio caminho andado no controle da corrosão.

Algumas providências que deveram ser tomadas para o controle de corrosão já no projeto são:

- _ Sempre que econômico preferir matérias mais resistentes a corrosão;
- _ Empregar revestimentos protetores (cladeamento, galvanização alonização etc);
- _ Quando possível realizar a proteção catódica que consiste na transformação de uma peça no catodo de uma pilha de corrosão;
- _ Evitar cavidade onde o fluido possa ficar retido;
- _ Dar preferência a trajetória aerodinâmicas de regime laminar para os fluidos;
- _ Evitar pontos de concentração de tensões, causados na maioria das vezes por discontinuidades geométricas, soldas descontínuas ou por cargas concentradas;
- _ Evitar o contacto ou soldagem de materiais ou ligas metálicas diferentes;
- _ Projetar dispositivos de inspeção para vasos tanque e outros reservatórios;
- _ Evitar: juntas, gaxetas e outras peças que possam reter fluidos corrosivos.

Caso o controle da corrosão não seja econômico estimar uma margem de corrosão, que consiste no calculo de uma espessura extra da peça metálica, a qual poderá ser sacrificada sem prejudicar a resistência mecânica da peça.

Realizando uma análise dos custos, a Lei de Sitter ou Lei dos Cinco (a cada etapa os custos são multiplicados por cinco), gráfico abaixo, interpreta a evolução progressiva de custos de manutenções. Observa-se que quando a manutenção é racionalizada desde o projeto os custos são menores. Quando a manutenção ocorre somente na fase de uso, os custos são maiores (t_3 e t_4).

Importante destacar, também, que os custos com manutenções preventivas são menores que os das corretivas. Eis aqui um dos pontos de viabilidade no investimento na manutenção.



t_1 - danos ligeiros, não perceptíveis → manutenção preditiva → R\$ 1,00

t_2 - danos leves → manutenção preventiva → R\$ 5,00

t_3 - danos moderados → manutenção corretiva → R\$ 25,00

t_4 - danos graves → restauro → R\$ 125,00

10- Métodos que melhoram a resistência à corrosão

Alguns materiais de elevado uso industrial possuem baixa resistência a corrosão na maioria dos meios. Esta resistência pode ser melhorada, ampliada ou até mesmo obtida no seu mais elevado grau, utilizando técnicas ou métodos de proteção anticorrosiva que promovem a passivação ou a polarização do material. Dentre estas técnicas ou métodos podem ser citados

os revestimentos, os inibidores de corrosão, as técnicas de modificação do meio e a proteção catódica.

- **REVESTIMENTO**

Os revestimentos constituem-se em películas interpostas entre o metal e o meio corrosivo, e esta pode dar ao material um comportamento mais nobre ou protegê-lo por ação galvânica, aumentando assim a resistência do material à corrosão.

- **TÉCNICAS DE MODIFICAÇÃO DO MEIO CORROSIVO**

Além dos inibidores que agem através do meio corrosivo há outras técnicas de modificação do meio, dentre elas vale destacar a desaeração e o controle do pH. A desaeração consiste na retirada de oxigênio do meio, porque sendo o oxigênio um agente despolarizante, com sua retirada favorece-se a polarização catódica com uma conseqüente diminuição do processo corrosivo.

- **PROTEÇÃO CATÓDICA**

A proteção catódica é um método de aumento da resistência à corrosão, que consiste em tornar a estrutura a proteger em catodo, forçando um alto grau de polarização catódica (formação de hidrogênio e outros compostos sobre a superfície do catodo).

Vamos dar atenção à pintura industrial e à proteção catódica, que são as mais importantes formas de controle e prevenção à corrosão.

CAPÍTULO II

PINTURA INDUSTRIAL

Na especificação de um esquema de pintura procura-se indicar tintas de alto padrão técnico, preparo adequado de superfície e condições de aplicação para se conseguir bom desempenho do esquema de pintura e conseqüentemente adequada tempo de vida útil das estruturas ou equipamentos. O aço é o principal material utilizado pela engenharia na construção de equipamentos e instalações. E devido sua baixa resistência à corrosão, a PINTURA INDUSTRIAL tornou-se o principal meio de proteção anticorrosiva da era moderna. A aplicação de pintura industrial consiste na interposição de uma película, em geral orgânica, entre o meio corrosivo e o material metálico que se deseja proteger. Estes revestimentos são aplicados por forma de TINTAS.

1- Para que serve a pintura industrial?

A Pintura Industrial tem uma série de utilidades, tais como: Identificação de fluidos em tanques, reservatórios, tubulações, etc., maior ou menos absorção de calor, finalidade estética, sinalização de estruturas e/ou equipamentos e para TRATAMENTO ANTICORROSIVO.

Como técnica de proteção anticorrosiva, a pintura possui uma série de características importantes, tais como facilidade de aplicação e de manutenção, relação custo/ benefício atraente e ainda pode proporcionar outras propriedades adicionais como

- **Finalidade estética:** Neste caso o objetivo é tornar o ambiente agradável;
- **Sinalização de estruturas ou de equipamentos;**
- **Identificação de fluidos em tanques ou tubulações;**
- **Auxílio na segurança industrial;**
- **Impedir a incrustação de microrganismos marinhos nos cascos das embarcações:** A aplicação das chamadas tintas anticrustantes ou “antifouling” nos cascos das

embarcações evita a incrustação de microrganismos marinhos nos mesmos, o que contribui para evitar o consumo excessivo de combustível e aumentar a durabilidade da proteção anticorrosiva;

- **Permitir maior ou menor absorção de calor:** Através do uso correto das cores das tintas pode-se, por exemplo, reduzir as perdas por evaporação em tanques de combustível. A cor branca é a mais indicada para esta finalidade. Já a cor preta é recomendada para os casos em que há necessidade de uma maior absorção de calor;
- **Diminuição da rugosidade superficial:** A pintura pode ajudar a diminuir a rugosidade superficial, para facilitar o escoamento de fluidos;
- **Identificação de falhas em isolamento térmico de equipamentos:** Através da utilização de tintas indicadoras de temperatura pode-se detectar a presença de falhas no isolamento térmico, uma vez, que nos locais de falhas do mesmo, a pintura muda de cor;

2- Importância do tratamento da superfície

Quanto mais limpa e isenta de contaminantes como tintas velhas mal aderidas, óleos, graxas, carepa de laminação, sais e CORROSÃO, melhor será o desempenho do esquema de pintura e a aderência do esquema ao substrato.

Tintas são substâncias químicas em forma líquida, pastosa ou em pó, que após aplicação e cura, forma um filme seco, duro e obliterante.

Quando se vai proteger uma estrutura ou um equipamento, por meio de revestimentos por pintura, na realidade o que se vai fazer é a aplicação de um esquema de pintura sobre a superfície a ser protegida. É comum definir-se esquema de pintura como sendo um procedimento dentro do qual se especificam todos os detalhes técnicos envolvidos em sua aplicação, como por exemplo:

- O tipo de preparação e o grau de limpeza da superfície;
- As tintas de fundo (“primer”), intermediária e de acabamento a serem aplicadas;
- A espessura de cada uma das demãos de tintas;
- Os intervalos entre demãos e os métodos de aplicação das tintas;
- Os critérios para a execução de retoques na pintura;
- Os ensaios de controle de qualidade a serem executados na pintura;
- As normas e os procedimentos a serem seguidos para cada atividade a ser

realizada (ex: Normas de aderência, de medição, de espessura e etc.).

Para fins de proteção anticorrosiva de estruturas metálicas ou de equipamentos, um esquema de pintura é composto, na maioria dos casos, por três tipos de tinta: **Tinta de fundo ou primária (primer)**, **Tinta intermediária** e **Tinta de acabamento**. É importante ressaltar que nem sempre é necessária a presença da tinta intermediária. Em alguns casos, dependendo de especificação do esquema de pintura, ela pode ser substituída por uma demão adicional de tinta de fundo ou da tinta de acabamento.

· **TINTA DE FUNDO (PRIMER):** São aquelas que são aplicadas diretamente ao substrato, portanto, é a tinta responsável pela aderência do esquema de pintura ao substrato a se proteger e são as que contêm na composição os pigmentos ditos anticorrosivos;

· **TINTA INTERMEDIÁRIA:** São tintas normalmente utilizadas nos esquemas de pintura com a função de aumentar a espessura do revestimento, com o objetivo de aumentar a proteção por barreira do mesmo. Algumas tintas intermediárias são denominadas seladoras, que são utilizadas para selar uma película muito porosa, antes da aplicação da tinta de acabamento;

· **TINTA DE ACABAMENTO:** São as tintas que têm a função de conferir a resistência química ao revestimento, pois são elas que estão em contato direto com o meio corrosivo, possuem na maioria dos casos boa resistência à radiação ultravioleta e são as tintas que conferem a cor final dos revestimentos por pintura.

3- Sistemas de pintura

Os sistemas de pintura consistem de um conjunto constituído por vários elementos que, dentre os mais importantes pode-se destacar:

- Padrão de limpeza da superfície;
- Especificação das tintas: de fundo, intermediária e acabamento;
- Processo de aplicação das tintas;
- Número de demãos de tintas e espessuras secas por demão;
- Intervalo entre demãos;
- Ensaios para aceitação e qualificação do sistema de pintura (espessura seca final, aderência, descontinuidade e outros).

Na seleção ou elaboração de um sistema de pintura, principalmente aqueles destinados à anticorrosiva, diversos fatores são levados em consideração a fim de se obter o desempenho esperado. Os mais importantes são:

- Condições de exposição das superfícies (submersa, enterrada ou exposição atmosférica);
- Agressividade do meio corrosivo ao qual o material a ser protegido ficará exposto;
- Condições operacionais de trabalho (temperatura, abrasão, etc).

Além destes, outros fatores podem determinar variações no sistema de pintura, em função de certas situações, por exemplo:

- Equipamentos ou instalações de grande importância, em um processo industrial e que dificilmente podem ser colocados em manutenção, necessitam de um sistema de pintura de alta performance;
- Equipamentos ou instalações de maior responsabilidade, que possuam utilização em apenas certos períodos, ou que entrem em manutenção periodicamente, podem ser pintados com sistemas mais econômicos do que aqueles indicados exclusivamente do ponto de vista de ambiente corrosivo.

4- Aplicação de sistemas de pintura

A eficiência da proteção anticorrosiva conferida por um sistema de pintura depende de uma série de fatores que dentre os mais importantes podemos destacar:

- Especificação do sistema de pintura;
- Preparação da superfície;
- Qualidade das tintas;
- Aplicação das tintas;
- Preparação do aço;
- “Lay Out” anticorrosivo

A especificação do sistema de pintura deve ser elaborada adequadamente em função da agressividade do meio e das condições de trabalho das estruturas ou equipamentos, a fim de selecionar as tintas e os métodos de preparação da superfície mais apropriados.

A preparação da superfície é um fator determinante para garantir a adesão das tintas aos substratos em geral e como e como conseqüência concorrerá para aumentar a proteção anticorrosiva do sistema de pintura.

A qualidade das tintas é um fator muito importante, pois se elas não atenderem aos requisitos contidos nas suas especificações e não resistirem às condições do meio que serão expostas, certamente a proteção anticorrosiva ficará prejudicada.

A aplicação das tintas, é também uma das etapas que se não for executada adequadamente todo o sistema de pintura ficará comprometido. Condições climáticas durante a aplicação (umidade relativa, temperatura do ar e do substrato), controle de espessura úmida e seca, intervalo de repintura entre demãos, adesão ao substrato metálico e verificação de porosidades, são algumas das principais propriedades que normalmente são observadas durante e após a aplicação das tintas.

A preparação do aço é a etapa da pintura que consiste em quebrar quinças vivas, remover respingos de soldas, preencher porosidades, esmerilhar superfície irregulares como cordões de solda manual e cortes a maçarico.

O “lay out” anticorrosivo se refere aos cuidados específicos que devem ser tomados durante a fase de projeto das estruturas ou equipamentos.

5- Pintura de navio

A pintura de navios e embarcações é normalmente realizada em dique seco durante a fabricação ou docagem, executando pequenos reparos ou até mesmo demãos de acabamento, que podem ser aplicadas com a embarcação flutuando.

No caso de fabricação de navios, é comum a aplicação de demãos de tinta de fundo (primer) no recebimento das chapas, a fim de protegê-las durante a estocagem, bem como tornar mais rápido o processo de fabricação, ficando as demãos de acabamento para serem aplicadas ao final da montagem

OBRAS VIVAS: Deve ser selecionado um esquema para imersão em água salgada, e aplicada uma tinta de acabamento anticrustante.

COSTADO, CONVÊSES EXPOSTOS E SUPERESTRUTURAS: Deve ser selecionado um esquema para atmosfera altamente agressiva (atmosfera marinha possui elevada umidade).

TANQUES DE LASTRO, ÁGUA POTÁVEL E CARGA: Deve ser selecionado um esquema para imersão no produto considerado. Para tanques de carga é comum pintar o fundo, o teto e um metro das laterais junto ao fundo e ao teto, já tanques para transporte de produtos químicos recebem pintura total.

PRAÇA DE MÁQUINAS: Nesta região, a pintura sofre comumente muitos danos mecânicos, sendo freqüente a utilização de esquemas menos nobres, que são refeitos periodicamente.

APLICAÇÕES DA PINTURA INDUSTRIAL





6- Maior velocidade da inspeção e aquisição de dados

A fim de preservar a integridade estrutural de grandes superfícies, tais como navios, tanques, plataformas, dutos e outros tipos, o mercado teve que pensar numa solução eficaz tanto no desempenho da atividade em si, quanto nas formas de otimizar o trabalho, incluindo as tecnologias, custo e sua operacionalização. Uma empresa do setor, especializada em inspeção e desenvolvimento de softwares, vem testando uma solução que se baseia em multiplexadores (circuito básico de interconexão) por ultrassom.

O uso de multiplexadores de ultrassom permite cobrir e avaliar tais tipos de grandes estruturas a um custo razoável, tornando possível a criação de sistemas de pequeno porte, além de confiáveis.

O uso de multiplexadores de ultrassom otimiza a infraestrutura de inspeção, tanto de equipamentos como de pessoal, permitindo que poucos operadores, com poucos instrumentos, possam inspecionar rapidamente grandes áreas, com alta resolução. Os multiplexadores desenvolvidos são os menores e mais velozes do mercado, podendo ser facilmente adaptados a aplicações em que a portabilidade é importante. Possuem baixo consumo, podendo operar com bateria e alta velocidade de varredura. Com os multiplexadores e os programas de aquisição e análise desenvolvidos, podem ser montados sistemas altamente eficientes para análise de falhas em estruturas.

Existe uma tendência no mercado em exigir, além do laudo, uma descrição dos procedimentos adotados, havendo, dentro deste perfil, uma preferência por sistemas automáticos, capazes de adquirir uma maior quantidade de dados, decorrente de uma melhor

resolução de medida, com o objetivo de identificar defeitos cada vez menores e disparar medidas preventivas.

Parte das plataformas e dos petroleiros brasileiros já tem um tempo de uso razoável e precisam de inspeção de alta resolução, pois tendem a apresentar problemas de corrosão mais sérios e maiores.

7- Garantindo maior durabilidade

Dois fatores são apontados como os principais na busca pela maior durabilidade dos produtos e tratamentos de combate à corrosão. Manutenções preventivas e aplicação e escolha adequada do revestimento para as condições de exposição são, segundo as empresas, os itens mais importantes nesse contexto. Tais manutenções e inspeções preventivas podem ser feitas tanto pela empresa cliente quanto pela fornecedora, e o período de verificação varia em cada caso.

Ainda na busca de maior durabilidade, existe um outro fator muito importante e anterior à aplicação dos revestimentos que poderá ser crucial no resultado final dessas aplicações. Trata-se da preparação de superfícies. Neste processo, são retiradas quaisquer sujidades, sais solúveis e componentes causadores de corrosão em superfícies.

Uma das opções existentes no mercado é o hidrojateamento. Considerada uma das mais seguras e ecologicamente corretas opções de preparação de superfícies, o hidrojateamento em pressão elevada confere maior produtividade ao processo, o equivalente a 50% se comparado a outros.

Este procedimento substitui todos os processos particulados empregados para esta finalidade, tais como granalha de aço e escória de cobre, e processos mecânicos como agulheiros, esmerilhamento, lixamento, dentre outros.

8- Falhas durante a aplicação de tintas

O reconhecimento do tipo de defeito que encontramos na pintura industrial, a compreensão de sua causa e como corrigi-lo prontamente reduz o custo da manutenção enquanto permitem manter uma aparência estética de alto nível de aceitação.

Todas as tintas falham, eventualmente, por causa do intemperismo, sobretudo as externas. Contudo, falhas precoces são onerosas e freqüentemente ocorrem. Quando as falhas

da pintura concernentes a aplicação podem ser imediatamente detectadas, modificações nas condições de aplicação resultam no remédio imediato.

Quando o defeito é detectado após a secagem da tinta, com ou sem exposição, a pintura tem que ser removida de substrato para evitar ocorrência de corrosão. Se, contudo o defeito é restrito a aspectos superficiais como cor, brilho ou textura bastará, no geral, lixar e aplicar outra demão.

Concluimos que a pintura é um método de proteção anticorrosiva com satisfatória relação custo / benefício e de alta qualidade. Porém para atingir tais parâmetros devemos considerar fatores importantes como: Condições de exposição e de trabalho dos equipamentos e das estruturas que serão utilizadas em todo o processo de pintura.

CAPÍTULO III

PROTEÇÃO CATÓDICA

A utilização de instalações metálicas submersas, tais como oleodutos, gasodutos, adutoras, redes de incêndio, navios, emissários submarinos, plataformas de petróleo, piers de atracação de navios, tanques de armazenamento e muitas outras, tem sido cada vez mais freqüente. Em conseqüência, os problemas de corrosão aumentam em grandes proporções, obrigando ao desenvolvimento e ao aperfeiçoamento de novas técnicas para o seu combate e controle, tais como a aplicação de novos processos metalúrgicos, o uso de revestimentos protetores e o emprego de proteção catódica, já agora bastante conhecidas e difundidas entre nós.

A proteção catódica é a técnica que transforma a estrutura metálica que se deseja proteger em uma pilha artificial, evitando, assim, que a estrutura se deteriore. É graças à proteção catódica que grandes estruturas portuárias e plataformas marítimas operam com segurança. A proteção catódica de estruturas metálicas é baseada na injeção de corrente elétrica por meio de duas técnicas: a proteção por anodos galvânicos (espontânea) e a proteção por corrente impressa (não-espontânea).

A proteção catódica não é uma técnica recente, sendo utilizada há muitos anos para retardar a corrosão das chapas de cobre que revestiam os cascos de madeira dos navios, mediante a fixação, naquelas estruturas, de pequenos pedaços de outros materiais como o ferro, o estanho e o zinco.

Mais recentemente, graças à aplicação eficiente das técnicas de proteção catódica, as companhias de distribuição petróleo e derivados, as petroquímicas e indústrias navais, de um modo geral, têm encontrado maior facilidade para resolver os problemas de corrosão causados pela água, que aparecem com freqüência em suas instalações metálicas submersas.

O emprego da proteção catódica no Brasil já se encontra bastante disseminado, sendo que todos os materiais e equipamentos utilizados para a construção dos sistemas de proteção estão sendo aqui fabricados, dentro das técnicas mais atualizadas.

1- Métodos de aplicação da proteção catódica

Existem dois métodos para a aplicação de um sistema de proteção catódica: o método galvânico, ou por anodos de sacrifício, e o método por corrente impressa. A escolha, na prática, do método a ser utilizado, depende da análise de várias considerações técnicas e econômicas, sendo que cada qual tem suas vantagens e desvantagens. A proteção catódica constitui o mais eficiente processo para proteger estruturas metálicas constantemente submersas em água do mar. Uma das maiores e mais importantes aplicações dessa técnica nos últimos anos, tem sido no controle e combate à corrosão de navios e embarcações construídas em aço.

2- Proteção catódica com anodos galvânicos

Consiste na instalação de anodos de zinco, magnésio ou alumínio, na superfície de aço do casco dos navios e de equipamentos estacionários que se deseja proteger.

Os anodos galvânicos, ou anodos de sacrifício, são normalmente os escolhidos quando se precisa de pouca quantidade de corrente para proteger a estrutura (revestimento de boa qualidade e estruturas de pequenas dimensões). As principais vantagens da utilização de anodos galvânicos para proteger, por exemplo, uma estrutura submersa, são as seguintes:

- os custos de manutenção, após o sistema instalado, são mínimos;
- raramente aparecerão problemas de interferência com outras instalações metálicas;
- os custos de instalação são baixos.

Por outro lado, as desvantagens são as seguintes:

- a quantidade de corrente fornecida à estrutura é limitada pela diferença de potencial, bastante baixa, entre os anodos e a estrutura metálica;
- se o revestimento do casco não for muito bom, a proteção com anodos galvânicos ficará muito cara, devido à grande quantidade de anodos a ser utilizada.

O anodo galvânico é constituído de um metal eletronegativo em relação à estrutura e, quando ligado a ela, dentro de um eletrólito como a água, adquire comportamento anódico, liberando a corrente de proteção.

Para a água do mar o zinco e, mais recentemente, o alumínio, são os melhores anodos. Esses metais, utilizados em ligas apropriadas, são eletronegativos em relação ao aço, podendo protegê-lo com facilidade.

Quando se dimensiona um sistema de proteção catódica com anodos de sacrifício, uma das primeiras preocupações do projetista é o cálculo de sua vida, uma vez que em função dela serão considerados os aspectos econômicos para a decisão sobre a sua utilização.

Os anodos galvânicos podem ser instalados isoladamente ou em grupos que recebem o nome de “camas” ou “leitos”. Assim sendo, outra preocupação do projetista é determinar a quantidade de corrente que um leito de anodos poderá liberar para a proteção da estrutura. Os principais fatores que influenciam essa determinação são as dimensões e condições do revestimento da estrutura a ser protegida, o número e espaçamento dos anodos utilizados e a composição química do metal empregado, sendo esta última fundamental, inclusive para o desempenho do anodo. As composições químicas dos anodos precisam ser controladas com rigor, mediante especificações existentes, sob pena de o sistema projetado falhar totalmente se forem adquiridos e utilizados anodos com composição química fora de determinados limites para alguns elementos importantes.

Os anodos de alumínio estão sendo muito usados nos últimos anos, sendo que os resultados têm sido excelentes, melhores, inclusive, que os anodos de zinco, na proteção de estruturas de aço no mar, como, por exemplo, nas plataformas de petróleo.

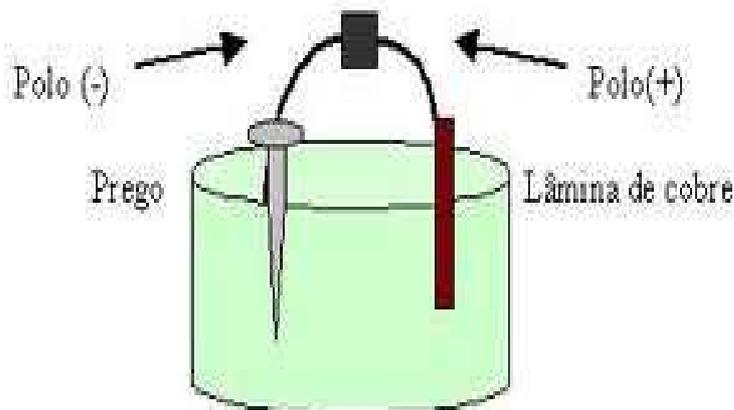
3- Aplicação dos anodos de sacrifício em navios

O ferro, utilizado em cascos de navio, em contato com a água do mar, se oxidaria muito facilmente se não houvesse um metal de sacrifício. Cascos de navio são protegidos da corrosão mediante a colocação de placas de zinco, que se oxida mais facilmente que o ferro. A técnica é denominada “proteção catódica”, pois o ferro é protegido justamente por se tornar o cátodo da cela galvânica formada por zinco e ferro. E o zinco é denominado “metal de sacrifício” ou “ânodo de sacrifício”, pois, atuando como o ânodo da cela, oxida-se,

preservando, assim, o ferro. A proteção é eficiente desde que o metal de sacrifício seja repostado à medida que vai sendo consumido.

O metal mais comumente utilizado como ânodo de sacrifício é o zinco. Além de ser relativamente barato, ele tem potencial de redução menor que a maioria dos metais. Essa utilização do zinco pode ser feita de duas formas. A primeira consiste em dar um banho de zinco no material, denominado galvanização. Outra forma de utilizar um ânodo de sacrifício é fixá-lo ao material que se quer proteger, de forma que os elétrons possam circular entre os mesmos. Esse método é muito utilizado na indústria naval. Como os ânodos de sacrifício são preferencialmente corroídos, há que se trocá-los periodicamente.

Estruturas e materiais metálicos em contato com a água também necessitam de proteção catódica, como por exemplo, estruturas portuárias.



Devido à grande diferença de potencial entre o material da hélice para as estruturas adjacentes, a proteção galvânica da popa do navio é comum à instalação de maior quantidade de anodos nas proximidades da hélice, leme e eixo.

A colocação dos anodos obedece à simetria do navio, ou seja, são colocados equidistantes em relação à linha de centro do navio.

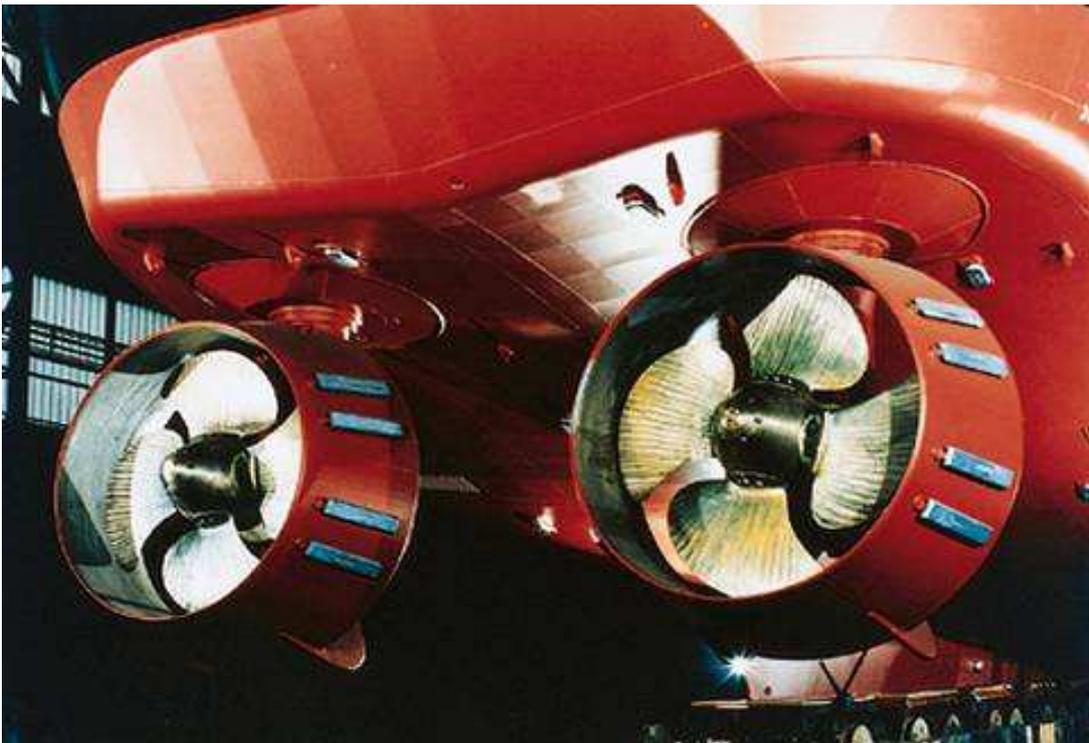
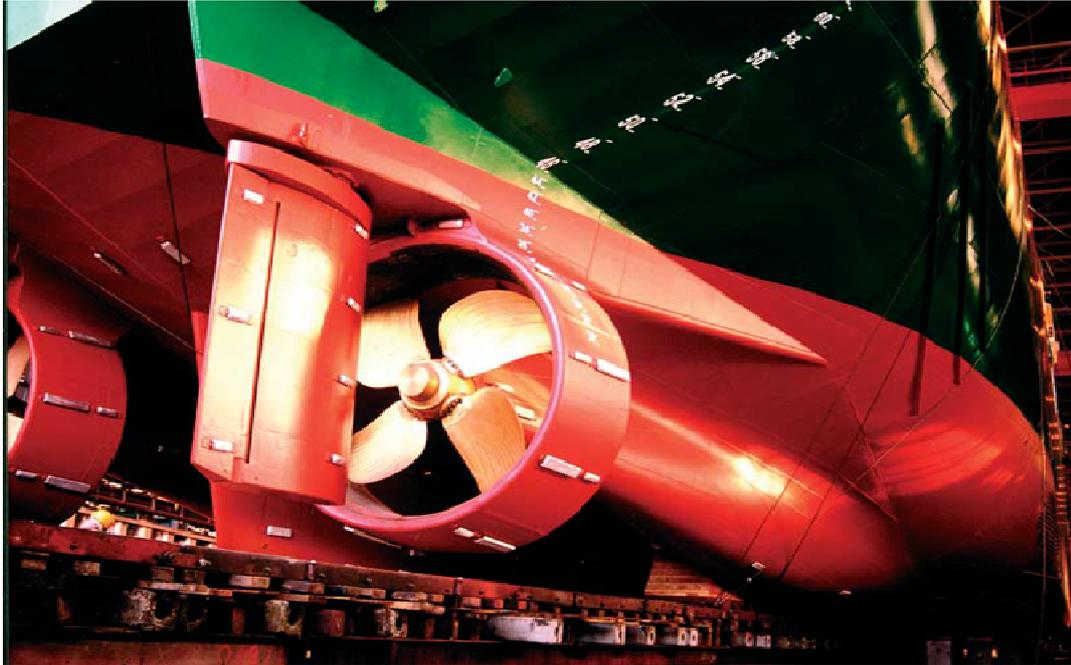
Quanto aos anodos galvânicos suspensos, servem para proteção de navios durante o seu acabamento em estaleiros ou quando ancorados por muito tempo. São recomendados pela economia que oferecem na proteção catódica de cascos de navios ancorados em água do mar.

Como são portáteis e injetam uma corrente moderada, podem ser facilmente imersos e emersos da água, não afetando a pintura do navio.

Com relação à vida útil, os anodos do casco são dimensionados de tal modo a garantir a proteção, durante o período entre duas docagens.



ANODOS DE SACRIFÍCIO UTILIZADOS NA PROTEÇÃO CATÓDICA EM UM NAVIO



ANODOS DE SACRIFÍCIO

4- Proteção catódica por corrente impressa aplicada a navios

O outro método de aplicação de proteção catódica em uma instalação metálica submersa em água do mar utiliza uma fonte externa de força eletromotriz, sendo, por isso

mesmo, denominado de método por corrente impressa. As fontes externas de força eletromotriz, largamente utilizadas na prática, são os retificadores, equipamentos extremamente simples que, alimentados por intermédio de um circuito de corrente alternada, fornecem a quantidade de corrente contínua necessária para a eliminação das pilhas de corrosão existentes na superfície metálica que se deseja proteger. Além dos retificadores de corrente, podem também ser utilizadas, como fontes de força eletromotriz, embora menos comuns, baterias solares, baterias convencionais, os geradores termoelétricos, os geradores movidos a vento, ou outro tipo qualquer de equipamento capaz de fornecer a corrente contínua necessária ao sistema de proteção catódica.

Os retificadores constituem a grande maioria dentre as fontes de força eletromotriz utilizadas para a aplicação da proteção catódica por corrente impressa. Em conjunto com os retificadores, o método por corrente impressa utiliza anodos, tanto quanto possível inertes na água. As vantagens para a aplicação do método por corrente impressa são:

- possibilidade de ser aplicado, com eficácia, para a proteção de estruturas nuas ou pobremente revestidas;
- possibilidade de ser aplicado, com economia, para a proteção de instalações metálicas de grande porte;
- a grande vantagem do sistema, está no fato de ser economicamente mais viável, que o sistema de anodos de sacrifício, não sendo, portanto, necessária a sua substituição durante os períodos de docagens dos navios.

As desvantagens para a utilização desse método são a necessidade de manutenção periódica, ainda que de fácil realização e o dispêndio com a energia elétrica consumida, embora de pouca monta.

Os anodos utilizados na prática são constituídos de ferro-silício-cromo, chumbo-antimônio-prata, titânio platinizado e nióbio platinizado. As hastes de titânio ou nióbio com revestimento muito fino de platina ou de óxidos especiais, são também utilizadas na proteção de estruturas submersas em água do mar. É importante considerar que o pólo negativo da fonte geradora deve ser ligado à estrutura à proteger e o pólo positivo ao leito de anodos. Esta polaridade não deve ser invertida sob pena de se ter uma corrosão acelerada na estrutura.

5- Manutenção do sistema de proteção catódica

De uma maneira geral, acredita-se que sistemas de proteção catódica, principalmente quando por anodos galvânicos, não necessitam de manutenção. Essa crença é destituída de fundamento, de vez que a proteção catódica das estruturas depende do funcionamento permanente do sistema instalado.

Logicamente, a interrupção no sistema de proteção não provoca, a curto prazo, prejuízos de monta, tais como “lucros cessantes”. Entretanto, se as paralisações forem constantes, a médio e a longo prazo pode-se contar com prejuízos dessa natureza.

Além dos prejuízos materiais pode-se também esperar perdas de vidas humanas e, nos casos de companhias concessionárias de serviços públicos, descrédito perante os usuários. Promover a instalação de um sistema de proteção catódica sem cuidar de sua manutenção é desperdícios de recursos.

Qualquer que seja o sistema instalado, proteção catódica por anodos galvânicos ou por corrente impressa, deve-se estabelecer um programa de acompanhamento que possibilite os ajustes necessários em tempo útil.

6- Custo da proteção catódica

O custo total de um sistema de proteção catódica não pode ser calculado previamente com precisão. Isso é facilmente compreensível, uma vez conhecidos os componentes desse custo, que são:

- custo do levantamento de dados de campo;
- custo do projeto;
- custo dos materiais;
- custo da instalação;
- custo da manutenção.

O custo do projeto pode ser considerado de pequena variação.

Os componentes seguintes, entretanto, acarretam a impossibilidade da precisão no cálculo antecipado do custo de um sistema de proteção catódica.

Esses componentes dependem basicamente do projeto que, por sua vez, está ligado aos dados obtidos nos levantamentos de campo. Verificamos, então, que uma vez realizado o levantamento de campo, é perfeitamente possível estabelecer-se o custo da proteção catódica.

Os dados que mais influem na composição do custo são:

- qualidade do revestimento empregado;
- disponibilidade de corrente alternada para alimentação dos retificadores;
- correntes de interferência na região;
- dimensões e tipo da instalação a proteger.

Dispondo desses dados, o engenheiro de proteção catódica pode definir o sistema mais adequado técnica e economicamente para o caso em estudo.

CAPÍTULO IV

CORROSÃO POR CAVITAÇÃO

1- Introdução

A cavitação surge em zonas de baixa pressão onde o líquido entra em ebulição formando bolhas, as quais ao tomarem em contato com zonas de pressão mais alta são destruídas instantaneamente criando ondas de choque no líquido.

A cavitação da mesma forma que a erosão destrói as películas de produtos de corrosão expondo o material a novo desgaste corrosivo, além de provocar a deformação plástica com encruamento em face da incidência de ondas de choque de alta pressão e portanto a criação de áreas anódicas.

Deste modo, o desgaste resultante será maior no caso de conjugar os dois fenômenos do que aquele observado pela ação de cada um isoladamente.

O mecanismo de corrosão por cavitação pode ser descrito da seguinte forma: qualquer líquido contém bolhas gasosas ou vaporosas, que servem como núcleos de cavitação. Quando a pressão é reduzida a um determinado nível, as bolhas se tornam o repositório de vapor ou de gases dissolvidos. O resultado imediato dessa condição é que as bolhas aumentam rapidamente de tamanho. Posteriormente, quando as bolhas entram em uma zona de pressão reduzida, elas tomam um tamanho reduzido como resultado da condensação de vapores que elas contêm. Este processo de condensação surge de modo rápido, acompanhado por choques hidráulicos, emissão do som, destruição dos laços materiais e outros fenômenos indesejáveis. Acredita-se que a redução na estabilidade volumétrica na maioria dos líquidos é associada ao conteúdo de várias misturas, tais como partículas sólidas e bolhas de vapor de gás, particularmente aquelas com um nível submicroscópico, que servem como núcleos de cavitação.

Um aspecto crítico do processo de desgaste da cavitação é a destruição da superfície e do deslocamento de material causado pelo alto movimento relativo entre uma superfície e o fluido exposto.

Assim, a cavitação é o nome dado a um mecanismo em que as bolhas de vapor (ou cavidades) em um fluido crescem e entram em colapso devido às flutuações de pressão local. Estas flutuações podem produzir uma baixa pressão, na forma de pressão de vapor do líquido. Este processo de cavitação vaporosa ocorre em condições de temperatura aproximadamente constantes.

Houve uma modernização tecnológica no túnel de cavitação, que passou por uma grande reforma de sua estrutura, com desmontagem e proteção contra corrosão interna. Cavitação é o fenômeno de vaporização de um líquido pela redução da pressão, durante seu movimento. Esse fenômeno pode comprometer o desempenho do navio. A cavitação traz grandes preocupações aos projetistas, porque pode gerar efeitos indesejáveis como queda de empuxo (perda de força fornecida pela hélice), erosão das pás e aumento de vibrações induzidas pelo propulsor.

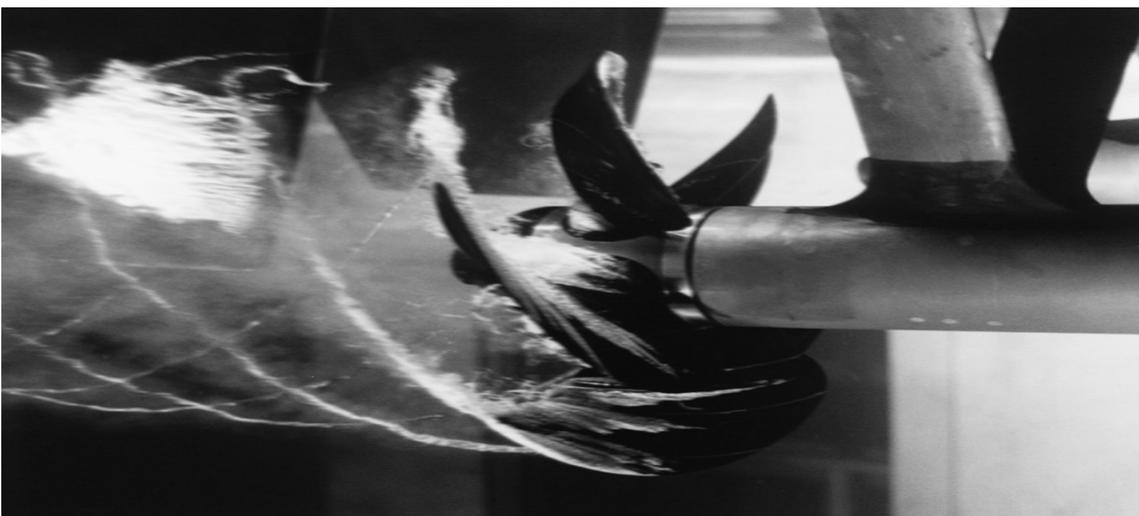
2- Tipos de cavitação

Existem dois principais tipos de cavitação: a cavitação vaporosa e a cavitação gasosa. A cavitação vaporosa é um processo de ebulição que acontece quando a bolha cresce explosivamente, de forma ilimitada, mudando o líquido rapidamente para vapor. Essa situação ocorre quando o nível de pressão cai abaixo da pressão de vapor do líquido. Já a cavitação gasosa é um processo de difusão que ocorre quando a pressão cai abaixo da pressão de saturação dos gases não condensáveis dissolvidos no líquido. Enquanto a cavitação vaporosa é extremamente rápida, ocorrendo em microssegundos, a cavitação gasosa é muito mais lenta, e o tempo que demora depende do grau de convecção (circulação de fluidos) presentes.

A corrosão por cavitação incide somente sob condições de cavitação vaporosa – em que as ondas de choque e micro jatos podem corroer as superfícies do metal. O desgaste por cavitação também é conhecido erosão de cavitação vaporosa, fadiga por cavitação, erosão de impacto líquido ou trefilação.



DANOS CAUSADOS POR CAVITAÇÃO



MODELO DE PROPULSOR GERANDO CAVITAÇÃO EM UM TÚNEL DE ÁGUA EXPERIMENTAL.

3- Processo de desgaste por cavitação

O líquido é o meio que provoca o desgaste por cavitação. O desgaste cavitação não requer uma segunda superfície, mas exige apenas que o movimento entre superfície e o fluido seja intenso. Tal movimento reduz a pressão local no fluido. Cada cavidade de vapor dura pouco tempo, porque quase qualquer aumento da pressão faz com que o vapor dentro da bolha se condense instantaneamente. Ao colapso da bolha, uma onda de choque é produzida. Esta onda de choque, em seguida, colide com as superfícies metálicas adjacentes e destrói os laços materiais.

A primeira onda de choque produz uma tensão de compressão na superfície sólida, e depois quando ela é refletida, gera uma tensão de tração que é normal para a superfície. A cavitação é geralmente encontrada em uma condição hidrodinâmica, caracterizada por uma alteração súbita e grave da pressão hidrostática existente.

4- Prevenção do dano por Cavitação

O dano por cavitação é uma forma de corrosão-erosão de superfícies metálicas, associada ao colapso de bolhas de vapor ou "cavidades" em líquidos em rápido movimento.

O dano por cavitação pode ser reduzido variando-se o projeto a fim de minimizar as diferenças de pressão hidrodinâmicas em processos com fluidos. Superfícies de baixa rugosidade reduzem o dano, devido ao fato de não proverem regiões para as cavidades se situarem.

O dano por cavitação pode ser reduzido usando-se materiais com maior dureza e limite de resistência à tração. Estelitas (ligas de Co, Cr e W) com durezas muito altas têm sido observadas resistir ao dano por cavitação. Aços inoxidáveis austeníticos também têm sido usados efetivamente. Materiais tais como borrachas e elastrômeros, que possuem alta resiliência, também podem ser usados. Materiais com alta dureza e alto limite de resistência à tração são conhecidos como resistentes à deformação e erosão, devido aos colapsos das cavidades em suas proximidades.

Proteção catódica de um sistema pode ser empregada para reduzir os efeitos da cavitação. A formação de bolhas de hidrogênio sobre a superfície metálica ajuda a amortecer as ondas de choque, produzidas durante o processo.

No desgaste por cavitação, as trincas se propagam até o ponto em que o material metálico não pode mais suportar a carga de impulso que a implosão das bolhas de vapor impõem. Portanto, as partículas finalmente se rompem e entram no sistema. Como acontece com qualquer falha por fadiga, formam microfissuras de tensão (entalhes, rasgos, rebaixas, defeitos de solda, etc). Portanto, uma superfície rugosa é propensa ao desgaste e à cavitação, considerando que os danos aumentam conforme a superfície se torna mais áspera.

A forma mais básica de combate à corrosão por cavitação é minimizar o esforço de tração sobre o fluido. Em outras palavras, os usuários dos equipamentos devem baixar o nível das condições de refração ou de vácuo nas zonas potenciais de cavitação.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Observa-se que a corrosão é um problema crítico na área naval. O custo do combate e prevenção contra a corrosão é extremamente elevado, não deixando dúvidas com relação à necessidade de revestimento nos sistemas de proteção. Portanto, o desenvolvimento da indústria naval, em nossos dias, acarreta a necessidade de um meio de defesa efetivo contra os processos corrosivos, gerados pela água salgada.

O que de melhor existe até o momento são os tipos de proteção galvânica e por corrente impressa, associadas a revestimentos superficiais. Esses tipos de proteção, atuando em sinergia, reduzem consideravelmente o processo corrosivo, aumentando a vida útil do navio e de seus componentes.

A conscientização dos profissionais desta área se faz necessária para que haja manutenções principalmente preditivas e não apenas corretivas, pois assim os gastos diminuiriam brutalmente. As indústrias navais ainda estão com a filosofia de que a manutenção preditiva gera grandes custos a elas, no entanto, isso seria um grande e visível investimento futuramente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 - GENTIL, V. **Corrosão**. 3ª Ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e científicos, 1996.
- 2 - MAINIER, F.B; GUIMARÃES, P.I C e MARÇON, F. **Corrosão: Um Exemplo Usual de Fenômeno Químico**. Química Nova na Escola, 2004.
- 3 – CORDEIRO DUTRA, Aldo; DE PAULA NUNES, Laerce. **Proteção Catódica: Técnica de Combate à Corrosão**. 4ª edição Revisada e Ampliada. Editora: Interciência.
- 4 - VERNON, K; CESAR, V.M.L. e ALEXANDRE, R.S. **Eletroquímica para o Ensino Médio**, 1997.
- 5 - SCHNETZLER, R.P.; ARAGÃO, R.M.R. **Importância, Sentido e Contribuições de Pesquisas para o Ensino Médio de Química**. Química Nova na Escola, 1994.
- 6 - <<http://revestimentosorganicos.blogspot.com/p/corrosao.html>>. Acessado em: 20/07/2011.
- 7 - <<http://www.manutencaoesuprimentos.com.br/4227-mecanismo-cavitação>>. Acessado em: 02/08/2011.
- 8 - <http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Cavitation_Propeller_Damage.JPG>. Acessado em: 02/08/2011.