

MARINHA DO BRASIL
CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA
ESCOLA DE FORMAÇÃO DE OFICIAIS DA MARINHA MERCANTE

JESSICA FONSECA ANTUNES

CORROSÃO A BORDO

RIO DE JANEIRO

2014

JESSICA FONSECA ANTUNES

CORROSÃO A BORDO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência para obtenção do título de Bacharel em Ciências Náuticas do Curso de Formação de Oficiais de Máquinas da Marinha Mercante, ministrado pelo Centro de Instrução Almirante Graça Aranha.

Orientador: Nélio Fernandes Pereira

RIO DE JANEIRO

2014

JESSICA FONSECA ANTUNES

CORROSÃO A BORDO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência para obtenção do título de Bacharel em Ciências Náuticas do Curso de Formação de Oficiais de Máquinas da Marinha Mercante, ministrado pelo Centro de Instrução Almirante Graça Aranha.

Data da Aprovação: ____/____/____

Orientador:

Assinatura do Orientador

NOTA FINAL: _____

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha família, em especial a minha mãe, meu pai e meu irmão, que estiveram ao meu lado em todos os momentos da minha vida, que acreditaram no meu potencial e nunca mediram esforços para me proporcionar a oportunidade de construir minha carreira profissional.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me capacitado diante das dificuldades, e com todo seu poder e bondade ter permitido conquistar todos os meus sonhos. Aos meus pais, Antônio Lourenço e Rosimere Rita, por terem sido a base desta conquista, por seu amor incondicional e por toda confiança depositada em mim ao longo destes anos. Ao meu irmão Antônio Carlos por cada dia lutar ao meu lado e por ser a todo o momento a força e o incentivo necessários para me permitir vencer. Ao meu namorado, Thiago, pelo seu carinho, amor e apoio essenciais nesta reta final de curso. Aos amigos que me acompanharam nestes três anos de formação acadêmica e aos mestres que dividiram seus conhecimentos e suas ricas experiências profissionais, em especial ao Professor Mestre Nélio pela paciência e atenção com seus orientados durante este trabalho monográfico. Agradeço a todos os que contribuíram direta ou indiretamente durante o período de formação.

”Nenhuma deficiência resiste ao trabalho.”
Bernardino

RESUMO

A corrosão é o principal meio pelo qual os metais se deterioram. A maioria dos metais corroem em contato com a água (e umidade do ar), ácidos, bases, sais, óleos, polidores de metal agressivos, e outros produtos químicos sólidos e líquidos. A corrosão refere-se especificamente a qualquer processo que envolva a deterioração ou degradação de componentes metálicos. E para prevenção, existem muitos métodos orientados de um modo ou outro para abrandamento nas taxas de corrosão. Uma série de métodos que se baseiam em depositar uma camada de um segundo material na superfície de uma estrutura de metal para impedir o contato da estrutura com um meio agressivo tem sido desenvolvida. O mais prevalente delas é a pintura e uma vasta gama de tintas de proteção já está disponível.

Palavra-chave: Corrosão. Deterioração. Prevenção. Metal. Pintura.

ABSTRACT

Corrosion is the primary means by which metals deteriorate. The most metals corrode on contact with water (and humidity), acids, bases, salts, oils, aggressive metal polishes, and other solid and liquid chemicals. Corrosion specifically refers to any process involving the damage or deterioration of metal components. And for prevention, there are many methods oriented in one way or another to slow down the rate of corrosion. A number of methods based on depositing a layer of a second material on the surface of a metal structure to prevent contact of the structure with an aggressive medium has been developed. The most prevalent of these is the painting and a wide range of paint protection is now available.

Keyword: Corrosion. Deterioration. Prevention. Metal. Painting.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Exemplo de Corrosão Química	14
Figura 2: Exemplo de eletroquímica	15
Figura 3: Corrosão nos motores	19
Figura 4: Corrosão na caldeira	20
Figura 5: Exemplo de corrosão	26
Figura 6: Exemplo de proteção catódica	28
Figura 7: Proteção anti-corrosiva por pintura	33

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	CONCEITO DE CORROSÃO	11
2.1	Natureza dos processos corrosivos	12
2.1.1	Corrosão Química	13
2.1.2	Corrosão Eletroquímica	14
3	MEIOS CORROSIVOS	16
3.1	Consideração Sobre Corrosão Marítima	18
3.2	Consideração Sobre Corrosão nos Motores	18
3.3	Consideração Sobre Corrosão na Caldeira	20
3.4	Consideração Sobre Corrosão em Não-Metais	21
3.5	Consideração Sobre Corrosão dos Polímeros	21
4	FORMAS DE CORROSÃO	23
5	MÉTODOS DE RESISTÊNCIA À CORROSÃO	27
5.1	Proteção Catódica	29
5.1.1	Tipos de Proteção Catódica	29
5.1.2	Aplicações	31
5.2	Anodização	31
5.3	Proteção por Pintura	32
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	34
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35

1 INTRODUÇÃO

Os seres humanos tentam entender e controlar a corrosão durante o tempo que eles têm usado o metal. Os períodos mais importantes da história pré-gravados são nomeados para os metais que foram usados para ferramentas e armas (Idade do Ferro, Idade do Bronze). Com poucas exceções, os metais são instáveis em ambientes aquosos comuns. Os metais são normalmente extraídos a partir de minérios através da aplicação de uma quantidade considerável de energia. Certos ambientes oferecem oportunidades para esses metais para combinar quimicamente com elementos para formar compostos e retornar a seus níveis de energia mais baixos.

Muitas ligas estruturais corroem apenas da exposição à umidade no ar, mas o processo pode ser fortemente afetado pela exposição a determinadas substâncias. A corrosão pode ser concentrada no local de modo a formar um poço ou rachar, ou pode estender-se através de uma ampla área mais ou menos uniformemente corroendo a superfície. A corrosão é um processo de difusão controlada, que ocorre em superfícies expostas. Como resultado, os métodos para reduzir a atividade da superfície exposta, como por exemplo, passivação e cromato-conversão, pode aumentar a resistência à corrosão do material. No entanto, alguns mecanismos de corrosão são menos visíveis e menos previsíveis.

Alguns metais são mais resistentes à corrosão do que outros, ou devido à natureza fundamental dos processos eletroquímicos envolvidos ou devido aos detalhes de como produtos de reação formulário. Se um material mais sensível é utilizado, muitas técnicas podem ser aplicadas durante a fabricação de um item e usar para proteger os seus materiais de danos.

Os materiais mais resistentes à corrosão são aqueles em que a corrosão é termodinamicamente desfavorável. Quaisquer produtos de corrosão de ouro ou platina tendem a decompor-se espontaneamente em metal puro, que é por isso que esses elementos podem ser encontrados na forma metálica na Terra, e é uma grande parte de seu valor intrínseco.

2 CONCEITO DE CORROSÃO

A corrosão é a deterioração que um material sofre, como resultado da sua interação com o seu ambiente. Embora esta definição aplica-se a qualquer tipo de material, é geralmente reservada para ligas metálicas. Dos 105 elementos químicos conhecidos, aproximadamente oitenta são metais, e cerca de metade destes pode ser misturado com outros metais, dando origem a mais de 40.000 ligas diferentes. Cada uma das ligas terá propriedades física, químicas e as mecânicas diferentes, mas todas elas podem corroer, em certa medida, e de formas diferentes.

Esse processo é um fenômeno natural. Quando recentemente feito de aço é primeiro exposta ao ar, a sua superfície inicialmente brilhante irá ser coberto com a oxidação em poucas horas. A tendência de metais para corroer está relacionada com a baixa estabilidade do estado metálico. Metais corroem quer no seu estado metálico puro, a zero, a oxidação de estado, ou sob a forma de compostos com outros elementos (adquirem estados positivos de oxidação). No mundo natural, a maioria dos metais são encontrados como os compostos com outros elementos, indicando a maior estabilidade das suas formas oxidadas. Por esta razão, para obter o metal puro a partir de um dos seus compostos, que é necessário para pôr em energia. O inverso é verdadeiro quando o metal é exposta ao ambiente: tende a libertar essa energia armazenada por meio dos processos de corrosão. Isto é bastante semelhante ao que ocorre quando um objeto é suspenso num ponto acima do solo (equivalente ao estado metálico). Quando permitida a cair ou chegar a um estado estável, ele retorna a uma posição de energia mínima no solo (equivalente a estado oxidado do metal).

Este mecanismo é analisado a partir de uma eletroquímica termodinamicamente indica que o metal tende a retornar ao estado primitivo ou baixo consumo de energia, sendo assim a corrosão possui grandes perdas econômicas em instalações enterradas. Portanto, o uso apropriado da técnica de proteção catódica é necessário.

A corrosão é uma das principais causas de falhas em equipamentos e sistemas a bordo. Essas falhas prejudicam o processo, atrasam o cronograma operacional de produção, geram altos custos de manutenção, além de gerar riscos à saúde e ao meio-ambiente. Devido ao fato de que a maioria dos equipamentos, sistemas, tubulações e dutos são constituídos de aço, em geral de aço carbono, mas pelo seu baixo custo e pela amplitude do uso do aço-carbono, é de se esperar que o campo de exposição à deterioração também ocorra de maneira ampla, os navios estarão sempre convivendo com os processos corrosivos.

O processo de corrosão é ilustrado com um modelo esquemático onde a vida de serviço é dividida em um período de iniciação e um período de propagação. O tempo até o início do processo de corrosão é determinado pelo fluxo de substâncias que penetram e sua concentração para a corrosão começar. Os modelos teóricos têm sido produzidos para aproximar o tempo de início. A taxa de corrosão do período de propagação pode ser descrita por a umidade relativa e que a temperatura média da estrutura.

As perdas econômicas que atingem as indústrias química, petrolífera, petroquímica, naval, de construção civil, automobilística, nos meios de transporte aéreo, ferroviário, metroviário, marítimo, rodoviário, entre outras, podem ser diretas ou indiretas, e este é o principal fator que evidencia a importância de combater ou minimizar os danos causados aos equipamentos pela corrosão.

A corrosão é a desintegração de um material de engenharia em seus átomos constituintes, devido a reações químicas com os seus arredores. Na utilização mais comum da palavra, isto significa que a oxidação electroquímica de metais em reação com um oxidante tal como o oxigênio. A formação de um óxido de ferro devido à oxidação dos átomos de ferro em solução sólida é um exemplo bem conhecido de corrosão electroquímica, vulgarmente conhecido como ferrugem. Este tipo de danos tipicamente produz óxido (s) e / ou sal (sais) do metal de origem. A corrosão também pode ocorrer em outros metais, tais como materiais cerâmicos ou materiais polímeros, embora, neste contexto, a degradação termo é mais comum.

Em outras palavras, a corrosão é o desgaste de metais devido a uma reação química.

2.1 NATUREZA DOS PROCESSOS CORROSIVOS

O termo corrosão de um metal é de interagir com o ambiente envolvente, provocando a consequente deterioração das suas propriedades físicas e químicas. As características essenciais deste fenômeno é que só ocorre na presença de um eletrólito, o que resulta em regiões de chama totalmente identificadas estas anódica e catódica: A oxidação é uma reação anódica, em que os elétrons são libertados pela comutação para outras regiões do cátodo. Na dissolução anódica da região de metal (de corrosão) e, conseqüentemente, ocorre a região catódica da imunidade de metal.

Ligações de metal tendem a tornar iônico, o material preferido em um momento pode transferir e receber elétrons criando áreas catódicas e anódicas áreas em sua estrutura. A taxa

à qual o material é lentamente e continuamente corroído, tudo dependendo do ambiente donde são, ao longo do tempo, é a criação de uma camada fina de material à superfície, o que inicialmente é formado como manchas até chegar imperfeições que aparecem na superfície do metal.

De uma forma geral, os processos corrosivos podem ser classificados em dois grandes grupos, abrangendo quase todos os casos de deterioração por corrosão existente na natureza.

Esses grupos podem ser assim classificados:

- a) Corrosão Química
- b) Corrosão Eletroquímica

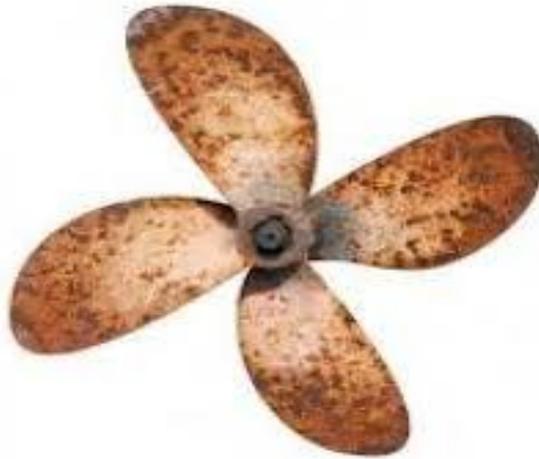
2.1.1 Corrosão Química

Denominada corrosão em meio não-aquoso ou corrosão seca.

Corrosão sob elevada temperatura é a deterioração química de um material (tipicamente um metal), sob condições de temperaturas muito elevadas. Esta forma não galvânica de corrosão pode ocorrer quando um metal é sujeito a um ambiente de alta temperatura, contendo oxigênio, de enxofre ou outros compostos capazes de oxidar o material em questão. Por exemplo, os materiais utilizados na indústria aeroespacial, geração de energia e, mesmo em motores de automóveis têm de resistir a períodos prolongados a temperatura elevada na qual eles podem ser expostos a uma atmosfera contendo produtos potencialmente altamente corrosivos de combustão.

Os produtos de alta temperatura pode, potencialmente, ser voltada para a vantagem do engenheiro. A formação de óxidos de aços inoxidáveis, por exemplo, pode fornecer uma camada de proteção evitando mais ataque atmosférico, o que permite por um material a ser utilizado durante períodos contínuos a ambiente e a alta temperatura em condições hostis. Tais produtos de corrosão elevada temperatura sob a forma de camada de óxido de esmaltes compactados também foram exibidos para impedir ou reduzir o desgaste durante a elevada temperatura de contato deslizante metálico (ou metálicos e cerâmicos) superfícies.

Figura 1: Exemplo de corrosão química



Fonte: internet, modificada pelo autor, 2014

2.1.2 Corrosão Eletroquímica

Em face da necessidade da água líquida, na maioria dos casos, para formação do eletrólito, a corrosão eletroquímica é também denominada de corrosão em meio aquoso.

Corrosão pela água do mar, a corrosão aquosa, é um processo eletroquímico, e todos os metais e ligas, quando em contato com água do mar tem um potencial específico elétrico (ou potencial de corrosão) em um nível específico de acidez ou alcalinidade da água do mar - o pH.

Esse processo se caracteriza basicamente por se realizarem necessariamente na presença de água líquida; em temperaturas abaixo do ponto de orvalho, sendo a grande maioria na temperatura ambiente e realizarem-se devido à formação de pilhas de corrosão.

A água do mar, em virtude do seu teor de cloreto, é um eletrólito mais eficiente. A presença de oxigênio em ambientes marinhos, água do mar e zonas de respingo na linha de água, e, por vezes, surpreendentemente em profundidades muito maiores, aumenta a agressividade do ataque do sal. A concentração diferencial de oxigênio dissolvido na linha de água ou de uma gota de pulverização de sal cria uma célula em que o ataque é concentrado em que a concentração de oxigênio é menor. Fendas que permitem a entrada de água e cloretos, mas a partir do qual o oxigênio é excluído anódica tornar-se rapidamente ácida e estão escondidos pontos de início de corrosão.

Figura 2: Exemplo de corrosão eletroquímica.



Fonte: internet, modificada pelo autor, 2014

3 MEIOS CORROSIVOS

O fato de que a corrosão ocorre não deve ser motivo de surpresa. Quase todos os materiais devem ser esperados a deteriorar-se com o tempo quando exposta ao "os elementos". A corrosão é um processo perfeitamente natural, tão natural como a água que flui para baixo. Se a água fluiu para cima ou permaneceu estacionária sobre uma colina, não pode ser motivo de surpresa, mas a engenhosidade humana pode fazer isso.

Da mesma forma, se o ferro ou aço foi exposto ao ar e água, a ferrugem seria esperada para desenvolver dentro de uma questão de minutos ou horas. De fato, seria surpreendente se o ferro exposto não corroesse ou houvesse ferrugem. Claro que, se o cobre, latão, alumínio ou aço inoxidável fosse substituído por ferro, num determinado grau de corrosão poderia levar mais tempo, mas alguma corrosão poderia ainda ser antecipada. Em vez da formação de ferrugem (uma forma de óxido de ferro), alguns óxidos de cobre, alumínio, cromo ou pode formar um revestimento protetor sobre o metal. Este revestimento de óxido, mesmo muito fino, pode proporcionar uma barreira parcial para o ataque contínuo e diminuir a taxa de corrosão.

A formação da camada de superfície se trata de óxido, carbonato, sulfato, ou qualquer outro composto, é um fator importante na resistência à corrosão, especialmente se a camada se separa eficazmente do metal subjacente do seu ambiente. Um revestimento deste tipo deve ser naturalmente formado difusão e resistentes à umidade para ser eficaz. Ferro Ordinária naturalmente não formam uma barreira eficaz; ferrugem natural é porosa e não impede o oxigênio e umidade para penetrar e continuar ferrugem. Assim, a menos que sejam tomadas precauções, insuficiência ocorrerá eventualmente.

Outros metais e ligas metálicas, tais como aço inoxidável, titânio, ou de alumínio, são frequentemente deixadas sem pintura, não porque estes metais são inertes, mas porque o oxigênio no ar contribui para o desenvolvimento de uma camada protetora de óxido na superfície metálica. Embora estas camadas de óxido sejam tão finas como para ser invisíveis a olho nu, que pode ser detectada e verificada a sua presença.

Precauções para evitar a ferro e suas ligas da corrosão constituem um grande esforço no controle da corrosão. É aqui que muitas vezes recorrem ao uso de revestimentos de proteção sobre a superfície metálica para prolongar sua vida útil. Outras técnicas, como anódica e proteção catódica pode fornecer um controle muito eficiente na corrosão nos ambientes mais exigentes. Alguns ambientes são mais corrosivos do que outros. Embora haja exceções, as seguintes instruções são geralmente aceitas como fatos:

- a) O ar úmido é mais corrosivo do que o ar seco
- b) O ar quente é mais corrosivo do que o ar frio
- c) A água quente é mais corrosiva do que a água fria
- d) O ar poluído é mais corrosivo do que o ar limpo
- e) Ácidos são mais corrosivos do que bases (álcalis) para aços
- f) A água salgada é mais corrosiva que a água doce
- g) O aço inoxidável vai durar mais que o comum

É fácil de encontrar objetos do cotidiano que mostram sinais de corrosão. Um automóvel utilizado consiste essencialmente de diferentes metais, plásticos, tintas, revestimentos metálicos, e assim por diante, os quais foram expostos a uma variedade de condições agressivas. Estes materiais são expostos à ação dos agentes atmosféricos, em condições de alta temperatura, são incorporados em circuitos de água fechados, ou estão sujeitos a um desgaste mecânico. Como resultado, vemos muitos sinais de corrosão nos carros, principalmente na carroçaria e no sistema de escape e, especialmente, depois de anos de uso.

Os sinais de trânsito, normas de revérbero, barreiras e cercas de metal, e muitos outros itens observados ao longo das estradas são geralmente fabricados em aço galvanizado (aço-carbono normal, com um revestimento de zinco). Em tais itens é comum ver a corrosão “branca” (óxido de zinco), característica da oxidação de um revestimento de zinco, muitas vezes com manchas de ferrugem vermelha também aparecendo que indicam que a base de aço está sendo corroída.

O mar e a atmosfera salgada são meios salinos, que são altamente agressivos para os metais. Estruturas marinhas, como os navios, pontes e plataformas de perfuração e plataformas geralmente apresentam sinais de corrosão severa a menos que tenham sido devidamente protegidos. Carros mantidos perto oceanos mostram sinais de corrosão.

Qualquer liga de cobre utilizado na fundição de esculturas e usado externamente em alguns edifícios, geralmente apresentar uma coloração esverdeada que corresponde a uma camada de produto de corrosão conhecida como pátina de cobre que dá alguma proteção a mais contra a corrosão.

A degradação do betão armado em edifícios é geralmente causada pela corrosão das barras de reforço de aço no interior do betão, em vez de pela perda das propriedades mecânicas do betão.

3.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE CORROSÃO MARÍTIMA

Ano após ano o custo da corrosão marinha aumentou até que, estima-se hoje a 4% do Produto Interno Bruto. É necessária uma abordagem esclarecida a seleção de materiais, proteção e controle de corrosão para reduzir esta sobrecarga de materiais desperdiçados, o desperdício de energia e dinheiro desperdiçado. Estas notas foram compiladas pelos membros do Fórum Corrosão Marinha para ajudar os projetistas navais, engenheiros e usuários de equipamentos, compreender as causas da corrosão marinha e da forma em que os sistemas de proteção e materiais mais resistentes podem ser usados para reduzir ou eliminar totalmente a água do mar problemas de corrosão.

Muitos tipos diferentes de ataque destrutivo podem ocorrer em estruturas, navios e outros equipamentos utilizados no serviço de água do mar. O termo "corrosão aquosa" descreve a maioria dos problemas mais problemáticos encontrados em contato com a água do mar, mas a corrosão atmosférica de metais expostos em zonas costeiras ou perto, e corrosão do sal quente em motores que operam no mar ou tomando no ar carregado de sal são igualmente corrosão aquosa problemática e, como exigem uma abordagem sistemática para eliminar ou gerenciá-los.

A água do mar, se não destrutivo suficiente por si só, tem vários aliados poderosos que ajudam a quebra de metais e não metais iguais. Aliados que vivem na água do mar podem também aumentar seu poder destrutivo. Organismos microbiológicos, agrupamentos de erva daninha, lapas, bem como depósitos de areia, lodo ou lodo não só excluem oxigênio, mas muitas vezes criam condições localmente corrosivas sob estes depósitos que agravam o ataque. Revestimentos e estruturas compostas podem experimentar rápida degradação. Bactérias redutoras de sulfato produzem concentrações de sulfeto de hidrogênio, que são particularmente agressivas ao aço e ligas de cobre baseado.

3.2 CONSIDERAÇÃO SOBRE CORROSÃO NOS MOTORES

Os termos "Fuel Oil Marinha" (MFO) e "Heavy Fuel Oil" (HFO) normalmente são equivalentes a isso. Porque este é o óleo combustível "residual" que sobraram após a gasolina, diesel, gás natural e outros (e mais caro) combustíveis são refinados do petróleo, este óleo

combustível pesado é barato e acumulam mais energia (porque as moléculas pesadas contêm cadeias de carbono mais longas do que a gasolina ou diesel na estrada).

A desvantagem para estes combustíveis pesados é que eles contêm altos níveis de metais e contaminantes não carbonos, como enxofre, vanádio e cálcio. Esses elementos podem causar corrosão prejudicial ao longo do tempo nas superfícies de pós-combustão dos grandes motores a diesel a bordo do navio. Esta é uma má notícia para a linha de fundo do navio.

Uma solução de custo eficaz para prevenir este tipo de situação é tratar o óleo combustível do navio, com um tratamento de combustível que contém magnésio, neutralizando a formação de ácido e ajuda a quebrar qualquer acúmulo de depósitos que contribuem para este problema. Usinas costumava usar uma pasta de óxido de magnésio para injetar em suas caldeiras para neutralizar este problema. Mas uma pasta como esta não é viável para navios ou motores de combustão interna; portanto, o tratamento de combustível deve conter magnésio de uma forma mais solúvel que não se contentar em tanques de armazenamento e entupir linhas de distribuição de combustível e injetores.

Figura 3: Corrosão em motores



Fonte: internet, modificada pelo autor, 2014

3.3 CONSIDERAÇÕES SOBRE CORROSÃO NA CALDEIRA

A corrosão pode ser formada sobre uma grande superfície de metal ou pode resultar na penetração pontinho de metal. A corrosão é um problema relevante causado pela água em caldeiras. A corrosão pode ser de grande variação de origem e natureza, devido à ação de dissolução de oxigênio, as correntes de corrosão criadas como resultado de heterogeneidades em superfícies metálicas, ou para o ferro que está sendo diretamente atacada pela água.

A corrosão básica em caldeiras podem ser primariamente devido à reação do metal com o oxigênio, outros fatores, como condições ácidas e corrosões químicas específicas podem ter uma influência importante e produzir diferentes formas de ataque. É necessário ter em conta a quantidade de várias substâncias nocivas que podem ser permitidas na água de caldeira, sem risco de danos para a caldeira. A corrosão pode ocorrer no sistema de alimentação de água como um resultado do baixo pH da água e na presença de oxigênio dissolvido e de dióxido de carbono.

A corrosão na caldeira geralmente ocorre quando a alcalinidade da água da caldeira é baixa ou quando o metal é exposto à água ou rolamento de oxigênio durante a operação ou períodos de inatividade. Altas temperaturas e tensões na caldeira de metal tendem a acelerar os mecanismos corrosivos. No sistema a vapor e condensado, corrosão é geralmente o resultado da contaminação com dióxido de carbono e oxigênio. Contaminantes específicos, tais como amoníaco ou de rolamentos de enxofre de gases pode aumentar o ataque em ligas de cobre no sistema. Corrosão é causada pela combinação de fundente camada de óxido e contínua oxidação pelo oxigênio transportado.

Figura 4: Corrosão na caldeira



Fonte: internet, modificada pelo autor, 2014

“Cracking” na caldeira de metal pode ocorrer por dois mecanismos diferentes. No primeiro mecanismo, tensões cíclicas são criadas por meio de aquecimento e arrefecimento rápido e concentram-se em pontos em que a corrosão foi rugosa ou corroída da superfície do metal. Isso é geralmente associado com a prevenção inadequada da corrosão. O segundo tipo de corrosão sob fadiga ocorre em caldeiras com água tratada corretamente. Nestes casos, a fadiga de corrosão é, provavelmente, um equívoco. Estas fissuras geralmente se originam em uma película de óxido de proteção densa sobre as superfícies metálicas e a quebra ocorre a partir da ação de tensões cíclicas aplicadas. Corrosão fadiga rachaduras é geralmente de espessura, sem corte e cruzar os grãos de metal. Eles geralmente começam a superfícies internas de tubo e são mais frequentemente circunferências do tubo.

3.4 CONSIDERAÇÕES SOBRE CORROSÃO EM NÃO-METAIS

A maior parte dos materiais cerâmicos é quase totalmente imune à corrosão. As fortes ligações iônicas e / ou covalentes que os unem, deixam muito pouca energia química livre na estrutura; que pode ser pensado como já corroído. Quando a corrosão ocorre, é quase sempre uma simples dissolução da reação material ou química, em vez de um processo eletroquímico. É a cal adicionada ao vidro de soda-cal para reduzir a sua solubilidade em água. Um exemplo comum de proteção contra a corrosão em cerâmica; apesar de não ser tão solúvel como silicato de sódio puro, vidro normal faz formar falhas sub-microscópicas quando exposto à umidade. Devido à sua fragilidade, tais falhas causam uma redução dramática na resistência de um objeto de vidro durante as primeiras poucas horas à temperatura ambiente.

3.5 CONSIDERAÇÕES SOBRE CORROSÃO DOS POLÍMEROS

Degradação do polímero é devido a uma grande variedade de processos físico-químicos complexos e muitas vezes mal-compreendida. Estes são muito diferentes de outros processos discutidos aqui, e assim o termo "corrosão" só é aplicado a eles em um sentido amplo da palavra. Devido ao seu grande peso molecular, muito pouco de entropia pode ser obtida por mistura de uma dada massa de polímero com outra substância, tornando-os geralmente muito difíceis de dissolver. Enquanto dissolução é um problema em algumas aplicações de polímeros, é relativamente simples de projetar contra. Um problema mais comum é o que está relacionada com o inchaço, onde as moléculas pequenas infiltram na estrutura, reduzindo a resistência e a rigidez e provocando uma alteração de volume. Por outro

lado, muitos polímeros (vinil nomeadamente flexível) são intencionalmente inchados com plastificantes, que podem ser lixiviados para fora da estrutura. A forma mais comum de degradação, no entanto, é uma redução do comprimento da cadeia de polímero. Mecanismos que quebram cadeias poliméricas são familiares aos biólogos por causa de seus efeitos sobre o DNA: radiação ionizante (mais comumente luz ultravioleta), os radicais livres e oxidantes, tais como oxigênio, ozônio e cloro.

4 FORMAS DE CORROSÃO

Processo de corrosão não é só influenciar as propriedades químicas de um metal, mas também gerar mudanças em suas propriedades físicas e seu comportamento mecânico. É por isso que os efeitos da corrosão são manifestados em uma variedade de formas. A forma mais comum é a corrosão uniforme, pelo que existe um generalizado "ataque", em geral, de toda a superfície exposta do metal, conduzindo a uma redução de mais ou menos uniforme em toda a espessura do metal afetado. Em contraste, não é o processo de corrosão localizada, em que um ataque intenso ocorre em torno de zonas específicas do metal, deixando o restante do metal afetado. Algumas outras formas de corrosão são corrosão galvânica, corrosão intergranular, fadiga, atrito, erosão, cavitação, biocorrosão e alta temperatura de oxidação.

a) Corrosão intragranular

A corrosão se processa nos grãos da rede cristalina do material metálico o qual, perdendo suas propriedades mecânicas, poderá fraturar à menor sollicitação mecânica, tendo-se também corrosão sob tensão fraturante.

Deve-se observar que aço inoxidável pode representar desafios especiais de corrosão, uma vez que o seu comportamento passivador baseia-se na presença de um grande componente de liga (cromo, pelo menos, 11,5%). Devido às elevadas temperaturas de soldagem ou durante o tratamento de calor indevido, carbonetos de cromo podem formar-se nos limites de grão de ligas de aço inoxidável. Essa reação química rouba o material de cromo na zona perto do contorno de grão, tornando essas áreas muito menos resistente à corrosão. Isto cria um par galvânico com a liga bem protegidos nas proximidades, o que leva a soldar decaimento (corrosão das fronteiras de grãos nas zonas afetadas de calor) em ambientes altamente corrosivos.

Um aço inoxidável é dito para ser sensibilizados se carbonetos de cromo são formados na microestrutura. Uma microestrutura típica de um tipo normalizado de aço inoxidável 304 não apresenta sinais de sensibilização enquanto um aço fortemente sensibilizado mostra a presença de precipitados nos limites dos grãos. As linhas escuras na microestrutura sensibilizadas são redes de carbonetos de cromo formados ao longo dos limites de grão.

Ligas especiais, ou com baixo teor de carbono ou com adição de carbono, tais como titânio e nióbio, podem evitar esse efeito, mas o último requer tratamento térmico especial após a soldagem. Como o seu nome indica, a corrosão é limitada a uma zona muito estreita

adjacente à soldadura, frequentemente apenas alguns micrometros de diâmetro, o que torna ainda menos visível.

b) Corrosão por placas

Quando o produto de corrosão forma-se em placas que se desprendem progressivamente. É comum em metais que formam película inicialmente protetora, mas que, ao se tornarem espessas, podem fraturar e perder aderência, expondo o metal a um novo ataque.

c) Corrosão alveolar

Quando o desgaste provocado pela corrosão se dá sob forma localizada, com o aspecto de crateras. É frequente em metais formadores de películas semi protetoras ou quando se tem corrosão sob depósito, como no caso da corrosão por aeração diferencial.

d) Corrosão puntiforme ou por pite

Quando o desgaste se dá em forma muito localizada e de alta intensidade, geralmente com profundidade maior que o diâmetro e bordos angulosos. A corrosão por pite é frequente em metais formadores de películas protetoras, em geral passivas, que, sob a ação de certos agentes agressivos, são destruídas em pontos localizados, os quais se tornam ativos, possibilitando corrosão muito intensa.

e) Fenda corrosão

É uma forma localizada de corrosão que ocorrem em espaços confinados (fendas) para que o acesso do fluido de trabalho a partir do ambiente seja limitado e uma célula de aeração diferencial esteja configurada, levando à corrosão ativo dentro das fendas. Exemplos de fendas são as lacunas e as áreas de contato entre as partes, sob juntas ou vedações, fissuras no interior e costuras, espaços cheios de depósitos e sob pilhas de lama.

f) Corrosão microbiana

Vulgarmente conhecida como a corrosão influenciada microbiologicamente (CIM), é um inibidor de corrosão causada ou promovida por microorganismos. Pode aplicar-se tanto a materiais metálicos e não-metálicos, na presença ou ausência de oxigênio. Bactérias redutoras de sulfato são ativos na ausência de oxigênio (anaeróbica); eles produzem sulfureto de hidrogênio, causando estresse sulfeto de rachaduras. Na presença de oxigênio (aeróbico),

algumas bactérias podem oxidar diretamente no ferro de óxidos e hidróxidos de ferro, outras bactérias oxidam o enxofre e produzem o ácido sulfúrico, causando corrosão biogênico sulfureto. Células de concentração podem formar-se nos depósitos de produtos de corrosão, que conduz à corrosão localizada.

g) Picada

É uma das formas mais destrutivas de corrosão e também uma das mais difíceis de prever em testes de laboratório. Em geral, é promovida pela baixa velocidade ou estagnadas condições (por exemplo, no lado do invólucro de arrefecimento) e pela presença de íons de cloreto. Depois de um poço é formado a solução no seu interior, é isolado do meio ambiente torna-se cada vez maior e corrosivo ao longo do tempo.

h) Erosão de corrosão

É o aumento da taxa de degradação do metal de efeitos abrasivos. Pode ser identificada por ranhuras e orifícios arredondados, que geralmente são suaves e têm um padrão direcional. Erosão corrosão é aumentada em velocidades altas da água e sólidos em suspensão. É muitas vezes localizada em áreas onde a água muda de direção. Cavitação (dano devido à formação e colapso de bolhas em turbinas de alta velocidade, propulsores, etc) é uma forma de erosão corrosão. A sua aparência é semelhante a poços espaçados, embora a superfície seja usualmente difícil.

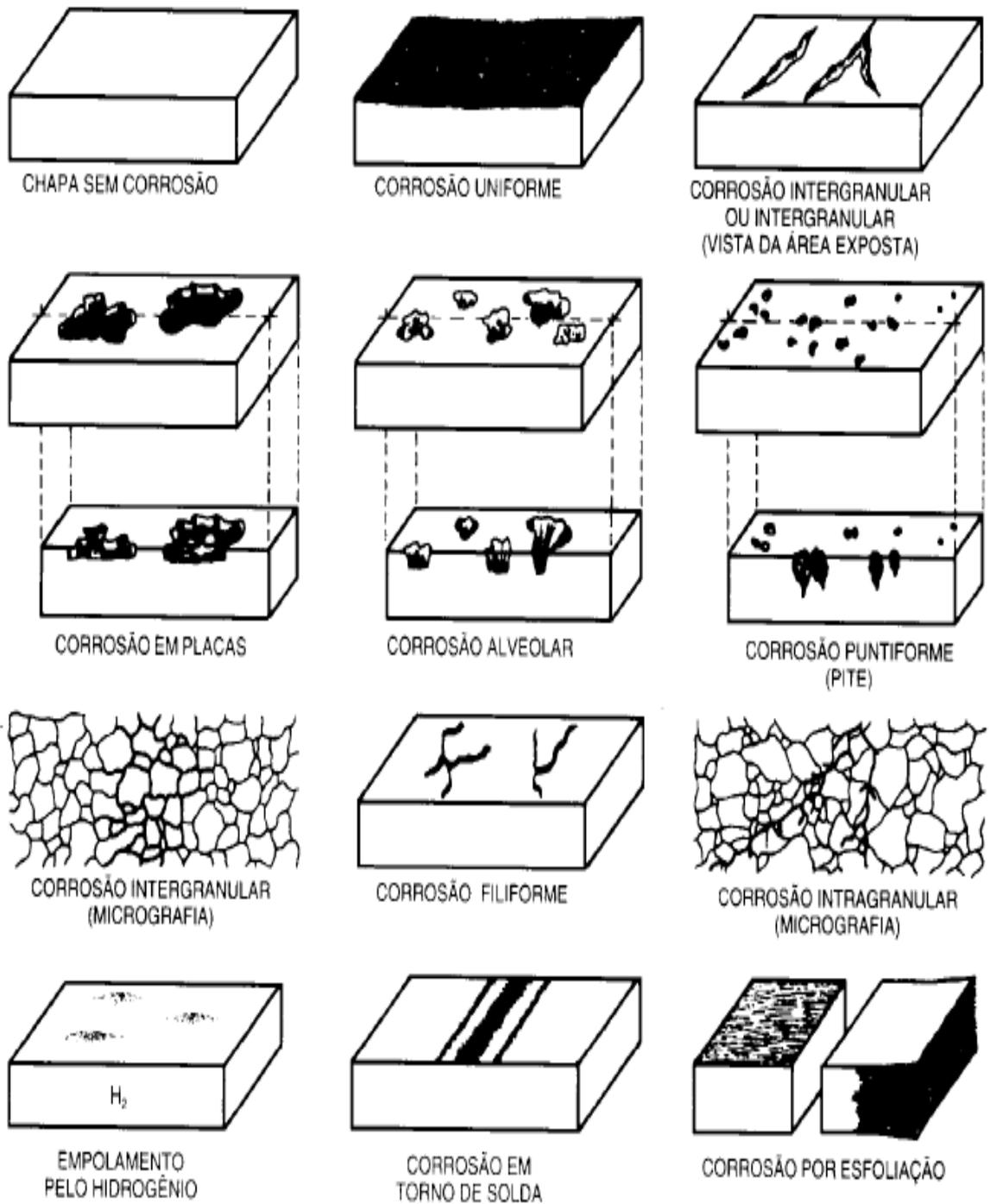
i) Corrosão filiforme

Processa-se sob a forma de finos filamentos, mas não profundos, que se propagam em diferentes direções. Ocorre geralmente em superfícies recobertas por tintas ou com outros metais, ocasionando o deslocamento do revestimento, como no caso do casco dos navios.

j) Corrosão por esfoliação

A corrosão de processa de forma paralela à superfície metálica.

Figura 5 - Exemplos de corrosão.



Fonte: internet, modificada pelo autor, 2014

5 MÉTODOS DE RESISTÊNCIA À CORROSÃO

Processos de corrosão afetam muitas áreas da atividade humana em que os produtos de metal são usados. Em geral, como os níveis de aumento do desenvolvimento econômico, assim como os custos incorridos como resultado de corrosão. E este custo, o que representa uma perda de recursos, seria ainda maior se os métodos de proteção contra a corrosão não fossem tão amplamente aplicados. Estima-se que devido a esta proteção, as populações são capazes de reduzir estas perdas potenciais por um fator de cerca de 30 por cento.

Existem muitos métodos para a prevenção ou redução de corrosão, a maioria deles orientado de um modo ou outro para abrandamento nas taxas de corrosão. Uma série de métodos que se baseiam em depositar uma camada de um segundo material na superfície de uma estrutura de metal para impedir o contato da estrutura com um meio agressivo tem sido desenvolvida. O mais prevalente delas é a pintura, e uma vasta gama de tintas de proteção já está disponível. Como uma estimativa geral, para todos os 100 m² de superfície exposta do metal, a tinta é aplicada a 90 m². Incluem-se entre estes métodos de superfície cobrindo são tratamentos metálicos de superfície, tais como o cromo, o níquel, e revestimentos galvanizados e tratamentos inorgânicos, tais como cromatos, anodização, revestimentos e revestimentos de fosfato.

Outro método de proteção utiliza inibidores, que são substâncias adicionadas ao meio líquido, novamente para reduzir as taxas de corrosão. Anticongelantes líquidos utilizados nos circuitos de refrigeração de motores têm de inibidores agentes incorporados em suas formulações, a fim de reduzir os problemas de corrosão.

. Escolhendo o material certo para a resistência à corrosão também requer muita atenção ao design de componentes, seleção de processos de fabricação, instalação e operação.

5.1 PROTEÇÃO CATÓDICA

É uma técnica amplamente utilizada em anticorrosão de navios e tubulações enterradas ou submersas. Este método serve para reduzir a taxa de corrosão da estrutura a ser protegida, unindo-a ânodos de sacrifício. Em outras palavras, a estrutura é unida a outro metal (ânodo) que corrói o mais rapidamente, eficazmente desviando a tendência para corroer distância a partir da estrutura.

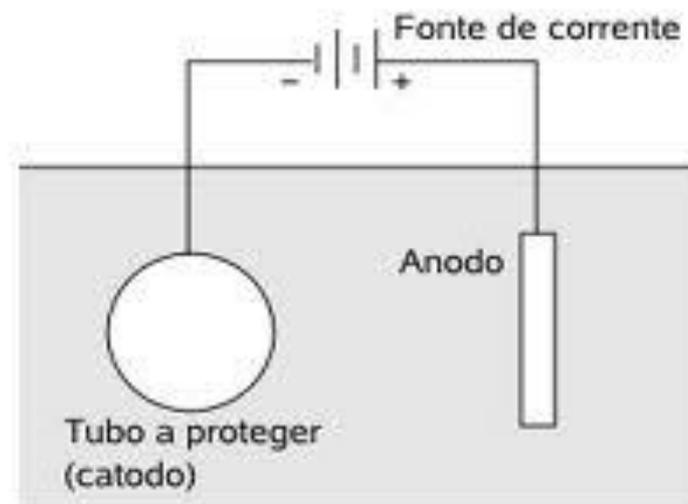
Como uma alternativa ao uso de metais que devem ser protegidas por um ou outro dos métodos descritos, os engenheiros têm frequentemente a opção de utilizar uma liga

selecionada para ter uma maior resistência à corrosão provocada pelo seu entorno. Mas melhor resistência à corrosão normalmente vem com um material mais elevado e / ou custo de produção. Os engenheiros devem ter em conta que a resistência à corrosão de liga de qualquer material depende tanto das condições de trabalho e meio. Assim, ligas com boa resistência em um ambiente pode ter baixa resistência em outra, e sua resistência também é susceptível de variar de acordo com as diferenças de condições de exposição, tais como temperatura ou estresse.

Técnica utilizada também para controlar a corrosão de uma superfície de metal, fazendo-se o cátodo de uma célula electroquímica. O método mais simples de aplicar corrosão catódica é, ligando o metal a ser protegido, com outro "metal de sacrifício" mais facilmente corroído para agir como o ânodo da célula electroquímica. Sistemas de proteção catódica são usados para proteger uma vasta gama de estruturas metálicas em vários ambientes. As aplicações mais comuns são; água de aço ou de combustíveis dutos e tanques de armazenamento; pilhas cais de aço; navios e barcos; plataformas offshore de petróleo e revestimento de poços de petróleo em terra e barras de reforço de metal em edifícios e estruturas de concreto.

Essa proteção pode, em alguns casos, prevenir a corrosão sob tensão.

Figura 6: Processo de proteção catódica



Fonte: internet, modificada pelo autor, 2014

5.1.1 Tipos de Proteção Catódica

a) Proteção catódica galvânica

Anodos galvânicos são projetados e selecionados para ter uma tensão mais “ativa” (potencial eletroquímico mais negativo) do que o metal da estrutura (geralmente de aço). Para proteção galvânica eficaz, o potencial de superfície do aço está polarizado (empurrada) mais negativo até que a superfície tem um potencial uniforme. Nessa fase, a força motriz para a reação de corrosão é removido. O ânodo galvânico continua a corroer, consumir o material do ânodo até, eventualmente, ele deve ser substituído. A polarização é causada pelo fluxo de elétrons do ânodo para o cátodo. A força motriz para a corrente CP é a diferença de potencial electroquímico entre o ânodo e o cátodo.

Ânodos galvânicos ou de sacrifício são feitas em várias formas e tamanhos, utilizando ligas de zinco, magnésio e alumínio. ASTM Internacional publica normas sobre a composição e fabricação de anodos galvânicos.

b) Proteção Catódica atual Impressionada

Para estruturas maiores, ânodos galvânicos não podem fornecer corrente economicamente o suficiente para fornecer proteção completa. Sistemas de proteção catódica atual Impressionada (ICCP) usam ânodos conectados a uma fonte de energia DC. Normalmente, este será um retificador de proteção catódica, que converte uma fonte de alimentação CA a uma saída DC. Na ausência de uma fonte de alimentação AC, podem ser utilizadas fontes alternativas de energia, tais como painéis solares, energia eólica ou gases geradores termoelétricos movidos.

Ânodos para sistemas ICCP estão disponíveis numa variedade de formas e tamanhos. Ânodos comuns são as formas de haste tubular e sólidas ou fitas contínuas de vários materiais. Estes incluem ferro fundido de alta de silício, grafite, óxido de metal misturado, platina e nióbio fio revestido e outros.

5.1.2 Aplicações

a) Oleodutos: são rotineiramente protegidos por um revestimento suplementado com proteção catódica. Um sistema ICCP para um gasoduto seria composto por uma fonte de energia DC, que muitas vezes é um retificador AC alimentado e um ânodo, ou matriz de ânodos enterrados no chão.

A fonte de energia DC que tipicamente têm uma saída de corrente contínua de entre 10 e 50 amperes e 50 volts, mas isto depende de vários fatores, tais como o tamanho do tubo. O terminal de saída de CC positivo seria ligado por meio de cabos para a matriz do ânodo, enquanto que outro cabo iria ligar o terminal negativo do retificador para o oleoduto, de preferência, através de caixas de junção para permitir medições de serem feitas.

Os ânodos podem ser instalados num furo vertical e preenchido com coque condutor (um material que melhora o desempenho e a vida dos ânodos) ou colocado numa trincheira preparada, rodeado por coque de condutor e de enchimento. A escolha do tipo e tamanho de castigo depende da aplicação, localização e resistividade do solo.

A saída da fonte DC seria, então, ajustada para o nível ótimo, após a realização de vários ensaios, incluindo as medições de potencial eletroquímico.

Às vezes é mais viável economicamente para proteger um oleoduto utilizando ânodos de galvanização. Este é frequentemente o caso em tubulações de menor diâmetro de comprimento limitado.

Navios

A proteção catódica em navios geralmente é implementado por ânodos galvânicos presos ao casco, ao invés de usar ICCP. Como os navios são regularmente retirados da água para inspeções e manutenção, é uma tarefa simples para substituir os ânodos galvânicos.

Anodos galvânicos são geralmente em forma de arrasto reduzido na água e equipados ao casco para também tentar minimizar o arrasto.

As embarcações menores, com cascos não-metálicos, tais como iates, também vai usar ânodos de galvanização para proteger áreas como o leme, mas dependem de uma conexão elétrica entre o anodo e o item a ser protegido.

Por ICCP em navios, um fornecimento de energia de CC é entregue no interior do navio e os ânodos montados no exterior do casco. Os cabos de ânodo são introduzidos no navio por meio de uma montagem de vedação de compressão e encaminhados para a fonte de energia DC. O cabo negativo da fonte de alimentação é geralmente ligado ao casco para completar o circuito. Ânodos Navio ICCP são de embutir, minimizando os efeitos do arrasto no navio, e localizado um mínimo de cinco pés abaixo da linha de carga leve em uma área para evitar danos mecânicos. A densidade de corrente necessária para a proteção é uma função de velocidade e considerado quando da escolha da capacidade de corrente e a localização da colocação do ânodo sobre o casco.

Alguns navios podem exigir um tratamento especializado, por exemplo, cascos de alumínio com utensílios de aço irá criar uma célula eletroquímica em que o casco de alumínio

pode agir como um ânodo galvânico e a corrosão é aumentada. Em casos como este, de alumínio ou de zinco ânodos galvânicos podem ser utilizados para compensar a diferença de potencial entre o casco de alumínio e a fixação de aço. Se as luminárias de aço são grandes, vários ânodos galvânicos podem ser necessárias, ou mesmo um pequeno sistema ICCP.

b) Marinha

Marinha CP abrange muitas áreas, molhes, portos, estruturas offshore. A variedade de diferentes tipos de estrutura conduz a uma variedade de sistemas para fornecer proteção. Tipicamente, os ânodos galvânicos são favorecidos, mas ICCP também pode muitas vezes ser utilizado.

c) Aço galvanizado

Galvanização em geral refere-se à galvanização por imersão a quente, que é um modo de revestimento de aço com uma camada de zinco metálico. Revestimentos galvanizados são bastante duráveis na maioria dos ambientes, porque eles combinam as propriedades de barreira de uma camada com alguns dos benefícios da proteção catódica. Se o revestimento de zinco está riscado ou danificado de outra forma localmente e aço está exposto, as áreas circundantes de revestimento de zinco formam uma célula galvânica com o aço exposto para protegê-la da corrosão. Esta é uma forma de proteção catódica localizada - o zinco age como um ânodo de sacrifício.

Deve notar-se que a galvanização, durante a utilização do princípio da proteção catódica, não é uma proteção catódica, na verdade. CP requer o ânodo a ser separado a partir da superfície do metal a ser protegido, com uma ligação iônica, através do eletrólito e uma conexão de elétrons através de um cabo, parafuso ou semelhante. Isto significa que qualquer área da estrutura protegida dentro do eletrólito pode ser protegida, enquanto que no caso de galvanização, apenas zonas muito próximas do zinco são protegidos. Assim, uma maior área de aço nu só estaria protegida em torno das bordas.

5.2 ANODIZAÇÃO

As ligas de alumínio, muitas vezes submetidas a um tratamento de superfície. Condições eletroquímicas no banho são cuidadosamente ajustadas para que os poros uniformes de vários nanômetros de largura apareçam no filme de óxido do metal. Estes poros permitem que o óxido venha a crescer muito mais espessa do que as condições de

passivação permitiria. No final do tratamento, os poros podem selar, formando uma camada de superfície mais dura do que o usual. Se este revestimento é ariscado, processos de passivação normais assumem para proteger a área danificada. Anodização é muito resistente às intempéries e à corrosão, por isso é comumente usado para fachadas de edifícios e outras áreas que a superfície vai entrar em contacto regular com os elementos. Embora seja resistente, ele deve ser limpo frequentemente. Se deixado sem limpar Paineis Borda coloração ocorrerá naturalmente.

5.3 PROTEÇÃO POR PINTURA

Pintando o navio, isola o aço a partir da mídia corrosivo. A pintura também deve ser resistente ao ambiente marinho e a aplicação rigorosamente controlada para garantir a cobertura completa e eficaz do aço. A inspeção regular e reparação do revestimento podem ser necessárias para alcançar uma proteção confiável e duradoura.

Uma vez que as tintas são concebidas para proteger as superfícies metálicas, que é amplamente acreditado que todas as tintas são tintas anti-corrosão. Mas isso não é uma versão correta. Todas as tintas à base de óleo, por exemplo, não são as tintas anti-corrosão. Elas são meramente tintas decorativas, que protegem a superfície metálica contra a corrosão parcialmente climática, mas não conseguem ficar contra a corrosão provocada por vários drásticos produtos químicos e gases industriais.

Hoje, existem no mundo mais de quinze milhões de produtos químicos conhecidos de origem orgânica e inorgânica. Por isso, é evidente que não podem existir um material de propósito, pintura anti-corrosão ou de revestimento que podem combater eficazmente as corrosões resultantes a partir de uma vasta gama de produtos químicos, tais. Assim, 'Anti-Corrosão Paint' em si é um termo vagamente definido que não dá nenhuma promessa clara de um efeito anti-corrosão eficaz e versátil.

Figura 7: Proteção anti-corrosiva por pintura



Fonte: internet, modificada pelo autor, 2014

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho demonstrou que a corrosão de superfícies é um problema que existe há séculos, apenas a pouco tempo, esta se tornou uma preocupação efetiva a nível internacional.

Através desse estudo foi possível compreender a importância da corrosão como um processo espontâneo que está constantemente transformando os materiais metálicos, de modo que sua durabilidade e desempenho deixam de satisfazer os fins aos quais se destinam, causando elevados prejuízos.

A solução encontrada para a frustrada manutenção corretiva é a manutenção preventiva, ou até mesmo a preditiva, que são mais eficientes e prolongam a vida útil das peças e estruturas as quais são aplicadas.

A proteção catódica, por possuir suas variações, por corrente impressa e por anodos de sacrifício, se torna eficaz na proteção de inúmeras superfícies metálicas, devendo ser avaliadas as condições em que tal estrutura se encontra para se determinar o melhor método a ser aplicado.

A pintura se mostrou um método de proteção anticorrosiva com satisfatória relação custo/benefício e de alta qualidade. Porém, para atingir tais parâmetros devemos levar em consideração fatores determinantes, tais como: condições de exposição e de trabalho dos equipamentos e das estruturas que serão utilizadas em todo o processo de pintura.

Nos dias atuais, a utilização de processos que corrigissem a corrosão, para estruturas de porte tão grande, como os navios, se tornou inviável tendo em vista os custos que seriam necessários para com a manutenção dos mesmos. Assim, os métodos descritos, que visam a manutenção preventiva, são vitais para a preservação do navio, e suas ações sinérgicas constituem o estado da arte para a prevenção da corrosão metálica.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAFATI, Associação Brasileira dos Fabricantes de Tintas. **Tintas e Vernizes**. Volume 1. Rio de Janeiro: Ciência e Tecnologia, 2008.
- ASSOCIAÇÃO Brasileira de Corrosão. **Formas de corrosão**. Disponível em: <www.abraco.org.br>. Acesso em: 06 agosto 2014.
- CESEC/UFPR – Centro de Estudos de Engenharia Civil da Universidade Federal do Paraná. **Corrosão**. Disponível em: <www.cesec.ufpr.br> Acesso em: 26 julho 2013.
- CORROSÃO e Tratamento da Superfície. Disponível em: <http://redeotec.mec.gov.br/images/stories/pdf/eixo_ctrl_proc_indust/tec_metal/corr_trat_superf/161012_corr_trat_superf.pdf> Acesso em 25 julho 2013.
- GENTIL, Vicente. **Corrosão**. Rio de Janeiro: Ciência e Tecnologia, 1994.
- MÉTODOS de Preparo da Superfície. Disponível em: <<http://www.anatin.com.br/dicas.html>>. Acesso em 15 agosto 2013.
- NUNES, Laerce de Paula. **Fundamentos de Resistência a Corrosão**. Rio de Janeiro: Ciência e Tecnologia, 2007.
- PANOSSIAN, Zehbour. **Proteção Contra Corrosão Durante Armazenamento e Transporte**. São Paulo: Ciência e Tecnologia, 1992.