

INTRODUÇÃO

A revitalização experimentada pela indústria naval brasileira cria grandes expectativas para um setor não muito divulgado que é dos profissionais ligados a ações para prevenção da corrosão. Embora a corrosão tenha um conceito químico empregado no cotidiano e que comumente é muito restrito e associado apenas aos metais, ela é um fenômeno muito mais amplo e também pode ocorrer com materiais não metálicos. Este processo está presente em diferentes situações e sempre associado à redução da vida útil de um determinado bem.

A corrosão é um processo natural e resulta da inerente tendência dos metais reverterem para sua forma mais estável, normalmente óxidos. A maioria dos metais é encontrada na natureza na forma de compostos estáveis denominados minérios. E durante o processo de extração e refino, é adicionada uma quantidade de energia ao minério para extrair o metal nele contido. É esta energia que possibilita o aparecimento de forças capazes de reverter o metal a sua forma primitiva de composto mais estável. A corrosão pode ocorrer por ação química e por associação de esforços mecânicos. Desta forma se torna evidente que garantir a existência de excelentes condições técnicas estruturais por muitos anos é um dos maiores desafios quando se trata de corrosão, ainda mais ligada ao setor naval que é responsável em produzir uma imensa estrutura denominada navio que fica sempre em exposição à água do mar que é um elemento com alta ação corrosiva.

Portanto, neste trabalho será possível conhecer mais sobre os conceitos teóricos da corrosão, entender como pode afetar o sistema de propulsão que muito preocupa quando interferem no ambiente financeiro de uma empresa destinada a atividade comercial com

auxílio do transporte marítimo e os principais métodos desenvolvidos para cuidar e evitar esse processo que causa deterioração de estruturas. Este assunto requer atualização e dedicação de todos os profissionais que se envolvem, levando sempre a uma busca por inovações que preservem cada vez mais as estruturas construídas para atender a necessidade de sobrevivência do homem, que desde os tempos antigos luta para alcançar excelência em todo o tipo de trabalho que consegue desenvolver.

“o trabalhador não transforma apenas o material sobre o qual opera, ele imprime ao material o projeto que tinha conscientemente em mira, o qual constitui a lei determinante do seu modo de operar ao qual tem de subordinar sua vontade” (Aristóteles)

CAPÍTULO 1

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA DA CORROSÃO

1.1- PRINCIPAIS COMPONENTES DA CORROSÃO:

Os principais componentes da corrosão são seis, descritos a seguir: meio corrosivo (é assim chamado o meio que está em contato com a superfície do metal que sofre a deterioração por corrosão. Este meio para provocar a corrosão tem que ser um eletrólito, em geral, quanto mais forte for esse eletrólito maior será a tendência de corrosão do metal), anodo (o anodo é o eletrodo ou parte de um eletrodo que sofre a deterioração por corrosão, a particularidade do anodo é que na sua interface com o meio corrosivo ocorrem reações de perda de elétrons, também chamadas de reações de oxidação ou simplesmente reações anódicas), catodo (o catodo é o eletrodo ou parte de um eletrodo que apenas ajuda o anodo a ser deteriorado, este não sofre corrosão, embora também esteja em contato com o meio corrosivo, a particularidade do catodo é que na sua interface com o meio, ocorrem reações de consumo de elétrons que procedem do anodo, também chamadas de reações de redução ou simplesmente reações catódicas), ligação elétrica entre eletrodos (no caso do anodo e catodo serem mais do que um eletrodo, é imprescindível que ambos estejam ligados eletricamente sem o que não ocorrerão as reações de corrosão), ligação elétrica entre meios corrosivos (no caso dos meios corrosivos em contato com o anodo e catodo não serem o mesmo, é necessário uma união elétrica entre esses meios, o que normalmente é feito como a utilização de uma ponte salina) e diferença de potencial entre anodo e catodo (quando anodo e catodo forem diferentes, normalmente, seus

potenciais já serão diferentes, mas quando forem os mesmos metais essa diferença de potencial é em geral de origem microscópica, impossível de ser distinguida a olho nu ou algumas vezes a um processo de transformação mecânica ou metalúrgica a qual tenha sido submetido).

1.2- FORMAS DE CORROSÃO:

As formas de corrosão definem a aparência da superfície corroída, de acordo com esse conceito, a corrosão pode ser dividida em três formas básicas:

- Corrosão uniforme: que é chamada de uniforme quando a deterioração se processa aproximadamente igual em toda a superfície exposta ao meio corrosivo, esta forma de corrosão é comum em processos nos quais o produto de corrosão é solúvel no meio ou quando não há formação de produto de corrosão.
- Corrosão localizada: costuma ser chamada de localizada quando o desgaste da superfície metálica exposta ao meio corrosivo é bem mais acentuado em algumas partes do que em outras, esta forma de corrosão costuma ser subdividida em duas outras, quando se levam em consideração as dimensões dos locais de maior corrosão. Assim, quando os locais de maior corrosão têm aspecto de pequenas crateras, lembrando pequenas bacias rasas, a corrosão é chamada de alveolar, caso os locais de maior corrosão tenham um aspecto de pequenas perfurações, lembrando furos de alfinete, a corrosão é chamada de pitting, esse tipo é mais comum nos metais cujo produto de corrosão é aderente à superfície metálica, quando expostos a meios que rompem a película formada pelo produto de corrosão.
- Corrosão por trincas: essa forma de corrosão se caracteriza por apresentar perda de espessura desprezível, em geral, a corrosão na forma de trincas está associada a um estado de tensões. A trinca não é uma perda de espessura, mas sim um rompimento das forças da atração atômica do metal que ocorrem na presença de meios corrosivos específicos associados a tensões de tração.

1.3- TAXAS DE CORROSÃO:

As taxas de corrosão expressam o desgaste verificado na superfície metálica. A avaliação correta das taxas de corrosão é de grande importância na determinação da vida útil de um equipamento, tubulação, uma estrutura metálica ou qualquer outra peça. Os métodos

usuais de determinação da taxa de corrosão são: perda de espessura por unidade de tempo (usada principalmente em instalações industriais para avaliar o desgaste provocado pela corrosão uniforme ou localizada em equipamentos e outras peças utilizadas em instalações industriais), perda de peso por unidade de área na unidade de tempo (usada principalmente em experiências realizadas tanto em laboratórios quanto no campo, quando a corrosão for uniforme), aumento de peso por unidade de área na unidade de tempo (usada para avaliar a corrosão de metais em alta temperatura nas experiências de laboratório).

1.4- MEIOS CORROSIVOS:

Os principais meios de corrosão são:

- Atmosfera: o ar contém umidade, sais em suspensão, gases industriais, poeira etc. O eletrólito se constitui da água que condensa na superfície metálica, na presença de sais ou gases de enxofre. Outros constituintes como poeira e poluentes diversos, podem acelerar o processo corrosivo.
- Águas naturais (rios, lagos ou solos): estas águas podem conter sais minerais, eventualmente ácidos ou bases, resíduos industriais, poluentes diversos e gases dissolvidos. O eletrólito se constitui principalmente da água com sais dissolvidos, os outros constituintes podem acelerar o processo corrosivo.
- Água do mar: esta água contém uma quantidade apreciável de sais, sendo desta forma um eletrólito por excelência, outros constituintes como gases dissolvidos, podem acelerar o processo corrosivo.
- Produtos químicos: desde que em contato com a água ou com a umidade e sendo ionizáveis, formam um eletrólito, podendo provocar corrosão eletroquímica.

1.5- TIPOS DE CORROSÃO:

Os principais tipos de corrosão que se pode encontrar inclusive no meio marítimo são:

- Corrosão por concentração diferencial: essa corrosão se apresenta em quatro formas: corrosão por concentração iônica diferencial (pilhas de concentração iônica diferencial- anodo: área com menor concentração e catodo: área com maior concentração), corrosão por aeração diferencial (pilhas de aeração diferencial, interface de saída de uma estrutura do solo ou da água para a atmosfera), corrosão em frestas (pilhas de aeração diferencial- meio gasoso, e de concentração iônica diferencial- meio líquido. Juntas soldadas em chapas

superpostas, juntas rebitadas, ligações roscadas, revestimentos com chapas perfuradas) e corrosão filiforme (filmes de revestimentos, especialmente tintas, pilha de aeração diferencial provocada por defeito no filme de pintura).

- Corrosão associada ao escoamento de fluido: aceleração dos processos corrosivos devido a associação do efeito mecânico com ação corrosiva, este tipo de corrosão esta dividida em corrosão-erosão (erosão-desgaste mecânico provocado pela abrasão superficial de uma substancia solida, liquida ou gasosa, desgaste maior do que apenas o processo corrosivo ou erosivo agisse isoladamente), corrosão com cavitação (cavitação-desgaste provocado em uma superfície metálica devido a ondas de choque liquida, oriundas do colapso de bolhas gasosas, cavitação surge em zonas de baixa pressão onde o liquido entra em ebulição formando bolhas, as quais ao tomarem contato com zonas de pressão mais alta são destruídas criando ondas de choque no liquido) e corrosão por turbulência (processo corrosivo associado ao fluxo turbulento de um liquido. Ocorre particularmente quando há redução na área de fluxo, aparecimento de bolhas gasosas).
- Fissuração por corrosão: corrosões que produzem trincas e que estão associadas a esforços mecânicos (tensões residuais, ou conseqüentes do próprio processo corrosivo), são trincas intergranulares ou transgranulares. Esta fissuração pode estar dividida em: corrosão sob tensão (material submetido a tensões de tração, aplicadas ou residuais, é colocado em contato com um meio corrosivo específico, os fatores decisivos são a dureza, o encruamento e as fases presentes, a propagação de trinca por corrosão sob tensão é geralmente lenta, até atingir o tamanho critico para uma ruptura brusca), fissuração induzida pela pressão de hidrogênio (hidrogênio no estado atômico tem grande capacidade de difusão em materiais metálicos, o hidrogênio atômico migra para o interior e se acumula em falhas existentes, causando aumento de pressão no interior da falha) e corrosão por fadiga (progressão de uma trinca, por onde se inicia a fadiga, a área anódica é a base da trinca- região tensionada e encruada, a associação dos dois efeitos causa a falha do material em um numero muito menor de ciclos).

1.6- CLASSIFICAÇÃO DOS PROCESSOS DE CORROSÃO:

Os processos de corrosão são classificados em função do estado físico do meio corrosivo. Considerando que os estados físicos possíveis da natureza são três: sólido, líquido e gasoso e que no estado sólido a condutividade é muito baixa, tornando a corrosão praticamente desprezível em relação a outros meios deterioração, a corrosão costuma ser classificada em corrosão úmida e seca.

A corrosão úmida constitui nos processos de corrosão que ocorrem quando o meio corrosivo está no estado líquido. Nestes casos, o mecanismo da corrosão é de natureza eletroquímica. A corrosão úmida é a principal causa de deterioração de equipamentos, instalações industriais e utensílios de uso popular. A deterioração por corrosão úmida se caracteriza basicamente por se realizar necessariamente na presença de meio líquido, ocorrer em temperaturas abaixo do ponto de orvalho e estar associada a formação de uma pilha, como grande maioria dos meios líquido, que são corrosivos, tem como solvente a água, a corrosão úmida é algumas vezes chamada de corrosão em meio aquoso.

A corrosão seca consiste num processo de corrosão que ocorre quando o meio corrosivo está no estado gasoso. Este processo é muitas vezes denominado de corrosão em alta temperatura. A natureza da corrosão química é considerada pela maioria dos autores como sendo química e não eletroquímica esse processo de corrosão não tem tanto interesse porque em temperaturas elevadas a perda de propriedade dos metais por outros motivos é mais importante. A corrosão seca se caracteriza basicamente por o meio corrosivo está sempre na forma de um gás, ocorrer em temperaturas elevadas, sempre acima do ponto de orvalho da água e em geral, existe uma interação direta entre o metal e algum agente presente no meio, geralmente o oxigênio, podendo ser chamada de oxidação.

CAPÍTULO 2

PROCESSOS BÁSICOS DE CORROSÃO

Os processos corrosivos são muito comuns em qualquer espaço, seja ele terrestre ou aéreo ou marítimo, visto que nestes espaços encontramos grande exposição dos materiais metálicos que compõe praticamente metade de grandes estruturas e demais meios utilizados para o desenvolvimento de atividades ligadas diretamente a economia de um país e ao sustento da espécie humana no planeta terra. Os metais são encontrados combinados na natureza, formando minérios, que são formas naturais, dos quais extraímos os metais. Os elementos químicos, com exceção dos gases nobres, são elementos instáveis, isto é, ligam-se facilmente, originando, através de reações, os compostos que são estáveis. A corrosão metálica é isto, a transformação natural dos metais em compostos estáveis, fazendo com que a corrosão do metal comece no momento em que ele é produzido, já no instante em que um metal é produzido, esse reage com o oxigênio da atmosfera formando óxido. Além da parte química, que é o tópico mais evidenciado quando o assunto é processo de corrosão, temos a parte mecânica, que é muito importante pelo fato de tudo que é feito com material metálico também sofre influência de ações mecânicas para ser produzido e usado, podendo sofrer ataques corrosivos. Os principais processos corrosivos são discriminados abaixo.

2.1- CORROSÃO SOB AÇÃO QUÍMICA:

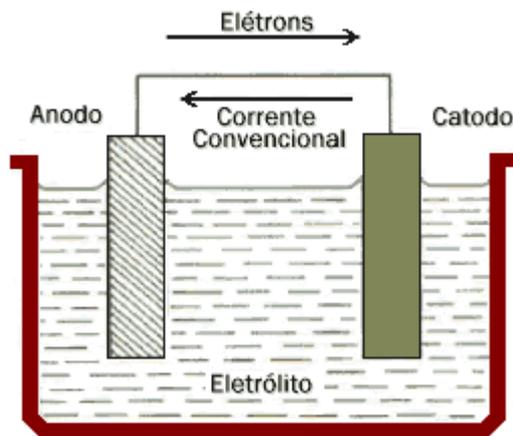
A química é uma ciência que estuda as modificações e características dos elementos que encontramos na natureza. Trata das substâncias da natureza, dos elementos que a constituem, de suas propriedades, processos de obtenção, suas aplicações e sua identificação, estuda a maneira pela qual os elementos se ligam e reagem entre si, bem como a energia desprendida ou absorvida durante estas transformações. Sendo assim, a corrosão causada por problemas químicos, pode ser classificada em dois grandes grupos, abrangendo todos os casos de deterioração por corrosão, dependendo do tipo de ação do meio corrosivo.

2.1.1- CORROSÃO ELETROQUÍMICA:

Os processos de corrosão eletroquímica são os mais frequentes na natureza e se caracterizam basicamente por: realizarem-se necessariamente na presença de água, em temperaturas abaixo do ponto de orvalho, que é a temperatura até a qual o ar deve ser resfriado, com pressão constante, para atingir a saturação (em relação à água líquida), sendo a grande maioria na temperatura ambiente e devido à formação de pilhas de corrosão. As reações que ocorrem na corrosão eletroquímica envolvem transferência de elétrons, com um fluxo destes se deslocando de uma área da superfície metálica para outra devido à diferença de potencial. Portanto, são reações anódicas e catódicas (reações de oxidação e redução). Nesta corrosão se tem a presença de uma solução que permite o movimento dos íons.

2.1.1.1- MECANISMO ELETROQUÍMICO:

Neste processo eletroquímico ocorrem reações químicas que envolvem transferência de carga ou elétrons através de uma interface entre o metal e o eletrólito, permitindo que o processo seja decomposto em três etapas principais que são: processo anódico caracterizado pela passagem dos íons metálicos para a solução, deslocamento dos elétrons e íons observado pela transferência dos elétrons das regiões anódicas para as regiões catódicas e processo catódico que acontece com a recepção de elétrons, na área catódica, por íons ou moléculas existentes na solução.



A corrosão eletroquímica pode ser verificada sempre que existir heterogeneidade no sistema material metálico- meio corrosivo, pois a diferença de potencial resultante possibilita a formação de áreas anódicas e catódicas. A maioria das reações de corrosão pode ocorrer por um processo eletroquímico, destacando-se nesse tipo de mecanismo a corrosão em água ou soluções aquosas, corrosão atmosférica e corrosão no solo na presença de umidade. A corrosão de materiais metálicos em soluções eletrolíticas ocorre também por este mecanismo devido a formação de pilhas eletroquímicas, chamadas pilhas de corrosão. Quando duas partes de uma superfície ou de uma estrutura metálica apresentam potenciais eletroquímicos diferentes, elas podem formar uma ou mais pilhas eletroquímicas com dissolução metálica em uma região específica. A pilha que é formada se constitui de seis elementos: anodo (metal ou parte do metal que é deteriorado pela corrosão), catodo (metal ou parte do metal que junto com o meio corrosivo possibilitam a corrosão do anodo), meio corrosivo (eletrólito que esteja em contato com o anodo e o catodo), ligação elétrica entre anodo e catodo (união elétrica entre anodo e catodo, que pode ser um condutor eletrônico, quando eles estiverem separados pela própria superfície dos metais, quando eles estiverem juntos ou pelas ligações interatômicas quando anodo e catodo for o mesmo eletrodo), diferença de potencial entre anodo e catodo (a diferença de atividade química entre os metais ou partes deles) e união entre meios corrosivos (união elétrica entre os meios que estão em contato com anodo e catodo).

Assim as reações anódicas e catódicas formadas são parciais e acontecem simultaneamente e a mesma velocidade sobre a superfície do metal, não havendo acúmulo de carga elétrica. O metal sofrendo corrosão consiste em uma região que cede elétrons (reação anódica), condutor eletrônico, região que consome elétrons (reação catódica), condutor iônico-

eletrólito, e isso equivale a teoria das Células Locais. As principais fontes de corrosão eletroquímica são impurezas no metal, ligas, vértices e arestas de cristais, pontos de ruptura de filmes, correntes elétricas de fuga, contatos bimetálicos, diferenças no meio corrosivo (aeração e concentração).

2.1.1.2- CORROSÃO GALVÂNICA:

A corrosão galvânica é de origem eletroquímica e muito evidenciada no dia-a-dia. Ela é resultante do contato elétrico de materiais dissimilares presente em mesmos eletrólitos e tão intensa quanto mais distante forem os materiais na tabela de potenciais eletroquímicos. Quando isto ocorre, o metal que libera corrente para o eletrólito se corrói, tendo comportamento anódico. O metal que recebe a corrente do eletrólito fica protegido e é chamado de catodo. Nesta corrosão temos a formação do par galvânico que é a união de dois ou mais eletrodos de materiais diferentes, da pilha galvânica que é um par galvânico em contato com um mesmo meio corrosivo ou meios diferentes unidos através de uma ponte salina e da série galvânica que é uma série de nobreza dos metais com relação exposição a um mesmo meio corrosivo. Com a presença de apenas um par galvânico não ocorrerá corrosão galvânica, é necessário ter meio corrosivo e somente ocorrerá essa corrosão quando existir uma pilha galvânica. Para exemplificar a explicação, temos, quando um meio corrosivo for a água do mar, o Zinco terá maior corrosão quando formar um par galvânico com o aço carbono do que quando formar um par galvânico com uma liga de alumínio. Isto irá ocorrer porque a distância na série galvânica para a água do mar, entre os metais que formam o primeiro par galvânico é maior. As células galvânicas se formam devido as diferenças de materiais existentes como soldas, conexões ou simples diferenças superficiais no mesmo metal. Para entender o exemplo citado anteriormente, temos o efeito que ocorre no conjunto casco- hélice propulsor de um navio, sendo o casco de aço e o hélice de cobre, esse conjunto mergulhado na água do mar, funciona como eletrólito, fazendo o bronze acelerar a corrosão do aço, o casco do navio sofrerá uma corrosão tão intensa que pode provocar até o naufrágio da embarcação caso medidas de proteção não sejam adquiridas.

Portanto, as principais medidas utilizadas não só em navios, mas em qualquer ambiente para proteger da corrosão galvânica são: evitar o contato metal-metal (coloca-se entre os mesmos um material não condutor-isolante), usar inibidores (o componente é usado em equipamentos químicos onde haja líquido agressivo), pinturas e revestimentos internos e

externos para reduzir bem essa corrosão mesmo que não possuam grande durabilidade e a galvanização, isto é, a aplicação de uma película de zinco, que é uma espécie de recobrimento com um metal mais eletropositivo (menor resistente a corrosão) e separa o metal do meio. Na verdade é também uma proteção catódica, pois o zinco por ter um potencial mais negativo que o aço, atua como anodo, que é consumido no lugar do aço.

O processo de galvanização é feito da seguinte maneira, a peça ou elemento que se deseja fazer a galvanização é imerso em um recipiente com zinco fundido, o zinco adere a superfície do aço através da formação de uma camada de liga de ferro- zinco, sobre a qual se deposita uma camada de zinco pura de espessura correspondente a agressividade do meio a qual a peça foi submetida.

2.1.2- CORROSÃO QUÍMICA:

Também denominada de corrosão em meio não aquoso ou corrosão seca ou oxidação, como já dito anteriormente, esse processo é menos freqüente e surgiu basicamente com a industrialização, envolvendo operações em temperaturas elevadas. Realiza-se na ausência de água e devido a interação direta entre meio corrosivo não havendo deslocamento de elétrons. A corrosão química corresponde ao ataque de um agente químico diretamente sobre o material, no caso de um metal, o processo consiste numa reação química entre o meio corrosivo e o material metálico, resultando na formação de um produto de corrosão sobre a sua superfície. Um exemplo desse processo é a corrosão de zinco metálico em presença de ácido sulfúrico. Essa corrosão também pode afetar a estabilidade e durabilidade das estruturas, sendo muito rápida e progressiva.

2.2- CORROSÃO SOB ESFORÇOS MECÂNICOS:

Diversos estudos são realizados e já se pode comprovar que a corrosão não esta apenas ligada a química, mas também a fatores que são responsáveis pelo funcionamento dos mais variados equipamentos utilizados pelo homem para produção de todo o ambiente que ocupa. Quando a corrosão depende apenas do meio corrosivo, ocorre acentuada perda de massa do material corroído, no entanto, a associação do meio com solicitações mecânicas pode ocasionar processos corrosivos acelerados mesmo sem perda acentuada de massa, podendo ocasionar apenas fraturas. Há determinados casos em que existe a interação entre o meio corrosivo, a tensão e os seus efeitos em termos de ataque por corrosão, ou seja, corrosão sob ação mecânica, e os tipos que se pode encontrar são descritos a seguir.

2.2.1-CORROSÃO- EROSÃO:

Este tipo de corrosão ocorre devido a deterioração das partículas protetoras recobrimo certos metais e ligas resultante de forças de turbulência do meio corrosivo em movimento (ação abrasiva do fluidos que podem ser devido a partículas solidas como produtos de corrosão, sais insolúveis, ...). Ocorre a formação de uma região anódica pequena e conseqüentemente a corrosão acentuada nesta região, e geralmente quanto maior a velocidade do fluido, maior será a ocorrência da corrosão-erosão. A erosão provoca o desgaste superficial capaz de remover as películas protetoras constituídas de produtos de corrosão, desta forma, um processo corrosivo se torna mais intenso quando combinado com a erosão.

A corrosão produz a película de produto de corrosão, e o processo erosivo remove expondo a superfície a novo desgaste corrosivo. O resultado final será um desgaste muito maior do que se apenas um processo corrosivo ou erosivo agisse isoladamente. Essa corrosão consiste no aumento ou aceleração do ataque a um metal como resultado do movimento relativo entre o fluido corrosivo e a superfície metálica. E os materiais cuja resistência a corrosão depende da formação de um filme protetor e a remoção ou maior dificuldade de formação desse filme pode levar a corrosão por erosão.

2.2.2- CORROSÃO-CAVITAÇÃO:

Cavitação é o nome que se dá ao fenômeno de vaporização de um liquido pela redução da pressão durante seu movimento a uma temperatura constante. A formação de cavidades com vapor do próprio liquido, provocada pelo efeito do aumento da velocidade de escoamento do fluido ao passar por um orificio de passagem reduzido. Com o aumento da velocidade a pressão diminui como comprova o teorema de Bernoulli. Em determinadas situações, esta pressão fica abaixo da pressão de vapor do fluido para a temperatura de trabalho, provocando a cavitação. Logo após passar pela região de menor pressão, a pressão tende a recuperar, é quando estas cavidades são implodidas. Cabe lembrar que um fluido não precisar estar aquecido para cavitatar, isto depende da temperatura de formação de vapor do fluido para determinada pressão, velocidade e do fator de recuperação de pressão da válvula de controle utilizada.

A cavitação é comum em bombas de água e de óleo, válvulas, turbinas hidráulicas, propulsores navais, pistões de automóveis e até em canais de concreto com altas velocidades. As bolhas de vapor que se formam no escoamento devido a baixa pressão, são sempre

carregadas e podem chegar a uma região em que a pressão cresça novamente, então ocorrerá a implosão dessas bolhas. Se a região de colapso das bolhas for próxima a uma superfície sólida, as ondas de choque geradas pelas implosões sucessivas das bolhas podem provocar trincas microscópicas no material que com o tempo irão crescer e provocar o deslocamento de material da superfície, originando uma cavidade de erosão localizada. Este é um fenômeno físico a nível molecular e que se dissemina e tende a aumentar com o tempo causando total ruína. As cavidades que são formadas não causam nenhum tipo de defeito maléfico ao equipamento, o grande problema são as sucessivas implosões das bolhas que dissipam uma grande quantidade de energia, causando corrosão muito peculiar. Os danos provocados pela cavitação dependem da intensidade da cavitação, ao tempo de exposição e da dureza do material utilizado.



Exemplo de cavitação em turbinas

Assim se pode resumir que a cavitação surge em zonas de baixa pressão onde o líquido entra em ebulição formando bolhas, as quais ao entrarem em contato com zonas de pressão mais alta são destruídas instantaneamente criando ondas de choque no líquido. Como a erosão, a cavitação também 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, como já citado. Para entender com mais teoria o processo de cavitação, busca-se uma pequena explicação do Teorema de Bernoulli.

2.2.2.1- TEOREMA DE BERNOULLI:

O teorema de Bernoulli é uma consequência da conservação de energia mecânica em fluidos sem viscosidade. Pensando em termos de linhas de corrente, não é difícil concluir que,

para fluidos incompressíveis, a velocidade aumenta quando as linhas de corrente se aproximam e diminui quando se afastam. Um determinado volume de fluido mantido dentro de um tubo com linhas de corrente, com velocidade do fluido paralela as paredes do tubo e não havendo fluido a atravessá-la. Ao deslocar-se em direção a região onde as linhas de corrente se apertam, o tubo se estreita, o comprimento da porção de fluido tem que aumentar para que seu volume se mantenha o mesmo. Para que isso seja possível, a seção anterior do fluido deve ter uma velocidade superior a da seção posterior: a velocidade do fluido aumenta quando as linhas de corrente se apertam, isto significa que uma partícula de fluido aumenta de velocidade a medida que se desloca neste escoamento. Se a pressão variar num fluido, as forças de pressão sobre uma partícula de fluido têm resultante não nula, no sentido em que a pressão diminui. Neste caso, a resultante das forças de pressão sobre o fluido tem que ser dirigida para a região de estreitamento das linhas de força, ou seja, a pressão tem que ser maior na região onde as linhas de força estão mais espaçadas e menor onde elas se estreitam.

Em conclusão, onde a velocidade de um escoamento é maior a pressão é menor e vice-versa. Este resultado é uma consequência da aplicação das leis de Newton aos fluidos que foi descoberto por Bernoulli. Além das forças de pressão, Bernoulli considerou também o peso do líquido e mostrou que a aplicação do princípio de conservação de energia mecânica ao movimento do fluido permitia concluir que uma relação entre a pressão, velocidade, altura de qualquer ponto do fluido e massa volumétrica é sempre constante. Daí, temos a equação: $P + \rho v^2/2 + \rho gh = \text{constante}$, em que para altura constante obtemos $P + \rho v^2/2 = \text{constante}$, o que implica naturalmente que se v aumenta, P diminui e vice-versa. Para fluido em repouso, este resultado não é mais que o princípio fundamental da hidrostática $P + \rho gh = \text{constante}$, a pressão aumenta se a altura diminui (profundidade aumente). A relação entre pressão e velocidade expressa pelo teorema de Bernoulli, apesar de um pouco inesperada, explica muitos resultados de escoamento de fluidos e assim podemos entender melhor o que realmente ocorrer no fenômeno de cavitação, em que podemos considerar um fluido no estado líquido escoando com uma temperatura $T_{inicial}$ e uma pressão $P_{inicial}$, em certos pontos devido a aceleração do fluido, como na sucção de uma bomba, onde a pressão pode cair a um valor menor que a pressão mínima em que ocorre a vaporização do fluido na temperatura inicial.

2.2.3- CORROSÃO-TENSÃO:

A corrosão por tensão envolve a deterioração de material a presença simultânea de tensões aplicadas ou residuais e de um meio corrosivo. Dado que normalmente envolve rachadura do material. Verifica-se uma sinérgica da tensão e do meio corrosivo, pelo que a rachadura tem lugar em tempo mais curto do que o esperado pela soma das ações isoladas da tensão e do meio agressivo. Nem todas as combinações metal/meio são susceptíveis a corrosão sob tensão. A corrosão por tensão é um fenômeno localizado: a maior parte do material não é afetada, enquanto que alguns locais se formam fissuras que vão progredindo através do metal ou liga. Uma característica importante desta corrosão é o fato de praticamente não se verificar perda de massa do material. Este se mantém aparentemente em bom estado até ao momento em que se observa a sua rachadura. As diferenças entre as composições e as estruturas das ligas afetadas, bem como as propriedades dos meios envolvidos podem ser tão diferente, que não é possível encontrar um único mecanismo que explique este tipo de corrosão. As variáveis que intervêm na corrosão sob tensão são: a tensão aplicada, a natureza e concentração do meio corrosivo, a temperatura, a estrutura e composição do material. A variável tempo também é muito importante, uma vez que os maiores danos ocorrem na fase final do processo. Embora a corrosão sob tensão seja uma forma de corrosão especialmente perigosa, permanecem pouco claros os seus mecanismos.

A diminuição desta corrosão pode ser feita com a redução da tensão para valores abaixo do limite mínimo para a ocorrência da mesma, através da eliminação de espécies críticas no meio corrosivo, substituição da liga por outra menos susceptível a corrosão, aplicação de proteção catódica, utilização de inibidores de corrosão, utilização de revestimentos e utilização de shot-peening que produz tensões de compressão residuais na superfície do metal.

2.2.4- CORROSÃO- FADIGA:

A corrosão por fadiga é a tendência que um metal tem a rachar quando sujeito a tensões cíclicas. Quando um componente é sujeito a esforços cíclicos num meio que pode atacar química ou eletroquimicamente, verificam-se condições para ocorrência desta corrosão. Pode-se encontrar uma acentuada dependência da agressividade do meio corrosivo quando se tem esse tipo de corrosão, e a velocidade de propagação é muito maior em meios agressivos como água do mar. A presença do meio corrosivo também reduz o tempo necessário a iniciação da fissura.

Os meios corrosivos não apresentam especificidade, qualquer meio que corroa um metal reduz sua resistência a fadiga, tornando mais provável a sua ocorrência, deste modo, as variáveis que condicionam a agressividade do meio (ph, temperatura, teor de oxigênio) tem influencia no processo.

CAPITULO 3

INFLUENCIADORES DA CORROSÃO

Existem vários agentes que estão ligados diretamente ao processo de corrosão de determinado equipamento. A realidade vivida permite um estudo avançado desses fatores, que são inúmeros, para que o homem consiga manter em perfeitas condições o setor produtivo no mundo, atendendo ao crescimento econômico de forma excelente e inovadora. O objetivo deste capítulo é mostrar os fatores que possuem maior grau de interferência e que levam diretamente a um processo de corrosão.

3.1- INFLUENCIA DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO METAL:

Os metais se encontram na maior parte dos equipamentos que compõem a indústria e em todas as partes do cotidiano que se possa imaginar, logo sua forma, tamanho e disposição são fundamentais para o reconhecimento de propriedades que determinam como irá influenciar no funcionamento e durabilidade de um equipamento, e inclusive na maneira de prevenir da corrosão. Com isso temos os seguintes tipos de materiais para verificar como ocorre a deterioração pela corrosão: o aço que possui em sua composição química elementos de maior influencia sobre a corrosão como o enxofre, que é uma impureza, e os elementos de liga, como cobre, cromo e níquel, e os metais não-ferrosos como as ligas de cobre que são usadas quando se deseja boa resistência a corrosão em meio aquoso aerado, e as ligas de alumínio que tem maior aplicação na resistência a corrosão atmosférica quando não se necessita de alta resistência mecânica, sua resistência a corrosão esta associada a excelente característica protetora do produto de corrosão formado quando em meios aquosos aerados ou meios oxidantes.

3.2- INFLUENCIA DA AERAÇÃO DO MEIO:

Aeração significa a quantidade de oxigênio dissolvido no meio, sua interferência é maior em meios aquosos e na corrosão atmosférica. o efeito do oxigênio dissolvido no meio sobre taxa de corrosão depende fundamentalmente se o metal apresenta passivação em meio oxidante. Para metais que apresentam passivação em meio oxidantes, a aeração reduz a taxa de corrosão, enquanto que a ausência da aeração aumenta drasticamente esse valor. Para os metais que não apresentam passivação em meios aerados, a aeração aumenta a taxa de corrosão do metal até o limite de solubilidade do oxigênio no meio, porque o oxigênio tem um efeito despolarizante que é a quebra de uma barreira que o meio cria próximo a interface metal/solução que dificulta a aproximação dos íons até a superfície metálica para descarregarem.

3.3- INFLUENCIA DE MICROORGANISMOS:

Bactérias anaeróbicas que são redutoras de sulfato causam corrosão das ligas ferrosas em meios não aerados. Essas bactérias têm a forma de larva e crescem em meios com muito pouco ou sem oxigênio, elas são chamadas de bactérias redutoras de sulfato porque reduzem o sulfato a sulfeto na presença de hidrogênio molecular ou materiais orgânicos. Na reação característica das bactérias, o hidrogênio molecular pode ser fornecido por reações catódicas, derivados de celulose, açúcares ou outro produto orgânico presente no meio. O íon sulfeto produzido pela reação das bactérias influencia fortemente na velocidade das reações anódicas e catódicas, a tendência é retardar as reações catódicas e acelerar as anódicas, aumentando dessa maneira a corrosão.

Há influencia também das bactérias aeróbicas, e as mais importantes na corrosão de ligas ferrosas são as oxidantes de ferro, como as thiobacillus thio- oxidantes, capazes de oxidarem o enxofre nascente ou removerem este de um composto contendo enxofre, para formar ácido sulfúrico. Estes microorganismos crescem melhor em meios de baixo ph e podem produzir ácido sulfúrico. Assim, as bactérias oxidantes de enxofre são capazes de modificar completamente um meio corrosivo de maneira localizada.

Outros microorganismos também podem influenciar de maneira direta ou indiretamente nos processos corrosivos. Por exemplo, há microorganismos que utilizam hidrocarbonetos para seu crescimento e podem danificar revestimentos. As bactérias de ferro que se alimentam de íons que oxidam amônia até a formação de ácido nítrico que quando

diluído ataca o aço carbono e outros metais. Existe ainda um grupo de bactérias chamadas macroorganismos que também podem acelerar um processo corrosivo, dentre esses macroorganismos se destaca os fungos que são um grupo de plantas caracterizadas por necessitarem de clorofila para crescerem, estes fungos são mais encontrados em água fresca e água do mar.

3.4- INFLUENCIA DE ÁGUAS NATURAIS:

As águas naturais possuem contaminantes que podem levar um material metálico em contato direto com elas a uma forte corrosão. Os contaminantes presentes em águas naturais são gases dissolvidos, sais dissolvidos, matéria orgânica, sólidos suspensos, bactérias, limos e algas. Todos esses elementos contribuem na corrosão pelo simples fato de afetarem a estrutura dos metais, fazendo os mesmos a voltarem a composição de como é encontrado na natureza. A água pode ser encontrada doce e salgada, com isso se pode ver como cada uma leva a corrosão.

3.4.1- CORROSÃO POR ÁGUA DOCE:

A água doce inclui todas as águas não salinas, a durabilidade dos aços em contato com este tipo de água depende das seguintes características, qualidade mineral da água, acidez, presença de oxigênio dissolvido, velocidade do fluxo, temperatura e condições ambientais. De todas as características da água que influenciam a taxa de corrosão, os gases dissolvidos são os mais importantes. Além do efeito dos gases dissolvidos, pode-se verificar também o efeito do pH da água e sais que a maioria dissolvida em água tende a reduzir tanto a solubilidade do oxigênio como a do hidróxido de ferro. As taxas de corrosão em soluções concentradas de sal são usualmente menores do que em soluções diluídas de sal. Alguns sais também tendem a elevar o pH, o que reduz a tendência a corrosão ácida, por outro lado a maioria dos sais dissolvidos se ioniza e aumenta a condutividade da água, que por sua vez tende a concentrar a corrosão levando a ataque severo.

3.4.2- CORROSÃO POR ÁGUA SALGADA:

A água do mar é uma solução salina uniforme constituindo de cloretos de sódio e magnésio dissolvidos em água. Embora estejam presentes em pequenas quantidades muitos outros minerais solúveis, sofrem os efeitos individuais e cumulativos destes minerais que são insignificantes na presença dos cloretos dominantes. Assim, a água pode ser considerada equivalente a uma solução de 0,5N de cloreto de sódio. Nesta concentração a solução tem um pico de corrosividade, atuando mais agressivamente sobre o aço do que concentrações mais altas e mais baixas. Outros fatores que afetam a corrosão incluem a concentração de oxigênio, degradação de material biológico e velocidade e temperatura da água.

A corrosão em águas salinas, como encontradas em baías e estuários, aproxima-se do comportamento corrosivo da água do mar. A taxa de corrosão é praticamente a mesma em todos os lugares do mundo, na maioria dos casos a profundidade de ataque é maior em aços carbono cobertos com carepa do que os livres de carepa. Aços carbono e outros de baixa liga apresentam taxas de corrosão em curto prazo, quando completamente submersos em água do mar, em longo prazo essa taxa é reduzida. Não há variação significativa das taxas de corrosão em função do método de fabricação do aço ou de pequenas adições de elementos de liga como cobre ou cromo. O efeito do aumento da velocidade da água também faz aumentar a taxa de corrosão. As águas do mar em áreas tropicais resultam em taxas de corrosão mais altas do que para regiões de climas frios.

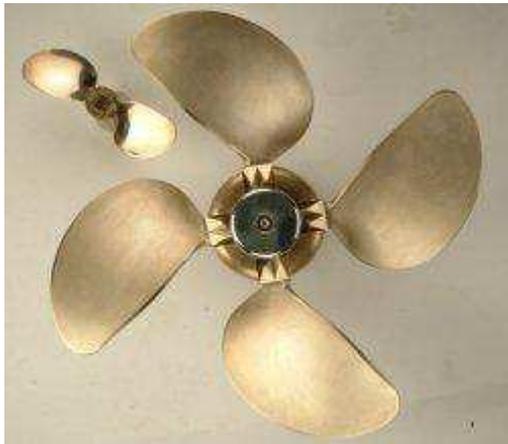
CAPÍTULO 4

ESTUDO DA CORROSÃO NO PROPULSOR

O navio é tido como uma grande embarcação que desempenha a atividade de transporte de carga com objetivo comercial. Para que o movimento da embarcação aconteça, ela necessita de um sistema de propulsão que garanta força suficiente para vencer a força de reação da água, caso contrário permanecerá em repouso. Mas, para que o deslocamento aconteça o hélice do navio deve estar em contato direto com fatores que atrapalham e com o passar do tempo reduzem a vida útil na forma de desgaste, e como principal assunto deste trabalho é a corrosão, será tratado de como esta influencia no funcionamento do sistema de propulsão de um navio, não importando o seu tamanho e finalidade de uso. Para dá inicio a esse estudo específico, será explicado como um propulsor funciona e suas características e em seguida os fenômenos que aceleram o processo de corrosão do material de que é feito o hélice.

4.1- CARACTERÍSTICAS E FUNCIONAMENTO DO PROPULSOR:

O propulsor é um conjunto de bosso e pás espaçadas em ângulos iguais em torno do eixo propulsor. Sua estrutura é composta por pá (peça geralmente de forma helicoidal montada no bosso do hélice, podendo ser fixa ou móvel), bosso (peça geralmente de forma troncônica que sustenta os pás, fixado ao eixo propulsor), aresta de ataque (é a aresta do pá que primeiro corta a água, com a embarcação em marcha avante), aresta de saída (é a aresta do pá oposta a aresta de ataque, por onde sai a água, com a embarcação também em marcha avante), face do pá (é a superfície de propulsão do pá na marcha avante e também é a superfície de ré do pá), dorso (é a superfície oposta a face), ponta (é o ponto do pá mais afastado do eixo), diâmetro (é o da circunferência descrita pela ponta dos pás) e caimento do pá (é a inclinação do pá em relação a perpendicular que passa pelo centro do bosso, ou seja, é o ângulo formado entre essa perpendicular e cada ponto de uma linha chamada linha de caimento, estendida do centro do bosso até a ponta dos pás).



Exemplificação de um propulsor pequeno

O hélice é a parte terminal do sistema de propulsão, necessariamente instalado em uma região do navio que sofre severa turbulência provocada pelo escoamento da água na região mais a ré dos navios, causando um efeito espiral que prejudica a eficiência da propulsão, mas que gera impulso para fazer a embarcação navegar. Ele é montado na extensão do eixo de manivelas dos motores alternativo de baixa potencia, ou no eixo do hélice, nos motores alternativos de maior potencia, o principal objetivo desta instalação é reduzir a rotação do motor para uma rotação na qual o hélice consiga trabalhar, com isso esses motores são capazes de desenvolver um torque maior.

Um hélice girando sofre a ação de três forças principais que são: a força centrífuga (força que tende a expulsar os pás do cubo do hélice, jogando-os para fora do centro de rotação do hélice), a força de flexão (causada pela tração, tende a dobrar as pontas dos pás para frente ou para trás quando estão em operação normal ou em reverso, esta força, também pode ser causada pelo torque, flexionando os pás no sentido contrário ao giro da mesma) e a força de torção (que é a força que tende a levar o pá para um ângulo mínimo, sempre que este superar a força de torção aerodinâmica). Existem diferentes tipos de hélice, dos mais simples que possui um ângulo fixo até os mais complexas em que o ângulo dos pás é ajustado automaticamente, os mais evidenciados no setor naval atualmente são os de passo fixo, que como o nome já diz não possui variação do ângulo de seus pás, como consequência imediata não varia o passo, esse hélice é fabricado com o passo pré-determinado, e existe também os de passo variável no qual é possível controlar seu ângulo, logo o seu passo pode ser controlado quando está em movimento retirando uma melhor eficiência, esta mudança de ângulo pode ser limitada ou poderá apenas ter seu limite mínimo e máximo, com isso também é possível controlar a rotação e o torque do hélice.

O conjunto formado pelo hélice e o motor forma o sistema propulsor do navio. Essa propulsão pode ser por motor diesel ou elétrico. A propulsão com auxílio do motor diesel pode ser explicada pela lei de Isaac Newton, conhecida como lei de ação e reação, promovendo assim o movimento de rotação do hélice propulsor. O sistema funciona desta forma, o hélice empurra a água para trás, a água reage e empurra o hélice para frente, fazendo o barco se mover, a transmissão do movimento do motor até o hélice é dado por caixas redutoras e embreagens, assim propulsiona o navio. Já na propulsão elétrica, um motor elétrico e o hélice ficam em um mesmo eixo para fazer a propulsão do navio, o motor elétrico pode ser de corrente contínua ou de corrente alternada, mas atualmente o mais utilizado é o de corrente alternada, pelo simples fato da expansão da tecnologia da eletrônica de potência com grande utilização de dispositivos de microeletrônica. A montagem dos propulsores com motores elétricos pode ter a forma de Z ou de L, e isso acontece de acordo com o espaço que é reservado no navio para a propulsão e o tamanho do eixo disponibilizado. Este sistema de propulsão é mais utilizado no mercado de embarcações de apoio marítimo, porque acopla velocidade e custo de operação, facilitando manobras com movimentação lateral para compensar a força das ondas, ventos e outras adversidades e a capacidade de carga da

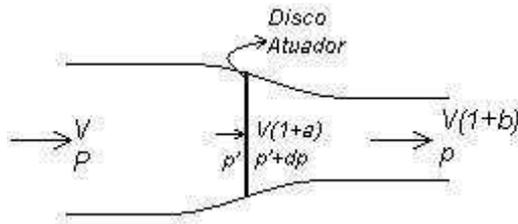
embarcação. Com o sistema de propulsão elétrica foi possível incorporar o sistema de governo e acabar com a máquina do leme.

4.2- CORROSÃO DEVIDO AO FUNCIONAMENTO DO PROPULSOR:

Os hélices das embarcações são construídos com a utilização de varias ligas diferentes de bronze de acordo com as condições de uso que cada navio terá especificamente. O projeto e construção do hélice são os momentos mais importantes, com o auxilio de grandes pesquisas, cálculos e testes para que nada possa atrapalhar o desempenho e a eficiência da embarcação quando todo o conjunto estiver montado. Os materiais utilizados para a fabricação do propulsor precisam estar de acordo com o tipo de meio que o mesmo estará em contato, o tipo de esforço e processo mecânico que sofrerá para que uma prevenção seja feita em relação à corrosão que acontecerá, visto que é um fenômeno que pode ser evitado e o grau diminuído, mas certamente ocorrerá, pois já é característica da natureza dos metais em contato com um determinado meio.

O funcionamento de um hélice é basicamente sempre o mesmo, as mudanças só ocorrem em virtude do tipo de atividade que uma determinada embarcação irá desempenhar, e em consequência dessas mudanças os efeitos de desgaste, fratura e corrosão podem ser acentuados e prejudicar todo um processo comercial a qual um navio esta ligado. Para entender o processo de corrosão que pode aparecer devido à ação mecânica, tem-se que o principio padrão de funcionamento de um hélice é fornecer ao fluido que passa através dele certa quantidade de movimento, aproveitando a reação gerada para acelerar um corpo contra o deslocamento do fluido.

Considerando a água como o fluido, devido ao assunto tratado estar ligado ao meio marítimo, à água que passa pelo hélice em um determinado intervalo de tempo, percorrendo um caminho como ilustrado abaixo. O hélice será tratado como um disco sem espessura, que causa uma diferença de pressão para a água que passa por ele com velocidade constante, impondo aceleração ao fluido.



A corrente de água será formada nas redondezas do hélice (tubo de linhas de corrente) e estará em equilíbrio com a atmosfera circundante. Desprezando os efeitos de viscosidade, o escoamento terá uma distribuição uniforme de velocidade em cada seção transversal, o que pode ser provada como uma distribuição de maior eficiência. O disco acrescenta energia ao escoamento de duas formas: aumentando a sua velocidade e aumentando a sua pressão estática. Ao contrário do que ocorre com a pressão estática, a velocidade de um escoamento na pode ser aumentada de maneira descontínua. Portanto, se o disco aumenta a velocidade do escoamento para um determinado valor, este aumento já é sentido antes do mesmo, fazendo com que a pressão estática logo antes do disco esteja a um valor menor que o valor da pressão inicial no escoamento a montante. Como já mencionado o aumento de pressão estática causado pelo disco é descontínuo, portanto o escoamento logo após o disco possui uma pressão maior e este aumento de pressão é então reconvertido em velocidade a jusante do disco, para que ele possa se manter em equilíbrio com a atmosfera. Reconhece-se que o escoamento se divide em três regiões quanto à velocidade: a primeira, a frente do disco que possui a velocidade de avanço do navio, uma vez que é indiferente para esta teoria saber se quem move é o navio ou a água, a segunda onde a aceleração devido a presença do disco atuador é sentido (logo antes e logo após o mesmo) e a terceira, mais atrás corresponde a um segundo incremento de velocidade, pois o acréscimo de pressão na água causado pelo disco atuador é reconvertido em energia cinética. Utilizando-se a mecânica dos fluidos, como anteriormente já mencionada através do Teorema de Bernoulli, alguns cálculos mostram de maneira precisa como todo esse movimento do hélice na água ocorre.

Tomando o teorema do transporte para volume de controle definido na figura acima, tem-se pela equação da continuidade e da quantidade de movimento, respectivamente:

$$\rho V A_1 = \rho V(1+b) A_2 = \rho V(1+a) S = \dot{m}$$

$$T = \rho [V((1+b))]^2 A_2 - \rho V^2 A_1 = \dot{m} [V(1+b) - V] = \dot{m} b V = \rho S V^2 b(1+a)$$

Das simplificações feitas para o escoamento em estudo, pode-se utilizar a equação de Bernoulli já explicada para calcular a relação entre os acréscimos de velocidade citados. Há dois escoamentos com energias diferentes: antes e depois de passar pelo disco atuador, desta forma, para as energias temos:

$$H = p + \frac{1}{2} \rho V^2 = p' + \frac{1}{2} \rho V^2 (1+a)^2$$

$$H_1 = p' + \Delta p + \frac{1}{2} \rho V^2 (1+a)^2 = p + \frac{1}{2} \rho V^2 (1+b)^2$$

Das equações acima, temos:

$$\Delta p = (H_1 - H) = \rho V^2 b (1 + \frac{b}{2})$$

Desta expressão, tira-se a tração produzida apenas multiplicando pela área do disco com raio do hélice. Se igualarmos a expressão obtida com a segunda equação temos a seguinte relação entre acréscimos de velocidade:

$$a = \frac{b}{2}$$

A potencia produzida pelo motor é a soma da taxa de trabalho feito pela força de tração com a taxa de energia cinética fornecida a água que passa no disco, ou seja:

$$P_t = \frac{1}{2} \rho S V (1+a) [V^2 (1+b)^2 - V^2] + TV$$

$$= \rho S V^3 b (1+a)^2$$

Das equações mostradas é possível se tira a eficiência:

$$\eta = \frac{TV}{P_t} = \frac{\rho S V^3 b (1+a)}{\rho S V^3 b (1+a)^2} = \frac{1}{1+a}$$

Esta eficiência é máxima eficiência teoricamente alcançada por um hélice, e nunca é alcançada na pratica, pois neste principio básico são desconsiderados os efeitos de rotação do fluxo de fluido, o arrasto induzido de atrito dos pás do hélice, a aceleração gerada na corrente de água não é uniforme na seção, gerando uma distribuição de velocidades diferentes da ideal, as perdas devido a um numero finito de pás que variam a aceleração da água periodicamente num dado ponto da área do disco.

Com esse movimento fica evidente entender como alguns efeitos mecânicos ajudarão de certa forma no aparecimento da corrosão. Alguns desgastes de material e trincas também podem ser entendidos, os danos que são causados ao hélice podem ser vistos a olhos nu, geralmente acontecem com uma perda progressiva do material que compõe o corpo do hélice juntamente como movimento entre a superfície do mesmo e determinado fluido em contato, também pode ser devido a partículas solidas que podem estar em suspensão no fluido, fazendo com que uma perda acentuada do material metálico seja evidenciada. Se uma manutenção não for programada poderá acontecer uma perda total do equipamento. Os principais efeitos que podem gerar uma corrosão no sistema de propulsão acima discriminado são a cavitação e ventilação, fenômenos gerados em função do próprio funcionamento do hélice propulsor.

4.2.1- CAVITAÇÃO GERANDO CORROSÃO:

Fenômeno já explicado anteriormente e que possui enorme influencia quando tratamos da propulsão de uma embarcação, independente do tamanho e o tipo de água onde navega. Em hélices a cavitação pode ocorrer devido a se tentar transmitir demasiada potencia ao mesmo. Em grandes velocidades ou sob grandes cargas (com sustentação muito elevada nos pás), a pressão do lado de entrada de escoamento nas pás pode descer abaixo da pressão de vapor da água criando uma bolsa de vapor, que deixa de transmitir força a água eficientemente. Este efeito dissipa energia, torna o hélice ruidoso devido ao colapsar das bolhas de vapor e causa erosão na superfície dos pás devido às ondas de choque localizadas contra a superfície.

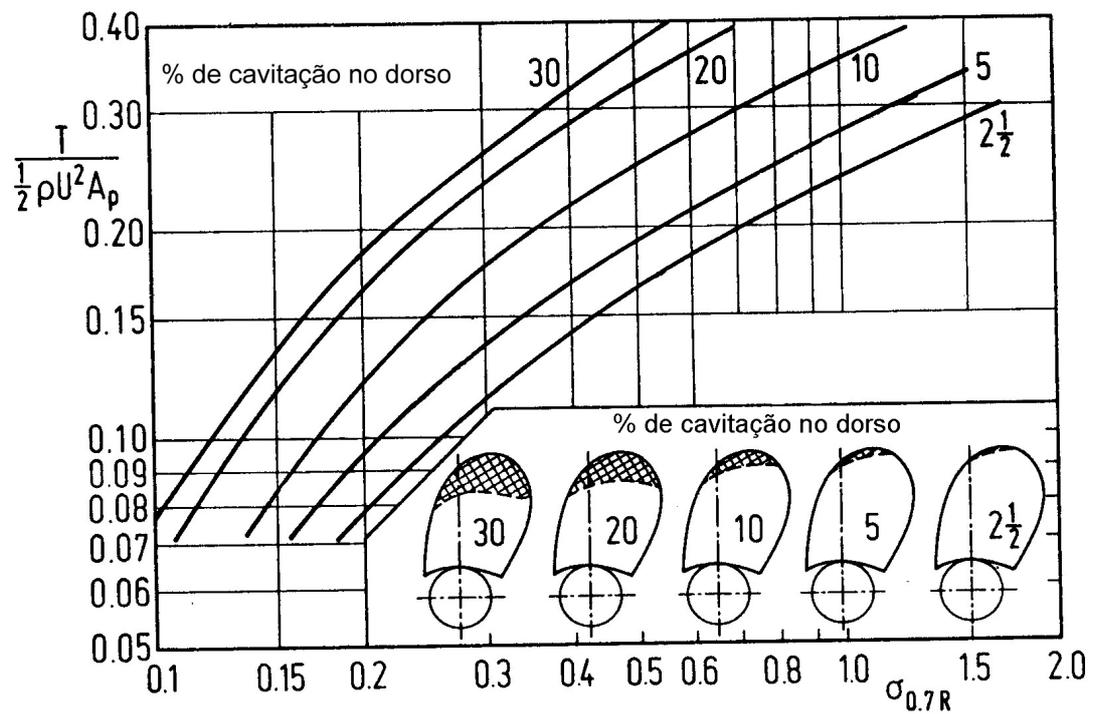


Fenômeno de cavitação no hélice do navio

No entanto, a cavitação pode ser usada como uma vantagem na projeção de hélices de alto desempenho. A cavitação é um dos aspectos mais estudados por causar limitações ao se projetar um hélice, pois um dos efeitos mais indesejáveis que pode causar é a queda de empuxo.

Um das formas mais práticas de se prever problemas relacionados com a cavitação é a utilização do diagrama de Burril, baseado em dezenas de ensaios em túneis de cavitação de hélices de geometrias variadas. O diagrama relaciona o coeficiente de carregamento relacionado com pressões presentes nas pás e o índice de cavitação relativo à velocidade resultante na seção dos pás. Tanto o coeficiente de carregamento como o índice de cavitação relativo à velocidade levam em conta as componentes rotacionais e axiais das velocidades dos pás.

No diagrama de Burril, são apresentadas as definições de seus parâmetros e as equações aproximadas de suas curvas, que indicam a porcentagem da área dos pás cobertas por cavitação no dorso dos hélices. Apesar de ser um método empírico, que apresenta informações quanto ao comportamento aproximado e médio dos hélices, a prática tem demonstrado que seus resultados são confiáveis.



O desenho acima é o diagrama de Burrill para a previsão da quantidade de cavitação. A tabela abaixo apresenta as equações das curvas para estimar porcentagens de cavitação do dorso (lado de sucção) das pás cobertas por cavitação, obtidas a partir do diagrama.

$\tau_C = A \cdot (\sigma_{0,7R})^B$		
Cavitação no Dorso	A	B
2,5 %	0,302	0,763
10 %	0,494	0,880
20 %	0,661	0,880
Queda de Empuxo	0,700	1,000

$$\tau_C = \frac{T}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_R^2 \cdot A_P}$$

$$\sigma_{0,7R} = \frac{P_o - P_v}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_R^2}$$

$$V_R = \sqrt{V_A^2 + (0,7 \cdot \pi \cdot n \cdot D)^2}$$

$$A_P = (1,067 - 0,229 \cdot \frac{P}{D}) \cdot A_E$$

Algumas situações não são indicadas por esse diagrama de Burril como, tipo de cavitação presente e nem se há possibilidade de ocorrer erosão e corrosão por cavitação nas pás. Mas ajuda na construção de hélices que irão reduzir bastante o fenômeno de corrosão causado pela cavitação.

A possibilidade de ocorrer erosão causada por cavitação está ligada principalmente a um dos três casos: hélices de grandes embarcações marítimas com grandes diâmetros resultando em distribuições de esteiras que fazem variar o modo significativo a velocidade resultante em cada pá à medida que ela faz uma rotação de 360 graus. Nestes casos, mesmo com pequena área dos pás cobertas por cavitação, pode ocorrer erosão devido à natureza da cavitação, predominantemente de bolhas. As bolhas se formam e desaparecem através de

implosões junto a superfície dos pás, por força da vibração periódica e abrupta das velocidades do hélice, outra ocorrência é quando velocidades altíssimas de escoamento que levam a pressões locais muito baixas, fazendo com que quaisquer descontinuidade das superfícies dos pás e se constituam em pontos preferenciais de implosões de bolhas de cavitação e por ultimo a presença de cavitação excessiva nos pás, induzindo turbulência local de caráter periódico que pode levar a corrosão.

Outra ocorrência são as vibrações induzidas por cavitação que são muito próximas daquelas que levam a erosão, basicamente ligadas a não uniformidade do escoamento com cavitação, com variações de velocidades e pressões. Existe outro tipo de teste para verificação da cavitação, esse é um teste pratico que consiste em um circuito fechado de água fabricado em aço, montado de forma a permitir a instalação de um modelo de propulsor em sua seção de teste. A água em circulação dentro do túnel torna possível medir os parâmetros de operação do hélice (empuxo e torque) não só na chamada condição estática, mas em todas as faixas de operação.

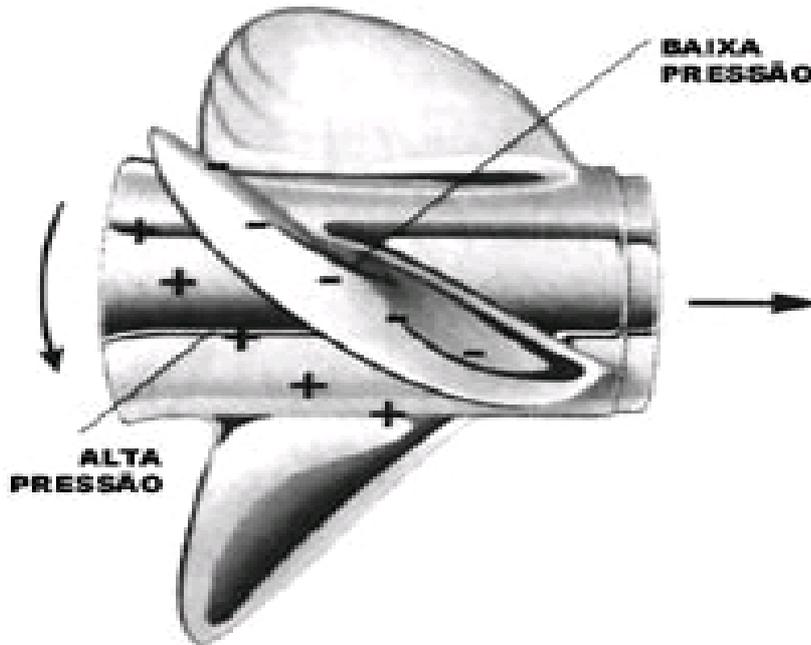
Sendo assim, para concluir as maneiras de como a cavitação pode prejudicar o hélice se deve falar do aparecimento de corrosão além dos outros problemas já demonstrados.



Danos da corrosão por cavitação no hélice

Temos que, quando um hélice girando no sentido horário, a face do pá empurra a água deixando um vazio no dorso, esse espaço vazio será ocupado pela água que ascende para restabelecer o equilíbrio. As duas faces do pá sofrem diferença de pressão, na qual a pressão positiva empurra a face e a pressão negativa puxa o dorso, e com essa diferença de pressão em

todas os pás, empurrando e puxando água ao mesmo tempo através de um tubulão imaginário um pouco mais largo que o diâmetro do hélice, a água que é empurrada e puxada pode se transformar em vapor na temperatura de 100 graus Celsius e pressão ao nível do mar, porém sob pressão mais baixa na qual se encontra o hélice pode passar ao estado de vapor a uma temperatura menor, o que define o efeito de cavitação no hélice.



Diferença de pressão nos pás do hélice

As bolhas de vapor formadas se deslocam até o bordo de fuga (aresta de saída), se comprimem e implodem e voltam ao estado líquido com liberação de energia, o que faz com que o material de formação do hélice seja desgastado causando a corrosão devida também à presença do oxigênio na água. Com isso a cavitação forma espaços vazios ou cavidades, como já dito, próximas os pás, quando o hélice gira em determinadas condições, formando espuma na popa e nas proximidades do hélice na superfície. As principais causas da cavitação aumentando o nível de corrosão são as irregularidades na aresta ou bordo de ataque, a porosidade na superfície do pá, o cup em excesso, o pá mal projetada, o hélice parcialmente submerso, o mau tempo e a ventilação do hélice. Com essas causas, os lugares onde a cavitação irá causar maior fenômeno de corrosão são nas pontas dos pás onde a velocidade relativa é maior e a pressão hidrostática é mais baixa quando os pás giram na posição mais alta e junto a raiz onde as pás se conectam ao bossô, devido o ângulo de ataque se maior. Com a cavitação formada, além da corrosão ocorrerá perda de tração do hélice, erosão como já citado, vibração não apenas do sistema propulsivo, mas também do casco do navio e ruídos

excessivos. E depois que a superfície é afetada pela cavitação, ela tende a diminuir em um ritmo acelerado, aumentando cada vez mais os poços de cavitação e cria fendas que atuam como sítios de nucleação de bolhas de cavitação adicionais, e os poços também aumentam a área dos componentes da superfície e deixa para trás as tensões residuais, tornando a superfície mais propensa ao estresse de corrosão.

4.2.2- VENTILAÇÃO GERANDO CORROSÃO:

Alem do fenômeno de cavitação que gera uma grande deterioração dos pás do hélice devido ao acentuado processo de corrosão que tem início nas pontas dos pás e conforme o tempo vai passando e nenhum tipo de manutenção é feito, o desgaste aumenta e deverá ser feito até mesmo a troca de todo o propulsor, existe também a corrosão gerado pelo fenômeno de ventilação, ou seja, com presença direta do ar.

O processo de ventilação ocorre quando um hélice que opera perto da superfície da água atrai o ar para os pás formando pequenas bolhas, causando uma perda de impulso e uma vibração acrescida do veio, sem, no entanto causar qualquer dano a superfície dos pás. Tanto o efeito de cavitação como o de ventilação podem ser amenizados se for aumentada a profundidade a que o hélice está submersa: a cavitação é reduzida porque a pressão hidrostática aumenta a margem da pressão de vapor e a ventilação é reduzida, pois está mais distante das ondas da superfície e de outras bolsas de ar que poderiam ser atraídas para o escoamento. O efeito da ventilação também pode ser reduzido quando nos motores de popa encontramos um defletor acima do hélice que é chamado de placa de ventilação para minimizar o efeito da mistura ar e água no hélice.

Neste fenômeno de ventilação, quando o ar é sugado para o disco do propulsor o hélice permanece dinamicamente submerso e não permanece estático na condição de calado leve. O princípio do fenômeno correlaciona a carga do propulsor com a sucção e a descarga, assim, quanto maior a propulsão, maior a sucção e muito maior a probabilidade de ventilação, proporcionando uma perda de tração do hélice com aumento de rotação e ocorrência de cavitação.

O efeito de ventilação pode ser reconhecido pela mudança de som que ocorre e também pela súbita elevação do giro e perda de potencia. Outras causas da ventilação podem ser descritas como montagem incorreta do motor, projeto incorreto do casco ou até mesmo

hélice incorreto. Um hélice de aço tem uma tendência menor de ventilar do que um hélice de alumínio devido ao fato do aço fletir menos que o alumínio.

Para que se possa diminuir os problemas que a ventilação pode causar, inclusive a corrosão, é a instalação de um hidrofoleio ou barbatana que é aparafusada na placa anti ventilação do motor, isto faz com que a embarcação aplane melhor em uma rotação mais baixa, mas deve reduzir um pouco a velocidade final e aumentar o consumo já que é um fator de atrito.

O surgimento da corrosão pela ventilação ocorre em um nível muito elevado, pois a presença do oxigênio faz com que o material metálico volte a sua composição original encontrada na natureza, e com isso prejudicar a propulsão do navio que depende do hélice propulsor para vencer a força da água e deslocar o navio para onde se deseja. Então, entende-se que qualquer tipo de escoamento de fluido pode levar a um processo de corrosão, pois a união das ações mecânicas com determinado meio e elementos garantem o aparecimento deste fenômeno tão temido no meio marítimo e que é motivo de grandes pesquisas e projetos para garantir que o setor não perca sua eficiência e potencia. Em acréscimo, quando se trata de navio, não apenas o sistema de propulsão, mas os diversos equipamentos que são encontrados em uma praça de máquinas que possui um funcionamento ligado ao escoamento de fluidos podem ter total chance de sofrer um alto processo de corrosão com elevado grau de desgaste devido não apenas a efeitos químicos, mas também ações mecânicas que oferecem os principais elementos para a ação dos processos químicos.

Tanto a ventilação quanto a cavitação podem ser encontrados em qualquer sistema de propulsão, pois estes ocorrem quando se tem a movimentação do propulsor na água do mar que é um meio em que causa alto nível de corrosão no material metálico que esta em contato. A atualidade do setor naval no Brasil vem sendo ditada pela expansão da atividade petrolífera, com isso ocorre grande movimentação no segmento de propulsores para embarcações, pois se necessita de agilidade e baixo custo para atender atividades nas grandes bacias de petróleo, assim as novas tecnologias mostram propulsores de pequenas dimensões que se instalam lateralmente e em túneis na proa ou na popa e popa com o objetivo de melhorar a manobrabilidade do navio quando este tem velocidades baixas ou está em velocidades de avanço, e pelo fato desses propulsores serem embutidos dentro de um pequeno túnel no casco do navio e localizados um pouco abaixo da linha d'água, sofrem grandes influencia da corrosão quando em funcionamento e estão altamente sujeitos aos efeitos de cavitação e

ventilação, e outro problema em relação a corrosão que esses novos equipamentos possuem, são em função do pouco uso, ou seja, estão constantemente em contato com a água do mar, porém parados pelo fato de serem utilizados as vezes para manobras mais complicadas e que exigem mais do navio para atracar lateralmente. Esses propulsores necessitam de um sistema de manutenção bem elaborado e confiável, porque pode acontecer que no momento de ser usado poder vir a falhar por existir algum tipo de fratura ou desgaste causado pela corrosão, garantindo total insegurança para todo o conjunto.

4.2.3- MICROORGANISMOS GERANDO CORROSÃO:

Como já falado anteriormente os microorganismos podem influenciar no processo de corrosão, e como o propulsor é construído a base de materiais metálicos e fica em contato direto com a água do mar, ele pode sofrer o processo de corrosão devido à presença de diversos tipos de microorganismos que formam incrustações em sua estrutura, levando o mesmo a uma perda total, porque todo o seu formato é modificado e o material que o compõe perde resistência e propriedades permitindo o aparecimento de rachaduras, fraturas e trincas que impedem totalmente o funcionamento e deixa a embarcação em total risco.



Cracas provocando corrosão

Algumas bactérias que podem ser encontradas na água do mar podem desenvolver processos de crescimento que resultam em incrustações e pode realizar reações de fermentação. A atividade biológica dessas bactérias conduz a oxidação do ferro ferroso solúvel, originando hidróxidos férricos insolúveis, dos quais, parte é englobada na membrana celular da bactéria enquanto outra parte precipita no meio envolvente, sob a forma de glóbulos. Este processo leva a formação de uma massa gelatinosa vermelho-acastanhada, viscosa, com aspecto ferruginoso, constituída por precipitados globulares, colônias de bactérias e produtos orgânicos por elas gerados. É esta massa que adere a estrutura dos pás de

um propulsor e podem invadir seu eixo, e conseqüentemente provoca a diminuição do rendimento do hélice.

A ação das bactérias se associa a precipitações químicas, que parece ter ação na deposição de substâncias orgânica em suspensão na água. O tratamento desse problema requer grandes investigações e necessita de diferentes métodos como tratamento com ácidos para destruir as bactérias, mas mantém a incrustação e tratamento com cloro que oxida as bactérias, destruindo-as e eliminando o que elas produzem nas estruturas. Outro problema evidenciado pela presença de microorganismos é a aparição de cracas que além de provocar danos ao hélice, impede totalmente o escoamento do fluido nas pás provocando perda de eficiência e do movimento da estrutura. As cracas não aparecem da noite para o dia, primeiro, tudo da estrutura do navio que se encontra submerso é coberto por um limo, depois surgem as algas e em seguida, pequenas cracas que se não forem retiradas logo crescem rapidamente, nesta fase se for feita uma limpeza com jato de água as cracas caem facilmente, mas se deixar crescer se torna difícil a remoção.

Contudo, todos os tipos de microorganismos que se pode encontrar no ambiente aquático atuam no fenômeno de corrosão de uma maneira ativa sem alterar a natureza eletroquímica do processo, a atuação destes se dá por surgimento de pilhas de geração diferencial por efeito, que é um consumo desigual de oxigênio em áreas localizadas e produção de substâncias corrosivas, originadas do crescimento e metabolismo microbiano. Essa corrosão gera problemas econômicos preocupa a tripulação das embarcações, os microorganismos formam biofilmes sobre a superfície dos metais do navio e ao desenvolver seus metabolismos produz substâncias altamente corrosivas.

CAPÍTULO 5

PREVENÇÃO DA CORROSÃO

Na verdade um processo de corrosão e seu controle não podem ser tratados isoladamente, o estudo de um implica no estudo do outro, pois o próprio mecanismo da corrosão pode fornecer a forma através da qual se pode combater com mais eficiência. Em todos os métodos utilizados para controle de corrosão se deve levar em conta o fator econômico que é primordial, em vários casos o prejuízo causado pela corrosão não se concentra no custo da peça a ser trocada e sim na parada total de uma unidade em operação para que se possa processar a substituição.

Em âmbito geral de prevenção da corrosão, algumas soluções reduzem ou mesmo eliminam a velocidade da corrosão entre elas podemos citar: a mudança de materiais até então usados, mudança completa do meio ambiente ou parcial alteração pela modificação do ph, aplicação de camadas de tinta orgânica ou eletro-deposição, utilização de técnicas eletroquímicas como tintas consumíveis, proteção catódica ou anódica, e prever maior tolerância de uma corrosão geral e controle de fatores como temperatura e velocidade em projetos.

Os métodos de prevenção da corrosão mais populares usados na indústria em geral são: revestimentos, inibidores de corrosão, técnicas de modificação do meio corrosivo, zincagem, pintura e proteção catódica e anódica. Como o estudo deste trabalho está

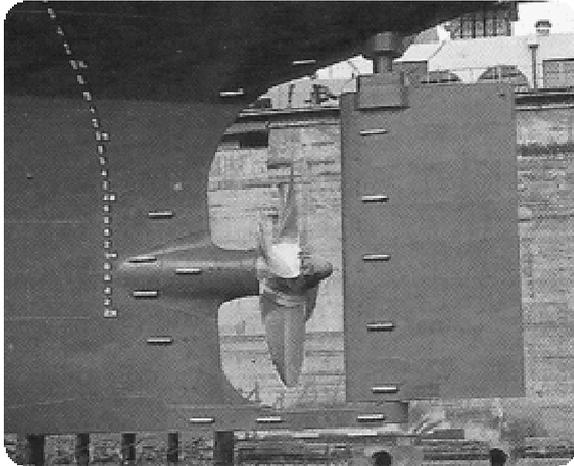
direcionado para a corrosão gerado no propulsor de um navio os métodos de prevenção são mais voltados para a forma do mesmo e alguns métodos conhecidos na indústria.

5.1- PREVENÇÃO DA CORROSÃO NO PROPULSOR:

Em um navio para que ocorram procedimentos de prevenção da corrosão diversos fatores devem ser analisados antes, porque o mesmo está submetido a diversos tipos de normas e tudo relacionado a sua construção e manutenção está diretamente ligado a autoridades designadas para o desempenho das tarefas, nada pode ser feito sem antes ter um projeto e este ser autorizado por quem de respeito. Quando se fala em navio, se faz referencia a um patrimônio cujo valor esta associado a sua capacidade de trafegar internacionalmente transportando bens, cargas e pessoas. E para que isso seja possível, existem as Sociedades Classificadoras que estão estruturadas de forma a conceber o navio como uma unidade móvel internacional. As regras de classificação destas sociedades são normas técnicas que abordam principalmente aspectos de integridade da estrutura de equipamentos e sistemas. Alguns destes aspectos são tratados de maneira uniforme para qualquer tipo de embarcação, por exemplo, requisitos aplicáveis aos sistemas de propulsão. As ações das classificadoras são iniciadas na fase de desenvolvimento do projeto, continuam ao longo da fabricação e se completam durante a construção no estaleiro. Após a entrada do navio em operação, as regras demandam um programa de vistorias periódicas e tudo será acompanhado até o encerramento da vida operacional da embarcação. Todos os itens incluídos nas regras das sociedades classificadoras devem ser bem cuidados, e se tratando de corrosão, as regras de classificação não poderiam deixar de prever que, periodicamente, se verifique se algum elemento estrutural teria sido consumido pela corrosão, além do limite que os cálculos de engenharia admitem.

Os principais métodos utilizados na prevenção da corrosão no propulsor são basicamente: a limpeza que é feita primeiro pela necessidade de se retirar as incrustações e em segundo para o aumento da vida útil das embarcações com auxilio de raspagem por mergulhadores e utilização de equipamentos constituídos de escovas, a proteção catódica com anodos de sacrificio utilizados para formação de pares metálicos que consiste em se unir intimamente o metal a ser protegido com o metal protetor, o qual deve apresentar uma maior tendência de sofrer corrosão, os anodos são conectados eletricamente a estrutura a proteger, um par galvânico é formado e o potencial misto se posicionará em um valor intermediário, a quantidade, tamanho e distribuição dos anodos são de suma importância para conseguir

efetiva proteção, a utilização de revestimentos metálicos que dependem de um correto tratamento de superfície, da técnica de aplicação, da espessura e da capacidade do revestimento atuar como um processo de sacrifício local na ocasião de se ter pequenos danos do revestimento que irão expor o substrato ao meio corrosivo e as prevenções mais importantes são efetuadas no processo de fabricação do hélice e no momento de encaixá-lo na estrutura do navio.



Prevenção da corrosão com anodos de sacrifício

No momento no qual é realizado o projeto para fabricação do hélice, deve-se ter total preocupação com as pás, pois uma formação ruim das arestas e das pontas pode acelerar o processo de cavitação e causar um desgaste excessivo de material de que é feita e principalmente o caimento das pás que em excesso provoca alto nível de corrosão e apenas uma substituição irá solucionar o problema de deterioração que o movimento causará devido a má projeção da parte que é responsável pelo fornecimento de força para que haja deslocamento da água para propulsionar o navio. Além da preocupação no projeto, deve-se também atentar para o momento da instalação, porque dependendo da altura em que é colocado poderá ocorrer um contato com a superfície da água onde estará a presença de ar que ajudará no efeito de ventilação formando bolhas que ao chocarem a estrutura da pá provocaram corrosão e com o tempo o material irá perdendo sua espessura e fazendo com que a eficiência da propulsão seja totalmente reduzida e prejudicando demais partes do navio.

CONSIDERAÇÕES FINAIS:

De toda análise efetuada neste trabalho a respeito da corrosão, retorno ao ponto que considero mais importante para um aluno que está concluindo o curso de máquinas que é a parte onde se trata da geração de corrosão devido às ações de cavitação e ventilação. Apesar de a corrosão ser um processo químico, a atuação de processos mecânicos permite que esta apareça causando total deterioração do equipamento que é produzido por materiais metálicos e funciona em contato direto com meio corrosivo. No caso deste trabalho com foco em propulsores, tem-se que o material no qual é construído (alumínio, bronze, aço inoxidável e outros) em contato direto com o fluxo de água do mar para criação de uma força que permita o movimento de rotação fazendo com que os pás girem, proporcione o aparecimento de uma corrosão acentuada.

Essa corrosão leva em conta todo o movimento observado no hélice fazendo com que ocorra vaporização das bolhas de água que são formadas causando o fenômeno de cavitação devido à excessiva velocidade que o hélice atinge, muito ângulo de passo e hélice muito alto ou mesmo já danificado por motivo de ausência de prevenções que devem ser feitas iniciadas no próprio casco do navio com a colocação de anodos de sacrifício. Além da cavitação, a ocorrência da ventilação, que pode acontecer em consequência da cavitação, faz com que o pá em contato com o ar e fluxo de água sofra grande ação corrosiva. Esses fenômenos atrapalham a eficiência de uma embarcação, reduzindo sua velocidade e conseqüentemente o tempo de saída e chegada à determinado local para atender as demandas do comércio marítimo que é um dos mais importantes para o crescimento econômico de um país.

Sendo assim, fica claro que o transporte marítimo é muito afetado com o fenômeno de corrosão, incentivando diversos profissionais ligados a esse assunto a pesquisarem novas técnicas, ligadas ao que a natureza química oferece que previna de forma eficiente uma embarcação para que não ocorra perda de capital que é o principal objetivo de qualquer atividade com fins lucrativos atualmente. Com isso tecnologias para construção de

propulsores também se expandem para garantir que o caimento, ângulo, alturas, espessuras, áreas, tamanhos e demais elementos ligados a construção e instalação de um hélice não acelerem de forma irregular o processo de corrosão que é natural devido à necessidade de retorno a forma original que um material metálico tem.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 – ABRACO, Associação brasileira de corrosão, Corrosão e Proteção/Ciência e tecnologia em corrosão, Rio de Janeiro, 2010.
- 2 – CARVALHO, Nestor Ferreira. Fundamentos da Corrosão, 2002.
- 3 – DUTRA, A.C. e NUNES, L.P. Proteção catódica – técnica de combate à corrosão. Rio de Janeiro: Editora tecnica, 1987.
- 4 – GENTIL, V. Corrosão 4.ed., RO de Janeiro: Livros técnicos e científicos, 2003.
- 6 – MATOZO, H.C. e PIMENTA, E.F. Apostila de eletroquímica, EMIP-QUIMICA 2008.
- 7 – PADOVEZI, Carlos Daher. Monografia de aplicação de resultados de escala real no projeto de hélices de embarcações fluviais. Universidade de São Paulo. Orientador. Dr. Mardel Bongiovanni de Conti. São Paulo, 1997.
- 8 – PONTE, Haroldo Araújo. Apostila de fundamentos da corrosão. Curitiba, 2003.
- 9 – REISSNER, H. Theory of propellers, p 48 (1942).
- 10 – TELLES, P.C.S. Materiais para equipamentos de processos. Editora interciencia Ltda. 6.ed., Rio de Janeiro, 2003.
- 11 - www.iope.com.br/3i_corrosão-htm. Acessado em 15 de julho de 2011.
- 12 – www.mgstecnologia.com.br. Cavitação. 2011.
- 13 – www.nautibras.com.br. Hélices, como selecionar – Suporte/Texto.

