

MARINHA DO BRASIL
CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA - CIAGA
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO PARA OFICIAIS DE MÁQUINAS - APMA

JOSÉ RENATO DE CARVALHO ABREU

PROTEÇÃO ANTICORROSIVA NOS CASCOS DE NAVIOS

RIO DE JANEIRO

2014

JOSÉ RENATO DE CARVALHO ABREU

PROTEÇÃO ANTICORROSIVA NOS CASCOS DE NAVIOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Aperfeiçoamento para Oficiais de Máquinas do Centro de Instrução Almirante Graça Aranha como parte dos requisitos para obtenção de Certificado de Competência Regra III/2 de acordo com a Convenção STCW 78 Emendada.

Orientador: D.Sc. Alexandre Silva de Lima

RIO DE JANEIRO

2014

JOSÉ RENATO DE CARVALHO ABREU

PROTEÇÃO ANTICORROSIVA NOS CASCOS DE NAVIOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Aperfeiçoamento para Oficiais de Máquinas do Centro de Instrução Almirante Graça Aranha como parte dos requisitos para obtenção de Certificado de Competência Regra III/2 de acordo com a Convenção STCW 78 Emendada.

Data da Aprovação: ____/____/____

Orientador: D.Sc. Alexandre Silva de Lima

Assinatura do Orientador

NOTA FINAL: _____

Dedico este trabalho a minha esposa e filhas pelo incentivo e motivação durante todo este processo de aprendizagem.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus familiares pela compreensão e paciência que contribuíram significativamente para o alcance deste objetivo e também a todos os professores e professoras que de maneira brilhante transmitiram seus conhecimentos, munindo-nos de ferramentas indispensáveis para o exercício de nossa profissão.

No fim tudo dá certo, e se não deu certo é porque ainda não chegou ao fim.

Fernando Sabino

RESUMO

A corrosão dos cascos dos navios em contato com a água do mar é a destruição eletroquímica do aço provocada pela reação com a água. Essa destruição, responsável por grandes prejuízos, seja pela necessidade da substituição de chapas de aço, ou pelo aumento da rugosidade das superfícies do casco, com conseqüente aumento no consumo de combustível, é ocasionada sempre por um fluxo de elétrons que proporciona a transformação do aço, fazendo com que o mesmo retorne a sua forma primitiva. Para eliminação da corrosão, nessas circunstâncias, utilizam-se revestimentos protetores nas superfícies metálicas, complementados por um sistema de proteção catódica.

Palavras-chave: Corrosão. Proteção. Catódica. Pintura.

ABSTRACT

The corrosion of ships' hulls in contact with water is the electrochemical destruction of the steel caused by reaction with water, this destruction, responsible for large losses, or the need of replacement of the steel plates, or by increasing the roughness of the surfaces of the hull, with consequent increase in fuel consumption, is Always caused by a flow of electrons, which provides steel processing causing the same to return to its original form. To eliminate corrosion in these circumstances, we use protective coatings on metal surfaces, complemented by a cathodic protection system.

Keywords: Corrosion. Protection. Cathodic. Painting.

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|-------------|-----------------------------------|----|
| Figura 1 - | Corrosão | 12 |
| Figura 2 - | Ciclo dos metais | 13 |
| Figura 3 - | Casco Corroído | 14 |
| Figura 4 - | Tintas | 17 |
| Figura 5 - | Jateamento | 19 |
| Figura 6 - | Esquema de pintura | 20 |
| Figura 7 - | Trinchas | 21 |
| Figura 8 - | Rolo de pintura | 22 |
| Figura 9 - | Pistola de pintura convencional | 22 |
| Figura 10 - | Pistola convencional | 23 |
| Figura 11 - | Pistola sem ar -Airless | 24 |
| Figura 12 - | Zonas de corrosão e superproteção | 26 |
| Figura 13 - | Potencial de proteção catódica | 27 |
| Figura 14 - | Proteção catódica por anodos | 28 |
| Figura 15 - | Proteção catódica | 29 |
| Figura 16 - | Corrente impressa | 31 |

SUMÁRIO

| | | |
|------------|---|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 10 |
| 2 | CORROSÃO | 11 |
| 2.1 | Corrosão eletroquímica | 12 |
| 2.2 | Corrosão química | 13 |
| 2.3 | Meios corrosivos | 14 |
| 2.4 | Técnicas de proteção | 15 |
| 3 | PINTURA | 17 |
| 3.1 | Preparo da superfície | 18 |
| 3.2 | Esquema de pintura | 20 |
| 3.3 | Métodos de aplicação | 21 |
| 4 | PROTEÇÃO CATÓDICA | 25 |
| 4.1 | Galvânica | 26 |
| 4.2 | Corrente impressa | 29 |
| 4.3 | Influências do revestimento sobre a proteção catódica | 32 |
| 4.4 | Influências da proteção catódica sobre o revestimento. | 33 |
| 5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 34 |
| | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 35 |

1 INTRODUÇÃO

O aço é o principal material para construção de um navio, porém, devido a corrosão eletroquímica provocada pela reação com a água salgada; só é possível a sua utilização com o emprego de revestimentos eficazes, destacando-se neste caso o revestimento por tintas aplicado sobre a superfície aliado a um sistema de proteção catódica que complementa de forma eficiente esta proteção dos cascos dos navios, minimizando os prejuízos causados pela corrosão.

O presente trabalho é uma condensação sobre o assunto, mostrando os princípios básicos da corrosão e os métodos de proteção das superfícies dos cascos dos navios.

2 CORROSÃO

Num aspecto muito difundido e aceito universalmente pode-se definir corrosão como a deterioração de um material, geralmente metálico, por ação química ou eletroquímica do meio ambiente aliada ou não a esforços mecânicos. A deterioração causada pela interação físico-química entre o material e o seu meio operacional representa alterações prejudiciais indesejáveis, sofridas pelo material, tais como desgaste, variações químicas ou modificações estruturais, tornando-o inadequado para o uso.

Sendo a corrosão, em geral, um processo espontâneo, está constantemente transformando os materiais metálicos de modo que a durabilidade e desempenho dos mesmos deixam de satisfazer os fins que se destinam. No seu todo esse fenômeno assume uma importância transcendental na vida moderna, que não pode prescindir dos metais e suas ligas.

Todas as instalações representam investimentos vultosos que exigem durabilidade e resistência à corrosão que justifiquem os valores investidos e evitem acidentes com danos materiais incalculáveis ou danos pessoais irreparáveis.

Com exceção de alguns metais nobres, como o ouro que podem ocorrer no estado elementar, os metais são geralmente encontrados na natureza sob a forma de compostos, sendo comuns as ocorrências de óxidos e sulfetos metálicos. Os compostos que possuem conteúdo energético inferior aos dos metais são relativamente estáveis. Desse modo, os metais tendem a reagir espontaneamente com os líquidos e gases do meio ambiente em que são colocados: o ferro se “enferruja” ao ar e na água, e objetos de prata escurecem quando expostos ao ar.

Em alguns casos, pode-se admitir a corrosão como o inverso do processo metalúrgico, cujo objetivo principal é a extração do metal a partir de seus minérios ou de outros compostos, ao passo que a corrosão tende a oxidar o metal. Assim, muitas vezes o produto da corrosão de um metal é bem semelhante ao minério do qual é originalmente extraído. (Gentil 1996)

Figura 1 - Corrosão



Fonte:hypescience.com.

2.1 Corrosão eletroquímica

A característica fundamental do mecanismo eletroquímico é que ele só se verifica em presença de um eletrólito. A reação de corrosão é composta de duas reações parciais: uma reação anódica e uma reação catódica, que se processam em pontos distintos. A reação anódica é uma reação de oxidação, na qual são liberados elétrons, os quais se deslocam para outros pontos do metal, onde ocorre a reação catódica, que é uma reação de redução. A reação anódica tem como consequência a dissolução do metal, portanto, corrosão, ao passo que a reação catódica conduz à redução de espécies presentes no meio, sem a participação do metal sobre o qual ela tem lugar. O mecanismo se traduz no funcionamento de uma pilha de corrosão, que requer quatro elementos imprescindíveis, a saber:

- a) uma área onde se passa a reação anódica, por isso mesmo denominada de área anódica
- b) uma área distinta daquela, onde se passa a reação catódica, por isso mesmo denominada de área catódica.
- c) uma ligação metálica que une ambas as áreas, e por onde fluem os elétrons resultantes da reação química.
- d) um eletrólito em contato simultâneo com as mesmas áreas por onde fluem os íons resultantes de ambas as reações. (Dutra 1999).

Figura 2 – Ciclo dos Metais



Fonte: Dutra-1999.

2.2 Corrosão química

O campo abrangido pela corrosão química é bem mais restrito que o da corrosão eletroquímica, e se compõe principalmente da oxidação, destacando-se a corrosão em alta temperatura. Não obstante, a corrosão química pode ocorrer também à temperatura ambiente, em meio gasoso e, ainda, em alguns meios líquidos.

O mecanismo da corrosão química é caracterizado por uma reação química do metal com o agente corrosivo, sem que haja deslocamento dos elétrons envolvidos em direção a outras áreas. O produto de corrosão forma-se na superfície do metal exposta ao meio, podendo constituir uma película que, dependendo do metal, do meio, das condições em que se processa a reação, pode apresentar diferentes propriedades. Em certos casos, esta película pode ter propriedades protetoras e chegar a bloquear, por completo, as reações subsequentes no meio considerado. (Dutra 1999)

Figura 3 – Casco Corroído



Fonte: www.brasilecola.com.

2.3 Meios corrosivos

Os meios corrosivos em corrosão eletroquímica são responsáveis pelo aparecimento do eletrólito. O eletrólito é uma solução eletricamente condutora constituída de água contendo sais, ácidos ou bases.

Os principais meios corrosivos e respectivos eletrólitos são:

- a) atmosfera: o ar contém umidade, sais em suspensão, gases industriais, poeira, etc. O eletrólito constitui-se da água que condensa na superfície metálica, na presença de sais ou gases presentes no ambiente. Outros constituintes como poeira e poluentes diversos podem acelerar o processo corrosivo;
- b) solos: os solos contêm umidade, sais minerais e bactérias. Alguns solos apresentam também, características ácidas ou básicas. O eletrólito constitui-se principalmente da água com sais dissolvidos;
- c) produtos químicos: os produtos químicos, desde que em contato com água ou com umidade, formem um eletrólito, podem provocar corrosão eletroquímica.

- d) águas naturais (rios, lagos e do subsolo): estas águas podem conter sais minerais, eventualmente ácidos ou bases, resíduos industriais, bactérias, poluentes diversos e gases dissolvidos. O eletrólito constitui-se principalmente da água com sais dissolvidos; os outros constituintes podem acelerar o processo corrosivo; e
- e) água do mar: estas águas contêm uma quantidade apreciável de sais. Uma análise da água do mar apresenta em média os seguintes constituintes em gramas por litro de água.

Tabela 1: Constituintes da água do mar

| | |
|---|----------------|
| Cloreto (Cl⁻) | 18,9799 |
| Sulfato (SO²⁻) | 2,6486 |
| Bicarbonato (HCO³⁻) | 0,1397 |
| Brometo (Br⁻) | 0,0646 |
| Fluoreto (F⁻) | 0,0013 |
| Ácido Bórico (H₃BO₃) | 0,0260 |
| Sódio (Na⁺) | 10,5561 |
| Magnésio (Mg²⁺) | 1,2720 |
| Cálcio (Ca²⁺) | 0,4001 |
| Potássio (K⁺) | 0,3800 |
| Estrôncio (Sr²⁺) | 0,0133 |

Fonte: <http://www.iope.com.br>.

A água do mar em virtude da presença acentuada de sais é um eletrólito por excelência. Outros constituintes como gases dissolvidos, podem acelerar os processos corrosivos.

2.4 Técnicas de proteção

Os métodos práticos, adotados para diminuir a taxa de corrosão dos materiais metálicos, podem ser esquematizados da seguinte forma, segundo Vernon, (Vernon

W.H.J. 1957 Metallic Corrosion and Conservation of Natural Resources) onde as condições ambientais em que os diferentes métodos são comumente usados foram representadas pelas letras: A (atmosfera), W (submersa) e G (subterrânea).

Métodos Baseados na Modificação do Processo:

- a) projeto da estrutura (A,W,G);
- b) condições da superfície (A,W,G); e
- c) pela aplicação de proteção catódica.

Métodos Baseados na Modificação do Meio Corrosivo

- a) desaeração da água ou solução neutra (W);
- b) purificação ou diminuição da umidade do ar (A); e

Métodos Baseados na Modificação do Metal

- a) aumento da pureza (A, W, G);
- b) adição de elementos – liga (A,W,G); e
- c) tratamento térmico.

Métodos Baseados nos Revestimentos Protetores

- a) revestimentos com produtos da reação – tratamento químico ou eletroquímico da superfície metálica (A e W);
- b) revestimentos orgânicos – tintas e vernizes ou polímeros, etc.(A,W,G);
- c) revestimentos inorgânicos – esmaltes, cimentos (A,W,G);
- d) revestimentos metálicos (A,W,G); e
- e) revestimentos temporários (A).

Em todos os métodos usados para controlar a corrosão, o fator econômico é primordial. Qualquer medida de proteção será vantajosa, economicamente, se o custo da manutenção baixar, para a proteção dos cascos de navios aplicam-se os métodos baseados na modificação do processo, através da aplicação de proteção catódica, e do método baseado nos revestimentos protetores com os revestimentos orgânicos através de tintas.

3 PINTURA

A pintura industrial constitui-se no método de proteção anticorrosiva de maior utilização na vida moderna. Pela sua simplicidade, a ação de proteger por pintura tem sido exaustivamente utilizada pelos seres humanos nas construções e em objetos confeccionados em aço.

Figura 4 - Tintas



Fonte:manutencaoesuprimentos.com.br.

O termo pintura pode ser estendido a três ramos da atividade humana:

- a) pintura artística
- b) pintura arquitetônica
- c) pintura industrial

O aço é nos tempos atuais e foi durante todo o século passado, o principal material de construção industrial. Porém, devido à corrosão, só foi possível o sucesso de sua utilização com o emprego de revestimentos eficazes, destacando-se neste caso o revestimento por tintas que é um revestimento anticorrosivo normalmente orgânico, aplicado sobre a superfície que se quer proteger.

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

Impedir a incrustação de microrganismos marinhos nos cascos das embarcações: A aplicação das chamadas tintas anticrustantes ou “antifouling” nos cascos das embarcações evita a incrustação de microrganismos marinhos nos

mesmos, o que contribui para evitar o consumo excessivo de combustível e aumentar a durabilidade da proteção anticorrosiva.

Diminuição da rugosidade superficial: A pintura pode ajudar a diminuir a rugosidade superficial, para facilitar o escoamento de fluidos.

3.1 Preparo da superfície

O requisito básico para que um revestimento seja aplicado com sucesso é a correta preparação da superfície. Deve-se remover a carepa de laminação, respingos de solda, ferrugens, graxas, sujeiras, óleos e outros contaminantes.

A limpeza do casco do navio acontece pela necessidade de se retirar as incrustações marinhas, que aumentam o peso do navio, afetam a hidrodinâmica do casco, e conseqüentemente, diminuem o seu desempenho. Faz-se também pela necessidade de aumentar sua vida útil.

Primeiramente faz-se uma análise do casco para saber em que estado se encontra, para então ser feita a raspagem manual ou jateamento de água sob pressão, após esta etapa é feita a aplicação de desengraxantes ou outros solventes para retirada da graxa, óleo ou qualquer outro contaminante.

Depois da raspagem e da aplicação de desengraxantes, existem alguns tratamentos que são realizados no casco do navio de acordo com a situação em que este se encontra, a saber:

- a) **ST1** – Tratamento manual – para situações menos críticas; e
- b) **ST2** – Tratamento manual – para situações menos críticas, onde é efetuada a remoção da camada de óxido e outros materiais que estão aderidos à superfície através de lixamento, escovação, raspagem, etc.

Limpeza por ferramentas manuais é recomendável onde não for possível, por razões técnicas ou econômicas, a aplicação de um método mais eficiente, como o jateamento abrasivo.

- a) **ST3** – Tratamento mecânico – para situações mais críticas. Neste, a remoção de óxidos e outros materiais é feita mecanicamente com equipamentos movidos a

energia elétrica ou ar comprimido, proporcionam melhor rendimento que os tratamentos manuais;

- b) **SA1 – Brush-off** - Chamada também de limpeza ligeira ou de escovamento, por ser uma operação rápida. Remove superfícies de aço onde a carepa foi eliminada e se observa uma corrosão atmosférica uniforme e generalizada, mas não apresenta sinais de deterioração visíveis. Geralmente utilizada para repintura;
- c) **SA2 – Jateamento comercial** – Limpeza onde a maior parte da carepa de laminação e ferrugem é removida através de um jateamento feito cuidadosamente. Após esta operação a superfície deverá apresentar uma cor acinzentada;
- d) **SA2^{1/2}** – Jateamento ao metal quase branco – Neste, o jateamento remove praticamente toda a carepa de laminação, ferrugem e outros materiais, de forma que possam aparecer ainda poucas manchas na superfície. Após a limpeza a superfície deverá apresentar cor cinza clara;
- e) **SA3 – Jateamento ao metal branco** – Neste, a carepa, ferrugem e outros são totalmente removidos ficando completamente livre de resíduos e por isso a superfície apresentará a aparência branca; e
- f) **Hidrojateamento** – é uma técnica para remoção de tinta ou limpeza de superfície através do impacto da água, dá o efeito de limpeza completa, não produz faísca, sendo desta forma viável a aplicação em áreas de riscos. Porém não produz rugosidade suficiente na superfície. Indicada para locais onde já foram jateadas.

Figura 5 - Jateamento



Fonte: helpmanutencoes.com.br.

3.2 Esquema de pintura

Após a limpeza do casco, que é uma etapa muito importante para a aderência da tinta, aplicam-se as demãos de tinta da maneira como mostra a figura a seguir.

Figura 6 – Esquema de pintura



Fonte: Castro – 2009.

Tinta de Fundo – Conhecida como primer, ela é a base para as outras tintas, ou seja, utilizada na primeira demão de tinta, com a finalidade de aderência. Por conter partículas anticorrosivas é considerado um componente importante do esquema de pintura. Sendo assim, as características que o torna tão importante são: aderência à superfície, forte resistência as substâncias químicas e corrosivas, composição resistente e flexibilidade.

Tinta Intermediária – Também chamada de tié coat, geralmente são utilizadas para aumentar a espessura física do esquema de pintura, colaborando com a resistência à eletricidade, à abrasão e ao impacto, que são propriedades fundamentais. Esta deve aderir ao primer e servir de base para tinta de acabamento.

Tinta de Acabamento – Suas finalidades são estéticas, aparentemente, porém tem funções como proteção das demais camadas do esquema e aumentar a impermeabilidade deste.

3.3 Métodos de aplicação

A seleção adequada do método e o cuidado com alguns requisitos básicos durante o período de aplicação têm influência tão grande no desempenho do esquema de pintura quanto às tintas utilizadas

Trincha: É o mais elementar dos métodos de pintura. Utiliza ferramenta simples, de baixo custo e não requer grande capacidade do aplicador. É o método mais indicado para aplicação da primeira demão de tinta em cordões de solda, reentrâncias, cantos vivos e demais acidentes onde os outros métodos poderiam deixar falhas. No entanto, trata-se de um método de baixa produtividade, tendo baixo rendimento de aplicação se comparado aos demais métodos. A perda durante a aplicação é mínima, normalmente não alcançando a 5%.(Grupomekal -2014)

Figura 7 - Trinchas



Fonte:www.tintoramagomes.com.br.

Rolo: Este método de aplicação é particularmente utilizado na pintura de grandes áreas planas ou com um grande raio de curvatura, na presença de ventos, onde a aplicação à pistola levaria a grandes perdas de tinta. É um método que viabiliza a obtenção de elevadas espessuras por demão, além de alcançar maior produtividade que a trincha. Porém, as perdas de tinta durante a aplicação são, em princípio, superiores as da trincha. Os rolos de pelo de carneiro são de melhor qualidade, sendo ideais para a aplicação da maioria das tintas utilizadas em pintura industrial.(Grupomekal – 2014)

Figura 8 – Rolo



Fonte: www.solostocks.com.br.

Pistola Convencional (Ar Comprimido): Na pistola convencional, ou pistola a ar, a tinta é depositada no recipiente é expulsa em direção ao bico da pistola pela ação da pressão do ar. É um método de aplicação de tinta muito utilizado em pintura industrial. Além de apresentar grande produtividade, tem como característica a obtenção de espessura de película quase que constante ao longo de toda superfície pintada, o que não é em termos práticos, possível com os métodos de trincha e rolo.

Figura 9 – Pistola convencional



Fonte: www.grupomekal.com.br.

A pistola convencional é um conjunto de equipamentos relativamente simples. Porém, é imprescindível o uso de mão de obra especializada na combinação de volume e pressão do ar com a vazão do fluido, para obtenção de uma película isenta de defeitos. Além destes controles, é muito importante a escolha do tipo de pistola e seus acessórios, tais como: capa de ar, agulha e tipo de bico, que incidem diretamente na perfeita pulverização.

Se a aplicação por meio da pulverização convencional não for devidamente controlada, teremos certamente grande quantidade de tinta desperdiçada por *over spray* (pulverização seca), além de problemas técnicos como escorrimento, fraco lastramento, porosidade, etc. Tinta de alta espessura, se aplicada através de pulverização convencional, irá requerer maior diluição, refletindo em maior número de demãos para atingir a espessura recomendada. Existem dois tipos de equipamentos tidos como pistola convencional (Grupomekal – 2014)

Sistema de alimentação por pressão.

Sistema de alimentação por sifão.

Figura 10 – Pistola convencional



Fonte: www.grupomekal.com.br.

Pistola sem ar (air less): ao contrario da pistola convencional, que utiliza o ar para atomização da tinta, a pintura sem ar utiliza uma bomba, acionada pneumaticamente, para pressurizar a tinta, e a energia com que a mesma chega ao bico da pistola provoca a pulverização. As principais vantagens da pulverização por airless spray são as aplicações de tintas de alta espessura sem diluição, para trabalhos de grande escala com chaparias ou peças planas, garantindo menor perda de material e redução do over spray, além de uma aplicação rápida e consequentes vantagens econômicas.

O leque de pulverização é produzido por uma fenda na ponta dos bicos. A escolha do bico dependerá da pressão de fluido necessária para produzir a correta vazão de saída do fluido. A escolha do tamanho do leque de aplicação está relacionada com o tamanho do orifício e escolha do bico, dependendo do tipo de acabamento desejado e facilidade de aplicação. (Grupomekal - 2014).

Figura 11 – Pistola sem ar (airless)



Fonte: www.grupomekal.com.br.

Pintura Eletrostática: princípio da pintura eletrostática consiste na aplicação de cargas elétricas na tinta e na superfície que se quer proteger, criando-se uma diferença de potencial da ordem 100.000 volts, o que provoca a atração da tinta pela superfície. A atração eletrostática dá origem a películas de tinta bastante uniformes, não só em termos de espessura como também de propriedades. Consiste num método de aplicação de elevada produtividade e com reduzida perda de tinta.

A tinta deverá ser adaptada para esse método, pois deverá ter uma adequada resistividade elétrica. Se a resistividade for alta, não adquire a carga eletrostática, e se for muito condutora, provoca centelhamento. Equipamentos de pintura eletrostática são muito caros e por isso sua implantação se justifica em série de peças de dimensões reduzidas, de formato irregular e peças torneadas. (Grupomekal-2014)

Pintura Eletroforética: A aplicação das tintas pelo processo eletroforético é muito semelhante a aplicação eletrostática, constituindo-se em um aperfeiçoamento deste último. Apresenta grande produtividade, maior inclusive do que a do processo eletrostático, levando a perdas de tintas praticamente desprezíveis. Estes dois fatores são os responsáveis pela elevada utilização deste processo na indústria automobilística. (Grupomekal - 2014).

4 PROTEÇÃO CATÓDICA

A corrosão dos cascos dos navios em contato com a água do mar é a destruição eletroquímica do aço provocada pela reação com a água. Essa destruição, responsável por grandes prejuízos, seja pela necessidade de substituição de chapas de aço, ou pelo aumento da rugosidade das superfícies do casco, com conseqüente aumento no consumo de combustível utilizado para deslocamento do navio, é ocasionada sempre por um fluxo de elétrons que proporciona a transformação do aço, fazendo com que o mesmo retorne à sua forma primitiva, ou seja, o minério de ferro (óxido de ferro hidratado).

Para eliminação da corrosão, nessas circunstâncias, utilizam-se revestimentos protetores nas superfícies metálicas, complementados por um sistema de proteção catódica que consiste em última análise, modificar o potencial do casco, em relação à água, para um valor de imunização abaixo do qual a corrosão cessa totalmente. (Gomes -1995)

Na tabela a seguir encontram-se os potenciais mínimos de proteção de três diferentes tipos de eletrodos. Potenciais de proteção para casco de aço medido em relação aos diferentes tipos de eletrodos de referência.

Tabela 2 - Potenciais mínimos de proteção de três diferentes tipos de eletrodos

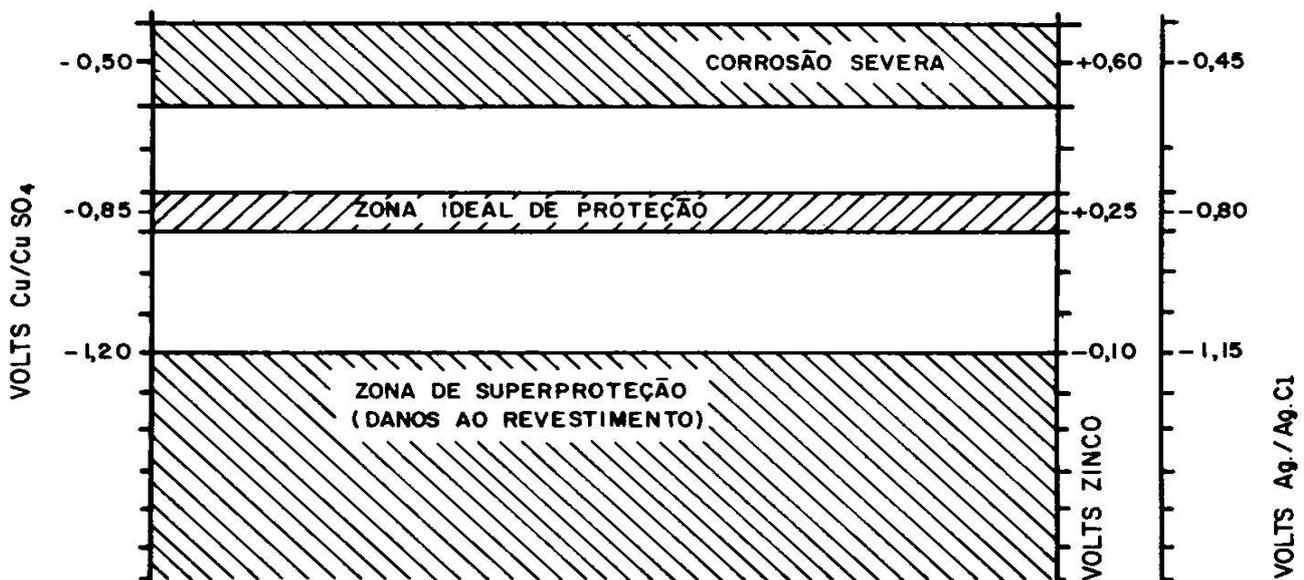
| Eletrodo Referência | de Eletrólito | Potencial de Proteção na Água do Mar com Resistividade Elétrica de 20 ohm.cm à 20°C |
|-----------------------------------|----------------------|--|
| Ag/AgCl | Água do Mar | - 0,80 V |
| Cu/CuSO ₄ (Solução) | Água do Mar | - 0,85 V |
| Zinco | Água do Mar | + 0,25 V |

Fonte: <http://www.ebah.com.br>.

A mudança do potencial do casco do navio, por intermédio de um sistema de proteção catódica, é conseguida através de injeção de corrente contínua em toda a superfície de aço abaixo da linha d'água. Essa corrente é normalmente fornecida ao

casco mediante a utilização de um dos dois métodos existentes: anodos galvânicos (placas de zinco ou alumínio, que possuem potencial mais negativo que o do aço, fixadas e distribuídas ao longo do casco), ou correntes impressos (retificador de corrente que, sendo uma força eletromotriz externa, distribui a corrente na superfície a ser protegida, com o auxílio de anodos inertes, normalmente de chumbo-antimônio-prata ou de titânio com revestimento de platina). (Gomes 1995)

Figura 12 – Zonas de corrosão e superproteção



Fonte: Gomes, 1995.

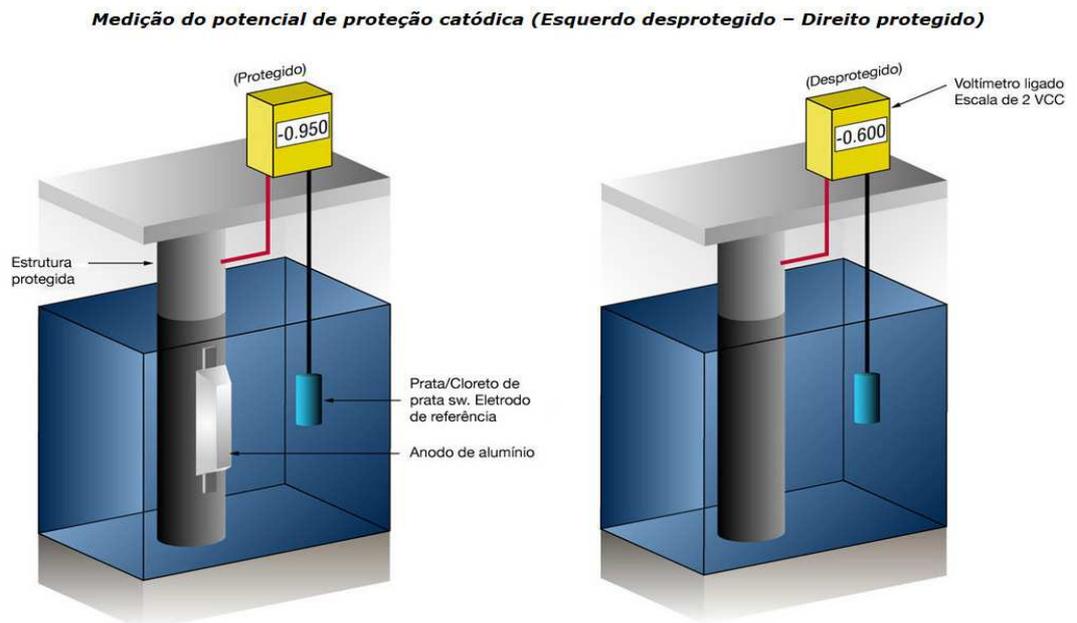
4.1 Proteção Catódica Galvânica

O sistema de proteção catódica galvânica é aquele que utiliza uma força eletromotriz, de natureza galvânica, para imprimir a corrente necessária à proteção da estrutura considerada. Esta força eletromotriz resulta da diferença entre o potencial natural do anodo e o potencial natural da estrutura que se deseja proteger. É uma grandeza que depende das características do anodo, do material que compõe a estrutura que se deseja proteger e do próprio eletrólito.

É uma diferença de potencial relativamente pequena, o que traduz uma limitação no seu emprego, aplicando-se somente a meios de resistividade elétrica,

da ordem, no máximo 6000ohm.cm. É largo o emprego deste sistema em instalações marítimas, já que a baixa resistividade da água do mar possibilita uma baixa resistência no circuito de proteção catódica, permitindo a injeção, no sistema, uma corrente de maior intensidade.

Figura 13 - Potencial de proteção catódica

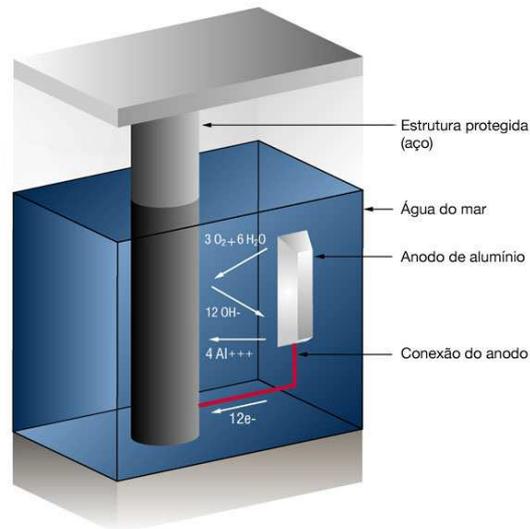


Fonte: www.cathodicprotection101.com.

Os materiais tradicionalmente utilizados como anodos galvânicos são:

- a) ligas de magnésio;
- c) ligas de alumínio; e
- d) Liga de zinco.

Figura 14 – Proteção catódica



Fonte: convesdopassadico.blogspot.com.br.

Ao se fazer a ligação do anodo com a estrutura, estando ambos em contato simultâneo com o eletrólito, forma-se uma pilha na qual a corrente que circula resulta da dissolução eletroquímica do anodo.

À luz deste fenômeno é fácil concluir-se que, em última análise, o anodo galvânico representa certa quantidade de energia acumulada, a qual será liberada paulatinamente, proporcionando uma corrente elétrica que exercerá uma ação protetora sobre a superfície da estrutura (catodo)

A circulação desta corrente no sistema dá origem a um processo de polarização, fazendo com que os potenciais de ambos os componentes, isto é, do anodo e do catodo se desloquem em sentidos convergentes. Assim, o anodo sofrerá uma polarização anódica, a qual, por princípio, deve ser muito pequena, e a estrutura (catodo) sofrerá uma acentuada polarização catódica, de modo a atingir o potencial de imunidade, ou de estabilidade termodinâmica do metal, ou liga, no meio considerado.

Os anodos de zinco e os anodos de alumínio são muito utilizados para a proteção catódica galvânica de navios. Nos últimos anos, entretanto, com o desenvolvimento de ligas de alumínio com boas propriedades para proteção catódica, esse tipo de material tem sido muito aceito, devido ao seu baixo peso e preço mais atraente por ampere produzido, quando comparado com o zinco.

As ligas de magnésio, devido ao seu elevado potencial em circuito aberto, não são usadas para a proteção dos cascos de navios que naveguem em água do mar.

Eventualmente, para embarcações que só naveguem em água doce, o magnésio pode ser considerado como uma alternativa de proteção catódica galvânica. (Gomes 1995).

Figura 15 – Proteção catódica galvânica



Fonte: www.mundoeducacao.com.

4.2 Proteção Catódica por Corrente Impressa

O sistema de proteção catódica por corrente impressa é aquela que utiliza uma força eletromotriz, proveniente de uma fonte externa de corrente contínua para imprimir a corrente necessária à proteção da estrutura considerada. Esta força eletromotriz pode provir de baterias convencionais, baterias solares, termo geradores, conjuntos motor- gerador ou retificadores de corrente. Os retificadores constituem a fonte mais frequentemente utilizada através dos quais se retifica uma corrente alternada para injetá-la no circuito de proteção.

Para dispersão dessa corrente elétrica no eletrólito são utilizados anodos especiais, inertes, com características e aplicações que dependem do eletrólito onde serão utilizados, devendo se bons condutores

Tabela 3 – Anodos inertes

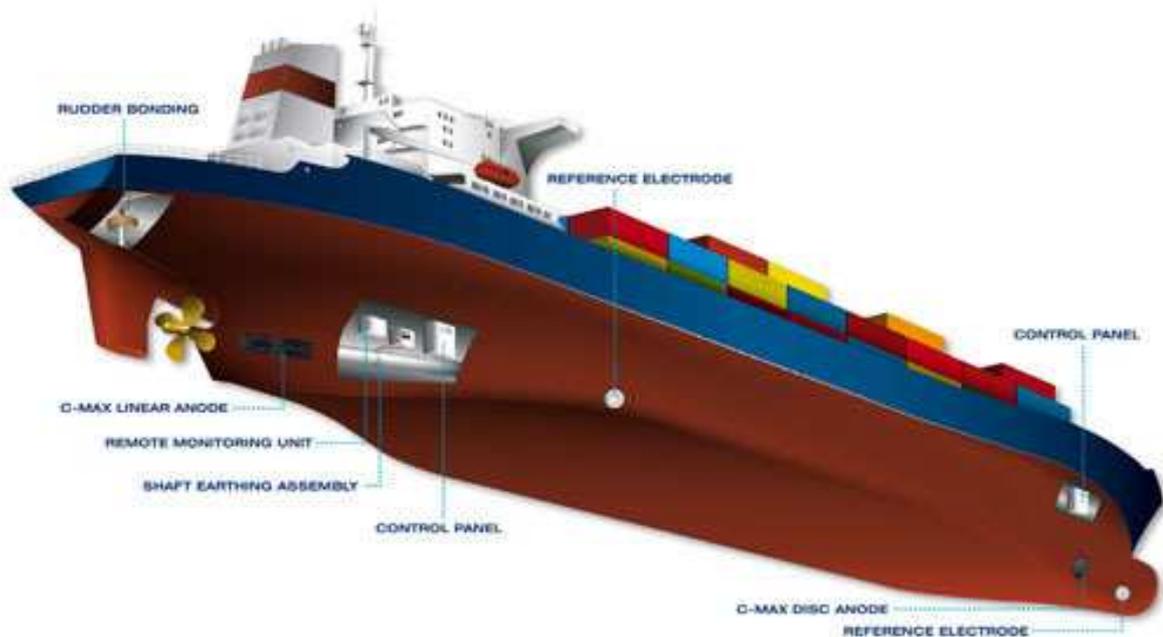
| Anodos | Aplicações |
|--|--|
| Grafite | Estruturas metálicas enterradas em solos ou imersas em água doce. |
| Ferro-Silício (14,5% Si) | Estruturas metálicas enterradas em solos ou imersas em água doce. |
| Ferro-Silício-Cromo (14,5% Si, 4,5% Cr) | Estruturas metálicas enterradas em solos com alto teor de cloretos e imersas em água do mar ou em água doce. |
| Chumbo-Antimônio-Prata (93% Pb, 6% Sb, 1% Ag) | Estruturas metálicas imersas em água do mar. |
| Titânio platinizado e Tântalo ou Nióbio platinizados | Estruturas metálicas imersas em água do mar. |

Fonte: sistemas.eel.usp.br.

Como a diferença de potencial de saída da fonte pode ser estipulado em valores baixos ou elevados, a proteção catódica por corrente impressa aplica-se a estruturas situadas em eletrólitos de baixa, média e alta resistividade. Também é aplicada onde se exige maiores correntes, portanto, em estruturas de médio para grande porte, o que não impede o seu uso em estruturas pequenas.

Na figura 16, temos um sistema de corrente impressa aplicado a navios, indicando seus componentes e suas localizações.

Figura 16 – Proteção catódica por corrente impressa



Fonte: www.cathelco.com.

Tabela 4 – Comparação entre sistemas galvânico e corrente impressa

| | Sistema galvânico | Corrente impressa |
|---|--|--|
| 1. Fonte de corrente | Própria. | Externa. |
| 2. Instalação. | Mais simples. | Menos simples. |
| 3. Penetrações no casco. | Não necessário. | Necessário. |
| 4. Soldas no casco. | Necessário. | Necessário. |
| 5. Isolamento elétrico entre o anodo e o casco. | Não deve existir. | Necessário. |
| 6. Cabos elétricos. | Não necessário. | Necessário. |
| 7. Blidagem elétrica dos anodos | Somente necessário para o caso de anodos de magnésio. | Necessário. |
| 8. Peso dos anodos. | Grande. | Pequeno. |
| 9. Número de anodos. | Grande. | Pequeno. |
| 10. Uso em água doce. | Limitado | Sem problemas, com anodos de titânio platinizado. |
| 11. Manutenção do sistema.. | Requer substituição periódica dos anodos. | Vida bastante longa do sistema. |
| 12. Operação do sistema. | Normalmente sem problemas durante a vida útil dos anodos. | Requer que o retificador permaneça sempre ligado. |
| 13. Custo inicial do sistema. | Relativamente baixo, principalmente para pequenos navios. | Econômico para médios e grandes navios. |
| 14. Custo ao longo dos anos | O custo aumenta devido à necessidade periódica de substituição dos anodos. | Econômico, comparado com duas ou três substituições dos anodos galvânicos. |

Fonte: Gomes, 1995.

4.3 Influências do revestimento sobre a proteção catódica

As condições de proteção catódica do casco do navio são extremamente influenciadas pela qualidade e tipo de revestimento protetor aplicado, sabendo-se que, quanto melhor as suas características protetoras, mais fáceis se torna a distribuição de corrente na superfície a ser protegida e mais econômico fica o sistema de proteção catódica. Com o auxílio de um sistema de proteção catódica, consegue-se proteção integral do aço, mesmo sem a aplicação de qualquer revestimento, mas a condição de maior economia é obtida mediante a aplicação de um bom esquema de revestimento complementado com proteção catódica.

Entende-se como um bom esquema de revestimento, para o caso dos cascos de navios, a aplicação de tintas de boa qualidade, de forma correta, sendo que o preparo da superfície influi grandemente nos resultados obtidos. Assim sendo, a aplicação de um bom revestimento no casco permite diminuir a densidade de corrente necessária para a proteção.

Com relação às incrustações de organismos marinhos na superfície do casco, extremamente prejudiciais às condições de operação do navio, devido ao aumento do atrito casco/água, as experiências mostram que o cloro gerado nas superfícies dos anodos é suficiente para evitar seu aparecimento apenas nas imediações dos mesmos. Por esta razão, o revestimento anti-fouling, normalmente utilizado, não pode ser dispensado para os cascos, mesmo com proteção catódica. (Gomes 1995)

4.4 Influências da proteção catódica sobre o revestimento

As experiências demonstram que, para as superfícies do casco, potenciais de superproteção causam efeitos indesejáveis no revestimento e, por isso mesmo, devem ser evitados. A liberação de hidrogênio na superfície do metal, ao atingir determinados valores, que podem ser controlados pelos potenciais casco/água, provocam empolamento e eventual remoção da película de tinta.

Assim sendo, tanto os sistemas galvânicos quanto os por corrente impressa devem ser dimensionados e/ou controlados de tal maneira que potenciais de superproteção não sejam atingidos. Os valores desses potenciais dependem do tipo de revestimento utilizado, recomendando-se, para os cascos dos navios, os potenciais da tabela 5 não sejam alcançados. (Gomes 1995)

Tabela 5 – Potenciais Casco/Água

| Revestimento | Volts (Ag/AgCl) |
|-----------------------|------------------------|
| A óleo | -0,8 a -1,0 |
| Alumínio (betuminoso) | -1,1 |
| Borracha clorada | -1,1 |
| Vinil | -1,1 a -1,2 |
| Coal-tar/epóxi | -1,6 |
| Epoxi | -2,0 |

Fonte: Gomes, 1995.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Economicamente, a corrosão representa grave problema, cujas perdas anuais atingem valores da ordem de dezenas, por vezes centenas de bilhões de dólares nos países desenvolvidos; sendo que estudos demonstram que um terço deste valor poderia ser economizado se fossem utilizados materiais resistentes à corrosão e aplicadas medidas de proteção desde a fase de projeto até a manutenção.

Certamente os melhores métodos de proteção empregados contra corrosão dos cascos de navios é a associação da proteção catódica galvânica ou por corrente impressa, com o revestimento protetor de superfície, a pintura. Na tabela 4 registramos comparação entre os sistemas galvânicos e por corrente impressa, avaliando as vantagens e desvantagens de cada método de proteção catódica.

Pelo que foi exposto, conclui-se que a proteção catódica, aplicada em complementação aos revestimentos protetores, constitui-se no único meio eficiente para assegurar a proteção contra a corrosão dos cascos, tanques de lastro e equipamentos navais. Para o caso específico das superfícies externas dos cascos de navio, a proteção catódica, bem projetada e bem controlada, além de garantir a ausência da corrosão, contribui para a manutenção das superfícies sempre lisa, sem rugosidades nas chapas e no revestimento, permitindo o melhor desempenho do navio, aumentando sua vida útil, além da economia de combustível.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APRESENTAÇÃO pintura. Disponível em: <<http://www.grupomekal.com.br/>> Acesso em: 13 set. 2014.

CÂNDIDO Francisco Almir de Assis. **Aplicações Práticas da Proteção Catódica**. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/>> Acesso em 11 set. 2014.

CASTRO Luciano Viceconte de. **Qualidade da Pintura na Construção Naval**. UFRJ – 2009 – Rio de Janeiro.

CORROSÃO. Disponível em: <<http://www.iope.com.br/>>. Acesso em: 25 out. 2014.

DUTRA Aldo Cordeiro. NUNES Laerce de Paula. **Proteção Catódica**. Interciência – 3ª Edição – 1999 – Rio de Janeiro.

GENTIL Vicente. **Corrosão**. LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. 1996 – Rio de Janeiro.

GOMES Luiz Paulo. **Sistemas de Proteção Catódica**. IEC – 1995 – Rio de Janeiro.

GYSELE Martins de Oliveira. **Análise dos Serviços de Docagem**. . Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/>> Acesso em 03 nov. 2014.

MAGNAN Murillo de Carvalho. **Pintura na Proteção Anticorrosiva**. UEZO – 2011 - Rio de Janeiro.

MARINE Coatings. Disponível em: <<http://www.tintasumare.com.br/>> Acesso em: 13 set. 2014.

PRIMERS Anticorrosivo. Disponível em: <<http://www.hempel.com.br/>> Acesso em: 13 set. 2014.