

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

HECTOR OMAR SALAZAR ALVEAR

SISTEMA APLICAVEL DE TRATAMENTO DA ÁGUA DE RESFRIAMENTO DE
MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA E DE ALIMENTAÇÃO DE VASOS DE
PRESSÃO OU CALDEIRAS MARÍTIMAS

RIO DE JANEIRO

2014

HECTOR OMAR SALAZAR ALVEAR

**SISTEMA APLICAVEL DE TRATAMENTO DA ÁGUA DE RESFRIAMENTO DE
MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA E DE ALIMENTAÇÃO DE VASOS DE
PRESSÃO OU CALDEIRAS MARÍTIMAS**

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: 1OM Cláudio de Jesus.

RIO DE JANEIRO

2014

HECTOR OMAR SALAZAR ALVEAR

**SISTEMA APLICAVEL DE TRATAMENTO DA ÁGUA DE RESFRIAMENTO DE
MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA E DE ALIMENTAÇÃO DE VASOS DE
PRESSÃO OU CALDEIRAS MARÍTIMAS**

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: 1OM Cláudio de Jesus.

Assinatura do Orientador

NOTA FINAL: _____

Dedico esta monografia à minha Mãe Margarita del Carmen e meu Pai Hector Andrés, meus filhos, Jenniher e Yan, meus irmãos Freddy e Alex, mestres, orientadores, amigos e colegas.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus e a todos os que Ele colocou no meu caminho para apoiar-me, meus familiares Meus pais, meus filhos Jennipher e Yan, meus irmãos Freddy e Alex, ao meu orientador Professor Jesus, a 1Ten. Raquel Apolaro, amigos, mestres, colegas e a Autoridade Marítima Brasileira/Comando do CIAGA que propiciou a realização deste curso.

RESUMO

O seguinte conteúdo foi elaborado com o objetivo de passar para o leitor sobre as características e algumas técnicas de tratamento de águas de resfriamento, no Brasil, ainda não dispomos de literatura suficiente sobre o assunto e assim sendo, tampouco este tema é abordado nas universidades e cursos técnicos, sendo que muitas das informações são transmitidas pelas empresas especializadas na área. Desta forma vim a fazer uma coletânea na bibliografia disponível, associada à experiência prática e intensos estudos e pesquisas realizados sobre o tema, que a continuação apresento aqui neste modesto trabalho acadêmico. Na espera de que este conteúdo venha a servir de utilidade como guia para a solução de vários problemas, assim como aumentar o conhecimento científico dos que se interessam por esta área de estudos. A escolha do tema, além de colaborar para o enriquecimento do meu desempenho profissional, contribui com um assunto de grande importância no campo das ciências náuticas. A escolha pela realização de este tema foi porque questões desse estudo há algum tempo vem se apresentando em minha experiência de atuação na área das máquinas marítimas. Durante esse período estive em contato direto com a temática da aprendizagem em sala de aula e a bordo de navios ou unidades de “Off-Shore”; onde as razões do por que alguns aplicam e outros não, ou aplicam de forma errada por desconhecimento dos ensinamentos teóricos e práticos sobre as necessidades do tratamento químico e termodinâmico que os motores de Combustão Interna e as caldeiras são submetidos. Com ênfases na importância do tema fui buscar nos teóricos e estudiosos das Ciências Náuticas a base para desenvolver o tema proposto que, também, se justifica pelos seguintes aspectos: Principalmente, o tratamento químico da água de resfriamento dos motores de combustão interna e de alimentação dos vasos de pressão ou caldeiras destinam-se a possibilitar a operação destes equipamentos de forma segura e duradoura. O tratamento evita a formação de incrustações, minimiza os processos corrosivos e controla o desenvolvimento microbológico, no interior do equipamento.

Palavras-chave: Arrefecimento. Alimentação de Caldeiras. Resfriamento de água Combustão.

ABSTRACT

This study was designed with the purpose of informing the reader about the characteristics and some techniques of cooling water treatment. Unfortunately, in Brazil, although we do not have enough literature on the subject nor the subject is discussed in universities and technical courses, and much of the information is provided by the companies specialized in the area. Thus, it was a collection in the available literature, coupled with practical experience and intensive studies and research on the topic, presented here in this modest academic work. We hope that the content is useful and serve as a guide for solution of various problems, and to increase scientific knowledge of those who are interested in this field of study. The choice of subject, and contribute to the enrichment of my professional performance, contributes a matter of great importance in the field of nautical science. The questions of this study for some time been outlining in my experience working in the field of marine engineering. During this period interacted closely with the theme of learning in the classroom and aboard ships or units of off-shore, where the reasons why some and not others apply or misapply the theory and practice on the treatment needs chemical thermodynamics and the Internal Combustion engines and boilers are tested. Due to the importance of the issue went for theorists and scholars in Nautical Science to develop the basis that the proposed theme, too, is justified by the following aspects: Fundamentally, the chemical treatment of cooling water of Internal Combustion Engines and power from pressure vessels or boilers is for: it has to operate this equipment in a safe and durable; avoiding scale formation, minimize process corrosion and microbiological control development within the equipment.

Keywords: Cooling. Boiler Feed. Cooling Water Fuel.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	2 SISTEMAS DE RESFRIAMENTO	10
2.1	Sistema aberto de resfriamento	10
2.2	Sistemas semi-abertos (ou abertos de recirculação)	10
2.3	Sistemas fechados (“closed-systems”)	11
3	FINALIDADE DO TRATAMENTO DA ÁGUA	12
3.1	Fundamentos Teóricos	12
3.2	Processos que exigem operações de resfriamento	12
3.3	Índices de estabilidade da água e ou a tendência corrosiva e incrustante	13
3.4	Índice de saturação de Langelier	13
3.5	Índices de estabilidade de Ryznar	14
4	EQUIPAMENTOS E PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO	15
4.1	Incrustações: origens e conseqüências	15
4.2	O sistema de arrefecimento	18
4.3	A qualidade da água para geração de vapor	18
5	TRATAMENTOS PARA PREVENÇÃO DAS INCRUSTAÇÕES	20
5.1	Tratamento Precipitante – Fosfato	20
5.2	Tratamento Quelante	21
5.3	Tratamentos Disperso-Solubilizantes (TDS)	21
<i>5.3.1</i>	<i>Efeito Limiar (“Threshold”)</i>	<i>22</i>
<i>5.3.2</i>	<i>Ação dispersante</i>	<i>22</i>
<i>5.3.3</i>	<i>Modificação de Cristais</i>	<i>22</i>
6	CORROSÃO E SEUS MÉTODOS DE CONTROLE	25
6.1	Corrosões, definição e fundamentos	25
6.2	Tipos de corrosão em caldeiras	27
<i>6.2.1</i>	<i>“Pittings” (ou pites)</i>	<i>27</i>
<i>6.2.2</i>	<i>Corrosão Galvânica</i>	<i>27</i>
<i>6.2.3</i>	<i>Corrosão por Tensão</i>	<i>28</i>
<i>6.2.4</i>	<i>Ataque Cáustico (“Caustic Embrittlement”)</i>	<i>28</i>
<i>6.2.5</i>	<i>Fragilização por Hidrogênio</i>	<i>29</i>
6.3	Métodos de controle	29
<i>6.3.1</i>	<i>Remoção do oxigênio da água</i>	<i>29</i>

6.3.2	<i>Desaeração Mecânica</i>	29
6.3.3	<i>Desaeração Química – Seqüestramentos de Oxigênio (“Oxygen Scavengers”)</i>	30
6.4	Métodos físicos de prevenção da corrosão	31
6.5	Arrastes	32
6.6	Controles analíticos e operacionais do tratamento	32
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	33
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34

1 INTRODUÇÃO

A água doce tratada ou destilada é adequadamente utilizada em vários processos como agente de resfriamento. Além de encontrá-la em abundância em nosso planeta, a água apresenta um calor específico¹ relativamente elevado, tornando-a própria para as operações de resfriamento, de máquinas de combustão interna, torres de arrefecimento em instalações marítimas e industriais, bem como de alimentação de vasos de pressão ou caldeiras.

O tratamento da água de resfriamento pode ser feito com o emprego de diversas técnicas e métodos, sejam eles químicos, físicos ou uma combinação de ambos.

A metodologia do processo deve-se basear na sua eficiência e, evidentemente, no seu custo fixo e operacional. Deve-se, também, levar em consideração os efeitos ambientais e respectiva legislação de controle.

Muitas vezes, a solução completa ou eliminação destes problemas torna-se tecnicamente difícil ou inviável do ponto de vista financeiro. Assim, o tratamento pode ter por objetivo minimizar as conseqüências do problema, possibilitando a convivência com o mesmo e otimizando a relação custo/ benefício do processo. Os sistemas de resfriamento a água são classificados em três tipos: aberto de resfriamento, semi-aberto e fechado.

Este estudo tem por objetivo, orientar, estudar o sistema de tratamento da água de resfriamento dos motores de combustão interna e de alimentação de vasos de pressão ou caldeiras.

¹ Calor Específico (c) é uma propriedade termodinâmica que indica a quantidade de calor necessária para se elevar, em um incremento, a temperatura de uma massa unitária de um corpo. Normalmente é dada em Kcal/g.°C .

2 SISTEMAS DE RESFRIAMENTO

2.1 Sistema aberto de resfriamento

Denominado de sistema de uma só passagem (“once-through”), é utilizado quando existe uma disponibilidade de água suficientemente alta com qualidade e temperatura satisfatórias para as necessidades do processo. A água é captada de sua fonte, circula pelo sistema de resfriamento e é descartada ao final, com uma temperatura mais alta.

Neste tipo de sistema, não pode-se proceder a um tratamento químico conveniente da água, uma vez que volumes muito altos estão envolvidos. Além disso, este processo tem o inconveniente de gerar a chamada “poluição térmica”, que pode comprometer a qualidade do curso de água onde é despejada.

Emprega-se este sistema em locais próximos a fontes abundantes e/ ou pouco onerosas de água, bem como em instalações móveis, tais como plataformas de petróleo, navios, submarinos, etc.

2.2 Sistemas semi-abertos (ou abertos de recirculação)

Um sistema semi-aberto (“Open Recirculating System”) é utilizado quando existe uma demanda elevada e disponibilidade limitada de água, principalmente em locais onde a qualidade da mesma está comprometida.

Após passar pelos equipamentos de troca térmica que devem ser resfriados, a água então aquecida circula através de uma instalação de resfriamento (torre, lagoa, trocadores de calor, “spray”, etc.) para reduzir sua temperatura e tornar-se própria para o reuso.

Este sistema apresenta um custo inicial elevado, porém resolve o problema de eventual escassez de água, possibilita menor volume de captação e evita o transtorno da poluição térmica. Também pode ser submetido a um tratamento químico adequado, capaz de manter o sistema em condições operacionais satisfatórias e, com isto, pode-se reduzir os custos operacionais do processo.

Alguns exemplos deste sistema são as diversas disposições de torres de resfriamento, condensadores evaporativos e “spray-ponds” (reservatórios onde a água a ser resfriada é pulverizada e resfriada naturalmente pelo próprio ar que a circunda).

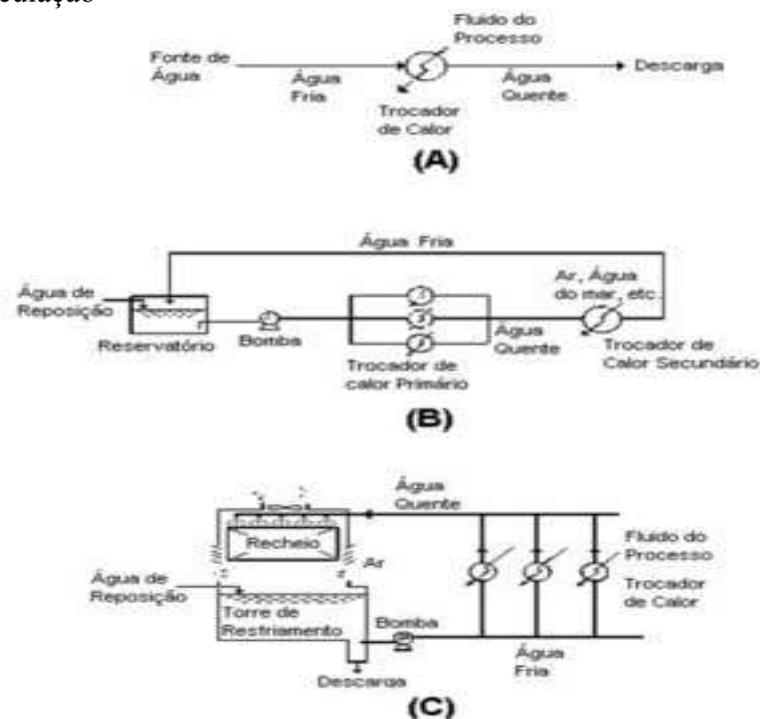
2.3 Sistemas fechados (“closed-systems”)

Este arranjo geralmente é aplicado em processos nos quais a água deve ser mantida em temperaturas menores ou maiores do que as conseguidas pelos sistemas semi-abertos; também é empregado em instalações pequenas e móveis. Neste sistema, a água (ou outro meio) é resfriada em um trocador de calor e não entra em contato com o fluido de resfriamento.

Alguns exemplos que utilizam este sistema são: circuitos fechados para resfriamento de compressores; turbinas a gás, instalações de água gelada, radiadores de motores a combustão interna (automóveis, caminhões, tratores, máquinas estacionárias) e algumas instalações de ar condicionado e refrigeração.

Abaixo são mostrados estes três tipos de sistemas de resfriamento:

Figura 1 - Sistemas de resfriamento: A) Aberto; B) Fechado; C) Semi-aberto ou aberto de recirculação



Fonte: RAMOS, Ramessés César da Silva. **Aplicabilidade do tratamento da água de resfriamento de motores de combustão interna e de alimentação de vasos de pressão ou caldeiras marítimas.**

Muitas vezes, os termos “Resfriamento” e “Refrigeração” são empregados como sinônimos. Para evitar confusão, empregaremos a palavra “Resfriamento” para indicar uma redução de temperatura, em qualquer intervalo que seja, e a palavra “Refrigeração” para indicar, especificamente, a redução de temperatura a valores abaixo de 0° C (273 K).

3 FINALIDADE DO TRATAMENTO DA ÁGUA

3.1 Fundamentos Teóricos

O tratamento da água de resfriamento de motores de combustão interna e de alimentação de caldeiras pode ser feito com o emprego de diversas técnicas e métodos, sejam eles químicos, físicos ou uma combinação de ambos. A escolha do melhor método deve se basear na sua eficiência e, evidentemente, no seu custo fixo e operacional. Deve-se, também, levar em consideração os efeitos ambientais e respectiva legislação de controle.

Fundamentalmente, os objetivos do tratamento da água de resfriamento são:

- a) evitar a formação de incrustações;
- b) minimizar os processos corrosivos; e
- c) controlar o desenvolvimento microbiológico.

Neste Capítulo trataremos, sobretudo, dos equipamentos e funcionamento dos sistemas abertos de recirculação, que são os mais utilizados e os que exigem maiores cuidados no tratamento de água. Faremos, no entanto, uma breve menção sobre tratamento dos sistemas de uma só passagem e sistemas fechados ao longo do capítulo.

3.2 Processos que exigem operações de resfriamento

Uma infinidade de processos industriais necessita de remoção de calor utilizando a água como meio de resfriamento, dentre os quais podemos citar:

- a) operações siderúrgicas, metalúrgicas, fundições, usinagens, resfriamento de fornos, Moldes, formas, etc;
- b) resfriamento de reatores químicos, bioquímicos e nucleares.
- c) condensação de vapores em operações de destilação e evaporadores, colunas barométricas, descargas de turbinas de instalações termoelétricas e nucleares, etc;
- d) resfriamento de compressores e gases frigoríficos em circuitos de refrigeração (condensadores evaporativos), incluindo operações de ar condicionado e de frio alimentar;
- e) arrefecimento de mancais, peças, partes móveis, lubrificantes, rotores e inúmeras máquinas e equipamentos; e
- f) resfriamento dos mais variados fluidos (líquidos e gases) em trocadores de calor, entre muitas outras aplicações.

3.3 Índices de estabilidade da água e ou a tendência corrosiva e incrustante

A água, como sabemos, tem uma tendência a dissolver outras substâncias. Quanto mais pura é a água, maior é a tendência solubilizante da mesma; por outro lado, quando a água apresenta concentrações elevadas de sais, maior é a tendência destes se precipitarem. Por outro lado, a solubilidade das substâncias normalmente presentes na água (sais, em sua maioria) é também dependente da temperatura, do pH, das espécies químicas envolvidas, entre outros fatores.

3.4 Índice de saturação de Langelier

Uma tentativa de se quantificar a tendência solubilizante (ou corrosiva) e incrustante da água foi feita inicialmente por Langelier (1936) que, utilizando-se de um sistema água /carbonato de cálcio (CaCO_3), propôs uma equação (válida para pH entre 6,5 e 9,5):

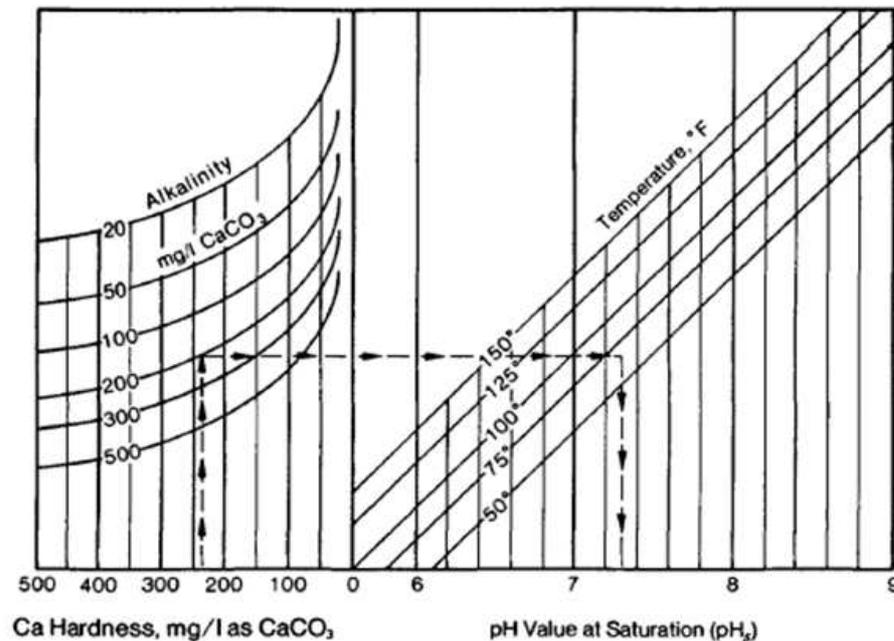
Nesta equação, pH_s indica o pH de saturação, ou seja, o pH no qual uma água com uma dada concentração de cálcio e alcalinidade está em equilíbrio com o carbonato de cálcio. K_2 e K_S representam, respectivamente, a segunda constante de dissociação e o produto de solubilidade do CaCO_3 (estes valores são função da temperatura e podem ser obtidos de constantes termodinâmicas conhecidas). Finalmente, pCa e $pAlk$ são os logaritmos negativos da concentração de cálcio (em mol/l) e da alcalinidade total (titulados como eq-g/l).

O Índice de Saturação de Langelier pode então ser definido como: $\text{Índice de Saturação} = pH - pH_s$, onde valores positivos deste índice indicam a tendência de deposição e valores negativos indicam a tendência de dissolução de CaCO_3 .

O Índice de Saturação é apenas qualitativo e, como o próprio Langelier enfatizou, é apenas um meio de indicação da tendência e da força motriz do processo (corrosivo ou incrustante) e não é, de modo algum, um método de mensurar esta tendência.

Os valores de pH_s podem ser obtidos graficamente através de cartas, tal como a exemplificada no diagrama a seguir:

Figura 2 - Diagrama dos passos para obtenção do valor de pHS



Fonte: RAMOS, Ramessés César da Silva. **Aplicabilidade do tratamento da água de resfriamento de motores de combustão interna e de alimentação de vasos de pressão ou caldeiras marítimas.**

No diagrama são mostrados os passos para obtenção do valor de pHS. No exemplo: dureza Cálcio = 240 mg/L; Alcalinidade total = 200 ppm; Temperatura = 70°F; PH de saturação (pHS) = 7,3.

3.5 Índices de estabilidade de Ryznar

Na tentativa de se expandir a utilidade do Índice de Saturação de Langelier, bem como obter um método quantitativo confiável para medir a característica incrustante/ corrosiva da água, J. W. Ryznar propôs a utilização do Índice de Estabilidade = $2 \square \text{pHS} - \text{pH}$;

Utilizando-se este índice, a água sem tratamento é avaliada como incrustante em valores abaixo de 6,0 e começa a apresentar características corrosivas com valores de Índice de Ryznar acima de 7,0.

4 EQUIPAMENTOS E PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO

4.1 Incrustações: origens e conseqüências

A água encontrada na natureza nunca é pura, apresentando uma vasta gama de substâncias dissolvidas. Muitas destas substâncias são sais, óxidos e hidróxidos e apresentam solubilidades diferentes, sendo influenciadas basicamente pela temperatura, concentração e pH.

Com a evaporação da água em um sistema de resfriamento, há um aumento na concentração das substâncias dissolvidas que, muitas vezes, podem se precipitar de forma aderente nas superfícies dos equipamentos (principalmente nas regiões de troca térmica), constituindo as incrustações.

Com a vaporização de água na caldeira, há um aumento na concentração das substâncias dissolvidas que permaneceram na fase líquida. Se forem ultrapassados os limites de solubilidade destas substâncias, as mesmas podem se precipitar de forma aderente nas superfícies de troca térmica (tubos do feixe de convecção, tubos de parede d'água, tubo da fornalha, tubulões, etc.) constituindo as incrustações. Outras substâncias também podem se incrustar ou depositar na caldeira, tais como produtos de corrosão na seção pré e pós-caldeira, sólidos em suspensão, material orgânico advindo de contaminações e produtos insolúveis originados de reações químicas na água (incluindo excesso de produtos para condicionamento químico).

Outras substâncias também podem se incrustar indesejavelmente nesses sistemas, tais como: material orgânico (sal, óleos, graxas, resíduos), lodo e acúmulo de material microbiológico, produtos de corrosão, sólidos em suspensão (argila, etc.), bem como produtos insolúveis originados de reações químicas na água (incluindo excesso de produtos para condicionamento químico).

As conseqüências da presença de incrustações em circuitos de resfriamento são:

- a) diminuição das taxas de troca de calor nos trocadores devido à baixa condutividade térmica das incrustações;
- b) obstrução e até destruição do sistema de água;
- c) obstrução (parcial ou total) de tubulações e acessórios, restringindo a área de fluxo e, conseqüentemente, limitando a vazão;

- d) entupimento de bicos e tubos distribuidores de água nos sistemas de resfriamento, promovendo a ocorrência de canais preferenciais de escoamento e diminuindo a eficiência do equipamento;
- e) aumento dos processos corrosivos que ocorrem sob os depósitos (áreas sujeitas a diferenciais de aeração);
- f) diminuição das taxas de troca térmica na caldeira, devido ao efeito isolante que a incrustação proporciona ao fluxo de calor (tem baixa condutividade térmica);
- g) aumento do consumo de combustível, decorrente do item anterior;
- h) diminuição da produção de vapor;
- i) devido à restrição ao fluxo de calor, a presença de incrustações pode causar superaquecimento de um tubo e sua ruptura, parando o funcionamento do equipamento e podendo até causar acidentes fatais;
- j) obstrução de tubos, válvulas, descargas e coletores da caldeira, comprometendo o fluxo de água e acentuando ainda mais a formação das incrustações;
- k) possibilidade de ruptura de tubos, carcaça e danificação na estrutura da caldeira, comprometendo sua integridade e podendo até inutilizar o equipamento;
- l) incrustações em instrumentos e dispositivos de controle (pressostatos, visores e controles de nível, etc.) podem comprometer o funcionamento adequado e seguro do equipamento, aumentando o risco de acidentes; e
- m) aumento dos processos corrosivos que ocorrem sob os depósitos/incrustações.

As substâncias formadoras de incrustações (sais em sua maioria), ao terem seus limites de solubilidade ultrapassados, iniciam uma precipitação sob a forma de pequenos cristais. Estes, por sua vez, apresentam uma estrutura molecular bem ordenada e podem se aderir fortemente às superfícies metálicas dos equipamentos. Uma vez formado o cristal, ocorre um rápido desenvolvimento do mesmo, através da agregação de novas moléculas, resultando em incrustações com tamanhos cada vez maiores. Para a remoção de incrustações já consolidadas depende-se um grande esforço, muitas vezes através de limpezas químicas (normalmente com soluções de ácidos apropriados, devidamente inibidos) ou limpezas mecânicas de grande intensidade, tais como hidrojateamento a altas pressões, martelletes, chicotes rotatórios, impactos diretos com ferramentas (varetas, marreta e talhadeira, ponteiros), etc.

Os principais responsáveis pela formação de incrustações inorgânicas em sistemas de resfriamento são:

- a) sais de cálcio e magnésio (dureza), principalmente o carbonato de cálcio e o sulfato de cálcio. Dependendo do controle do tratamento, o fosfato de cálcio pode também se formar e a ocorrência de hidróxido de magnésio também é comum;
- b) sílica solúvel e silicatos de vários cátions. A sílica solúvel é oriunda da dissolução de parte da própria areia e rochas com as quais a água mantém contato;
- c) óxidos de ferro de outros metais, tais como o Fe_2O_3 , originado principalmente de processos corrosivos; e
- d) materiais orgânicos contaminantes, tais como fluidos envolvidos no processo (sucos, licor, caldo, xaropes, etc.). Muitas vezes a contaminação se dá pelos condensados.

Tanto o carbonato como o sulfato de cálcio apresentam solubilidades que decrescem com o aumento da temperatura (o sulfato de cálcio, particularmente, tem sua solubilidade aumentada com a temperatura até cerca de 40°C ; a partir daí, sua solubilidade diminui consideravelmente). Assim, os mesmos tendem a se incrustar nas superfícies aquecidas de trocadores de calor ou em pontos onde a água encontra-se com temperatura mais elevada.

Além disso, cristais formados no seio da solução podem se depositar sobre os equipamentos, principalmente em locais de baixa circulação de água. Estes cristais iniciam, então, o desenvolvimento de uma incrustação aderida no local.

Costuma-se fazer uma distinção entre os termos “depósito” e “incrustação” normalmente empregados.

Depósitos: São acúmulos de materiais sobre determinada superfície que podem ser removidos manualmente com facilidade. Normalmente aparecem em locais com baixa velocidade de circulação de água ou nas extremidades, embora menos aderidos que as incrustações, os depósitos algumas vezes podem prejudicar a troca térmica e o escoamento da água. Geralmente, os depósitos são provenientes de materiais suspensos na água, sais condicionados não expurgados pelas descargas ou carbonizações de material orgânico contaminante.

Incrustações: Caracterizam-se por um acúmulo de material fortemente aderido sobre a superfície da caldeira, necessitando de esforços consideráveis para sua remoção (limpezas mecânicas ou químicas). Muitas incrustações são formadas por precipitação de sais e/ou óxidos na forma cristalina, gerando incrustações altamente coesas e aderidas.

4.2 O sistema de arrefecimento

O sistema de arrefecimento, periodicamente, deve ser lavado com produtos químicos recomendados pelo fabricante do motor. Geralmente é recomendado um “flushing” com solução a base de ácido oxálico ou produto similar, em determinado período de horas de operação.

O motor de combustão interna vem sendo desenvolvido “pari passu” com a tecnologia de extração e refino do petróleo. A importância do par motor-petróleo no desenvolvimento econômico mundial no século XX e a escalada dos problemas ambientais inerentes ao seu uso traz preocupações quanto ao horizonte de sua permanência. As questões básicas são: a) quais são as perspectivas para o suprimento do petróleo? b) até que ponto se pode aumentar a eficiência do motor? c) como se conciliar as vantagens do motor de combustão interna com as desvantagens da elevada emissão de poluentes atmosféricos e do dióxido de carbono?

4.3 A qualidade da água para geração de vapor

A operação segura e eficiente de uma caldeira é extremamente dependente da qualidade da água disponível para alimentação da mesma. De nada adianta a instalação de um equipamento ultramoderno, com todos os acessórios/periféricos disponíveis e totalmente automatizados se não é levada em consideração a qualidade da água e o tratamento químico aplicado.

Como sabemos, a água tem uma tendência a dissolver uma série de substâncias, tais como sais, óxidos/hidróxidos, diversos materiais e inclusive gases, motivo pelo qual nunca é encontrada pura na natureza. Além das espécies dissolvidas, pode apresentar material em suspensão, tais como argila, material orgânico, óleos, etc. A presença de todas estas impurezas muitas vezes causa problemas no uso da água para geração de vapor, podendo formar incrustações e/ou acelerar os processos corrosivos; assim, consideremos como ideal para geração de vapor uma água com as seguintes características:

- a) menor quantidade possível de sais e óxidos dissolvidos;
- b) ausência de oxigênio e outros gases dissolvidos;
- c) isenta de materiais em suspensão;
- d) ausência de materiais orgânicos;
- e) temperatura elevada; e
- f) pH adequado (faixa alcalina).

A alimentação de água com boa qualidade elimina, antecipadamente, grande parte dos problemas que normalmente ocorrem em geradores de vapor. Posteriormente, fica a cargo do tratamento químico interno a manutenção da qualidade da água no interior da caldeira.

5 TRATAMENTOS PARA PREVENÇÃO DAS INCRUSTAÇÕES

Como as incrustações constituem um problema que aparece com relativa rapidez, também foi o primeiro a ter sua solução pesquisada. Os primeiros tratamentos visando prevenção das incrustações surgiram na mesma época em que as caldeiras passaram a ter mais eficiência e maior produção de vapor por área de aquecimento, principalmente após o início da Revolução Industrial. Os métodos usados na época eram bastante empíricos e funcionavam na base da tentativa e erro. Com o avanço da ciência, muitas técnicas foram desenvolvidas e aperfeiçoadas, mostrando-se mais ou menos efetivas na solução do problema.

Na seqüência, apresentaremos os principais métodos empregados atualmente para prevenir as incrustações.

5.1 Tratamento Precipitante – Fosfato

É um dos primeiros conceitos em tratamento bem sucedidos e o mais utilizado em um grande numero de sistema de arrefecimento de motores e de caldeiras ou vasos de pressão, principalmente nos modelos pequenos e de baixa pressão.

Consiste em adicionar um composto a base de fosfato à água (fosfato mono, di ou trissódico, polifosfatos, etc.) o qual reage com a dureza e a sílica dissolvidas; estas reações ocorrem estequiometricamente e, na presença de adequadas concentrações de alcalinidade hidróxida (OH⁻), formam lamas precipitadas de hidroxiapatita de cálcio e um hidroxissilicato de magnésio (chamado de “serpentina”). As lamas sedimentam-se no fundo da caldeira e são removidas pelas descargas de fundo.

O tratamento com fosfatos tem alguns inconvenientes, a saber:

- a) formação de lamas: podem se aderir sobre as superfícies metálicas da caldeira, constituindo incrustações. Isto ocorre principalmente em locais com elevada taxa de vaporização, tais como nos trechos e tubos submetidos à radiação (fornalha);
- b) necessita de valores elevados de alcalinidade hidróxida, o que aumenta a probabilidade de ataque cáustico (“Caustic Embrittlement” detalhado posteriormente);
- c) não tolera abaixamentos de pH na água da caldeira, sendo que quando isso ocorre há formação de fosfato de cálcio e fosfato de magnésio, incrustações duras e aderentes;
- d) excesso de fosfato pode comprometer o tratamento, também formando incrustações de fosfato de cálcio e/ou magnésio; e

e) a necessidade de razoáveis valores de alcalinidade hidróxida e residuais de fosfato a serem mantidos na água aumentam a condutividade elétrica da mesma, favorecendo a ocorrência de processos corrosivos.

Em função dessas desvantagens, outros métodos de tratamento surgiram visando obter melhores resultados práticos e redução nos custos de tratamento, apesar disso, o tratamento com fosfato ainda é muito difundido.

Em caldeiras de alta pressão, são normalmente aplicados tratamentos a base de fosfatos, tais como o “Fosfato-pH Coordenado” e o método congruente. Estes tratamentos visam à eliminação de alcalinidade hidróxida livre (OH-) que são causadoras de ataque cáustico. Neste tipo de caldeira, a preocupação principal é com os processos corrosivos, já que o tratamento preliminar aplicado (desmineralização, osmose reversa, etc.) remove todos os sais que poderiam se incrustar; as incrustações, nesse caso, são normalmente de produtos de corrosão.

5.2 Tratamento Quelante

É um tratamento que tem por meta a complexação (quelação) dos íons de cálcio e magnésio da água, formando compostos estáveis e solúveis, prevenindo-os assim de se incrustarem na caldeira. Como vantagem, não há formação de lamas e nem as possíveis conseqüências que as mesmas podem gerar. Os agentes quelantes mais utilizados são o EDTA (Etileno Diamino Tetra Acetato) e o NTA (Nitrilo Acetato) que também podem se apresentar na forma ácida. O NTA é mais estável que o EDTA tem temperaturas elevadas e, portanto, mais fácil de ser controlado.

5.3 Tratamentos Disperso-Solubilizantes (TDS)

Não confundir com a sigla TDS do inglês (Total Dissolved Solids) que na língua portuguesa significa Sólidos Totais Dissolvidos.

Consiste no uso de técnicas e produtos mais modernos, desenvolvidos nas últimas décadas na tentativa de solucionar os problemas encontrados com outros tipos de tratamento. Pelo fato do princípio de atuação ser exatamente o mesmo, os produtos e princípios abaixo apresentados também podem ser usados em outras aplicações, tais como sistemas de resfriamento, evaporadores, processos de destilação, etc.

A ação dos disperso-solubilizantes no tratamento de água de caldeira está baseada nos seguintes mecanismos:

5.3.1 Efeito Limiar (“Threshold”)

Também chamado de “seqüestração”, é caracterizado pela redução na tendência de precipitação de compostos de cálcio, magnésio, ferro, entre outros, causando um atraso na precipitação desses sais mesmo quando o dispersante é dosado em quantidades sub-estequiométricas. Isto é possível porque o produto reage somente com a espécie química que está na iminência de se precipitar, sendo assim consumido somente por uma pequena fração da espécie. As principais classes de produtos que exibem estas propriedades são os polifosfatos, fosfonatos, compostos organofosfóricos e polímeros/ copolímeros (acrílicos, maleicos, estireno-sulfonados, carboxílicos etc.).

5.3.2 Ação dispersante

Apresentada comumente por compostos organofosfóricos e polieletrólitos, que por sua vez tendem a se adsorver sobre a superfície de partículas em suspensão, tais como núcleos de precipitação de sais. O produto adsorvido sobre a partícula confere-lhe cargas elétricas, fazendo com que as mesmas exerçam forças de repulsão entre elas e, assim, permaneçam dispersas. Em outras palavras, a ação dispersiva atua de modo oposto à coagulação. As partículas dispersas podem então ser removidas pelos sistemas de descarga da caldeira.

5.3.3 Modificação de Cristais

Sem tratamento, as incrustações inorgânicas são formadas por retículos cristalinos que se desenvolvem de maneira bem regular, o que favorece seu crescimento após a formação e aderência sobre as superfícies metálicas. A modificação de cristais age através da distorção dos mesmos, impedindo seu crescimento ordenado e alterando sua forma. Com isso, os cristais tendem a não se aderir sobre as superfícies e permanecem dispersos no líquido, favorecendo sua eliminação pelas descargas. Alguns produtos orgânicos naturais, tais como ligninas e taninos, foram e ainda são usados com esta finalidade, auxiliando inclusive os tratamentos a base de fosfatos; ultimamente, o uso de polímeros e copolímeros sintéticos específicos (poliacrilatos, maleicos, fosfino-carboxílicos, entre outros) tem se mostrado mais

vantajoso. Muitas vezes, um único produto pode apresentar duas ou mais das características mencionadas, sendo que a escolha deve levar em consideração os íons presentes na água, o pré-tratamento empregado, a classe de operação da caldeira e a potencia do motor diesel, a presença de incrustações antigas e evidentemente, o custo global do tratamento.

As vantagens dos tratamentos disperso-solubilizantes são:

- a) sem a formação de lamas que poderiam aderir às superfícies, o que ocorre com os fosfatos;
- b) facilidade em dispersar íons de ferro, impedindo a formação de incrustações originadas de produtos de corrosão; e
- c) os produtos relacionados a este tratamento são estáveis em temperaturas relativamente elevadas e são facilmente detectados e quantificados por procedimentos analíticos simples (alguns polímeros são dotados de um traçador, permitindo a avaliação de sua concentração na água da caldeira com testes rápidos e confiáveis).

Este tipo de tratamento, tolera quedas de pH, quando ocorre contaminação da água da caldeira por material indesejável (orgânicos principalmente). Uma sobredosagem de produtos é capaz de remover incrustações (com composição predominante de cálcio e magnésio) presentes no sistema, promovendo uma limpeza em operação.

Alguns terpolímeros de pesos moleculares e estruturas especialmente desenvolvidas são capazes de dispersar a sílica e silicatos, impedindo-os de se incrustarem; trata-se de uma tarefa relativamente difícil, pois estes compostos normalmente se precipitam de maneira amorfa (não cristalina). Maiores detalhes em ROHM AND HAAS (1997c).

De outra forma, certo critério deve ser adotado na aplicação do tratamento disperso-solubilizante, haja vista que o mesmo apresenta algumas desvantagens:

- a) a funcionalidade do tratamento de águas com níveis de dureza, sílica e sólidos suspensos relativamente baixos (alto retorno de condensado, água de reposição de boa qualidade – abrandada, etc.). Em águas com concentrações de sais mais elevadas, o uso isolado do TDS torna-se técnica e economicamente inviável, exigindo um apoio de compostos à base de fosfatos para auxiliar na remoção dos sais (tratamento combinado ou misto);
- b) dosagens excessivas de alguns compostos empregados neste tratamento podem causar corrosão generalizada no metal da caldeira; e
- c) alguns produtos (certos tipos de fosfonatos) também têm forte interação com o cobre e podem causar corrosão em equipamentos construídos com este metal ou suas ligas, normalmente encontradas na seção pré-caldeira. Caso haja necessidade do uso desses produtos, recomenda-se fazê-lo após esta seção.

O tratamento disperso-solubilizante depende, fundamentalmente, da eficiência e de um ótimo funcionamento dos sistemas de descarga das caldeiras. Existem legislações em alguns países que proíbem o descarte de efluentes contendo fósforo. Assim, os fosfonatos não podem ser usados e a escolha deve recair somente sobre os polímeros isentos desse elemento.

6 CORROSÃO E SEUS MÉTODOS DE CONTROLE

6.1 Corrosões, definição e fundamentos

Corrosão pode ser definida como a destruição da estrutura de um metal através de reações químicas e/ ou eletroquímicas com o ambiente em que o mesmo se encontra. Podemos dizer que a corrosão é uma forma natural dos metais voltarem ao estado original em que eram encontrados na natureza, tal como nos minérios (óxidos); isto ocorre porque, nesta forma, os metais apresentam-se da maneira mais estável possível do ponto de vista energético.

Seria como o exemplo de uma bola no alto de uma montanha: a bola tenderia a descer pela mesma, até atingir um estado de energia (potencial gravitacional, no caso) mais baixo possível.

As sérias conseqüências dos processos de corrosão têm se tornado um problema de âmbito mundial, principalmente em relação aos aspectos econômicos. Nos EUA, por exemplo, a corrosão gera prejuízos da ordem de US\$ 300 bilhões por ano, dados de 1995 (ROBERGE, 1999). Infelizmente, no Brasil, não dispomos de dados precisos sobre os prejuízos causados pela corrosão.

Basicamente, a corrosão envolve reações de óxido-redução, ou seja, troca de elétrons. É um processo eletroquímico no qual o ânodo (espécie de processo onde ocorre oxidação – perda de elétrons) que é consumido está separado por certa distância do cátodo, onde ocorre a redução (ganho de elétrons). O fenômeno ocorre devido à existência de uma diferença de potencial elétrico entre estes dois locais, formando assim, uma pilha de desgaste.

Apesar de diferir de um sistema para outro, o mecanismo básico proposto para o processo de corrosão é:

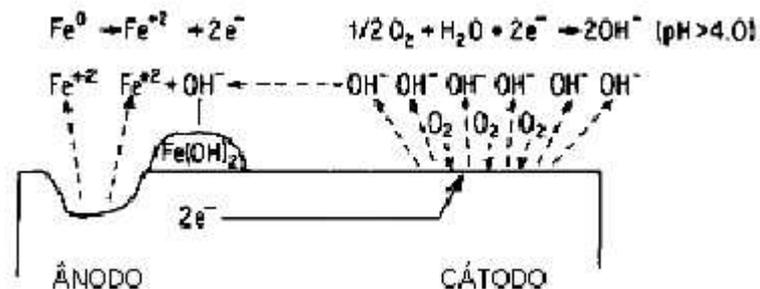
- a) na região anódica, átomos de ferro (Fe^0) passam para o estado de oxidação II, formando Fe^{2+} ;
- b) como resultado da formação do Fe^{2+} , dois elétrons migram através do metal para a área catódica;
- c) se houver oxigênio presente na água, o mesmo move-se para a área catódica e ingressa no circuito, usando os elétrons que migraram para o cátodo e formando íons hidroxila (OH^-) na superfície do metal. O oxigênio até pode, devido à sua eletroafinidade, induzir a migração dos elétrons do ferro no cátodo;

- d) os íons OH^- deslocam-se para a região anódica, onde reagem com os íons Fe^{2+} formando hidróxido ferroso, $\text{Fe}(\text{OH})_2$, que se deposita ao redor da área anódica. Esta etapa completa o ciclo básico do processo;
- e) o hidróxido ferroso formado é instável e, na presença de oxigênio e/ ou íons hidroxila, forma-se hidróxido férrico $\text{Fe}(\text{OH})_3$; e
- f) o hidróxido férrico, por sua vez, tende a se decompor em Fe_2O_3 , que é o óxido férrico, conhecido como ferrugem.

Quimicamente, as reações envolvidas são:

- a) $\text{Fe}^0 \leftrightarrow \text{Fe}^{2+} + 2e^-$ (ânodo)
- b) $\frac{1}{2}\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} + 2e^- \leftrightarrow 2(\text{OH})^-$ (cátodo)
- c) $\text{Fe}^{2+} + 2(\text{OH})^- \leftrightarrow \text{Fe}(\text{OH})_2$
- d) $2\text{Fe}(\text{OH})_2 + \frac{1}{2}\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow 2\text{Fe}(\text{OH})_3$
- e) $2\text{Fe}(\text{OH})_3 \leftrightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$

Figura 3 - Representação de uma célula de corrosão clássica



Fonte: RAMOS, Ramessés César da Silva. **Aplicabilidade do tratamento da água de resfriamento de motores de combustão interna e de alimentação de vasos de pressão ou caldeiras marítimas.**

Analisando-se os mecanismos descritos podemos verificar que com a eliminação do oxigênio da água da caldeira controla-se os processos corrosivos elementares. Assim, a remoção do oxigênio é um dos mais importantes meios de se prevenir a corrosão nas caldeiras. Outro método consiste em manter o pH da água na faixa alcalina, o que elimina a chance de corrosão no metal por ataque ácido.

6.2 Tipos de corrosão em caldeiras

Várias formas de processos corrosivos são encontradas nos sistemas geradores de vapor. Apesar de muitos deles estarem relacionados e serem interdependentes, podemos destacar, resumidamente, os seguintes:

6.2.1 “Pittings” (ou pites)

São processos de corrosão localizada, pontuais e, na ausência de um controle eficiente, promovem grande penetração no metal da caldeira, chegando inclusive até a inutilização do equipamento. Geralmente os processos de corrosão por pitting são observados na seção vapor das caldeiras e acessórios pós-caldeira, sendo provocados em sua quase totalidade pelo ataque de oxigênio indevidamente presente na água.

Um dos métodos de controle deste tipo de pitting é a desaeração mecânica conveniente da água de alimentação da caldeira, bem como a dosagem e manutenção de um residual adequado de seqüestrante de oxigênio (sulfito de sódio, hidrazina, etc).

A corrosão localizada também ocorre sob depósitos, em locais de falha na estrutura cristalina do metal e em locais submetidos a tensões.

6.2.2 Corrosão Galvânica

Este tipo de corrosão ocorre, basicamente, quando dois ou mais metais com diferença significativa de potenciais de oxidação estão ligados ou imersos em um eletrólito (tal como a água com sais dissolvidos). Um metal “**menos nobre**” tem uma tendência a perder elétrons para um metal “**mais nobre**”.

Assim, o metal menos nobre torna-se um ânodo e é corroído. Este fenômeno também depende da área entre as regiões anódicas e catódicas, isto é, quanto menor for a área do ânodo em relação ao cátodo, mais rápida é a corrosão daquele. Um exemplo disso ocorre entre o cobre (mais nobre) e o aço carbono (menos nobre) e que tem a sua taxa de corrosão acelerada.

Em aparelhos geradores de vapor, principalmente nas seções pré e pós-caldeira, é comum a construção de equipamentos auxiliares com ligas diferentes do aço empregado na caldeira. Isto acentua a corrosão galvânica, e medidas corretivas têm que ser tomadas, sob pena de um processo rápido de corrosão no metal menos nobre.

Para minimizar a ocorrência de corrosão galvânica, recomenda-se evitar a construção de equipamentos utilizando metais ou ligas com potenciais de oxidação muito diferentes e evitar o contato elétrico direto entre os metais, colocando materiais isolantes entre os mesmos (plástico, borracha, etc).

A manutenção de valores baixos de sólidos dissolvidos na água contribui para a diminuição da condutividade elétrica, desta forma, minimizam-se os processos corrosivos como um todo, inclusive os de origem galvânica.

6.2.3 Corrosão por Tensão

A corrosão sob tensão ocorre em áreas do metal submetidas a tensões e esforços, tais como nas operações de corte, soldagem, mandrilhamento de tubos, calandragem e dobramento de chapas, entalhamento de roscas, rebites, etc. Também aparecem em descontinuidades e em pontos de falha na estrutura cristalina do metal, tal como a presença de átomos metálicos diferentes da liga, espaços vazios no retículo, presença de átomos nos interstícios do mesmo, etc. A corrosão sob tensão pode causar prejuízos significativos quando atinge determinadas proporções.

Os métodos de combatê-la são, na maioria, preventivos: alívio de tensões, escolha de material de boa qualidade para fabricação e reparos no equipamento, evitar operações que provoquem tensões excessivas no equipamento depois de montado, entre outros.

6.2.4 Ataque Cáustico (“Caustic Embrittlement”)

É um tipo de ataque que ocorre devido à excessiva concentração de alcalinidade hidróxida (íons OH⁻), proveniente normalmente da soda cáustica usada para manutenção do pH na faixa alcalina. Mesmo que no seio da água a concentração não esteja tão alta, nas camadas de líquido próximas às paredes dos tubos a concentração é bem superior, devido à vaporização de água na região. Além disso, existem locais onde pode haver maior concentração de (OH⁻) tais como sob depósitos/ incrustações, em locais submetidos a fluxos de calor muito altos (como ocorre quando a chama atinge os tubos), ou em tubos inclinados ou horizontais, nos quais há pouca quantidade de água no seu interior.

Nessas áreas onde a concentração de hidroxilas é elevada, há uma reação das mesmas com o filme de magnetita (Fe₃O₄) que protege a superfície do metal. Removido o filme e exposto o aço, as hidroxilas em altas concentrações também reagem como o ferro.

Para que o ataque cáustico se configure, também deve ocorrer a existência de pontos de tensão no local onde há a concentração dos íons (OH⁻). A presença de sílica também auxilia no processo, direcionando o ataque do (OH⁻) para os limites do grão do metal e por fim, a um ataque inter-cristalino, este processo causa fissuras na estrutura do metal, podendo ocasionar rupturas extremamente perigosas.

6.2.5 Fragilização por Hidrogênio

É um processo que ocorre somente em caldeiras de pressões elevadas, digamos acima de 100 Kgf/ cm². Devido presença de hidrogênio molecular (H) que se formam nas reações químicas presentes na caldeira, tal como a que causa o ataque cáustico; devido ao seu pequeno tamanho, o hidrogênio produzido é capaz de penetrar no interior do metal e reagir com o carbono do aço, formando uma molécula de metano no interior do retículo.

A formação da molécula de metano, relativamente grande, no interior do metal causa uma tensão enorme, o que pode causar ruptura.

6.3 Métodos de controle

6.3.1 Remoção do oxigênio da água

Método muito utilizado por ser simples e eficiente de se combater a corrosão elementar nas caldeiras e sistemas de arrefecimento de motores de combustão interna; e é através da remoção do oxigênio presente na água, que se evita a existência de receptor para os elétrons provenientes do ferro e, assim, o ciclo não se completa. Portanto, grande parte da atenção é voltada para a remoção do oxigênio, a qual é feita de dois modos: ***mecanicamente e quimicamente***.

6.3.2 Desaeração Mecânica

Consiste em fazer a água passar por um equipamento chamado “desaerador” o qual, trabalhando em temperatura elevada, promove uma grande área de contato para expulsão do ar dissolvido.

Existem dois tipos básicos desse equipamento: o tipo spray e o tipo que contém bandejas, sendo que a disposição do vaso principal pode ser horizontal (mais comum) ou

vertical. Alguns desaeradores, principalmente para caldeiras de alta pressão, podem trabalhar a vácuo, o que ajuda na remoção do oxigênio.

6.3.3 Desaeração Química – Seqüestramentos de Oxigênio (“Oxygen Scavengers”)

Na maioria das vezes o desaerador não consegue eliminar totalmente o oxigênio dissolvido na água, restando ainda uma pequena parcela que, se adentrar a caldeira, poderá causar processos corrosivos, principalmente pittings na seção de vapor.

Assim, logo após o elemento desaerador, deve-se fazer a adição de um composto químico capaz de remover, suficientemente, o oxigênio presente na água. Para isso, utilizam-se normalmente as seguintes substâncias: **Sulfito de Sódio, Hidrazina, Outros Seqüestramentos de Oxigênio.**

- a) Sulfito de Sódio: é um pó branco, relativamente solúvel em água, de fórmula Na_2SO_3 que reage com o oxigênio formando sulfatos; trata-se de um líquido de fórmula N_2H_4 , que é forte agente redutor utilizado no passado como combustível de foguetes; ele reage com o oxigênio formando nitrogênio e água;
- b) Hidrazina: trata-se de um líquido, forte agente redutor e utilizado no passado como combustível de foguetes. Reage com o oxigênio formando nitrogênio e água, tal como no sulfito, a velocidade de reação da hidrazina com o oxigênio também é lenta e deve-se utilizar um catalisador para acelerá-la;
 - Como vantagem, a hidrazina não forma sólidos na caldeira, sendo recomendada para unidades de médias e altas pressões. Além da seqüestração do oxigênio, por ser um forte agente redutor a hidrazina é capaz de promover a transformação de óxido férrico (produto de corrosão) em óxido de ferro IV (Magnetita), que é um óxido protetor e desejado na superfície da caldeira:
- c) outros Seqüestramentos de Oxigênio: apesar do sulfito e hidrazina serem os seqüestramentos de oxigênio mais usados, algumas outras classes de substâncias pode ser usado para este fim.

Entre elas, destacamos: **DEHA (Dietilhidroxilamina)**, amina com características redutoras; **Ácido Iso-ascórbico**: Tem sido usado em caldeiras de até 60 Kgf/ cm^2 de pressão em substituição à hidrazina; **Alguns sacarídeos (tais como glicose)**: usados em aplicações específicas; **Hidroquinona; Taninos; Aminoguanidinas; e Hidrazidas e polímeros contendo este grupo funcional (-CONHNH₂).**

6.4 Métodos físicos de prevenção da corrosão

Durante a construção e possíveis reparos nos geradores de vapor e equipamentos relacionados, uma série de cuidados são tomados de modo a minimizar os processos corrosivos que poderão ocorrer durante seu funcionamento. Assim, os métodos mais empregados são:

- a) alívio de tensões: Consistem em promover um aquecimento lento e gradual, manter uma determinada temperatura por certo tempo e resfriar lentamente a região que se quer aliviar. Com isto há uma melhor acomodação dos grãos constituintes do metal, minimizando a ocorrência de defeitos e, conseqüentemente, a possibilidade de processos corrosivos. O alívio de tensão também melhora as propriedades mecânicas do aço, aumentando sua resistência quando o mesmo for solicitado;
- b) escolha das ligas e metais adequados: Visa minimizar a ocorrência de corrosão galvânica, normalmente responsável pelo aparecimento de processos corrosivos rápidos e localizados. Caso haja necessidade de soldas no equipamento, os eletrodos e procedimentos também devem ser selecionados adequadamente;
- c) tratamentos de Superfície: Têm por objetivo a formação de uma película protetora sobre o metal, impedindo seu contato direto com o meio. Este tratamento é muito importante durante a fabricação e montagem do equipamento, evitando que o mesmo sofra um processo corrosivo antes mesmo de entrar em operação;
- d) hibernação: Aplicado em caldeiras fora de operação ou em “stand-by”, a hibernação minimiza a ocorrência de corrosão na superfície interna da caldeira. Os métodos mais simples costumam empregar residuais elevados de sulfito de sódio e a manutenção de um pH adequado, normalmente feito com soda cáustica. Deve-se atentar para o completo enchimento da caldeira e o fechamento de todas as válvulas e aberturas existentes no equipamento. Alguns processos de hibernação são feitos a seco, colocando-se agentes dessecantes no interior do equipamento; são métodos menos eficientes que os anteriores.

Externamente, também devemos nos preocupar com o ataque da corrosão. Assim, a manutenção adequada do equipamento, o isolamento térmico, cobertura ou telhado adequado, revestimentos, alvenaria e pinturas devem sempre ser verificados e corrigidos. Deve-se também evitar a lavagem de qualquer seção do lado fogo e as infiltrações de água no equipamento.

6.5 Arrastes

Outro problema enfrentado no tratamento de água para geração de vapor é a ocorrência de arrastes de água da caldeira para a seção pós-caldeira (superaquecedor, linhas de distribuição de vapor, turbinas, equipamentos, etc.). Como conseqüências desse fenômeno, observam-se:

- a) deposição e incrustação de sais nos separadores de vapor e equipamentos da seção pós-caldeira, como superaquecedores, turbinas, válvulas, acessórios, etc, podem causar danos significativos como rupturas, desbalanceamentos, entupimentos, fadigamentos precoces em seções de redes e equipamentos associados;
- b) formação dos chamados golpes de aríete nas linhas de vapor, devido à formação de um pistão de água na mesma e o deslocamento do mesmo a velocidades razoavelmente elevadas; e
- c) abrasão na tubulação, válvulas e acessórios da linha de vapor.

A medição dos sólidos no vapor é um método eficiente para a detecção de arrastes e quantificação de sua intensidade. Basicamente, existem duas causas para a ocorrência de arrastes: *química e mecânica*.

6.6 Controles analíticos e operacionais do tratamento

O controle do tratamento químico aplicado é feito através de análises físico-químicas na água da caldeira, arrefecimento e alimentação, com periodicidade conveniente. A estipulação dos limites de pH, alcalinidade, sólidos em suspensão, condutividade elétrica; tendo por objetivo, o controle dos processos corrosivos e concentrações máximas de sais, visando evitar a formação de incrustações.

Uma importante medida a ser adotada em tratamento de água de arrefecimento de motores de combustão e alimentação de caldeira é o chamado “Ciclo de Concentração (CC)”.

Ele indica quantas vezes à água está se concentrando dentro dos sistemas e dos equipamentos, fornecendo inclusive informações que irão contribuir com a logística de aquisição dos produtos químicos utilizados nas correções; normalmente os ciclos de concentração são determinados através de cloretos.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A melhoria dos processos nas atividades produtivas e de serviço vem sendo um objetivo adotado por um número cada vez mais crescente de empresas. Essa busca de maior qualidade e segurança e de maior produtividade dos processos deve respeitar as solicitações dos clientes e da sociedade. O serviço de transporte ou apoio marítimo, como toda atividade empresarial de qualquer setor, busca se adaptar as necessidades de mercado que exigem a prestação de serviço com alta qualidade, o que quer dizer que as embarcações ou unidades de Off-Shore, não devem apresentar defeitos que afetem o seu emprego final que é a atividade de comércio. Assim, deve o operador ou gerente do sistema estar sempre atento à legislação vigente e aplicar novas tecnologias, para o sucesso do seu negócio.

A manutenção de uma frota de navios ambientalmente adaptada e com tripulações bem treinadas se constituem na garantia da permanência da empresa no mercado, já que só assim estará em condições de operar em qualquer porto fazendo frente aos concorrentes, influenciando no mercado de frete e garantindo transporte de qualidade, pontual, seguro e com baixos custos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT** - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Disponível em: <http://www.abnt.org.br>.
ROHM AND HAAS: ACUMER® 1000, 1020, 1100, 1110 SCALE INHIBITORS.
 Philadelphia. Technical Bulletin. Rohm and Haas Company. 1997b.
- BRASIL. **Lei 9.966 – 28/ABRIL/2000** – Na prevenção, no controle e fiscalização da poluição.
- BOULANGER, P. e ADAM, B. **Motores diesel.** Editora Hemus, São Paulo. SP.
- CHVETZ, I.; KONDAK, M.; KIRAKOVSKI, N. et al. **Térmica general:** termodinamica tecnica, turbinas y maquinas alternativas. Editorial Hispano Europea. Barcelona. España. 1975.
- DREW: **TRATAMENTO DE ÁGUA APLICADO ÀS CALDEIRAS MARÍTIMAS.** São Paulo. Drew Produtos Químicos S/A. 1984.
- FLÔRES, L.F.V. **Sistemas térmicos I. Apostila.** Escola Federal de Engenharia de Itajubá. MG.
- KURITA: **RECOMENDAÇÕES A CLIENTES.** São Paulo. Kurita do Brasil Ltda. 2001.
- MÁQUINAS AUXILIARES** – Texto – Rio de Janeiro: CIAGA, 1985.
- MARPOL 73/78. 1999. 1997 and 1999.** Amendments. International Maritime Organization. 4 Albert Embankment, London SE1 7SR.
- MARPOL-73/78,** consolidado 1997. London: IMO, 1997.
- MEPPAM: **MANUAL DE INSTRUÇÕES DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO.**
 Sertãozinho. Meppam Equipamentos Industriais Ltda. Ano Não Disponível.
- METAL LEVE S.A. **Manual técnico.** Metal Leve S.A. São Paulo. SP. 5ª Edição.
- PORT, R.D; HERRO, H.M.: **THE NALCO GUIDE TO BOILER FAILURE ANALYSIS.**
 New York. Mc Graw Hill. 1991.
- RAMOS, Ramessés César da Silva. **Aplicabilidade do tratamento da água de resfriamento de motores de combustão interna e de alimentação de vasos de pressão ou caldeiras marítimas.** Rio de Janeiro: CIAGA, 2011 (APMA 2011).
- SENÇO, Dr. WLASTERMILER. **Pequena história dos transportes.** Revista Pesquisa e Tecnológica FEI.
- SOLAS – 74/78** – Consolidada 1998. Edição em Português. Brasil, Rio de Janeiro: DPC, 2001.

SOUZA, Z. **Elementos de máquinas térmicas**. Editora Campus-EFEI. Rio de Janeiro. RJ. 1980.

WYGLLEN, Van; Sountag, F. **Fundamentos da termodinâmica clássica**. Van Wyglen & Sountag - Tradução da 4ª Ed. São Paulo: Ed. Edgard Blucher, 1995.