

**MARINHA DO BRASIL
CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO PARA OFICIAIS DE MÁQUINAS (APMA)**



TRATAMENTO DE ÁGUA APLICADO ÀS CALDEIRAS

Carlos Antonio dos Santos Souza

**Rio de Janeiro
2013**

Carlos Antonio dos Santos Souza

TRATAMENTO DE ÁGUA APLICADO ÀS CALDEIRAS

Monografia apresentada como exigência para conclusão do curso de Aperfeiçoamento para Oficiais de Máquinas (APMA) do Centro de Instrução Almirante Graça Aranha.

Orientador: Professora Especialista
Elizabeth Fátima Lourenço Borges

**Rio de Janeiro
2013**

TRATAMENTO DE ÁGUA APLICADO ÀS CALDEIRAS

Elaborado por Carlos Antonio dos Santos Souza

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Professora Especialista Elizabeth Fátima Lourenço Borges

Nota: _____

Rio de Janeiro, 12 de setembro de 2013

DEDICATÓRIA

Dedicado ao meu pai que por diversas vezes provou que não é apenas pai, mas sim meu melhor amigo. Também quero dedicar aos meus avós que hoje não estão presentes.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por permitir estar realizando esse curso e abençoar minha caminhada. Aos meus pais por ter me dado oportunidade de ter estudado em boas escolas e muitas vezes deixando de realizar algum sonho para que eu possa ter um bom ensino. A minha esposa pelo imensurável apoio, incentivos, e privações. Agradeço também a todos os professores que me acompanharam durante o curso, em especial a Professora Especialista Elizabeth Fátima Lourenço Borges, pela paciência na orientação e incentivo que tornaram possível a conclusão desta monografia.

EPÍGRAFE

"Não sabendo que era impossível, ele foi lá e fez".

Jean Cocteau

RESUMO

O presente estudo aborda o tratamento de água da caldeira marítima. Para tanto, buscou-se focar primeiramente as caldeiras, seu conceito, classificação, rendimento térmico e pressão de trabalho, a vida útil de um gerador de vapor e as eventuais falhas que podem ocorrer no mesmo. Em seguida foi desenvolvido o tema tratamento da água, contemplando-se as suas características básicas, análise química, qualidade da água, tratamentos primários, processos externos de tratamento, parâmetros de qualidade, tratamento químico interno, tratamento para prevenção de incrustações, métodos de controle de corrosão e o processo de desaeração química. O estudo conclui que a análise de água deve ser feita regularmente, para se verificar eventuais alterações nas qualidades da mesma. Desta forma serão colhidos subsídios necessários para as correções posteriores e controle das dosagens de produtos químicos adicionados. A periodicidade de uma análise varia muito com as condições de operação da caldeira e da natureza e gravidade dos problemas constatados.

Palavras-chave: caldeira marítima, tratamento da água, processos.

ABSTRACT

This study addresses the treatment of water from the boiler at sea. Thus, it is aimed primarily focus on the boiler, its concept, classification, income heat and pressure of work, the life of a steam generator and any flaws that may occur in the same. Then the theme was developed water treatment, covering up their basic characteristics, chemical analysis, water quality, primary treatments, procedures outside of treatment, parameters of quality, internal chemical treatment, treatment for the prevention of inlay, methods of control and the process of corrosion of desperation chemistry. The study concludes that the analysis of water should be done regularly to see if any changes in the same qualities. Thus will be collected subsidies needed for the subsequent correction and control of dosages of chemicals added. The periodicity of an analysis varies greatly with the conditions of operation of the boiler and the nature and seriousness of the problems observed.

Keywords: maritime boiler, water treatment, process.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Caldeira flamotubular	14
Figura 2 - Caldeira aquatubular.....	15
Figura 3 - Caldeira elétrica.....	16

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 CALDEIRAS	12
2.1 Conceito	12
2.2 Classificação	13
2.2.1 Caldeiras flamotubulares	13
2.2.2 Caldeiras aquatubulares	15
2.2.3 Caldeiras elétricas	16
2.2.4 Caldeiras escocesas	17
2.3 Rendimento térmico e Pressão de Trabalho	17
2.4 Vida útil de um gerador de vapor	18
2.5 Falhas que podem ocorrer em um gerador de vapor	18
3 O TRATAMENTO DA ÁGUA	19
3.1 Características da água usada no tratamento	19
3.10 Desaeração Química	19
3.2 Análise química da água	21
3.3 Problemas relacionados com a qualidade da água	21
3.4 Tratamentos primários para águas	23
3.5 Parâmetros de qualidade para águas de caldeiras	24
3.6 Tratamento químico interno	24
3.7 Tratamento químico externo	25
3.8 Tratamentos para prevenção das incrustações	26
3.8.1 Tratamento precipitante - Fosfato	26
3.8.2 Tratamento quelante	28
3.8.3 Tratamentos disperso-solubilizantes (TDS)	29
3.9 Corrosão e métodos de controle	31
3.9.1 Fundamentos	32
3.9.2 Tipos de corrosão em caldeiras	33
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	39
REFERÊNCIAS	40

1 INTRODUÇÃO

O presente estudo tem como objetivo abordar o tratamento da água das caldeiras marítimas, especialmente no que diz respeito à sua conservação, manutenção, eficiência, preservação de sua vida útil e prevenção de acidentes. O tratamento da água utilizada nas caldeiras é de relevante importância para que se possa evitar a sua queda de rendimento e evitar problemas que se situam em uma escala de gravidade desde a perda de sua eficiência até às explosões violentas. A vida útil e segurança de uma caldeira dependem muito da condução correta pelo operador, incluindo o tratamento adequado da água de alimentação. Para tanto, torna-se necessário efetuar análises diárias, interpretar com exatidão os resultados e decidir que medidas se fazem necessárias, aplicando-se produtos químicos específicos para cada situação, evitando obter a formação de incrustações e corrosões, e conseqüentemente uma produção de vapor limpo.

O tratamento de água da caldeira marítima é fator relevante não só para os aspectos que envolvem a segurança do navio e de seus tripulantes, mas também significa uma medida de economia, uma vez que os custos de prevenção são bem menores do que os custos de reparação.

Neste sentido, cabe ressaltar que o desenvolvimento tecnológico colocado à disposição das indústrias vem oferecendo a cada dia modernas caldeiras e, conseqüentemente, produtos químicos cada vez melhores para tratamento da água dessas caldeiras.

Um bom padrão de eficiência de caldeiras depende de sua manutenção preventiva, que pode evitar paradas não programadas e diminuir custos com a manutenção corretiva. O "homem-operador" por meio de sua dedicação e esforço profissional, aliado aos produtos químicos corretos para o tratamento da água das caldeiras contribuirá para que a otimização deste funcionamento propicie segurança máxima, aumente a vida útil dos equipamentos e resulte em menores custos para a instituição.

Um dos problemas mais recorrentes que ocorrem nas caldeiras marítimas são as incrustações e corrosão no sistema de vapor. A partir disto, busca-se um tratamento químico efetivo da sua água para que se possam minimizar tais ocorrências. Como a dessalinização e a desaeração mecânico-térmica não

conseguem remover todos os contaminantes, programas de tratamento químico de rotina são necessários para uma manutenção eficiente dos equipamentos geradores de vapor.

Com a constatação desses fatos, surge a seguinte questão: De que forma pode-se tratar a água de alimentação das caldeiras marítimas para que as mesmas possam funcionar com eficácia, segurança e economia?

2 CALDEIRAS

2.1 Conceito

O que é caldeira

Caldeira é um equipamento que produz vapor e sua principal finalidade é produzir trabalho.

Uma caldeira é composta de dois sistemas básicos separados. Um é o sistema vapor-água, também chamado de lado de água da caldeira, e o outro é o sistema combustível-ar-gás da combustão, também chamado de lado de fogo da caldeira.

A entrada do sistema vapor-água ou lado de água da caldeira é a água. Esta água, que recebe o calor através de uma barreira de metal sólido, é aquecida, convertida em vapor e deixa o sistema na forma de vapor.

As entradas do sistema combustível-ar-gás da combustão ou lado de fogo da caldeira são o combustível e o ar de combustão necessário à queima deste combustível. Neste sistema, o combustível e o ar de combustão são completa e cuidadosamente misturados, sendo em seguida queimados na câmara de combustão. A combustão converte a energia química do combustível em energia térmica, ou seja, calor. Este calor é transferido para o sistema vapor-água, para geração de vapor.

Para Alves (2002), todos os tipos de caldeira sempre possuem três partes essenciais, que são: a fornalha ou câmara de combustão, a câmara de água e a câmara de vapor. Os condutos para descarga dos gases e a chaminé não formam parte integral da caldeira, pois constituem construções independentes que são adicionadas ao corpo resistente da mesma, não estando expostas à pressão do vapor.

2.2 Classificação

Conforme Chd Válvulas (2005), as caldeiras podem ser classificadas de acordo com:

- As classes de pressão;
- O grau de automação;
- O tipo de energia empregada;
- O tipo de troca térmica.

De acordo com as classes de pressão, as caldeiras foram classificadas segundo a NR-13 em:

Categoria A: caldeira cuja pressão de operação é superior a 1960 KPa (19,98 kgf/cm²);

Categoria C: caldeiras com pressão de operação igual ou inferior a 588 KPa (5,99 kgf/cm²) e volume interno igual ou inferior a 100 litros;

Categoria B: caldeiras que não se enquadram nas categorias anteriores.

Conforme o grau de automação, as caldeiras podem se classificar em: manuais, semi-automática e automática.

Com relação ao tipo de energia empregada (combustível), elas podem ser: sólido, líquido, gasoso, caldeiras elétricas e caldeiras de recuperação.

Existem outras maneiras particulares de classificação, como por exemplo: quanto ao tipo de montagem, circulação de água, sistema de tiragem e tipo de sustentação. Segundo Alves (2002), como primeira tentativa e antes de comentar o tratamento particular de diversos tipos. Dividiremos os geradores em Caldeiras flamotubulares, Caldeiras aquatubulares e Caldeiras elétricas.

2.2.1 Caldeiras flamotubulares

De acordo com Martinelli Júnior (1998), também conhecidas como Pirotubulares, Fogotubulares ou, ainda como Tubos de Fumaça, as caldeiras

flamotubulares são aquelas em que os gases provenientes da combustão (gases quentes) circulam no interior dos tubos, ficando por fora a água a ser aquecida ou vaporizada. Para Chd Válvulas (2005), a superfície de aquecimento das caldeiras flamotubulares é muito pequena, tendo como consequência uma baixa vaporização específica (12 a 14 kg de vapor gerado/m²); sendo o espaço ocupado por ela proporcionalmente maior, embora atualmente já existam modelos compactos desse tipo de caldeira.

As caldeiras flamotubulares têm uso limitado às instalações de pequeno porte, com pressões inferiores a 1500 KPa ou capacidade inferior a 15 ton/h de vapor saturado. Sua aplicação é restrita apenas as operações que admitem o uso de vapor saturado. (SAREV & MARTINELLI JÚNIOR, 1998).

As caldeiras flamotubulares têm a vantagem do custo de aquisição mais baixo, de exigir pouca alvenaria e atender bem aumentos instantâneos de demanda de vapor. Como desvantagens, apresentam baixo rendimento térmico, partida lenta devido ao grande volume interno de água, limitação de pressão de operação (máx. 15 kgf/cm²), baixa taxa de vaporização (kg de vapor/m².hora), capacidade de produção limitada, e dificuldades para instalação de economizador, superaquecedor e pré-aquecedor.

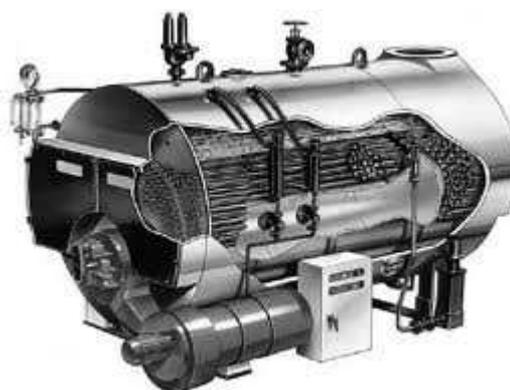


Figura Erro! Indicador não definido. -
Caldeira flamotubular
Fonte: (www.raelectric.com.br).

2.2.2 Caldeiras aquatubulares

Conforme Chd Válvulas (2005), a necessidade de caldeiras com maior rendimento, menos consumo, rápida geração e grandes quantidades de vapor, aumentou muito com a evolução dos processos industriais. Baseados nos princípios da transferência de calor e na experiência com os tipos de caldeiras existentes, os fabricantes inverteram a forma de geração de calor, ou seja, os tubos de fogo foram trocados por tubos de água, o que aumentou muito a superfície de aquecimento, surgindo à caldeira aquatubular.

De acordo com Martinelli Júnior (1998), também conhecidas como Caldeiras Tubos de Água, se caracterizam pelos tubos situarem-se fora dos tubulões da caldeira (tambor), constituindo com estes um feixe tubular. Diferenciam-se das flamotubulares, pois a água circula no interior dos tubos e os gases quentes encontram-se em contato com sua superfície externa. Operam a média e alta pressão, resultando em alta produção de vapor.

Segundo Chd Válvulas (2005), as caldeiras aquatubulares são classificadas em três grandes grupos:

- a) Caldeiras de tubos retos, com tubulão transversal ou longitudinal;
- b) Caldeiras de tubos curvos, com diversos tubulões transversais ou longitudinais utilizados na geração (máx. 5)

Conforme Chd Válvulas (2005), as partes principais de uma caldeira aquatubular são: tubulão superior (ou tambor de vapor), tubulão inferior (ou tambor de lama), feixe tubular, parede de água, fornalha e superaquecedor, sendo que outros equipamentos denominados como auxiliares ou periféricos ajudam a boa operação de uma caldeira, os quais são: economizador, pré-aquecedor e soprador de fuligem.

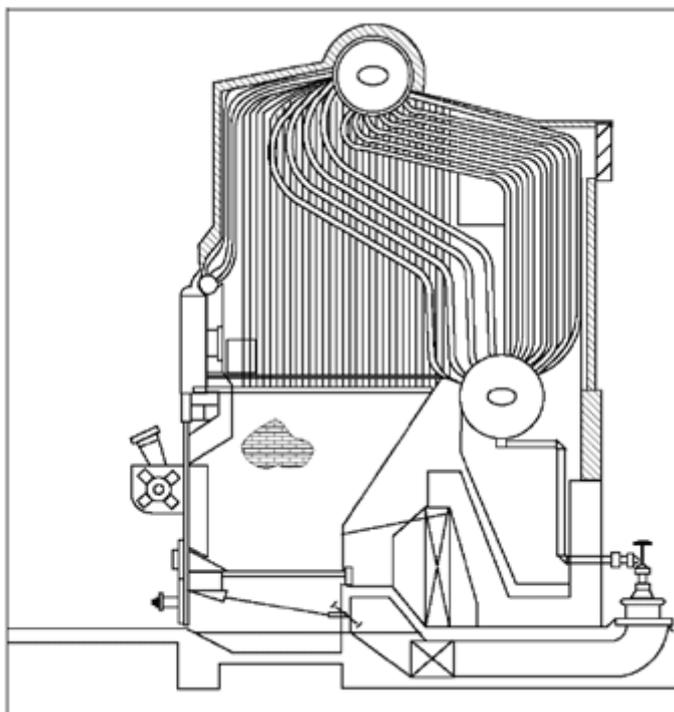


Figura 2 - Caldeira aquatubular
Fonte: (www.chdvalvulas.com.br).

2.2.3 Caldeiras elétricas

Conforme Bazzo (1995), sua aplicação é bastante restrita, pois são utilizadas quando houver disponibilidade de energia elétrica e que os custos sejam compensadores, além de serem projetadas para fornecerem apenas vapor saturado.

Segundo CHD Válvulas (2005), a geração de energia elétrica através de vapor é obtida nas usinas termoelétricas e outros pólos industriais, os quais são compostos basicamente de um gerador de vapor superaquecido, uma turbina, um gerador elétrico e um condensador. Na produção de vapor a corrente elétrica, ao atravessar qualquer condutor, encontra resistência a sua livre circulação e desprende calor (Efeito Joule).



Figura 3 - Caldeira elétrica
Fonte: (www.solostocks.com.br).

2.2.4 Caldeiras escocesas

Esse tipo de caldeira foi concebido especialmente para uso marítimo, por ser bastante compacta. São concepções que utilizam tubulação e tubos de menor diâmetro. Os gases quentes, oriundos da combustão verificada na fornalha interna, podem circular em 2,3 e até 4 passes.

Todos os equipamentos indispensáveis ao seu funcionamento são incorporados a uma única peça, constituindo-se, assim num todo transportável e pronto para operar de imediato.

Essas caldeiras operam exclusivamente com óleo ou gás, e a circulação dos gases é feita por ventiladores. Conseguem rendimentos de até 83%.

2.3 Rendimento térmico e Pressão de Trabalho

Segundo Alves (2002), atualmente o rendimento ou eficiência térmica total que pode ser obtido nas caldeiras aquatubulares supera o correspondente às caldeiras flamotubulares, pois nas primeiras têm-se obtido rendimento de 80 a 82 % ou maiores em caldeiras com superaquecedores, economizadores e aquecedores de ar, sendo que as últimas não superaram valores de 75 a 78 % nas melhores condições de limpeza.

2.4 Vida útil de um gerador de vapor

Conforme Alves (2002), vida útil de um gerador é a quantidade de horas de fogo que pode suportar em condições normais de funcionamento, isto é, vaporizando a pressão máxima de trabalho admissível para a qual tem sido projetada.

A vida útil de uma caldeira depende fundamentalmente do método de trabalho que tenha sido realizado, do sistema de vaporização (regime constante ou variável), da qualidade da água de alimentação, frequência das limpezas externas e internas etc., motivo pelo qual não é possível determinar sem cometer erros consideráveis o tempo médio de vida para cada caldeira (ALVES, 2002).

2.5 Falhas que podem ocorrer em um gerador de vapor

Conforme Pipesystem (2004), as falhas que podem ocorrer em um gerador de vapor são:

a) Falhas por superaquecimento: Pode ocorrer de duas maneiras:

- superaquecimento por longo período;
- superaquecimento por curto período.

b) Fadiga térmica – esse tipo de corrosão é resultante de esforços de tração cíclicos, que são acelerados quando operados em um ambiente corrosivo.

c) Ocultamento (hide-out) – é o decréscimo de concentrações de sais minerais solúveis na água da caldeira, tais como fosfato, sulfato, cloreto e hidróxido de sódio. Acontece em zonas de elevada taxa de transferência de calor. As conseqüências são a falta de refrigeração das paredes dos tubos onde ele se estabelece.

3 O TRATAMENTO DA ÁGUA

3.1 Características da água usada no tratamento

A água é o principal fluido usado em sistemas de geração de vapor. Geralmente os diversos tipos de águas encontrados na natureza nunca são puros, pois todos apresentam certa quantidade de impurezas granulares ou moleculares, cuja composição e proporção estão relacionadas com a constituição geológica dos terrenos atravessados nas proximidades de centros industrializados, além das variações climáticas no decorrer do ano. A água considerada ideal para alimentação de caldeiras é aquela que não deposita substâncias incrustantes, não corrói os metais da caldeira e seus acessórios e não ocasiona arraste ou espuma; evidentemente, água com tais características é difícil de se obter, sem antes proceder a um pré-tratamento que permita reduzir as impurezas a um nível compatível, de modo a não prejudicar o funcionamento da caldeira.

Quando não se aplica o tratamento químico interno adequado e eficiente a uma água, esta pode ocasionar uma série de inconvenientes, que resultam em perdas de eficiência, segurança e combustível, as quais são indesejáveis num processo de funcionamento da caldeira. Com uma manutenção preventiva e com o mínimo de cuidados indispensáveis, pode-se obter o máximo proveito útil de um sistema com os mais baixos custos. Por esse motivo são necessários o controle e tratamento da água utilizada nestes processos.

Os constituintes geralmente encontrados junto com a água são sais dissolvidos inorgânicos e orgânicos, matéria orgânica em suspensão, material coloidal, gases dissolvidos e microorganismos.

3.10 Desaeração Química

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 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

É um pó branco, relativamente solúvel em água, de fórmula Na_2SO_3 . Reage com o oxigênio formando sulfatos:



Esta reação é muito lenta à temperatura ambiente e aumenta de velocidade com o aumento da mesma. Dependendo do ponto de dosagem, pode acontecer do sulfito não ter tempo de eliminar todo o oxigênio presente na água e, ao penetrar na caldeira, o mesmo causa corrosão. Para evitar este inconveniente, utiliza-se um catalisador para acelerar a velocidade, tal como sais de cobalto.

O sulfito deve ser dosado visando reagir com todo o oxigênio presente na água e também uma quantidade adicional para manter um residual na mesma, normalmente entre 10 e 60 ppm. Alguns condensados, tais como os originados da evaporação do caldo de cana para produção de açúcar branco, já contêm quantidade razoável de sulfitos e, assim, dispensam o uso do produto em pó.

O sulfito tem o inconveniente de formar sulfatos, ou seja, sólidos que contribuem para aumento da condutividade da água. Em caldeiras de alta pressão, isto não é desejado e outros produtos devem ser usados. Além disso, em altas temperaturas (altas pressões), pode ocorrer a decomposição do sulfito em H_2S , ácido sulfídrico, podendo causar corrosão, sobretudo na seção pós-caldeira e linhas de condensado.

3.2 Análise química da água

A análise química de uma água permite avaliar sua composição bruta, que aliada às características técnicas da caldeira oferece subsídios quanto à escolha dos processos físicos de purificação que se fazem necessários, bem como, os tratamentos químicos propriamente ditos.

De acordo com MASCIA (1989), essas análises efetuadas no laboratório químico têm a função de verificar se o tratamento proposto ao equipamento está sendo eficiente. Os valores máximos e mínimos pré-estabelecidos devem ser observados, cabendo ao laboratório determinar instruções de operação para contorno de alguma variação nos parâmetros. Cabe ainda ao laboratório verificar o desempenho dos instrumentos, das resinas de troca iônica, dos equipamentos de purificação de água, dos reagentes analíticos, e dos produtos químicos utilizados no tratamento do sistema.

As análises de uma água devem ser feitas regularmente, para se verificar eventuais alterações nas qualidades da mesma, o que fornece subsídios necessários para as correções posteriores e controle das dosagens de produtos químicos adicionados. A periodicidade de uma análise varia muito com as condições de operação da caldeira e da natureza e gravidade dos problemas constatados.

Pode-se salientar que para um tratamento químico preventivo ser eficiente num sistema de geração de vapor, é necessário que se faça um estudo completo das características do equipamento e da água a ser usada no mesmo, e posteriormente utilizá-lo de forma correta, para se garantir a manutenção da eficiência do mesmo.

3.3 Problemas relacionados com a qualidade da água

a) Corrosão:

Segundo GENTIL (1996), a corrosão é um processo eletroquímico capaz de se desenvolver em meio ácido, neutro ou alcalino, na presença ou não de aeração, podendo ser acelerada pela presença de oxigênio dissolvido; teores

elevados de cloro; presença de íons cobre e níquel, responsáveis pela formação de pilhas galvânicas; sólidos em suspensão que se depositam facilmente, de forma não aderente, em regiões estagnantes e de alta transferência de calor.

b) Depósitos ou incrustações:

De acordo com Dantas (1988), os depósitos ou incrustações são deposições ou precipitações sólidas, de naturezas alcalinas, responsáveis por inúmeros problemas que ocorrem nas superfícies internas das caldeiras.

Segundo MASCIA (1989), as principais causas da existência de depósitos em caldeiras são: excesso de impurezas presentes na água de alimentação, processo de corrosão que forma subprodutos depositantes, condensado ou vapor contaminado e tratamento químico aplicado inadequadamente.

c) Arraste e espumação:

O arraste está relacionado ao desenho dos separadores de vapor na caldeira e ao método de separação. O processo de arraste pode ser dividido em duas categorias: projeção de água das caldeiras e formação de espuma.

De acordo com MASCIA (1989) arraste é um fenômeno onde as partículas de água da caldeira são carregadas para o vapor gerado, o que é extremamente indesejável.

A projeção de água geralmente resulta de uma redução súbita na pressão da caldeira causada por um aumento rápido na demanda de vapor. Formando bolhas de vapor dentro de toda a massa de água da caldeira. Devido a essa formação de bolhas de vapor o volume de água aumenta inundando os separadores ou o tubo coletor de vapor. O fenômeno de projeção de água também pode resultar de nível de água excessivamente elevado devido a uma redução rápida de demanda de vapor, seja por falha nos controles ou por problemas na produção.

De acordo com Mascia (1989), espumação é a contaminação que se verifica devido à influência exercida pela concentração de produtos químicos na tensão superficial na película de água, que envolve as bolhas de vapor em geração. Espuma é consequência do acúmulo de bolhas na superfície da água da caldeira. Isto reduz o espaço de escape de vapor e, através de vários mecanismos, causa o arraste mecânico.

Dentre os componentes da água de caldeira que podem aumentar seu potencial de arraste mecânico estão a alcalinidade, os sólidos dissolvidos e os tensoativos orgânicos, como óleos saponificados e detergentes sintéticos. Um

programa para controlar a química das águas da caldeira deve regular estes componentes de conformidade com a pressão operacional. Uma vez que o arraste mecânico aumenta com a pressão de operação, o teor de sólidos dissolvidos totais deve diminuir com o aumento da pressão, de modo a manter uma pureza de vapor adequada para o processo.

Segundo Dantas (1988), as principais conseqüências do arraste e da espumação são danos nas turbinas e outros equipamentos, formação de depósitos nos separadores, válvulas de redução, aparelho separador de vapor, na seção pós-caldeira e perda de produção.

A alcalinidade total da água da caldeira é função da alcalinidade da água de reposição e de quaisquer produtos químicos de tratamento alcalino intencionalmente adicionados para o controle de depósitos internos ou de corrosão. Pode-se controlar a alcalinidade de três formas: aumentando a descarga de fundo; por algum tipo de desalcalinização externa da água de reposição; por eliminação da alimentação do produto químico alcalino.

Os sólidos em suspensão podem estar presentes na água da caldeira, em conseqüência da precipitação de iodoss, como a hidroxiapatita cálcica ($3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2\text{Ca}(\text{OH})_2$) e a serpentina ($3\text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), matéria em suspensão introduzida pela água de alimentação ou produtos de corrosão. As medidas corretivas são controle de formação e concentração da matéria em suspensão, sua remoção da água de alimentação, tratamento dispersante/antiespumante e/ou minimização de produtos de corrosão por purificação do condensado ou melhor controle de corrosão.

3.4 Tratamentos primários para águas

Conforme Azzolini (2003), tratamentos primários são todos os processos físico-químicos a que é submetida à água, para modificar seus parâmetros de qualidade, tornando-a com características que atendam as especificações e padrões solicitados por normas específicas, onde determinam padrões específicos para uma aplicação industrial ou de potabilidade.

3.5 Parâmetros de qualidade para águas de caldeiras

A. Parâmetros físicos: Cor e Turbidez.

B. Parâmetros químicos: pH, Alcalinidade, Dureza, Cloretos, Oxigênio dissolvido, Gás carbônico, Sulfatos, Sulfitos, Fosfatos, Sílica, Ferro, Manganês e Sólidos totais.

De acordo com Sarev & Martinelli Júnior (1998), a análise físico-química da água a ser utilizada fornece subsídios para a identificação dos contaminantes, permitindo a escolha de um ou mais métodos de tratamento externo, cuja finalidade é alterar a qualidade da água antes do ponto de utilização. Sempre que solicitada uma análise de água, devem-se selecionar os parâmetros a serem investigados pela análise.

Segundo Azzolini (2003), a partir dos resultados obtidos quanto aos parâmetros físico-químicos da água de alimentação, água de caldeira e água de condensado pode-se inferir sobre as operações de tratamentos externos e internos adequados nos sistemas geradores de vapor.

3.6 Tratamento químico interno

Para Mascia (1989), o primeiro método utilizado para corrigir as impurezas provenientes da água de alimentação foi o tratamento químico interno da água de caldeira através de compostos químicos, o qual possui uma intensa aplicação nos dias de hoje. Para este propósito, utiliza-se uma grande variedade de substâncias de composições diferenciadas, visando retardar o efeito da corrosão, incrustação, possíveis arrastes e espumação nos equipamentos.

“O tipo de tratamento a ser adotado depende das características da água que vai ser injetada na caldeira, da sua pressão de trabalho, da taxa de vaporização e do modo de utilização do vapor.” (SAREV & MARTINELLI JÚNIOR, 1998).

Os principais tipos de tratamento interno são:

- Controle de precisão;
- Controle de coordenação pH-PO₄;

- Controle congruente pH-PO₄;
- Tratamento zero sólido;
- Tratamento com sulfito de sódio;
- Tratamento com hidrazina;
- Tratamento convencional;
- Tratamento com quelatos;
- Tratamento com polímeros;
- Tratamento conjugado.

Para Azzolini (2003), os métodos de tratamento interno de água são desenvolvidos através de uma formulação combinada de Fosfatos, Dispersantes poliacrílicos, Sulfitos, Quelantes, Aminas voláteis, Hidrazinas e Antiespumantes.

3.7 Tratamento químico externo

O tratamento externo é definido como processos utilizados para alterar a qualidade da água antes do ponto de utilização. Os processos externos de tratamento de água agem no sentido de concentrar um contaminante em particular, ou contaminantes, produzindo assim um efluente que deve ser tratado. (DREW, 1979).

São considerados tratamentos externos:

Clarificação: Esse processo engloba três passos importantes (Coagulação, Floculação e Sedimentação);

Pré-decantação;

Cloração;

Filtração;

Troca iônica;

Desmineralização;

Desaeração mecânica;

Remoção do ferro (desferrização);

Abrandamento com cal;

Abrandamento com cal a quente;

Redução da alcalinidade;

3.8 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 tratamentos empregados atualmente para prevenir as incrustações.

3.8.1 Tratamento precipitante - Fosfato

É uma dos primeiros conceitos em tratamento bem sucedidos e o mais utilizado em número de caldeiras hoje em dia, 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. (TROVATTI, 2003)

Juntamente com o fosfato, é também adicionado um produto chamado “condicionador de lama”, que a mantém dispersa visando impedir a sua aderência sobre a superfície de aquecimento da caldeira. Inicialmente, usava-se para esta finalidade produtos a base de ligninas, taninos, amidos modificados, carboximetilcelulose (CMC), entre outros. Atualmente, o uso de polímeros específicos tem se mostrado mais eficiente; como exemplo, podemos citar os polímeros baseados em acrilatos, sulfonados e fosfinocarboxílicos.

No caso dos fosfatos, o uso dos chamados polifosfatos tem se mostrado mais eficiente, principalmente pelo efeito “Threshold” que este tipo de molécula exhibe.

O tratamento com fosfatos tem alguns inconvenientes, a saber:

- 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).

- Necessita de valores elevados de alcalinidade hidróxida, o que aumenta a probabilidade de ataque cáustico (“Caustic Embrittlement” detalhado posteriormente).

- 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.

- Excesso de fosfato pode comprometer o tratamento, também formando incrustações de fosfato de cálcio e/ou magnésio.

- 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 a 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. (TROVATTI, 2003)

3.8.2 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. (TROVATTI, 2003)

A observação criteriosa de muitos casos onde foi aplicado o tratamento quelante em caldeiras mostra algumas desvantagens, entre elas:

- Necessita desaeração total da água de alimentação, sob o risco de traços de oxigênio causarem degradação do produto no ponto de dosagem, situado normalmente na seção pré-caldeira.

- Um pequeno excesso de quelante pode causar corrosão generalizada na caldeira, devido à complexação do óxido de ferro protetor (magnetita – Fe_3O_4). Existem relatos de caldeiras completamente avermelhadas no seu interior, devido ao ataque do quelante.

- A reação do quelante com os íons metálicos é estequiométrica. Caso haja subdosagem do quelante, fatalmente iniciar-se-á um processo incrustante na caldeira.

- Os agentes quelantes tem muita afinidade com o cobre, o que impossibilita este tipo de tratamento em sistemas que contenha este metal ou suas ligas, principalmente na seção pré-caldeira (tanque de alimentação, desaerador, economizador, etc.).

- Os quelantes são instáveis e decompõem-se em altas temperaturas, formando produtos difíceis de serem detectados por testes analíticos; impedem assim a determinação exata de sua concentração na caldeira.

- Os quelantes convencionais não são suficientemente efetivos para evitar deposição de óxido férrico (Fe_2O_3) nas superfícies da caldeira. Exigem, assim, o uso de dispersantes de ferro específicos.

- Finalizando, os quelantes não apresentam ação contra a sílica. Assim, a mesma se precipita de maneira quase que exclusiva, constituindo incrustações vitrificadas pelo calor, extremamente duras e ancoradas na tubulação da caldeira.

3.8.3 Tratamentos disperso-solubilizantes (TDS)

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:

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.).

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.

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, a presença de incrustações antigas e evidentemente, o custo global do tratamento.

As vantagens dos tratamentos disperso-solubilizantes são:

- Não há formação de lamas que poderiam se aderir às superfícies, a exemplo do que ocorre com os fosfatos.
- Habilidade em dispersar íons de ferro, impedindo a formação de incrustações originadas de produtos de corrosão.
- Os produtos relacionados a este tratamento são estáveis em temperaturas relativamente elevadas e são facilmente detectados e quantificados por procedimentos analíticos simples.
- Este tipo de tratamento tolera abaixamentos de pH, tal como 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).

Por outro lado, certo critério deve ser adotado na aplicação do tratamento disperso-solubilizante, haja visto que o mesmo apresenta algumas desvantagens:

- Funciona bem em tratamento de águas com níveis de dureza, sílica e sólidos suspensos relativamente baixos (alto retorno de condensado, água de reposição de boa qualidade – abrandada, desmi, 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).

- Dosagens excessivas de alguns compostos empregados neste tratamento podem causar corrosão generalizada no metal da caldeira.

- Alguns produtos (certos tipos de fosfonatos) também têm forte interação com o cobre e podem, assim, 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 fazer após o equipamento em questão.

- 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.

3.9 Corrosão e métodos de controle

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, tais 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.(GENTIL, 2003)

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. Infelizmente, no Brasil, não dispomos de dados precisos sobre os prejuízos causados pela corrosão, mas acreditamos serem consideravelmente elevados.

3.9.1 Fundamentos

Basicamente, a corrosão envolve reações de óxido-redução, ou seja, troca de elétrons. É um processo eletroquímico no qual o ânodo (espécie onde ocorre oxidação – perda de elétrons) que é consumido está separado por certa distância do cátodo, onde ocorre redução (ganho de elétrons). O fenômeno ocorre devido à existência de uma diferença de potencial elétrico entre estes dois locais.(GENTIL, 2003)

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

1. Na região anódica, átomos de ferro (Fe^0) passam para o estado de oxidação II, formando Fe^{2+} .

2. Como resultado da formação do Fe^{2+} , dois elétrons migram através do metal para a área catódica.

3. 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.

4. Os íons OH^- deslocam-se para a região anódica, onde reagem com os íons Fe^{2+} formando hidróxido ferroso, $Fe(OH)_2$, que se deposita ao redor da área anódica. Esta etapa completa o ciclo básico do processo.

5. O hidróxido ferroso formado é instável e, na presença de oxigênio e/ ou íons hidroxila, forma-se hidróxido férrico $\text{Fe}(\text{OH})_3$.

6. O hidróxido férrico, por sua vez, tende a se decompor em Fe_2O_3 , que é o óxido férrico, conhecido como ferrugem.

Analisando-se os mecanismos descritos podemos verificar que, se conseguirmos eliminar o oxigênio da água da caldeira, controlaremos os processos corrosivos elementares. Assim, a remoção do oxigênio é um dos mais importantes meios de se prevenir a corrosão nas caldeiras, e será comentada oportunamente. Um outro método consiste em manter o pH da água na faixa alcalina, o que elimina a chance de corrosão no metal por ataque ácido.

3.9.2 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:

- “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 sequestrante de oxigênio (sulfito de sódio, hidrazina,...).

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

- 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 chamado de “menos nobre”, tem uma tendência a perder elétrons para um metal “mais nobre”, cuja tendência de perda é menor. 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.

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 uma diminuição na condutividade elétrica da mesma e, assim, ajuda a minimizar os processos corrosivos como um todo, inclusive os de origem galvânica.

- Corrosão por Tensão

Já citada no item referente aos “pittings”, a corrosão sob tensão ocorre em áreas do metal submetidas a tensões e esforços, tais como nas operações de corte, soldagem, mandrilamento de tubos, calandragem e dobramento de chapas, entalhamento de roscas, rebites, etc. Também aparecem 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.

- Ataque Cáustico (“Caustic Embrittlement”)

É um tipo de ataque que ocorre devido à excessiva concentração de alcalinidade hidróxida (íons OH⁻), provenientes 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 à parede 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. As reações envolvidas são:



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 levando a um ataque intercrystalino.

Este processo causa fissuras na estrutura do metal, podendo ocasionar rupturas extremamente perigosas.

- Fragilização por Hidrogênio

É um processo que ocorre somente em caldeiras de pressões elevadas, digamos acima de 100 Kgf/ cm². É ocasionado pela presença de hidrogênio molecular (H) que pode se formar nas reações químicas presentes na caldeira, tal como aquela 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.

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:

- “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,...).

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

- 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 chamado de “menos nobre”, tem uma tendência a perder elétrons para um metal “mais nobre”, cuja tendência de perda é menor. 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.

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 uma diminuição na condutividade elétrica da mesma e, assim, ajuda a minimizar os processos corrosivos como um todo, inclusive os de origem galvânica.

- Corrosão por Tensão

Já citada no item referente aos “pittings”, 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 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.

- Ataque Cáustico

É um tipo de ataque que ocorre devido à excessiva concentração de alcalinidade hidróxida (íons OH⁻), provenientes 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 à parede 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. As reações envolvidas são:



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 levando a um ataque intercrystalino.

Este processo causa fissuras na estrutura do metal, podendo ocasionar rupturas extremamente perigosas.

- Fragilização por Hidrogênio

É um processo que ocorre somente em caldeiras de pressões elevadas, digamos acima de 100 Kgf/ cm². É ocasionado pela presença de hidrogênio molecular (H) que pode se formar nas reações químicas presentes na caldeira, tal como aquela 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.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Do presente estudo, pode-se concluir que o tratamento de água de alimentação das caldeiras marítimas demanda cuidados especiais para que as mesmas possam funcionar corretamente e ter um bom rendimento por um longo período de vida útil.

Foi visto que as principais causas da existência de depósitos em caldeiras são: excesso de impurezas presentes na água de alimentação, processo de corrosão que forma subprodutos depositantes, condensado ou vapor contaminado e tratamento químico aplicado de forma inadequada.

A análise de água deve ser feita regularmente, para se verificar eventuais alterações nas qualidades da mesma. Desta forma serão colhidos subsídios necessários para as correções posteriores e controle das dosagens de produtos químicos adicionados. A periodicidade de uma análise varia muito com as condições de operação da caldeira e da natureza e gravidade dos problemas constatados.

Um tratamento químico preventivo pode ser eficiente num sistema de geração de vapor, desde que se faça um estudo completo das características do equipamento e da água a ser usada no mesmo, e posteriormente utilizá-lo de forma correta, para se garantir a manutenção da eficiência do mesmo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICA

BEGA, E.A. Instrumentação aplicada ao controle de caldeiras. Rio de Janeiro: Interciência, 2004.

BUCKMAN: Introdução ao Tratamento de Águas Industriais. Campinas: Buckman Laboratórios Ltda. 1997.

COUGHANOWR, D.R; Koppel L.B. Análise de controle de processos. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 2000.

DREW AMERIOD MARINE. Shipboard water treatment manual. USA 1992

DREW: Tratamento de Água Para Caldeiras Marítimas. São Paulo. Drew Produtos Químicos S/A. 1984.

GENTIL, V.: Corrosão. 4ª Ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora. 2003.

JUNIOR MARTINELLI, L.C. Geradores de Vapor. Universidade do Rio Grande do Sul. UERGS. Campus Paracambi, 2003.

LIMA, A. C; Mello, P.J.S; Barbosa, A.T ; Martins, M .G ; Rodrigues, J.M; Trabalho de Processos Unitários da Indústria Química I ; UFRJ; Novembro, 1996

MAINIER, F. B ; RAMOS, M. A. . Estudo de corrosão em caldeira de navio. In: 9º Seminário Nacional de Corrosão, 1982, Rio de Janeiro. 9º Seminário Nacional de Corrosão. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Corrosão, 1982. p. 325-334.

ORTEGA, Flávio Henrique Mansano; ROSA, Francielle Burali; Souza, Janaína Fracaro. Geradores de Água Quente. Universidade Estadual de Maringá. Departamento de Engenharia Química. Maringá: dezembro de 2002.

TROVATTI, J. Tratamento de água: geração de vapor. Rio de Janeiro: Interciência, 2003.