

METODOLOGIA PAUL WURTH DE DIAGNOSE EM BATERIAS DE COQUE E MÁQUINAS MÓVEIS*

Thiago de Oliveira Mazzeu¹
Helênio Resende Silva Júnior²

Resumo

O envelhecimento gradual das Baterias de Coque é um fato inevitável, sendo importante monitorar as condições dos fornos e das estruturas periféricas para maximizar sua vida útil. A Paul Wurth desenvolveu uma metodologia de diagnose que avalia as condições dos elementos principais que compõem as plantas de Coqueria, dentre elas: estrutura da alvenaria refratária, estruturas e componentes metálicos, análise do controle térmico e regime de pressões, conjunto das máquinas móveis. Através de inspeções visuais e coleta de informações de processo e rotina adotada pela equipe de preservação da planta de Coqueria, são elaborados procedimentos e recomendações que visam à extensão da vida útil do equipamento. A Diagnose é uma técnica que auxilia as equipes de Coqueria a entenderem em que situação o equipamento se encontra e contribui com as melhores práticas adotadas no mercado para o prolongamento da vida útil. Ela deve ser repetida com frequência de modo a atualizar a situação da Bateria de Coque, verificar o efeito das ações tomadas pela equipe de preservação e propor novas recomendações. A Diagnose ainda permite identificar a idade real de desgaste das estruturas da Bateria em comparação com sua idade cronológica, permitindo que as usinas planejem investimentos de maior porte.

Palavras-chave: Diagnose; Baterias de Coque; Máquinas Móveis; Vida Útil.

PAUL WURTH METHODOLOGY OF DIAGNOSIS IN COKE OVEN BATTERIES AND MOVABLE MACHINES

Abstract

The gradual aging of the coke oven batteries is an inevitable fact, being important to monitor the conditions of the ovens and peripheral structures to maximize its useful life. Paul Wurth has developed a methodology of diagnosis that evaluates the conditions of the main elements that comprise the coke oven plants, among them: structure of refractory masonry, metallic structures and components, analysis of thermal control and pressure regimes, set of movable machines. Through visual inspections and gathering process data and information about routine adopted by the preservation team of coke oven plants, procedures and recommendations are elaborated aiming the extension of the useful life of the equipment. The Diagnoses are procedures that help Coke plants teams understand at what situation is the equipment and contribute to the best practices adopted in the market for the prolongation of life. They must be repeated frequently in order to update the situation of Coke Batteries, check the effect of actions taken by the team of preservation and propose new recommendations. The Diagnose still allows identifying the actual age of wear of the Battery structures in comparison to their chronological age, allowing the plants to plan larger investments.

Keywords: Diagnosis; Coke Oven Batteries; Movable Machines; Useful life.

¹ Engenheiro Metalurgista e de Materiais, Engenheiro de Projetos, Departamento de Vendas, Paul Wurth do Brasil Ltda., Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

² Engenheiro Metalurgista, Gerente de Vendas de Tecnologia de Coqueria, Departamento de Vendas, Paul Wurth do Brasil Ltda., Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil..

1 INTRODUÇÃO

O envelhecimento gradual das Baterias de Coque é um fato inevitável e, portanto, é importante monitorar as condições dos fornos e das estruturas periféricas para maximizar sua vida útil [1].

O monitoramento adequado deve prever os diagnósticos periódicos das estruturas, a interpretação dos dados coletados e definição de planos de ações para implementação em curto, médio e longo prazo.

A Paul Wurth desenvolveu, em seus longos anos de experiência, uma técnica de diagnóstico que consiste em uma avaliação dos fatores relevantes para a manutenção das baterias, sendo eles a estrutura de alvenaria refratária, estruturas e componentes metálicos, regime de controle térmico e de pressões, e conjuntos de máquinas móveis.

Para cada um desses fatores, são realizadas inspeções visuais de campo, que avaliam as condições físicas dos equipamentos, além das condições de operação, preservação e manutenção. Para uma análise completa, dados operacionais são coletados e analisados, de modo que se possa compreender a situação atual em que a Bateria de Coque se encontra.

A partir das inspeções de campo, a Diagnose propõe melhorias e práticas de curto, médio e longo prazo que sejam necessárias para o prolongamento da vida útil, com base nas boas práticas comprovadas no mercado e respeitando as condições de projeto das Baterias de Coque.

A Diagnose inclui um método de estimativa da idade real de desgaste das estruturas da Bateria cuja informação é de alta importância para os níveis gerenciais das usinas para o planejamento de investimentos de maior porte, desde reformas a quente até a aquisição de novas Baterias.

O objetivo deste trabalho é apresentar a metodologia de Diagnose e a gama de parâmetros avaliados durante as inspeções.

2 DESENVOLVIMENTO

A metodologia de Diagnose desenvolvida pela Paul Wurth pode ser aplicada aos diversos tipos de Baterias de Coque, sejam elas do tipo convencional, caracterizadas por seus fornos estreitos e verticais, quanto para o tipo *Heat Recovery*, cujos fornos apresentam câmaras mais amplas. Apesar de suas particularidades, a Diagnose é feita sobre elementos comuns a ambos os conceitos de plantas de coque, os quais apresentados nos subcapítulos a seguir.

2.1 Estruturas da Alvenaria Refratária

A alvenaria refratária é a alma das Baterias de Coque. Toda a estrutura dos fornos, câmaras de combustão, canais de distribuição dos gases de combustão (corbel), regeneradores de calor e canais *sole flue* são construídos de base refratária.

Durante a Diagnose, as seguintes áreas refratárias são inspecionadas:

1. Topo da Bateria – são avaliadas as condições dos refratários próximos aos diversos componentes metálicos, dentre eles, bocas de carregamento, tirantes, tubos de ascensão e visores das câmaras de combustão. São realizadas buscas por trincas, juntas abertas e defeitos que possam provocar

vazamentos de gás dos fornos para o ambiente e penetração de água para o interior do topo em caso de chuvas.

Em paralelo, é realizada uma análise do caimento do topo através de levantamento topográfico.

2. Fornos - com as portas abertas no lado desenformadora e no lado coque, são inspecionadas as condições das paredes laterais, teto e soleira dos fornos, como ilustrado pela Figura 1. Em folhas de inspeção dedicadas, são demarcados os defeitos encontrados, ou seja, trincas, abaulamentos, lascamentos, furos, deposição de grafite. Para casos especiais, em que a deposição de grafite não permita a visualização de certa região das paredes, é realizado o procedimento de desgrafitagem dos fornos.

Para cada defeito encontrado, a Paul Wurth realiza um ranqueamento que os classifica de acordo com a sua gravidade. Conseqüentemente, a prioridade de ações e recomendações das tratativas de tais defeitos é direcionada segundo o ranqueamento.



Figura 1. Inspeção visual dos fornos de Coqueria.

3. Câmaras de combustão – através dos visores localizados no topo da Bateria, o interior de cada uma das câmaras é inspecionado visualmente. São avaliados os seguintes componentes: estado das paredes internas, entradas de ar e gás misto, queimadores de gás de coqueria, condições de queima, presença de peças ou materiais anormais dentro das câmaras, vazamentos de gás cru dos fornos para o interior das câmaras.

A verificação dos vazamentos é realizada em cada uma das câmaras após o forno adjacente ter sido carregado e a pressão de licor amoniacal estar ajustada para baixa pressão. Os vazamentos encontrados são classificados conforme a intensidade encontrada.

4. Regeneradores – as paredes espelho são inspecionadas em busca de juntas abertas e trincas que possam contribuir para a entrada de ar falso dentro dos regeneradores e provocar a queima de gás misto em seu interior ou abaixo das câmaras de combustão, na região do corbel.

Em projetos que possuem aberturas na região superior dos checkers, as mesmas são abertas para a inspeção da condição dos Checker superiores. Em certos casos, atividades de endoscopia são recomendadas para uma análise ainda mais completa da situação interior.

5. Canais sole flue – os canais são visualmente inspecionados através das aberturas das caixas de ar ou por visores instalados nas caixas de fumaça. A condição geral interna é avaliada e eventuais presenças de chama por vazamentos de gás entre canais são relatadas.

2.2 Estruturas e Componentes Metálicos

Os componentes metálicos incluem os elementos de fechamento dos fornos e o sistema de ancoragem e travamento que controlam a expansão da alvenaria refratária. Durante a Diagnose os seguintes componentes são inspecionados:

1. Tirantes longitudinais e transversais – os tirantes são os principais componentes que trabalham no controle da abertura do topo das Baterias. Eles são visualmente inspecionados e as suas molas são medidas e comparadas com as dimensões de trabalho conforme projeto (Figura 2). Aquelas que estejam fora da faixa de trabalho devem ser avaliadas e ajustadas.



Figura 2. Medição das molas intermediárias dos Buckstays.

2. Bocas de carga – as condições de limpeza, posicionamento e selagem das tampas são inspecionadas.
3. Tubos de ascensão – são avaliadas as condições estruturais, de verticalidade e alinhamento junto à parte refratária.
4. Parte curva (gooseneck) – a condição geral da estrutura é inspecionada bem como das tubulações conectadas a ela.
5. Coletor de gás cru – a condição estrutural é inspecionada visualmente em busca de pontos de vazamento e empenamento da estrutura. São ainda realizadas medições do nível de alcatrão em seu interior por meio das bocas de inspeção, através da inserção de haste metálica de comprimento conhecido.
6. Bleeders de emergência – são inspecionadas visualmente as condições estruturais e de funcionamento.
7. Buckstays e chapas de proteção – as vigas metálicas são visualmente inspecionadas em termos de seu alinhamento vertical, em que são registradas as anormalidades de deflexões, empenamentos e torções. As condições e medidas das molas (ou pinos) intermediários ao longo do corpo dos buckstays são avaliadas.

- Em paralelo, são providenciadas medidas topográficas dos buckstays e chapas de proteção para uma avaliação da expansão da alvenaria refratária.
8. Portas e jamb – As portas dos fornos são inspecionadas quanto às emissões de gás de coqueria e vazamentos de alcatrão, posicionamento e alinhamento junto ao jamb e condições de limpeza e vedação dos selos metálicos. O mesmo é realizado para as portinholas de nivelamento do carvão enforado.
 9. Sistema de reversão – os diversos componentes do sistema de reversão são inspecionados visualmente, dentre eles:
 - caixas de ar, gás e fumaça são avaliadas em termos do posicionamento junto ao canal sole flue e canal de fumaça (presença de juntas laterais abertas) e da condição interna das válvulas;
 - tirantes e correntes de atuação das válvulas de reversão;
 - válvulas de gás misto e de coqueria (válvulas de bloqueio, reversão e regulagem);

2.3 Máquinas Móveis

As máquinas móveis são avaliadas em condições de operação e em stand-by. A seguir são apresentados os vários sistemas inspecionados segundo as características de cada máquina.

1. Carro de Carregamento – parte estrutural, rodeiros, extrator de tampa, limpador da tampa, limpador de quadrante, telescópios, dispositivo de carregamento com sistema de pesagem, sistema de selagem das bocas de carga, operador de comportas da torre de carvão, limpador a vácuo de topo da bateria, sistema hidráulico, sistema de lubrificação, sistema pneumático, sistema elétrico, fonte de alimentação principal, sistema de posicionamento, dispositivos de emergência, automação.
2. Locomotiva – parte estrutural, rodeiro, sistema de lubrificação, sistema pneumático, sistema elétrico, automação.
3. Vagão de Apagamento – parte estrutural, subestrutura, superestrutura, rodeiro, atuação das comportas de descarga, sistema de lubrificação, sistema elétrico. A Figura 3 apresenta um exemplo de condição interna de um vagão de apagamento.



Figura 3. Inspeção visual de um vagão de apagamento.

4. Máquina Desenfornadora – parte estrutural, rodeiros, dispositivo recolhedor de coque derramado, extratora de porta, limpador de porta, limpador de jamb, êmbolo, barra niveladora, limpador do pavimento médio, coifa de

despoeiramento, sistema hidráulico, sistema de lubrificação, sistema pneumático, sistema elétrico, fonte de alimentação principal, sistema de posicionamento, dispositivos de emergência, automação.

5. Carro Guia de Coque – parte estrutural, rodeiros, dispositivo recolhedor de coque derramado, extratora de porta, limpador de jamb, limpador de porta, guia de coque, dispositivo de travamento da guia de coque, limpador do pavimento médio, coifa de despoeiramento + PECS (sistema de controle de emissões), sistema hidráulico, sistema de lubrificação, sistema pneumático, sistema elétrico, fonte de alimentação principal, sistema de posicionamento, dispositivos de emergência, automação.

As interfaces de interação entre as máquinas móveis com elementos das Baterias são também inspecionadas. Trilhos, dormentes, fixações, plataforma de pavimento médio e barramentos fazem parte das inspeções.

2.4 Controle Térmico e Regime de Pressões

Para uma boa coqueificação, é importante que as temperaturas nas câmaras de combustão estejam adequadas ao ritmo de operação das Baterias de Coque. Entretanto, as temperaturas são resultantes dos ajustes de pressões dos gases injetados nas paredes e da sucção da fumaça de combustão que é eliminada pela chaminé.

Durante as inspeções, são realizadas medições das pressões de entrada de gás misto em cada parede, de modo a avaliar o desvio entre as quantidades de gás em cada uma delas. As medições são realizadas em cada caixa de gás com auxílio de um manômetro. Dá-se o nome de *upstream* à pressão de entrada de gás.

Da mesma forma, são realizadas medições da sucção de fumaça em cada caixa, para a qual se dá o nome de *downstream*. Veja exemplo da Figura 4.



Figura 4. Medição da sucção nas caixas de fumaça.

Estes parâmetros são importantes para saber-se o grau de disparidade entre as quantidades de gás inseridas em cada parede e posteriormente succionadas sob a forma de fumaça de cada uma delas. Grandes desvios podem significar queimas diferentes em cada parede e, conseqüentemente, condições de coqueificação diversas entre fornos.

Algumas medições de temperatura são coletadas durante as inspeções de campo, dentre elas, curvas Cross Wall de cada parede, temperaturas medidas nas câmaras de controle da bateria e temperaturas nas câmaras extremas.

Em relação às pressões no interior dos fornos, sabe-se que ao longo da coqueificação a pressão varia sendo elevada em seu início, por conta da grande formação de gases, e diminui com tempo até o final da coqueificação, quando o volume de gás gerado é baixo. De modo a verificar esse comportamento, algumas portas de fornos são preparadas com um dispositivo de tomada de pressão na sua base de modo que a pressão seja acompanhada durante toda a coqueificação. Atenção especial é dada à fase final, quando podem ser observadas pressões negativas que indicam entrada de ar falso no interior do forno, que contribuem para a queima parcial do coque, menor rendimento do processo e desgaste localizado da parede refratária.

2.5 Recomendações de Curto, Médio e Longo Prazo

Juntamente às inspeções visuais relatadas anteriormente, são coletadas informações a respeito das rotinas de operação, preservação e manutenção. Tendo em vista as condições encontradas nos equipamentos da Coqueria, são feitas recomendações de curto, médio e longo prazo visando a conservação e prolongamento da vida útil do equipamento.

Em geral, os seguintes cenários são avaliados:

1. Às práticas de rotina executadas pela equipe de preservação que não são consideradas adequadas, a recomendação é suspender as ações e novos procedimentos são propostos pela Paul Wurth;
2. Às práticas de rotina executadas pela equipe de preservação que são consideradas adequadas, a recomendação é sua continuação. Novos procedimentos específicos podem ser agregados à rotina;
3. Práticas que porventura não estejam sendo adotadas, mas que devem ser implementadas, são sugeridas e devem ser incorporadas pela equipe de preservação.

Situações emergenciais encontradas nas inspeções requerem tomadas de ação mais imediatas. Para elas, são feitas recomendações de curto prazo. Exemplos práticos podem ser de danos refratários de alta criticidade que devem ser tratados a fim de se evitar reparos mais invasivos.

Situações de implementação de práticas de preservação e rotina e pontos verificação constante requerem tomadas de ação de médio prazo.

As possibilidades de melhoria de processo e tecnologia entram como oportunidades de investimento e são recomendadas como ações de longo prazo. Também entram nesta categoria anormalidades não graves, mas que requerem acompanhamento sob a rotina de preservação.

2.6 Estimativa da Idade Aparente das Baterias

A determinação do momento de fim da vida útil de uma Bateria de Coque é uma tarefa difícil, pois o grau de degradação depende de fatores como condições operacionais, preservação e de manutenção.

Entretanto, a análise de alguns parâmetros permite avaliar a situação atual em que a Bateria se encontra e compará-la aos dados históricos de outras Baterias com

mesma idade. Os fatores de correção numéricos gerados auxiliam na estimativa da idade aparente em relação à idade real da Bateria, a partir da qual se podem estabelecer medidas de preservação, manutenções preventivas e corretivas, visando o prolongamento da vida útil.

Os parâmetros a seguir fazem parte dos principais sistemas de controle operacional da Bateria e são avaliados a partir dos dados coletados durante a Diagnose:

1. Desvio de temperatura das câmaras de combustão – importante na avaliação do sistema de aquecimento determinando-se o desvio da distribuição da temperatura atual em relação à distribuição desejada. A análise é feita tomando-se as temperaturas de cada câmara pela medição Cross Wall.
2. Vazamentos de gás cru dos fornos para as câmaras de combustão – visa à avaliação da estanqueidade dos fornos através da inspeção visual de vazamentos de gás cru observados nas câmaras de combustão. É importante que todas as câmaras de combustão de todas as paredes sejam inspecionadas imediatamente após o carregamento do forno adjacente, estando o forno em regime de baixa pressão de injeção de licor amoniacal.
3. Expansão transversal do conjunto refratário – é um indicador do grau de degradação em relação à dilatação do conjunto refratário e afrouxamento das juntas dos tijolos. São utilizadas medições topográficas dos bucsktays em diferentes alturas.
4. Danos às partes refratárias dos fornos – são considerados os danos observados durante a inspeção visual da condição de conservação da alvenaria refratária de todos os fornos, identificando trincas, deformações, condição das juntas, lascamentos, abaulamento, etc.

Os índices encontrados para cada um dos parâmetros acima são inseridos em uma base de dados que fornece os fatores de correção da idade aparente.

O papel desses fatores é, principalmente, direcionar os esforços de manutenção, preservação e operação de modo a mitigar os impactos dos parâmetros que apresentarem desvios desfavoráveis.

Uma vez determinados os fatores de desvio de temperatura, vazamentos de gás cru, expansão transversal e danos às partes refratárias, os mesmos podem ser combinados fornecendo uma estimativa da idade global da Bateria através da soma desses fatores.

Na Tabela 1 são apresentados exemplos genéricos de estimativa da idade aparente para duas Baterias, mas passíveis de ocorrência na prática.

Os fatores positivos significam um acréscimo sobre a idade real da Bateria, aparentando-se mais desgastada em determinado quesito. Os fatores negativos significam um decréscimo sobre a idade real, logo a Bateria apresenta-se mais conservada em determinado quesito.

Tabela 1. Avaliação Global da Estimativa da Idade Aparente das Baterias

Parâmetros (em anos)	Bateria #1	Bateria #2
Idade atual da Bateria	30	32
Desvio de temperatura das câmaras de combustão	-1	+3
Vazamentos de gás cru dos fornos para as câmaras de combustão	-1	+2
Expansão transversal do conjunto refratário	+5	-1
Danos às partes refratárias dos fornos	+3	-1
Idade aparente da Bateria	36	35

Para a Bateria #1, observa-se que os parâmetros medidos para a expansão transversal e danos refratários apresentam fatores de correção de aumento da idade aparente da Bateria, indicando que a mesma se mostra mais desgastada nestes quesitos do que o esperado para a sua idade real.

Dessa forma, os esforços de manutenção, preservação e operação devem ser voltados para um controle maior sobre o sistema de ancoragem da Bateria, através de inspeções mais frequentes dos tirantes, medições e ajustes nas molas, e também sobre a parte refratária dos fornos, através da aplicação de soldas cerâmicas, gunning, rejuntamentos, ou mesmo execução de reparos a quente em cabeceiras, de modo a fechar aberturas de juntas e trincas.

Para a Bateria #2, os parâmetros de desvio de temperatura e vazamentos de gás cru são os que resultam em fatores de correção para a idade aparente mais elevada do que a real.

Dessa forma, os esforços de manutenção, preservação e operação devem ser voltados para a correção dos pontos de vazamento de gás cru pode ser feita através da aplicação de dry-sealing e solda cerâmica sobre microtrincas, trincas e demais aberturas, as quais têm relação direta com os desvios de temperatura encontrados. Adicionalmente, desvios de temperatura podem ser corrigidos ou minimizados através de ajustes dos regimes térmico e de pressões do sistema de combustão das paredes, ou seja, por meio de serviço de parametrização da Bateria.

Este método de estimativa da idade real de desgaste das estruturas da Bateria é de alta importância para os níveis gerenciais das usinas, pois esta é uma informação utilizada para o planejamento de investimentos de maior porte, tais como reformas a quente e aquisição de novas Baterias.

3 CONCLUSÃO

Conclui-se que a metodologia de Diagnose adotada pela Paul Wurth cobre de maneira bastante ampla as diversas estruturas e componentes existentes das Baterias de Coque e Máquinas Móveis.

A Diagnose é uma técnica recomendada às plantas de Coqueria de modo a certificar-se da situação atual em que os equipamentos se encontram e para que as ações de manutenção, preservação e operação sejam estabelecidas.

A Diagnose é uma prática que deve ser repetida com periodicidade definida, de modo a atualizar as condições dos equipamentos, verificar o efeito das ações tomadas pelas equipes e propor novas recomendações visando a extensão da vida útil das Baterias. É importante que o mesmo método utilizado seja repetido nas várias Diagnoses para que o referencial das ações seja o mesmo. Conforme a Bateria vai se aproximando do fim de sua vida útil, recomenda-se a intensificação da frequência de Diagnoses.

A estimativa da idade aparente é uma informação importante e estratégica para as usinas e o grupo gestor, pois permite o planejamento de investimentos de maior porte, desde reformas a quente até a aquisição de novas Baterias.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Paul Wurth que tem permitido executar as práticas de Diagnose de Baterias de Coque e Máquinas Móveis em seus clientes. Com essa experiência tem-se conseguido aprimorar a metodologia de Diagnose, além de atender à expectativa das equipes de Coqueria nas plantas onde se teve a oportunidade de aplicá-la.

REFERÊNCIAS

- 1 Silva Júnior, H. R., Oliveira, A.M., Rodrigues, I. A. Diagnose: Uma Técnica Eficaz para Monitoração e Prolongamento da Vida Útil de Baterias de Coque. XXX Seminário de Redução de Minério de Ferro da ABM. Belo Horizonte, Minas Gerais, 29 Nov. a 01 Dez. 1999.