

ALTERAÇÃO DO MATERIAL DO AGITADOR DA PAINELA DE SEPARAÇÃO DA ESCÓRIA DO FORNO DE FUNDIÇÃO DE CHUMBO

Rosana Felsner¹
Sérgio Luis Marquezi²
José Carlos Azzolini³

RESUMO

Atualmente, todas as empresas buscam reduzir custos e, qualquer processo, máquina ou equipamento que gere gastos desnecessários passa a ser alvo de estudos para alteração ou realocação. O objetivo principal com este trabalho foi evidenciar a alteração do material do agitador de um forno de fundição de chumbo, elemento de máquina altamente custoso em razão do elevado índice de quebra, considerando custo *versus* benefício. Neste estudo teve-se embasamento teórico em diversos autores, entre eles: Vicente Gentil, Antônio Luiz V. da Costa Silva, Ramon S. Cortéz Paredes, William D. Callister Junior e Norman Araújo Papst. É importante ressaltar que foram realizados testes em alguns materiais, abrangendo testes práticos e ensaios laboratoriais de microscopia. Durante o trabalho, constatou-se que o fator que mais afeta a troca constante desse agitador é a ação dos elementos químicos que entram em contato direto com o elemento de máquina em questão. Ocorre no material corrosão galvânica entre o chumbo e o ferro, metal base do aço, em que o chumbo, por ser mais nobre, rouba os elétrons do ferro, metal menos nobre, criando basicamente uma pilha galvânica, com troca de elétrons entre dois metais dissimilares. Ocorre também corrosão gráfitica sendo caracterizada pela dissolução seletiva do ferro, resultando na área atacada da liga. Os resultados levaram à conclusão de que para essas condições de trabalho não se pode aplicar nenhum tipo de metal menos nobre que o chumbo, logo, aplicou-se um revestimento cerâmico, e este, por sinal, alcançou alto desempenho demonstrando ser eficiente para o trabalho que foi empregado.

Palavras-chave: Agitador. Corrosão. Revestimento cerâmico.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, o potencial produtivo das indústrias de fundição tem sido alavancado pelo crescimento da indústria de componentes automotivos; aliado a isso, a oferta demasiada de produtos ao mercado consumidor por meio de oferta de créditos e condições de pagamento acessíveis trouxe um aumento significativo da demanda, obrigando as indústrias a produzirem em larga escala.

As empresas que figuram nesse quadro trabalham em limite máximo de produção, utilizando todo o potencial produtivo de suas máquinas. Além disso, também trabalham com melhoria contínua em seus processos, seja para reduzir os custos operacionais, para atingir as metas de produção. Em ambas as situações não é aceitável a falha de qualquer equipamento. Nessas situações, é importante detectar qual é o elemento de máquina com maior taxa de falha, podendo, assim, tomar as medidas cabíveis para a situação. Portanto, verificou-se que o agitador é o elemento que mais trazia problema nesse sentido, e realizou-se um trabalho de análise de materiais, propondo um novo material para esse elemento, visando principalmente à diminuição do número de paradas de produção, impactando principalmente a redução de custos.

Cabe mencionar que o objetivo principal com o presente trabalho foi a alteração do material do agitador do forno de fundição de chumbo, considerando custo *versus* benefício.

¹ Graduanda do Curso de Engenharia de Produção Mecânica da Universidade do Oeste de Santa Catarina de Joaçaba; rosanafelsner@hotmail.com

² Professor orientador do Curso de Engenharia de Produção Mecânica da Universidade do Oeste de Santa Catarina de Joaçaba; sergio.marquezi@unoesc.edu.br

³ Professor do Curso de Engenharia de Produção Mecânica da Universidade do Oeste de Santa Catarina de Joaçaba; jose.azzolini@unoesc.edu.br

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 AGITADOR

Segundo McCabe, Smith e Harriot (1993, p. 79), o termo agitação se refere ao deslocamento induzido da matéria em trajetórias específicas, geralmente em movimentos circulares. A mistura é caracterizada por uma distribuição aleatória de uma substância em outra, inicialmente separadas em duas fases.

O movimento do fluido ou padrão de fluxo, em um tanque agitado, depende do tipo de rotor selecionado, das características do fluido, do tamanho e das proporções do tanque, dos inibidores de vórtices e do agitador. “Em casos típicos de agitação com eixos verticais, as componentes radiais e tangenciais são planas enquanto a componente longitudinal é vertical. As componentes radiais e longitudinais são as principais responsáveis pela mistura.” (McCABE; SMITH; HARRIOT, 1993, p. 85).

2.2 CORROSÃO

Corrosão é a deteriorização de um material por ação química ou eletroquímica e ocorre geralmente em materiais metálicos.

Segundo Gemelli (2001, p. 5), “[...] a corrosão é uma reação de interface irreversível em que ocorrem reações de oxidação e de redução entre o metal e um agente oxidante.” Ainda, Gentil (2003, p. 1) ressalta que “[...] a corrosão é um processo espontâneo e está constantemente transformando os materiais metálicos de modo que a durabilidade e o desempenho dos mesmos deixem de satisfazer os fins que se destinam.”

Uma reação de corrosão implica na transferência de elétrons entre um elemento químico do material e outro do meio. Essa transferência de elétrons pode ocorrer através de um mecanismo químico, chamado corrosão química, ou através de um mecanismo eletroquímico, chamado corrosão eletroquímica. (GEMELLI, 2001, p. 1).

Os meios corrosivos dividem-se basicamente em atmosfera, águas naturais, solo e produtos químicos. Em meio químico, devem-se considerar duas possibilidades: deteriorização do material metálico do equipamento e contaminação do produto químico. São diversos fatores que influenciam, entre eles, a pureza do metal, o contato de metais dissimilares, a natureza da superfície metálica, a pureza do produto químico, a concentração, a temperatura e a aeração (GENTIL, 2003, p. 65).

No meio químico existe a corrosão galvânica que, conforme Gentil (2003, p. 80), “[...] resulta do acoplamento de materiais metálicos dissimilares imersos em um eletrólito, causando uma transferência de carga elétrica de um para o outro, por terem potenciais elétricos diferentes.”

Quando materiais metálicos de potenciais elétricos diversos estão em contato, a corrosão do material metálico que funciona como anodo é muito mais acentuada que a corrosão isolada desse material sob a ação do mesmo meio corrosivo. A corrosão do material que funciona como catodo é muito baixa e acentuadamente menor que a que ocorre quando o material sofre corrosão isolada. (GENTIL, 2003, p. 80).

Um exemplo de quantos miligramas são corroídos quando colocados em contato dois metais dissimilares é o ferro em contato com o chumbo; este corrói 3,6 miligramas e o ferro 183,2 miligramas, assim como o ferro em contato com o tungstênio, em que o ferro corrói 176 miligramas e o tungstênio 5,2 miligramas.

Outros exemplos de metais de referência são o aço e o ferro fundido que, com chumbo como metal de contato, sofrem aumento considerável pela ligação.

2.3 AÇOS

Para Chiaverini (2008, p. 22), “Aço é a liga ferro-carbono contendo geralmente 0,008% até aproximadamente 2,11% de carbono, além de certos elementos residuais, resultantes do processo de fabricação.”

Na categoria de aços de alto teor de liga, encontram-se os aços inoxidáveis. São considerados aços inoxidáveis aqueles que possuem altos teores de cromo, resultando em uma alta resistência à corrosão e à oxidação. Conforme Silva e Mei (2010, p. 407), “[...] aços com teores de cromo superiores a 12% têm grande resistência à oxidação e são comumente designados como aços inoxidáveis.” Os aços inoxidáveis são divididos em subgrupos de acordo com a microestrutura apresentada em temperatura ambiente. Podem-se citar três categorias: martensíticos, ferríticos e austeníticos.

2.4 FERRO FUNDIDO BRANCO

Segundo Chiaverini (2008, p. 494), “[...] é caracterizado por apresentar ainda como elementos de liga fundamentais o carbono e o silício, mas cuja estrutura, devido às condições de fabricação e menor teor de silício, apresenta o carbono quase inteiramente em forma combinada (Fe_3C).” Este ferro tem grande resistência ao desgaste e à abrasão, além de elevada dureza que se mantém mesmo em temperaturas elevadas. Porém, os ferros fundidos brancos são frágeis e não apresentam resistência ao impacto.

2.5 REVESTIMENTOS CERÂMICOS

2.5.1 Não ferrosos

De acordo com Paredes (2009, p. 84), os materiais não ferrosos são assim classificados por não apresentarem ferro em sua composição ou que tenham seu teor muito baixo, como o cobre e suas ligas, o alumínio e o zinco, por exemplo.

2.5.1 Materiais para proteção contra corrosão

Paredes (2009, p. 84) cita que o alumínio tem boa afinidade com o ferro e, mesmo na temperatura ambiente, ocorre uma difusão entre eles. A velocidade de difusão aumenta com a temperatura e, de 650 a 660 °C, rapidamente, forma-se uma zona de difusão do alumínio; dependendo do tempo, a essa temperatura, é possível a formação de intermetálicos FeAl. Essas ligas são mais duras que o aço e também bastante resistentes à corrosão, uma vez que, mesmo com o teor de 5% de Al na liga, ainda permanece a capacidade de formação de óxido de alumínio, responsável pela resistência à corrosão.

2.5.1.2 Metais especiais

O níquel e o molibdênio são também disponíveis para a aspersão térmica; o níquel é empregado principalmente por suas propriedades de resistência à corrosão, e o molibdênio, por suas características autolubrificantes (PAPST, [19--], p. 54).

2.5.2 Cermets

Paredes (2009, p. 85) menciona que os cermets são constituídos por uma mistura de cerâmicas com ligas metálicas e seu revestimento é formado pelas melhores propriedades de seus componentes. Com depósitos mais densos, são bastante resistentes à abrasão e com menor sensibilidade a choques mecânicos do que as cerâmicas puras. Como barreira térmica apresentam bons resultados, mas não alcançam os resultados obtidos com materiais cerâmicos.

3 METODOLOGIA

No presente trabalho aborda-se o tipo de corrosão causada pelo contato entre o meio de imersão e o equipamento imerso e, mediante isso, apresenta-se a alteração do material do agitador. Com base na fundamentação teórica foram escolhidos os seguintes materiais:

- a) ferro fundido branco;
- b) aço inoxidável martensítico ASTM A743 CA-6NM;
- c) aço inoxidável austenítico AISI 304;
- d) revestimento cerâmico de cromo duro, tungstênio e molibdênio.

Para os três primeiros materiais foram realizados testes práticos em forno de teste, simulando a situação de trabalho real do agitador e a análise visual e microscópica antes e depois do ataque corrosivo. Já o revestimento cerâmico foi aplicado diretamente no elemento de máquina em estudo e testado no forno de fusão, sendo evidenciada a situação por meio de fotos; para esse material foi realizada uma análise microscópica para a comprovação da aplicação do revestimento.

3.1 METODOLOGIA PARA A REALIZAÇÃO DOS TESTES

3.1.1 Preparação dos corpos de prova

Para os corpos de prova ocorreu uma pré-seleção em razão de suas características, já descritas na fundamentação teórica. Os corpos de prova passaram inicialmente por um processo de lixamento e polimento para facilitar a visualização do ataque corrosivo.

Para o agitador em teste foi realizada a aplicação do revestimento cerâmico por uma empresa qualificada para a prestação desse serviço. O revestimento de 3Cr2W1Mo foi aplicado pelo processo de aspersão térmica em uma temperatura de 950 °C.

3.1.2 Teste prático em forno de teste

Simulando o ambiente real de trabalho do agitador, utilizou-se um forno de testes no qual foram submetidos os corpos de prova de ferro fundido branco, aço inoxidável austenítico e aço inoxidável martensítico. Esse forno tem isolamento com tijolos refratários. Para a realização dos testes, os corpos de prova ficaram imersos no chumbo por 30 minutos e foram retirados por mais 30 minutos. Esse procedimento repetiu-se por duas vezes para cada corpo de prova, totalizando duas horas de teste para cada material.

3.1.3 Teste prático no forno de fundição

O agitador com revestimento cerâmico foi testado diretamente no forno de fundição de chumbo. O ciclo de trabalho do agitador é uma hora, desse total, 30 minutos fica imerso no chumbo e 30 minutos fica fora do material fundido. Durante todo o período de realização do teste foi feito acompanhamento semanal das condições físicas do elemento de máquina, principalmente da redução de seção transversal.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 FERRO FUNDIDO BRANCO

4.1.1 Análise visual

Na Fotografia 1, percebe-se que na primeira ilustração (à esquerda) o corpo de prova está com sua superfície lisa e sem nenhum tipo de ataque corrosivo; já na segunda imagem (à direita), é apresentada a corrosão causada no material. É visível, mesmo com esse simples ensaio, que ocorreu grande retirada de material em praticamente toda a superfície, alcançando proporções de corrosão generalizada.

Fotografia 1 – Análise visual do ferro fundido branco

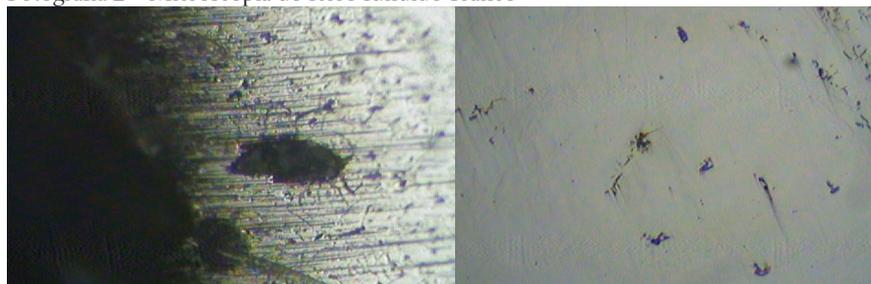


Fonte: os autores.

4.1.2 Análise microscópica

A Fotografia 2 apresenta a visualização microscópica do corpo de prova antes e depois do teste prático. Na primeira ilustração (à esquerda), constata-se a característica do ferro fundido branco visualizado em microscópio com aumento de 100 vezes antes da corrosão e, na segunda ilustração (à direita), verifica-se a visualização microscópica das bordas do material de teste. Percebe-se que em sua região periférica ocorreu muita corrosão e até deterioração do material. Todo o corpo de prova apresentou corrosão.

Fotografia 2 – Microscopia do ferro fundido branco



Fonte: os autores.

4.2 AÇO INOXIDÁVEL MARTENSÍTICO

4.2.1 Análise visual

A Fotografia 3 apresenta o corpo de prova de aço inoxidável martensítico antes e depois do teste prático. Na primeira ilustração (à esquerda), apresenta-se o corpo de prova antes do teste prático, verifica-se que não há nenhum tipo de corrosão nem de oxidação no material. Na segunda ilustração (à direita), apresenta-se o corpo de prova após o teste prático, percebe-se que visualmente não apresentou nenhum indício de corrosão. O aço inoxidável possui uma camada

de óxido (camada passiva) resistente e que muda completamente as reações em sua superfície; ainda assim se nota a geração de uma pequena camada de óxido e de chumbo acinzentado em sua superfície, resultante do processo industrial.

Fotografia 3 – Análise visual do aço inoxidável martensítico

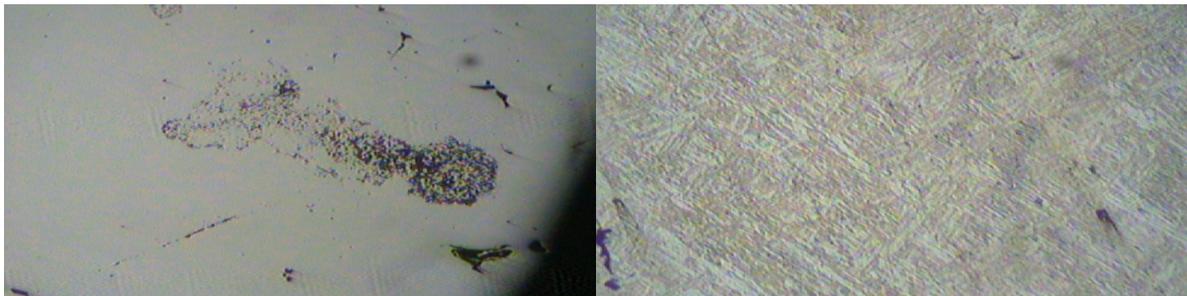


Fonte: os autores.

4.2.2 Análise microscópica

A Fotografia 4 exibe a visualização microscópica do corpo de prova antes e depois do teste prático. Na primeira ilustração (à esquerda), certifica-se a característica do aço inoxidável martensítico visualizado em microscópio com aumento de 100 vezes antes da corrosão e, na segunda ilustração (à direita), verifica-se a visualização microscópica do corpo de prova após o teste prático. Nessa análise encontrou-se um único ponto de corrosão em todo o material apresentando configurações de corrosão alveolar.

Fotografia 4 – Análise microscópica do aço inoxidável martensítico



Fonte: os autores.

4.3 AÇO INOXIDÁVEL AUSTENÍTICO

4.3.1 Análise visual

A Fotografia 5 mostra o corpo de prova de aço inoxidável austenítico antes e depois do teste prático. Na primeira ilustração (à esquerda), apresenta-se o corpo de prova antes do teste prático e, na segunda ilustração (à direita), apresenta-se o corpo de prova após o teste prático; aparentemente o material não sofreu corrosão, ocorrendo somente o depósito de chumbo e de incrustações sobre sua superfície.

Fotografia 5 – Análise visual do aço inoxidável austenítico



Fonte: os autores.

4.3.2 Análise microscópica

A Fotografia 6 apresenta a visualização microscópica do corpo de prova antes e depois do teste prático. Na primeira ilustração (à esquerda), verifica-se a característica do aço inoxidável austenítico visualizado em microscópio com aumento de 100 vezes antes do teste prático e, na segunda ilustração (à direita), observa-se a visualização microscópica do corpo de prova após o teste prático. Nessa análise, comprova-se que ocorreu pouca corrosão, sendo esta muito concentrada nas periferias do corpo de prova.

Fotografia 6 – Análise microscópica do aço inoxidável austenítico



Fonte: os autores.

4.4 REVESTIMENTO CERÂMICO

4.4.1 Análise visual

A Fotografia 7 exhibe o agitador, elemento de máquina objeto deste estudo, antes e durante o teste prático. Na primeira ilustração (à esquerda), visualiza-se o agitador revestido com revestimento de cromo duro, tungstênio e moliibdênio antes de ser instalado na panela do forno de fundição. Na segunda ilustração (à direita), demonstra-se o agitador em trabalho, verificando que não foi detectada diminuição da seção transversal do eixo, nem pontos de corrosão visíveis a olho nu. Como o elemento de máquina ainda não rompeu, não foi realizada a análise microscópica do material, sendo realizada somente uma análise microscópica do revestimento aplicado.

Fotografia 7 – Análise visual do revestimento cerâmico



Fonte: os autores.

4.4.2 Análise microscópica

A Fotografia 8 apresenta a visualização microscópica do revestimento cerâmico aplicado no agitador. Com essa Fotografia comprova-se que houve a aplicação da camada de revestimento no elemento de máquina.

Fotografia 8 – Análise microscópica do revestimento cerâmico



Fonte: Metalúrgica Hoffmann (2014).

5 CONCLUSÃO

Por intermédio dos breves testes realizados, percebeu-se que todos os materiais metálicos foram corroídos, alguns mais, outros menos. Desse modo, pôde-se analisar o tipo de corrosão causada. Chegou-se à conclusão de que ocorre corrosão galvânica, na qual o chumbo, por ser mais nobre, rouba elétrons do ferro, metal menos nobre. Tem-se também a presença da corrosão gráfitica, muito comum em ferros-carbono, em que o ferro é retirado do material deixando uma matriz gráfitica ao metal.

Com essas constatações, foi necessário partir para um material com resistência a esses dois tipos de corrosão, além de resistência a temperaturas elevadas. Para tanto, em decorrência das configurações do ataque, não é possível utilizar qualquer metal menos nobre que o chumbo e nem materiais que não tenham resistência à corrosão gráfitica. Com isso, testou-se o revestimento de cromo duro, tungstênio e molibdênio.

O revestimento, até esse momento, não sofreu ataque corrosivo, logo, não pôde ser realizada a análise microscópica dele. Atingiram, até o término do trabalho, 7.500 toneladas produzidas em comparação com a situação anterior na qual se produziam aproximadamente 1.350 toneladas entre cada troca; avaliando comparativamente, seu resultado é satisfatório.

Ao findar a vida útil do elemento de máquina, é de grande valia realizar uma análise microscópica para a comprovação dos dados e, posteriormente, criar um procedimento para a implantação permanente do novo material para o agitador.

Alteration of lead casting oven sling separation panel shaker material

Abstract

Currently all the companies seek for lower cost and any process, machine or equipment that generate unnecessary spending become a learning target for shift or reallocation. The main goal in this work is to point out the material changing of the beater lead smelter, a very expensive component from the machine due to the high braking rate, aiming cost versus benefits. The authors that theoretically formed the basis this study were: Vicente Gentil, Antônio Luiz V. da Costa Silva, Ramon S. Cortéz Paredes, William D. Callister Junior e Norman Araújo Papst. It is important to point out that tests has been made with some materials, comprising practical tests and laboratory trials of microscopy. It has been realized over the work, the fact that mostly affect the constantly chance of that beater is the chemical elements action that gets in direct contact with the machine element. A galvanic corrosion occurs in the material between lead and iron, the basic metal of steel, where the lead, for been more noble, steals the electrons from the iron, metal less noble, creating basically a galvanic stack, with an electrons changing between the dissimilar metal. Also occurs graphitic corrosion being characterized by selective dissolution of iron, resulting on the attacked bind area. The results lead to the conclusion that those work conditions can not be applied to any type of metal less noble than lead, and than applied an ceramic revetment, and this, reached a great performance, showing its efficiency to the work for what it has been employed.

Keywords: Beater. Corrosion. Ceramic revetment.

REFERÊNCIAS

CALLISTER JUNIOR, W. D. **Ciência e Engenharia de Materiais**: uma introdução. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008. 724 p.

CHIAVERINI, V. **Aços e Ferros Fundidos**. 7. ed. rev. e ampl. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2008. 599 p.

GEMELLI, E. **Corrosão de materiais metálicos e sua caracterização**. Rio de Janeiro: LTC, 2001. 183 p.

GENTIL, V. **Corrosão**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003. 341 p.

McCABE, W. L.; SMITH, J. C.; HARRIOT, P. **Unit Operations of Chemical Engineering**. 5. ed. Nova Iorque: McGraw-Hill, 1993. 1114 p.

METALÚRGICA HOFFMANN. **Laudo de ensaio de micrografia de aplicação de revestimento**. São Paulo: [s.n], 2014.

PAPST, N. A. **Aspersão Térmica – Metalização**. [S.l.]: Associação Brasileira de Soldagem, [19--].

PAREDES, R. S. C. **Aspersão Térmica**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2009. Apostila. Disponível em: <<ftp://200.17.228.88/disciplinas/TM734/AT%20P%F3s%202013/Apostila%20Aspers%E3o%20T%E9rmica%202009.pdf>>. Acesso em: 09 out. 2013.

SILVA, A. L. V. da C.; MEI, P. R. **Aços e Ligas Especiais**. 3. ed. rev. e ampl. São Paulo: Blucher, 2010. 664 p.

