

A ASPERSÃO TÉRMICA APLICA EM CILINDROS HIDRÁULICOS COMO TÉCNICA PARA AUMENTAR A DISPONIBILIDADE MECÂNICA E REDUZIR CUSTOS DE MANUTENÇÃO

Leonardo Correia de Oliveira¹

Emerson Carlos Assunção Sanches²

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo de caso com a viabilidade econômica do revestimento por aspersão térmica em substituição à tradicional técnica de cromo duro utilizado para revestimento e recuperação nas hastes dos cilindros hidráulicos de caminhões do tipo fora de estrada utilizados nas indústrias de mineração. Os cilindros hidráulicos são atuadores responsáveis por transformar a potência gerada por bombas hidráulicas em movimento linear, onde neste caso, fazem a abertura e fechamento do basculante dos caminhões fora de estrada carregados com minério. As hastes destes cilindros sofrem um desgaste bastante acentuado pelo processo de abrasão e corrosão. O Estudo foi realizado numa indústria de mineração localizado na cidade de Simões Filho – BA, no processo de transporte com caminhões do minério extraído na mina até à planta de britagem. Foi realizado o levantamento das ocorrências de falha dos cilindros hidráulicos dos caminhões fora de estrada e executado serviços de revestimento das hastes destes cilindros utilizando as duas técnicas de revestimento mencionadas acima e realizado o acompanhamento do custo benefício de cada técnica.

Palavras-chave: Aspersão Térmica, Cromo Duro, Cilindros Hidráulicos, Manutenção, Abrasão, Corrosão.

¹ Engenheiro Mecânico formado pela Universidade Federal da Bahia – atuando como Engenheiro de manutenção em Indústria de Mineração. e-mail: lleocorreia@gmail.com

² MSc em Mecatrônica do Centro Universitário Senai Cimatec. E-mail: eng_spec@terra.com.br

1 INTRODUÇÃO

O objetivo de estudo deste trabalho é a análise do custo / benefício da aplicação da técnica denominada aspersão térmica em hastes de cilindros hidráulicos de equipamentos pesados utilizados nas indústrias de mineração. Estes cilindros hidráulicos são responsáveis em fazer a abertura e fechamento do basculante do caminhão, permitindo descarregar o material que é transportado da mina até à unidade de produção. As hastes destes cilindros passam por constante desgaste por abrasão devido ao movimento de abertura e fechamento e do contato das hastes com as vedações e desgaste por corrosão devido à ação do tempo e exposição ao ambiente, então serão apresentadas alternativas para o processo de recuperação destas peças, que precisam constantemente passar por intervenções de manutenção para restabelecer suas configurações dimensionais e seu acabamento superficial.

Às constantes falhas nestes componentes acarretam em muitas intervenções mecânicas, elevado os índices de manutenção corretiva, de indisponibilidade mecânica e do número de falha dos equipamentos, assim como, elevando o custo de manutenção com reparos e peças de reposição, acarretando no aumento do custo geral de fabricação do produto.

2 A ASPERSÃO TÉRMICA

A aspersão térmica utilizada na manutenção tem como finalidade, aumentar a vida útil e a disponibilidade de peças mecânicas, onde consiste de um grupo de processos de revestimento de superfícies, onde materiais metálicos, óxidos, carbonetos, compósitos, entre outros, são depositados em uma condição fundida ou semifundida sobre um substrato previamente preparado, formando um depósito aspergido e assim melhorando suas propriedades mecânicas, como resistência a corrosão, abrasão, oxidação, erosão, resistência térmica e elétrica, ou propriedades combinadas. (LIMA; TREVISAN, 2007).

A utilização da técnica de aspersão térmica reduz a possibilidade do equipamento ou processo falhar durante a sua operação, ou seja, busca-se o aumento da confiabilidade, que segundo Allan Kardec (1999) é a probabilidade que um item possa desempenhar sua função requerida, por um intervalo de tempo estabelecido, sob condições definidas de operação.

Os substratos mais utilizados são os metálicos, mas é possível também fazer deposições sobre substratos cerâmicos, madeira e plásticos. A natureza do processo de aspersão é sinérgica, ou seja, existem diversas variáveis e componentes envolvidos que, quando atuando juntos e devidamente aplicados, produzem um efeito maior do que se considerados individualmente (CASTOLINE, CATÁLOGO DE ASPERSÃO TÉRMICA, 2011). O material de revestimento pode estar na forma de pó, vareta, cordão ou arame. Na Figura 01 está apresentado um esquema de aspersão térmica.

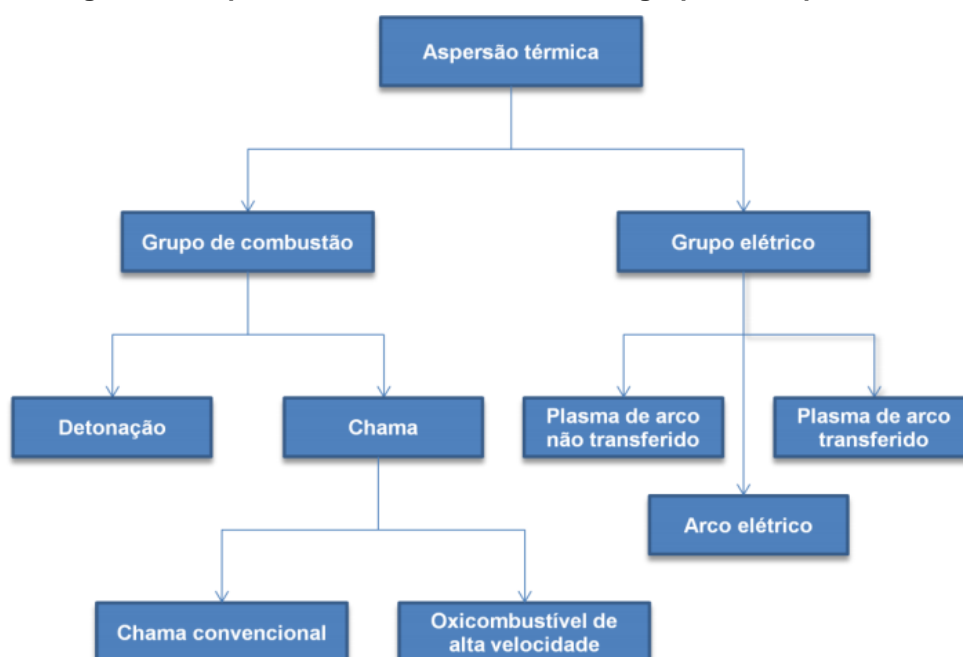
Figura 1 - Desenho esquemático de um processo de aspersão térmica



Fonte: RIJEZA METALURGICA, Catálogo de Aspersão Térmica (2018)

Os processos de aspersão térmica são classificados de acordo com o método de geração de calor em dois grupos básicos (AMERICAN WELDING SOCIETY, USA, 1993), conforme mostrado abaixo na Figura 2, onde é possível observar os dois grandes grupos e suas respectivas subdivisões.

Figura 2 - Esquema com subdivisão dos dois grupos da aspersão térmica

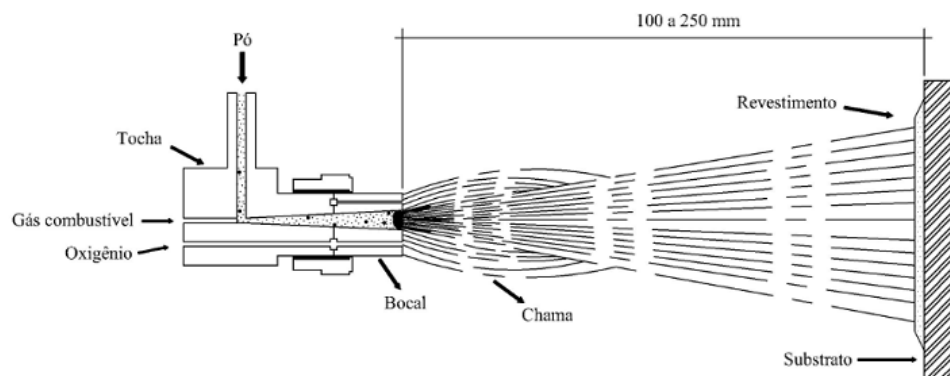


Fonte: AMERICAN WELDING SOCIETY, USA (1993)

O processo mais utilizado é a combustão por chama convencional onde é utilizada a energia de combustão de um gás combustível em oxigênio como fonte de aquecimento para fundir o material de revestimento. Quando utiliza pó como consumível, o método é chamado de aspersão por chama a pó (*Flame Powder Spray*) e no caso de o consumível estar na forma de arame, é denominado por chama de arame conhecida nos Estados Unidos como *Wire Flame Spraying* (LIMA; TREVISAN, 2007).

Abaixo na Figura 3, é apresentado um esquema de funcionamento de uma tocha de aspersão térmica utilizando pó como material de alimentação, onde a temperatura da chama pode variar de 2700 a 3100 °C e a velocidade entre 80 a 100 m/s.

Figura 3 - Esquema de aspersão térmica por chama de pós



FONTE: CASCA DURA, Manual de Aspersão Térmica (2018)

Na Figura 4 logo abaixo é possível observar uma tocha de aspersão por chama de arame, onde é semelhante à chama de pó, porém com utilização de material de adição que pode ser na forma de arame, vareta ou cordão.

Figura 4 - Tocha de aspersão por chama de arame



FONTE: CASCA DURA, Manual de Aspersão Térmica (2018)

Devido às temperaturas utilizadas nos tratamentos térmicos, entre 1010 e 1175 °C o uso destes tipos de revestimentos é limitado a substratos que podem suportá-las. As temperaturas de fusão podem ainda alterar as propriedades obtidas por tratamento térmico de algumas ligas (LIMA; TREVISAN, 2007).

3 O CILINDRO HIDRÁULICO

O componente mecânico do estudo em questão consiste num atuador linear de dupla ação que tem a finalidade de movimentar partes móveis dos equipamentos pesados utilizados na indústria de mineração, como exemplo o basculante do caminhão fora de estrada. Possuem diferentes tamanhos, diâmetros e diversos estágios de trabalho, porém todos possuem forma cilíndrica e originalmente são revestidos com cromo duro, a fim de possibilitar um perfeito deslizamento entre as vedações devido ao baixo coeficiente de atrito, alta resistência ao desgaste por abrasão e corrosão.

O cilindro possui uma camisa fabricada de aço carbono e uma haste que originalmente é revestida com cromo duro, onde através da pressão hidráulica exercida no interior de sua camisa gerada por uma bomba, faz com que a haste se mova abrindo e fechando. As hastes dos cilindros são constantemente solicitadas, chegando a fazer movimentos repetitivos de até 2000 vezes num único turno de trabalho, sobre pressões de trabalho de até 200 Bar. Na Figura 5 é possível observar um dos modelos em estudo.

Figura 5 – Foto de cilindro utilizados no basculante do caminhão



FONTE: empresa em estudo (2017)

4 FALHA NOS CILINDROS HIDRÁULICOS

As hastes dos cilindros hidráulicos em estudo, por se tratar de componentes presentes em todos as máquinas pesadas utilizadas na indústria de mineração, chegam a representar quase 15% das intervenções mecânicas nestes equipamentos, assim como 20% dos gastos gerais de manutenção corretiva, qualquer redução dos índices de falha ou aumento do tempo médio de reparo destes componentes, representam ganhos significativos para a redução dos gastos de manutenção e a conseqüente redução dos custos de produção, o que impactaria na melhoria no resultado da empresa.

Os cilindros hidráulicos, que é formado por uma camisa, uma haste e um conjunto de vedações são submetidos à constantes movimentos repetitivos de abrir e fechar. Para que as hastes possam fazer o movimento de deslizar dentro das camisas, devem possuir uma superfície bastante lisa, com revestimento superficial resistente e elevada dureza a fim de não sofrer desgaste devido à abrasão e pela corrosão.

O desgaste por abrasão é gerado pelo atrito das hastes com as vedações. A corrosão surgiu na superfície das hastes devido ao contato do oxigênio e da água presente no ambiente com a superfície interna e externa das hastes dos cilindros, que tendem a ficar expostos após o desgaste dos revestimentos superficiais. Como as hastes são fabricados em aço carbono, normalmente Aço SAE 1045, após perderem parte de seus revestimentos superficiais, sofrem corrosão acentuada quando expostos no ambiente de trabalho.

Qualquer falha na superfície destas hastes é facilmente visível, pois normalmente apresentam vazamento do fluido hidráulico, riscos na sua superfície ou pits, que são pequenos furos gerados pela corrosão. Na Figura 6 mostra uma foto real de falha ocorrida na haste do cilindro hidráulico do basculante do caminhão.

Figura 6 – Haste de Cilindro com desgaste aparente



FONTE: empresa em estudo (2017)

O conjunto de vedação que compõe os cilindros hidráulicos tem a finalidade de manter o fluido hidráulico dentro do sistema, fluido esse que podem atingir pressões de até 200 Bar, logo há grande necessidade destas vedações possuir alta resistência mecânica e elevado poder de deslizamento nas superfícies de contato. Normalmente essas vedações são fabricadas com materiais plásticos, cerâmicos e ligas metálicas de cobre, zinco e aço inox.

4.1 - ANÁLISE DAS FALHAS OCORRIDAS

A partir de acompanhamento das falhas ocorridas e de dados coletados em campo, foi constatado que 85% das falhas ocorridas nas hastes dos cilindros hidráulicos eram desgaste por abrasão e outros 15% se dividiam em falhas no conjunto de vedação ou desgaste por corrosão. Logo o estudo foi direcionamento para a falha mais recorrente priorizando as falhas por abrasão sofrida nestes componentes, a fim de aumentar a disponibilidade mecânica e reduzir custos com manutenção corretiva nos caminhões fora de estrada.

Na Tabela 01 estão representados a disponibilidade mecânica dos caminhões fora de estrada, denominado na tabela abaixo como “FE”, para o ano de 2013, com a representação das falhas ocorridas durante este período:

Tabela 1 – Disponibilidade mecânica dos caminhões Ano 2013

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÉDIA
FE-01	69,00%	75,00%	62,00%	79,00%	80,00%	59,00%	60,00%	76,00%	63,00%	68,00%	71,00%	62,00%	68,67%
FE-02	61,00%	63,00%	78,00%	74,00%	58,00%	67,00%	80,00%	81,00%	86,00%	57,00%	65,00%	56,00%	68,83%
FE-03	79,00%	84,00%	61,00%	67,00%	58,00%	73,00%	65,00%	67,00%	94,00%	63,00%	55,00%	70,00%	69,67%
FE-04	93,00%	96,00%	82,00%	81,00%	90,00%	97,00%	90,00%	60,00%	89,00%	85,00%	78,00%	73,00%	84,50%
FE-05	61,00%	78,00%	58,00%	74,00%	58,00%	74,00%	91,00%	58,00%	80,00%	91,00%	67,00%	75,00%	72,08%
FE-06	91,00%	93,00%	95,00%	87,00%	97,00%	83,00%	82,00%	78,00%	91,00%	90,00%	87,00%	81,00%	87,92%

FONTE: empresa em estudo (2017)

4.2 – MEDIÇÃO DAS FALHAS NOS CILINDROS HIDRÁULICOS

Após a análise das diversas falhas ocorridas nos caminhões fora de estrada nos anos de 2013 a 2015, foi possível coletar o número de falhas ocorridas durante os anos em questão, assim como calcular o MTBF (tempo médio entre falhas) para as ocorrências em cilindros mecânicos e que

estavam relacionados ao desgaste por abrasão ou corrosão, conforme Tabela 2, o que implica na realização de serviços com terceiros, com serviços de usinagem, cromagem e brunimento nas hastes hidráulicas, o que acarreta em elevado tempo de parada do equipamento e eleva os custos com manutenção corretiva.

Tabela 2 - Tempo médio entre falhas de 2013 a 2015

NÚMERO DE FALHAS ANUAL EM CILINDROS DO BASCULANTE - CAMINHÃO FORA DE ESTRADA							
	FE-01	FE-02	FE-03	FE-04	FE-05	FE-06	TOTAL FALHA ANUAL
ANO 2013	1	2	1	0	2	2	8
ANO 2014	2	2	2	1	2	1	10
ANO 2015	2	1	1	2	1	1	8
MTBF (meses)	7,20	7,20	9,00	12,00	7,20	9,00	1,38

FONTE: empresa em estudo (2017)

Para o cálculo do MTBF citado na tabela acima, foi somado o número de meses do período em estudo e dividido pelo número de falhas do mesmo período em questão, encontrando então o tempo médio entre falhas em meses.

Para o cálculo do MTBF, como exemplo temos para o caminhão FE-01 citado acima, na tabela indica que houve 5 falhas entre os anos de 2013 a 2015, ou seja, 5 falhas em 36 meses, logo:

$$\text{MTBF} = \text{Tempo (meses)} / n^{\circ} \text{ de falhas} = 36 \text{ meses} / 5 \text{ falhas} = 7,2 \text{ meses}$$

Pela análise da tabela acima, é possível perceber o grande número de intervenções mecânicas nos cilindros dos caminhões, o que representa uma média de intervenção a cada 1,38 meses para o período em questão.

5 SOLUÇÃO PROPOSTA

A fim de reduzir as falhas nas hastes dos cilindros hidráulicos e após perceber o número elevado de intervenções mecânicas que ocorrem durante os 12 meses de operação, ou seja, um baixo valor de MTBF, foi proposta uma alternativa ao atual revestimento superficial que é realizado nas hastes dos cilindros, que originalmente é feita com cromo duro, para revestimento através da técnica de aspensão térmica utilizando como material de deposição o carbeto de tungstênio.

O carbeto de tungstênio possui uma elevada dureza superficial, alta resistência ao desgaste e à corrosão em comparação ao cromo duro, assim como a aspensão térmica permite um melhor acabamento superficial, reduzindo a resistência ao atrito, o que prolongaria a vida útil do conjunto de vedações.

Os revestimentos superficiais através de aspersão térmica possuem um custo em torno de 80% maior que o tradicional cromo duro, logo para que se justifique tal investimento, seria necessário aumentar o MTBF dos atuais 7 meses para algo em torno dos 12 meses, sem levar em conta os ganhos indiretos com alocação de mão de obra, consumo de lubrificante e aumento nos indicadores de disponibilidade e produtividade dos equipamentos.

Após a realização de orçamentos junto a fornecedores e diversas pesquisas e análises das falhas corridas, foram escolhidos 3 caminhões para a realização da nova técnica de revestimento nas hastes dos cilindros hidráulicos, para que fosse acompanhado e avaliado o custo benefício da técnica de aspersão térmica frente ao cromo duro. Os revestimentos por aspersão térmica foram realizados nos caminhões FE-01, FE-02 e FE-03, pois os mesmos possuíam os menores índices de disponibilidade mecânica, assim como os maiores números de falhas em cilindros hidráulicos. O serviço foi realizado nos meses de janeiro e fevereiro de 2016, onde foram monitorados mês a mês o dimensional das peças modificadas, verificação de vazamentos e inspeção quando a riscos e furos na superfície de deslizamento.

Abaixo na Tabela 3 é apresentado a planilha do número de falhas e do MTBF para os períodos de 2013 à 2017, onde é possível perceber uma grande redução no número de falhas no período de 2016 a 2017 quando utilizado a aspersão térmica e aumento do MTBF para o mesmo período onde foram realizadas as melhorias nos caminhões mencionados quando comparados com os anos anteriores.

Tabela 3 - Tempo médio entre falhas de 2013 a 2017

NÚMERO DE FALHAS ANUAL EM CILINDROS DO BASCULANTE - CAMINHÃO FORA DE ESTRADA							
	FE-01	FE-02	FE-03	FE-04	FE-05	FE-06	TOTAL FALHA ANUAL
ANO 2013	1	2	1	0	2	2	8
ANO 2014	2	2	2	1	2	1	10
ANO 2015	2	1	1	2	1	1	8
ANO 2016	0	0	0	0	1	1	2
ANO 2017	1	0	0	1	0	2	4
MTBF (meses)	10,00	12,00	15,00	15,00	10,00	8,57	1,88

FONTE: empresa em estudo, 2017

6 CONCLUSÃO

Neste trabalho foi apresentada uma avaliação da técnica de revestimento denominada aspersão térmica no revestimento de hastes de cilindros hidráulicos utilizados em caminhões fora de estrada em mineração, como uma ótima escolha para reduzir custos na manutenção, aumentar disponibilidade de equipamentos e processos e realizar reparos em diversos equipamentos mecânicos.

Após as melhorias realizadas nos caminhões FE-01, FE-02 e FE-03, foi possível notar um aumento do MTBF dos atuais 7,2 meses no período de 2013 a 2015 para 12 meses no período de 2016 à 2017, ou seja, um aumento da ordem de 60% para esses equipamentos, o que se justifica um investimento de 80% maior para o valor do serviço realizado se comparado com a técnica anterior que era revestimento por cromo duro, além do que já relatado, com o aumento do MTBF é obtido outros ganhos indiretos como a redução da alocação de mão de obra, diminuição no gasto com óleos lubrificantes que são substituídos a cada intervenção nos cilindros, diminuição dos custos de manutenção corretiva e redução de possíveis vazamento de óleo para o meio ambiente, que pode contaminar rios, efluentes e lenções freáticos quando derramados no solo.

Após o período de teste que ocorreu nos anos de 2016 e 2017 e após justificar o custo benefício da técnica de aspersão térmica aplicada para revestimentos em cilindros hidráulicos, as melhorias serão implementadas nos demais caminhões e em outros tipos de equipamentos que possuem este tipo de componentes e que passam constantemente por serviços de reparos mecânicos nos cilindros hidráulicos, a fim de aumentar a disponibilidade mecânica com a consequente redução dos gastos com manutenção corretiva e serviços de reparos emergências.

REFERÊNCIAS

LIMA, C.C.; Trevisan, R. *Aspersão Térmica – Fundamentos e Aplicações*. São Paulo: Artliber Editora, 2007.

KARDEC, Allan; XAVIER, Júlio Nascif. *Manutenção: função estratégica*. 3 ed., Rio de Janeiro: Qualitymark, 1999.

CASTOLINE, Catálogo de *Aspersão Térmica*; Disponível em: < <http://www.eutectic.com.br/metalizacao-aspersao-termica.html> >, acessado em 01/04/2018.

AMERICAN WELDING SOCIETY. *Thermal spraying technology*. Miami, 1993.

CASCA DURA, *Manual de Aspersão Térmica*; Disponível em: < <http://cascadura.com.br/processos.php> >, acessado em 01/04/2018.

RIJEZA METALURGICA, *Catálogo de Aspersão Térmica*; Disponível em: < <https://www.rijeza.com.br/revestimentos/revestimentos-metalicos/carboneto-de-tungstenio>>, acessado em 15/04/2018.