

Análise de desgaste nas lastrinas da caixa matriz na indústria de revestimento cerâmicos

Wear analysis on die casing ballastines in the ceramic coating industry

DOI:10.34117/bjdv6n11-120

Recebimento dos originais: 06/10/2020

Aceitação para publicação: 06/11/2020

Tiago da Silva Fernandes

Graduando em Bacharel em Tecnologia em Manutenção Industrial, Faculdade SATC

Endereço: Rua Pascoal Meller 73, Bairro Universitário, CEP: 88805-380 – CP 323, Criciúma - S.C.

E-mail: tiago_fst@yahoo.com.br

Anderson Daleffe

Professor Dr. da Faculdade SATC e Pós-Graduação SATC

Endereço: Rua Pascoal Meller 73, Bairro Universitário, CEP: 88805-380 – CP 323, Criciúma - S.C.

E-mail: anderson.daleffe@satc.edu.br

Magali da Rosa

Professor Msc. da Faculdade SATC

Endereço: Rua Pascoal Meller 73, Bairro Universitário, CEP: 88805-380 – CP 323, Criciúma - S.C.

E-mail: Magali.rosa@satc.edu.br

Lucas Crotti Zanini

Aluno de Pós-Graduação em Mestrando Profissional em Engenharia Metalúrgica Faculdade SATC

Endereço: Rua Pascoal Meller 73, Bairro Universitário, CEP: 88805-380 – CP 323, Criciúma - S.C.

E-mail: lucaslcz@yahoo.com.br

Alexandre Milanez

Professor Dr. da Faculdade SATC e Pós-Graduação SATC

Endereço: Rua Pascoal Meller 73, Bairro Universitário, CEP: 88805-380 – CP 323, Criciúma - S.C.

E-mail: alexandre.milanez@satc.edu.br

RESUMO

Os desgastes prematuros em peças mecânicas nas indústrias geram perdas expressivas de produção, custos e gastos com mão de obra de manutenção. Em uma empresa de revestimentos cerâmicos que produz porcelanato técnico com massa altamente abrasiva proporcionada pelo alto teor de matérias primas de natureza feldspáticas (tipos específicos de areias utilizadas na fabricação), o desgaste prematuro é um dos problemas característicos da linha de produção, isso ocorre de forma relevante na prensagem do porcelanato, onde acontece a compactação do pó cerâmico e decorre o desgaste nas lastrinas que revestem a cavidade da caixa matriz. Esta pesquisa tem como objetivo comparar três condições diferentes para cada grupo de amostras. Através do ensaio em abrasômetro roda de borracha em areia seca seguindo a norma da American Society for Testing and Materials (ASTM G65), foram preparados corpos de prova em amostras com aço ferramenta conforme classificação da American Iron and Steel Institute (AISI) D6; sem tratamento superficial, com tratamento superficial de cromagem e com revestimento aspergido por High Velocity Oxy-Fuel (HVOF) de carboneto de tungstênio. Em paralelo a pesquisa no laboratório foram feitos testes práticos na linha de produção, para poder coletar dados reais do processo produtivo com as mesmas três condições. Os resultados preliminares nos corpos de prova dos testes práticos indicaram que o tratamento com aspersão térmica de carboneto de tungstênio apresentou melhor rendimento comparado aos outros dois testes. A durabilidade das caixas matriz expostas em variação percentual, obtiveram vida útil média de 36,29% com tratamento superficial de cromagem e 586,68% com revestimento aspergido, ambas relacionadas com o valor de durabilidade média das caixas matriz sem tratamento superficial. Essa pesquisa demonstrou através dos resultados prático e laboratorial, a eficácia do tratamento de superfícies com aplicação de aspersão térmica contra os efeitos nocivos que os desgastes abrasivos provocam nas indústrias.

Palavras-chave: revestimentos cerâmicos, desgaste abrasivo, aspersão térmica.

ABSTRACT

Premature wear on mechanical parts in industries generates significant production losses, costs and maintenance labor expenses. In a ceramic tile company that produces technical porcelain tiles with a highly abrasive mass provided by the high content of feldspatic raw materials (specific types of sand used in manufacturing), premature wear is one of the characteristic problems of the production line. This occurs significantly in the pressing of porcelain tiles, where the ceramic powder is compacted and wear occurs in the lastrines that cover the cavity of the matrix box. This research aims to compare three different conditions for each group of samples. Through the abrasometer test rubber wheel on dry sand following the American Society for Testing and Materials (ASTM G65) standard, specimens were prepared with tool steel according to American Iron and Steel Institute (AISI) D6 classification; without surface treatment, with chrome plating surface treatment and with tungsten carbide sprayed coating (HVOF). In parallel with the research in the laboratory, practical tests were made on the production line in order to collect actual data from the production process under the same three conditions. The preliminary results in the test bodies indicated that the treatment with thermal spraying of tungsten carbide showed better performance compared to the other two tests. The durability of the exposed matrix boxes in percentage variation, obtained an average lifetime of 36.29% with chrome plating surface treatment and 586.68% with sprayed coating, both related to the average lifetime value of matrix boxes without surface treatment. This research has demonstrated through practical and laboratory results, the effectiveness of surface treatment with thermal spraying against the harmful effects that abrasive wear causes in industries.

Keywords: ceramic tiles, abrasive wear, thermal spray.

1 INTRODUÇÃO

O aumento da competitividade internacional no mercado de revestimentos cerâmicos cada vez mais vem exigindo das indústrias a busca de novas tecnologias e novos produtos. Nesse contexto, o porcelanato técnico lidera como produto com maior avanço técnico e tecnológico no seguimento de pisos e revestimentos (BIFFI, 2002).

Em uma indústria de revestimentos cerâmicos da região sul de Santa Catarina, produz-se o porcelanato técnico. Os motivos que caracterizam este material dos demais tipos de revestimentos cerâmicos, está relacionado ao processo que envolve alta tecnologia, utilização de matérias-primas de alta qualidade, pressão de conformação entre 35-45 MPa e uma temperatura de queima aproximadamente de 1200 °C. Esses fatores conferem a produto uma absorção d' água abaixo de 0,1%, elevada resistência mecânica (>45 MPa) e ao desgaste (BIFFI, 2002).

Sendo assim, o processo de fabricação exige várias etapas; extração e controle de matérias-primas, preparação de massa, atomização, mixagem, prensagem, secagem, decoração, queima, polimento, retifica e classificação. A prensagem é a operação de conformação baseada na compactação do pó atomizado (massa) contido no interior de uma matriz rígida ou de um molde flexível, através da aplicação de pressão. A operação compreende três etapas ou fases: (1) preenchimento da cavidade do molde, (2) compactação da massa e (3) extração da peça (ALBERO, 2000).

Essas fases são realizadas através do equipamento de prensa hidráulica, que se caracteriza pela constância na força e no tempo do ciclo. Para o porcelanato técnico ser conformado nas prensas hidráulicas se faz necessário o uso de estampos, que garantem uma forma geométrica exata. Entretanto os estampos sofrem desgaste devido a massa cerâmica altamente abrasiva. A abrasividade acelera o desgaste nas caixas matriz inferior, que possui duas partes principais; a caixa matriz, que tem formato retangular e são fabricadas em aço 1045 e a cavidade, que tem o formato da bitola do revestimento cerâmico, esta cavidade é revestida pelas lastrinas, que são fabricadas com aço ferramenta AISI D6. De acordo com o fabricante, o aço ferramenta D6 é um aço de alta estabilidade dimensional e excelente resistência à abrasão, com aplicações destinadas a ferramentas para trabalho a frio em geral, próprio para revestimento de moldes cerâmicos (VILLARES METALS, 2019). Como a qualidade do aço utilizado nas lastrinas é padrão e a massa do porcelanato técnico tem na sua formulação alta concentração de feldspato a provável causa do desgaste está relacionada com a abrasividade da massa.

O principal objetivo da pesquisa é comparar três condições diferentes testadas na prática e em laboratório, através do ensaio em abrasômetro roda de borracha em areia seca seguindo a norma ASTM G65, analisando corpos de prova do aço ferramenta AISI D6 com diferentes tratamentos superficiais,

assim como testes práticos na própria linha de produção para poder coletar dados reais do processo produtivo. Após as devidas comparações será apresentado os resultados obtidos, destacando a melhor condição para reduzir a abrasão e conseqüentemente aumentar a vida útil das caixas matriz.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

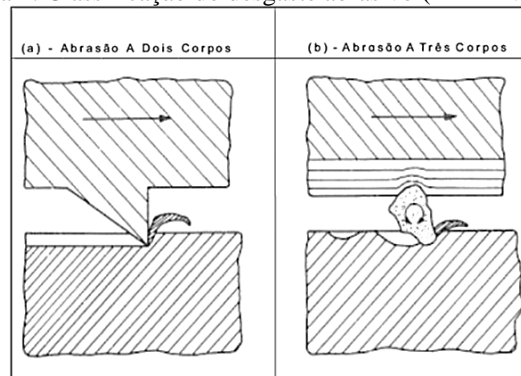
Conforme necessidade do estudo proposto convém abordar neste capítulo conceitos e definições de desgaste, ensaio de desgaste, aspersão térmica, cromagem e estampos utilizados no processo de prensagem para revestimentos cerâmicos de porcelanato técnico.

2.1 DESGASTE

A norma “DIN 50320, 1979” define desgaste como a perda progressiva de material da superfície de um corpo sólido devido à ação mecânica, isto é; o contato e movimento relativo de um corpo sólido contra um corpo sólido, líquido ou gasoso.

Geralmente os processos de desgaste são classificados em 4 grupos: desgaste por reação triboquímica, desgaste por adesão, desgaste por fadiga superficial e desgaste por abrasão; a ser discutido (Zum Gahr, 1987).

Figura 1. Classificação do desgaste abrasivo (MARIN, 2010).



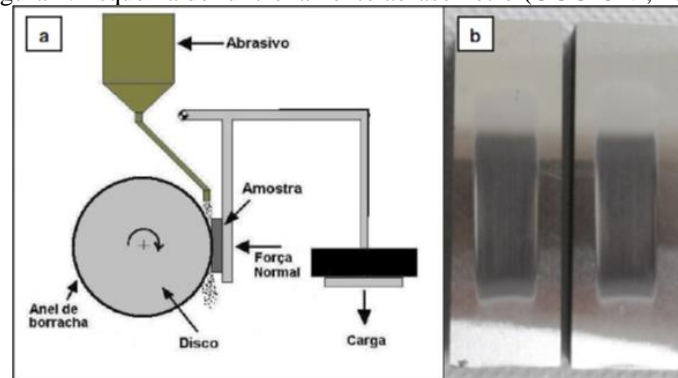
Desgaste abrasivo a dois corpos: conforme a Fig. (1-a.) acontece quando existe um movimento de deslizamento, onde uma das superfícies é dura e rugosa.

Desgaste abrasivo a três corpos: conforme a Fig. (1-b.) ocorre um deslizamento e rolamento de partículas que podem ser duras e abrasivas (STOETERAU, 2004).

2.2 ENSAIO DE DESGASTE RODA DE BORRACHA E AREIA SECA

Este ensaio tem como objetivo determinar a resistência ao desgaste abrasivo em materiais metálicos e não metálicos utilizando areia como material abrasivo. A norma “ASTM G65” define os procedimentos, métodos, condições, tipos de areia abrasiva e construção do equipamento para ensaio. Abaixo na Fig. (2-a.), o esquema do ensaio em corpo de prova no equipamento abrasômetro, e Fig. (2-b.) corpos de prova após ensaio.

Figura 2. Esquema de funcionamento abrasômetro (UGGIONI, 2017).



O resultado do teste é relatado em perda de volume, que é calculado conforme Eq. (1).

$$V_p = \frac{m_i - m_f}{D} \times 1000$$

Onde:

V_p = volume perdido (mm^3);

m_i = massa inicial (g);

m_f = massa final (g);

d = densidade do material (g/cm^3).

2.3 CROMAGEM

A eletrodeposição de cromo ou cromagem, é um processo eletroquímico que acontece a deposição de cromo duro sobre um substrato metálico ou não metálico formando uma camada em sua superfície. Essa técnica é muito utilizada na indústria em elementos de máquinas sujeitos a desgaste excessivo, como corrosão, erosão e abrasão. Os revestimentos obtidos pela eletrólise do cromo podem ser aplicados em camadas únicas, com uma espessura de 0,3 a 300 micrometros. As principais características dessa aplicação são: dureza entre 850 e 1250 HV, estrutura cristalina hexagonal (até 370°C), densidade de $7,1 \text{ g}/\text{cm}^3$, com ponto de fusão de 1903°C e um coeficiente de dilatação térmica de $8,1 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ (LAUSMANNL, G. A, 1996).

2.4 ASPERSÃO TÉRMICA

Segundo MARQUES, (2003), aspersão térmica é um processo onde partículas de ligas metálicas ou não metálicas, são projetadas sobre uma superfície devidamente preparada, gerando um revestimento com resistência ao desgaste, corrosão e erosão. O aquecimento necessário para operação é gerado na tocha de aspersão, pode vir da queima de um gás combustível ou da geração de um arco elétrico. As partículas aquecidas sofrem aceleração através de gases sobre pressão dirigidas sobre o material, no impacto formam lamelas que se conforma e aderem à superfície (MARQUES, 2003).

2.4.1 Revestimento de carboneto de tungstênio

Existem diversas possibilidades de materiais utilizados na aspersão térmica, como: metais, ligas metálicas, polímeros, cerâmicas ou mistura de ambos. Um dos principais materiais utilizados é o carboneto ou carbeto de tungstênio, um composto metálico e cerâmico de elevada dureza e resistência ao desgaste abrasivo. Conforme apresentado na Tab. (1), segue as principais características do revestimento (Rijeza, 2019).

Tabela 1: Características Técnicas carboneto de tungstênio (Rigeza, 2019).

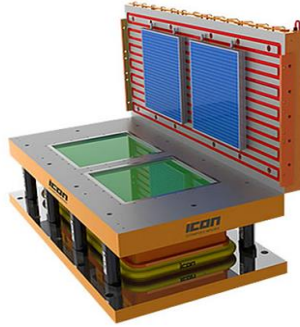
Micro Dureza	1200 a 1350 HV
Porosidade	< 1%
Temperatura máxima de trabalho	450° C
Adesão	> 10.000 PSI
Resistência à corrosão	< 100 horas de Salt Spay
Camada máxima	0,5mm

2.5 ESTAMPOS PARA REVESTIMENTOS CERÂMICOS

A definição de estampos para fabricação de revestimentos cerâmicos está associada as condições e ferramentas; para moldagem, compactação e extração, utilizadas no processo de prensagem. Conforme a necessidade e as características dos revestimentos cerâmicos a empresa produtora determina o tipo de estampo (BRISTOT, 1996).

Podem ser: estampo tipo espelho, estampo tipo híbrido, estampo tipo *top ejecting* e estampo tipo penetrante, este último o mais utilizado. A Fig. (3) apresenta um estampo tipo penetrante com suas ferramentas.

Figura 3. Estampo penetrante completo (ICON, 2019).



2.5.1 Estampo tipo penetrante

Conforme BRISTOT (1996), neste tipo de estamparia, o punção superior, penetra na cavidade da caixa matriz durante prensagem. O modelo tradicional utiliza como punção superior a muratura (após prensagem formam o desenho da parte inferior do revestimento cerâmico acabado). O modelo de estampo do estudo é chamado de penetrante invertido, onde o punção superior é liso ou relevo (após prensagem moldam a parte bela da peça cerâmica).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Com a finalidade de atingir os objetivos propostos da pesquisa, cumprindo os procedimentos das normas ASTM G65 e dos ensaios, foram efetuadas fases preparatórias para alcançar os resultados previstos em laboratório. Em paralelo a pesquisa no laboratório executou-se testes práticos na linha de produção da indústria de revestimento cerâmicos, com o objetivo de coletar dados reais do processo produtivo com as mesmas condições.

3.1 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

Foram preparados doze corpos de provas com a medida de 3'' x 1'' x 1/2'' conforme a norma ASTM G65, divididos em quatro amostras para três grupos de condições diferentes. As condições testadas foram em aço ferramenta AISI D6 sem tratamento superficial, aço ferramenta AISI D6 com tratamento superficial de cromagem e aço ferramenta AISI D6 com revestimento aspergido por HVOF de carboneto de tungstênio. As etapas de preparação das amostras foram executadas e disponibilizadas pela empresa ICON S.A Estampos e Moldes, Criciúma – SC.

3.1.1 Amostra em aço AISI D6 sem tratamento superficial

A partir de uma barra de aço ferramenta AISI D6, foram realizados os cortes das amostras em máquina policorte. Após as mesmas foram usinadas em fresadora manual para aproximar medidas estabelecidas pela norma conforme item 3.1. Posteriormente as amostras foram tratadas termicamente com processo de têmpera e revenido, resultando em uma dureza final de 59 HRC. Deste modo as amostras passaram pelo processo de retificação, determinando as dimensões finais de acordo com o item 3.1 em conformidade com a norma. Essas amostras do primeiro grupo não receberam nenhum tipo de tratamento superficial.

3.1.2 Amostra em aço AISI D6 com tratamento superficial de cromagem

As amostras do segundo grupo foram preparadas conforme as do grupo anterior, passaram pelos processos de corte, fresamento, tratamento térmico e acabamento em retífica determinando as medidas finais.

Por conseguinte, as mesmas foram encaminhadas para tratamento superficial de cromagem, realizadas na empresa Cromocil Ltda., Içara - SC. Após tratamento superficial as amostras retornaram para empresa ICON para serem retificadas novamente, garantido acabamento e medidas conforme norma ASTM G65.

3.1.3 Amostra em aço AISI D6 com revestimento aspergido por HVOF de carboneto de tungstênio

Conforme os procedimentos descritos anteriormente no primeiro grupo, estas amostras também seguiram os processos de preparação. Assim os corpos de prova do terceiro grupo foram enviadas a empresa Rijeza Metalurgia Ltda., localizada na cidade de São Leopoldo – RS, para aplicação de revestimento de carboneto de tungstênio utilizando o processo de aspersão óxi-combustível de alta velocidade, denominado como HVOF. De acordo com os procedimentos de aplicação da empresa foram executadas etapas; de limpeza de superfície, para eliminar todo contaminante e o jateamento com óxido de alumínio para gerar rugosidade necessária para ancoramento do revestimento. Assim sendo aplicou-se o revestimento, nessa etapa controlou-se as distâncias, velocidades periféricas e ângulos de ataque do processo. No ensaio de desgaste em abrasômetro apenas uma das faces com medida 1” x 3” foram ensaiadas, portanto a aspersão térmica ocorreu somente nesta área específica. Logo após, as mesmas retornaram para a empresa ICON para acabamento em retífica e padronização de medidas conforme norma ASTM G65.

3.2 PREPARAÇÃO PARA REALIZAÇÃO DE ENSAIOS

Primeiramente destinou-se os corpos de prova para desmagnetização, devido as etapas de retificação das faces, visto que, a retífica utiliza mesa magnética, se fez necessário desmagnetizar as amostras utilizando equipamento desmagnetizador. Em seguida as mesmas foram limpas com detergente neutro em água corrente e depois levados à cuba ultrassônica, com banho de álcool etílico 99,5% por 10 minutos, com a finalidade de retirar sujeira de óleo, gordura, etc. Este procedimento de limpeza realizou-se nos corpos de prova para verificação de massa inicial, massa final após ensaio de desgaste e para execução dos ensaios de microdureza e rugosidade de superfície. Posteriormente efetuou-se a secagem e com o instrumento Rugosímetro de modelo Mitutoyo SJ-310 verificou-se a leitura de rugosidade das superfícies das amostras, conforme a norma de ensaio ASTM G65 que admite o valor de rugosidade máxima de Rz 0,8 μm .

Enfim destinou-se as amostras para serem reconhecidas sua massa inicial, em balança analítica modelo BEL M214Ai com precisão de quatro casas após a vírgula, com calibração interna. A massa inicial referida para cada corpo de prova será a média aritmética de três medições consecutivas.

3.3 ENSAIOS DE DUREZA

A determinação da dureza Vickers, realizou-se em um microdurômetro Shimadzu HMV-2TADW, com carga aplicada de 1,96 N e com tempo de penetração de 10 segundos. Realizou-se o ensaio nos três tipos de condições de acordo com item 3.1.

3.4 ENSAIOS DE DESGASTE ABRASIVO

Os ensaios de desgaste em roda de borracha em areia seca foram executados no abrasômetro do Laboratório de Desgaste de Superfície – LDS, do departamento de mestrado da Faculdade SATC. A Fig. (4) mostra o equipamento utilizado nos testes de desgaste abrasivo.

Figura 4: Equipamento abrasômetro LDS-SATC (Dos autores, 2019).



Utilizou-se o procedimento “A” da norma ASTM G65, segundo o método, indicado para condições severas de classificação de materiais de média a elevada resistência a abrasão. Os parâmetros de teste configurados no aparelho foram os seguintes: força normal 130 N, rotação da roda de borracha 200 rpm, vazão da areia 300 g/min, tipo de areia NBR 7214 N°. 50 e duração do ensaio 6089 rotações. Foram ensaiados nove corpos de provas do aço ferramenta AISI D6 divididos em três grupos de acordo com as condições citadas no item 3.1, todos os testes cumpriram os parâmetros descritos acima. A identificação de cada grupo seguiu da seguinte forma; amostras sem tratamento: 1.1, 1.2 e 1.3, cromagem: 2.1, 2.2 e 2.3 e aspersão térmica: 3.1, 3.2 e 3.3. Após este ensaio efetuou-se uma limpeza no equipamento de abrasômetro, com a finalidade de remover toda areia utilizada.

Posteriormente aconteceu um novo experimento com os parâmetros do procedimento “A” da norma, entretanto substituiu-se o tipo de abrasivo. Com o intuito de comparar a perda de volume em mm^3 entre a areia padrão da norma ASTM G65 e a massa cerâmica (pó atomizado) do porcelanato técnico; testou-se em três corpos de provas essa condição proposta. As amostras foram identificadas com numeração: 1.4 sem tratamento, 2.4 cromagem e 3.4 aspersão térmica. Além disso realizou-se o procedimento de limpeza conforme citado no item 3.2, de todas as amostras ensaiadas no abrasômetro. Enfim encaminhou-se as doze amostras para coletar os valores da massa final em balança analítica modelo BEL M214Ai com precisão de quatro casas após a vírgula.

3.5 TESTES PRÁTICOS

A condição do estampo utilizada atualmente na indústria de revestimentos cerâmicos de porcelanato técnico, onde aconteceu os testes é o penetrante invertido.

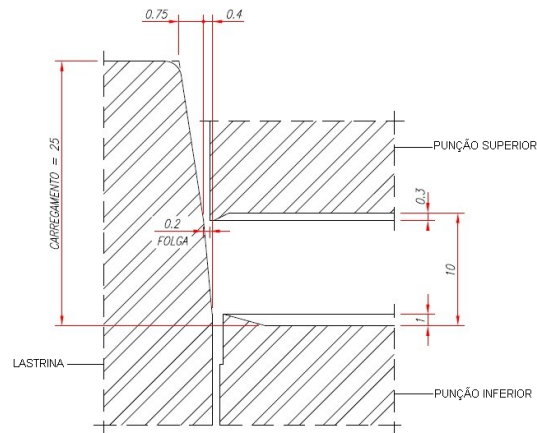
As lastrinas da caixa matriz do processo de prensagem utilizam como padrão o aço ferramenta AISI D6 com tratamento térmico de têmpera e revenimento, que conferem uma dureza de 59-60 HRC. A Fig. (5) apresenta uma lastrina da caixa matriz com desgaste abrasivo.

Figura 5: Lastrina com desgaste abrasivo (Dos autores, 2019).



Conforme a indicação da Fig. (5), essa região apresentou um arredondamento após o desgaste, gerando defeitos no material prensado. Devido à baixa durabilidade e constantes setup de máquina, foram preparados para testes em produção: uma caixa matriz com as lastrinas tratadas superficialmente com cromo duro e outra condição na qual as lastrinas receberam o revestimento aspergido de carboneto de tungstênio por HVOF. Abaixo na Fig. (6) é apresentado uma vista em corte com as principais medidas do estampo no processo de compactação.

Figura 6: Vista em corte estampo penetrante (Dos autores, 2019).



As medidas referentes a Fig. (6), observa-se; a altura do carregamento com pó atomizado de 25 mm, a folga de 0,2 mm entre o punção superior e a lastrina da caixa matriz, a espessura final do material pós prensagem de 10 mm e as medidas do ângulo de extração 0,75 mm e ângulo de prensagem 0,4 mm.

O desgaste abrasivo da Fig. (5), é classificado como a três corpos.

Analisando a Fig. (6), especificamente a região entre o ângulo de prensagem e a folga de 0,2 mm, somado ao arraste das partículas de pó atomizado que é direcionado contra a lastrina, podemos observar a existência desse fenômeno que afeta o sistema devido a repetibilidade do processo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo irá se apresentar e comparar os dados coletados em laboratório e na prática das três condições testadas; e dessa forma analisar qual a melhor alternativa para reduzir o desgaste abrasivo nas lastrinas da caixa matriz da indústria de revestimentos cerâmicos.

4.1 ENSAIOS DE RUGOSIDADE

Os resultados do ensaio de rugosidade foram necessários para cumprimento da norma ASTM G65, que admite o valor de rugosidade máxima de Rz 0,8 µm. Como a retificação ocorreu na mesma máquina, com parâmetros e ajustes semelhantes, foram testadas aleatoriamente um corpo de prova de cada condição, a Tab. 2 apresenta os valores.

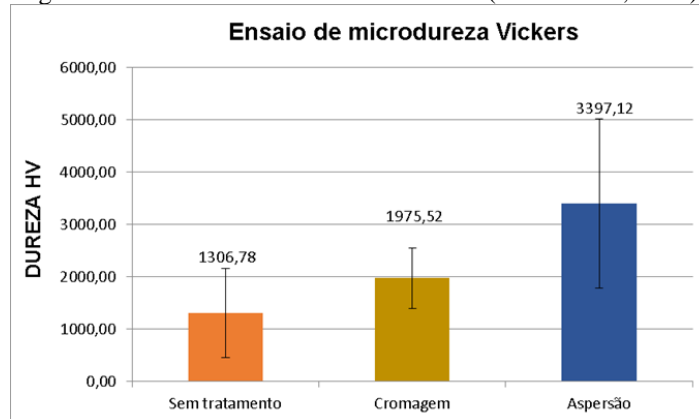
Tabela 2: Resultados ensaio de rugosidade (Dos autores, 2019).

Nº da amostra	1º ensaio	2º ensaio	3º ensaio	Média
1.2 - Sem tratamento	0,066 µm	0,059 µm	0,081 µm	0,068 µm
2.3 - Cromagem	0,106 µm	0,087 µm	0,108 µm	0,100 µm
3.1 – Aspersão	0,071 µm	0,094 µm	0,100 µm	0,088 µm

4.2 ENSAIOS DE MICRODUREZA

Os valores da microdureza são mostrados na Fig. (7), com objetivo de confrontar a dureza das condições ensaiadas.

Figura 7: Gráfico de ensaio de microdureza (Dos autores, 2019).

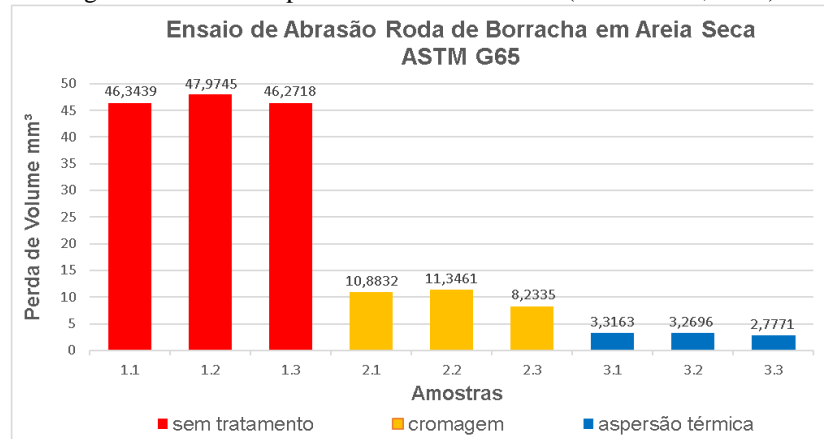


Como demonstra o gráfico de microdureza as amostras com aspersão térmica atingiram uma dureza média de 3397 HV, que equivale ao valor de 73% maior que a média com cromagem e 160% maior que sem tratamento.

4.3 ENSAIOS DE DESGASTE RODA DE BORRACHA EM AREIA SECA NORMA ASTM G65

Os dados obtidos de perda de massa nos ensaios de desgaste em abrasômetro, posteriormente foram convertidos a perda de volume conforme Eq. (1). A Fig. (8) apresenta os resultados de perda de volume em mm^3 realizados em abrasômetro no LDS.

Figura 8: Gráfico de perda de volume em mm^3 (Dos autores, 2019).



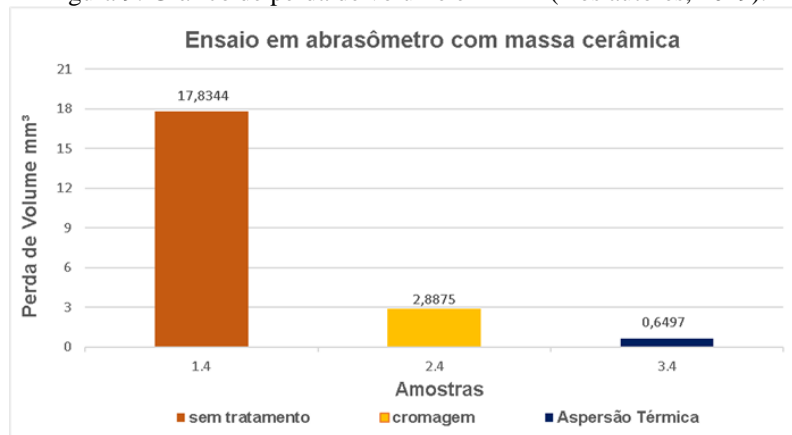
Conforme os resultados do gráfico, Fig. (8), podem-se constatar que as amostras de carboneto de tungstênio aplicados por aspensão térmica obtiveram valores de perda de volume em mm^3 consideravelmente menores, comparados as outras duas condições ensaiadas. As variações em percentual de perda de volume entre os corpos de prova de cromagem e aspensão relacionando-os com os sem tratamento, foram: cromagem 78,33% e aspensão 93,34% menores.

Conseqüentemente as amostras de aspensão térmica possuem uma resistência à abrasão maior, e as sem tratamento tiveram o maior volume perdido e maior nível de desgaste.

4.4 ENSAIOS DE DESGASTE EM ABRASÔMETRO COM MASSA CERÂMICA (PÓ ATOMIZADO)

Os dados obtidos de perda de massa no ensaio de desgaste em abrasômetro utilizando a massa cerâmica (pó atomizado), foram transformados a perda de volume conforme Eq. 1, da norma ASTM G65. A Fig. (9) demonstra os valores desse teste.

Figura 9: Gráfico de perda de volume em mm³ (Dos autores, 2019).

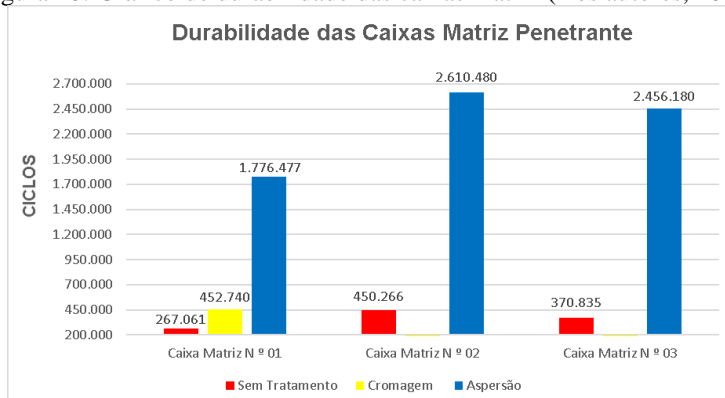


Como a massa cerâmica acelera o desgaste abrasivo das lastrinas, optou-se por realizar ensaio no abrasômetro substituindo a areia padrão que a norma exige, para comparar a perda de volume. Os resultados apresentaram valores diferentes comparados ao ensaio da norma ASTM G65, entretanto houve proporcionalidade entre as três condições testadas. A variação em percentual de perda de volume entre o corpo de prova de cromagem e aspersão, comparados ao sem tratamento, foram: cromagem 83,81% e aspersão 96,35% menores.

4.5 EXPERIMENTO NA PRÁTICA

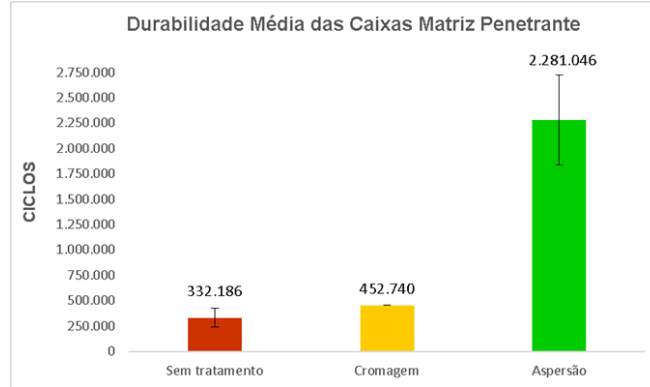
Os testes em produção aconteceram em uma caixa matriz penetrante; com tratamento superficial de cromagem e posteriormente com HVOF de carboneto de tungstênio. Os resultados conforme Fig. (10) e Fig. (11), comprovam a durabilidade média de três caixas matriz utilizadas em produção, considerando as mesmas medidas de bitola idênticas.

Figura 10: Gráfico de durabilidade das caixas matriz (Dos autores, 2019).



Pode-se observar um aumento considerável da durabilidade das caixas matriz com aspersão térmica em relação as caixas sem tratamento e cromagem. O teste com cromagem ocorreu apenas na caixa matriz de número 1, devido ao resultado e baixo custo-benefício.

Figura 11: Gráfico de durabilidade média das caixas matriz (Dos autores, 2019).



Considerando o desvio padrão houve uma variação de 94.261 ciclos nas caixas sem tratamento, com aspersão térmica o resultado foi de 443.728 ciclos, essa variação é devido a caixa nº 1, pontualmente danificou o revestimento com o atrito gerado pelo pino guia do punção inferior, foram realizados ajustes para evitar perdas. Assim verifica-se a vida útil de 36,29% da caixa com cromagem, logo as caixas com aspersão tiveram durabilidade média de 586,68%, ambas relacionadas com a média das caixas sem tratamento.

4.6 CUSTO E BENEFÍCIO

O custo para aplicação de uma caixa matriz revestida por aspersão térmica foi o dobro do valor gasto na recuperação de uma caixa matriz sem tratamento superficial. Entretanto os benefícios viabilizaram o investimento como demonstra a Tab. (3).

Tabela 3: Benefícios.

Benefícios	%
Aumento vida útil	586,68
Tempo de parada anual	-83,64
Gasto anual	-67,39
Ganhos no faturamento anual	0,68

Os ganhos também foram percebidos na qualidade da produção, alguns defeitos do material causados pelo desgaste abrasivo foram eliminados após a utilização de caixas matriz com revestimento aspergido nas lastrinas.

Figura 12: Lastrina de WC-Co por HVOF. (Dos autores, 2019).



Na Fig. 12 temos a lastrina com carboneto de tungstênio com aproximadamente 1.000.000 de ciclos, sem indícios de desgaste abrasivo.

5 CONCLUSÕES

Mediante ao exposto neste trabalho pode-se destacar a importância das pesquisas realizadas em laboratório, através dos equipamentos de ensaio de desgaste de superfície, assim como, este estudo que utilizou o abrasômetro para comparar três condições de amostras. Dessa maneira após o ensaio em roda de borracha em areia seca conforme a norma ASTM G65, verificou-se a eficiência do tratamento superficial de cromagem e aspersão térmica como possibilidades para diminuir os efeitos nocivos que os desgastes por abrasão provocam nas indústrias.

Este e outros ensaios podem reduzir a perda de tempo, custos e gastos com testes práticos ineficientes nas indústrias, contribuindo com agilidade, precisão e economia.

Entretanto os resultados dos testes práticos demonstraram que as lastrinas sem tratamento possuem uma vida útil média de 332.186 ciclos, com cromo duro a durabilidade atingiu 452.740 ciclos e as de aspersão térmica alcançaram os 2.281.046 ciclos, as lastrinas com revestimento aspergido por HVOF de carboneto de tungstênio demonstraram o excelente resultado com 586,68% de durabilidade média em relação as lastrinas sem tratamento, demonstrando eficiência na redução dos efeitos do desgaste abrasivo e conseqüentemente gerando benefícios como: garantia na qualidade do material prensado, aumento de confiabilidade e disponibilidade do equipamento, redução de paradas e otimização de custos.

Em vista disso os revestimentos aspergidos são amplamente utilizados em diversos setores industriais, porém durante a pesquisa deste estudo não se obteve conhecimento e registros da utilização dessa tecnologia nas lastrinas das caixas matrizes nas indústrias de revestimentos cerâmicos, assim sendo, pode-se considerar como uma ideia inovadora no ramo cerâmico.

REFERÊNCIAS

SILVA, W, P; BANNA, K, D, B; GARCIA, D, N;. **Design and Construction of a Rubber Wheel Abrasometer**. Braz. J. of Develop., Curitiba, v. 6, n. 5, p.30406-30423, may. 2020. ISSN 2525-8761

ALBERO, J.I. Amorós. **A Operação de Prensagem: Considerações Técnicas e sua Aplicação Industrial: O Preenchimento das Cavidades do Molde**. *Cerâmica Industrial: A revista do técnico cerâmico brasileiro*, São Paulo, v. 5, n. 5, p.23-28, set. 2000. Trimestral. Disponível em: <<http://www.ceramicaindustrial.org.br/article/587657087f8c9d6e028b462f>>. Acesso em: 15 mar. 2019.

ASTM G65-16. **Standard Test Method for Measuring Abrasion Using the Dry Sand/Rubber Wheel Apparatus**. West Conshohocken. Pennsylvania. 2016.

BIFFI, Giovanni. **O grês porcelanato: manual de fabricação e técnicas de emprego**. 3. Ed. São Paulo: Faenza, 2002. 262 p.

BRISTOT, Vilmar Menegon. **Máquinas e equipamentos para cerâmica**. Criciúma: Luana, 1996.

DIN 50320: Verschleiß - Begriffe, Analyse von Verschleißvorgängen, Gliederung des Verschleißgebietes. Beuth Verlag, Berlin 1979.

VILLARES METALS. **Aço ferramenta para trabalho a frio**. 2019. Disponível em: <<http://www.villaresmetals.com.br/villares/pt/Produtos/Acos-Ferramenta/Trabalho-a-frio/VC131>>. Acesso em: 13 mar. 2019.

ZUM GAHR, K. H. **Microstructure and wear materials**. Tribology series 10, Elsevier Science Publishers B. V., 1987.

STOETERAU, R. L. et al. **Tribologia – Apostila de Graduação**. Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Departamento de Engenharia Mecânica. Florianópolis. SC. Brasil. 2004. p. 110-180.

MARIN, John Jairo Coronado. **Efeito do tamanho do abrasivo no desgaste de metais**. 2010. 168 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica de Projeto de Fabricação, Engenharia Mecânica, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. Disponível em: <file:///C:/Users/Usuario/Downloads/TESE_JJCoronado_revisada.pdf>. Acesso em: 01 mai. 2019.

UGGIONI, Périson Pavei. **Instrumentação, controle e supervisão de um abrasômetro tipo roda de borracha**. 2017. 105 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado Profissional em Mecatrônica, Departamento acadêmico de Metal Mecânica, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

LAUSMANN, G. A. **Electrolytically deposited hardchrome**. v. 87, p. 814–820, 1996.

MARQUES, Paulo Villani. **Aspersão térmica**. 2003. Disponível em: <https://infosolda.com.br/wpcontent/uploads/Downloads/Artigos/processos_solda/asperso-termica.pdf>. Acesso em: 24 abr. 2019.

RIJEZA (Rio Grande do Sul). **Revestimentos contra desgaste. 2019.** Disponível em: <<https://www.rijeza.com.br/aspersao-termica>>. Acesso em: 22 abr. 2019.

ICON (Santa Catarina). **Estampos e moldes. 2019.** Disponível em: <<http://icon-sa.com.br/estamposemoldes/conjunto-completo.php>>. Acesso em: 22 abr. 2019.