

# TRATAMENTO SUPERFICIAL POR PVD EM PASTILHAS DE WC/Co EMPREGADOS EM SECADORES POR PULVERIZAÇÃO DE SUSPENSÕES CERÂMICAS<sup>1</sup>

*Reginaldo Tass<sup>2</sup>  
Adão Felipe Oliveira Skonieski<sup>3</sup>  
Agenor De Noni Junior<sup>4</sup>  
Alexandre da Silva Rocha<sup>5</sup>*

## **Resumo**

Em um processo de fabricação de revestimentos cerâmicos por via úmida há vários custos relacionados à atomização - processo no qual ocorre a pulverização e secagem da suspensão cerâmica - tais como: combustível, manutenção e perda de produção. O principal custo da manutenção está relacionado com a troca do bico desgastado, em especial o componente interno (pastilha furada) de WC/Co que tem uma vida útil de cinco dias devido ao elevado desgaste erosivo provocado pelas suspensões cerâmicas. Neste trabalho foi realizado um tratamento superficial para produção de filmes finos sobre um substrato de WC/Co via PVD (physical vapor deposition) para aumentar a resistência ao desgaste da pastilha furada. Para tanto foi desenvolvido um pulverizador de bancada piloto para testes, no qual pastilhas revestidas com diferentes recobrimentos (TiAlN, AlCrN e AlCrN\_TiSiN) foram testadas usando-se uma suspensão cerâmica de feldspato. Os melhores resultados foram obtidos para o filme de AlCrN.

**Palavras-chave:** Desgaste erosivo; Revestimento PVD; Secagem de pós cerâmicos.

## **PVD SURFACE TREATMENT TO IMPROVE PERFORMANCE OF WC /Co SPRAYERS USED TO DRY CERAMIC SUSPENSIONS**

### **Abstract**

In a manufacturing of ceramic tiles by wet route there are several costs related to the spray-drying process – such as fuel, maintenance and production losses. The main cost of maintenance is related to change the worn nozzles in special the internal WC/Co components which have a life time of about five days because of the high erosive character of ceramics suspensions. In the work a surface treatments to produce a thin film of WC/Co was carried out by PVD (physical vapor deposition) process to improve the wear resistance of part's surface. Therefore, a test dryer was built was developed and used to test different coatings (TiAlN, AlCrN e AlCrN\_TiSiN). Best results were obtained for AlCrN thin films.

**Key words:** erosive wear, PVD Coatings, ceramic powder drying.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao 64º Congresso Anual da ABM, 13 a 17 de julho de 2009, Belo Horizonte, MG, Brasil.*

<sup>2</sup> *Bacharel em Ciência da Computação, Mestrando pelo Laboratório de transformação Mecânica – UFRGS. Professor do Instituto Maximiliano Gaidzinski - IMG*

<sup>3</sup> *Mestre em Engenharia, Doutorando pelo Laboratório de Transformação Mecânica - UFRGS*

<sup>4</sup> *Doutor em Engenharia, Professor do Instituto Maximiliano Gaidzinski – IMG*

<sup>5</sup> *Doutor em Engenharia, Professor pelo Laboratório de Transformação Mecânica – UFRGS*

# 1 INTRODUÇÃO

No processo de produção de revestimentos cerâmicos por via úmida faz-se necessário a utilização de spray dryers com o objetivo de secar e granular a suspensão cerâmica. Nesses são utilizados bicos pulverizadores (Figura 2), que possuem pastilhas furadas de Carbetto de Tungstênio + Cobalto (WC/Co) e estas são responsáveis pela formação do leque de distribuição de suspensão cerâmica na câmara de secagem.

Porém, as massas cerâmicas possuem um caráter erosivo, ocasionando um grande desgaste na pastilha. O controle desse desgaste é de extrema importância para a granulometria, uma vez que quanto maior o diâmetro do furo, maior a quantidade de grânulos grossos, desta maneira torna-se necessário tamanhos de grânulos finos, médios e grossos para se obter um bom empacotamento no processo de prensagem onde se tem uma influência direta nas características finais do produto.<sup>(1)</sup>

Neste trabalho foi testado a viabilidade de aplicação e o desempenho de revestimentos superficiais de filmes finos sobre o substrato de metal duro de pastilhas usadas nos *spray dryers*.

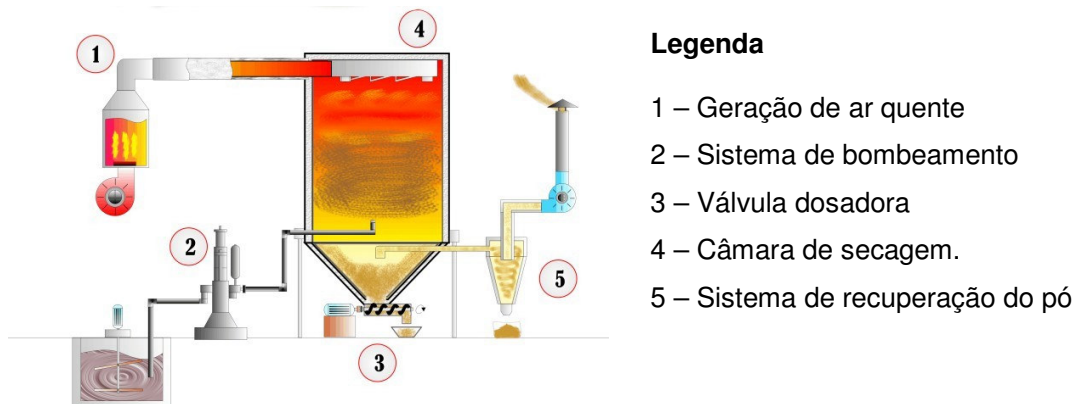
Esses processos para obtenção de revestimentos superficiais podem ser divididos principalmente em PVD (Physical Vapour Deposition) e CVD (Chemical Vapour Deposition). Sendo que o PVD opera por deposição física de vapor enquanto o CVD trata da deposição química de vapor.<sup>(2)</sup> Conforme referencia Tschiptschin,<sup>(3)</sup> os recobrimentos PVD são mais finos que os de CVD, com espessuras que variam entre 3 µm e 8 µm.

O objetivo do presente trabalho é estudar o sistema de desgaste das pastilhas furadas de bicos pulverizadores de secadores empregados na etapa de preparação de massa para fabricação de revestimentos cerâmicos. Desta maneira se realizará testes em pastilhas com diferentes revestimentos superficiais pela técnica de PVD, com o intuito de melhorar as propriedades de resistência a erosão, aumento da vida útil e otimização de custos na produção de massa em relação às trocas de pastilhas.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Operação de Atomização

A atomização consiste na transformação de uma suspensão aquosa com partículas sólidas em partículas secas, a partir da pulverização da suspensão no interior de uma câmara aquecida (*spray-dryer*). O produto resultante pode ser constituído por pó, grânulos ou aglomerados de grânulos.<sup>(1)</sup> A forma destas partículas depende muito das propriedades físicas e químicas da suspensão, das características do atomizador e das condições de operação. O processo de atomização é uma técnica de obtenção de pós, utilizada em muitas indústrias, como as de plásticos, resinas, detergentes, pesticidas, corantes (pigmentos), fertilizantes, produtos alimentícios (leite em pó, café solúvel, extratos de plantas etc.), produtos farmacêuticos e na indústria de revestimentos cerâmicos (pisos, azulejos e etc). A suspensão cerâmica é bombeada para um sistema dispersor, localizado no interior de uma câmara de secagem ventilada com ar previamente aquecido, e finamente dividida num elevado número de pequenas gotículas. Essas gotículas pulverizadas, que rapidamente adquirem uma forma esférica, por ação da forte pressurização exercida e pela tensão superficial, sofrem uma rápida evaporação de água.



**Figura 1.** Processo de Atomização Industrial.<sup>(4)</sup>

## 2.2 Granulometria

A atomização é responsável pela produção do pó que será posteriormente utilizado para a produção dos suportes dos revestimentos cerâmicos. O pó produzido deve possuir características semelhantes, principalmente quanto à sua distribuição granulométrica. Para se obter um bom empacotamento de partículas durante a prensagem são necessários grânulos com tamanhos grandes, médios e pequenos e seus tamanhos dependem de uma série de variáveis.<sup>(5)</sup>

Um dos principais fatores que alteram o tamanho dos grânulos é o diâmetro do furo da pastilha furada. Esta localiza-se em um dos componentes do spray dryer, nos bicos pulverizadores.<sup>(1)</sup>

Uma distribuição não homogênea dos tamanhos dos grânulos acarretará deficiências durante o processo de conformação, havendo maior incidência de espaços vazios entre as partículas o que acarretará baixa densidade aparente a seco, variável que durante a queima influencia diretamente quanto à ortogonalidade do pavimento cerâmico.<sup>(1)</sup>

## 2.3 Bicos Pulverizadores

São responsáveis pela pulverização do fluido dentro da câmara de secagem do spray dryer. Através de bombas, tubulações e filtros, o fluido é injetado até o bico pulverizador, com pressão manométrica de 2,5 MPa a 3,0 MPa (25 Kgf/ cm<sup>2</sup> a 30 Kgf/ cm<sup>2</sup>).

Conforme a Figura 2 o bico pulverizador é composto por capa externa, um difusor acoplado a uma pastilha cega, um caracol e uma pastilha furada. A suspensão cerâmica entra pelo difusor, na qual a pastilha cega (não furada) cria uma barreira direcionando-a a um caracol. Neste, a suspensão sai espiralando indo de encontro à pastilha furada que é responsável pela abertura do leque de pulverização.

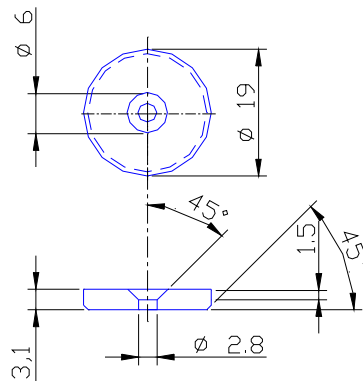


**Figura 2.** Partes de um Bico Pulverizador

### 2.3.1 Pastilha furada

A pastilha furada, objeto do estudo, é a parte do bico que sofre maior desgaste erosivo por estar em contato direto com a suspensão em alta velocidade.

O fato do fluido atravessar o orifício da pastilha furada durante seu percurso faz com que haja um grande atrito com a mesma e a ocorrência de impactos sob diversos ângulos, Isto caracteriza a ocorrência de um desgaste erosivo no orifício causado por partículas sólidas contida em um fluido. Segundo Labrincha,<sup>(1)</sup> o aumento do tamanho médio dos granulados atomizados é proporcional ao quadrado do diâmetro do orifício.



**Figura 3.** Pastilha furada.

Atualmente as pastilhas usadas apresentam as seguintes características:

- material: carbeto de tungstênio e cobalto;
- alta densidade ( $15,8 \text{ g/cm}^3$ ); e
- apresenta uma vida útil de aproximadamente cinco dias.

## 2.4 Tratamentos por PVD

O processo PVD (Deposição física em fase de vapor) é feito sob alto vácuo a temperaturas que variam na ordem de  $150^\circ\text{C}$  e  $500^\circ\text{C}$ . Sendo o escolhido para os experimentos.<sup>(4,6)</sup>

O material de revestimento sólido de alta pureza (metais como titânio, cromo e alumínio) pode ser evaporado pelo calor ou então bombardeado com íons (pulverização catódica). Ao mesmo tempo, é introduzido um gás reativo (por exemplo, nitrogênio ou um gás que contenha carbono), formando um composto com o vapor metálico que se deposita nas ferramentas ou nos componentes na forma de um revestimento fino e altamente aderente.<sup>(6,7)</sup>

Os tratamentos superficiais têm como objetivo melhorar as características físicas dos materiais, essas características podem ser notadas na tabela 1. Os tratamentos superficiais possuem micro-dureza maior quando comparados com as pastilhas sem tratamento (WC/Co).

**Tabela 1.** Características dos Revestimentos Superficiais Aplicados nas Pastilhas<sup>(6,7)</sup>

Material dos revestimentos	Micro-dureza* (HV 0.05)
AlCrN	3.200
AlCrN_TiSiN	3.000
TiAlN	3.400
WC/ Co	2.100

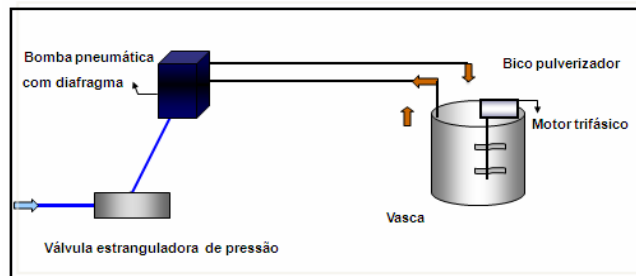
### 3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O procedimento experimental foi dividido em duas etapas, na qual uma foi realizada em ambiente laboratorial e outra em ambiente industrial.

Para o procedimento laboratorial foi elaborado um protótipo para analisar o comportamento das pastilhas sem tratamento e com novos tratamentos. Foram selecionadas quatro pastilhas sem tratamento (WC/Co) e duas pastilhas de cada tratamento diferente, sendo: TiAlN, AlCrN e AlCrN\_TiSiN.<sup>(7)</sup>

Para a simulação de pulverização foi efetuado uma moagem de formulação com 90% de feldspato FA-10 e 10% de caulim, sendo o conteúdo de sólidos de 65%, com um resíduo médio entre 8 e 10%. O resíduo estabelecido foi alto para se obter resultados significativos em poucas horas de pulverização.

O bombeamento foi executado com uma bomba pneumática, com pressão de bombeamento média de 0,45 MPa (4,5 kgf/cm<sup>2</sup>). A taxa de vazão do líquido foi de 74 ml/s e o tempo de bombeamento foi estipulado em 12 horas por ocasionar desgaste significativo, realizando-se medições de diâmetro interno e massa de quatro em quatro horas.



**Figura 4.** Protótipo de pulverização.

No procedimento industrial foram selecionadas seis pastilhas, as quais quatro possuíam tratamentos superficiais (sendo duas AlCrN e duas TiAlN) e duas sem tratamentos superficiais (WC/Co). Todas foram medidas, no início e no término da pulverização, pelo método de análise digital de imagens que consiste basicamente em digitalizar o objeto e com um programa adequado medir a quantidade de pixels do diâmetro da pastilha, obtendo-se uma precisão de centésimos de milímetros.

Essas pastilhas foram colocadas em um spray dryer industrial que processa massa de porcelanato a qual é a mais erosiva por conter maior percentual (30% a 40%) de materiais rochosos. As pastilhas foram submetidas ao desgaste por cinco dias.

### 3.1 Teste de Adesão dos Tratamentos Superficiais

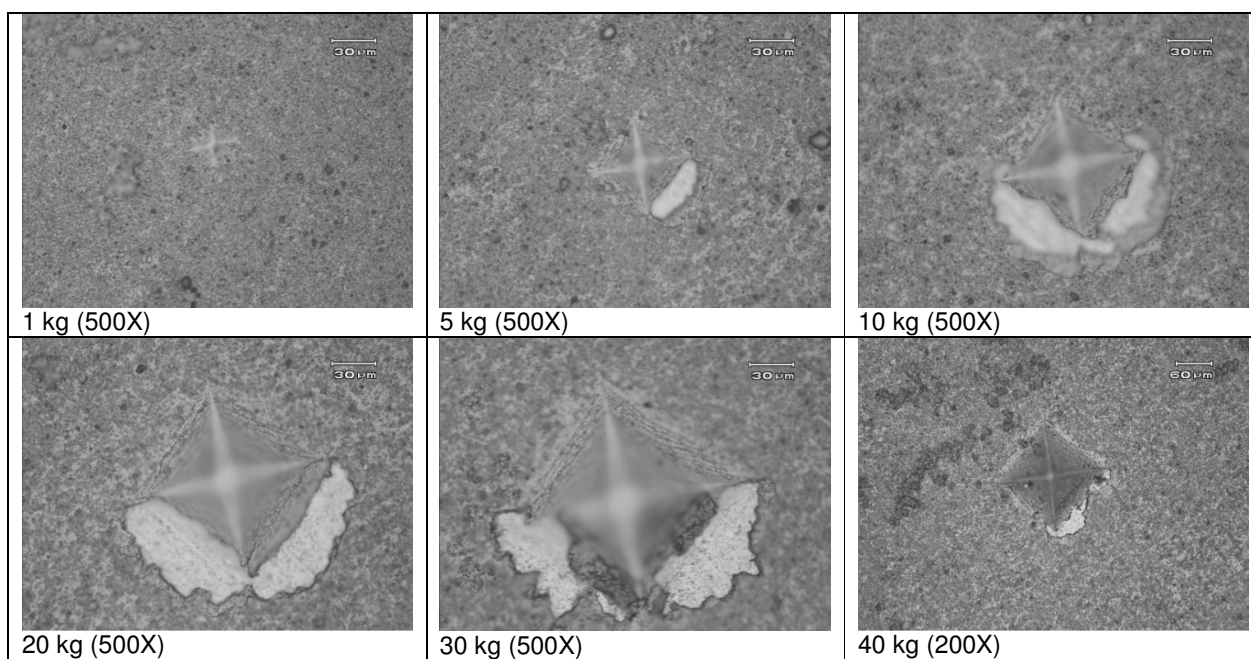
Ensaio de dureza “Vickers” foram utilizados para avaliar qualitativamente a adesividade e o modo de falha dos revestimentos. Para análise, utilizou-se um método similar de ensaios estáticos de dureza “Rockwell C” conforme por Heinke<sup>(8)</sup> apud Silva.<sup>(9)</sup>

Realizaram-se diversas identificações com várias cargas (entre 1 kgf e 40 kgf) e verificou-se com que carga ocorreu delaminação da camada.

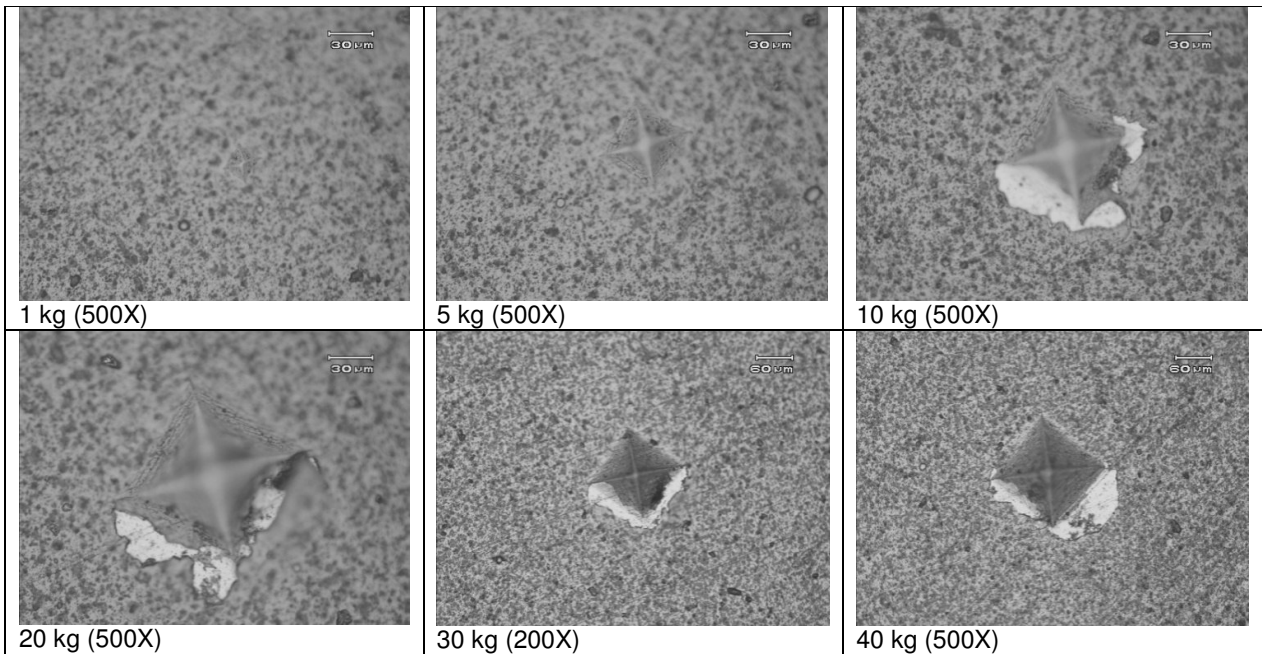
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Avaliação dos testes de adesão dos diferentes recobrimentos

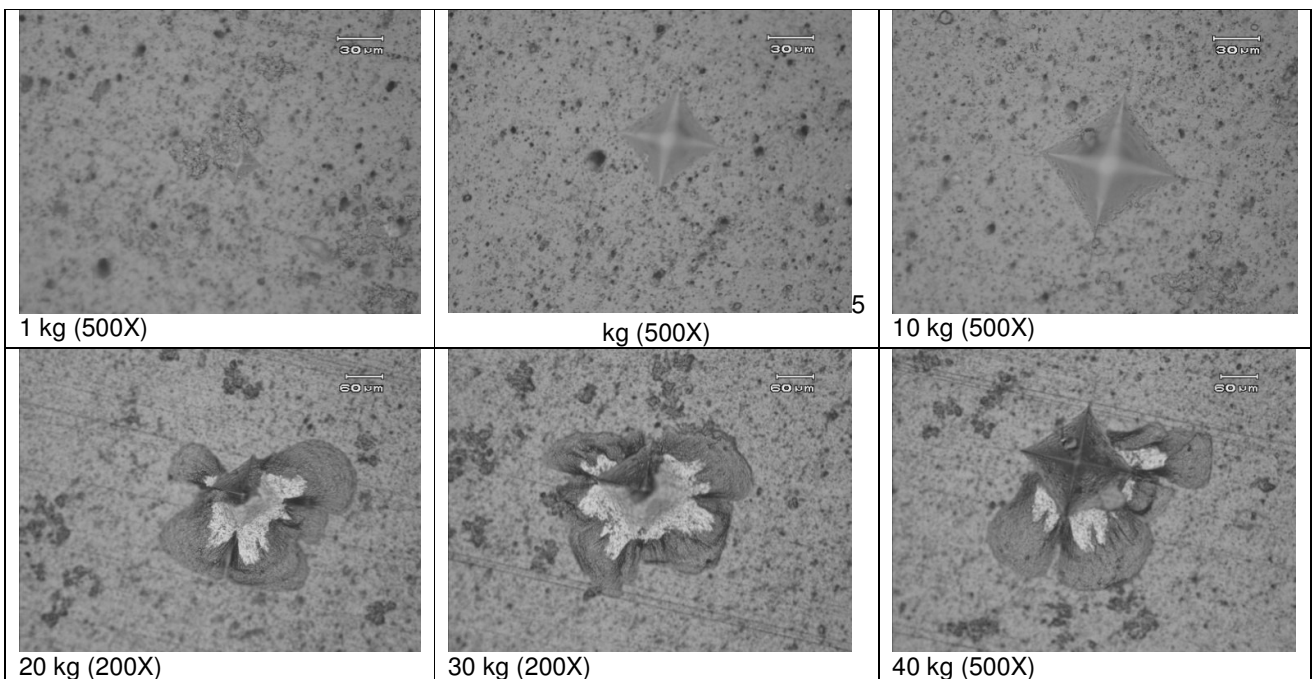
Nas Figuras 5, 6 e 7 são apresentados os resultados das identificações para os três recobrimentos empregados. Observa-se que o recobrimento AlTiN (Figura 5) apresentou delaminação a uma carga de 5 kg ao passo que o revestimento AlCrN (Figura 6) apresentou delaminação a 10 kg, e o AlCrN\_TiSiN (Figura 7) a 20 kg. Esses valores demonstraram que na seqüência os revestimentos de maior aderência foram AlCrN\_TiSiN, AlCrN e TiAlN.



**Figura 5.** Micrografias dos ensaios de Microdureza Vickers das amostras de WC/Co com depósito de filmes finos de AlTiN



**Figura 6.** Micrografias dos ensaios de Microdureza Vickers das amostras de WC/Co com depósito de filmes finos de AlCrN.



**Figura 7.** Micrografias dos ensaios de Microdureza Vickers das amostras de WC/Co com depósito de filmes finos de AlCrN\_TiSiN.

#### 4.2 Avaliação dos resultados laboratoriais de desgaste da pastilha furada

Através dos resultados expostos pela figura 8, observou-se que as pastilhas furadas com tratamentos superficiais apresentaram os menores desgastes. A taxa de desgaste foi aproximadamente constante, como percebe-se do comportamento linear das curvas medidas.

As pastilhas com tratamentos de AlTiN e AlCrN\_TiSiN apresentaram maiores taxas desgaste quando comparadas ao desgaste sofrido pelas pastilhas com revestimentos de AlCrN.

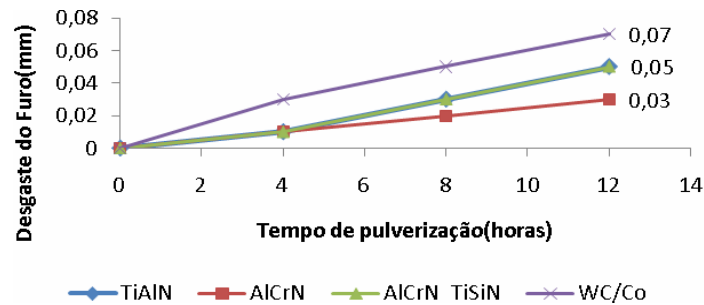


Figura 8. Evolução do desgaste do diâmetro interno do furo da pastilha furada

#### 4.3 Resultados Industriais de Perda de Massa

A Figura 9 apresenta os resultados de perda de massa das pastilhas com diferentes tratamentos superficiais bem como de pastilhas sem tratamentos superficiais (WC/Co). Percebe-se que não houve uma significativa diferença de perda de massa. A isso se deve o fato de que o tratamento superficial é feito no orifício interno da pastilha e não sobre toda a superfície da pastilha. Desse modo houve desgaste de outras partes das pastilhas tratadas. Conclui-se que este modo de medição não é confiável, sendo descartados no procedimento da etapa laboratorial.

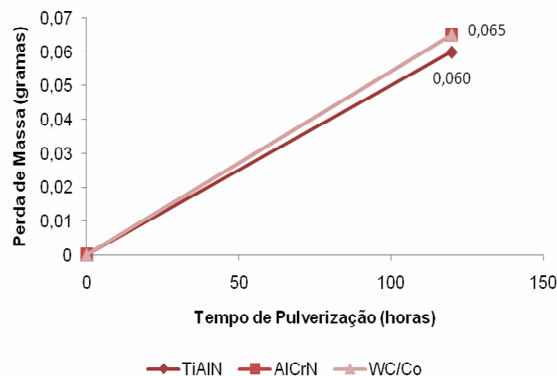


Figura 9. Perda de massa das pastilhas testadas em meio fabril

#### 4.4 Resultados Industriais do Desgaste do Diâmetro da Abertura Interna da Pastilha Furada

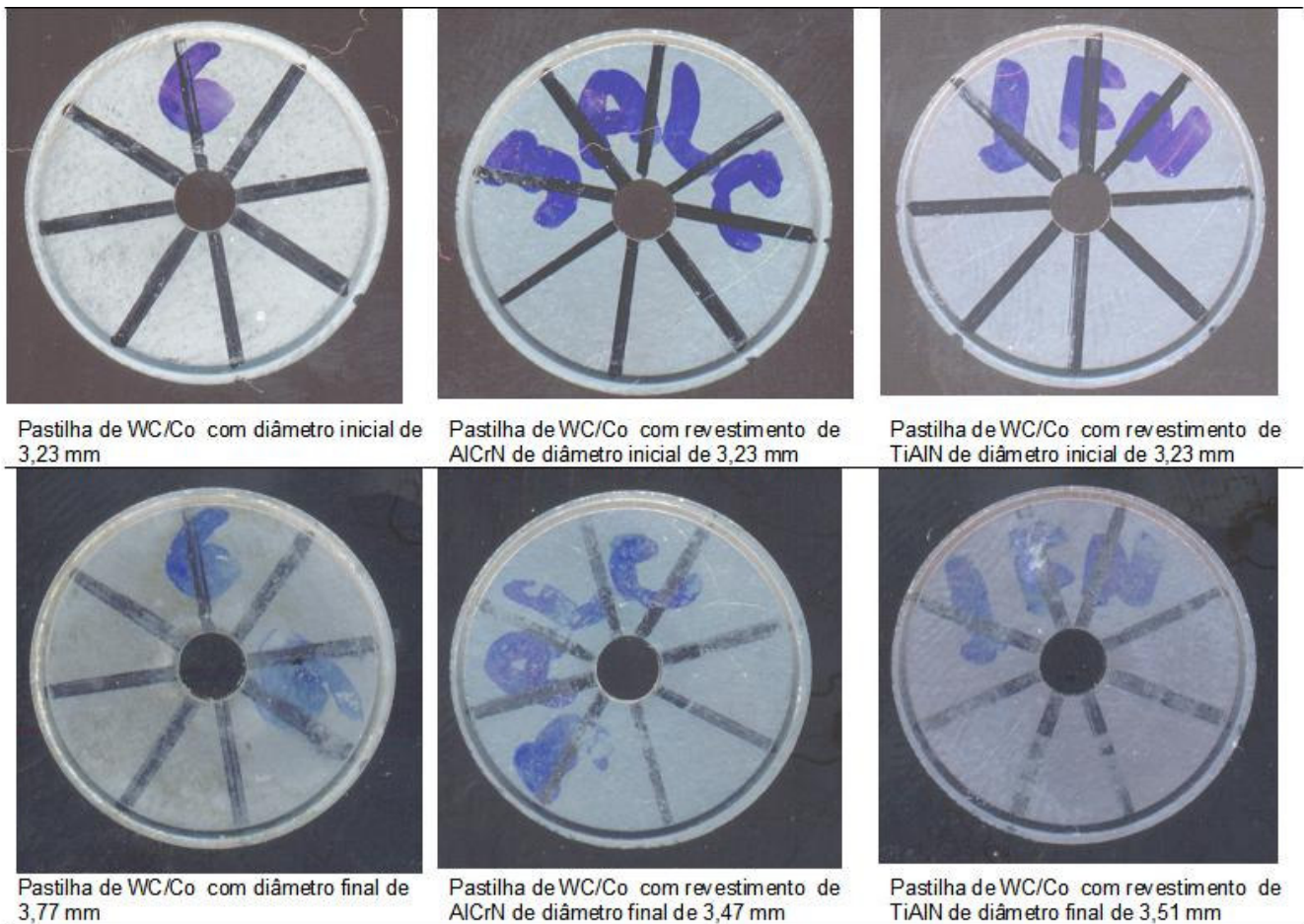
Embora a perda de massa não tenha apresentado uma diferença significativa, o desgaste sofrido pelas pastilhas com tratamentos superficiais de TiAlN e AlCrN foram muito menores que a sofrida pela pastilha de WC/Co (sem recobrimento superficial), como podemos observar no gráfico da Figura 9.

Isso se deve as características dos tratamentos, que possuem maior resistência que as pastilhas de WC/Co sem tratamento. Esses tratamentos conferem às pastilhas uma menor adesão das partículas erosivas ao mesmo tempo em que

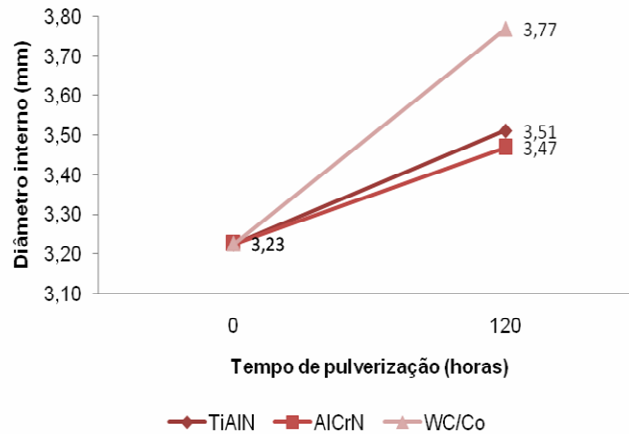


aumentam sua dureza, fazendo com que as pastilhas tenham uma maior resistência ao ataque erosivo da suspensão cerâmica no decorrer do processo de atomização.

Pastilhas furadas sem revestimentos (WC/Co) e com revestimentos (AlCrN e TiAlN) foram testadas industrialmente em um período de 120 horas nos *sprayers dryers*. A Figura 10 representa o orifício de saída do pó (grânulo) onde observa-se o comportamento da evolução do desgaste do mesmo de cada pastilha. Observa-se na Figura 11 que as pastilhas sem revestimentos (WC/Co) apresentaram maior irregularidade e aumento do orifício de saída em relação às com revestimentos, pois a parte anterior das pastilhas sem revestimento (WC/Co), ou seja, entrada do orifício delaminam com facilidade com o impacto da suspensão cerâmica. Pode-se perceber também que o desgaste após 120 h foi de 0,54 mm para as pastilhas sem recobrimentos (WC/Co) e de 0,28 mm para os revestimentos de TiAlN e 0,24 mm para AlCrN.



**Figura 10.** Pastilhas furadas sem revestimentos e com revestimentos que foram submetidas a desgastes através do ensaio industrial no *spray dryer*.



**Figura 11.** Desgaste do diâmetro interno da pastilha furada

#### 4.5 Custo x Benefício

Com os resultados industriais, fez-se, através de uma proporcionalidade, uma tabela de custo x benefício, comparando os custos e benefícios gerados com utilização no processo de atomização de pastilhas com revestimento superficial de AlCrN, tratamento este que apresentou os melhores resultados de resistência ao desgaste.

Nota-se com a Tabela 2, que o uso de pastilhas furadas com este tratamento proporcionaria grandes reduções de custos no que se refere à etapa de atomização.

**Tabela 2.** Tabela de custo x benefício

Pastilha	WC/Co	AlCrN	Diferença
Dias com paradas	15	10	5
Horas parado (mês)	5	3	2
Perda de produção (ton/mês)	75	45	30
Perda de combustível (m³/mês)	2500	1650	850
Pastilhas trocadas (mês)	45	30	15

Fonte: Eliane Revestimentos Cerâmicos

## 5 CONCLUSÃO

Com os testes laboratoriais e industriais foi possível perceber que as pastilhas tratadas apresentaram melhores resultados, garantindo um maior rendimento. Comparando os resultados de adesão e de desgaste erosivo sofrido e a informação de microdureza apresentado na tabela 1, observa-se que o revestimento mais duro foi o que desgastou mais em função da menor aderência do filme (TiAlN). O filme AlCrN\_TiSiN apresentou um desempenho intermediário nos testes de desgaste, embora tenha apresentado a maior aderência, o que pode ser atribuído a sua menor dureza, conforme apresentado na tabela 1. O melhor resultado de erosividade ficou por conta do revestimento que apresentou características intermediárias entre dureza e adesividade (AlCrN).

De fato o tratamento superficial confere ao material uma maior dureza e maior resistência a erosividade.

Os resultados laboratoriais demonstraram que em 12h o desgaste da pastilha sem recobrimento é de aproximadamente 2,6% em relação ao diâmetro inicial.

Nestas mesmas condições as pastilhas recobertas com AlTiN, AlCrN\_TiSiN, AlCrN desgastaram respectivamente: 2,6%, 2,2%, 1,1%. Os resultados industriais de desgaste após 120h foram de 16,7% para a pastilha sem recobrimentos, 8,6 % para o revestimento TiAlN e de 7,5% para o revestimento em AlCrN. Analisando a viabilidade econômica, estima-se que o melhor resultado (AlCrN) pode representar uma redução de parada do spray dryer para troca de bicos de 40% e 34% a menos de combustível para o reaquecimento do equipamento, possibilitando mais horas de pulverização e conseqüentemente, maior produção.

## **Agradecimentos**

Os autores agradecem as empresas Oerlikon Balzers e Eliane Revestimentos Cerâmicos por terem disponibilizados seus equipamentos industriais, ao Instituto Maximiliano Gaidzinski pelas suas instalações laboratoriais, e aos alunos que participaram no desenvolvimento do protótipo laboratorial de testes de erosão. Agradecimentos também aos órgãos de fomento CNPq e CAPES pelo financiamento parcial do trabalho.

## **REFERÊNCIAS**

- 1 LABRINCHA, João A. et alii. **A Atomização como Processo de Obtenção de Pós para a Indústria Cerâmica**. Instituto Politécnico de Viana do Castelo: Cerâmica Industrial, Acesso em: 04/05/08.
- 2 VENCOVSKY, Paulo, YUHARA, Daniel. **Aplicação de Revestimento PVD em Ferramentas de Conformação de Chapas**. Brasimet Comércio e Indústria S/A, São Paulo.
- 3 TSCHIPTSCHIN, André Paulo. Relação estrutura-propriedades em recobrimentos duros. **Revista Metalurgia e Materiais**, São Paulo, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, abril 2004.
- 4 SACMI. Spray Dryer Disponível em: <http://www.sacmi.com/> Acessado em 27 de janeiro de 2009.
- 5 MODESTO, Cláudio de Oliveira, MENEGALI, Gilson Bez Fontana. **Processo de Fabricação**: 1. ed. Cocal do Sul: 197 p.
- 6 BALZERS. **Boosting the performance and reliability of precision components. Published by Balzers AG, 2004.**
- 7 OERLIKON. **Encontre o revestimento certo, rápida e facilmente**. Disponível em: <<http://www.oerlikonbalzerscoating.com/bpt/por/01-products-services/015-coating-guide/indexW3DnavidW261.php>>. Acesso em: 17 de setembro de 2008.
- 8 HEINKE, W., Leyland, A., Matthews, A., Berg, G., Friedrich, C. e Broszeit, E., 1995, **Evaluation of PVD nitride coating, using impact, scratch and Rockwell-C adhesion tests**, Thin Solid Films, vol. 270, pp. 431438
- 9 SILVA, Flávio José da. Erosão, corrosão, erosão-corrosão e cavitação do aço ABNT 8550 nitretado a plasma. Tese de doutorado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, (MG), 2007.