

## Avaliação do Desempenho de Pastilhas Furadas de WC-Co de Bicos Pulverizadores com Tratamento Superficial Via PAPVD na Indústria de Revestimentos Cerâmicos

**Reginaldo Tassi<sup>a,b,\*</sup>, Giovanni Rocha Dos Santos<sup>d</sup>, Adão Felipe Oliveira Skonieski<sup>a</sup>,  
Agenor De Noni Junior<sup>b,c</sup>, Alexandre da Silva Rocha<sup>a</sup>**

<sup>a</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS,  
Av. Bento Gonçalves 9500, CP 1502, CEP 91501-970, Porto Alegre - RS, Brasil

<sup>b</sup>Instituto Maximiliano Gaidzinski – IMG, Rua Dr. Edson Gaidzinski, 532,  
CEP 88845-000, Cocal do Sul - SC, Brasil

<sup>c</sup>Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC, Av. Universitária 1105,  
Bairro Universitário, CP 3167, CEP 88806-000, Criciúma - SC, Brasil

<sup>d</sup>Oerlikon Balzers Revestimentos Metálicos Ltda, Rua Terezina 665,  
Bairro Costeira, CEP 83015-240, São José dos Pinhais - PR, Brasil

\*e-mail: tassi@imgnet.org.br

**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 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 as pastilhas furadas de WC-Co via PAPVD (deposição física de vapor assistidas por plasma) para aumentar sua resistência ao desgaste. Indentações Vickers foram realizadas para caracterizar a aderência dos filmes através da análise do modo de falha/delaminação dos revestimentos. Foi desenvolvido um pulverizador de bancada piloto para testes, no qual pastilhas furadas revestidas com diferentes recobrimentos (TiAlN, AlCrN e AlCrN\_TiSiN) foram testadas usando-se uma suspensão cerâmica de feldspato. As pastilhas recobertas com TiAlN e AlCrN também foram testadas no atomizador industrial. Os melhores resultados foram obtidos para o filme de AlCrN.

**Palavras-chave:** *desgaste erosivo, revestimento PVD, filmes finos, atomização.*

### 1. Introdução

No processo de produção de revestimentos cerâmicos por via úmida faz-se necessário a utilização de spray dryers (atomizadores) com o objetivo de secar e granular a suspensão cerâmica. Nesses são utilizados bicos pulverizadores, 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.

As massas cerâmicas possuem caráter erosivo, ocasionando grande desgaste na pastilha. O controle desse desgaste é de extrema importância para a granulometria do pó atomizado, 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 o desempenho e avaliado a viabilidade de aplicação e de revestimentos superficiais de filmes finos sobre o substrato de metal duro das 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 Tschiptschin<sup>3</sup>, os recobrimentos PVD são mais finos que os de CVD, com espessuras que variam entre 3 e 8  $\mu\text{m}$ .

O objetivo é estudar o sistema de desgaste das pastilhas furadas de bicos pulverizadores de atomizadores empregados na etapa de preparação de massa para fabricação de revestimentos cerâmicos. Foram realizados testes em pastilhas com diferentes revestimentos superficiais aplicados pela técnica de PAPVD, com o intuito de melhorar as propriedades de resistência a erosão, aumento da vida útil e otimização da 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. 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 pulverizador, localizado no interior da câmara de secagem ventilada com ar quente, e finamente dividida num elevado número de pequenas gotículas. Essas gotículas rapidamente adquirem uma forma esférica, por ação da forte pressurização exercida e pela tensão superficial, sofrem uma rápida evaporação de água gerando desta forma o pó atomizado. A Figura 1 mostra um esquema ilustrativo de um atomizador industrial.

Os grânulos arredondados obtidos apresentam uma distribuição entre de finos, médios e grossos, o que por um lado permite boa fluidez devido a sua geometria e por outro um melhor empacotamento durante a etapa de preenchimento do molde da prensa. Um dos principais fatores que alteram o tamanho dos grânulos é o diâmetro do furo da pastilha furada<sup>1</sup>. Um excesso de grânulos finos ou grossos causa perturbação no processo de conformação em relação a densificação e homogeneidade na densificação da peça, e eventualmente na ocorrência de defeitos de conformação do tipo esfoliado<sup>5</sup>.

## 2.2. 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 a 3,0 MPa (25 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.

### 2.2.1. 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).

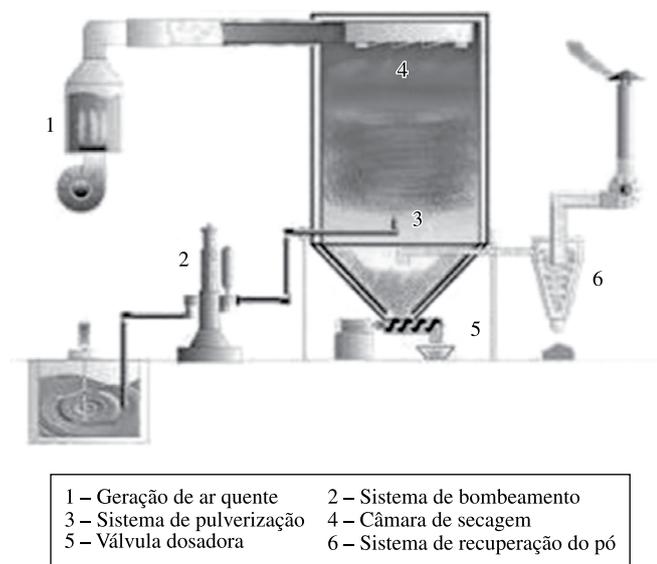


Figura 1. Processo de Atomização Industrial<sup>4</sup>.

Atualmente as pastilhas usadas apresentam as seguintes características:

- material: carbeto de tungstênio e cobalto (WC-Co);
- densidade (15,8 g.cm<sup>-3</sup>);
- vida útil de aproximadamente (5 dias).

## 2.3. Tratamentos por PAPVD

O processo PVD (Deposição física em fase de vapor) é feito sob alto vácuo a temperaturas que variam na ordem de 150 e 500 °C. Sendo o escolhido para os experimentos<sup>3,6</sup>.

O material de revestimento sólido de alta pureza (metais como titânio, cromo e alumínio) pode ser evaporados pelo calor ou então bombardeados com ions (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).

## 3. Procedimento Experimental

Pastilhas furadas de WC-Co foram tratadas através da técnica de PAPVD (deposição física de vapor assistidas por plasma) pela empresa OERLIKON balzers coating. Os recobrimentos realizados foram de AlCrN, AlCrN\_TiSiN e TiAlN.

A caracterização da aderência dos filmes foi realizada através de indentação Vickers com carga variando entre 1 e 40 kgf e análise

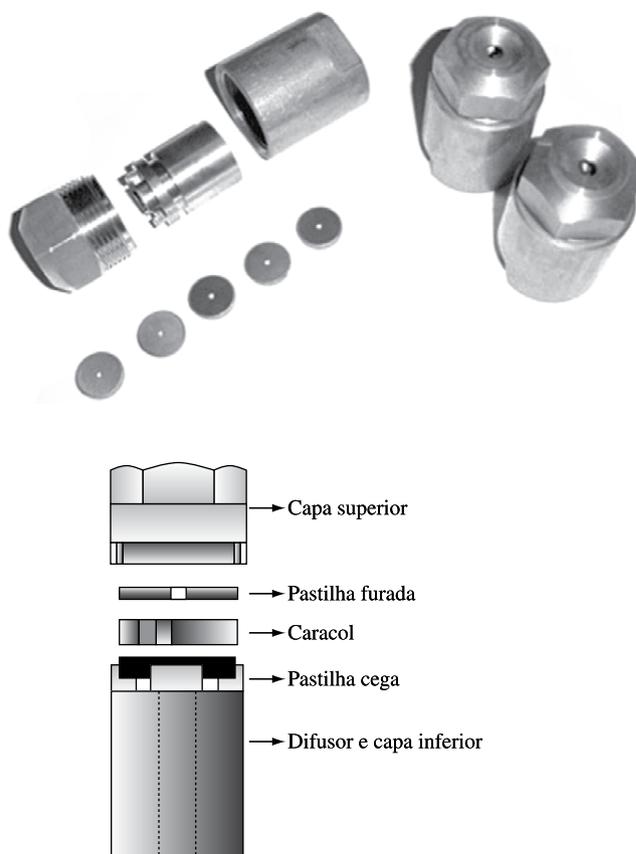


Figura 2. Partes de um Bico Pulverizador.

do modo de falha/delaminação dos filmes. Este método é similar ao ensaio estático de dureza “Rockwell C” conforme Heinke<sup>8</sup> apud Silva<sup>9</sup>.

Os experimentos para a avaliação do desgaste das pastilhas foram divididos em duas etapas: (1) laboratorial e (2) industrial.

### 3.1. Ensaio laboratorial

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%, em peneira de abertura 45 µm). 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 (via análise de imagens) a cada quatro horas de operação. A Figura 4 ilustra o protótipo montado.

### 3.2. Ensaio industrial

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 atomizador que processa massa de porcelanato a qual é a mais erosiva por conter maior percentual de materiais rochosos (30 a 40%)<sup>10</sup>. As pastilhas foram submetidas ao desgaste por cinco dias (120 horas).

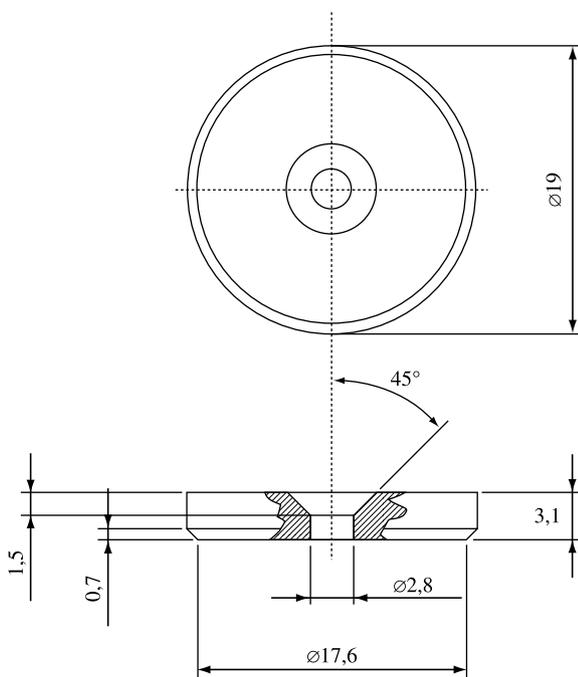


Figura 3. Pastilha furada.

## 4. Resultados e Discussão

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

Nas Figuras 5, 6 e 7 são apresentados os resultados das indentações para os três recobrimentos empregados. Observa-se que o recobrimento TiAlN (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 > TiAlN. Esta tendência resultou ser inversamente proporcional a dureza dos respectivos filmes AlCrN\_TiSiN < AlCrN < TiAlN.

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

A Figura 8 mostra o resultado da evolução do desgaste das pastilhas em função do tempo de pulverização. Observa-se que as pastilhas tratadas apresentaram os menores desgastes. Comparando os resultados entre as pastilhas, o menor desgaste foi para a pastilha tratada com o filme de AlCrN.

O tamanho do desgaste, correspondente a espessura do filme, está compreendido entre 6 a 10 µm. Observa-se que com 4 horas de pulverização já se obtém desgaste desta magnitude. A partir deste ponto o desgaste medido é aquele correspondente ao do substrato. Para os filmes de AlCrN\_TiSiN e TiAlN a taxa de desgaste após as primeiras 4 horas de pulverização passa a ser similar àquela do substrato (taxa de desgaste do substrato → 5,8 µm/h). Este mesmo comportamento não foi observado para o recobrimento de AlCrN, que manteve uma taxa de desgaste constante ao longo do período de realização do ensaio.

Comparando a dureza e adesividade dos filmes com o resultado de desgaste observa-se que o revestimento mais duro (TiAlN) foi o que desgastou mais em função da menor aderência. O filme mais aderente, porém menos duro (AlCrN\_TiSiN) apresentou um desempenho similar ao revestimento mais duro. Por sua vez, o revestimento de melhor resultado de erosividade (AlCrN) apresentou características intermediárias de dureza e adesividade.

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

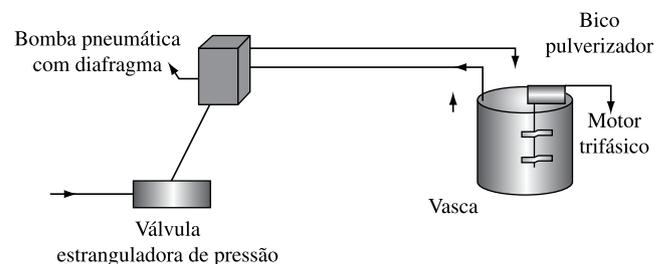
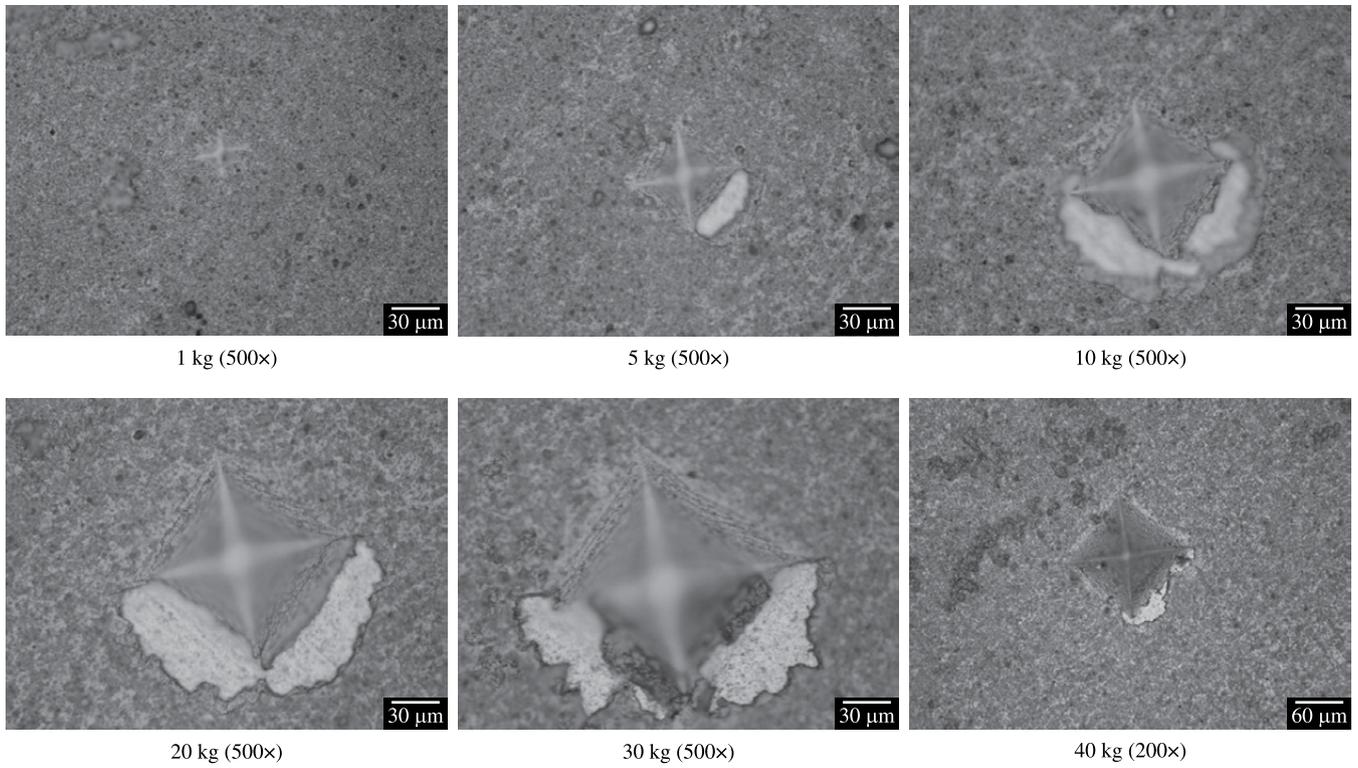
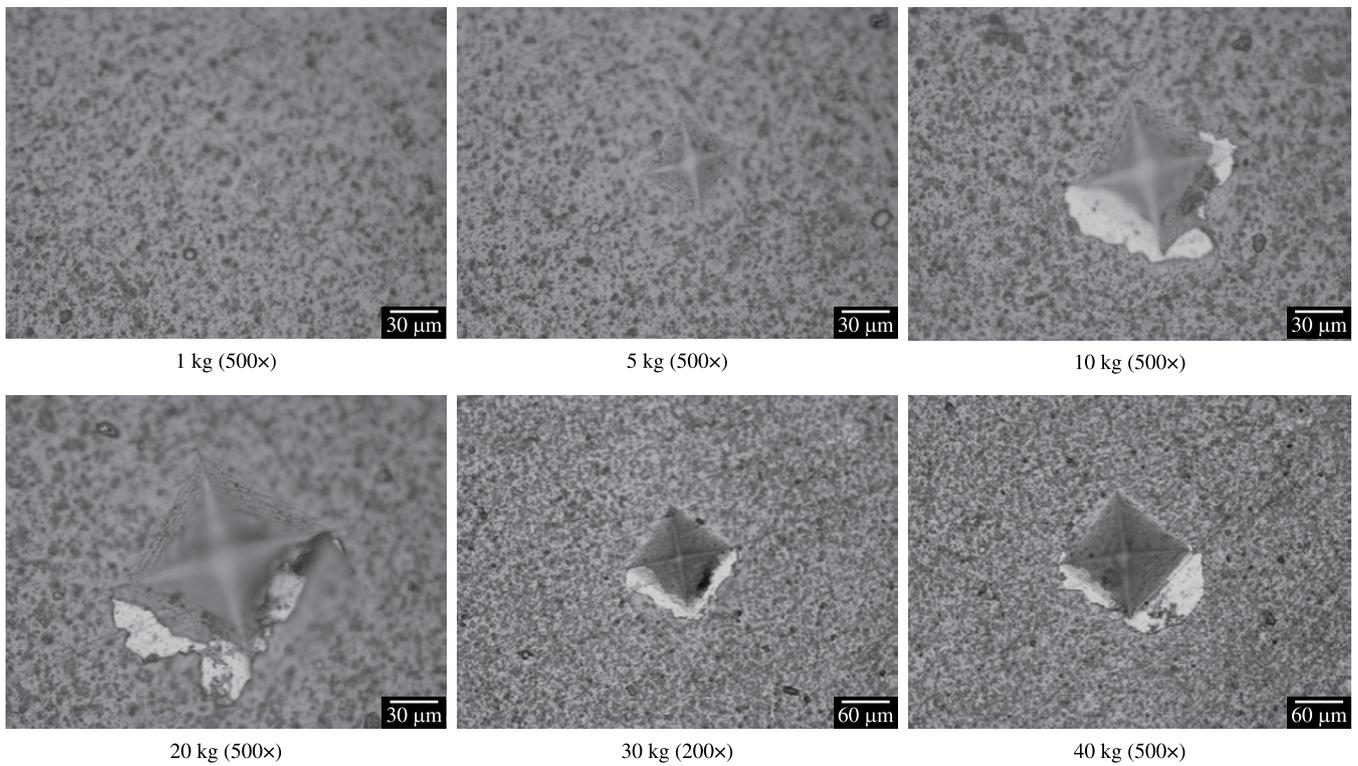


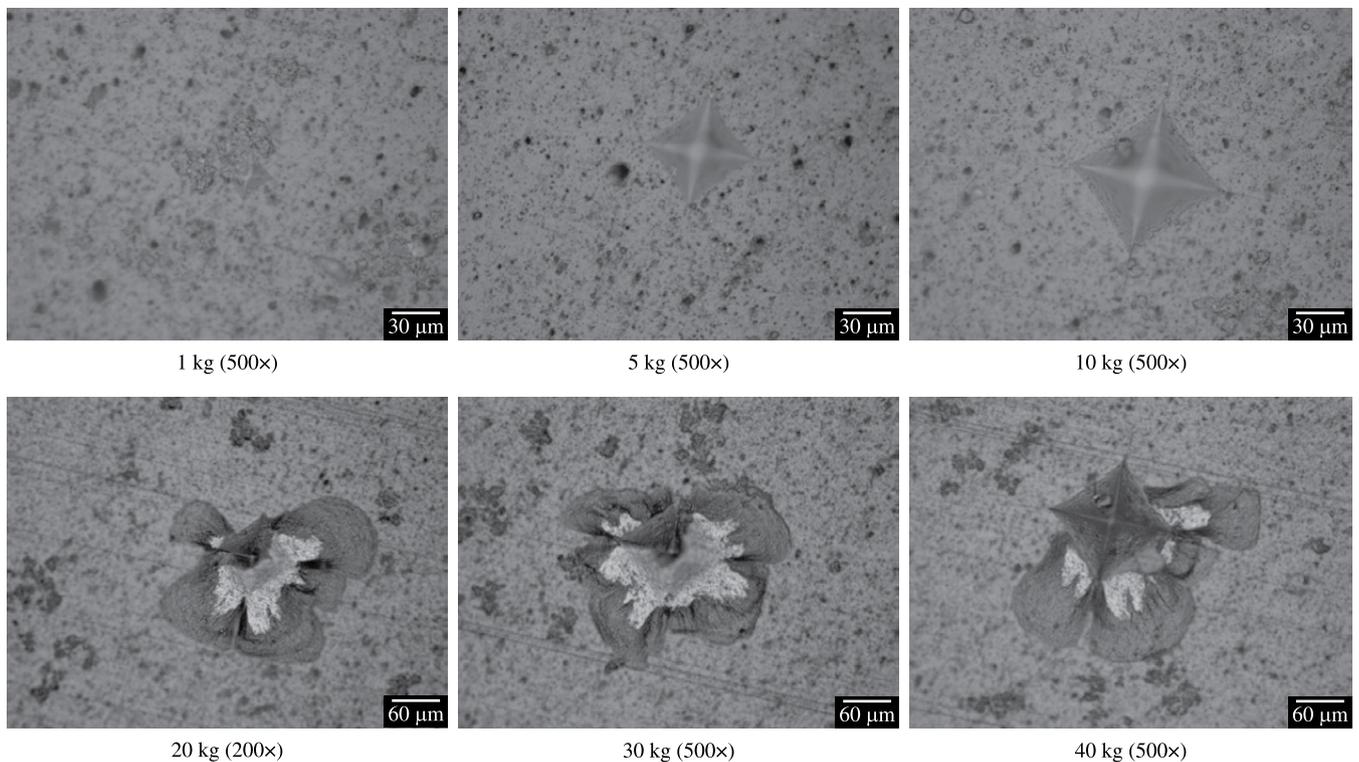
Figura 4. Protótipo de pulverização.



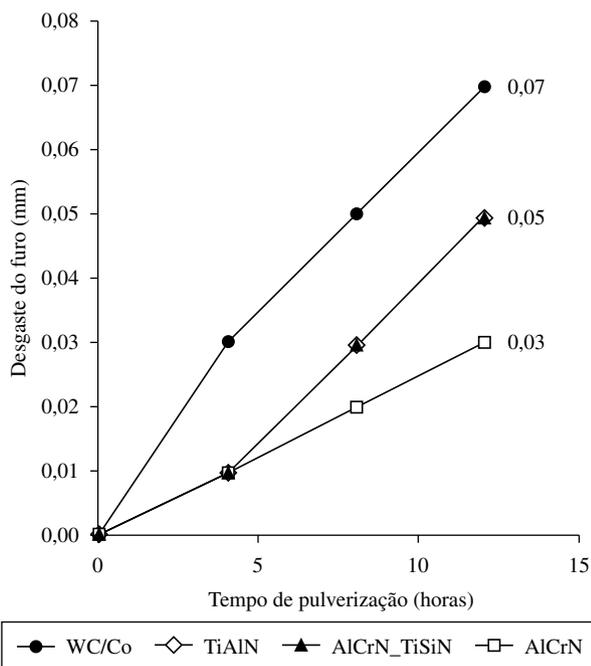
**Figura 5.** Micrografias dos ensaios de Microdureza Vickers das amostras de WC/Co com depósito de filmes finos de TiAlN.



**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.



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

#### 4.3. Resultados industriais do desgaste do diâmetro da abertura interna da pastilha furada

A Figura 9 representa o orifício de saída do pó (grânulo), onde observa-se o comportamento da evolução do desgaste do mesmo de cada pastilha. Conforme a Figura 10, 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 horas foi de 0,54 mm (taxa de desgaste de 4,5 µm/h) para as pastilhas sem recobrimentos (WC/Co) e de 0,28 mm para os revestimentos de TiAlN e 0,24 mm para AlCrN.

#### 4.4. Comparativo dos resultados laboratoriais e industriais de desgaste da pastilha furada

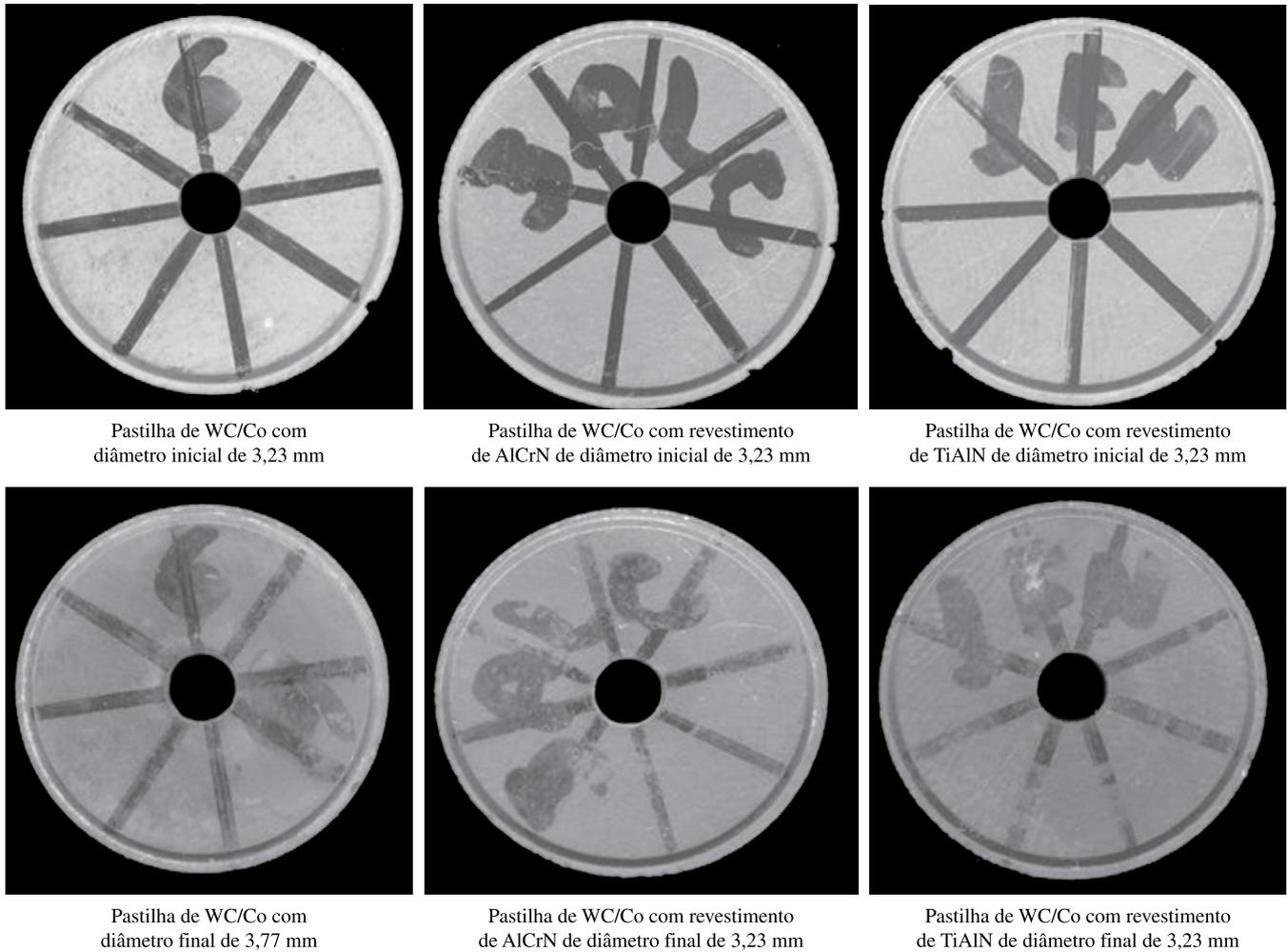
Analisando-se as taxas de desgaste obtidas nos ensaios laboratorial e industrial, para a pastilha sem recobrimento, observa-se que a taxa laboratorial foi superior (5,8 contra 4,6 µm/h). Pode-se dizer são resultados compatíveis e esperados, já que a suspensão utilizada no laboratório possuía caráter mais erosivo (90% feldspato) do que a suspensão industrial (aproximadamente 60% de partículas de feldspato e quartzo).

Os resultados laboratoriais demonstraram que em 12 horas o desgaste da pastilha sem recobrimento é de aproximadamente 2,6% em relação ao diâmetro inicial. Nestas mesmas condições as pastilhas recobertas com TiAlN, AlCrN\_TiSiN, AlCrN desgastaram respectivamente: 2,6; 2,2; 1,1%. Os resultados industriais de desgaste após 120 horas foram de 16,7% para a pastilha sem recobrimentos, 8,6% para o revestimento TiAlN e de 7,5% para o revestimento em AlCrN.

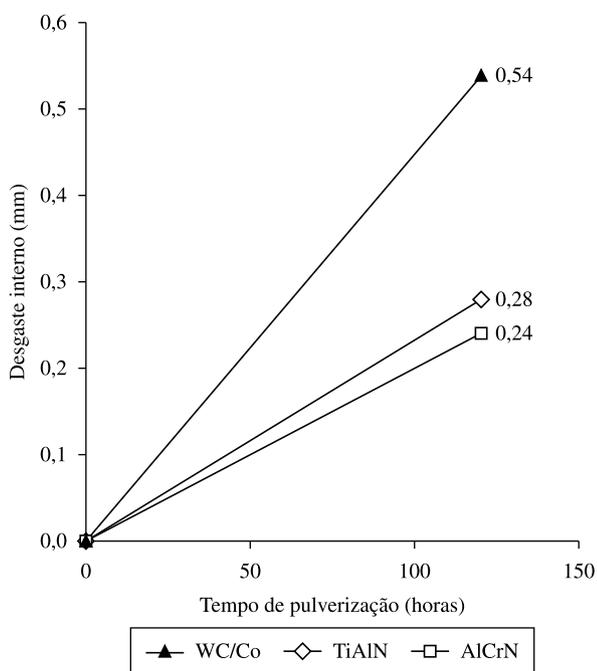
#### 4.5. Avaliação dos benefícios do uso de pastilhas tratadas

Com os resultados industriais, realizou-se uma estimativa comparando os benefícios gerados com utilização no processo de atomização com pastilhas tratadas com o recobrimento de AlCrN, o que apresentou os melhores resultados de resistência ao desgaste.

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



**Figura 9.** Pastilhas furadas sem revestimentos e com revestimentos que foram submetidas a desgastes através do ensaio industrial no *spray dryer*.



**Figura 10.** Desgaste do diâmetro interno da pastilha furada.

**Tabela 2.** Tabela de benefícios técnicos estimados.

Pastilha	WC-Co	WC-Co / AlCrN	Diferença
Número de paradas por mês	15	10	5
Tempo total de paradas (horas/mês)	5	3	2
Perda de produção (t/mês)	75	45	30
Perda de combustível (m <sup>3</sup> /mês)	2500	1650	850
Reposição mensal de pastilhas	45	30	15

Fonte: Eliane Revestimentos Cerâmicos.

## 5. Conclusão

As pastilhas furadas empregadas na atomização de suspensões cerâmicas foram tratadas por PAPVD e ensaiadas quanto ao desgaste erosivo, em comparação ao material de referência. Os ensaios foram realizados num bico pulverizador de laboratório e num atomizador industrial.

De forma geral as pastilhas tratadas obtiveram menores desgastes, ou seja, maior rendimento em relação às pastilhas sem recobrimento. Verificou-se também similaridade no desgaste do orifício entre os ensaios laboratoriais e industriais.

Pode-se afirmar que às propriedades intermediárias de adesão e dureza obtidas para o recobrimento de AlCrN apresentaram maior resistência ao ataque erosivo da suspensão cerâmica em relação aos filmes de TiAlN e AlCrN\_TiSiN.

Estima-se que o melhor resultado (AlCrN) pode representar uma redução de parada do atomizador para troca de bicos de 40 e 34% menor consumo de combustível para o reaquecimento do equipamento, possibilitando consequentemente estabilidade na 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, J. A. et al. A atomização como processo de obtenção de pós para a indústria cerâmica. **Cerâmica Industrial**, v. 6, n. 5, p. 34-40, 2001.
2. VENCOVSKY, P.; YUHARA, D. **Aplicação de revestimento pvd em ferramentas de conformação de chapas**. São Paulo: Brasimet Comércio e Industria S/A.
3. TSCHIPTSCHIN, A. P. Relação estrutura-propriedades em recobrimentos duros. **Revista Metalurgia e Materiais**, 2004.
4. SACMI. **Spray Dryer**. Disponível em: <<http://www.sacmi.com>>. Acesso em: 27 jan. 2009.
5. DE PAULA, R. G. et al. Efeito do teor de umidade e da pressão de prensagem sobre as características de revestimentos cerâmicos. **Cerâmica Industrial**, v. 2, n. 3/4, 1997.
6. BALZERS. **Boosting the performance and reliability of precision components**. 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 set. 2008.
8. HEINKE, W. et al. Evaluation of PVD nitride coating, using impact, scratch and Rockwell-C adhesion tests. **Thin Solid Films**, v. 270, p. 431438, 1995.
9. SILVA, F. J. **Erosão, corrosão, erosão-corrosão e cavitação do aço ABNT 8550 nitretado a plasma**. 2007. Tese (Doutorado)-Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, 2007.
10. DE NONI Jr., A. **Determinação das propriedades mecânicas de porcelanato através da medida de tensões residuais microscópicas e macroscópicas originadas durante a etapa de resfriamento do ciclo de queima**. Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, SC, 2007.