



APLICAÇÃO DE CERÂMICAS DE ALTA RESISTÊNCIA AO DESGASTE EM MOLDES DE EXTRUSÃO UTILIZADOS NA INDÚSTRIA DE CERÂMICA VERMELHA

J. Duailibi Filho⁽¹⁾, A. J. N. Dias⁽¹⁾ e C. A. Vilaro⁽¹⁾

(1) Instituto Nacional de Tecnologia - INT
Av. Venezuela, 82 sala 604
20.081 - Rio de Janeiro, RJ

RESUMO

O alto desgaste dos moldes de extrusão causado pela presença nas argilas de materiais altamente abrasivos como a areia (quartzo), constitui-se em um dos principais fatores que afetam a qualidade e a produtividade do Segmento de Cerâmica Vermelha. Com o acentuado desgaste dos componentes metálicos, observa-se um rápido aumento da espessura das paredes dos produtos, acarretando um maior consumo de matérias-primas, perda de produtividade e frequentes paradas de produção. Foram testados em produção componentes metálicos com insertos cerâmicos constituídos dos seguintes materiais: cerâmica de alta alumina contendo titânia e talco, compósitos alumina-zircônia utilizando zircônia monoclinica e parcialmente estabilizada com ítria, zircônia (PSZ) e cerâmica de nitreto de silício. Foram verificados expressivos aumentos da vida útil dos componentes de moldes de extrusão com a utilização de insertos cerâmicos, gerando melhoria na qualidade dos produtos e grande economia de matérias-primas. Com o emprego de materiais que aliam alta dureza e alta tenacidade, como as cerâmicas de zircônia, os compósitos alumina-zircônia (ZTA) e as cerâmicas de nitreto de silício, a durabilidade dos componentes é até 9 vezes superior à verificada para os componentes de aço rápido.

Palavras-chaves: cerâmica vermelha, moldes de extrusão, resistência ao desgaste, cerâmicas especiais.

INTRODUÇÃO

Face a situação de carência verificada no Segmento de Cerâmica Vermelha, onde a grande maioria das 10.000 unidades produtivas espalhadas pelo País é de pequeno e médio porte, utilizando, em geral, tecnologias desenvolvidas há mais de 50 anos⁽¹⁾, ações sistemáticas voltadas para a melhoria da qualidade e produtividade podem vir a gerar ganhos expressivos para este importante segmento do Setor Cerâmico, cujos números impressionam: cerca de 5 bilhões de reais de faturamento



anual, mais de 250.000 empregos diretos e consumo anual de mais de 60 milhões de toneladas de argilas^(2,3). Neste sentido, a implantação de técnicas relativamente simples como o pré-preparo e descanso (sazonamento) das argilas e a utilização de componentes de maior resistência ao desgaste nos equipamentos de produção, pode gerar economias expressivas de matérias-primas e energia, melhorando a qualidade dos produtos e aumentando a produtividade das empresas.

O grande desgaste verificado nos equipamentos de produção, em particular, no eixo sem fim, carcaça e molde (boquilha) da extrusora é, principalmente, função da alta abrasividade de alguns componentes das argilas, como o quartzo (areia) presente, em muitos casos, em quantidades apreciáveis. Dependendo do grau de abrasividade das matérias-primas, ocorre um rápido aumento da espessura das paredes do produto, atingindo, em um curto espaço de tempo, o peso limite tolerado a partir do qual o processo sai fora de controle. Como consequência, tem-se um maior consumo de matérias-primas, maiores variações dimensionais, aumento do consumo específico de energia na secagem e queima, maior esforço do equipamento de extrusão e maior frequência de parada das máquinas.

Para minimizar o alto desgaste verificado nas boquilhas, principalmente nos componentes metálicos responsáveis pelos furos internos dos blocos, denominados machos, e nas molduras que definem as paredes externas dos produtos de cerâmica vermelha, também conhecidas como telares, surgiram soluções alternativas nos últimos anos, como o emprego de aço cromado nas molduras e machos e o uso de porcelana nos machos. A literatura relata o uso da porcelana na Europa desde o início dos anos oitenta, porém, até o final dos anos 90 o seu uso não estava muito difundido em função da mesma ser quebradiça⁽⁴⁾. A utilização de proteção metálica em machos maciços de porcelana de alta alumina, tornou possível a utilização dos mesmos, já sendo comercializados em larga escala no País⁽⁴⁾. Também tem sido observado nas principais feiras européias de equipamentos e produtos voltados para a indústria de cerâmica, como a CERAMITEC - Alemanha e a TECNARGILA - Itália, a oferta de machos maciços de cerâmica de alta alumina. Porém, mesmo na Europa, seu uso ainda não se encontra difundido, provavelmente em função da relação custo/benefício, uma vez que os machos fabricados em cerâmica de alta alumina (>99 % de Al_2O_3), devido à complexidade das geometrias observadas, exigem processos especiais de conformação.



Da reflexão sobre estas questões e da observação de que a resistência ao desgaste dos materiais cerâmicos é uma função que depende não apenas da dureza, mas também da tenacidade do material, conforme explicitada no Item subsequente deste Trabalho e, ainda, que componentes maciços de cerâmica estariam mais sujeitos a danos em situações onde o operador da extrusora retira possíveis contaminações, como raízes que impedem a passagem da massa cerâmica argilosa entre os vãos do molde, foi desenvolvido e testado em produção sistema constituído de base metálica – mantendo-se a ductilidade necessária para evitar rupturas catastróficas -, onde são aplicados insertos cerâmicos em sulcos abertos apenas nas superfícies das peças que ficam em contato com o fluxo argiloso, conforme mostrado na Figura I. O referido sistema, objeto de Pedido de Privilégio de Invenção depositado no Instituto Nacional de Propriedade Industrial - INPI em agosto de 1999⁽⁵⁾, permite a utilização de materiais cerâmicos estruturais de alta performance, como os compósitos alumina-zircônia, zircônia parcialmente estabilizada e nitreto de silício, cujos custos de fabricação seriam proibitivos se fossem utilizados como componentes maciços.

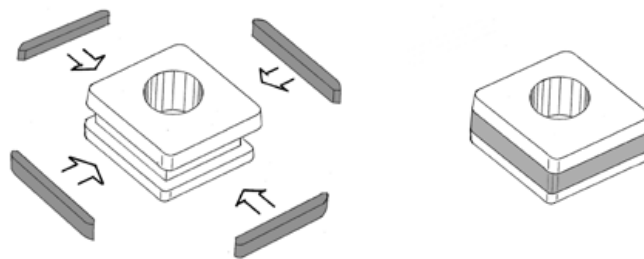


Figura I - Sistema de Montagem dos Insertos na Base Metálica⁽⁵⁾

O presente Trabalho tem como objetivo apresentar os resultados dos testes em produção de componentes de moldes de extrusão contendo insertos de diferentes materiais cerâmicos, bem como analisar a efetividade dos mesmos quando comparados com a utilização de componente confeccionados com aço rápido.

RESISTÊNCIA AO DESGASTE DOS MATERIAIS CERÂMICOS

Ocorre desgaste por abrasão quando uma superfície áspera dura contendo protuberâncias, ou quando uma superfície mole contendo partículas duras, desliza sobre uma outra superfície (relativamente menos dura), abrindo uma série de



ranhuras, e removendo material da mesma⁽⁶⁾. Nos materiais frágeis, a fratura lateral exerce papel de destaque nos mecanismos de desgaste quando comparada com as forças normais e paralelas (friccionais) à superfície⁽⁷⁾. As trincas laterais se desenvolvem exclusivamente pelas forças residuais criadas pela indentação da partícula ou protuberância da superfície que desliza sobre o material sob desgaste⁽⁷⁾. Considerando a dependência da profundidade da indentação e do comprimento da trinca com a dureza (H) e da tenacidade à fratura (k_{1C}), Evans and Wilshaw⁽⁸⁾ desenvolveram a seguinte expressão relacionando o volume de material removido (V) pelo sistema de indentação em operação de desbaste ou em desgaste por abrasão:

$$V \propto 1/k_{1C}^{3/4} H^{1/2} * N(P)^{5/4} * \ell \quad (A)$$

Onde "N" é o número de partículas abrasivas, sendo "P" a força normal sobre a partícula e " ℓ " a distância percorrida. Experimentos realizados com materiais cerâmicos dos seguintes grupos de materiais: Al_2O_3 monolítico, compósitos Al_2O_3 - ZrO_2 , compósitos Al_2O_3 - TiO_2 e Si_3N_4 monolítico, mostraram que a resistência ao desgaste ($1/v$) comporta-se como uma função linear conforme a equação⁽⁹⁾:

$$1/v \propto k_{1C}^{3/4} H^{1/2} \quad (B)$$

cujo espalhamento dos dados observado em cada sistema, é mostrado na Figura II⁽⁹⁾.

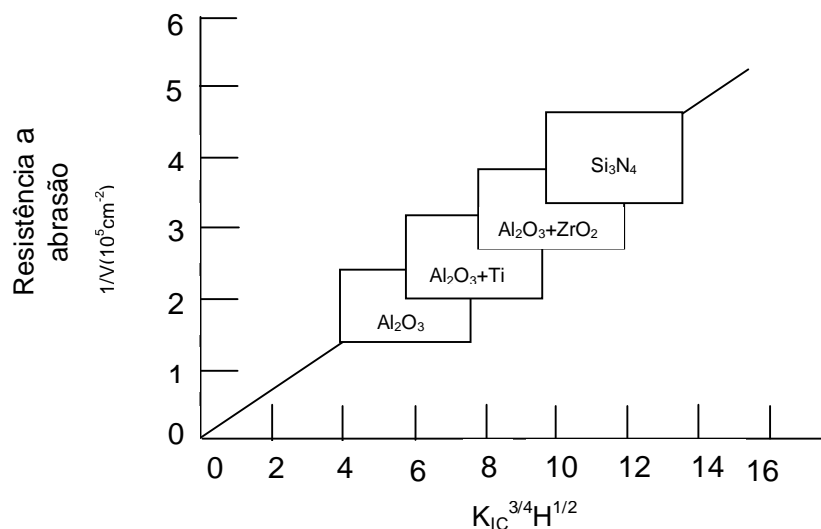


Figura II - Resistência à Abrasão de Sistemas Cerâmicos em Função de $k_{1C}^{3/4} H^{1/2}$



No processo de extrusão, a mistura de argila ao passar pelas paredes do molde comporta-se como uma superfície mole contendo partículas duras, como os grãos de quartzo (areia) presentes. Para os moldes exclusivamente confeccionados em materiais metálicos, o desgaste se dá pelo arrancamento do metal por deformação plástica, causados, principalmente, pelas forças friccionais, formando ranhuras na superfície das paredes do molde em contato com o fluxo argiloso, sendo mais acentuado nos machos e molduras onde a massa argilosa passa em alta velocidade e maior pressão, devido à contração no fluxo do sistema argila-água.

Para os machos e molduras maciças de cerâmica ou contendo material cerâmico, o mecanismo de desgaste predominante é a propagação de trinca e fratura nas superfícies laterais, obedecendo as equações (A) e (B). Em ambos os casos, a taxa de desgaste dos componentes dos moldes será, em princípio, diretamente proporcional ao número de partículas duras presentes na massa cerâmica, ou seja, ao teor de material não plástico, principalmente a areia. Porém, argilas de alta plasticidade com alto teor de partículas $< 2 \mu\text{m}$ e/ou com alto conteúdo de matéria orgânica, podem admitir teores relativamente elevados de areia, sendo menos abrasivas que argilas pouco plásticas.

MATERIAIS E MÉTODOS

Foram confeccionados insertos cerâmicos a partir de corpos de prova de geometria prismática (espessura 5,0 mm, profundidade de 4,1 mm), conformados por prensagem uniaxial, utilizando as seguintes composições:

- Cerâmica de alta alumina (Al_2O_3) contendo 5,0% talco e 4,3% de titânia (TiO_2)⁽¹⁰⁾;
- Compósito Alumina-zircônia ($\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{ZrO}_2\text{-M}$) - 0,15% de zircônia monoclinica⁽¹¹⁾;
- Compósito Alumina-zircônia ($\text{Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2\text{-PSZ}$) contendo 15% de zircônia parcialmente estabilizada com ítria (Y_2O_3)⁽¹²⁾;
- Zircônia ($\text{ZrO}_2 - \text{PSZ}$) parcialmente estabilizada com ítria (Y_2O_3);
- Nitreto de silício (Si_3N_4) obtido via sinterização normal, contendo 5% de ítria (Y_2O_3), 5% de alumina (Al_2O_3) e 1% de ferro silício (FeSi_x) como aditivos de sinterização⁽¹³⁾.

Os insertos foram confeccionados obedecendo as seguintes etapas: mistura e/ou moagem das matérias primas utilizando moinho de alta energia, secagem e



granulação, pesagem, prensagem, corte, eliminação do plastificante e sinterização dos materiais à base de óxidos em forno tipo mufla e do nitreto de silício em forno com atmosfera controlada a 1750°C. Os insertos cerâmicos foram fixados nos sulcos de bases metálicas de aço rápido, utilizando cola polimérica de alta resistência, conforme esquema mostrado na Figura 1. Após a fixação dos insertos, os machos sofreram acabamento final em rebolo adiamantado para a quebra dos cantos vivos das bordas.

Na primeira etapa dos testes em produção foi montada em uma das quatro saídas de boquilha de tijolo 20x30, conjunto de 8 machos contendo insertos de alumina-titânia-talco, sinterizados a 1400°C⁽¹⁰⁾. Em outra saída, foi montado conjunto de machos com nitreto de silício, e nas duas saídas restantes foram colocados machos com insertos de wídia (WC – carbeto de tungstênio). Utilizou-se uma extrusora marca BONFANTI MB 18" - 200 Cv, pertencente a empresa localizada no Município de Itaboraí – RJ, região conhecida pela alta abrasividade das argilas utilizadas. Em todas as molduras foram utilizados insertos de wídia, inclusive nos testes subsequentes. Após ajuste inicial da boquilha, iniciou-se o acompanhamento do ganho de massa dos blocos de cada saída, pesando-os no início da manhã e no final do expediente.

Em função da diferença acentuada no desgaste entre as saídas, o teste foi interrompido quando a massa dos blocos da saída contendo insertos de Alumina-Titânia-Talco atingiu o peso limite tolerado para o bloco 20x30. Os testes subsequentes de produção foram realizados na mesma extrusora, com todas as 4 saídas contendo insertos do mesmo material, mantendo-se duas pesagens ao dia em todas as saídas. Os testes com insertos de zircônia e do composto alumina-zircônia foram realizados em boquilha para a produção de blocos 20x20 de 10 furos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para todos os materiais testados, foi observada uma boa correlação linear entre a massa do bloco "M_n" e a quantidade "n" de peças produzidas, conforme pode ser visto na Tabela I, podendo ser utilizado a expressão:

$$M_n = M_o + b*n \quad (C)$$



onde, "M₀" é a massa inicial do bloco, e "b" é o coeficiente angular da reta. Embora o peso inicial desejado para o bloco 20x30 seja de 3.700 g, em cada teste o peso inicial do bloco variou de acordo com a regulagem da boquilha.

Tabela I - Relação entre a Massa do Bloco e a Quantidade de Peças Produzidas

Material	Código	M _n = M ₀ + b*n	R ²
Aço rápido (VC 131)	AÇO	M _n = 3759,2 + 1,31 * 10 ⁻³ n	0,99
Alumina-5,0% titânia -4,3% talco	AL-Ti-Ta	M _n = 3746,9 + 0,96 * 10 ⁻³ n	0,98
Al ₂ O ₃ - ZrO ₂ -M (0,15%)	AL-ZR _M	M _n = 3608,7 + 0,53 * 10 ⁻³ n	0,92
Vídea (WC)	WC	M _n = 3774,6 + 0,36 * 10 ⁻³ n	0,98
ZrO ₂ (PSZ)	ZR _{PSZ}	M _n = 3757,1 + 0,23 * 10 ⁻³ n	0,98
Al ₂ O ₃ - ZrO ₂ - PSZ (15%)	AL-ZR _{PSZ}	M _n = 3723,9 + 0,15 * 10 ⁻³ n	0,93
Si ₃ N ₄ (Nitreto de silício)	SN	M _n = 3768,9 + 0,14 * 10 ⁻³ n	0,98

ZrO₂-M: Zircônia monoclinica; ZrO₂ - PSZ: Zircônia parcialmente estabilizada com ítria;

A massa total processada (M_{Tn}) até a peça "n", é igual ao somatório das massas de todos os blocos produzidos, dada pela integral da equação (C) no intervalo n=1 a n.

$$M_{Tn} = \sum_{n=1}^n M_n = \int_1^n M_n d_n = \int_1^n (M_0 + bn) d_n = M_0 n + b/2 n^2 \quad (D)$$

onde o termo "b/2 n²", corresponde ao somatório dos acréscimos de massa até a peça "n", devido ao desgaste dos componentes do molde.

De forma a poder comparar o desempenho de materiais testados em boquilhas 20x30 e 20x20, Foram construídos gráficos plotando o ganho de massa ΔM_n expresso em porcentagem do peso inicial M₀, em função da massa total processada, fornecido pela equação (D), conforme mostrado na Figura III.

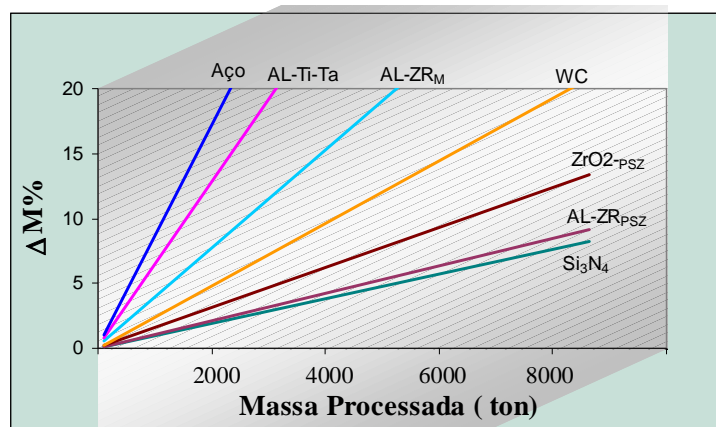


Figura III – Ganho de Massa do Bloco em Função da Quantidade de Argila Processada



Com base nas equações (C) e (D), e considerando que o peso limite para o bloco 20x30 praticado pela Empresa na época do início dos testes era e de 4.350 g, para cada material testado foi calculado o número de peças processadas até se atingir o peso limite, a quantidade total de massa processada ($M_0 + b/2 n^2$) correspondente e o número de ciclos equivalentes em relação ao aço (N_{EQA}), conforme mostrado na Tabela II. A partir das faixas de valores de Dureza (H) e do fator de Intensidade de Tensão Crítica (K_{1C}) fornecidos pela literatura e de trabalhos anteriores para os materiais cerâmicos testados⁽⁹⁻¹⁵⁾, foram calculados os respectivos valores de " $K_{1C}^{3/4} H^{1/2}$ ", os quais seguem a mesma tendência mostrada na Figura II.

Tabela II - Quantidade de Blocos Produzida até o Peso Limite Admitido

Material	Nº de Peças Produzidas	Ciclos Eq. (N_{EQA})	Toneladas Processadas	H (GPa)	K_{1C} (MPam ^{1/2})	$K_{1C}^{3/4} H^{1/2}$
AÇO	451.000	1	1.828,6	-	-	-
AL-Ti-Ta	628.200	~ 1,4	2.353,8	10 – 12	2 – 3	5,3 – 7,9
AL-ZR _M	1.398.700	~ 3,1	5.565,9	16 – 18	4 – 5	11,3 – 14,2
WC	1.598.300	~ 3,5	6.032,9	-	-	-
ZR _{PSZ}	2.577.800	~ 5,7	9.685,8	10 – 12	8 – 10	13,6 – 16,5
AL-ZR _{PSZ}	4.174.000	~ 9,2	16.850,2	14 – 18	6 – 8	14,3 – 19,0
SN	4.150.700	~ 9,2	16.849,6	14 – 18	5 – 6	12,5 – 18,3

Pelos valores de dureza (H) e da tenacidade (K_{1C}) da alumina tenacificada com a zircônia monoclinica pelo mecanismo de microtrincamento⁽¹¹⁾, era de se esperar um melhor desempenho da composição AL-ZR_M. Creditamos este desempenho relativamente fraco, quando comparado às composições com zircônia parcialmente estabilizada com ítria e com nitreto de silício, à dificuldade de dispersão de forma uniforme da pequena quantidade de zircônia (0,15%) na matriz de alumina.

A literatura mostra que é possível aumentar o valor de K_{1C} para o compósito alumina-zircônia PSZ, aumentando o teor de zircônia PSZ até 21% em peso (~15% em volume), o que levaria o valor do termo " $K_{1C}^{3/4} H^{1/2}$ ", a ser ligeiramente superior ao do Si₃N₄, conforme mostrado na Tabela II, substituindo-o com vantagens em função do menor custo de processamento.

Considerando os valores de " N_{EQA} " para os machos com insertos de materiais de alta tenacidade como a zircônia, o compósito alumina-zircônia e o nitreto de silício (Tabela II) e, desde que o preço dos referidos componentes não exceda o custo dos



machos de aço multiplicado pelo "N_{EQA}", os benefícios já seriam consideráveis: menores tempos de parada para troca dos componentes e ajustes dos moldes, diminuição da mão de obra para manutenção e maior constância da produção.

Porém, como mostra os dados apresentados na Tabela III, o grande ganho para o produtor de cerâmica pode advir das economias de matérias-primas e insumos do processo produtivo, se os componentes forem trocados próximos ao número de ciclos equivalentes ao aço onde a economia de matérias-primas é maximizada.

Tabela III - Economia de Argila em Função do N^o de Ciclos Equivalentes do Aço

PRODUÇÃO N ^o Peças	CICLOS AÇO	CONSUMO ADICIONAL DE ARGILA (ton.)					ECONOMIA DE ARGILA (ton.)			
		AÇO	AL-ZR (Mon.)	Zircônia (PSZ)	AL-ZR (PSZ)	Nitreto	AL-ZR (Mon.)	Zircônia (PSZ)	AL-ZR (PSZ)	Nitreto
451.000	1 ^o	133,2	53,9	23,4	15,3	14,2	79,3	109,8	117,9	119,0
902.000	2 ^o	266,4	215,6	93,6	61,0	57,0	50,8	172,8	205,4	209,4
1.353.000	3 ^o	399,6		210,5	137,3	128,1		189,1	262,3	271,5
1.804.000	4 ^o	532,8		374,3	244,1	227,8		158,5	288,7	305,0
2.225.000	5 ^o	667,0		569,3	371,3	346,5		107,7	295,7	320,5
2.706.000	6 ^o	799,2			549,2	512,6			250,0	286,6
3.157.000	7 ^o	932,4			747,5	697,7			184,9	234,7
3.608.000	8 ^o	1.065,6			976,3	911,2			89,3	154,4
4.059.000	9 ^o	1.198,8				1.153,3				45,5

Esta região de máxima economia de argila está localizada após a tangente da curva "Economia de Massa" vs. "Número de Peças Produzida" passar a ser negativa, conforme mostrado na Figura IV.

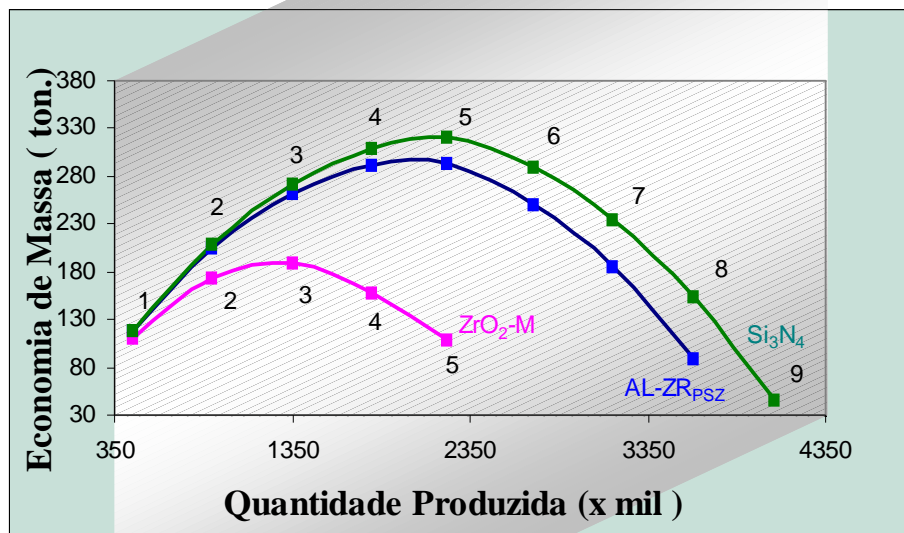


Figura IV – Economia de Massa Vs. Quantidade de Blocos Produzidos



Quanto mais a curva se aproxima do “ N_{EQA} ”, onde a peça atinge o peso máximo estipulado, aumenta a taxa do consumo adicional de massa e, conseqüentemente, diminui a economia de argila. Embora o ponto de máxima economia para os machos contendo insertos de alumina-zircônia PSZ e nitreto de silício esteja próximo ao 5º ciclo equivalente, respectivamente 295 e 320 toneladas de argila, as economias em torno do 6º ciclo continuam consideráveis, entre 250 a 300 toneladas, o suficiente para produzir cerca de 100.000 blocos 20x20. Os ganhos vão muito além da economia de argila propriamente dita, sendo expressivas as economias em termos da redução do número de horas.máquina e homem.hora gastos na preparação da massa e conformação dos produtos, da redução do consumo de energia elétrica até a extrusão e de energia térmica para secagem e queima.

De forma a maximizar a economia de matérias-primas e demais insumos de produção, mantendo a boquilha funcionando o maior tempo possível, pode-se admitir como limite para o número de peças a ser produzido, o valor intermediário entre o número de peças correspondente ao ciclo que gera a maior economia e o imediatamente posterior. Para a curva referente ao nitreto de silício (Figura IV), os componentes deveriam ser trocados quando fosse atingida a marca de 2.465.000 peças. Calculando o termo “ $b*n$ ” da equação (C) que fornece o incremento de massa do bloco em função do número de peças produzidas, ter-se-ia um ganho de massa máximo de 10%, para uma produção total de cerca de 9.750 toneladas.

Para efeito de comparação, todas as boquilhas testadas continham molduras com insertos de vídea, que apresentam uma resistência ao desgaste considerável (3,5 vezes o número de ciclos equivalente ao aço). A utilização de molduras contendo insertos dos materiais que apresentam uma combinação de alta dureza e alta tenacidade, como o composto alumina-zircônia-PSZ, certamente melhorará o desempenho dos moldes de extrusão, principalmente no que concerne à maior constância dimensional dos produtos.

Uma outra possibilidade de se ampliar a vida útil dos componentes seria de aumentar a espessura “ l ” do inserto cerâmico. Este recurso se aplicaria melhor para os materiais que apresentam valores baixos para o termo “ $K_{1C}^{3/4} H^{1/2}$ ”, como é o caso da composição alumina-titânia-talco. Para os materiais de alta tenacidade, a espessura de 5 mm utilizada tem-se mostrado adequada, principalmente para a utilização em molduras onde a espessura total do componente fica, em geral, em torno de 10 a 13 mm (3/8" a 1/2").



Outro vantagem da utilização dos insertos de zircônia, alumina-zircônia e nitreto de silício quando comparado aos demais materiais, é a formação de superfície espelhada no inserto que diminui a resistência ao fluxo de argila, exigindo um menor esforço da extrusora. Além disso, permite com relativa facilidade a confecção de molduras responsáveis pela manutenção da constância dimensional, onde a utilização de materiais cerâmicos é praticamente inexistente

CONCLUSÕES

Foram verificados expressivos aumentos da vida útil dos componentes de moldes de extrusão utilizados em cerâmica vermelha com o emprego de insertos cerâmicos, gerando melhoria na qualidade dos produtos e grande economia de matérias-primas. Com o emprego de materiais que aliam alta dureza e alta tenacidade, como os compósitos alumina-zircônia parcialmente estabilizada com ítria e as cerâmicas de nitreto de silício, a durabilidade dos componentes é até 9 vezes superior à verificada para os componentes de aço rápido.

Os resultados obtidos com a aplicação de sistema onde se une a alta ductilidade do aço e a alta resistência ao desgaste dos materiais cerâmicos, mostraram ser possível a utilização de cerâmicas de alta tecnologia em aplicação relativamente simples, porém com enormes benefícios em termos de redução dos custos de produção e melhoria da qualidade dos produtos da Indústria de Cerâmica Vermelha, Segmento do Setor Cerâmico altamente carente em termos de desenvolvimento tecnológico.

Agradecimentos

Os Autores agradecem pelo inestimável apoio logístico durante o desenvolvimento deste trabalho aos empresários Manuel Pinto e Djalma Motta Pinto da Tijolar Indústria e Comércio Ltda e aos seus dedicados funcionários, André Cantareli da Silva e Adailton Inácio Ferreira, pela valiosa colaboração.

6. REFERÊNCIAS

1. “Estudo do Setor de Cerâmica Vermelha – Região Sudeste”, SENAI, *Projeto Estratégico – SD 011*. Relatório, 1997.
2. J. Duailibi Filho, Mercado de Cerâmica Vermelha Estrutural. *Informativo ABC*, Ano 7, No 26, nov./dez./1999.
3. G. M. Bustamante e J. C. Bressiani, A Indústria Cerâmica Brasileira, *Ceramic News*, Volume 7, Nº 1(2000), pp. 55-59.



4. "Corroendo o lucro". *Mundo Cerâmico*, 34 (1997), p.24-26.
5. J. Duailibi Filho, "Insertos Cerâmicos em Machos e Telares Metálicos das Boquilhas de Extrusão de Massas Cerâmicas", Pedido de Privilégio de Invenção depositado no INPI em 09/07/1999 (No PI 9903233-3).
6. E. Rabinowicz, "Friction and Wear of Materials", John Wiley & Sons Inc., New York, 1965.
7. A. G. Evans and D. B. Marshall, "Wear mechanisms in ceramics", in: *Fundamentals of Friction and Wear of Materials*, Ed. By David A. Rigney. American Society for Metals, Metals Park, Ohio, 1981, pp.439-450.
8. A. G. Evans and T. R. Wilshaw, Quasi-static solid particle damage in brittle solids. I. Observations, analysis and implications. *Acta Metal.* 24 (1976), pp 939-956.
9. S. F. Wayne and S. T. Buljan. Microstructure and wear resistance of silicon nitride composites. In: *Friction and Wear of Ceramics*. Ed. By S. Jahanmir. Marcel Dekker, Inc., New York (1994), pp. 261-285.
10. J. C. da Rocha e J. Duailibi Fh. Propriedades mecânicas e evolução da microestrutura de cerâmicas de alta alumina de baixa temperatura de sinterização. *Anais do 34º Congresso Brasileiro de Cerâmica*, V.1:328-336, Blumenau, 1990.
11. J. C. da Rocha, A. L. M. Teixeira e J. Duailibi Fh. Aumento da tenacidade da alumina com adições de zircônia pelo mecanismo de microtrincamento. *Anais do 35º Congresso Brasileiro de Cerâmica*, Belo Horizonte, 1991.
12. J. Wang and R. Stevens, Review: Zirconia-toughened alumina (ZTA) ceramics, *Journal of Materials Science*, 24 (1989), pp. 3421-3440.
13. J. Duailibi Fh. e J. C. Bressiani. Effect of iron and silicon addition on the densification, microstructure and mechanical properties of silicon nitride. *Materials Science & Engineering*, Elsevier, A209 (1996), 164-168.
14. S. Jahanmir. Advanced ceramics in tribological application. In: *Friction and Wear of Ceramics*. Ed. By S. Jahanmir. Marcel Dekker, Inc., New York (1994), pp.3-12.
15. J. Larsen-Basse. Abrasive wear of ceramics. In: *Friction and Wear of Ceramics*. Ed. By S. Jahanmir. Marcel Dekker, Inc., New York (1994), pp. 99-115.

APPLICATION OF HIGH WEAR RESISTANT CERAMICS IN EXTRUSION DIES USED IN THE RED BRICK INDUSTRY

Abstract

The high wear observed in the extrusion dies caused by the presence in clays of high abrasion materials, as sand, is one of the main problem of the Red Brick Industry. The low wear resistance of metallic components causes a fast increase in the thickness of the product walls, resulting in a growth of raw materials consumption and a decrease of productivity. This work presents the results of a widespread production trial of extrusion die components (cores and frames) made from a metallic base with ceramic inserts of high alumina, zirconia toughened alumina (ZTA), partially stabilized zirconia (PSZ) and normal sintering silicon nitride. It was observed expressive gains in the useful life time of extrusion die components with ceramic inserts, leading to an improvement in the quality of products, mainly in dimensional stability, and a great economy of raw materials. When zirconia toughened alumina, partially stabilized zirconia and silicon nitride ceramics - materials that combine high hardness and high fracture toughness -, are used as inserts onto the metallic base, the number of pieces produced until the brick reaches the maximum allowed weight gain, can be ten times greater than the number of pieces produced employing only hard steel die components.

Key words: wear parts, ceramic components, red brick production, special ceramics.