

Estudo do Processo de Biqueima-Rápida Visando a Melhoria de Produtividade e Eliminação de Empenamento em um Produto com Bitola de 45 x 65

Eduardo Luiz Bittencourt

*Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC),
Curso de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais,
Cerâmica Urussanga S.A., Rod. SC 446, km 17,
Cx. P. 06, 88840-000 Urussanga - SC
e-mail: eduardo@ceusa.com.br*

Resumo: O surgimento de um empenamento, está relacionado a diversos fatores, neste trabalho os principais avaliados foram: devido ao grande tamanho do material; a variações de processo através de padrões poucos restritos e queima ineficiente nos diferentes pontos dos fornos.

Palavras-chaves: *empenamento (planaridade), processo, queima*

Introdução

O presente trabalho é o resumo de um estudo de um processo cerâmico, com o objetivo de obter melhores condições de trabalho, reduzindo os números de variáveis que possam ocasionar o defeito de empenamento no produto em estudo e ainda conseguir diminuir o ciclo produtivo do mesmo, a fim de aumentar a sua produtividade.

Baseado nos controles foram analisados e demonstrados, os lugares, as frequências e a validade dos valores coletados. Também foram enumeradas várias situações ao longo do processo aonde pode ocorrer a maior amplitude do defeito em questão.

Fundamentação Teórica

O produto em estudo trata-se de um revestimento de parede retificado, no formato 45 x 65 cm. Esse produto faz parte de um novo conceito de assentamento, o Sistema Junta Seca. Este sistema tem por objetivo eliminar as juntas de assentamento entre as peças cerâmicas; com isso as peças ficam encostadas umas nas outras, resultando em um acabamento muito mais agradável. Este produto é produzido em uma linha de Biqueima Rápida. Após a confecção do material, o mesmo passa por um processo de retífica, sendo então embalado e vendido.

Como o produto é produzido para um assentamento sem juntas, o mesmo não deve apresentar problemas de

ordem geométrica; caso contrário, resultará num acabamento imperfeito. O problema em questão refere-se a um empenamento caracterizado por bordas levantadas do produto após o seu resfriamento (ver Fig. 1).

Este problema pode aparecer no processo produtivo sob duas formas:

- 1º. como desvios durante uma produção, ou seja, apenas algumas peças apresentavam o empenamento e assim não se detectava o problema;
- 2º. como instabilidade entre as produções, ou seja, quando o produto entrava em produção, algumas vezes o empenamento aparecia de forma bastante constante em quase todas as peças e o problema também não era detectado.

Defeitos Geométricos: É evidente que uma perfeita queima do ponto de vista geométrico é obtida quando as peças resultam sempre planas em todas as posições do forno. Na zona de pré-aquecimento podem surgir problemas geométricos, principalmente de planaridade, quando a velocidade de aquecimento ou a diferença de temperatura abaixo e acima dos rolos não são adequadas ao produto.



Figura 1. Formato do empenamento diagnosticado durante o processo.

A massa e o esmalte sofrem diferentes variações dimensionais ao longo do ciclo de queima que dificulta a planaridade das peças. A falta de ajuste entre as curvas dilatométricas do esmalte e do suporte, ocasiona curvaturas côncavas e convexas nas peças sinterizadas devido às tensões atuantes.

Considerando a peça no forno, imaginando-a seccionada na espessura e diferenciando uma parte superior e uma parte inferior, verifica-se que a parte exposta a uma maior temperatura sofrerá na queima uma contração maior, com tendência a deformar na forma convexa. Diante disto observa-se que, quanto maior for a espessura da peça, menor será a deformação sofrida.

Considerando ciclos muito rápidos, o intercâmbio térmico ambiente-peça faz com que a superfície da peça seja aquecida mais rapidamente que o seu interior, dando origem a gradientes de temperatura. Esta situação é ainda mais crítica nas extremidades das peças.

É conveniente considerar os efeitos importantes dos parâmetros cinéticos e dinâmicos, velocidade e volume dos gases, e também os mecânicos, planaridade dos rolos, encavalamento das peças, todos eles capazes de afetar a planaridade das peças queimadas. Sabe-se também que quanto maior o formato, mais facilmente este problema tende a aparecer devido a sua área geométrica e diferentes gradientes de temperaturas nas partes da peça.

Materiais e Métodos

Prensa: A prensa utilizada foi uma prensa da marca Sacmi, Modelo PH-980, que no formato 45 × 65 apresenta apenas uma cavidade.

Secador/Forno 01: Como se trata de um processo de biqueima, temos primeiro a queima do biscoito, que possui nos seus primeiros oito módulos um secador acoplado ao forno, fazendo com que os gases quentes provenientes da zona de pré-aquecimento e queima, por depressão, efetuem a secagem do material. O forno é da marca Welko, modelo F26.

Forno 02: Este forno também é da marca Welko, modelo F26.

Classificação: A máquina de escolha (classificadora) utilizada é da marca System Ceramics, Modelo MIX. Utilizada para avaliar a planaridade através do planar. O planar utilizado foi o Dico-planar da System Electronics. A aparelhagem é constituída por uma unidade de medição e por uma unidade de elaboração de dados que atribui a peça uma determinada classe de pertinência.

As vantagens são: Aquisição de dados sem contato com o material; programabilidade, adequando-se ao tipo de produto, conferindo diversos limites para cada tipo de defeito; visualização explícita dos parâmetros de desclassificação, bem como cálculo do percentual e causa da desclassificação.

Preparação do Pó Atomizado: Para as etapas iniciais

representadas por matérias-primas, moagem, armazenamento de barbotina, atomização e silagem, foram analisados todos os parâmetros do processo. Também foram analisados os padrões usados nas produções e foi sugerido uma redução dos parâmetros de umidade e de granulometria na #35, a fim de aumentar a restrição de produção e consequentemente diminuir as variáveis da operação de prensagem.

Estas etapas são de extrema importância para a qualidade da planaridade do produto acabado, porque se houver problemas na atomização da barbotina, estes podem ocasionar uma má distribuição das partículas na prensagem, resultando em diferentes valores de densidade aparente levando a diferenças de permeabilidades entre as peças cerâmicas e mudando o seu comportamento durante a queima.

Prensagem: Na etapa de prensagem, como resultado do tamanho grande da peça, a prensa apresenta uma cavidade, eliminando aqui o problema de variação entre cavidades em uma mesma produção sem a troca do estampo. Partindo desta colocação, visou-se acompanhar o comportamento das peças prensadas em uma seqüência de prensagem. Por convenção a peça foi dividida em cinco partes, e em cada uma destas partes foram efetuados os seguintes testes: carregamento; espessura a cru, do biscoito e do produto acabado; granulometria em #35; Umidade e densidade aparente.

Todas as amostras foram acompanhadas em todas as posições possíveis de produção. As amostras a cru partiram de uma seqüência de prensagem, foram medidas e queimadas oito amostras em cada uma das três posições de queima do forno de biscoito F1.

Após efetuar os testes, visualizou-se que os padrões de produção poderiam ser restringidos com o objetivo de aumentar a estabilidade do processo. Estes padrões e os valores sugeridos e aplicados são mostrados na Tabela I.

Queima: Durante a etapa de queima, entrando em questão aqui as duas queimas, tanto no forno 01 (queima do biscoito), quanto no forno 02 (queima do vidrado), foram estudadas as curvas de queima, tanto com o objetivo de avaliar o empenamento, quanto com a intenção de diminuir o ciclo de queima. Inicialmente o ciclo era de 80 min no forno F2, que é o gargalo produtivo, e tinha-se como objetivo diminuir este valor para 60 min. No forno F1 o ciclo de produção era de 90 min. Para alterar esta velocidade seria necessário avaliar as condições de trabalho do

Tabela I. Mudança do padrão de controle na prensagem.

Controle	Padrão Antigo	Padrão Novo
Dap (g/cm ³)	1,95 – 2,00	1,97 – 2,00
Umidade (%)	5,5 – 6,0	5,7 – 6,0
Espessura (mm)	11,0 – 12,0	11,5 – 12,0

forno, ou seja, acompanhamento das pressões e depressões, acompanhamento das aberturas das válvulas, acompanhamento da temperatura do ar de exaustão e acompanhamento da relação ar/gás nos dois fornos, e os valores das dilatações dos esmaltes para que o mesmo não interfira no acoplamento com a massa.

Classificação: Foram analisados os padrões estabelecidos de máximo empenamento para a desclassificação do produto, também o seu comportamento a quente e a frio, já que o material apresentava uma tendência a diminuir o seu empenamento positivo quando resfriado. Foi detectado que quando o material saía bastante plano na classificação (quando quente), o mesmo tendia a levantar suas bordas (quando frio). A partir daí foram estudados os valores padronizados e propostas algumas alterações que não implicassem em problema na qualidade e na planaridade do produto acabado.

Testes Complementares: Após todo o trabalho implantado e o produto estar saindo com as características desejadas sem o aparecimento do empenamento, alguns testes foram feitos para acompanhar a qualidade e constância do empenamento nos fornos em todas as posições possíveis de produção. Existem doze posições diferentes de queima, pois no forno F1 têm-se três peças por fileira e no F2, quatro peças por fileira e todas as posições foram estudadas, sendo que o número de amostras para cada condição foi de seis, e nas amostras analisadas foram comparados os valores da variação do empeno nas peças quentes e após 24 h de produção quando as peças já estavam totalmente frias. Foram efetuados também os acompanhamentos das condições de trabalhos dos fornos como pressões e depressões, aberturas das válvulas, temperatura do ar de exaustão e relação ar/gás.

Resultados e Discussões

Preparação do Pó Atomizado: Os valores obtidos estavam dentro dos padrões novos estabelecidos e a variação média ao longo do tempo não demonstrou problemas de ordem produtiva nestas etapas do processo.

Prensagem: Os resultados de carregamento, umidade, espessura a cru e da granulometria não apresentaram dispersões que possam levar a um defeito de planaridade, porém no teste de densidade podemos evidenciar algumas dispersões como é mostrado na Tabela II.

Nota-se que, apesar da variação em cada lado ser praticamente constante (oscilação de apenas 0,2), a variação entre os extremos oscilou entre 1,93 a 1,99. Este é um valor considerável, pois a variação da densidade em um dos

lados pode fazer com que aquele lado apresente uma variação da sua planaridade. Os testes foram realizados a uma temperatura de 33 °C e por consequência a densidade do mercúrio foi de 13,514 g/cm³.

Também foram analisadas as espessuras ao longo da queima do forno 01, e a variação máxima foi de 0,3 mm. Este valor pode ser considerado limite para um produto que apresenta uma espessura de 12 mm e também devido à compensação do isostático.

Queima: Na etapa de queima, a curva de queima foi redesenhada para uma produção com o ciclo mais rápido. Foi diagnosticada que as temperaturas máximas de queima estavam bastante próximas em ambas curvas, chegando até a ser superior em um módulo do forno F2, o que de certa forma poderia influenciar na segunda queima que possui o objetivo principal de queimar apenas o vidrado e não influenciar nas características do biscoito. A zona de queima no forno F1 representa três módulos, e as principais alterações foram feitas nesta etapa, sendo que os valores de máxima tanto na parte superior, quanto na parte inferior foram acrescidos em 18 °C. No restante da curva apenas foram feitos alguns ajustes para que a mesma se mantivesse no padrão. Na curva de queima do forno F2, foram feitos alguns ajustes principalmente na etapa que precede a fusão do esmalte (500 a 950 °C) e também foi aumentada a temperatura em 5 °C em dois módulos da etapa de queima. Com estes ajustes, os ciclos de queima foram adiantados. No forno F2 o ciclo passou de 80 min para 60 min; no forno F1 de 90 min para 76 min. A Tabela III mostra o ganho de produção advindo destas alterações.

Como este produto era produzido em um ciclo de 120 min, os valores de dilatação dos esmaltes já estavam alterados para um ciclo de menor tempo e os mesmos se comportaram bem neste novo ciclo.

As curvas de queima, antes e após as alterações dos ciclos de queima, podem ser vistas nas Figs. 2 e 3.

Classificação: Os valores de empenamento acima dos padrões estabelecidos desclassificavam o material para a classe *stand* (padrão). Porém foi diagnosticado que pelo motivo do material “trabalhar” durante o resfriamento, ou seja, diminuir o valor do empeno positivo pós resfriamento este valor poderia ser um pouco mais alto sem prejudicar o produto acabado respeitando o limite estabelecido em norma (0,5%). Por isso, foi elaborado um estudo objetivando acompanhar até quanto o material poderia sair com um leve empeno positivo evitando que o problema de borda levantada aparecesse quando resfriado, uma vez que este empeno seria compensado no resfriamento. As alterações

Tabela II. Teste de densidade aparente (g/cm³).

Amostra	Lado 1	Lado 2	Lado 3	Lado 4	Centro
Variação	1,94 a 1,96	1,97 a 1,99	1,93 a 1,95	1,97 a 1,99	1,94 a 1,96

feitas nos padrões de classificação estão na Tabela IV.

Testes Complementares: Os valores acompanhados nos fornos demonstraram que: a estequiometria do F1 apresentou valores desbalanceados na zona de aquecimento; a estequiometria do F2 apresentou valores que satisfazem os padrões de balanceamento.

Tabela III. Alteração da metragem de produção (m²/dia).

Produção	Ciclo Antigo	Ciclo Novo	Diferença
Forno F1	2569,6	3043,4	473,8
Forno F2	2259,0	3012,0	753,0

Tabela IV. Alteração do padrão de classificação.

Bitola 44,7 X 64,1	Peça Quente		Peça Fria	
	(%)	(mm)	(%)	(mm)
Lado maior (CVX)	0,30	0,19	0,14	0,09
Lado menor (CVY)	0,45	0,20	0,29	0,13
D-Superior (78,8 cm)	0,37	0,29	0,29	0,23

CVX: Lado maior (x), empenamento convexo;

CVY: Lado menor (y), empenamento convexo;

D-Superior: Diagonal superior, empenamento convexo.

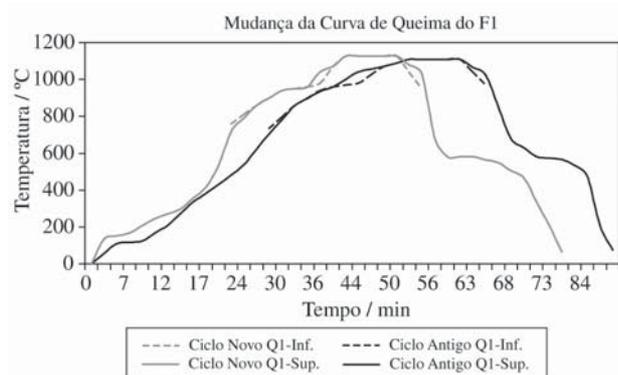


Figura 2. Alteração da Curva de Queima do F1.

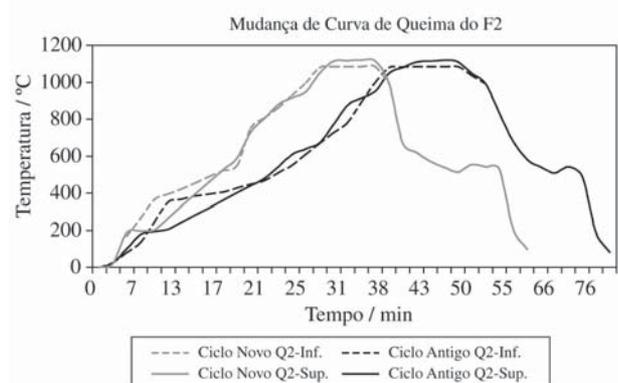


Figura 3. Alteração da Curva de Queima do F2.

No acompanhamento do comportamento do empenamento nas doze posições possíveis de produção, foram obtidos resultados bastante interessantes como complemento. Demonstrar-se-á a seguir a amplitude de trabalho destas amostras. Destas três medições acompanhadas, será dado maior ênfase ao CVX e ao D-Superior (diagonal superior), porque são nestes valores onde o empeno aparece.

No planar também são mensurados os valores CCX, CCY e D-Inferior, que medem o empenamento da parte côncava (negativo). Em todas as medições efetuadas nenhuma delas apresentou qualquer valor de ordem negativa.

Demonstrar-se-á, a seguir, os valores obtidos nas medições efetuadas na hora da produção e após 24 h.

Acompanhamento da Planaridade nas Peças Quentes: As Tabelas V à VII apresentam os valores obtidos na classificação forno F2. Todas as peças utilizadas para os ensaios foram esmaltadas e queimadas nas mesmas condições de processo.

Tabela V. Influência da queima do forno biscoito na planaridade (10⁻¹ mm).

Posição da Peça F1	CVX	CVY	D – Superior
Direita	8 – 16	4 – 7	18 – 24
Centro	7 – 12	4 – 6	17 – 21
Esquerda	6 – 14	4 – 7	15 – 22
Média F1	6 – 16	4 – 7	15 – 24

Tabela VI. Influência da queima do forno de vidro no lado CVX (10⁻¹ mm).

Posição da peça Forno F2	Forno F1			Média
	Direita	Centro	Esquerda	
Direita 1	11-16	10-11	10-14	10-16
Direita 2	9-15	7-12	6-10	6-15
Esquerda 2	8-15	8-12	6-9	6-12
Esquerda 1	8-14	9-12	8-10	8-14
Média Geral F2: 6-16				

Tabela VII. Influência da queima do forno de vidro na diagonal (10⁻¹ mm).

Posição da Peça Forno F2	Forno F1			Média
	Direita	Centro	Esquerda	
Direita 1	18-24	18-20	17-22	17-24
Direita 2	18-21	17-20	16-19	16-21
Esquerda 2	18-21	18-21	15-18	15-18
Esquerda 1	19-22	18-21	17-21	17-22
Média Geral F2: 15-24				

Os valores obtidos demonstram que as peças queimadas no centro do F1 estão mais estáveis, pois apresentaram menor variação de planaridade; os menores valores de empeno são diagnosticados na lateral esquerda do forno F1; já a lateral direita apresentou os valores mais altos de empeno, chegando quase a desclassificar o material.

Os valores obtidos no acompanhamento do CVX demonstraram também que o centro do forno F2 está mais estável, e esta estabilidade era menos constante na lateral direita do forno. Se os valores obtidos em F1 forem comparados aos obtidos em F2, pode-se verificar que os valores máximos obtidos tanto nas posições centrais, quanto nas laterais esquerdas (E1) são menores que o valor mínimo obtido nas laterais esquerdas do F2.

Com relação a Diagonal Superior, os valores demonstraram novamente uma melhor estabilidade no centro do F2, com os menores valores obtidos nas peças queimadas na lateral esquerda do F1 e a menor amplitude nas peças queimadas no centro do F1.

Acompanhamento da Planaridade nas Peças após 24 h de Produção: Pelo acompanhamento do CVX, após 24 h (Tabela VIII), notou-se uma pequena diminuição da amplitude de variação de planaridade entre cada condição de

Tabela VIII. Influência da queima do forno de vidro no lado CVX (10^{-1} mm).

Posição da peça	Forno F1			Média
	Direita	Centro	Esquerda	
Forno F2				
Direita 1	10-12	9-10	9-11	9-12
Direita 2	6-10	6-9	5-8	5-10
Esquerda 2	6-9	6-8	6-7	6-9
Esquerda 1	7-12	8-11	7-10	7-12
Média Geral F2: 5-12				

Tabela IX. Influência da queima do forno de vidro na diagonal (10^{-1} mm).

Posição da peça	Forno F1			Média
	Direita	Centro	Esquerda	
Forno F2				
Direita 1	19-20	16-19	16-18	16-20
Direita 2	14-19	13-18	12-17	12-19
Esquerda 2	16-18	16-17	13-16	13-18
Esquerda 1	15-21	16-21	17	15-21
Média Geral F2: 12-21				

estudo. Este comportamento é similar ao das peças quentes, onde verificou-se uma redução dos valores devido ao resfriamento. Os dados contidos na Tabela VIII permitem antever um problema na queima do forno F2, na posição D1, já que todos os valores máximos obtidos no centro do forno são menores que o valor mínimo da posição D1.

O comportamento da diagonal superior apresentou uma redução dos valores devido ao resfriamento, e uma redução da faixa de amplitude entre as amostras (Tabela IX). Com exceção das peças queimadas na lateral direita D2, onde a faixa de amplitude era de três pontos, as demais passaram para cinco pontos.

Estes testes do comportamento das peças em todas as posições dos fornos demonstraram que tanto o forno F1 quanto o forno F2 estão efetuando uma queima desigual em seus lados. No forno F1 as peças queimadas no lado direito têm um valor maior de empeno; no forno F2 as peças queimadas nas laterais apresentam um valor de empeno maior e a lateral direita também apresenta os mais altos valores.

Conclusões

Com relação às melhorias obtidas no processo, as principais alterações foram: aumento das restrições dos padrões de prensagem das variáveis de densidade aparente, umidade e espessura; mudança do ciclo produtivo e ganho de produção de 753 m²/dia (33,3%); alteração da curva de queima, principalmente no forno F1, que apresentava temperaturas máximas inferiores a máxima do forno F2; alteração dos padrões de desclassificação por empeno no planar.

Pode-se deduzir que o empeno que aparecia como desvios durante a produção eram provenientes de peças queimadas na lateral direita do forno F1 e em uma das laterais do forno F2.

Referências Bibliográficas

1. Amorós, J.L. *et al.* Acordo esmalte-suporte (I) A falta de acordo como causa do empenamento, *Revista Cerâmica Industrial*. Agosto/ dezembro, 1997.
2. Bristot, V.M. *Máquinas e Equipamentos para Cerâmica*, Ed. Luana, Criciúma, 1996.
3. Emiliani, T.&E. *Tecnologia dei processi ceramici*, 2^o Edizione, Collana di Monografie Tecniche, Faenza, 1989.
4. Navarro, J.E.E. *et al.* *Tecnologia de Fabricação Cerâmica-Secagem e Queima*. Universidad de Valencia, 1985.
5. Van Vlack, L.H. *Propriedades dos Materiais Cerâmicos*. Edgard Blucher/Ed. da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1973.