

Alternativas para Eliminar (ou Reduzir) os Furos no Esmalte Causados por Partículas de Calcário em Revestimentos Fabricados por Via Seca

**Fábio G. Melchades¹, Luciano L. da Silva¹,
Eduardo Quinteiro¹, Ana Paula F. Albers,
João B. Baldo e Anselmo O. Boschi¹**

Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)

Departamento de Engenharia de Materiais (DEMa)

¹Laboratório de Revestimentos Cerâmicos (LaRC),

Rod. Washington Luiz, Km 235, Cx. P. 676, 13565-905 São Carlos - SP

e-mail: daob@power.ufscar.br

Resumo: O objetivo do presente trabalho foi identificar as alternativas para eliminar (ou reduzir) os defeitos conhecidos como “furos no esmalte” causados por partículas de calcário em revestimentos fabricados por via seca. Para isso, inicialmente, apresenta-se uma revisão detalhada de todos os aspectos envolvidos juntamente com resultados experimentais. A seguir, com base nessa revisão, lista-se uma série de alternativas para cada uma das etapas que constituem o processo de fabricação.

Palavras-chaves: “furo no esmalte”, defeitos, revestimentos cerâmicos

Introdução

O “furo no esmalte” é hoje um dos defeitos mais comuns nos revestimentos produzidos por via seca utilizando argilas da região de Santa Gertrudes. O “furo no esmalte” também pode ocorrer em peças produzidas por via úmida e/ou em massas formuladas com outras argilas.

O objetivo deste trabalho foi estudar as principais causas do defeito “furo no esmalte” e identificar alternativas que permitam eliminar ou reduzir a sua incidência.

“Furo no esmalte”: principais causas

Como o próprio nome diz o defeito “furo no esmalte” consiste de pequenos furos na superfície esmaltada da peça.

Peças não esmaltadas do produto que está apresentando o defeito, geralmente apresentam na superfície e interior (pode-se ver em fraturas) pontos pretos e brilhantes. Essas características muitas vezes levam a crer que a origem do defeito esteja associada à presença de partículas de ferro na massa, pois o aspecto geral é muito semelhante.

A Figura 1 mostra a seção transversal de uma peça com o defeito. Essa imagem foi obtida por microscopia ele-

trônica de varredura (MEV). A análise das amostras no MEV tem a vantagem de permitir que se determine a composição química da região observada.

Pode-se perceber que o “furo” que atravessa a camada de esmalte está associado a um grande poro situado logo abaixo, próximo à superfície do suporte. As formas arredondadas, tendendo a esféricas, indicam que o poro foi

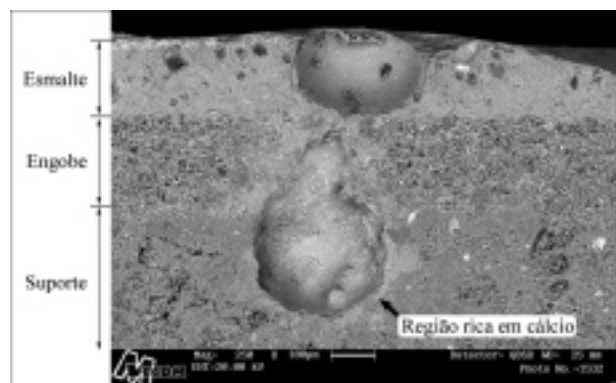


Figura 1. Seção transversal da peça contendo o defeito “furo no esmalte”.

produzido pela deformação viscoelástica do material adjacente quando o mesmo foi submetido a uma força que teve sua origem no centro do poro e que tinha a mesma intensidade em todas as direções (isostática).

As análises químicas das regiões próximas à superfície dos poros mostraram teores de cálcio (Ca) mais elevados do que os encontrados em outras regiões do mesmo suporte.

A Figura 2 mostra o “furo no esmalte” em uma peça com esmalte alcalino. Como pode-se perceber, neste caso a pressão exercida pelo gás no interior da bolha foi suficiente para romper completamente a camada de esmalte e o gás foi liberado. O teor de cálcio no material próxima à superfície do defeito é consideravelmente mais elevado que em outras partes do suporte.

A Figura 3 mostra um outro tipo de defeito conhecido como “covinha”. Muito embora seja um defeito diferente do tema central deste estudo a sua origem pode ser a mesma. Neste caso, o volume de gás desprendido não foi suficiente para que a bolha formada pudesse chegar até a superfície da camada de esmalte, rompe-la e liberar o gás no seu interior, durante a máxima temperatura de queima, como nas Figuras 1 e 2. Esta configuração também depende das características do esmalte que pode, mesmo na máxima temperatura de queima, ter uma viscosidade relativamente elevada e, conseqüentemente, dificultar a ascensão da bolha. Como uma conseqüência da somatória dessas variáveis, principalmente tamanho da bolha e viscosidade do esmalte à máxima temperatura de queima, a bolha ficou retida na interface suporte/engobe/esmalte. Durante o resfriamento, o tamanho da bolha tende a diminuir pois a pressão interna exercida pelo gás nela aprisionado diminui com a temperatura. Quando essa diminuição da bolha acontece e o esmalte ainda está “mole” o suficiente para poder se deformar, a bolha “puxa” o esmalte para baixo e forma-se a “covinha” na superfície. A análise química do material próximo a superfície da bolha resultou em teores de cálcio mais elevados do que em outras regiões do suporte.

Com base nessas informações e na literatura sobre defeitos em esmaltes^{1,2}, pode-se concluir que os defeitos “furos no esmalte” estudados estão diretamente ligados à presença de carbonato de cálcio nas argilas empregadas na massa.

Essa conclusão é confirmada por vários trabalhos sobre a geologia da região de Santa Gertrudes (formação Corumbataí) que identificaram a presença de calcário³.

Mecanismo de formação

O “furo no esmalte” aparece quando o gás carbônico (CO₂) liberado pela decomposição do calcário não consegue sair do interior da peça. Quando isso ocorre o gás liberado fica aprisionado no interior da peça, se expande, devido à temperatura elevada, e forma um poro arredondado que tende, na medida do possível, a se deslocar para a superfície. Ao atingir a superfície da camada de esmalte,

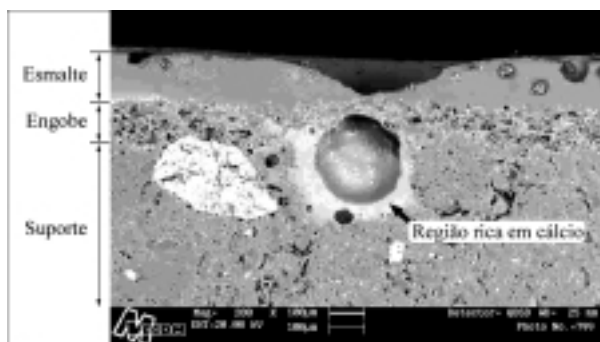


Figura 2. Seção transversal da peça contendo o defeito furo no esmalte.

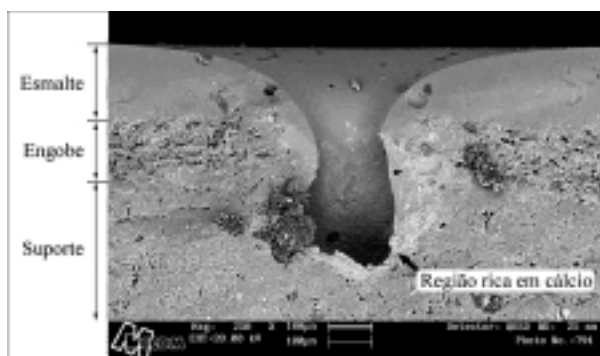


Figura 3. Seção transversal da peça contendo o defeito furo no esmalte.

a pressão do gás no interior do poro (bolha) faz com que ela se rompa e o gás no seu interior seja liberado.

É importante lembrar que as argilas empregadas nas massas dos revestimentos feitos por via seca são ricas em ferro, daí a cor avermelhada dos suportes, e que o ferro contido nas regiões que estiverem próximas às bolhas de CO₂ será reduzido e portanto ficará preto. A redução do ferro aumenta a sua fundência e altera a cor do material fundido que se encontra nas paredes da bolha que tende a ficar preta e brilhante. Essas características é que muitas vezes dão a impressão de que há uma partícula metálica no centro do “furo no esmalte”.

Em vista do apresentado acima pode-se concluir que há duas etapas fundamentais para se compreender a evolução do “furo no esmalte” e, conseqüentemente, identificar as alternativas para a sua eliminação:

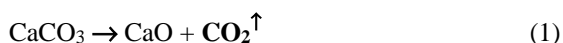
1. a liberação de CO₂ e
2. a saída do CO₂.

A seguir cada uma dessas etapas será discutida em detalhes.

A Liberação de CO₂

A decomposição do carbonato de cálcio

Durante a queima, de 800 a 900 °C, as partículas de carbonato de cálcio se decompõem em óxido de cálcio (CaO) e gás carbônico (CO₂) segundo a reação 1:



Algumas das principais variáveis que influenciam essa reação são:

- tipo de mineral;
- tamanho das partículas de calcário;
- temperatura e curva de queima e
- atmosfera

A seguir cada uma dessas variáveis será analisada em detalhe.

a) tipo de mineral

O carbonato de cálcio pode ser encontrado em várias formas minerais sendo a calcita e aragonita as mais comuns. As ocorrências naturais desses minerais geralmente apresentam estruturas cristalinas e composições ligeiramente diferentes das teóricas sendo os principais cátions presentes em solução sólida o ferro, manganês, zinco, estrôncio e magnésio. Cada uma dessas diferenças, em relação ao cristal ideal, influencia as propriedades do mineral. Dentre as propriedades afetadas está a temperatura de início da decomposição e a forma como a velocidade da reação é afetada pelo aumento da temperatura. Assim sendo, em se tratando de materiais naturais não há uma temperatura de decomposição mas sim um intervalo de temperatura com base em resultados experimentais. Conseqüentemente esse intervalo pode variar consideravelmente de uma referência para outra, situando-se, de um modo geral, entre 800 e 900 °C. Portanto, a única forma de se conhecer a temperatura de decomposição de um determinado carbonato de cálcio natural (calcário) é através da sua avaliação experimental.

O número de minerais associados, geralmente encontrados juntamente com a calcita e aragonita, é muito elevado. Dentre esses minerais destaca-se a dolomita ($\text{Ca Mg}(\text{CO}_3)_2$) que, durante o aquecimento, libera CO_2 em duas temperaturas distintas (770 °C e 870 °C) sendo que na temperatura mais baixa é liberado o CO_2 ligado ao MgO e na mais elevada o CO_2 ligado ao CaO . Assim sendo, a presença de dolomita também pode dar origem ao “furo no esmalte” e quanto mais rica em cálcio ela for, maior a probabilidade de que o defeito ocorra. Dada a similaridade da reação de decomposição e o fato de que somente os grupos CO_2 ligados ao CaO é que podem vir a produzir o defeito em questão, a seguir somente a reação de decomposição da calcita será tratada, usando-se a denominação genérica calcário.

b) tamanho das partículas de calcário

O aquecimento das partículas de calcário se dá de fora para dentro, ou seja, a superfície da partícula é aquecida e o calor é transmitido para o seu interior por condução. Assim sendo, quanto menor for a condutividade térmica (K) e maior a partícula, mais difícil será para o calor chegar até o centro das partículas, como ilustra a Figura 4.

Como uma conseqüência desse gradiente de temperatura, a decomposição das partículas de carbonato de cálcio ocorre de fora para dentro, como mostra a Figura 5. Cabe lembrar ainda que a condutividade térmica do calcário é relativamente baixa e, devido à porosidade da estrutura resultante da decomposição, fica ainda menor conforme a reação ocorre. Um outro aspecto importante é que a reação em questão é fortemente endotérmica (44,3 kcal/mole⁴), ou seja, absorve parte do calor fornecido à medida que ocorre.

Portanto pode-se concluir que, quanto maiores forem as partículas de calcário mais difícil será completar a reação de decomposição. O estabelecimento do maior tamanho admissível para as partículas de calcário presentes na massa é muito difícil pois, como será discutido posteriormente, essa variável é fortemente afetada pela taxa de aquecimento, a permeabilidade do suporte e a atmosfera. Entretanto, como regra geral, pode-se dizer que, se a massa contém calcário, quanto mais fino ele estiver melhor. Nesse sentido deve-se olhar com atenção a moagem e subsequente peneiramento das massas que contenham calcário. Principalmente os produzidos por via seca, pois nesse processo a moagem é menos efetiva do que na via úmida e é comum que se tenha partículas relativamente grandes no material moído.

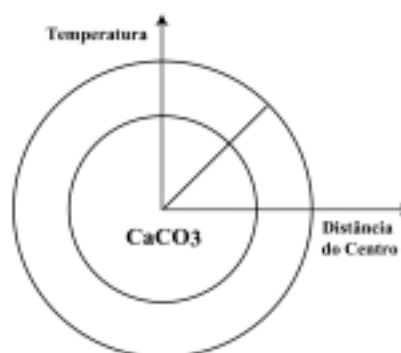


Figura 4. Representação esquemática da temperatura no interior da partícula de calcário como uma conseqüência da condutividade térmica.

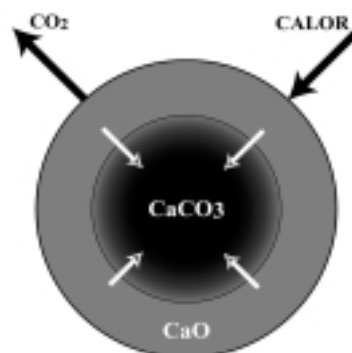


Figura 5. Representação esquemática da decomposição de partícula de calcário quando aquecida.

c) Temperatura e curva de queima

De um modo geral pode-se dizer que quanto maior for a partícula de calcário mais tempo será necessário para que a reação de decomposição possa se completar e quanto maior for a temperatura mais rápida será a reação, desde que haja condições para que a reação ocorra e que as demais variáveis sejam mantidas constantes.

Entretanto, durante a queima a temperatura das peças aumenta continuamente durante o aquecimento. Assim sendo, enquanto a reação está ocorrendo à temperatura do forno, e conseqüentemente das peças, também estará aumentando. Portanto, a temperatura da peça quando a reação começa será menor do que quando ela termina. A diferença entre essas temperaturas aumenta com o tempo necessário para que a reação se complete e com a taxa de aquecimento (velocidade de aquecimento).

Enquanto as partículas de calcário estão se decompondo outras reações estão acontecendo e se o tempo de reação for muito longo e/ou a taxa de aquecimento for muito elevada (ciclo de queima muito curto) a probabilidade de que o CO₂ liberado não possa deixar o local da reação aumenta, pois a temperatura da peça está aumentando.

Em vista do acima exposto pode-se concluir que deve haver um compromisso entre a taxa de aquecimento e o tamanho das partículas de calcário de modo que, na grande maioria dos casos, o CO₂ possa ser completamente eliminado antes que o conjunto engobe/esmalte sele a superfície da peça. Quando isso não ocorre a probabilidade de aparecer o “furo no esmalte” aumenta consideravelmente.

Um outro aspecto importante, com relação ao efeito da temperatura é a diferença entre a temperatura na superfície da peça e no seu interior (e conseqüentemente na superfície das partículas de calcário). A princípio pode parecer que, dada a espessura relativamente pequena das placas cerâmicas (~ 8-9 mm), a diferença entre as temperaturas na superfície e centro das peças deva ser muito pequena. Entretanto medidas experimentais em uma massa típica de monoporosa mostram diferenças bastante significativas.

A Figura 6 ilustra o dispositivo utilizado para medir as diferenças de temperatura. Nos corpos de provas utilizados a distância entre os termopares era de 1 cm, entretanto, conhecendo-se os perfis de temperatura no interior dos mesmos os resultados apresentados nas Figuras 6 e 7 foram calculados para uma distância de 0,5 cm.

A Figura 7 traz os resultados da análise térmica diferencial e gravimétrica (ATD-TG) da massa de monoporosa empregada. Pode-se notar o pico endotérmico correspondente à saída da água estrutural das argilas a 568 °C acompanhada da correspondente perda de massa. A 862 °C tem-se mais um pico endotérmico correspondente à decomposição do calcário com a correspondente perda de massa.

É importante mencionar que a massa foi preparada por via úmida e a taxa de aquecimento foi bastante baixa



Figura 6. Ilustração do dispositivo utilizado para medir as diferenças de temperatura entre a superfície e o interior de compactos de uma massa de monoporosa.

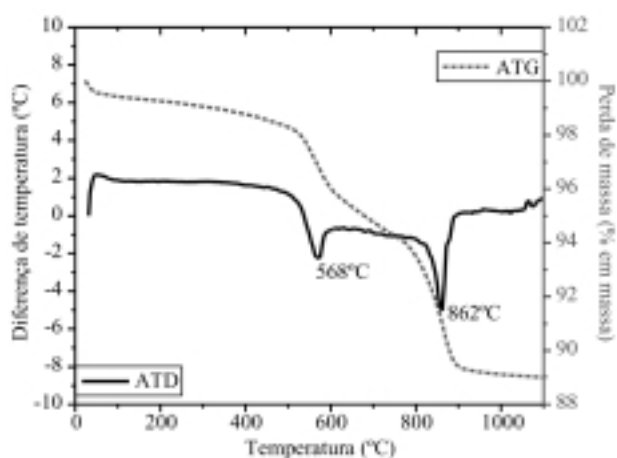


Figura 7. Análise térmica diferencial e análise térmica gravimétrica da composição estudada (taxa de aquecimento de 5 °C/min).

(5 °C/min). Ao se elevar a taxa de aquecimento e o tamanho das partículas de calcário, a temperatura de decomposição deve ser mais alta.

A Figura 8 apresenta o efeito da taxa de aquecimento sobre as diferenças entre as temperaturas na superfície e interior das peças. Foram utilizadas duas taxas de aquecimento constantes 5 e 25 °C/min. Inicialmente cabe observar o formato das curvas. Pode-se perceber a forte influência das reações que ocorrem durante a queima sobre a diferença de temperatura. Quando se compara a forma das curvas com os resultados da ATD pode-se perceber claramente que, além do efeito da condutividade térmica, as reações endotérmicas consomem boa parte do calor fornecido pelo forno, o que contribui para o aumento da diferença de temperatura. Por outro lado, quando se compara as duas curvas apresentadas, pode-se perceber o efeito marcante da taxa de aquecimento. Ao se aumentar a taxa de aquecimento de 5 para 25 °C/min., a máxima diferença de temperatura correspondente à perda da água estrutural foi de 15 para 55 °C/min., respectivamente, e a temperatura na qual essa reação tem lugar foi de 620 para 730 °C/min., aproximadamente.

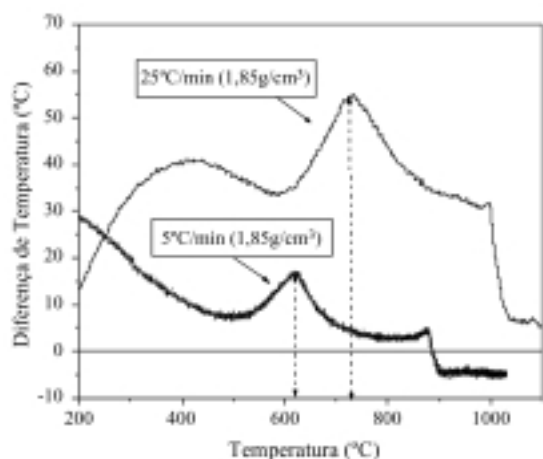


Figura 8. Efeito da variação da taxa de aquecimento, 5 e 25 °C/min., sobre a diferença entre as temperaturas da superfície e de um ponto no interior da amostra (0,5 cm abaixo da superfície). Densidade aparente dos compactos secos = 1,85 g/cm³.

Cabe salientar que, mesmo com a maior taxa de aquecimento utilizada nesse estudo seriam necessários 44 min. para se chegar à temperatura de 1100 °C. Portanto, considerando que os ciclos de queima atualmente empregados utilizam taxas de aquecimento muito mais elevadas (ciclos rápidos) é de se supor que as diferenças de temperatura sejam consideravelmente maiores. É importante ressaltar o fato de que as amostras utilizadas não foram esmaltadas e que no aquecimento a camada de esmalte atua como um tipo de isolante térmico e durante a fusão, que é uma reação endotérmica, consomem calor, contribuindo assim para aumentar ainda mais os gradientes térmicos.

Em vista das informações apresentadas é de se esperar que na prática a temperatura das partículas de calcário situadas no interior do suporte sejam consideravelmente inferiores à do forno e do esmalte. Assim sendo, aumenta a probabilidade de selamento do esmalte antes que a reação de decomposição das partículas de calcário possa ser completada e, conseqüentemente, as chances do aparecimento do defeito “furo no esmalte”.

Um atenuante para essa situação é o fato de que as partículas de calcário mais críticas, no que se refere à probabilidade de formação do defeito “furo no esmalte”, são as partículas relativamente grandes e próximas a interface suporte-esmalte. Para essas partículas é de se supor que as diferenças de temperaturas em relação à superfície da peça sejam menores. As partículas de calcário situadas em regiões mais distantes da superfície tem mais possibilidades para a eliminação do CO₂, principalmente quando a faixa de absorção de água é relativamente elevada (~ 8%). Nos casos em que a absorção é mais baixa e/ou as temperaturas de queima são mais elevadas mesmo as partículas de calcário situadas no interior do suporte podem causar problemas.

Nos casos em que o forno permite, pode-se também reduzir ligeiramente a taxa de aquecimento na faixa de temperatura em que se dá a decomposição do calcário aumentando dessa forma a probabilidade de que a reação se complete antes do selamento do esmalte.

Portanto, resumidamente, pode-se dizer que, no que se refere à temperatura e ciclo de queima, para se evitar o aparecimento do “furo no esmalte” deve-se adotar taxas de aquecimento suficientemente baixas para assegurar que praticamente todas as partículas de calcário possam se decompor completamente antes do selamento do esmalte.

d) Atmosfera

Para que a reação de decomposição do calcário possa começar (ou prosseguir) a pressão parcial de CO₂ no local da reação não pode ser elevada. A pressão parcial de CO₂, por sua vez, pode ter sua origem no próprio CO₂ liberado e/ou ser proveniente de fontes externas, como por exemplo, a atmosfera do forno e/ou da oxidação de matéria orgânica também presente na massa.

A eliminação do CO₂ proveniente da decomposição do calcário depende da permeabilidade do suporte. A permeabilidade, por sua vez, depende do tamanho e volume dos poros.

Portanto, no que se refere ao suporte, a permeabilidade do compacto pensado, que está relacionada à densidade aparente (Ds), e à retração linear durante a queima, que é resultante da aproximação das partículas e o preenchimento dos poros entre elas durante a sinterização, influenciam fortemente a saída do CO₂ liberado pela reação de decomposição do calcário.

Nos casos em que a pressão parcial de CO₂ nas proximidades da partícula de calcário permanece relativamente elevada a velocidade da reação de decomposição diminui e pode até mesmo parar ou acontecer no sentido contrário. O fato de que a velocidade de reação diminui faz com que ela demore mais para se completar e, conseqüentemente, aumente a probabilidade de que haja a liberação de CO₂ quando o conjunto engobe/esmalte já estiver selado formando os “furos no esmalte”.

Portanto, no que se refere à atmosfera, deve-se assegurar a permeabilidade do compacto para que o CO₂ liberado pela decomposição do calcário possa sair da peça e, ao mesmo tempo, garantir que a pressão parcial CO₂ no interior do forno (atmosfera redutora) seja baixa.

Cabe salientar ainda que a permeabilidade do compacto também influencia a sua condutividade térmica. Assim sendo, ao se reduzir a Ds para aumentar a permeabilidade, a condutividade térmica também é reduzida e tem efeito oposto, no que se refere à reação de decomposição do calcário. Isto pode ser observado na Figura 9 onde os gradientes térmicos em compactos com densidades aparentes (Ds) de 1,75 e 1,85 g/cm³, produzidos a partir da mesma massa de monoporosa mencionada anteriormente, são

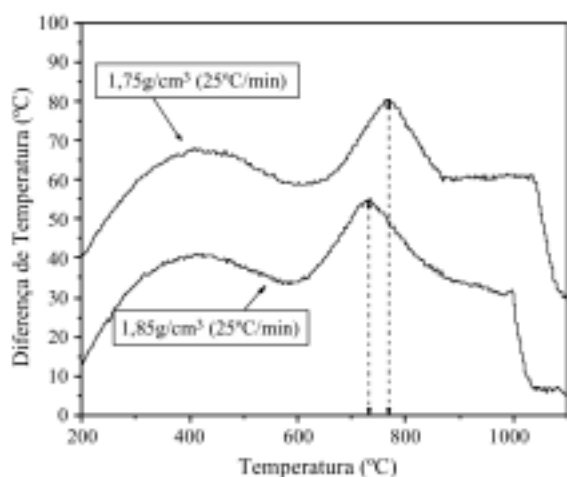


Figura 9. Efeito da variação da densidade aparente do compacto seco (Ds), 1,75 e 1,85 g/cm³, sobre a diferença entre as temperaturas da superfície e de um ponto no interior da amostra (0,5 cm abaixo da superfície). Taxa de aquecimento = 1100C, 25 °C/min.

apresentados. Pode-se notar que, neste caso em particular, o efeito do aumento da condutividade térmica produzido pelo aumento da Ds influenciou mais do que a perda da permeabilidade. Isto, provavelmente, se deve ao fato de que a permeabilidade, mesmo no compacto com a Ds mais elevada (1,85 g/cm³), é relativamente elevada e se mantém assim durante a queima. Essa característica é típica das massas de monoporosa e os resultados em massas de outros produtos podem ser muito diferentes.

A Saída do CO₂

Como mencionado anteriormente, a eliminação do CO₂ liberado durante a decomposição do calcário está intimamente associada à permeabilidade do material adjacente. No caso dos revestimentos tipicamente produzidos por via seca com as argilas da formação Corumbataí na região de Santa Gertrudes, o maior problema está relacionado à permeabilidade dos esmaltes nas temperaturas em que o CO₂ está sendo liberado. Ou seja, se o esmalte já se fundiu e selou a superfície da peça enquanto o CO₂ ainda está sendo formado próximo à interface suporte/engobe/esmalte, a probabilidade do aparecimento de “furos no esmalte” aumenta consideravelmente.

Para esclarecer o papel dos esmaltes na formação do “furo no esmalte” vale a pena rever rapidamente o desenvolvimento dos esmaltes de monoporosas.

Durante muitos anos os fabricantes de cerâmica evitaram as argilas que continham calcário devido aos defeitos que este produzia no esmalte. Essa situação persistiu até que as monoporosas fossem desenvolvidas. As massas de monoporosas são baseadas nas vantagens resultantes da presença de calcário na massa, quando este reage completamente com os demais componentes, sílica e alumina, provenientes da decomposição dos minerais argilosos, e

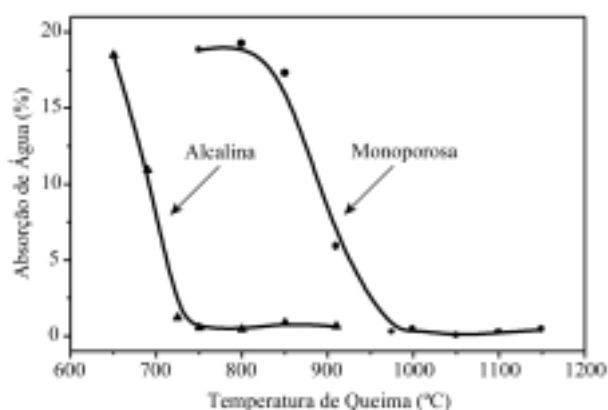


Figura 10. Variação da absorção de água, e conseqüentemente da permeabilidade, com o aumento da temperatura para um esmalte alcalino e outro de monoporosa.

com as partículas finas de quartzo e feldspato, para formar fases cristalinas cálcicas (silicatos e silicatos de alumínio e cálcio)⁵. Dentre as diversas características das monoporosas pode-se destacar a retração linear de queima da ordem de 1% e o amplo intervalo de queima sem o risco de deformação pirolástica das peças. Entretanto, para que a monoporosa viesse a ser comercialmente viável foi preciso que uma nova geração de esmaltes fosse desenvolvida.

O teor de calcário nas monoporosas varia entre 12 e 15% e, conseqüentemente, volumes consideráveis de CO₂ terão de ser liberados a temperaturas relativamente elevadas. Assim sendo, foi necessário o desenvolvimento de novos esmaltes com temperaturas de amolecimento mais elevadas. Esses esmaltes permanecem permeáveis até a completa eliminação do CO₂ e só então se fundem completamente. O endurecimento dos esmaltes, como é chamado, entretanto, diminui o seu intervalo de maturação, Figura 10, e pode comprometer algumas das suas características, como por exemplo o brilho. Por isso novos sistemas passaram a ser utilizados para minimizar as perdas de propriedades. Desde então os esmaltes de monoporosa evoluíram muito.

Recentemente os esmaltes de monoporosa passaram a ser utilizados nos revestimentos produzidos por via seca com o objetivo de reduzir o defeito conhecido como “pingo de forno”, típico de esmaltes alcalinos, e elevar a resistência ao ataque químico.

O sucesso dessa alternativa, no que se refere ao “furo no esmalte”, entretanto, está diretamente ligado ao tamanho das partículas de calcário e a taxa de aquecimento. No caso das monoporosas as massas são produzidas por via úmida, ou seja o resíduo em #325 é bastante baixo, e os ciclos de queima são consideravelmente mais lentos do que os utilizados nos revestimentos produzidos por via seca no Brasil.

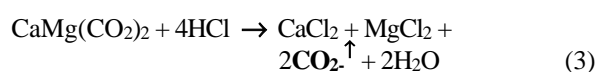
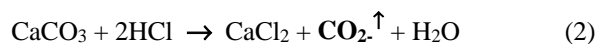
Em resumo, pode-se dizer que, os esmaltes de monoporosa certamente representam uma importante con-

tribuição no sentido de se reduzir, e até mesmo eliminar, os “furos de esmalte”, entretanto, eles não fazem milagres e continua sendo fundamental que as partículas de calcário sejam as menores possíveis e que o ciclo de queima seja o mais longo possível, como nas monoporosas.

Determinação da Presença de Calcário

A forma mais simples para uma primeira avaliação da presença de carbonatos, basicamente o calcário (calcita e aragonita) e a dolomita, em argilas ou massas é a adição de uma solução diluída de ácido clorídrico (HCl).

Ao entrar em contato com o HCl os carbonatos sofrerão as seguintes reações:



e liberarão CO_2 na forma de gás. As bolhas de CO_2 se despreendendo no interior do líquido, solução de HCl, dão a impressão de que a argila, ou massa, “ferve”.

Esse método, principalmente pela sua simplicidade, rapidez e baixo custo, pode ser utilizado para orientar a extração das matérias-primas. Para isso basta que se goteje a solução de HCl sobre diferentes regiões da frente de lavra e ver se o material “ferve”.

Muitas vezes, entretanto, é preciso conhecer o teor de calcário presente. Nesses casos pode-se utilizar a técnica conhecida por calcimetria. O calcímetro mais largamente empregado nas indústrias cerâmicas, principalmente por causa do seu custo reduzido e simplicidade de operação, é o de Bernard. Uma descrição detalhada desse método e equipamento pode ser encontrada nas referências 5 e 6.

Conclusões

Para finalizar, com base nas discussões acima, apresenta-se uma série de sugestões para cada uma das etapas do processo de fabricação com o objetivo de eliminar (ou reduzir) os “furos no esmalte” causados por partículas de calcário em revestimentos fabricados por via seca.

Na Massa:

- Utilizar argilas isentas ou de baixos teores de calcário.
- Caso a argila contenha calcário, identificar em que regiões da jazida o mesmo se concentra (em geral nas regiões mais profundas da extração) e avaliar a possibilidade de impedir sua presença na massa.

Na Moagem:

- Trabalhar com a granulometria mais fina possível, utilizando peneiras ASTM #50 (300 μm) ou de menor abertura, para impedir a presença de partículas grosseiras de calcário na massa.

Na Prensagem:

- Evitar a utilização de pressões demasiadamente elevadas, que reduzem a permeabilidade do suporte durante a queima, dificultando a eliminação dos gases provenientes da decomposição do calcário em altas temperaturas.

Na Secagem:

- Ajustar o ciclo de secagem (tempo, temperatura e circulação de ar) de tal maneira a garantir um baixo teor de umidade residual (inferior a 1,5%) que permita a utilização de altas temperaturas na entrada do forno.

Na Esmaltação:

- Utilizar esmaltes de baixo ponto de amolecimento e baixa viscosidade, caso as partículas de calcário sejam grosseiras e os recursos de moagem sejam insuficientes para promover a redução de granulometria desejada. Esta alternativa não impede o surgimento de furos no esmalte, mas permite maior “alisamento” da superfície.
- Se a moagem for suficientemente fina, utilizar esmaltes de monoporosa, de alto ponto de amolecimento e com a mais baixa viscosidade possível após o amolecimento.
- Utilizando-se esmaltes de monoporosa, pode-se potencializar seu uso aumentando ainda mais o ponto de amolecimento, através de pequenas adições de alumina ou outras matérias-primas refratárias, ou reduzir sua viscosidade, adicionando teores controlados de BaO , CaO ou MgO , através das matérias-primas disponíveis.
- Aplicar camadas de engobe e/ou esmaltes tão espessas quanto as limitações de custo permitirem.
- Em sistemas de aplicação campana-campana, introduzir uma fina camada de esmalte na superfície do produto aplicada por disco, pois a maior irregularidade da superfície proveniente desta aplicação, contribui para ocultar eventuais furos no esmalte.
- Introduzir “serigrafias protetivas” como parte do sistema de decoração, desde que não descaracterizem a tipologia do produto, pois tais elementos decorativos contribuem para ocultar os furos na camada de esmalte.

Na Queima:

- Dentro dos recursos do forno, aumentar a temperatura na entrada do mesmo e introduzir um patamar de degaseificação no intervalo de temperaturas compreendido entre 800 e 900 $^{\circ}\text{C}$.

- Aumentar o tempo de exposição da peça na máxima temperatura de queima, para fornecer melhores condições para a redução da viscosidade do esmalte.
- Aumentar ao máximo o ciclo total de queima, com maior ênfase no pré-aquecimento e na zona de queima, dentro das limitações de custo.

Referências Bibliográficas

1. Amorós, J.L.; Beltrán, V.; Blasco, A., *et al.*, “Defectos de fabricación de pavimentos y revestimientos cerámicos”, Castellón, AICE – Instituto de Tecnología Cerámica, 1991, p. 77 – 81.
2. Biffi, G., “Defeitos de fabricação das placas cerâmicas”, Rio Claro, Faenza Editrice do Brasil Ltda., 2000.
3. Christofolletti, S.R.; Masson, M.R.; Thomazella, H.R.; Fugie, A.; Moreno, M.M.T; Valarelli, J.V., “Mapeamento e caracterização geológica/tecnológica da formação corumbataí com vistas ao seu emprego na indústria de revestimentos cerâmicos (II): Caracterização tecnológica e sua correlação com a geologia”, *Cerâmica Industrial*, 6, (1), p. 17-24, 2001.
4. Kingery, W.D.; Bowen, H.K.; Uhlmann, D.R., “Introduction to ceramics”, New York, Wiley-Interscience, 1976, p. 414 – 420.
5. Sánchez, E.; Ginés, E.; Agramunt, J.V.; Felú, C., “Determinación del contenido en carbonatos de materias primas y composiciones empleadas en la fabricación de baldosas cerámicas (I)”, *Técnica Cerámica*, 257, p. 626 - 631, 1997.
6. Amorós, J.L.; Sánchez, E.; Javier, G.T.; Sanz, V.; Monzó, M., “Manual para el control de la calidad de materias primas arcillosas”, Castellón, AICE - Instituto de Tecnología Cerámica, 1998, p. 75 - 79