

Estudo do Defeito Denominado “Verruga” em Revestimentos Cerâmicos

Fábio G. Melchiades, Renata A. Teixeira e Anselmo O. Boschi

Universidade Federal de São Carlos - UFSCar, Departamento de Engenharia de Materiais - DEMa, Laboratório de Revestimentos Cerâmicos - LaRC, C.P. 676, 13.565-905 São Carlos - SP; e-mail daob@power.ufscar.br

Resumo: Este trabalho tem por objetivo analisar as causas do desenvolvimento de um defeito comum na produção de revestimentos, denominado industrialmente por “verruga”. Simultaneamente, procurou-se estabelecer um procedimento adequado para a eliminação do problema.

Foram coletadas peças industriais que apresentavam o defeito e estabeleceu-se uma metodologia para a identificação da origem do mesmo. Após a determinação da origem do defeito, sugere-se uma alteração na curva de queima como medida para solucionar o problema.

Palavras-Chave: *defeitos, revestimento cerâmico*

Introdução

A metodologia a ser empregada no estudo de um defeito inclui quatro etapas¹ a serem cumpridas. Primeiramente, deve-se obter o máximo de informações possíveis a respeito do defeito e observar minuciosamente o mesmo. A seguir, são levantadas hipóteses sobre sua origem, estabelecendo-se os ensaios que poderão comprovar as hipóteses. Na terceira etapa, determina-se a causa e propõe-se as possíveis soluções. Por fim, coloca-se a solução definitiva do problema em prática e estabelece-se os controles para que o mesmo não venha a ocorrer novamente.

Neste estudo, procurou-se investigar mais profundamente o defeito conhecido por “verruga” que se forma em revestimentos na queima. Durante a queima, uma série de defeitos podem ser produzidos², mas não necessariamente o forno é o responsável direto pela formação do mesmo. Por este motivo, torna-se necessário determinar as etapas do processo de fabricação que apresentam relação direta com o problema.

O defeito conhecido como “verruga” é constituído por uma saliência na superfície da peça, que parece ser proveniente de uma liberação gasosa do interior da massa, causando a deformação da superfície da peça. A presença de “verrugos” em revestimentos pode fazer com que as peças sejam desclassificadas ou então enquadradas nas categorias de menor qualidade, dependendo da indústria e das dimensões do defeito. Por estas razões, o estabelecimento de uma metodologia capaz de solucionar o problema é de interesse para os fabricantes de revestimentos, pois visa a redução das perdas causadas pela desclassificação das peças e o aumento da qualidade das peças produzidas.

Características do Defeito

Nas Figs. 1 e 2 encontram-se imagens do defeito encontrado em peças industriais. Observa-se que a saliência formada na superfície das peças provém do interior da massa, onde parece haver a formação de gases que encontram dificuldade para sair da peça. Porém a liberação é inevitável, e no momento em que ocorre ela acaba defor-

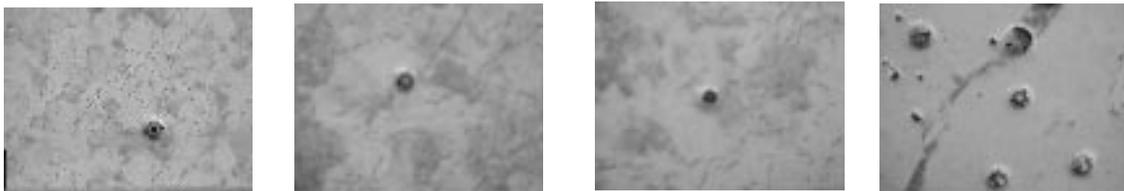


Figura 1. Fotografias de regiões de peças industriais com a presença de “verrugos”.

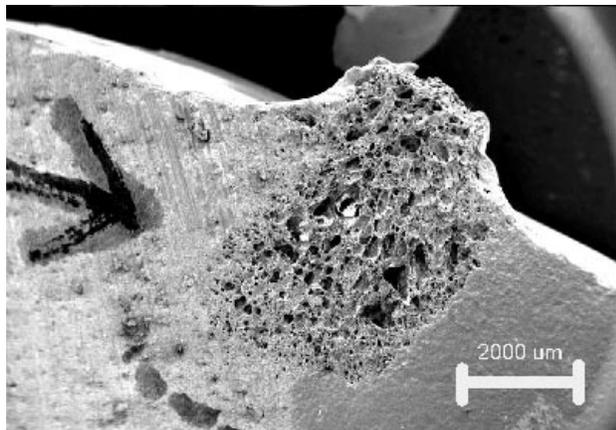


Figura 2. Micrografia em corte de uma peça com a presença do defeito.

mando a superfície do corpo cerâmico. Na Fig. 2, que mostra a vista em corte (no microscópio eletrônico de varredura) de uma peça em que houve a formação de uma “verruga”, nota-se que na parte central do defeito encontra-se um núcleo poroso em relação ao restante do corpo, indicando que a liberação gasosa ocorre em temperaturas elevadas e concentra-se no local de formação do defeito.

Com relação à ocorrência do defeito, verifica-se que o mesmo apresenta-se esporadicamente durante a produção, ocorrendo em peças isoladas, ou em períodos de alta intensidade, atingindo boa parte das peças produzidas. Com exceção dos períodos de alta intensidade, encontra-se um ou dois defeitos por peça, com dimensões que podem chegar a até 2 cm² de diâmetro. Não há nenhuma relação do defeito com a presença de uma matéria prima específica, nem com a região do forno ou das peças.

Levantamento das Hipóteses

Conhecendo-se as peculiaridades do defeito, é possível levantar algumas hipóteses com o intuito de detectar a origem do mesmo. Com base nas observações realizadas, pode-se especular que o mesmo é causado por uma liberação gasosa, proveniente do interior da massa, podendo esta ser originada por uma série de elementos, que podem ser divididos em dois grandes grupos:

- Decomposição de fases minerais (carbonatos, sulfatos, sulfetos ou mesmo argilominerais);
- Oxidação de compostos orgânicos — borracha, vegetais, óleos, graxa.

A detecção da origem do defeito tornou necessária a coleta de peças cruas, onde o defeito inevitavelmente se manifestaria durante a queima, pois ao analisar-se as peças queimadas é possível encontrar apenas um dos produtos da reação, impossibilitando a identificação do composto original. Porém, a detecção de peças com tais características é muito difícil, já que o defeito só aparece durante a queima e ocorre em períodos de tempo muito curtos, o que impede

que peças cruas com tendência a apresentar o defeito sejam coletadas para análise.

O procedimento adotado neste estudo baseou-se inicialmente na coleta de peças com estas características. Para isso, adotou-se um método que monitorou um processo industrial durante dias inteiros. Quatro peças cruas consecutivas eram retiradas da linha de produção na entrada do forno e a seguinte codificada, sendo esta última queimada normalmente. No momento da saída desta peça do forno, era verificado se a mesma e as peças mais próximas apresentavam o defeito. Em caso afirmativo, poderia se concluir que as quatro peças separadas na entrada do forno teriam também uma alta probabilidade de desenvolver as “verrugas”. Este procedimento foi repetido continuamente, de cinco em cinco minutos durante três dias, até que tais peças pudessem ser obtidas.

Foram separadas um total de doze peças coletadas em um período de alta incidência do defeito na produção industrial. Com estas peças em mãos, tornou-se possível a realização de uma série de ensaios com o objetivo de identificar a origem do problema e as possíveis soluções.

Com o intuito de testar a hipótese da presença de minerais na massa, fez-se uma separação do resíduo das peças retiradas na linha de produção que apresentavam a probabilidade de desenvolver o defeito. Em razão das próprias dimensões das “verrugas”, fez-se a separação do resíduo em peneira ABNT #200 (abertura de 74 µm), procurando separar a possível fase mineral causadora do defeito das argilas da massa. O resíduo de uma massa comum (que não apresentava o defeito) da mesma indústria também foi separado para fins comparativos.

Com os resíduos das duas massas obtidos, realizou-se a difratometria de Raios-X dos mesmos (Figs. 3 e 4), além das análises termogravimétricas (Fig. 5).

Com a difratometria de Raios-X esperava-se encontrar fases diferentes nos resíduos das massas analisadas. As

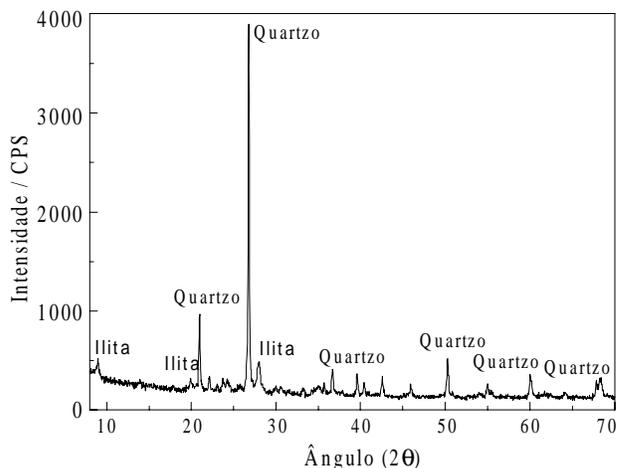


Figura 3. Difratometria de Raios-X do resíduo de uma massa com tendência à formação do defeito.

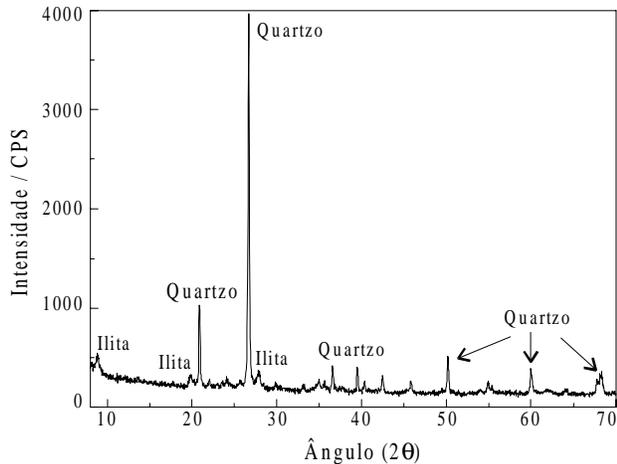


Figura 4. Difratometria de Raios-X do resíduo de uma massa comum.

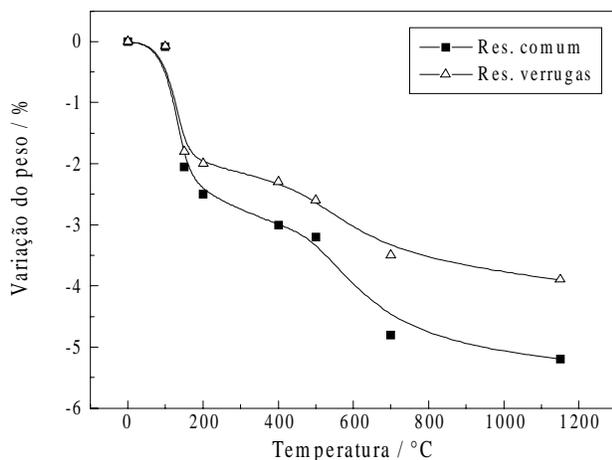


Figura 5. Análises termogravimétricas dos resíduo das massas.

Figs. 3 e 4, mostram que não há diferenças entre as fases constituintes das duas amostras, evidenciando apenas a ilita - argilomineral constituinte das argilas da massa - e quartzo - mineral acessório que acompanha as argilas.

A análise termogravimétrica seria capaz de identificar uma determinada temperatura em que o resíduo da massa com “verruga” apresentasse uma perda de massa mais acentuada do que o resíduo da massa comum. A Fig. 5, que indica os gráficos da perda de massa vs. temperatura para as duas amostras, não indica nenhum pico de perda de massa adicional. As diferenças de peso percentuais entre uma massa e outra podem ser atribuídas às frações argilosas que não foram removidas na separação do resíduo.

Como uma análise final destes ensaios, pode-se concluir que através dos mesmos não se encontrou no resíduo da massa coletada na indústria nenhuma fase mineral capaz de explicar o aparecimento das “verrugas” nos pisos. A análise destes resíduos foi capaz de eliminar a possibilidade da existência de fases minerais capazes de atuar no surgimento dos defeitos. As pequenas diferenças encontradas

entre os resíduos das duas massas são atribuídas aos diferentes conteúdos de argila e quartzo entre ambos, visto que o processo de separação do resíduo destas massas apresenta deficiências, em função do alto estado de agregação das argilas.

Tendo descartado a hipótese na qual fases minerais seriam causadoras do defeito nos pisos, foram realizados testes com a inclusão de materiais orgânicos no interior de corpos de prova confeccionados em laboratório, para testar a hipótese da formação do defeito pela presença de compostos orgânicos. Inicialmente, optou-se pela adição de pequenas pelotas de graxa e pedaços de borracha, que foram prensados juntamente com a massa granulada.

Desta forma, prensou-se vários corpos de prova (barras de secção retangular) de dimensões 7,0 x 2,0 mm, com a mesma densidade dos pisos produzidos na empresa, tomando-se o cuidado de manter os compostos orgânicos aprisionadas no centro dos mesmos.

Os corpos de prova prensados foram secos em estufa elétrica a 110 °C por 24 h. A seguir, foram introduzidos em um forno tipo mufla, cuja temperatura já era mantida em 1050 °C, com o intuito de simular uma queima rápida. Após a introdução dos corpos de prova, aguardou-se que o equilíbrio térmico fosse atingido e manteve-se a temperatura por cinco minutos. A seguir, os mesmos foram retirados do forno e analisados.

Com a análise dos corpos de prova submetidos a tais procedimentos, verificou-se a formação de “verrugas” nos locais onde havia se adicionado graxa e borracha. As “verrugas” apresentaram aspecto muito semelhante ao defeito comumente encontrado nos pisos industriais. Vale enfatizar que adições de quantidades muito pequenas de graxa em meio à massa foram suficientes para causar o desenvolvimento de “verrugas”. Por sua vez, apenas os pedaços de borracha de dimensões consideráveis foram capazes de originar o defeito. Na Fig. 6, encontra-se a fotografia de um corpo de prova queimado em laboratório com a presença de graxa.



Figura 6. Corpo de prova queimado com inclusão de graxa em meio à massa.

Proposta para Eliminação do Defeito

Tendo comprovado que a presença de compostos orgânicos é responsável pelo surgimento do defeito, a etapa posterior foi sugerir um procedimento para eliminar o mesmo.

A presença de borracha (proveniente de pneus, luvas, sapatos, etc) em meio à massa só pode causar o aparecimento de “verrugas” quando se encontra com dimensões elevadas. Deste modo, a inspeção das peneiras que controlam a granulometria da massa deve ser realizada, pois os pedaços de borracha podem ser facilmente retidos nas mesmas.

No entanto, óleos e graxas oriundos dos equipamentos que processam a massa antes da prensagem podem ocasionar o defeito quando introduzidos na massa, mesmo em pequenas quantidades. O controle deve ser feito sobre os equipamentos da fábrica, monitorando todas as fontes possíveis de graxa ou óleo. Porém, em muitos casos torna-se difícil prevenir o problema, visto que alguns vazamentos acabam ocorrendo invariavelmente. Nestes casos, seria ideal determinar em que temperatura ocorre a formação do defeito no forno, a fim de se alterar a curva de queima³ para que houvesse maior tempo para a saída dos gases antes da redução da permeabilidade⁴ da peça.

Para determinar a temperatura de decomposição dos compostos orgânicos, prensou-se novos corpos de prova, com inclusões de graxa e fez-se a queima dos mesmos, simulando-se patamares em diferentes temperaturas de uma queima rápida.

Utilizando-se um forno mufla de laboratório, aquecia-se rapidamente os corpos até a temperatura de patamar, mantendo a mesma por 5 min e fazia-se uma análise visual dos corpos, verificando a presença do defeito. A seguir, introduzia-se os mesmos novamente no forno até a temperatura de queima (1050 °C), analisando-se a seguir a superfície dos mesmos. Utilizou-se 9 temperaturas diferen-

tes de patamar: 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800 e 900 °C. Os resultados obtidos encontram-se na Tabela 1.

Com base na Tabela 1, pode-se verificar que há uma faixa de temperaturas na qual o fornecimento de um patamar durante a queima é capaz de permitir que os gases provenientes da combustão da graxa sejam incapazes de provocar o aparecimento de “verrugas”. Observa-se que se este patamar ocorrer em temperaturas inferiores a 800 °C, o gás ainda não é liberado e ao se acelerar a queima até a temperatura final, há o surgimento do defeito. Porém, se o patamar for realizado em temperaturas superiores a 1000 °C, os gases já são liberados em temperaturas mais baixas, também ocasionando o aparecimento da “verruga”.

Por estas razões, estima-se que para um ciclo de queima rápido, um patamar em uma temperatura entre 800 e 900 °C é suficiente para provocar a eliminação dos gases responsáveis pelo aparecimento da “verruga”, sem que a massa impeça sua saída.

Conclusões

Com base nos ensaios realizados e nos resultados obtidos, pôde-se verificar que as “verrugas” são causadas por uma liberação gasosa proveniente do interior da massa, em um momento da queima em que a temperatura do centro da peça é inferior à sua superfície, em função do ciclo de queima rápido^{5,6}, que impede que o calor seja conduzido com maior eficiência pela peça.

Quando atinge-se a temperatura de liberação de gás do composto contido no interior da massa, a superfície já se encontra em fase de vitrificação, ocorrendo a redução da porosidade aberta da peça e da permeabilidade da mesma. Como esta vai se tornando cada vez mais impermeável, os gases liberados não conseguem escapar para a atmosfera do forno, causando uma deformação que se estende até a superfície da peça.

Os testes realizados indicaram que a presença de pequenas quantidades de compostos orgânicos no interior dos

Tabela 1. Análise do desenvolvimento de “verrugas” em corpos de prova com patamares em diferentes temperaturas

Corpo de prova	Temperatura de patamar (°C)	“Verrugas” até o patamar?	Temperatura final (°C)	“Verrugas” após temperatura final?
1	200	Não	1050	Sim
2	300	Não	1050	Sim
3	400	Não	1050	Sim
4	500	Não	1050	Sim
5	600	Não	1050	Sim
6	700	Não	1050	Sim
7	800	Não	1050	Não
8	900	Não	1050	Não
9	1000	Sim	1050	Sim

compactos prensados são capazes de formar no momento da queima defeitos com as mesmas características apresentadas nos pisos industriais. Os ensaios realizados com o resíduo das massas não forneceram indícios da presença de qualquer fase mineral capaz de causar o aparecimento das “verrugas”.

Como medidas preventivas para a eliminação do problema, estariam o controle sobre todas as fontes de graxa, óleo e borracha, com potencialidade de introduzir estes elementos em meio a massa, antes da prensagem. Os defeitos causados pela borracha podem ser evitados, através das peneiras que controlam a granulometria da massa. Porém, se a realização dos controles acima descritos não for suficiente para solucionar o problema, resta como alternativa, ampliar o ciclo de queima ou alterar a curva de queima.

Considerando a presença de graxa no interior da massa, observou-se que um patamar entre 800 e 900 °C no processo de queima pode ser capaz de permitir a liberação dos gases sem que estes venham a causar deformações da peça e origem o defeito. Logo, sugere-se como alternativa reestruturar a curva de queima, incluindo um patamar na

temperatura descrita, sem que se altere as propriedades do produto após a queima.

Referências Bibliográficas

1. Amorós, J.L.; Beltrán, V.; Fuentes, A.B.; Enrique, J.E.; Escardino, A.; Negre, F. In *Defectos de fabricación de pavimentos y revestimientos cerámicos*,
2. Técnicos do Centro Experimental da Sacmi-Imola. “Defeitos de revestimentos cerâmicos como uma consequência de regulagem errada do forno”, *Cerâmica Industrial* **1997**, 2.
3. Funk, J.E. “Designing the optimum firing curve for porcelains”, *Ceramic Bulletin* **1982**, 62, n. 6.
4. Amorós, J.L.; Beltrán, V.; Escardino, A.; Orts, M.J. “Permeabilidad al aire de soportes cocidos de pavimento cerámico. I. Influência de las variables de prensado y de la temperatura de cocción”, *Bol. Soc. Esp. Cerám. Vidr.* **1992**, 31, 33-38.
5. Ibañez, A.; Sandoval, F. “La cocción rápida”, *Bol. Soc. Esp. Cerám. Vidr.* **1996**, 35 [6], 433-438.
6. Verduch, A.G. “Algunos conceptos basicos de la cocción rápida”, *Cerámica y Cristal* **1988**, 102, 35-37.