

Adequação das Propriedades de Tintas e Esmaltes aos Sistemas de Aplicação e Técnicas Decorativas

Parte I: Esmaltação

Arnaldo Moreno Berto

Instituto de Tecnologia Cerâmica (ITC)

Asociación de Investigación de Iás Industrias Cerámicas (AICE)

Universitat Jaume I. Castellón. España.

Resumo: Este trabalho descreve a evolução sofrida pelas características das tintas e dos esmaltes empregados para revestir e decorar os revestimentos cerâmicos, com o intuito de se adaptar às sucessivas técnicas de esmaltação e decoração que vem surgindo nos últimos anos, assim como aponta as características que os esmaltes e tintas deverão possuir para utilização nos equipamentos que, previsivelmente, serão incorporados ao mercado nos próximos anos.

Palavras-chaves: *revestimentos cerâmicos, esmaltação, decoração*

1. Introdução

Os sistemas de aplicação de esmalte e as técnicas de decoração utilizadas na fabricação de revestimentos cerâmicos sofreram grande evolução nos últimos anos, como conseqüência de um conjunto de fatores de natureza distinta. Por um lado, a necessidade de lançar no mercado produtos com novos efeitos estéticos capazes de incrementar o conjunto existente e a competitividade das empresas, favoreceram a criação de novos sistemas de decoração permitindo a obtenção de efeitos que até pouco tempo atrás eram difíceis ou impossíveis de serem conseguidos. Por outro lado, os fatores meioambientais também incidiram no desenvolvimento de novos sistemas de aplicação, ou na melhora daqueles existentes, a fim de torná-los mais limpos ou para reduzir os resíduos gerados (águas, lodos, pós, etc). Cabe destacar, por último, os fatores econômicos, que impulsionam continuamente a obtenção de produtos variados e de alta qualidade com o menor custo possível, para os quais é necessário melhorar, dentro do conjunto do sistema de fabricação, os esmaltes e as técnicas de aplicação dos mesmos, assim como os materiais e equipamentos utilizados para a decoração dos revestimentos.

Alguns destes novos sistemas baseiam seu funcionamento em princípios físicos diferentes dos utilizados pelos métodos tradicionais e, em outros casos, em modificações mais ou menos substanciais dos mesmos. Estas mudanças nos princípios de funcionamento dos mesmos tornam necessárias mudanças nos materiais (esmaltes, tintas, etc)

empregados, não apenas no que se refere à sua composição química, mas também em suas características físicas e, principalmente, em seu acondicionamento reológico. É necessário adequar as suspensões de esmalte e as tintas empregadas na decoração de revestimentos cerâmicos, aos novos sistemas de aplicação que vem aparecendo no mercado nos últimos tempos. Em muitas ocasiões, esta adequação tem resultado na implantação de novos equipamentos, dispondo-se de pouco tempo para se conhecer com profundidade os mecanismos físicos de transferência de material em que se baseiam. Neste instante, segue-se trabalhando para otimizar as características físicas e o comportamento reológico dos materiais empregados nos sistemas de aplicação e decoração implantados no mercado.

Dada a importância das etapas de esmaltação e decoração no processo de fabricação de revestimentos cerâmicos, é imprescindível conhecer com profundidade as condições ótimas de preparação e aplicação dos esmaltes e tintas para conseguir produtos de alta qualidade técnica e estética com a maior produtividade possível. Visto que tem aparecido e seguem aparecendo novos equipamentos de esmaltação e decoração, é conveniente sistematizar os conhecimentos existentes, não somente para tirar o máximo proveito das técnicas já implantadas ou em vias de implantação, mas também para obter com maior probabilidade de êxito em curto prazo, novos sistemas que necessitarão, mais uma vez, de tintas e esmaltes de características adequadas.

Portanto, é objeto de estudo deste trabalho descrever a evolução sofrida pelas características das tintas e dos esmaltes empregados para revestir e decorar os revestimentos cerâmicos, com o intuito de se adaptar às sucessivas técnicas de esmaltação e decoração que vem surgindo nos últimos anos, assim como apontar as características que os esmaltes e tintas deverão possuir para utilização nos equipamentos que, previsivelmente, serão incorporados no mercado nos próximos anos. Tudo isso será tratado dando-se especial ênfase no princípio de aplicação mais genérico, a via úmida, mas sem se esquecer dos sistemas de aplicação por via seca tradicionais ou novos, que mesmo não tão difundidos, também continuam evoluindo e tornaram-se imprescindíveis para se obter certos tipos de produtos.

2. Esmaltação

Neste tópico serão abordadas as distintas técnicas de esmaltação e das características das suspensões de esmalte, ou dos esmaltes secos, mais adequados para sua ótima aplicação.

2.1 Sistemas Tradicionais

A maioria dos sistemas tradicionais de aplicação de esmaltes é por via úmida, havendo também a aplicação de granilhas como esmaltes bases, que mesmo ainda não majoritária, é digna de menção, especialmente para se conseguir determinados efeitos ou produtos. Por isso será tratada também neste tópico.

2.1.1 Aplicação por via úmida

Como se sabe, os dois princípios tradicionais de aplicação de suspensões são a pulverização e a cortina contínua. Ambos têm sido historicamente utilizados para esmaltar revestimentos cerâmicos, sendo que a forma das diferentes máquinas sofreram variações ou evoluções com o passar do tempo.

- Pulverização

O princípio no qual se baseiam os sistemas de aplicação por pulverização é a formação de pequenas gotas, a partir da suspensão, que são depositadas sobre a superfície do revestimento cerâmico, umas juntas às outras, formando uma camada contínua. As gotas podem ser formadas por diferentes procedimentos, sendo mais habituais os seguintes:

- Impulsão da suspensão pela força centrífuga;
- Impulsão da suspensão através de uma boquilha.

O primeiro dos sistemas descritos utiliza a aplicação de alguns engobes e esmaltes, especialmente os utilizados para recobrir pisos (placas de revestimentos de solos). Na Figura 1 mostra-se o esquema de funcionamento de um equipamento industrial que faz uso deste princípio (cabine de discos giratórios).

Os equipamentos baseados no segundo procedimento mencionado, denominados aerógrafos, são utilizados tanto

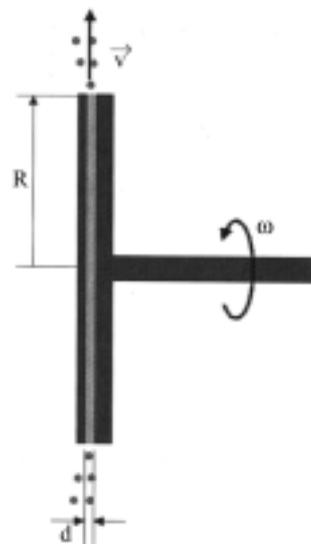


Figura 1. Esquema de funcionamento de um disco giratório para aplicar suspensões de esmalte e engobe.

para a aplicação de camadas finas contínuas como para a deposição irregular de pequenas quantidades de esmaltes, muitas vezes coloridos, com efeitos decorativos. Visto que este segundo uso é, na atualidade, mais habitual que o primeiro, os equipamentos e as características das suspensões empregadas serão tratados em detalhe quando se discutir a decoração.

Como se pode observar pela Figura 1, o disco giratório está precedido por uma condução axial, através da qual flui a suspensão até alcançar a zona central do disco propriamente dito. Ao penetrar em seu interior após atravessar os orifícios, a velocidade de giro do disco impulsiona a suspensão até a sua periferia, através da qual passa ao exterior na forma de pequenas gotas, cujo tamanho dependerá da velocidade de rotação do disco (ω) e da distância entre as placas que o constituem (d). Normalmente, a fim de incrementar a quantidade de esmalte aplicado, são utilizados vários discos unidos entre si por sua parte plana. Este sistema de aplicação pode dar origem ao acúmulo de esmalte em um lado do revestimento, como conseqüência do sentido de rotação do disco. Para evitar este problema deve-se utilizar dois grupos de discos consecutivos girando em sentidos opostos, de modo que é possível compensar o excesso de esmalte depositado pelo primeiro deles em um lado do revestimento pelo conjunto seguinte.

Existem vários fatores neste tipo de aplicação que condicionam as características das suspensões utilizadas. Deve-se ter em conta que a suspensão precisa passar através de orifícios de pequeno tamanho sem que sejam produzidas obstruções que dificultem a aplicação. É evidente que para evitar este problema, a viscosidade do esmalte submetido aos gradientes de velocidade (500 s^{-1}) ao fluir através dos orifícios deve ser relativamente baixa. Além disso, o

tamanho de partícula dos sólidos que formam a suspensão deve ser suficientemente pequeno para que não ocorra o problema mencionado. A proporção de partículas presentes na suspensão também não deve exceder um valor determinado, já que uma concentração de sólidos excessiva, além de incrementar a viscosidade aparente da suspensão, pode provocar um maior número de obstruções dos orifícios de saída. Em resumo, o procedimento de aplicação utilizado determina que a suspensão empregada apresente concentrações de sólidos (densidades) baixas, granulometrias finas e viscosidades baixas dentro dos gradientes de velocidade de trabalho (ao fluir pelos orifícios).

O fato de trabalhar com suspensões com as características descritas pode provocar outros problemas adicionais. Um deles pode apresentar-se nos recipientes de armazenamento dos esmaltes, tanto naqueles de descarga dos moinhos como nos recipientes empregados na linha de esmaltação previamente à aplicação do esmalte. Este problema decorre da possível sedimentação das partículas sólidas que formam a suspensão. De fato, ao se trabalhar com uma concentração de sólidos relativamente baixa, a tendência à sedimentação é elevada, visto que o líquido em que elas se encontram dispersas, a água, apresenta uma viscosidade baixa (1 cP). Para evitar este problema é necessário que a viscosidade aparente da suspensão seja alta quando esta se encontra em repouso ou submetida a baixos gradientes de velocidade, reduzindo a velocidade de sedimentação.

Assim, é necessário dispor, para satisfazer as duas condições de trabalho descritas, de suspensões que apresentem altas viscosidades em gradientes de velocidade baixos (em repouso ou ligeira agitação) e baixas viscosidades em gradientes de velocidade altos (ao fluir através dos orifícios do disco). Em outras palavras, é necessário que este tipo de suspensão apresente um caráter marcantemente pseudoplástico, com elevado limite de fluidez. Esta característica ainda condiciona o comportamento das gotas depositadas sobre a superfície do revestimento, de modo que ao retornar ao repouso, sua viscosidade aumentará notadamente, evitando problemas relacionados com a excessiva fluidez da suspensão, como pode ser o acúmulo de esmalte nos lados das peças. Também se reduz o problema de gotejamento das paredes internas das cabines onde a dispersão do esmalte pulverizado sempre deposita gotas que se apresentarem baixa viscosidade podem desprender-se e cair sobre as peças que estão sendo esmaltadas.

Na Figura 2 demonstra-se o comportamento reológico típico de uma suspensão de esmalte para aplicação por disco e na Figura 3, a distribuição de tamanhos de partícula da mesma. Na Tabela 1, são apresentados resumidamente os valores dos parâmetros mais significativos deste tipo de suspensões. Como se pode observar, apresentam um claro comportamento pseudoplástico, elevado limite de fluidez, baixa densidade e granulometria fina a fim de se adaptarem

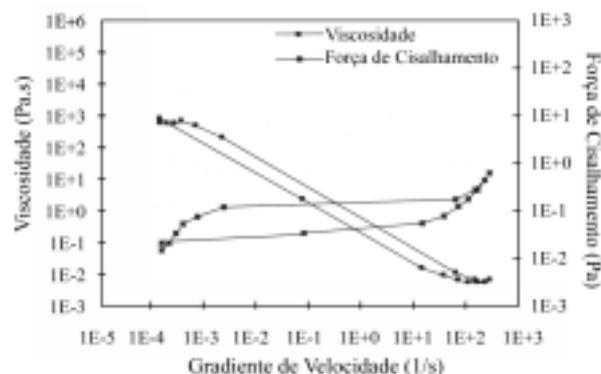


Figura 2. Comportamento reológico de uma suspensão para aplicação a disco.

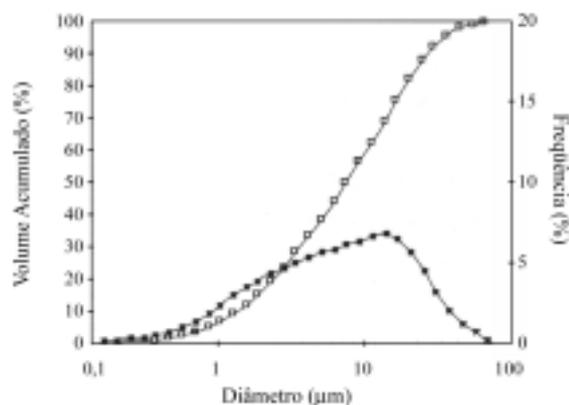


Figura 3. Distribuição de tamanhos de partícula de uma suspensão para aplicação a disco.

Tabela 1. Valores característicos de uma suspensão para aplicação a disco.

Densidade (g/cm^3)	1,4 – 1,6
$\eta_{\gamma = 0,1 \text{ s}^{-1}}$ (cP)	4000 – 7000
$\eta_{\gamma = 500 \text{ s}^{-1}}$ (cP)	~10
D_{50} (μm)	6 – 7

ao sistema de aplicação. Quando a aplicação a disco se realiza sobre superfícies verticais, como ocorre com alguns tipos de revestimentos extrudados, este caráter pseudoplástico deve ser ainda mais pronunciado para evitar que o esmalte depositado sobre a superfície da peça escorra sobre a mesma pela ação da gravidade, deteriorando o acabamento estético. Para isso é necessário que a viscosidade do esmalte seja muito alta sob gradientes de velocidade como aqueles provocados pela força de gravidade, que são baixos e muito inferiores aos que está submetida quando a suspensão é pulverizada.

Para conseguir este comportamento pseudoplástico com elevado limite de fluidez, deve-se preparar as suspensões de modo que estas estejam parcialmente floculadas. Quando são submetidas a elevados gradientes de velocidade, a ação mecânica exercida separa as partículas individuais e provoca a diminuição da viscosidade aparente da suspensão.

A parcial floculação da suspensão pode ser obtida regulando-se a quantidade de defloculante utilizada ou adicionando-se algum agente floculante. Também é viável o uso de materiais de elevada superfície específica e tamanho de partícula extremamente fino que, ao apresentar uma notável atividade coloidal, contribui substancialmente para o incremento da viscosidade aparente em baixos gradientes de velocidade ou em repouso. Qualquer uma destas ações ou a combinação de várias delas confere às suspensões de esmalte as propriedades adequadas para serem aplicadas por pulverização através de um sistema de discos.

- Cortina contínua

Este é o procedimento de uso mais generalizado quando se deseja obter acabamentos superficiais muito lisos. Este procedimento alcançou sua máxima implantação em revestimentos porosos (azulejos), onde esta característica é altamente valorizada. A aplicação de suspensões por cortina contínua é um processo utilizado há muito tempo, não somente no setor cerâmico, como em outros setores industriais, de tal forma que existe uma ampla variedade de equipamento baseados no mesmo: véu cortina, véu cascata, campana, etc.

Dentre os equipamentos de aplicação à cortina mencionados, é a campana o que se generalizou no setor de revestimentos cerâmicos durante os últimos anos, como alternativa para a aplicação a disco, para melhorar a textura superficial da camada de esmalte e torná-la muito mais lisa e isenta de irregularidades.

Na Figura 4, representa-se um esquema de seu mecanismo de funcionamento. Como se pode verificar, a suspensão, ao ser bombeada ao tubo vertical que forma a parte superior do equipamento, flui por gravidade por seu interior, podendo ter sua vazão alterada pela válvula correspondente. Do tubo, a suspensão passa a um receptáculo, do qual

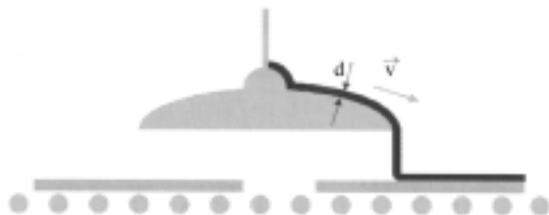


Figura 4. Esquema do funcionamento de uma campana para aplicar suspensões de esmalte ou engobe.

flui para a superfície superior da campana, deslizando por queda livre até chegar à borda da mesma, de onde cai formando uma cortina contínua.

Na atualidade, encontra-se em fase de desenvolvimento um sistema de auto-regulagem da vazão de suspensão que flui pela campana. Para isso emprega-se um medidor de vazão suficientemente preciso para determinar continuamente o fluxo de suspensão e, em função deste valor, enviar o sinal correspondente a uma válvula de controle de vazão. Esta válvula é consideravelmente mais precisa que a válvula utilizada atualmente nas campanas e permite ajustar a quantidade de esmalte ou engobe aplicada com notável exatidão.

É evidente que as características deste sistema de aplicação são muito distintas das características dos discos. Faz sentido que as suspensões adequadas ao mesmo apresentem um comportamento claramente diferente. Em primeiro lugar, deve-se levar em conta que como não existem orifícios para a passagem da suspensão, não há possibilidade de obstrução. No mais, o fato de a suspensão cair por gravidade torna conveniente que sua viscosidade seja relativamente alta, para evitar problemas de oscilações no fluxo de queda da cortina que podem gerar heterogeneidades na camada de esmalte. Isso permite o uso de densidades também elevadas ao contrário das suspensões aplicadas a disco.

É necessário preparar a suspensão com alta concentração de sólidos e altas viscosidades sob os gradientes de velocidade a que a suspensão é submetida quando se separa da campana ($1000-1500 \text{ s}^{-1}$). Em consequência, uma suspensão com essas características apresenta, a menos que se encontre completamente defloculada, elevado limite de fluidez e comportamento tixotrópico. Por isso sua viscosidade tende a aumentar consideravelmente quando se encontra em repouso ou submetida a baixos gradientes de velocidade, como aqueles gerados pela força de gravidade.

Dado que a suspensão flui unicamente pela força de gravidade, tanto no sistema de alimentação da campana como quando desliza sobre a mesma, é extremamente perigoso que sua viscosidade aumente demasiadamente e possa ser detida em algum ponto do processo. Se isto chega a acontecer, a interrupção do fluxo provoca falhas na camada de esmalte de forma imediata. No mais, a porção da suspensão retida pode desprender-se posteriormente, ser arrastada sobre o resto da suspensão e cair sobre a peça, deteriorando sua superfície.

Para evitar estes problemas é necessário que a viscosidade da suspensão, quando submetida a baixos gradientes de velocidade, não seja muito superior à viscosidade apresentada sob os gradientes de velocidade que sofre ao separar-se da borda da campana. Além disso, deve ser pouco tixotrópica, para evitar que sua viscosidade aumente com o tempo de repouso, o que contribuiria para o incremento da retenção de material no caso da suspensão deixar

de fluir. Isso é o mesmo que dizer que o comportamento desta deve ser o mais newtoniano possível, e ter um limite de fluidez baixo, para que escoe com facilidade.

Na Figura 5, representa-se o comportamento reológico típico de uma suspensão acondicionada para ser aplicada por campana e na Figura 6 sua distribuição de tamanhos de partícula. Na Tabela 2 encontram-se resumidos os valores dos parâmetros mais significativos deste tipo de suspensão. Pode-se observar que o limite de fluidez é baixo e que a viscosidade sob gradientes de velocidade médios e altos ($10\text{-}1000\text{ s}^{-1}$) não difere demasiadamente (o que indica seu caráter eminentemente newtoniano), assim como sua reduzida área tixotrópica. Além disso, os dados são comparados com os correspondentes da aplicação a disco, apreciando-se os elevados valores de densidade e viscosidade (em altos gradientes e velocidade) que possuem, conforme indicado anteriormente.

Estas condições de aplicação tornam imprescindível que a suspensão se encontre bem defloculada, visto que assim as partículas se encontram desaglomeradas em baixos gradientes de velocidade, o que resulta em uma menor viscosidade aparente. Isso significa que o acerto da defloculação deve ser muito estreito, para assegurar as viscosidades mais baixas possíveis em todos os gradientes de velocidade, trabalhando com conteúdos de sólidos (densidades) tão altos quanto o processo permite. Por este motivo, em linhas gerais, pode-se considerar que a aplicação por cortina contínua em geral e, por campana, em particular, requer um maior nível de atenção e cuidado que a aplicação por pulverização.

As características descritas permitem que após a deposição das suspensões sobre as peças, ocorra o recobrimento suficiente para assegurar o acabamento liso objetivado e não exagerado de modo a ocasionar ondulações superficiais ou acúmulo de esmalte nas bordas das peças. Assim, a camada de esmalte crua formada é pouco porosa e muito compacta em razão da escassa retenção de água que apresenta entre suas partículas, como uma consequência da baixa aglomeração destas quando são depositadas sobre o revestimento. Todos estes fatores fazem com que a velocidade de secagem das camadas de esmalte formadas a partir de suspensões pulverizadas que, devido à sua baixa densidade e estado parcialmente floculado, conduzem à formação de camadas mais porosas e permeáveis.

Por último, é preciso mencionar um problema típico das aplicações por cortina e que, em alguns casos, pode deteriorar a qualidade da camada formada: as bolhas geradas e retidas na suspensão. A origem destas bolhas está relacionada com ações mecânicas de trânsito, agitação e bombeamento da suspensão que introduzem ar em seu interior. Se estas bolhas não forem eliminadas antes da aplicação, causam irregularidades na cortina e na camada de esmalte que podem originar defeitos superficiais (furos,

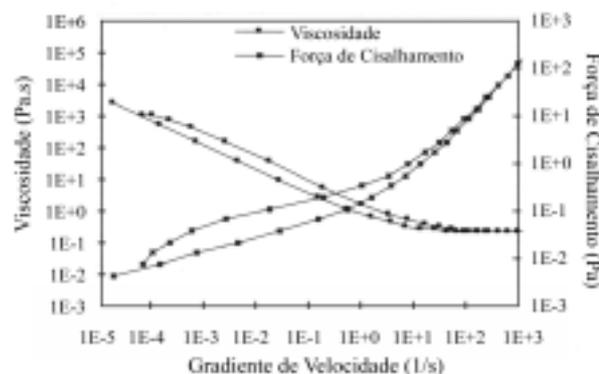


Figura 5. Comportamento reológico de uma suspensão para aplicação por campana.

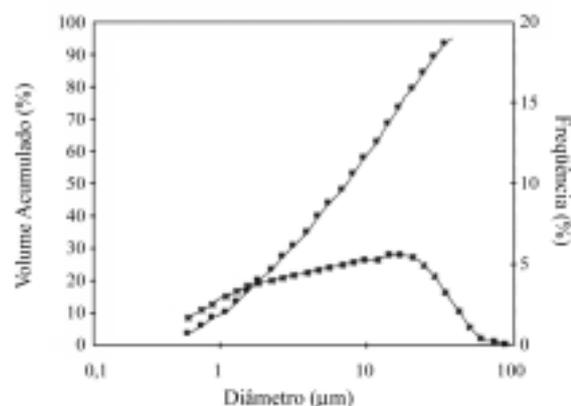


Figura 6. Distribuição de tamanhos de partícula de uma suspensão para aplicar por campana.

Tabela 2. Valores característicos de uma suspensão para aplicação por campana.

Densidade (g/cm^3)	1,8 – 1,9
$\eta_{\gamma = 0,1\text{ s}^{-1}}$ (cP)	2000 – 4000
$\eta_{\gamma = 500\text{ s}^{-1}}$ (cP)	100 – 200
D_{50} (μm)	6 – 7

depressões, etc) no revestimento queimado. Visto que a viscosidade destas suspensões é relativamente alta, torna-se difícil eliminar as bolhas geradas, pois as bolhas demoram a ascender até a superfície dos recipientes em que estão armazenadas. Sob este ponto de vista, é recomendável gerar o menor número possível de bolhas, analisando-se os pontos do processo em que as mesmas podem ser formadas e reduzir sua incidência. Do ponto de vista reológico, torna-se interessante trabalhar com suspensões defloculadas e densidades elevadas, pois estas condições favorecem a eliminação das bolhas. Se a suspensão encontra-se

parcialmente floculada, a tendência à retenção de bolhas aumenta consideravelmente.

2.1.2 Aplicação por via seca

Em geral, a aplicação de esmaltes por via seca é utilizada para a obtenção de efeitos decorativos ou de proteção dos esmaltes, de tal modo que seria mais indicado tratar deste assunto no tópico de decoração. No entanto, existe pelo menos um esmalte com o objetivo de se obter uma camada de vidrado contínua que alcançou notável popularidade nos últimos tempos: os chamados “esmaltes polidos”. Por este motivo serão tratadas brevemente neste item as características de alguns esmaltes aplicados a seco.

A forma mais habitual que estes esmaltes se apresentam é na forma de granilha. A granilha é um produto obtido pela trituração a seco das fritas até alcançar diferentes distribuições de tamanhos de partícula, em função do tipo de efeito que se deseja alcançar. Na atualidade, pode-se encontrar no mercado uma grande variedade de tamanhos de granilhas: 0,1-0,3 mm, 0,2-0,6 mm, 0,2-1,2 mm, etc. Nos últimos anos vem ocorrendo uma tendência de diminuição dos tamanhos médios das granilhas, na medida em que a característica do mercado vem evoluindo.

A característica da aplicação de granilhas é condicionada pela fluidez do material a ser aplicado, que está intimamente relacionada com a distribuição de tamanhos de partícula e com a forma destas. Para melhorar a fluidez foram desenvolvidas granilhas de forma redonda por granulação ou por amolecimento térmico, permitindo que a aplicação a seco seja feita de forma mais rápida e controlada. Na atualidade, estes tipos de produtos se encontram no mercado e constituem uma alternativa, com suas vantagens e inconvenientes, para substituir as granilhas tradicionais.

2.2 Novos Sistemas

Na seqüência serão discutidas algumas novas técnicas de aplicação de esmaltes que vem surgido recentemente no mercado e que estão, neste momento, em fase de otimização para sua definitiva implantação. Além disso, também serão descritas brevemente algumas alternativas aos sistemas tradicionais que, se hoje podem parecer difíceis de serem adaptadas aos produtos cerâmicos, merecem ser consideradas como possibilidades futuras.

2.2.1 Aplicação por via úmida

As novidades atuais mais relevantes se referem basicamente à aplicação por cortina contínua ao surgimento de um novo equipamento baseado na transferência de matéria por contato, utilizando um princípio análogo ao de cavidades geradas por fotoincisão.

- Cortina contínua

Um dos sistemas tradicionais de aplicação por cortina contínua era a véu cortina, na qual a suspensão fluía por

ação da gravidade através da cavidade formada entre duas lâminas planas verticais, que podiam ser aproximadas ou separadas por meio de dispositivos correspondentes. Este equipamento, em desuso há anos, teve uma nova versão criada em uma máquina baseada no mesmo princípio de funcionamento, com a diferença de que a suspensão flui sob pressão com o objetivo de assegurar uma vazão constante para a aplicação. A suspensão é bombeada até a parte superior da máquina, introduzindo-se a pressão no espaço entre as duas lâminas verticais que constituem o sistema de aplicação propriamente dito, e flui através da separação existente entre elas em sua parte inferior, que pode ser regulada através de um sistema micrométrico. O equipamento vem ainda dotado de um medidor de vazão que determina continuamente o fluxo de suspensão, permitindo, em primeiro lugar, regular a quantidade aplicada e depois, quando são detectadas variações, estabelecer as correções oportunas, atuando sobre a bomba de alimentação. Estas ações de ajuste devem ser realizadas manualmente.

A utilização de pressão provoca reduções notáveis nas oscilações do fluxo da suspensão, que é um dos principais problemas inerentes ao véu cortina tradicional. Além disso, a suspensão se encontra submetida a gradientes de velocidade relativamente altos em decorrência de fluir de maneira forçada e deve permitir que se trabalhe com suspensões mais pseudoplásticas sem riscos de que se produzam retenções no fluxo de suspensão como uma conseqüência de sua viscosidade excessiva. Isso implica na possibilidade de se trabalhar em altas densidades, de maneira que estando bem defloculada, a suspensão apresente altas viscosidades sob baixos gradientes de velocidade e que possa fluir adequadamente quando submetida a um fluxo forçado. Em outras palavras, será somente a viscosidade em elevados gradientes de velocidade que limitará a possibilidade de aplicação e condicionará o máximo conteúdo de sólidos da suspensão.

O outro fator que, evidentemente, deve estar bem controlado e ajustado é a distribuição de tamanhos de partícula, visto que o esmalte deve passar por um espaço relativamente estreito. Com o intuito de se evitar obstruções, as partículas presentes na suspensão devem ser suficientemente finas para que não ocorra o problema mencionado.

Em resumo, a utilização deste sistema permite o uso de suspensões de granulometria fina, altas densidades e estado de ótima defloculação. Desta forma consegue-se individualizar as partículas o máximo possível, de modo que ainda que apresentem tendência a se aglomerar sob baixos gradientes de velocidade ou em repouso (o que não deve ser um problema importante, dadas as características do sistema de aplicação), a força aplicada sobre a suspensão é suficiente para desaglomerá-la e reduzir sua viscosidade aparente até os limites de trabalho.

Na atualidade, este equipamento se encontra em vias de otimização tanto do ponto de vista das suspensões mais adequadas ao seu uso, como da própria máquina.

- Transferência por contato

Esta é uma técnica em vias de desenvolvimento para a aplicação de esmaltes, se bem que já se encontra implementada para a obtenção de efeitos decorativos, como será comentado mais adiante. O equipamento, baseado na técnica de cavidades geradas por fotoincisão consta de dois rolos girando em sentidos contrários e dispostos sucessivamente segundo o sentido de condução das peças a esmaltar (Figura 7). A superfície do primeiro destes rolos, que gira no mesmo sentido que as peças avançam, encontra-se marcada com uma série de cavidades de pequeno tamanho (de diâmetro médio compreendido entre 100 e 400 μm) dispostas umas sobre as outras com uma separação mínima. A parte superior deste rolo se alimenta com um fluxo contínuo da suspensão de esmalte, a qual se estende sobre a superfície do rolo por meio de uma espátula e é guiada pela própria rotação do rolo, de modo a ser introduzida nas cavidades mencionadas anteriormente. O material restante é eliminado sobre a mesma espátula distribuidora. Assim, quando o rolo entra em contato com a peça a ser esmaltada, o esmalte deve estar nas cavidades do mesmo, de maneira a ser transferido por contato com a peça, permanecendo depositado sobre sua superfície. Dado o elevado número de pontos marcados no rolo, ao passar o esmalte retido nos mesmos sobre a peça, será obtida uma camada praticamente contínua de esmalte.

No entanto, para se conseguir uma camada ainda mais lisa e compacta, o segundo rolo, de superfície lisa e com sentido de rotação contrário ao anterior, pressiona ligeiramente o material depositado na forma de pontos, de tal maneira que estes perdem definitivamente sua forma. Visto que um equipamento similar a este vem sendo empregado para a decoração de revestimentos, no item seguinte serão tratadas em detalhes as particularidades do mesmo. Porém, convém ressaltar a importância de alguns dos elementos que os constituem; assim, a forma e as dimensões das cavidades gravadas no rolo, o ajuste da espátula e sua forma, dureza e ângulo de contato. Com relação ao primeiro destes fatores, torna-se muito crítico para uma boa aplicação de uma camada de esmalte de espessura considerável, visto que estas cavidades devem possuir profundidade suficiente para armazenar uma quantidade notável de suspensão e, posteriormente, sua forma deve favorecer a transferência total do material ao revestimento, quando se produz o contato com o rolo. Com relação à espátula, deve estar bem ajustada para eliminar da superfície do rolo o material que não foi introduzido nas cavidades do mesmo, evitando aplicações descontroladas.

Na atualidade, este equipamento não vem sendo utilizado industrialmente, com aplicação para a fabricação de

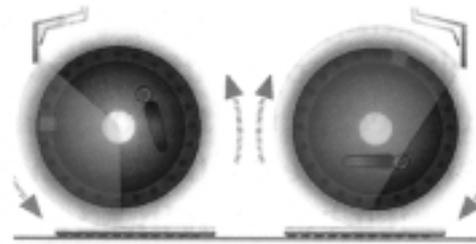


Figura 7. Esquema do funcionamento do equipamento de esmaltamento por cavidades geradas por fotoincisão.

alguns modelos de mosaico. Por este motivo, ainda não se conhece com precisão as condições ótimas que a suspensão deve apresentar para sua correta aplicação por esta técnica. No entanto, dadas as características da mesma e os primeiros resultados obtidos, pode-se fazer uma série de considerações sobre o comportamento que devem apresentar os esmaltes aplicados por este procedimento.

As suspensões se encontram em repouso ou submetidas a gradientes de velocidade muito baixos, por permanecerem retidas no interior das cavidades do rolo. A suspensão deve ser introduzida com facilidade nas cavidades mencionadas e devem sair delas facilmente quando o suporte entra em contato com o rolo aplicador. Por último, deve-se adicionar o fato de que a ação alisadora do segundo rolo deve deformar facilmente as porções de suspensão depositadas sob a forma de pontos pelo primeiro. Neste sentido, é também conveniente que a viscosidade da suspensão no momento da deposição sobre a peça seja tal que permita uma ligeira extensão sobre si mesma, ajudando a formação de uma camada contínua.

Tudo leva a crer, que em geral, a viscosidade destas suspensões não deve ser excessivamente alta, para favorecer o preenchimento adequado das cavidades do rolo e para permitir a saída pela ação exclusiva da aderência ao suporte. Em outras palavras, seu limite de fluidez não deve ser alto e, por isso a variação da viscosidade com o gradiente de velocidade também não deve ser alta. Portanto, não convém que as suspensões sejam tixotrópicas, para evitar aumentos excessivos da viscosidade quando a suspensão permanece em repouso no interior das cavidades ou quando é depositada sobre a superfície das peças. Visto que o conteúdo de sólidos deve ser alto, para reduzir a quantidade introduzida na peça e, conseqüentemente, a velocidade de secagem da camada aplicada, a única forma de conseguir o comportamento descrito é defloculando a suspensão até se alcançar a mínima viscosidade possível. Desta forma, as características da suspensão a ser aplicada por cavidades geradas por fotoincisão devem se assemelhar às das suspensões aplicadas por campana: altas densidades e ótima defloculação, o que do ponto de vista reológico, se mani-

feita como um comportamento próximo ao Newtoniano no intervalo de trabalho, com um baixo limite de fluidez.

Conforme se comentará posteriormente, este é o comportamento reológico das tintas empregadas em máquinas que utilizam a técnica de cavidades geradas por fotoincisão com fins decorativos, porém com algumas particularidades que serão comentadas no momento adequado. Contudo, a prática diária parece confirmar os pressupostos teóricos, não se podendo dizer o mesmo da aplicação de esmaltes, dada a inexistência da implantação industrial da mesma. Deve-se esperar que ocorra sua implantação para confirmar o bom funcionamento das propriedades descritas de acordo com o ponto de vista teórico.

2.2.2 Aplicação por via seca

Os procedimentos de aplicação de esmalte por via seca alternativos aos tradicionais fazem uso de técnicas empregadas em outros setores industriais, buscando sua adaptação às necessidades e características dos produtos cerâmicos. Dentre eles, cabe destacar a aplicação eletrostática, que já obteve resultados em escala semi-industrial.

Esta técnica se baseia na projeção das partículas secas de esmalte, dotadas de uma determinada carga elétrica,

sobre a superfície a ser recoberta onde se aplica uma carga elétrica de sinal contrário. As partículas pulverizadas se depositam sobre a superfície em razão da atração elétrica que se estabelece entre ambos componentes.

As dificuldades do procedimento estão justamente em carregar eletricamente os materiais cerâmicos, cuja condutividade elétrica é extremamente baixa. Para isso, deve-se recorrer, no que se refere ao esmalte em pó, ao uso de aditivos capazes de serem carregados facilmente e de conferir as propriedades necessárias ao material. Por outro lado, o tamanho de partícula deve ser muito fino, para permitir a passagem pela boquilha da pistola de pulverização e não gerem problemas de obstruções da mesma. Além disso, a aplicação eletrostática, cuja principal vantagem é a eliminação completa da água do processo de esmaltação, apresenta outros problemas, não diretamente relacionados com o objetivo deste trabalho, que devem ser resolvidos para permitir que sua utilização se generalize: consistência de camada formada, aderência a cru da mesma, eliminação dos aditivos utilizados sem a geração de resíduos, etc. Contudo, é uma técnica que merece ser considerada para o futuro, como uma alternativa para as existentes e cujo desenvolvimento deve ser aprofundado.