

Avanços no Processamento de Pós Atomizados para a Fabricação de Revestimentos Cerâmicos

F. Negre e E. Sanchez

Instituto de Tecnología Cerámica

Asociación de Investigación de las Industrias Cerámicas

Universitat Jaume I, Castellón, Espanha

Resumo: O presente trabalho apresenta as correlações existentes entre as características do pó granulado produzido por atomização e o preenchimento do molde e o comportamento durante a compactação. Além disso descreve o próprio processo de atomização assim como as variáveis de operação influenciam as características do pó atomizado.

Palavras-Chave: *atomização, compactação, prensagem*

Introdução

Dos vários processos industriais utilizados para a conformação de revestimentos cerâmicos, a prensagem uniaxial se tornou o método mais comumente empregado. Isto se deve ao fato de a prensagem a seco alcançar uniformidade de todo um leque de características básicas e propriedades necessárias de serem obtidas nos compactos verdes, os quais são responsáveis pela definição das características e propriedades do produto final queimado. Além de assegurar a qualidade do produto, o processo de prensagem a seco também propicia elevados índices de produtividade^{1,2}. Os materiais que alimentam as prensas nas fábricas de revestimentos podem ser produzidos por via seca ou úmida¹.

As vantagens aparentes da preparação do pó por via seca são um menor investimento inicial de capital e custos de produção mais baixos³. Entretanto, o processo de preparação do pó por via seca somente permite alcançar um certo nível de qualidade do produto final⁴, os quais na realidade só são compatíveis com os anseios das classes mais baixas do mercado consumidor.

Quando comparado com a preparação por via seca, o processo via úmido, o qual inclui a atomização, oferece as seguintes vantagens:

a) Quebra do material argiloso contido na barbotina ao se submeter a suspensão a energéticos processos de dispersão.

b) Redução do tamanho de partículas, principalmente das impurezas.

c) Mistura íntima dos constituintes da massa, principalmente dos componentes minoritários.

d) Maior reatividade do pó.

e) Melhor fluidez do pó e facilidade de manuseio do pó granulado.

f) Comportamento adequado do pó granulado sob compressão.

Requisitos Desejáveis do Pó Atomizado para a Fabricação de Revestimentos por Prensagem a Seco

A operação de prensagem e a microestrutura do compacto prensado dependem consideravelmente das propriedades das partículas (tipo, tamanho, formato, etc), das características dos aglomerados dessas partículas (formato, distribuição de tamanho, etc) e dos aditivos de prensagem (umidade, ligantes, plastificantes, etc).

Pode-se distinguir três etapas na prensagem a seco: preenchimento, compressão e extração. Destas três etapas, o preenchimento e compressão definem as características da microestrutura do compacto verde⁵.

Preenchimento do Molde

Para que o processo de prensagem possa ser corretamente executado, o pó deve estar uniformemente distribuído na cavidade da prensa. O preenchimento do molde é a etapa mais crítica da operação de prensagem¹.

O pó deve ter uma boa fluidez. Esta característica depende da fricção entre os grânulos, os quais por sua vez dependem das características dos grânulos, tais como formato, distribuição de tamanhos, deformabilidade e densi-

dade, assim como de variáveis externas tais como teor de umidade, umidade do ar, temperatura e aditivos⁶.

A Fig. 1 ilustra como o tamanho dos aglomerados afeta a sua fluidez⁷. A figura mostra a taxa de fluxo de diferentes frações granulométricas de um pó atomizado industrial e pode se observar o seguinte:

1. A faixa granulométrica abaixo de 125 μm é a que apresenta pior fluidez. Muito embora uma fração destes pequenos grânulos possuam forma esférica eles apresentam baixa fluidez devido à presença de um considerável número de partículas não aglomeradas e da elevada razão área superficial/volume dos aglomerados. Conseqüentemente, a taxa de fluxo cai dramaticamente quando a proporção de aglomerados abaixo de 125 μm aumenta.

2. As frações compreendidas entre 125 e 500 μm apresentam a maior fluidez como uma conseqüência da forma esférica e da superfície lisa.

3. A fração de grânulos maiores que 500 μm apresenta fluidez mais baixa do que as situadas entre 125 e 500 μm , principalmente porque elas se formaram pelo achatamento de grânulos menores. Essa forma dos grânulos aumenta consideravelmente as forças de fricção e conseqüentemente diminui a fluidez.

A Fig. 2 ilustra como o conteúdo de umidade afeta a fluidez do pó. Pode-se notar que a taxa de fluxo cai com o aumento do teor de umidade. Este efeito se torna mais intenso para os teores de umidade de 5 – 6%, em base seca, que é a umidade padrão nas indústrias de revestimentos. As fracas forças que se formam como resultado das forças de capilaridade entre os grânulos úmidos são as principais responsáveis pela diminuição da fluidez com o aumento do teor de umidade.

Compactação

As características das partículas (distribuição de tamanhos, formato e rugosidade superficial) e a dureza dos aglomerados são as principais propriedades na determi-

nação de como um pó irá se comportar durante a compactação.

Os aglomerados devem ser suficientemente moles para permitir que eles se deformem completamente sob pressão e possibilitem alcançar o máximo empacotamento das partículas nos grânulos. Dessa forma, chega-se a uma microestrutura uniforme e a mínima porosidade do corpo, o que possibilita obter-se as propriedades desejadas para o compacto verde (resistência mecânica, densidade aparente, etc.) e do produto queimado (tamanho, absorção de água, densidade aparente), sem o aparecimento de defeitos na superfície esmaltada (trincas, ondulações, etc).

Um dos melhores métodos para se caracterizar o comportamento do pó durante a compactação é registrar a densidade aparente do compacto conforme se aumenta a pressão de compactação, obtendo dessa forma a chamada curva de compactação⁸. A Fig. 3 apresenta a curva de compactação para um pó industrial atomizado utilizado em uma fábrica de porcelanato.

A curva de compactação mostra que a porosidade e o tamanho dos poros diminuem durante a compactação como resultado dos seguintes mecanismos:

1. Rearranjo de grânulos, resultando em uma densidade de empacotamento mais elevada.

2. Redução do volume dos espaços intragranulares devido à deformação plástica e/ou quebra dos grânulos.

3. Diminuição da porosidade intragranular devida ao escorregamento e rearranjo das partículas, permitindo um empacotamento mais denso. Para pressões muito elevadas, para certos materiais, a quebra das partículas pode até ocorrer.

A primeira mudança de inclinação surge a uma densidade próxima à densidade vibrada (D_s) à pressão P_f , conhecido como ponto de escoamento e/ou tensão de escoamento. À pressão P_f , o rearranjo dos grânulos praticamente terminou (fim do mecanismo I) e a fratura e/ou deformação dos grânulos começa (mecanismo II, região de trabalho na fabricação de revestimentos). O ponto de

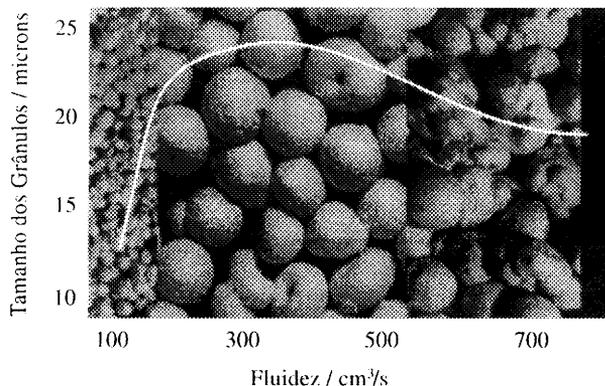


Figura 1. Efeito do tamanho dos grânulos sobre a fluidez do pó atomizado.

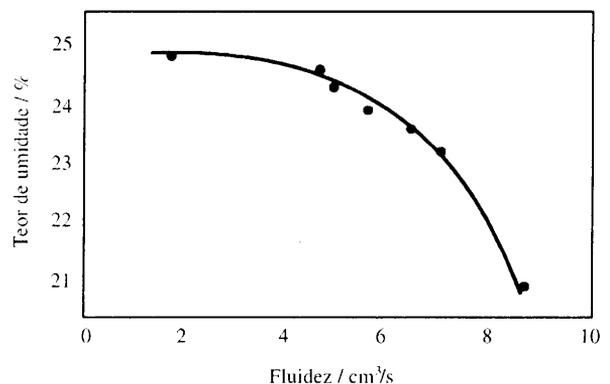


Figura 2. Efeito do teor de umidade sobre a fluidez de um pó atomizado.

Tabela 1. Relação entre os desvios dimensionais admissíveis no produto final e os desvios da densidade aparente.

Produto	Desvio dimensional admissível (mm) (ISO/DIS 13006 Norma Preliminar)	Desvio requerido (mm)	DDap admissível (g/cm ³)
(*) Azulejo poroso por monoqueima	1,3/1,8	0,7/0,9	± 0,05
(**) Piso stoneware (3% < AA < 6%)	1,9	1,1	± 0,03
(**) Porcelanato	1,9	0,9	± 0,015

(*) Padrão 280x365 mm; (**) Padrão 310 x 310 mm.

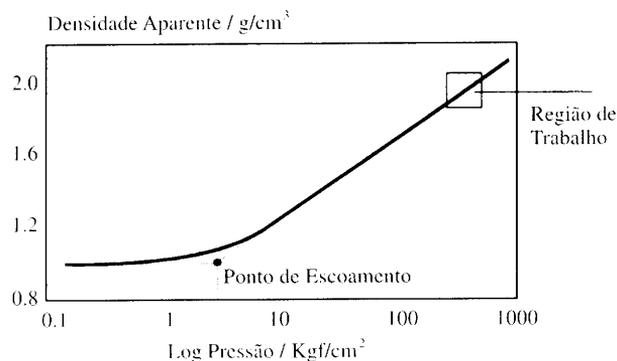


Figura 3. Curva de compactação de um pó industrial atomizado utilizado na fabricação de porcelanato.

escoamento dos grânulos é tomado como sendo uma medida da sua dureza e/ou durabilidade e é considerado por muitos⁹ como a propriedade mais importante dos pós granulados.

A segunda mudança de inclinação se dá quando o compacto atinge uma densidade próxima à do grânulo propriamente dito (D_g). Este ponto da curva geralmente não chega a ser alcançado nas misturas de matérias-primas empregadas para a fabricação de revestimentos cerâmicos.

O efeito do teor de umidade e o tamanho dos grânulos sobre a dureza dos grânulos (ponto de escoamento) para um pó atomizado industrial utilizado na fabricação de porcelanato é mostrado na Fig. 4.

Pode-se observar na Fig. 4 que o ponto de escoamento diminui rapidamente com o aumento do teor de umidade e diminui a uma taxa relativamente menor com o aumento do tamanho dos grânulos. Isto significa que ao aumentar o teor de umidade e/ou o tamanho dos grânulos, a densidade vibrada será alcançada a pressões inferiores, que é quando a compressão realmente começa.

Obter-se bons compactos é um dos principais objetivos da operação de prensagem. Se a densidade aparente do compacto é inapropriada ou se esta variável não é mantida dentro de determinados limites durante a fabricação, diferentes defeitos de fabricação poderão surgir comprometendo as propriedades do produto queimado. A falta de estabilidade dimensional entre as peças de um mesmo

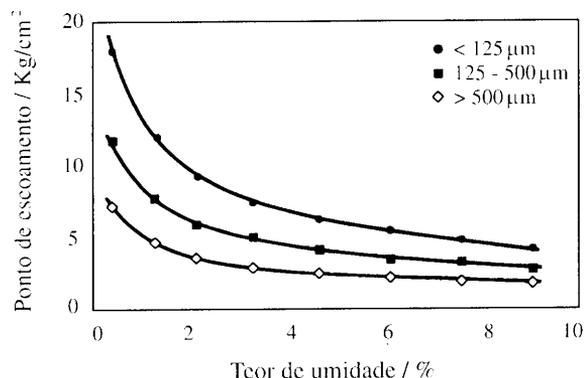


Figura 4. Variação do ponto de escoamento com o teor de umidade e o tamanho dos grânulos para um pó industrial atomizado utilizado na fabricação de porcelanato.

produto ou entre um produto e outro é um dos defeitos que atualmente mais afeta a qualidade dos revestimentos cerâmicos^{2,4}.

Este defeito ocorre porque as peças sofrem diferentes retrações lineares durante a queima. Por outro lado, a deformação da peça se dá como uma consequência de que diferentes regiões de uma mesma peça apresentam retrações lineares diferentes durante a queima.

Para ambos os casos, as diferenças da retração linear são fundamentalmente causadas por variações na compactação da peça crua, entre um lote e outro ou até para um mesmo lote e/ou como um resultado da não uniformidade da temperatura de queima⁵.

A importância da uniformidade na operação de prensagem sobre a deformação para diferentes tipos de revestimentos cerâmicos é exemplificada na Tabela 1, a qual apresenta os desvios da densidade aparente admissíveis (DD_{ap}) obtidos a partir das deformações admitidas no produto final, segundo padrões internacionais, e que representam as expectativas do consumidor.

Descrição do Processo de Atomização

A operação de atomização permite a remoção de água da suspensão (0,30 – 0,45 kg de água/kg de sólido seco) até um teor de umidade de 0,05 – 0,07 kg de água/kg de sólido seco, produzindo assim grânulos com características e pro-

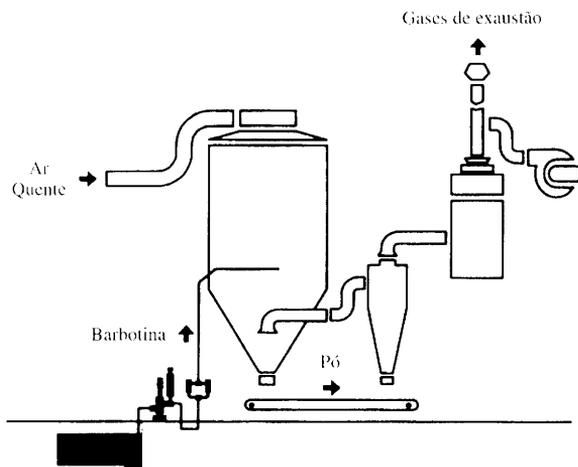


Figura 5. Atomizador de fluxo-misturado, múltiplos bicos.

priedades adequadas (tamanho, formato, dureza, etc.) para as operações subseqüentes (transporte, alimentação da prensa, prensagem, etc).

A operação de atomização consiste basicamente de três etapas: formação das gotículas, secagem das gotículas em ar quente e transporte e separação do pó seco. A secagem ocorre enquanto a gotícula está suspensa no ar. A névoa criada pela atomização da barbotina dá lugar a uma vasta superfície para que a transferência de calor e massa ocorram. Portanto, a água das gotículas evapora muito rapidamente e reduz a temperatura da corrente de ar.

Sob o ponto de vista da engenharia do processo, a atomização é uma operação complexa, uma vez que três fenômenos de transferência ocorrem simultaneamente: movimento (deslocamento das gotículas), calor e massa. Por outro lado, após um certo tempo, a operação entra em regime, ou seja varia pouco, desde a formação das gotículas até a obtenção de um aglomerado com o teor de umidade desejado.

A Fig. 5 apresenta uma representação esquemática do tipo de atomizador geralmente encontrado nas indústrias de revestimentos cerâmicos (fluxo-misturado, múltiplos bicos).

Esse tipo de atomizador funciona da seguinte maneira: uma suspensão argilosa contendo uma pequena quantidade de defloculante é alimentada na câmara de secagem. A barbotina é atomizada por bombeamento a alta pressão através de um arranjo de bicos pulverizadores. As gotículas apresentam um movimento ascendente em um fluxo de ar quente na forma de espiral, alimentada através de um difusor para o interior da câmara, em contracorrente com as gotículas que então são secas até a umidade desejada. O pó é então descartado por uma saída no fundo do atomizador. Os gases úmidos carregam também uma certa quantidade de pó que precisa ser limpo.

As duas frações sólidas saindo da câmara de secagem (o produto proveniente do ciclone separador e do atomizador propriamente dito) são geralmente misturadas em uma correia transportadora. O produto resultante é então transportado por um sistema apropriado (correia transportadora ou elevador de canecas) até os silos de armazenamento.

Produtos em que necessita de pós com alta fluidez, os finos extraídos pelo ciclone não são misturados com o pó saído diretamente do atomizador. Algumas vezes o dispositivo de descarga também possui um sistema de refrigeração para impedir que a condensação chegue ao elevador de canecas ou silos.

Em atomizadores industriais, o sistema entra em regime algum tempo depois de se dar início a operação e é somente então que os balanços de massa e energia podem ser aplicados ⁶.

A operação de atomização de suspensões argilosas, devido às características típicas desse tipo de material e das elevadas temperaturas de trabalho, geralmente levam à formação de grânulos com densidade relativamente baixa. Estes grânulos apresentam uma crosta ou casca superficial que é muito pouco permeável. Esta baixa permeabilidade impede a difusão do vapor de água, o que leva ao aumento da pressão interna dos grânulos a qual é aliviada através de uma pequena explosão. Esses grânulos portanto apresentam um poro interno relativamente grande ⁷.

Melhoria no Processamento de Pós Atomizados para a Fabricação de Revestimentos

Os avanços que têm sido progressivamente introduzidos nas indústrias de revestimentos cerâmicos abordam principalmente quatro áreas. Os interesses primeiramente foram centrados em aspectos relacionados à produtividade e ao custo efetivo. Entretanto, outros temas atraíram muito mais atenção nos últimos quinze anos. Os principais temas têm sido a homogeneidade, tópicos relacionados ao meio ambiente e a qualidade do pó. Estes avanços refletem a evolução da indústria de revestimentos cerâmicos. É importante ressaltar que estes desenvolvimentos surgiram dentro deste contexto industrial.

A utilização de pós atomizados permitiu avanços significativos no processo de prensagem utilizado na fabricação de revestimentos cerâmicos. Entretanto, inicialmente os custos eram relativamente elevados em comparação com os da preparação de pó por via seca. Por esta razão procurou-se primeiramente aumentar a produtividade e reduzir os custos de fabricação.

Uma das primeiras ações procurou aumentar o teor de sólidos da barbotina através da otimização da defloculação (tipo e quantidade de defloculante). A mistura de tripoli-fosfato de sódio com metasilicato se tornou um deflocu-

lante economicamente interessante para essas aplicações⁸. Ao se aumentar o teor de sólidos em 4% (de 64 para 68%, por exemplo), há um aumento de produção de 35% e o consumo de energia diminui 25%.

Um estudo dos gastos com a preparação de pó por atomização para a fabricação de revestimentos cerâmicos mostra que os itens mais importantes são: matérias-primas, combustível e aditivos (defloculantes). Entretanto, considerando que as matérias-primas e aditivos são definidos prioritariamente em função do tipo de produto a ser produzido, procurou-se maneiras de reduzir os gastos com combustível^{9, 20}, tais como o uso do calor recuperado dos fornos. A recuperação de energia em fornos contínuos monoestrato se dá através de um sistema de dutos que conduzia o ar quente da zona de resfriamento do forno para os queimadores adaptados do atomizador².

Uma das ações mais importantes, inovativas, rentáveis na fabricação de revestimentos cerâmicos com atomização tem sido o de co-geração^{9, 22}. O objetivo do sistema de co-geração é a produção simultânea de calor e eletricidade a partir de uma única fonte de energia, gás por exemplo, utilizando os gases quentes como ar de secagem no atomizador. A eficiência na utilização da energia proveniente da queima do combustível é consideravelmente aumentada e os gastos da fábrica com eletricidade, consideravelmente reduzidos. Uma medida do sucesso desta tecnologia é revelada pelo fato de que em 1996 aproximadamente 75% do consumo de energia elétrica de todas as fábricas de revestimento cerâmicos espanholas era produzido por co-geração.

No início dos anos 80 os avanços eram concentrados na estabilização das características do pó produzido pelo atomizador, como uma consequência das exigências do processo resultante da introdução da monoqueima. Isto era feito através da instalação de sistemas de medida, monitoramento e controle, os quais restringiram consideravelmente as variações admissíveis das variáveis de processo.

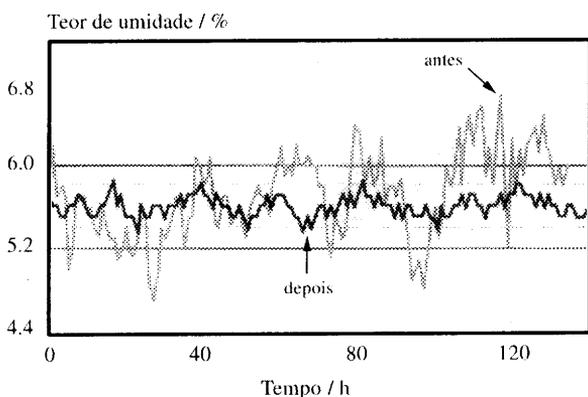


Figura 6. Variação do teor de umidade antes e depois da implementação de um sistema de controle.

Sistemas de controle foram instalados com a aquisição contínua de dados relativos às principais variáveis de operação²³.

A Fig. 6 mostra uma representação gráfica da variação do teor de umidade com o tempo. Pode-se perceber que a introdução do sistema de controle realmente permitiu atuar sobre o processo e reduzir a variação do teor de umidade para limites mais aceitáveis. Um dos principais dispositivos de controle foi o coletor de amostras, pois este permitiu que o teor de umidade de uma amostra representativa de toda a produção pudesse ser continuamente monitorada.

Outra importante atividade relacionada ao atomizador na indústria de revestimentos cerâmicos está relacionada com o meio ambiente²⁴. Essas atividades almejam reduzir a emissão de poeira e finalmente se tornou possível reciclar praticamente todo o lodo e água produzidos pelo processo industrial de fabricação de revestimentos cerâmicos por via úmida^{25, 26}. A Fig. 7 representa esquematicamente o setor de preparação de massas com a reciclagem do lodo e água.

Os estudos e ações que objetivavam a melhoria da qualidade do pó granulado produzido pelo atomizador somente vieram nos últimos anos, principalmente como

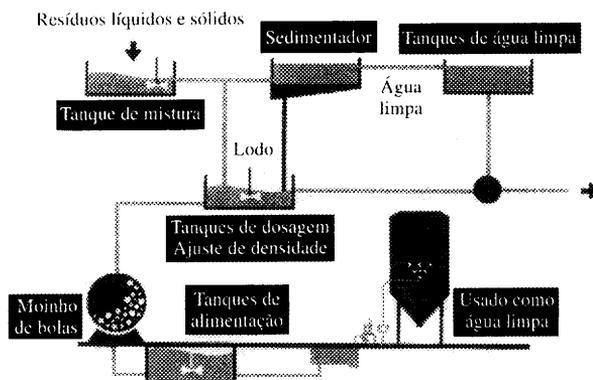


Figura 7. Representação esquemática de um sistema de preparação de massa com reciclagem de lodo e água.

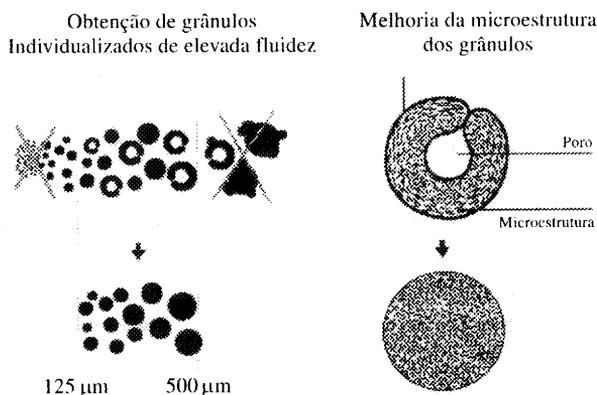


Figura 8. Possíveis melhorias das características do pó atomizado.

uma conseqüência das necessidades de novos produtos como o grés porcelanato que eram mais exigentes com relação às características do pó.

Esta revisão dos avanços na atomização como empregada na fabricação de revestimentos cerâmicos estaria incompleto sem alguma referência, ainda que breve, sobre as linhas de pesquisa atualmente sendo desenvolvidas com o objetivo de melhorar a qualidade do pó e conseqüentemente a qualidade do produto final.

Uma dessas linhas de pesquisa visa a eliminação da fração fina, não aglomerada, do pó e a individualização dos grânulos, maximizando assim a fluidez do pó. Outra linha de pesquisa visa melhorar a microestrutura dos grânulos. Um grânulo típico apresenta uma microestrutural bastante heterogênea, tem um grande poro central, uma “casquinha” superficial e uma distribuição de tamanhos não uniforme^{33 34 35}. A Fig. 8 ilustra tais melhorias nas características dos pós produzidos por atomização.

Finalmente, algumas outras importantes linhas de pesquisa se referem ao comportamento durante a compactação, principalmente pelo ajuste do teor de umidade ou mesmo pela introdução de aditivos que permitam a otimização da compressibilidade.

Para concluir, pode-se dizer que possíveis avanços no processamento de pós atomizados virão de pesquisas relacionadas a formulação de massas assim como do ajuste das condições de operação do atomizador visando a obtenção de pós que permitirão a fabricação de revestimentos de melhor qualidade por processos mais eficientes e mais econômicos e permitirão manter o setor de revestimentos cerâmicos competitivo.

Bibliografia

1. Amoros, J.L.; Blasco, A.; Enrique, J.E.; Negre, F. Características de polvos cerâmicos para prensado. **Bol. Soc. Esp. Ceram. Vidr.**, 26 (1), 31-37, 1987.
2. Amoros, J.L. Pastas ceramicas para pavimentos de monococción. Influencia de las variables de prensado sobre las propiedades de la pieza en crudo y sobre su comportamiento durante el prensado y la cocción. Valencia: Universidad de Valencia, 1987. Doctoral Dissertation.
3. Escardino, A. Single-fired ceramic wall tile manufacture. **Tile Brick Int.**, 93 (1), 14-19, 1993.
4. Nasseti, C.; Palmonari. Dry fine grinding and granulation vs wet grinding and spray drying in the preparation of a redware mix for fast-fired vitrified tile. **Ceram. Eng. Sci. Proc.**, 14 (1-2), 15-24, 1993
5. Amoros, J.L.; Blasco, A.; Enrique, J.E.; Beltran, V.; Escardino, A. Variables em la compactacion de soportes cerâmicos de pavimento y revestimiento. **Técnica Cerámica**, 105, 792-812, 1982.
6. Amoros, J.L.; Negre, F.; Bagan, V.; Feliu, C. Método de determinación de las características tecnológicas de aglomerados. I métodos de determinación de la fluidez y de la densidad aparente. **Técnica cerámica**, 146, 380-386, 1986.
7. Amoros, J.L.; Blasco, A.; Enrique, J.E.; Escardino, A. Estudio de la compactación de soportes cerâmicos (bizcochos) de pavimento y revestimiento. I. Influencia del tamaño de gránulo de atomizado. **Bol. Soc. Esp. Ceram. Vidr.**, 21 (4-5), 245-250, 1982.
8. Amoros, J.L.; Escardino, A.; Negre, F.; Guillem, J.C. Métodos de determinacion de las características tecnológicas de aglonmerados. II. Método de determinacion de la dureza de gránulos. **Técnica Cerámica**, 147, 414-420, 1986.
9. Lukaszewicz, S.J.; Reed, J.S. Character and corporation response of spray-dried agglomerates. **Am. Ceram. Soc. Bull.**, 57 (9), 798-801, 805, 1978.
10. Dimilia, R.A.; Reed, J.S. Dependence of compaction on the glass-transition temperature of the binder phase. **Am. Cer. Soc. Bull.**, 64(4), 484-488, 1983.
11. Messing, G.L.; Markhoff, C.J.; McCoy, L.G. Characterization of ceramic powder compaction. **Am. Ceram. Soc. Bull.**, 61(8), 857-860, 1982.
12. Amoros, J.L.; Blasco, A.; Beltran, V.; Negre, F.; Arrebola, C. Pastas de gres de monococción. Influencia de las variables del proceso en la calidad dl producto acabado. **Técnica Cerámica**, 120, 1368-1384, 1984.
13. Amoros, J.L.; Bagan, V.; Orts, M.J.; Escardino, A. La operación de prensado en la fabricacion de apvimentos por monococción. I. Influencia de la naturaleza del polvo de prensas sobre las propiedades de las piezas en crudo. **Bol. Soc. Esp. Ceram. Vidr.**, 27 (5), 273-282, 1988.
14. Amoros, J.L.; Moreno, A.; Orts, M.J.; Escardino, A. La operación de prensado en la fabricación de pavimento por monococción. II. Influencia de la naturaleza del polvo de prensas sobre las propiedades de las piezas en cocido. **Bol. Soc. Esp. Ceram. Vidr.**, 29 (3), 151-158, 1990.
15. Amoros, J.L.; Beltran, V.; Blasco, A.; Feliu, C.; Sanchó-Tello, M. Técnicas experimentales del control de la compactación de pavimentos y revestimientos cerâmicos. **Técnica Cerámica**, 116, 1234-1246, 1983.
16. Negre, F.; Jarque, J.C.; Feliu, C.; Enrique, J.E. Estudio de la operación de secado por atomizacion de polvos cerâmicos a escala industrial, su control y automatización. **Técnica Cerámica**, 228, 736-744, 1994.
17. Masters, K. Spray drying handbook. London: Jonh Wiley, 1979.
18. Blasco, A.; Enrique, J.E.; Arrebola, C. Los defloculantes y su acción en las pastas cerâmicas para atomización. **Bol. Soc. Esp. Ceram. Vidr.**, 22 (3), 143-148, 1983.

19. Azara, M. Ahorro energético en el sector azulejero. 2ª ed. Valencia: Generalitat Valenciana, 1990
20. Azara, M.; Blasco, A.; Enrique, J.E. Estudio sobre el ahorro energético en el sector azulejero. **Técnica Cerámica**, 121, 1408-1413, 1984.
21. Blasco, A.; Feliu, C.; Monzo, M.; Enrique, J.E. Measures to save spray dryer energy in wall and floor tile plants. **Interbrick**, 2(4), 30-33, 1986.
22. Nuevas tecnologías para el uso racional de la energía en el sector cerámico: Jornada. Valencia: Institut Valencia de I? **Energia**, 1994.
23. Negre, F.; Jarque, J.C.; Mallol, G.; Saez, M. Determinación en continuo y en tiempo real de humedad del polvo cerámico por atomización. **Técnica Cerámica**, 200, 34-42, 1992.
24. Blasco, A.; Escardino, A.; Busani, G.; Monfort, E.; Amorós, J.L.; Enrique, J.E.; Beltrán, V.; Negre, F. Tratamiento de emisiones gaseosas, efluentes líquidos y residuos sólidos de la industria cerámica. Valencia: AICE- ITC, 1992.
25. Blasco, A.; Gines, F.; Jarque, J.C.; Monfort, E. Adición de fangos reciclados a composiciones de pavimentos y revestimientos cerámicos (I). **Técnica Cerámica**, 195, 470-483, 1991.
26. Blasco, A.; Gines, F.; Jarque, J.C.; Monfort, E. Adición de fangos reciclados a composiciones de pavimentos y revestimientos cerámicos (II). **Técnica Cerámica**. 196, 578-585, 1991.
27. Pugh, R.J.; Bergstrom, M. Surface and colloid chemistry in advanced ceramics processing. New York: Marcel Dekker, 1994. Chap. 6, **Surface chemistry in dry pressing**. 248-254.
28. Bilyukevich, V.L.; Meleshko, V.Y.; Plavnik, G.Z.; Turovskii, L.N. The shape of particles formed during spray-drying of ceramic slips. **Glass Ceram.** 710-712, 1978.
29. Agbarakwe, U.B.; Banda, J.S.; Messer, P.F. Non-uniformities and pore formation. **Mat. Sci. & Eng.**, A109, 9-16, 1989.