

Aspectos Fundamentais Sobre a Extrusão de Massas de Cerâmicas Vermelhas

Manuel J. Ribeiro^{1*}, António A.L. Ferreira¹ e João A. Labrincha²

¹ESTG, Instituto Politécnico de Viana do Castelo, 4900 Viana do Castelo, Portugal

²Departamento de Engenharia Cerâmica e do Vidro (UIMC), Universidade de Aveiro,

3800-193, Aveiro, Portugal

*email: ribeiro@estg.ipvc.pt

Resumo: A extrusão é um processo de conformação plástica, limitada à fabricação de objetos de seção constante, muito utilizada na indústria cerâmica vermelha: conformação de tijolos e tarugos (bastonetes) para prensagem plástica de telhas. Existem vários fatores que afetam o rendimento do processo e a qualidade dos produtos finais, entre eles destacam-se: a composição e a preparação das massas cerâmicas, a plasticidade das massas, os moldes (boquilhas) usados, o tipo de extrusora e a qualidade do vácuo.

Dentre os fatores referidos a plasticidade é uma propriedade de difícil caracterização, uma vez que a maior ou menor plasticidade de uma massa depende de múltiplos aspectos, entre os quais se podem destacar: o teor de umidade da massa, os diferentes tipos de minerais argilosos existentes (a composição da massa) hábito ou forma dos cristais e ainda a própria granulometria das partículas envolvidas. Há ainda o fato da determinação da plasticidade depender frequentemente da habilidade do operador, fornecendo, por isso mesmo, uma avaliação meramente qualitativa. Além disso os valores obtidos para diferentes ensaios não são diretamente comparáveis.

Neste trabalho é feita, em primeiro lugar, uma revisão da influência de alguns parâmetros principais no processo de extrusão, assim como sobre o conceito de plasticidade, de um ponto de vista estritamente cerâmico, procurando-se depois relacioná-la com a extrudibilidade das respectivas massas.

Palavras-chaves: *extrusão, cerâmica vermelha, plasticidade*

1. A Composição e a Preparação das Massas Cerâmicas

A primeira condição para atingir bons resultados na extrusão de produtos cerâmicos é ter uma massa para extrusão que apresente as menores variações possíveis, em termos de^{1,2}:

- a) composição;
- b) grau de moagem;
- c) teor de umidade.

A composição das argilas e conseqüentemente da massa vermelha determina parcialmente a plasticidade de trabalho. De um modo muito genérico poderá afirmar-se que a maioria das massas para extrusão de cerâmicas vermelhas é constituída fundamentalmente por duas argilas, uma muito plástica (frequentemente ilítica ou ilitico-montmorilonítica) e por outra pouco plástica (normalmente

muito siliciosa). A mistura final, habitualmente feita através de um dosador, depende das plasticidades relativas de cada uma das argilas e do grau de plasticidade pretendido para a mistura. Uma das vantagens da utilização de pelo menos duas argilas de diferentes plasticidades é precisamente o fácil ajuste da plasticidade da mistura às condições de processamento (à extrusão).

A estes tipos de argilas vermelhas (principalmente às menos plásticas) estão associadas quantidades significativas de inertes, sendo os mais frequentes grãos de sílica e de calcário (carbonato de cálcio). Os problemas a eles associados, principalmente no caso do calcário, podem surgir apenas após a queima, tais como descontinuidades (fissuras, buracos, etc.), rachaduras provocados pela forte desgaseificação (caso do calcário) e irregularidades na superfície dos produtos extrudados (riscos e inchamentos).

De forma a evitar estes tipos de problema antes da entrada na extrusora, é aconselhável a passagem da massa cerâmica por uma série de moinhos; o primeiro deverá ser de maior abertura (p.ex. moinho de galgas) e depois por um par de laminadores (moinhos de rolos) em que o último deve estar regulado com um afastamento entre rolos de 1,0-1,5 mm, limitando desta forma o tamanho médio dos grãos dos inertes na entrada da extrusora.

Atualmente sabe-se que o *grau de moagem* das massas é um dos fatores que pode influenciar a plasticidade das massas vermelhas. Assim, uma moagem mais fina tem como consequência um aumento da superfície específica das partículas da massa, o que provoca um aumento da plasticidade³.

2. A Plasticidade

Quando se trata de avaliar a adaptação de uma massa plástica a determinado processo de conformação, o termo *trabalhabilidade* é usado frequentemente como sinônimo de *plasticidade*. De fato, em termos práticos, podemos definir dois tipos diferentes de plasticidade: “boa” e “má”. Se a massa se adapta perfeitamente a um processo específico de conformação, define-se a plasticidade como “boa”; por outro lado se a massa ao ser conformada origina defeitos no produto ou demonstra dificuldades na conformação, a plasticidade é considerada como “má”². Esta análise traduz, de certa forma, o conceito prático de plasticidade e que é muitas vezes definida como sendo o *grau de deformação de uma massa até ela entrar em ruptura*³.

A plasticidade também depende de fatores intrínsecos à própria massa, tais como: os diferentes tipos de minerais argilosos existente na massa, a própria granulometria das partículas envolvidas (fatores já referidos anteriormente) e o hábito ou forma dos cristais. As argilas com composições mineralógicas diferentes apresentam comportamentos plásticos diferentes, embora os seus teores de água possam ser iguais. Existe mesmo uma escala de plasticidade em função do tipo de material argiloso³:

Bentonita > Argila plástica > Argila Refratária > Caulim
(ball-clay) (fire-clay)

Se compararmos o comportamento plástico de vários minerais argilosos, a montmorilonita, por exemplo, requer mais água para ser trabalhada do que a caulinita, uma vez que além do filme de água que envolve as partículas, existe outra água que ocupa os espaços intercadas estruturais na montmorilonita. Por outro lado as partículas ou cristais de montmorilonita têm tamanhos e espessuras médias inferiores aos dos cristais de caulinita, apresentando, por isso mesmo, maior superfície específica.

Quanto ao *grau de cristalinidade* e tomando como exemplo a caulinita, pode-se afirmar que uma caulinita mal cristalizada apresenta maior plasticidade do que uma

caulinita bem cristalizada, porque esta última apresenta cristais de dimensão e espessura média superior³.

Existem diversos métodos de medição e caracterização da plasticidade de uma massa argilosa, embora a sua determinação experimental dependa, em alguns casos, da maior ou menor habilidade do operador, sendo a comparação de resultados entre os diferentes ensaios problemática. Entre eles destacam-se neste trabalho, o índice de plasticidade de Atterberg, o índice de plasticidade de Pfefferkorn e as curvas tensão/deformação.

2.1 Índice de Plasticidade de Atterberg

Em geral uma massa mais plástica aceita mais água até fluir (comportamento de uma barbotina). Isto significa que uma argila mais plástica precisa de mais água, para desenvolver a plasticidade, do que outra menos plástica. Este é o fundamento de índice de plasticidade de Atterberg. Quando pequenas quantidades de água são adicionadas, pouco a pouco, a uma massa seca, alcança-se inicialmente um estado em que esta começa a apresentar alguma coesão. Este estado corresponde à quantidade mínima de água requerida para formação de um filme estável envolvendo cada partícula argilosa. Se continuar a ser adicionada mais água, a massa plástica torna-se cada vez mais mole, alcançando-se um estado em que começa a fluir sob ação do seu próprio peso (passa a comportar-se como uma barbotina).

O índice de plasticidade de Atterberg (IPA) é dado por:

$$IPA = L_1 - L_p \quad (1)$$

em que o *limite plástico* (L_p) é o teor de água, expresso em percentagem do peso de massa seca a 110 °C, acima do qual a massa argilosa pode ser enrolada em rolos, com cerca de 3-4 mm de diâmetro e cerca de 15 cm de comprimento, e em que o *limite líquido* (L_1) é o teor de água, expresso em percentagem do peso de massa seca a 110 °C, acima do qual a massa flui como um líquido quando ligeiramente agitada^{2,3}.

2.2 Índice de Plasticidade de Pfefferkorn

O método de Pfefferkorn avalia a plasticidade, de uma massa ou de uma argila, medindo o grau de deformação sofrido por um corpo de prova cilíndrico, sujeito à queda de um punção de uma altura constante e com um peso bem definido (1,192 kg). Para esse efeito fazem-se diversos ensaios sobre amostras da mesma massa com diferentes teores de água.

O coeficiente de plasticidade determinado por este método, corresponde à percentagem de água presente, para a qual o corpo de prova apresenta uma deformação de 30%, em relação à sua dimensão inicial. O grau de deformação do cilindro (h_0/h_1), isto é, a relação entre a altura inicial do cilindro (h_0) e a altura após a deformação (h_1), se for inferior a 2,5 significa que a massa é difícil de trabalhar por estar demasiado seca, por outro lado, se a relação for su-

perior a 4 a massa está muito pastosa. A percentagem de água correspondente a uma relação de deformação de 3,3 (média entre 2,5 e 4) dá-nos o índice de plasticidade de Pfefferkorn. Quanto maior for este índice maior será a plasticidade de uma massa^{2,3}.

2.3 Curvas Tensão/Deformação

Neste método um corpo de prova cilíndrico previamente moldado (com 3,3 cm de diâmetro e 4,3 cm de altura) é sujeito a um teste de compressão, a velocidade constante, e até um máximo de deformação de cerca de 70% (ou até se atingir o limite da célula de carga)⁴. Teoricamente as curvas tensão/deformação de uma massa cerâmica argilosa são do tipo apresentado na Fig. 1. Até o ponto A (denominado por *ponto de fluência*) o material mostra um comportamento elástico. A partir desse ponto, o aumento contínuo do movimento de compressão dá origem a um comportamento plástico (*zona plástica* do material) em que a deformação do corpo de prova ocorre para valores de tensão aproximadamente constantes (zonas plásticas mais extensas indicam massas mais plásticas). Finalmente, quando se atinge o ponto B (*ponto de máxima deformação*) a ruptura do corpo de prova tem início e a tensão cai rapidamente. No entanto, na maioria dos casos, após atingido este limite regista-se um anormal crescimento da tensão, originada pelo aumento da área das bases de suporte (provocado pela fissura lateral do corpo de prova)^{4,5}.

Também o *teor de umidade* da mistura de argilas interfere na plasticidade, assim, nas argilas magras, os valores de máxima plasticidade que se conseguem obter, pela presença de água, são menores do que os obtidos nas argilas mais plásticas (denominadas também por *argilas gordas*). Este fato deve-se à menor capacidade de fixação de água pela areia, que faz parte da composição e do maior tamanho de partículas das argilas magras.

Por outro lado, dado que as condições de fluxo do material argiloso através da extrusora dependem basicamente

da sua plasticidade, compreende-se facilmente a necessidade de manter o mais constante possível a composição da massa argilosa, para que o valor da plasticidade se mantenha constante¹.

A Fig. 2 apresenta curvas de tensão/deformação de uma massa de cerâmica vermelha, obtida por mistura de duas argilas (uma mais plástica e uma mais magra) onde se fez variar o teor de umidade entre 18,5-21,4%. Como se pode observar, variações de cerca de 1% no teor de umidade dão origem a comportamentos plásticos muito diferentes (quantidades de umidade inferiores dão origem a menores zonas plásticas) por outro lado, menores teores de água provocam um aumento do ponto de fluência (aumento da tensão mínima necessária para existir deformação plástica).

3. A Extrusão

A extrusão é usada para o processamento de produtos cerâmicos há mais de 150 anos, tendo a tecnologia sofrido pequenas alterações a partir da década de 50 do século passado. No entanto este processo de conformação industrial tem se revelado essencial nas indústrias cerâmicas de barro vermelho (telhas e tijolos). É uma técnica de produção associada a uma elevada produtividade, principalmente para produtos de seção transversal constante (tijolo) e muito importante em termos de homogeneização e retirada do ar da massa^{6,7}.

Como referido anteriormente, a plasticidade das massas interfere na qualidade final dos produtos extrudados. Para isso deve-se, sempre que possível, extrudar as massas na zona de máxima plasticidade evitando situações desvantajosas em termos de extrusão.

Nas massas com elevados teores de umidade, perto do limite líquido (L_p), facilmente ocorre o deslizamento entre partículas, pelo que a massa argilosa tenderá a agarrar-se às hélices da extrusora e fluir pelo centro da fieira com maior velocidade. Algo semelhante ocorrerá se diminuirmos o teor de umidade e trabalharmos abaixo da zona de

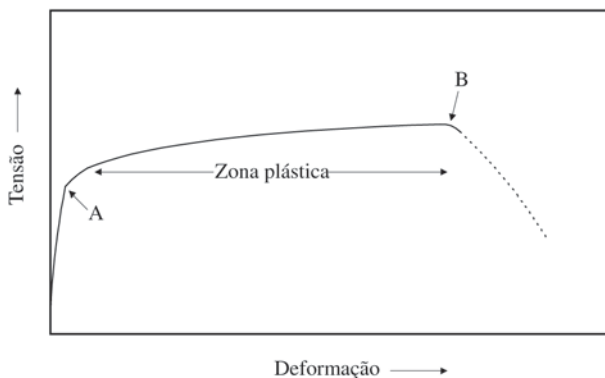


Figura 1. Curva tensão/deformação teórica de uma massa cerâmica plástica.

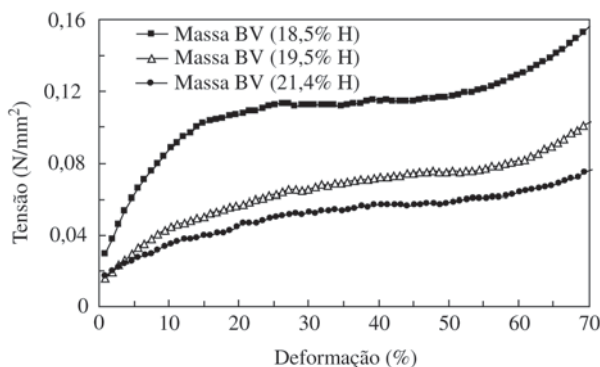


Figura 2. Curvas tensão/deformação de uma massa vermelha em função do teor de umidade

máxima plasticidade. O atrito nas paredes da extrusora aumenta e a massa argilosa tenderá também a fluir com maior velocidade no centro, enquanto que as forças de compressão desenvolvidas no interior da extrusora e o desgaste dos diversos componentes metálicos aumentam^{1,8}.

As forças de compressão no interior de uma extrusora apresentam dois picos em zonas diferentes (Fig. 3). O primeiro, de baixa intensidade, surge logo no fim da primeira hélice junto ao cortador interno na entrada da câmara de vácuo, onde surge a primeira restrição à passagem da massa. O outro pico, com início na zona de pré-compressão e máximo à entrada da sobre boca, tem maior intensidade e define a zona onde se desenvolvem as forças de compressão do material e onde se desenvolvem desgastes elevados dos componentes da extrusora.

Quanto menos plástica for a massa argilosa, maior sensibilidade terá a possíveis variações de umidade. Uma variação de 1, 2 ou 3% de umidade numa massa plástica poderá não se notar em termos de extrusão, mas numa massa magra provocará uma alteração total da plasticidade e das condições de fluxo através da boquilha, devido à menor força de coesão entre as partículas⁸.

Dado que as condições de fluxo do material argiloso através da extrusora dependem basicamente da sua

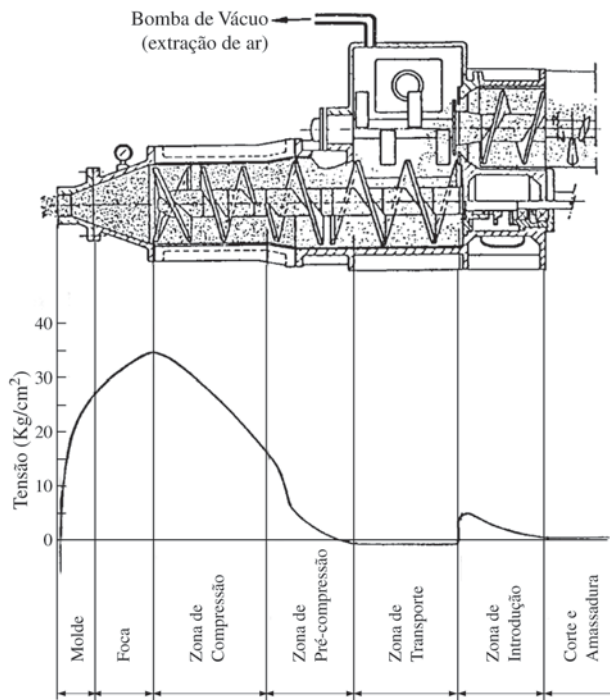


Figura 3. Corte de uma extrusora de dupla hélice, com o respectivo gráfico de pressões exercidas no seu interior e a identificação das diferentes zonas.

plasticidade, compreende-se facilmente a necessidade de manter o mais constante possível as características da massa (composição, grau de moagem, teor de umidade, etc.) para que o valor da plasticidade se mantenha. Nesse sentido pode-se observar como diferem as pressões de extrusão e consequentemente os os gastos com energia elétrica no motor, quando se extruda duas massas com plasticidades muito diferentes (Fig. 4.)

De um modo geral, pode-se afirmar que argilas gordas com elevada plasticidade, deslizam melhor sobre a superfície da hélice, traduzindo-se numa maior pressão e, consequentemente, numa melhor homogeneização e

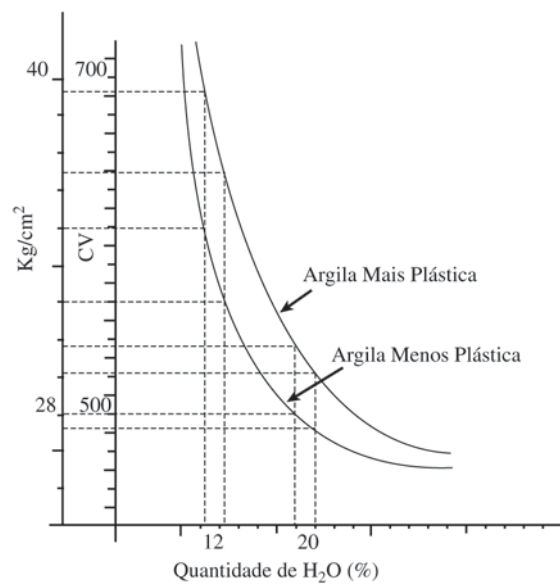


Figura 4. Variação da pressão de extrusão e da potência exercida pelo motor em função do teor de umidade, para uma massa mais plástica e para outra menos plástica.

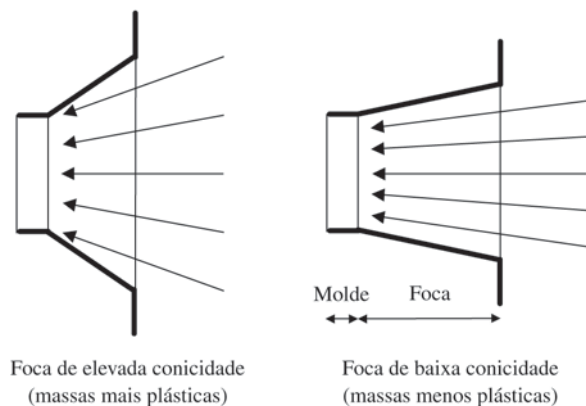


Figura 5. Representação esquemática de dois tipos diferentes de feiras (conjunto composto pela foca e pelo molde).

compactação da massa argilosa na zona de saída (boqui-lha). Por outro lado, argilas magras, de baixa plasticidade, grão áspero e elevado atrito, devem ser utilizadas no fabri-co de peças com grande seção de saída, o que pressupõe menor travamento no *molde* e menor pressão de extrusão.

3.1 A Fieira (O Conjunto sobre Boca e Molde)

O transporte, a compactação e a extrusão das massas cerâmicas são ações desenvolvidas pelas hélices da extrusora. A economia energética, a regularidade do fluxo e a pressão adequada de extrusão são fatores que estão dependentes do tipo de fieira (diâmetro na saída, conicidade e comprimento da *foca*) e da plasticidade da massa⁸.

A *fieira*, conjunto composto pela *foca* e pelo *molde* (Fig. 3) deve cumprir com as seguintes funções:

- eliminar as variações ou diferenças de fluxo argilo-so que não se conseguiram corrigir pela ação das hélices;
- diminuir as laminações que se formam devido ao ordenamento das partículas argilosas;
- transformar o fluxo helicoidal de argila num fluxo retilíneo paralelo ao eixo da extrusora;
- compensar as diferenças de transporte de massa entre a periferia e o eixo da hélice;
- igualar as velocidades ao longo da seção, para que a entrada de massa no *molde* se faça de modo comple-tamente uniforme (evitando, deste modo, deforma-ções na hélice e/ou descentragem do molde, em consequência das diferenças de pressão no fluxo argiloso)⁸.

Quando se trabalha com argilas de baixa plasticidade (massas magras) deverão utilizar-se fieiras com *focas* mais compridas e menos cônicas. Neste tipo de massas, o atrito sobre a superfície da *foca* é muito maior que o atrito entre as camadas da massa, pelo que esta flui com mais facilidade pelo centro, podendo originar tensões nas peças à saída do *molde*. O atrito da massa sobre a superfície da *foca* aumenta com a conicidade desta, pelo que para igualar as velocidades de saída torna-se necessário utilizar *focas* de baixa conicidade, ou seja, mais compridas (Fig. 5)¹.

No entanto, ao utilizar-se *focas* mais compridas, está-se a reduzir o atrito específico sobre a superfície da *foca*, mas ao mesmo tempo a aumentar a superfície de atrito disponível e consequentemente a resistência oferecida ao escoamento (um aumento de 10 cm no comprimento da *foca*, pode representar uma diminuição de 10 a 15% na quantidade de massa extrudida, para a mesma pressão de trabalho).

De um modo geral, pode-se afirmar que uma argila magra necessitará de uma *foca* mais comprida que uma argila gorda, uma vez que nesta última a diminuição de velocidade de extrusão, provocada pelo atrito sobre a superfície da *foca*, não é tão elevada. Finalmente, para o mesmo comprimento e conicidade na *foca*, quanto maior

se tornar o diâmetro do *molde*, maior será a sua velocidade de saída e menor será a compactação da massa (menor atrito específico)¹.

4. Defeitos na Extrusão de Tijolos

4.1 Deformações e Trincas

As diferenças de velocidade de saída da argila através do molde, traduzem-se em diferenças de pressão de extrusão e, conseqüentemente, em diferenças de compactação da massa. A uma maior velocidade de saída corresponde uma maior pressão e portanto uma maior compactação do produto extrudido.

Nas zonas de menor velocidade de saída de massa, as partículas argilosas ficam submetidas à tração e, conseqüentemente, a distância entre partículas será maior, pelo que, durante a secagem essas zonas contraem mais do que as que foram extrudadas a maior pressão (maior velocidade). Estas diferenças de contração aumentam as forças de tração, que se criam nas zonas da peça extrudadas a menor pressão, originando deformações e roturas de secagem¹.

Um dos sistemas mais usados no equilíbrio dos mol-des baseia-se nos princípios expostos. As diferenças de velocidade na seção de saída do molde são detectadas pela determinação das eventuais diferenças de contração, apre-sentadas em diferentes zonas das peças. Para efetuar este controle, marca-se na superfície de um tijolo, à saída do molde, uma distância fixa através de um marcador de dis-tância preciso (p.ex. craveira) ver Fig. 6. Coloca-se, a se-guir, a peça para secar, procurando assegurar que a seca-gem se efetue da forma mais uniforme possível e após a secagem mede-se a contração nas diferentes zonas do tijo-lo, previamente marcadas. Os resultados obtidos com o tijolo da Fig. 6 evidenciam que o molde está desequilibra-do, com uma velocidade de saída crescente do ponto 1 para o ponto 4. As tensões de tração a que foram submeti-

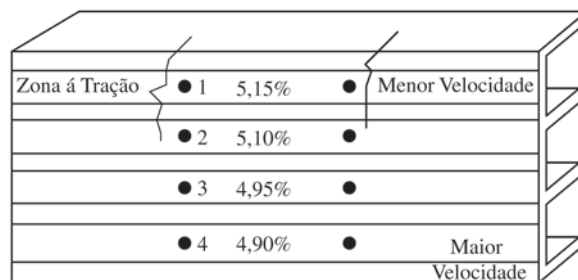


Figura 6. Representação esquemática do resultado do controle realizado num tijolo extrudado, em que o *molde* se encontra desequilibrado.



Figura 7. Fissurações provocada por laminações numa secção longitudinal do produto extrudado (à esquerda) e numa secção transversal (à direita).

das as zonas 1 e 2 determinam a ocorrência de gretas e fissuras durante a secagem. Para as evitar, neste caso, seria necessário aumentar a velocidade de saída nas zonas 1 e 2, ou seja reequilibrar o molde de forma a igualar as velocidades de saída do tijolo¹.

4.2 As Laminações

As laminações são diferentes estruturas constituídas nos produtos extrudados pela tendência natural das partículas argilosas, de hábito lamelar, se orientarem paralelamente às paredes da extrusora ou às pás das hélices.

Tais heterogeneidades podem originar nas fases posteriores de processamento diversos defeitos tais como fissuras e mesmo quebras do material devidas a retrações diferenciadas em diferentes partes das peças conformadas. A Fig. 7 ilustra diferentes tipos de laminações que ocorrem no interior de corpos cerâmicos extrudados⁹. À esquerda são visíveis as laminações provocadas pelo deslizar da massa no interior de um tubo, enquanto que à direita são bem evidentes as orientações provocadas pela hélice propulsora.

Este tipo de imagens são obtidas por congelamento do corpo acabado de ser extrudado, processo que permite salientar a ligação entre as diferentes camadas compactadas de massa argilosa, por expansão da água congelada. Esta técnica é meramente informativa, uma vez que o fato do material fissurar sob condições de congelamento, não implica que venha a fissurar durante a secagem e/ou queima.

Consegue-se evitar a formação de fissuras por laminações melhorando o comportamento do material durante a

secagem, redesenhando o molde ou melhorando a extrudabilidade da massa¹.

5. Comentários Finais

Para a obtenção de elevados rendimentos e bons níveis de qualidade na extrusão de produtos cerâmicos é necessário ficar atento à preparação da massa, escolhendo e controlando adequadamente as matérias primas e controlando rigorosamente o teor de umidade, com o intuito de se obter a plasticidade mais adequada. É ainda necessário adequar a velocidade de extrusão (que condiciona a pressão de extrusão) e o molde ao tipo de material extrudado. O revestimento das paredes internas da extrusora deverá ser rugoso e a hélice bem polida, para que o avanço da massa na extrusora ocorra corretamente⁹.

O cumprimento de tais premissas permitirá bons índices de rendimento e de qualidade no processamento por extrusão, assim como uma utilização mais rentável do equipamento (menor desgaste, menor número de operações de manutenção etc).

Referências

1. Cordeiro, P. "Moldes de feira, fatores de funcionamento acerto e afinação-Parte I", *Cerâmicas*, n. 17, p. 81-84, Set.-Nov., 1993.
2. Carty, W.M.; Lee, C. "The Characterization of Plasticity", *Science of Whitewares*, Published by the American Ceramic Society, p. 89-101, USA, 1996.
3. Gomes, C.F. "Argilas - O que são e para que servem", Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 1988.
4. Ribeiro, M.J.; Ferreira, J.M.; Labrincha, J.A. "Plastic Behaviour of Different Ceramic Pastes Processed by Extrusion", (em publicação).
5. Norton, F.H. "Fine Ceramics: Technology and Applications", Mc Graw-Hill, New York, 1988.
6. Reed, J.S.; Martin, T.J.; Carlson, W.G. "Mechanics of Extrusion", *Science of Whitewares*, Published by the American Ceramic Society, p. 157-168, USA, 1996.
7. Blackburn, S.; Lawson, T.A. "Mullite-Alumina Composites by Extrusion", *J. Am. Ceram. Soc.*, n. 75, v. 4, p. 953-57, 1992.
8. Facincani, E. "Tecnología Cerámica - Los Ladrillos", Faenza Editrice Iberica S.L., Castellón, 1993.
9. Onada, G.Y.; Hench, L.L. "Ceramic Processing Before Firing", John Wiley & Sons, New York, 1978.