

## PROCESSOS DE CONFORMAÇÃO PLÁSTICA DE MATERIAIS CERÂMICOS

### ÍNDICE

<b>1.Introdução .....</b>	<b>2</b>
<b>2.Extrusão.....</b>	<b>3</b>
VARIÁVEIS DO EQUIPAMENTO E MATERIAL NA EXTRUSÃO .....	4
DEFEITOS .....	9
<b>3.Injeção .....</b>	<b>11</b>
VARIÁVEIS DE MATERIAL E EQUIPAMENTO .....	12
COMPORTAMENTO REOLÓGICO .....	14
DEFEITOS .....	15
<b>4.Outros processos de conformação plástica .....</b>	<b>16</b>
TORNEAMENTO .....	16
ESTAMPAGEM.....	17
CONCRETOS .....	17
<b>5.Bibliografia .....</b>	<b>18</b>
<b>6.Questões .....</b>	<b>18</b>

## 1. Introdução

Todos os produtos cerâmicos disponíveis exigem determinados processos de conformação, e aqui se encontram as principais diferenças entre os metais e os materiais cerâmicos. A maioria das operações metalúrgicas de conformação depende da fundição ou de um trabalho mecânico. Os materiais cerâmicos, ao contrário, devido ao elevado ponto de fusão e comportamento mecânico frágil, são produzidos a partir de matérias-primas em forma de pó, cuja consistência varia conforme a quantidade de água (ou outro líquido) adicionada. Quando o volume de água é ligeiramente superior àquele necessário para preencher os poros entre as partículas do pó, a massa pode adquirir uma consistência plástica, ou seja, deformam-se de modo irreversível quando submetidas a tensão de cisalhamento sem sofrer ruptura, mantendo a nova forma quando a tensão é retirada.

As matérias-primas cerâmicas com estruturas em camadas (principalmente argilas) são adequadas para processos de conformação plástica, pois fornecem uma pasta com baixa resistência inicial ao cisalhamento devido, principalmente, à existência de certa quantidade de matéria orgânica em decomposição que, em presença de água, atua como um plastificante natural. Matérias primas não argilosas necessitam da adição de compostos plastificantes para a obtenção de massas plásticas.

As características de plasticidade das argilas deve-se, além da presença de matéria orgânica, a outros dois fatores: as pequenas dimensões das partículas (coloidais) e a forma de placas dos argilo-minerais. A forma de placas aumenta a força coesiva, devido à película plana formada entre elas, enquanto o movimento de cisalhamento provocado no processo provoca a orientação das partículas na direção do cisalhamento.

A adição de água em uma massa composta apenas por sólidos tem início pelo preenchimento do espaço ocupado pelo ar nos poros. Uma vez preenchido todo este volume, um filme passa a ser formado entre as partículas nos seus pontos de contato, provocando um afastamento entre elas. Apenas a partir deste momento o sistema passa a apresentar alguma plasticidade. Se o volume total dos poros for diminuído, por um melhor empacotamento ou pela aplicação de pressão, será necessária uma menor quantidade de água para se iniciar o comportamento plástico.

As propriedades de plasticidade em um sistema de partículas são resultantes da presença de uma fase líquida entre as partículas. Essa fase líquida permite a deformação, ou seja, o deslizamento das partículas, umas sobre as outras, com o sistema sendo mantido coeso pelas forças de capilaridade.

Devido ao fato de se desenvolver uma orientação preferencial, é de se esperar que ocorra um comportamento anisotrópico, em relação à contração na secagem e a várias outras propriedades.

Uma comparação das características dos principais processos de conformação plástica (extrusão e injeção) e de outros processos relevantes em materiais cerâmicos pode ser encontrada na Tabela 1.

TABELA 1: Características de Métodos de Processamento Cerâmico.

Técnica	Prensagem a seco	Prensagem isostática	Extrusão	Moldagem por injeção	Colagem de barbotina	Colagem de folhas
Material de partida	Grânulos	Grânulos	Pasta	Grânulos/Pasta	Barbotina	Barbotina
Teor de umidade (m%)	0 – 5%	0 – 5%	18 – 25%	-	25 – 50%	25 – 50%
Formatos	Planos	Complexos	Simples	Complexos	Complexos	Planos
Automação	Sim	Batelada	Contínuo	Contínuo	Batelada	Contínuo
Orientação de partículas	Sim	Não	Sim	Sim	Sim	Sim

[Lee, 1994:30]

A Tabela 2 apresenta uma comparação apenas entre os dois principais processos de conformação plástica.

TABELA 2: Comparação Entre Processos de Conformação Plástica

Processo	Molde	Características	Produtos
Extrusão	Matriz metálica, seção transversal constante	Produção em massa, tamanhos grandes/pequenos	Refratários, eletrônicos, cilindros, tubos, produtos celulares
Injeção	Matriz metálica	Sob aquecimento, forma complexa, precisão dimensional	Componentes estruturais avançados, bicos atomizadores

[Reed, 1995:399]

## 2. Extrusão

Extrusão é um processo de conformação plástica baseado no escoamento de um material plástico coeso através do orifício de um molde rígido devido à aplicação de uma pressão. Um extrudado linear com seção transversal constante é formado e então cortado no comprimento adequado à forma do produto. A plasticidade é dada pelo uso de argilas plásticas, ligantes orgânicos poliméricos ou uma mistura de ambos. É uma técnica de conformação com alta produtividade, utilizada para a produção em massa de produtos de diversos tamanhos. O processo pode ser utilizado em cerâmicas à base de óxidos (como  $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$ , etc.) ou não (como nitretos ou carbetos) e em cerâmicas técnicas ou tradicionais.

Dentre os produtos que são produzidos por extrusão destacam-se:

- Blocos de construção civil;

- Tubos de cerâmica vermelha (manilhas);
- Peças refratárias:
  - tubos para proteção de termopares
  - tubos para fornos
  - tubos para trocadores de calor
  - mobília de forno;
- Isoladores elétricos de porcelana;
- Tubos cerâmicos translúcidos para lâmpadas;

entre outros. Novas aplicações surgem com o tempo, sendo exigida apenas uma constância na secção transversal da peça a ser produzida.

### Variáveis do Equipamento e Material na Extrusão

A mistura plástica para extrusão é, normalmente, preparada pela mistura direta das matérias primas e aditivos em um misturador de alto poder cisalhante. Um ligante, normalmente na forma de pó, é adicionado diretamente ao material cerâmico ao invés de ser dissolvido no líquido formando uma solução viscosa. A fim de obter um material de maior homogeneidade, a primeira mistura pode ser feita na forma de uma barbotina. A Figura 1 mostra como o estudo do torque ao longo do tempo de mistura pode ser usado para avaliar o efeito dos procedimentos de mistura e da adição dos aditivos à massa, assim como para efeito de controle do processo.

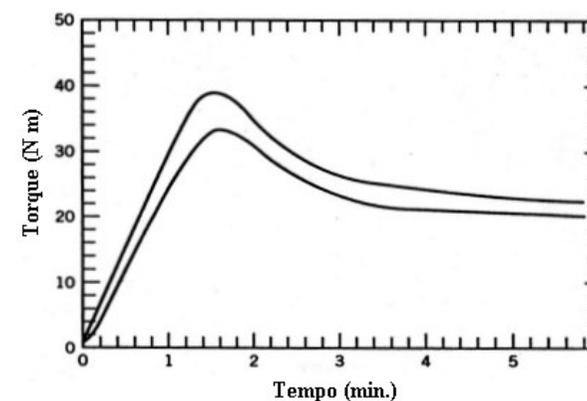


FIGURA 1: Variação do torque com o tempo na mistura direta de material a ser extrudado, pré-umedecido, contendo metilcelulose.

A homogeneização prossegue na câmara de mistura enquanto uma rosca contínua promove a dispersão e mistura da massa, forçando o material para dentro de uma câmara de vácuo, onde ocorre a desaeração (responsável por triturar a massa plástica). O material triturado, com uma menor seção transversal, é mais desaerado sem que ocorra a secagem da superfície. Sua mistura prossegue até a zona de alimentação

onde existem duas roscas gêmeas (ou uma rosca simples) como pode ser visto na Figura 2. A existência de rosca dupla, no entanto, oferece uma maior homogeneidade.

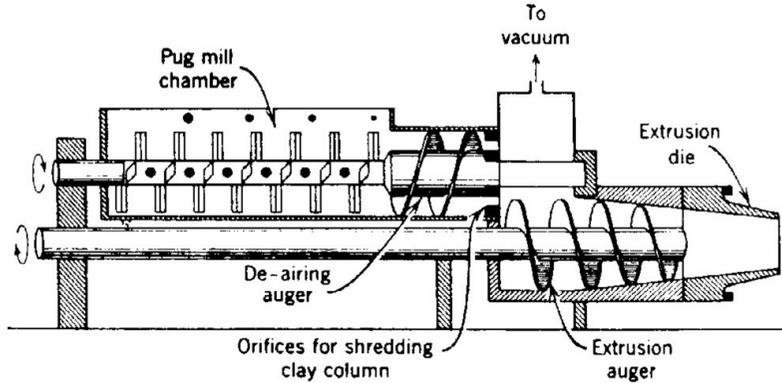


FIGURA 2: Visão esquemática de uma extrusora, mostrando as câmaras de mistura e vácuo, além do bocal de extrusão.

[Reed, 1995:452]

O teor de líquido varia durante todo o processamento, podendo ser encontrada uma tendência de ser diminuído durante todo o processo após sua adição. Esses passos podem ser vistos na Figura 3.

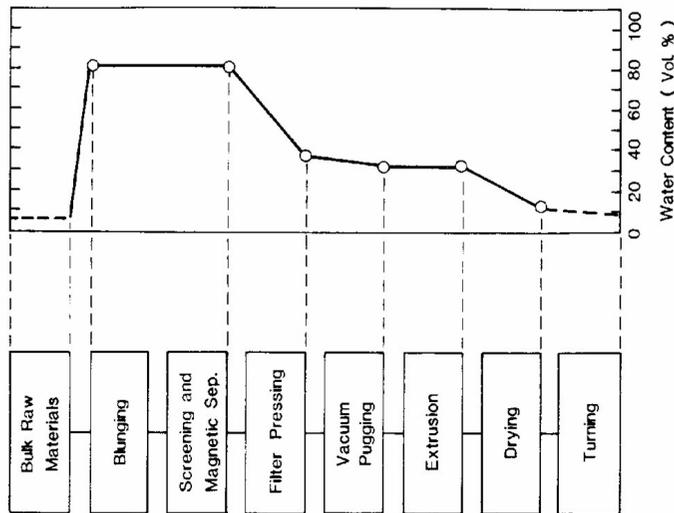


FIGURA 3: Variação do teor de umidade nas etapas de processamento.

[Reed, 1995:453]

Extrusoras podem ter seu acionamento dado por pistão, levando a uma não continuidade do processo, e conseqüente baixa produtividade. Devido a descontinuidade do processo, a alimentação do sistema se dá por blocos de massa deaerada. As pressões impostas a massa nesse processo costumam ser mais elevadas.

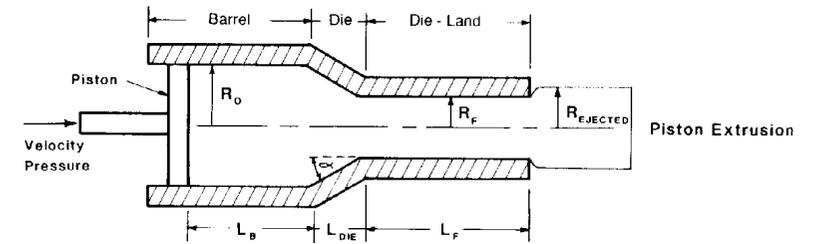


FIGURA 4: Extrusora de Pistão.

O processo em extrusoras de rosca tem alimentação por blocos de massa plástica, similar ao processo por pistão, porém apresentando pressões menores. Sua vantagem é a alta produtividade devido ao processamento contínuo.

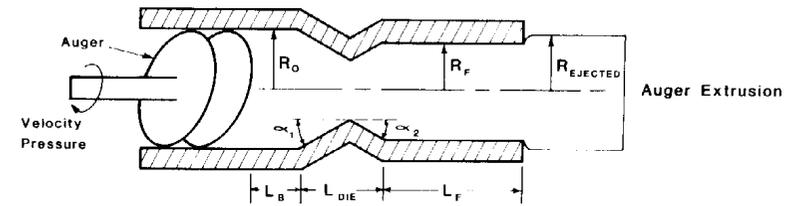


FIGURA 5: Extrusora por Rosca

As zonas de pressão no extrudado são mostradas na Figura 6. Se a princípio ocorre a densificação da massa, o extrudado só se torna contínuo na região final da rosca (“metering region”). Os gradientes de pressão e velocidade são redistribuídos ao deixar a rosca e entrar na área de acabamento.

A temperatura do processo altera a adesão da massa às paredes do molde e sua resistência ao fluxo. O número de passos da rosca, assim como sua inclinação, também são fatores a serem considerados.

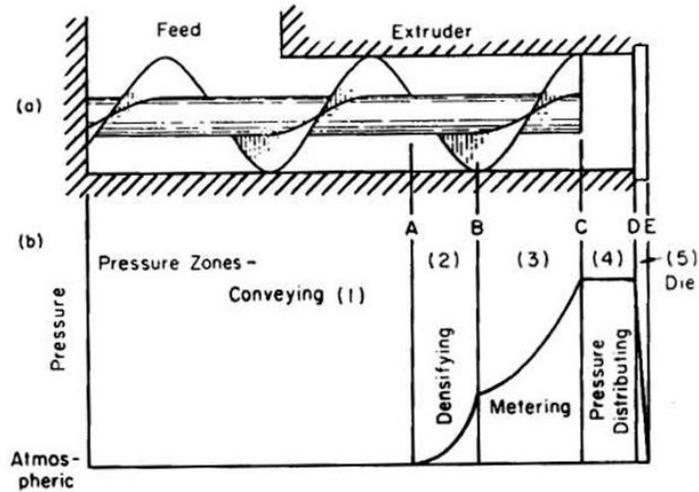


FIGURA 6: Zonas de Pressão na Extrusão por Rosca.

Uma maior pressão é desenvolvida pelo sistema ao se selecionar uma extrusora de rosca dupla, e não a simples, oferecendo um deslocamento positivo do material como visto na Figura 7 em dois tipos de extrusoras com rosca dupla. Na extrusora de rosca simples, o material é empurrado para a frente, mas não durante todo o tempo, permanecendo por algum tempo em algumas regiões da rosca.

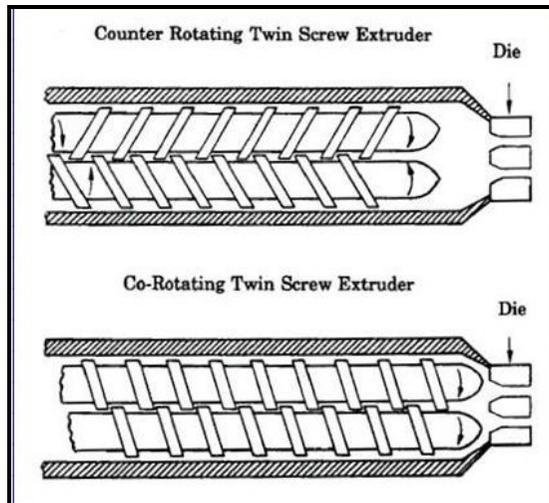


FIGURA 7: Extrusoras de Dupla Rosca.

Na extrusão por rosca simples, o material próximo ao centro se move no sentido de preencher a cavidade formada diante do eixo da rosca. A velocidade axial do material entregue pela rosca é mínima próximo ao eixo central e próximo às paredes, e máxima próximo a região das hélices da rosca. A Figura 8 mostra o rearranjo da velocidade à saída da rosca, bem como o perfil de velocidade do material durante o escoamento. Esse perfil se altera à medida que o material flui através da zona de acabamento, ocorrendo uma aceleração do material localizado mais ao centro devido à redução da seção transversal do extrudado, bem como alterações na sua geometria.

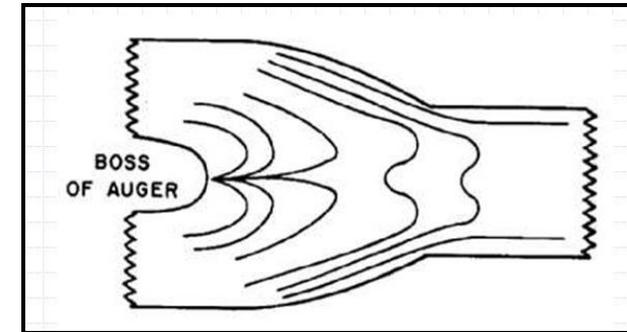


FIGURA 8: Perfil de velocidade em extrusora de rosca simples.

As composições típicas para alguns sistemas normalmente extrudados podem ser encontradas na Tabela 4. Em sistemas onde não são encontradas argilas, 20% em volume da massa deve ser constituído de partículas coloidais e ligantes.

TABELA 4: Composição típica de uma massa para extrusão.

SiC	%	Alumina	%	Porcelana Elétrica	%
SiC	50	Alumina	46	Pó de Quartzo	16
Hidroxietil Celulose <sup>a</sup>	6	Argila		Feldspato	16
Água	42	Metil Celulose <sup>a</sup>	2	Caulim	16
Polietileno Glicol <sup>b</sup>	2	Água	48	Argila	16
				Água	36
				CaCO <sub>3</sub> <sup>c</sup>	<1

<sup>a</sup> Grau de Viscosidade 4400

<sup>b</sup> 20.000 MW

<sup>c</sup> Coagulante

Os ligantes, utilizados como plastificantes, são de média a alta viscosidade. Apesar da fase líquida ser normalmente água, podemos encontrar cera líquida, óleos derivados de petróleo, etileno glicol entre outros em sistemas de extrusão não aquosos.

Um lubrificante é utilizado para diminuir a pressão devido ao contato com as paredes, rosca e hélices, e melhorar a qualidade da superfície.

### ***Defeitos***

O extrudado deve apresentar resistência adequada para suportar o manuseio sem romper-se ou deformar-se. Poros grandes, trincas e laminações são os principais defeitos a serem controlados, podendo manifestar-se nas seguintes situações:

1. *Resistência ou rigidez insuficientes.* A coesão do extrudado deve ser suficiente para resistir a deformação durante a manipulação. Essa coesão é aumentada pelo aumento de partículas coloidais e ligantes de alto peso molecular, coagulando o corpo e reduzindo o teor de líquido. Pode-se ainda usar um ligante que gelifique durante a extrusão.
2. *Trincas e laminações.* Retração diferencial produz tensões internas que são a principal causa para laminações e trincas. A forma da trinca próxima a uma heterogeneidade (grânulo ou partícula anormalmente grande) depende da forma desta e sua retração em relação ao do corpo em geral. A causa mais comum para trincas na forma de uma pegada de ave (*Crow Foot Crack* - Figura 9) é uma pequena inclusão de maior dureza e baixa retração de secagem. A maior retração do material vizinho à inclusão cria uma tensão circular, gerando trincas radiais.

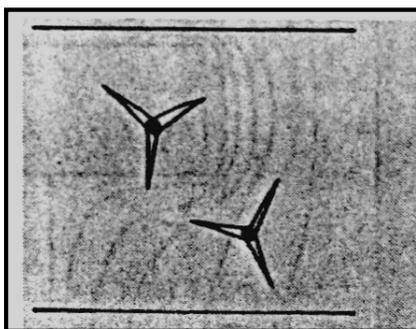


FIGURA 9: Trinca em forma de pegada de ave.

Inclusões podem ser aglomerados de matéria prima que não foram molhados durante a homogeneização. Com isso, temos que o ângulo de entrada no molde deve ser baixo, garantindo que retenção de massa em certas regiões, as quais podem se tornar em um compacto que, ao ser liberado posteriormente no fluxo de extrusão transforma-se em um defeito. O resultado dessas inclusões pode ser visto na Figura 10, onde a ilustração (a) apresenta uma inclusão de baixa retração de secagem e a (b) uma inclusão que sofre grande retração de secagem.

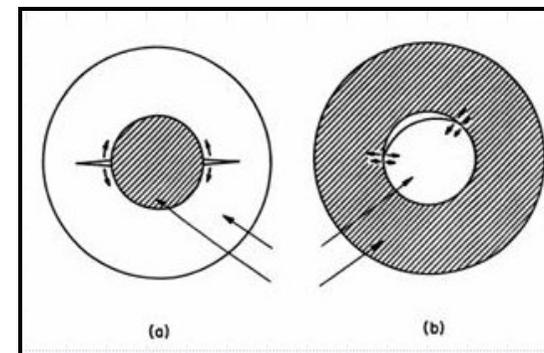


FIGURA 10: Trincas Devido a Inclusões com Diferente Retração

3. *Relevo na superfície do extrudado (crateras e bolhas).* Se o ar não for completamente eliminado do extrudado, durante a ejeção ele pode migrar por capilares que se unem formando um poro maior e uma cratera, ou bolha, na superfície do extrudado. O defeito é visível a olho nu. Para ser evitado a extrusora deve ser bem vedada, impedindo a infiltração de ar na câmara de vácuo e o material deve ser triturado para diminuir a distância de evacuação.
4. *Laminações periódicas de superfície.* Fricção com as paredes do molde e o inchamento extrudado (*springback*) podem causar a laminação periódica da superfície (Figura 11). Apresenta-se quando o molde está com pouco lubrificante e tem alta pressão de extrusão. O aumento da porção de líquido, a coagulação da massa e o aumento da velocidade de extrusão, podem eliminar este defeito.

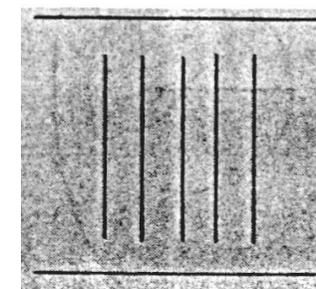


FIGURA 11: Laminação periódica da superfície

5. *Encurvamento do extrudado.* O molde é, usualmente, centrado com o sistema da rosca, levando assim a simetria na aplicação da pressão. No caso de moldes assimétricos deve-se garantir um espaço entre o fim da rosca e início do molde.

Quando se extrudam peças ocas, esse fator deve ser compensado impedindo assim o encurvamento do extrudado.

6. *Laminação por fluxos descontínuos.* O material ao deixar a rosca não possui espaço suficiente para preencher o espaço deixado pela rosca. Isso leva a uma trinca interna com o formato característico de um “S”. A inexistência de ar é essencial para evitar este defeito, uma vez que sua presença pode ser responsável pela separação do material onde existe a fraca interface. Esta fraca interface se deve ao fechamento incompleto da trinca deixada pela rosca.
7. *Acabamento de superfície pobre.* Um filme de deslizamento insuficiente pode resultar em um corpo com superfície rugosa devido ao atrito com as paredes do molde. Pode ser resolvido pelo aumento no volume de colóides, líquido ou lubrificante. O polimento da superfície do molde também pode melhorar a qualidade da superfície do extrudado.
8. *Gradientes de rigidez no extrudado.* A migração de líquido pela coluna durante a extrusão é conhecida como sangramento. Este é reduzido pela redução da permeabilidade do corpo e materiais de composição uniforme.
9. *Ruptura durante o corte.* Ocasionalmente por uma ferramenta de corte mal lubrificada que leva ao arraste devido à fricção com a superfície da ferramenta. A ação de corte deve ser rápida e o extrudado deve ter coesão e elasticidade suficiente para suportar o corte.
10. *Curvamento por secagem.* Distorção dimensional devido às condições de secagem.

### 3. Injeção

Este processamento, originalmente criado para materiais termoplásticos, foi adaptado para o processamento cerâmico. Uma carga de materiais inorgânicos (frequentemente óxidos) é misturada à carga de polímeros a ser injetada. O polímero da mistura é responsável pelo fluxo viscoso para o interior de uma cavidade (molde) com a geometria desejada, além da conformação e resistência ao manuseio. A redução da temperatura solidifica o material no interior do molde. Posteriormente o ligante polimérico (conhecido como veículo) é removido termicamente em uma fase pré-sinterização. Esse processo é usado pela indústria para peças cerâmicas pequenas, de geometria complexa e alta precisão dimensional.

### Variáveis de Material e Equipamento

Os passos envolvidos na injeção de pós cerâmicos são mostrados na Figura 12.

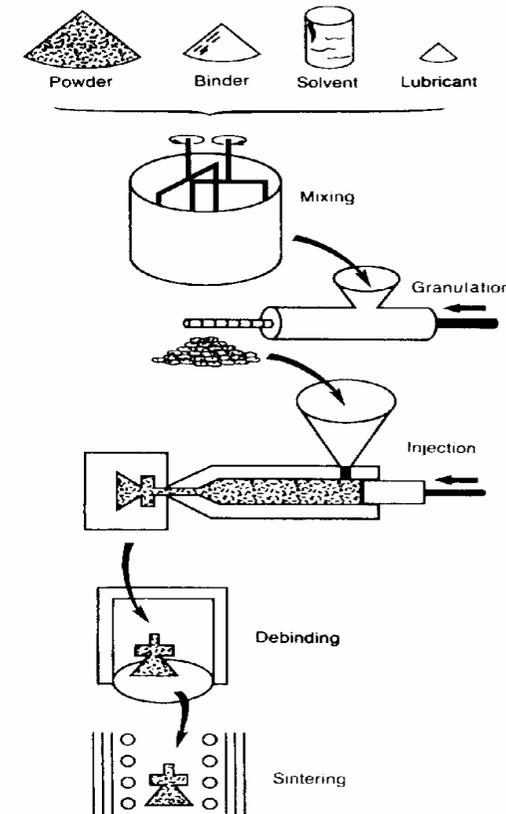


FIGURA 12: Fluxograma do processo de injeção: os componentes (pó, ligante, solvente e lubrificante) são misturados e em seguida granulados em uma extrusora; os grânulos alimentam a injetora que, com aplicação de calor e pressão, preenchem o molde; com o resfriamento a massa solidifica dentro do molde permitindo a desmoldagem, seguida pela eliminação do ligante (debinding) e posterior sinterização.

Os componentes de uma formulação para injeção são: o pó cerâmico, o ligante polimérico, solventes/plastificantes e um lubrificante. O objetivo da mistura é a dispersão dos aglomerados de pó, revestimento das partículas pelo sistema orgânico e reduzir a escala das heterogeneidades presentes na mistura.

A mistura é, frequentemente, resfriada e misturada ao material reciclado dos canais de injeção. Uma vez que as peças são pequenas, muitas vezes o material a ser reciclado excede o material efetivamente utilizado. Esse material é pelletizado (cortado

em pequenas porções) por extrusão, para então ser fundido e injetado. Bolhas de ar devem ser evitadas no interior dos *pellets*.

A Tabela 5 dá conta de alguns sistemas poliméricos típicos para injeção cerâmica. Note-se que a composição conta apenas com a porção orgânica do sistema, excluindo o material que será efetivamente injetado.

TABELA 5: Sistemas Poliméricos Típicos Para Injeção Cerâmica.

Tipo	Ligante	Plastificante	Lubrificante
Cera	Parafina (90%)	Metil-etil cetona (10%)	-
Resina	Poliestireno (45%)	Óleo Vegetal	Ácido Esteárico (5%)
Aquoso	Metil-etil celulose (4%)	Água	-

O esquema de uma injetora pode ser visto na Figura 13. Um pistão, ou rosca, é usada para consolidar a alimentação e transportar a massa até a câmara de injeção onde esta é aquecida. Uma pressão entre 30 e 100 MPa é necessária para forçar o material a penetrar no interior do molde, preenchendo todas os detalhes deste, sendo consolidado em um produto monolítico.

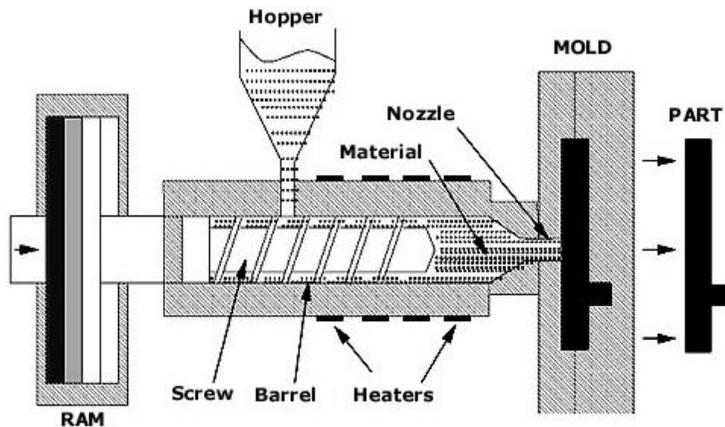


FIGURA 13: Visão esquemática de uma injetora.

A Tabela 6 relaciona as variáveis de processo divididas entre as relativas ao equipamento (injetora) e matéria prima.

TABELA 6: Variáveis de Injeção

Equipamento	Matéria Prima
Sistema de Alimentação	Viscosidade à taxa de cisalhamento por fluxo
Temperatura na Câmara	Mudança de Viscosidade no Resfriamento
Geometria interna da injetora	Temperatura de Solidificação
Velocidade de Injeção	Retração Volumétrica
Temperatura / Geometria do Molde	Difusividade Térmica
Programa de Injeção (Pressão/Tempo)	Resistência Mecânica
Programa Pós-Injeção (Pressão/Tempo)	Módulo Elástico

#### Comportamento reológico

A microestrutura de um material moldado por injeção é o de uma barbotina concentrada com alta concentração de ligante viscoso. A comportamento reológico da massa fundida pode ser aproximada pela Lei de Potências.

$$\eta = K \cdot \dot{\gamma}^{n-1}$$

A viscosidade aparente do material a ser injetado varia conforme a taxa de cisalhamento e temperatura, como mostra a Figura 14. Outros fatores que influem no comportamento reológico do fundido são a forma, distribuição granulométrica e empacotamento do pó.

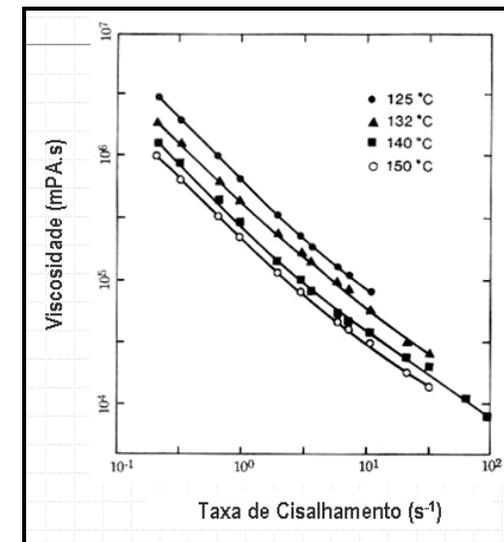


FIGURA 14: Relação entre a viscosidade e a taxa de cisalhamento para diferentes temperaturas na injeção.

No resfriamento, o qual ocorre à medida que o material flui a partir do bocal da injetora, há um rápido decréscimo da viscosidade, como também mostra a figura 14. Para um sistema contendo ligante termoplástico, a variação da viscosidade com a temperatura pode ser aproximada pela seguinte equação:

$$\eta_a = \eta_0 \exp \left[ \left( \frac{Q}{R} \right) \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \right]$$

onde Q é a energia de ativação para o fluxo viscoso. Um valor pequeno de Q indica uma variação menos drástica de viscosidade durante o resfriamento, e menor sensibilidade do fluxo a variações de temperatura.

### Defeitos

Os defeitos que ocorrem na moldagem por injeção podem se originar em vários estágios diferentes do processo. A tabela 7 mostra um resumo dos principais defeitos, bem como a etapa do processamento em que eles se originam.

TABELA 7: Principais defeitos encontrados na moldagem por injeção

Etapa de Origem	Defeito
Homogeneização	Aglomerados Segregação de ligantes Contaminação de Produtos de Desgaste
Moldagem	Linhas Orifícios devido à água absorvida nos materiais Orifícios e Trincas devido a Retração Diferencial Defeitos de ejeção
Remoção do Ligante	Trincas devido à relaxação de tensões Bolhas "Afundamento" Trincas devido à Decomposição do Ligante Trincas devido a gradientes na remoção do ligante Delaminação da Superfície Contaminação com cinzas de resíduos de ligante

Outros defeitos, não mencionados na Tabela 7, são mostrados na Figura 15.

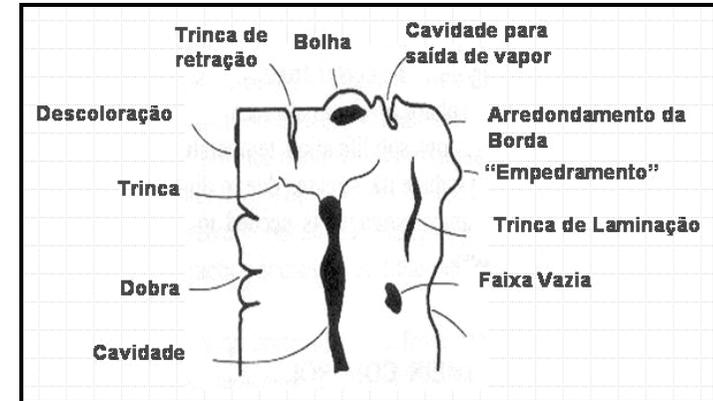


FIGURA 15: Ilustração de possíveis defeitos que ocorrem durante a moldagem por injeção, após a remoção do ligante.

A etapa de remoção do ligante deve ser executada com extremo cuidado. Devido ao grande volume de ligantes, sua eliminação é crítica no processo, além de consumir muito tempo. Peças com grandes seções transversais podem demorar semanas para ter todo o ligante vaporizado. A eliminação do ligante por via térmica ainda cria gases e causa retração diferencial da peça, gerando tensões internas. Após a eliminação do ligante, a peça apresenta baixa resistência mecânica. Outras técnicas para eliminar os ligantes orgânicos podem ser desejáveis e, entre estas se incluem:

- fluxo líquido;
- extração de solvente;
- vaporização;
- sublimação ;
- decomposição térmica ou oxidativa.

## 4. Outros processos de conformação plástica

### Torneamento

A conformação plástica pode ser considerada o método mais antigo de processamento cerâmico. Após a moldagem totalmente manual, de uma massa plástica, se passou para o processo conhecido como torneamento (em Inglês *jolleying*).

O torneamento envolve um molde rotativo para formar uma das superfícies do produto, aproveitando a simetria circular da peça. A superfície oposta é formada quando o molde contendo o material plástico é girado sob uma ferramenta com o formato desejado, como mostra a Figura 16.

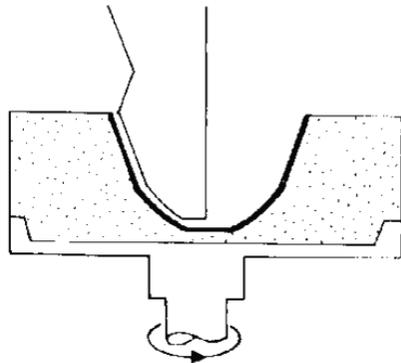


FIGURA 16: Visão esquemática de um processo de torneamento (*Jolleying*).

### **Estampagem**

O processo de estampagem (do Inglês *Jigging*) consiste na prensagem de uma massa plástica. Esse processo, anteriormente artesanal, apresenta hoje um alto grau de mecanização. Usualmente a matéria alimentada no processo é uma secção de um extrudado. Sua desmoldagem pós-prensagem pode se dar por retração diferencial ou pode ser automática, de acionamento pneumático.

O processo se inicia pelo corte da matéria prima e alimentação do molde. A ferramenta superior é abaixada espalhando lateralmente a massa plástica, ocupando o espaço entre o molde e a ferramenta giratória. O material em contato com a superfície do molde se torna estático. Ar pode ser forçado através da superfície porosa oferecendo a desmoldagem pneumática do produto. O processo é ilustrado na Figura 17.

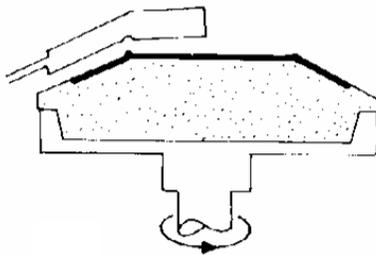


FIGURA 17: Estampagem (*Jigging*).

### **Concretos**

Os processos descritos anteriormente necessitam de uma aglomeração suficiente para o produto manter seu formato e dimensões até que seja sinterizado e obtenha sua resistência mecânica de utilização. Essa coesão inicial depende da atração eletrostática

entre as partículas coloidais, ou das adições intencionais de pequenas quantidades de agentes ligantes.

Em contraste a esses ligantes “temporários”, os cimentos são materiais que aglomeram os agregados diretamente em sua condição final de uso. Uma reação química, geralmente de origem hidráulica, sempre está envolvida. Na formação de concretos pode ser observado o crescimento de uma trama de cristais em torno dos grãos de cimento, à medida que estes reagem com a água. Este processo provoca o endurecimento do concreto.

No início da década de 1960, a engenharia brasileira surpreendeu o mundo pela manipulação da plasticidade deste material. Para a construção do Museu de Arte de São Paulo (MASP), na época o maior vão livre em edificação do planeta, se utilizou a técnica de concreto armado já dominada, com a manipulação das propriedades do concreto para se alcançar as propriedades mecânicas necessárias. Para dar máxima resistência ao concreto, diminuiu-se muito a proporção de água em relação ao cimento. Com isso, a massa, seca demais, ficou extremamente difícil de trabalhar. Foi necessário então dezenas de operários atuando simultaneamente com vibradores para que o concreto não solidificasse antes da hora.

## **5. Bibliografia**

- Reed J. S.; Principles of Ceramics Processing; Wiley Interscience; Second Edition; 1995.
- Van Vlack L. H.; Propriedades dos Materiais Cerâmicos; Edgard Blucher; 1ª Edição; 1973.
- A Revolução do Superconcreto; Globo Ciência Nº 79; Fevereiro/1998

## **6. Questões**

1. Nos processos de conformação plástica de materiais cerâmicos, é preciso que a massa cerâmica adquira uma consistência plástica. O que confere esta consistência (a) nos argilominerais; (b) nos óxidos usados para produzir cerâmica técnica.
2. Por que o comportamento plástico se manifesta apenas na presença de um meio líquido, como a água? Que outros veículo além da água pode ser usado na conformação plástica?
3. Que tipo de defeito pode decorrer da presença de partículas anisotrópicas nos processos de extrusão e de injeção? Por que?
4. Compare extrusoras baseadas no movimento de um pistão com aquelas baseadas em rosca.
5. No projeto de uma extrusora qual é a importância: da câmara de vácuo, da região de mistura e da redução da seção transversal do perfil do bocal?

6. Descreva como ocorre o rearranjo no perfil de velocidade do extrudado à frente do eixo da rosca em uma extrusora. Que tipo de defeitos podem ocorrer em decorrência deste rearranjo? Como eles podem ser evitados?
7. Monte uma tabela compacta relacionando os principais defeitos que ocorrem no processo de extrusão, suas causas e possível solução.
8. Quais os pré-requisitos para um bom ligante num processo de injeção? Cite 3 exemplos.
9. Descreva as principais características de peças moldadas por injeção.
10. Como deve ser o comportamento reológico de uma massa cerâmica adequada à injeção?
11. Quais são as principais fontes de defeitos nos processos de injeção?
12. Por que a secagem (remoção dos ligantes) é uma etapa crítica no processo de injeção?