

DESENVOLVIMENTO DE MOLDE POLIMÉRICO PARA COLAGEM SOB PRESSÃO DE PEÇAS CERÂMICAS

D. A. N. de Freitas ¹ [bolsista], M. S. de Araújo ¹ e J. A. Cerri ²

¹ Departamento de Engenharia Mecânica, ² Departamento de Construção Civil,
Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR
Avenida Sete de Setembro, 3165, CEP 80.230-901 - Curitiba / PR - Brasil
araujo@utfpr.edu.br

RESUMO

A colagem de barbotina é um dos principais processos de fabricação de louças de mesa, por ser um processo de fabricação que depende basicamente da consistência da suspensão, do molde de gesso e do tempo de colagem. Contudo, tem-se difundido a colagem de barbotina sob pressão, a qual utiliza moldes de resina porosa, que possuem maior resistência, durabilidade e maior porosidade, que aliados a alta pressão aceleram o tempo de colagem. Apesar desta tecnologia já estar disponível no mercado, a mesma possui alto custo tanto das máquinas como dos moldes. Com o intuito de diminuir o custo e facilitar a fabricações dos moldes, foi analisado neste trabalho o desempenho mecânico das camadas de um molde de resina epóxi com carga mineral e gesso. O molde foi projetado para uma máquina protótipo de colagem sob pressão, no qual foram determinadas dimensões mínimas para a fabricação do molde.

Palavras Chaves: molde, materiais compósitos, barbotina, colagem sobre pressão.

1. INTRODUÇÃO

A cidade de Campo Largo, localizada na região metropolitana de Curitiba é tradicional fabricante de louça de mesa em faiança, grês e porcelana, concentrando

uma série de empresas do setor cerâmico que produzem também porcelana elétrica, refratários e revestimentos de piso e parede.

Entre os processos utilizados na fabricação de louças de mesa, tanto no APL de Louças e Porcelana de Campo Largo – PR, como em outros pólos deste tipo de cerâmica no Brasil, baseia-se na conformação por colagem de massa fluída ou no torneamento de massas cerâmicas plásticas. Apesar da técnica de colagem de barbotina ser de baixo custo e não exigir mão-de-obra especializada, ela é limitada e pouco produtiva devido ao tempo que se leva para a colagem da barbotina, além das perdas e desperdício de material.

Uma alternativa estudada pelo grupo de pesquisa para aumentar a produtividade do setor seria o uso da colagem de barbotina sob pressão. Esta técnica faz uso de moldes de resina porosa, que possuem maior resistência, durabilidade e porosidade do que os de gesso, aliada a conformação sob alta pressão, acima de 4 MPa é especialmente vantajosa quando o espaço fabril é limitado ⁽¹⁾. Com o intuito de facilitar a fabricação dos moldes e diminuir o seu custo, mas manter as propriedades que os moldes de polímeros possuem, optou-se neste trabalho pelos moldes confeccionados em compósitos, constituídos principalmente por resinas com cargas minerais, as quais têm por função estruturar o molde e melhorar a permeabilidade do molde, facilitando a retirada de água. Gesso foi utilizado na camada interna da cavidade com a finalidade de dar acabamento à peça. A facilidade de fabricação deste tipo de molde foi uma das principais motivações para a escolha desses materiais, visto que os mesmos podem ser fabricados pelas próprias empresas que irão utilizá-lo.

Compósitos são construídos geralmente por duas fases: a matriz que é contínua, a qual envolve completamente a outra fase, que é a dispersa ⁽²⁾. No caso em estudo a fase contínua é de polímeros e a dispersa é de partículas. Na fabricação deste compósito as fases são homogeneizadas e a adesão ocorre após o processo de cura da resina, que acopla as fases, proporcionando ao material final as propriedades especiais: resistência química, resistência à intempérie, durabilidade e resistência mecânica. No nosso caso a matriz é de resina termorrígida de epóxi. Este polímero, após passar pelo processo de cura, forma uma estrutura tridimensional que não pode ser desfeita por uma simples adição e calor ^(3, 4). A resina epóxi destaca-se pela boa

adesão a diversos substratos, tenacidade relativamente alta, boa resistência a intempéries, alta resistência elétrica, baixa contração volumétrica, e a reação de cura ocorre sem a liberação de sub-produtos voláteis. Uma das cargas minerais utilizada é o quartzo, que é um mineral formado por dióxido de silício (SiO_2). Em sua composição podem entrar também lítio, sódio, potássio e titânio. Entre as propriedades físicas mais significativas do quartzo destaca-se sua dureza sete na escala Mohs, cujo ponto máximo é dez (que corresponde ao diamante) ^(5, 6). A outra carga utilizada foi o carbonato de cálcio (CaCO_3) que possui uma estrutura tetraédrica e características alcalinas. O carbonato de cálcio tem a aparência de um pó branco com uma densidade de $2,83 \text{ g/cm}^3$, o ponto de fusão de $1339 \text{ }^\circ\text{C}$, é solúvel em água, possui dureza 3 na escala Mohs. Dentre as cargas minerais usadas em compósitos o CaCO_3 está entre as mais utilizadas, pois possui baixo custo, e é de fácil aplicação ⁽⁷⁾.

2. PROJETO

Para dar início à fabricação do molde primeiramente feito um projeto em Solidworks, no qual ficaria definido como seria feito a fixação e o fechamento do molde, onde se localizariam as entradas de barbotina e de ar, pinos guias e canais internos. A Figura 1 especifica as medidas mínimas de cada um dos componentes que constituem o molde.

Após estar com as medidas necessárias para cada componente do molde teve início o projeto do primeiro molde a ser fabricado. A peça escolhida foi um corpo de prova maciço para ensaio de resistência à compressão de geometria cilíndrica, que possui um diâmetro de 1" (25,4 mm) e 2" (50,8 mm) de comprimento.

Em função do tamanho da peça a ser formada, optou-se por fazer um molde com duas cavidades, pois é difícil controlar a quantidade de preenchimento da cavidade com pouco material, além de que ao formar duas peças ocorre um significativo ganho de tempo de fabricação. Para um molde multi-cavidade é necessário garantir que as cavidades sejam preenchidas igualmente e uniformemente ao mesmo tempo, para tanto se utilizou um artifício para homogeneizar antes da entrada da suspensão cerâmica nas cavidades, qual seja, uma cavidade chamada gota, que irá uniformizar a entrada de material, a Figura 1 mostra o projeto do molde fabricado.

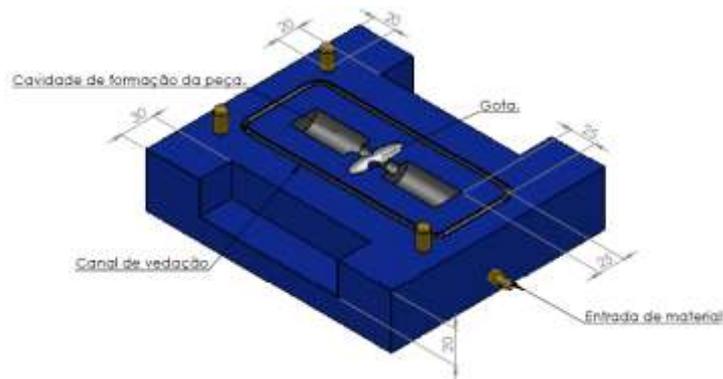


Figura 1 - Especificação dos componentes do projeto do molde do corpo de prova

3. CONFECÇÃO DO MOLDE

O molde confeccionado é multicamada, sendo que em cada uma foi utilizado um composto de resina epóxi com um tipo de carga mineral, as proporções de resina, carga mineral e endurecedor. A Tabela 1 apresenta as quantidades em percentagem mássica de cada componente segundo o tipo de composto, tal como a função de cada composto e a espessura mínima de cada camada.

Tabela 1 - Materiais utilizados na confecção do molde

Composto	Função	Resina	Quantia (%)	Carga	Quantia (%)	Endurecedor	Quantia (%)	Espessura mínima (mm)
1	Acabamento externo	SW-404	90	-----	-----	HY-404	10	1
2	Permeabilidade	RenLam MBR	4	Quartzo	95	HY-956	1	20
3	Resistência mecânica	RenLam MBR	35	Quartzo fino	61	HY-956	4	1
4	Nivelamento	RenLam MBR	56	Carbonato de cálcio	33	HY-956	11	5
Gesso	Cavidade da peça	-----	-----	-----	-----	-----	-----	15

Uma ilustração do molde multicamada, Figura 2, exemplifica como é montado o molde e a localização de cada camada de acordo com os compostos enumerados na Tabela 1.

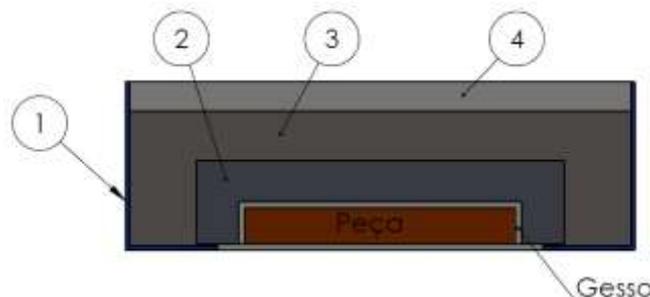


Figura 2 - Exemplificação das camadas que compõem o molde

Para a fabricação do molde primeiramente se faz a montagem da caixa que é onde vai ser feito o molde, nesta caixa deve estar todos os componentes que iram formar a superfície do molde como pinos guias, o modelo da peça, dispositivos de fixação, etc.

Após a montagem da caixa e a sua limpeza se faz necessário passar duas camadas do desmoldante RenLease QZ-5100 em toda a superfície e em outras partes que não sejam integrantes do molde, mas que ficaram em contato com as resinas até que o molde esteja pronto. Após o desmoldante estar seco inicia-se a aplicação dos compostos. A Tabela 1 possui a espessura mínima de cada camada, sendo que as espessuras das camadas produzidas pelos compostos 2, 3 e 4, podem variar para mais dependendo do tamanho do molde, pois principalmente o composto 3 possui a função de preencher o molde.

Para a fabricação do molde primeiramente se aplica o composto 1, que é a camada de acabamento. O composto 1 é aplicado em toda a superfície da matriz com exceção da área onde se encontra a cavidade, a qual é formada de gesso. Neste lado, o composto 1 recobre a superfície até uma distância de cerca de 25 mm do modelo que dará forma à cavidade. Ao se realizar a aplicação do composto 1, é preciso tomar cuidado para que a mesma não crie bolhas, e que tenha uma espessura homogênea e adequada para que assim o molde seja completamente recoberto e o acabamento não fique frágil.

Com o término da aplicação do composto 1 espera-se até que o mesmo atinja o ponto de gel, para que então se faça a aplicação do gesso, formando assim a cavidade do molde. O gesso deve ser aplicado em volta e sobre o modelo da peça por todo o volume no qual a peça irá se formar. Na superfície da cavidade do molde, além dos 15 mm de espessura de gesso que recobre o modelo, este deve avançar mais 10 mm em direção à camada do composto. Foi utilizado gesso comum na proporção de 55% de água para 45% de gesso, a camada de gesso deve ter no mínimo 15 mm de espessura acima da superfície da peça.

Após o gesso endurecer é aplicada uma parte do composto 3, cerca de 100 g, em toda a superfície da lateral do molde onde se aplicou o composto 1, esta camada tem no mínimo 1 mm de espessura. Esta não pode ser aplicada em cima do gesso, pois isso o impermeabilizaria, esta camada tem como objetivo aumentar a resistência mecânica da parede do molde, principalmente a da área onde ficará em contato com o composto 2, pois a mesma possui pouca resistência mecânica.

Quando a camada do composto 3 atingir o ponto de gel, é aplicado o composto 2, que possui quartzo com uma granulação maior. Este tem como objetivo formar um meio poroso, pois este composto é o que permite o escoamento da parte aquosa da suspensão de barbotina do molde, por possuir poros maiores que os do gesso. Esta camada é aplicada sobre o gesso e sobre a cada do composto 1 que recobre o modelo da gota e dos canais de alimentação, que levam a barbotina para o interior da cavidade.

Após o término da aplicação do composto 2, e após ela atingir o ponto de gel aplica-se o restante do composto 3, completando o os espaços vazios do molde e cobrindo com uma espessura de no mínimo 5 mm a camada do composto 2. Este composto tem como objetivo além de dar resistência ao molde, a de impermeabilizar o molde, deixando apenas o volume onde se encontra o quartzo de maior granulometria permeável.

Como a superfície do composto 3 não proporciona uma superfície lisa, é necessária a aplicação de uma camada niveladora, então após o composto 3 atingir o ponto de gel aplica-se o composto 4 com o objetivo de se obter uma superfície plana e lisa. Esse composto deve ser aplicado com cuidado para que não haja formação de bolhas durante a sua aplicação, pois a formação de bolhas prejudica a planeza da

superfície a ser formada, também se deve certificar que o molde esteja nivelado para que então com a camada niveladora o molde fique nivelado.

Com o término da aplicação do composto 4 o molde está terminado, então se espera a camada niveladora endurecer para abrir a caixa em volta do molde, e fazer o acabamento final de sua superfície.

Após uma das partes do molde estar pronta, utiliza-se a mesma para a fabricação da outra parte do molde. Para isto introduz-se o modelo na cavidade do molde pronto e prepara-se a outra parte do molde seguindo os mesmos passos que foram feitos para a fabricação da primeira parte do molde. Após o molde estar pronto espera-se 7 dias para a cura completa das resinas, e logo após este tempo o molde já pode ser utilizado, Figura 3.



Figura 3 - Molde bipartido pronto

4. ENSAIO MECÂNICO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Durante a fabricação do molde se confeccionou corpos de prova dos compostos utilizados e também se fez um corpo de prova multicamada seguindo as especificações e dimensões mínimas para cada camada. O ensaio mecânico de compressão dos corpos de prova foi realizado em uma máquina de ensaios DL-5000/1000 da EMIC de 100 KN. Os dados foram obtidos por meio do programa Tesc e os gráficos foram gerados utilizando o programa Microsoft Office Excel 2007, não foi utilizado extensômetro para a realização do ensaio.

Os resultados dos ensaios de resistência à compressão da resina e de cada composto isoladamente e do constituído por todas as camadas estão representados por apenas uma curva tensão-deformação cada na Figura 4. Os valores médios de resistência à compressão (tensão máxima) e de módulo de elasticidade estão apresentados na Tabela 2.

O melhor desempenho dentre os compostos foi o do composto 1 que é comercializado já pronto, segundo o fabricante é constituído de resina de Epóxi e Carbetto de Silício. Esta resina é a mais rígida e ao mesmo tempo a mais tenaz. No extremo oposto se encontra o gesso que é o material de menor rigidez e também é o mais frágil e com a menor deformação observada.

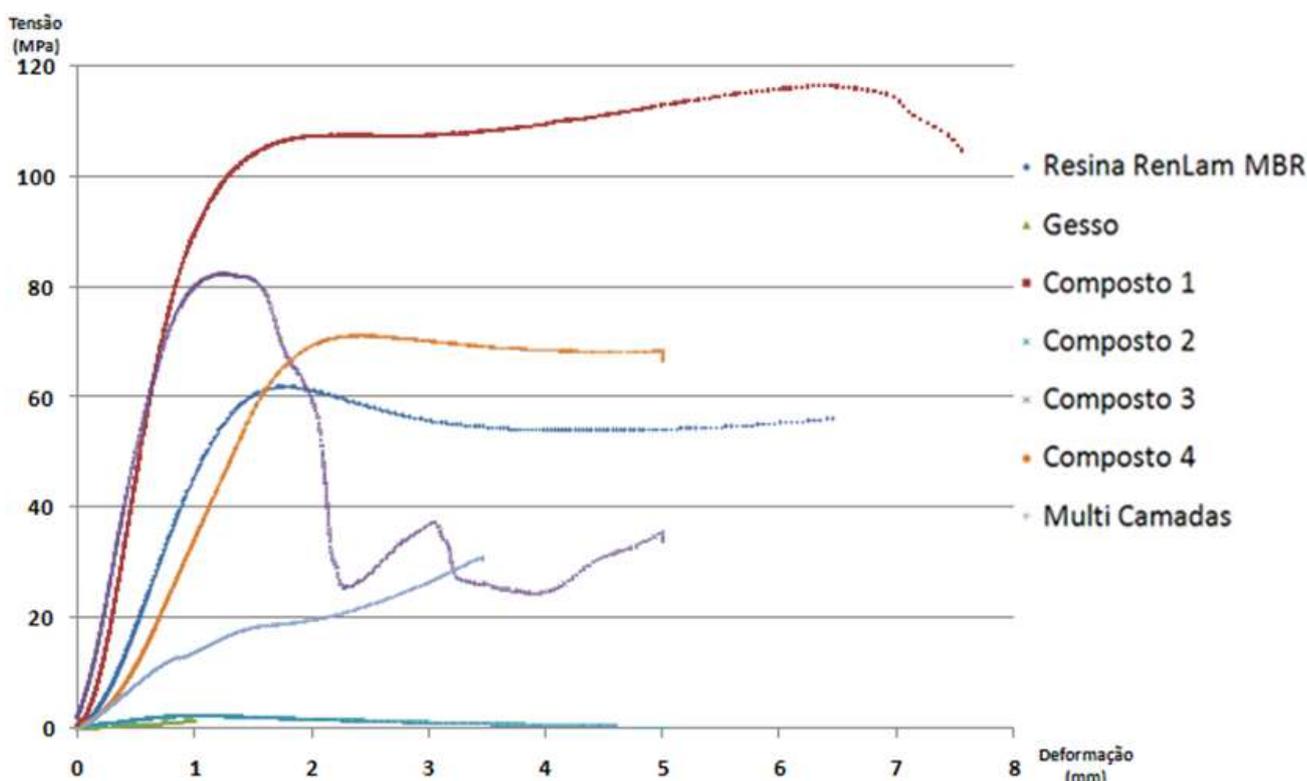


Figura 4 - Curvas tensão versus deformação das matérias-primas e dos compostos utilizados

Na Tabela 2 se observar que o módulo de elasticidade das resinas RenLam MBR e SW-404 ficaram bem abaixo do valor especificado pelo fabricante, isso se deve a diferença de catalisador utilizado, pois o fabricante indica 20% de catalisador, e foi

utilizado apenas 10% devido a velocidade da cura, pois com 10% a reação ocorre em maior tempo assim facilitando o uso da mesma.

Tabela 2 – Resultados do ensaio mecânico de resistência à compressão

Material	Tensão Máxima (MPa)	Módulo de Elasticidade (MPa)
Gesso	1,4	49,2
RenLam MBR	75,0	1.687,8
SW-404 Composto 1	113,7	3.220,9
Composto 2	2,3	82,4
Composto 3	83,3	2.861,8
Composto 4	63,9	1.211,9

O composto 2 em comparação com a resina pura teve uma grande diminuição da resistência, o que já era esperado devido à porosidade deste composto, pois o mesmo tem por finalidade servir como o meio filtrante do molde e por isso possui uma resistência baixa devido a menor área efetiva de resistência. O composto 3, que não é poroso como o composto 2, obteve um grande aumento da resistência em comparação com a resina pura, isso se deve ao fenômeno que ocorre nos compósitos onde a força aplicada é transferida em parte para a carga mineral sendo esta de quartzo fino, que possui alta rigidez.

O composto 4 apresenta valores de tensão máxima e módulo de rigidez inferiores ao do composto 3, isso pode ser explicado pela diferença entre o módulo de elasticidade do carbonato de cálcio (composto 4) que é de 35 MPa, e o do Quartzo que é de 70 MPa (composto 3).

No composto 4 apresentou uma significativa perda de resistência ao se comparar com a resina pura, o que não ocorreu no composto 3. É possível que haja necessidade de utilizar um agente de acoplagem para melhorar as propriedades de interface entre a resina e o CaCO_3 , visto que o módulo de rigidez do composto foi inferior ao da resina pura.

Os corpos de prova do compósito multicamadas, após o ensaio de resistência à compressão, podem ser vistos na Figura 5. O compósito multicamada obteve uma tensão máxima de 47,3 MPa e um módulo de elasticidade de 696,3 MPa. Em comparação com os compósitos 3 e 4 e a resina pura, o compósito multicamadas possui valores bem menores de resistência e de módulo de elasticidade. Este comportamento pode ser atribuído ao composto 2, que por ser poroso apresentou uma grande deformação plástica, visto que a tensão sofrida pelo compósito foi maior do que a tensão de escoamento deste material. Assim é possível que as camadas mais rígidas tenham sido objeto de cisalhamento levando a quebra prematura destas camadas a uma tensão inferior à máxima.

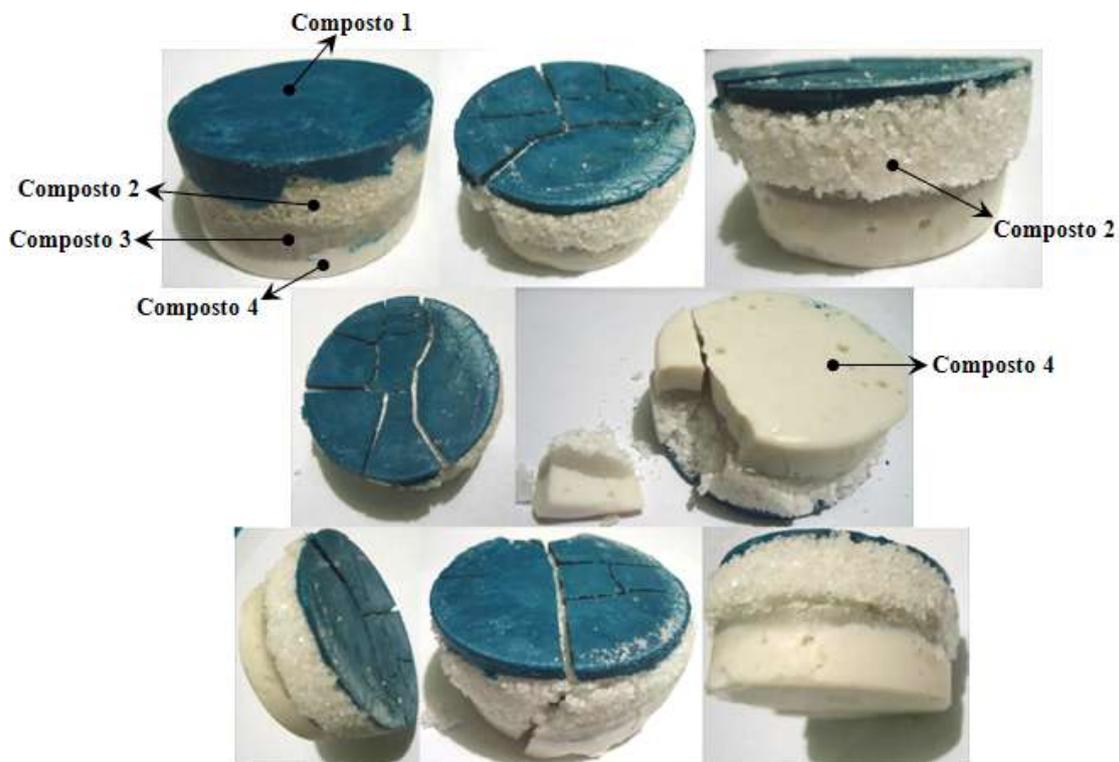


Figura 5 - Corpo de prova multicamada ensaiado

5. CONCLUSÕES

A confecção do molde em compósito a base de resina epóxi se apresentou viável sendo apenas necessário tomar alguns cuidados com o procedimento de montagem das camadas. Uma vez que a camada porosa (composto 2) apresenta grande deformação plástica à baixa tensão, esta pode provocar um colapso prematuro do molde, sendo então imprescindível o recobrimento da lateral do molde com os compostos 1 e 2, tal como foi feito.

6. AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pela bolsa de PIBIC Ensino Médio e bolsas DT.

7. REFERÊNCIAS

- (1) REED, J. S. - Principles of ceramics processing. 2. ed. New York: Wiley-Interscience, 1995.
- (2) CALLISTER, W. D. - Ciência e Engenharia de Materiais Uma introdução, Editora LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda., Rio de Janeiro, 7ª ed., 2008.
- (3) ODIAN, G. G. Principles of Polymerization, Vol. 3, Ed. John Wiley, New York, USA, 1991.
- (4) MANRICH, S. - Identificação de Polímeros: Uma Ferramenta para a Reciclagem, São Carlos, EDUFSCAR, 1997.
- (5) CIMINELLI, R. R - Critérios para a formulação de cargas e reforços minerais em termoplásticos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO PLÁSTICO REFORÇADO, 5., 1988, São Paulo. Anais. São Paulo: Associação Brasileira de Plásticos Reforçados, 1988.
- (6) BETEJTIN, A. - Curso de mineralogia. Vol.3, Editorial Mir, Moscou, 1977.

DEVELOPMENT OF MOLD POLYMERIC PRESSURE TO COLLAGE OF CERAMIC PARTS

Abstract

Slip casting is a key manufacturing processes tableware, as a manufacturing process which basically depends on the consistency of the suspension, of the cast and the time of gluing. However, it has been spread the pressure slip casting, which uses porous resin molds which have greater resistance, durability and higher porosity, which together with the high pressure to accelerate the time of gluing. Although this technology is already available on the market, it has a high cost of both machines and molds. In order to minimize cost and facilitating the fabrication of the molds was evaluated in this study the performance of an epoxy resin molding with mineral filler and gypsum using a machine prototype bonding under pressure. We also determined the minimum dimensions for the manufacture of the mold.

Key-words: mold, composite materials; slip; bonding under pressure.