

UTILIZAÇÃO DE MOLDAÇÕES CERÂMICAS COMPÓSITAS NO FABRICO DE FERRAMENTAS METÁLICAS

João Rocha*, F. Jorge Lino Alves**

*Instituto Politécnico de Bragança, Escola Superior de Tecnologia e de Gestão, Departamento de Tecnologia Mecânica, Bragança, Tel.: 273303146, Fax: 273313051, email: jrocha@ipb.pt

**Faculdade de Engenharia, Departamento de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial, Rua Dr. Roberto Frias, 4200-465 Porto, Tel: 225081704 (42), email: falves@fe.up.pt, <http://www.fe.up.pt/~falves>

1. INTRODUÇÃO

O fabrico de ferramentas metálicas envolve geralmente diferentes tipos de processos tecnológicos, de que são exemplos a maquinagem e a electroerosão. As ferramentas metálicas assim produzidas resistem a um elevado número de ciclos, no entanto, têm prazos de entrega bastante elevados e flexibilidade reduzida. Muitas vezes, o número de peças a produzir é pequeno, como é o caso dos protótipos funcionais e pré-séries, e os prazos de entrega exigidos bastante curtos. Vazando metal líquido em moldações cerâmicas, é possível reproduzir rigorosamente formas e detalhes finos, obtendo-se rapidamente ferramentas metálicas sem necessidade das morosas operações de maquinagem [1].

Para o fabrico de peças de pequenas dimensões (aproximadamente 50x50x25 a 250x250x250 mm) o custo das matérias-primas utilizadas na produção de moldações cerâmicas não é muito significativo, no entanto, para o fabrico de ferramentas de grandes dimensões (> 250x250x500 mm), as quantidades necessárias de material cerâmico e de ligante começam a envolver custos significativos, tornando o processo pouco atractivo.

Pretende-se com este trabalho apresentar um processo alternativo de fabrico de ferramentas metálicas de grandes dimensões, com custos inferiores aos do processo que utiliza as moldações cerâmicas tradicionais. Este processo utiliza uma moldação cerâmica compósita, a qual é constituída por duas camadas com espessuras diferentes. A camada mais fina, responsável pela reprodução dos detalhes do modelo, é idêntica à

utilizada nas moldações cerâmicas tradicionais, a outra camada, realizada num material cerâmico de granulometria elevada, possui um custo muito mais baixo e destina-se ao enchimento (“back up”) da moldação compósita [2, 3].

1.1. Moldações Cerâmicas Tradicionais

As moldações cerâmicas permitem obter ferramentas fundidas com acabamento superficial de muito baixa rugosidade (inferior a $3.2 \mu\text{m}$) e com elevada capacidade de reprodução de detalhes (ver fig. 1) [1-3].



a)



b)

Figura 1 a) placa cerâmica onde é visível a boa reprodução dos detalhes de uma moeda e de texturas de couro; e b) ferramenta metálica obtida por vazamento na moldação cerâmica de uma liga de Cu-Be.

Existem vários processos, muitos dos quais patenteados, para a obtenção de ferramentas metálicas, de que são exemplos os processos de cera perdida, moldações em gesso, Unicast, Shaw, Romicast, etc. [3, 4-6]. Os processos Shaw e Unicast são talvez os processos mais divulgados para a produção de ferramentas metálicas, no entanto, a utilização destes processos é bastante cara, uma vez que se trata de processos patenteados que requerem uma licença de utilização, o que os torna pouco atractivos para muitas empresas nacionais. O processo Shaw utiliza uma mistura de areia de zircão, silicato de etilo hidrolizado e outras matérias-primas. Durante a queima dos voláteis, o cerâmico desenvolve uma rede tridimensional de fissuras microscópicas induzidas pela rápida evaporação de álcool contido no cerâmico e por reacção de fase sólida. A superfície microfissurada aumenta a permeabilidade aos gases da moldação

cerâmica e permite acomodar a expansão térmica das partículas cerâmicas durante o vazamento [7, 8].

O processo Shaw é susceptível de automatização, sendo adaptável a formas complexas, delicadas e com detalhes finos, podendo os modelos ser reutilizáveis. O processo Unicast pode ser considerado como uma variante do processo Shaw. A diferença principal reside na utilização de uma solução como meio estabilizador. Após gelificação, a moldação é imersa durante algum tempo numa solução de álcool etílico. Por vezes é utilizado um processo misto, o qual consiste em estabilizar a moldação, colocando-a em álcool, procedendo-se posteriormente à sua queima [3, 5]. Como desvantagem destes processos é geralmente apontado o seu custo e o facto de serem demorados. Deve-se, no entanto, salientar que utilizando as tecnologias de prototipagem rápida no fabrico dos modelos, o prazo de execução das ferramentas pode ser significativamente encurtado [1, 9].

A aplicação destes processos no fabrico de ferramentas de pequenas dimensões é bastante interessante, no entanto, quando as ferramentas começam a ter dimensões mais elevadas (como por exemplo coquilhas para vazamento de torneiras em latão), o preço das matérias primas passa a ter um peso significativo no custo final das ferramentas obtidas, tornando estes processos pouco atractivos. Para reduzir este inconveniente, têm vindo a ser utilizadas moldações cerâmicas compósitas [2-4].

1.2. Moldações Cerâmicas Compósitas

Para obviar os inconvenientes atrás citados, surgiram os processos Shaw e Unicast compósitos [3], os quais utilizam uma casca cerâmica e um enchimento de chamote (barro refractário calcinado a temperatura elevada) (ver figura 2).

Para produzir moldações compósitas são necessários quatro modelos, dois para a parte superior e dois para a parte inferior da caixa de moldação. Para produzir uma das partes é necessário um modelo de tamanho superior que vai moldar a camada de enchimento e outro modelo com as dimensões adequadas para moldar a casca cerâmica. Como alternativa podem também produzir-se estas moldações compósitas, cobrindo o

modelo com uma cera moldável de espessura adequada (correspondente à espessura da casca cerâmica a obter), ou utilizar uma sobreespessura na base do modelo [2, 10].



Figura 2 Moldação cerâmica composta constituída por uma casca cerâmica (cor escura) que reproduz os detalhes do modelo e por uma camada de enchimento que dá a resistência à moldação composta.

A mistura refractária para o enchimento é do tipo chamote ligada com silicato de sódio. A casca cerâmica é realizada de acordo com os processos Shaw ou Unicast [2, 3].

2. PARTE EXPERIMENTAL E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Para a realização da barbotina que vai ficar em contacto com o metal líquido utilizaram-se três granulometrias de silicato de zircónio (zircão) (-325 mesh, partículas $<45\mu\text{m}$, -200 mesh, partículas $<75\mu\text{m}$ e areia, partículas de 100 a $250\mu\text{m}$). Este material resiste a temperaturas bastante elevadas, tais como as do vazamento dos aços. No caso de se vazarem ligas com pontos de fusão mais baixos pode-se optar, por questões económicas, por materiais mais baratos, tais como molochites (55% de mulite ($\text{Al}_2\text{O}_3, 2\text{SiO}_2$) e 45 % de sílica amorfa) ou misturas de molochites e de zircão [2, 8].

Para o enchimento utilizou-se um material cerâmico grosseiro (molochites 3/16-8, partículas $<2\text{mm}$ e -8 mesh, partículas de 2 a 4.75mm), mais barato e mais fácil de processar.

As partículas de cerâmico da casca cerâmica foram ligadas entre si com silicato de etilo hidrolizado. Os grossos da camada de enchimento foram ligados com silicato de sódio endurecido com CO_2 .

Os provetes compósitos foram obtidos em duas fases. Num primeiro molde obtiveram-se provetes monofásicos que foram posteriormente colocados num segundo molde para se obter os provetes compósitos. A figura 3 apresenta um dos provetes compósitos produzidos (ver detalhes nas referências [2] e [10]).

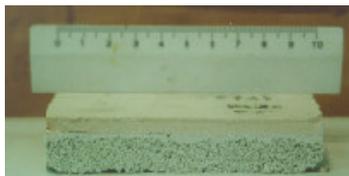


Figura 3 Provete compósito constituído por casca cerâmica (parte superior) e camada de enchimento.

Fabricaram-se provetes monofásicos de três tipos (ver tabela I). A barbotina para a casca cerâmica, constituída por partículas de zircão, foi mantida constante uma vez que já havia uma grande experiência na preparação e caracterização deste tipo de barbotinas (ver pormenores nas referências [2] e [10]).

Tabela I Provetes monofásicos respeitantes à camada de enchimento.

Especificações/Provetes	E01/E11	E02	E03
Peso de chamote de molochite 3/16-8 mesh (%)	100	100	-
Peso de chamote de molochite -8 mesh (%)	-	-	100
Silicato de sódio (% relativa à massa de cerâmico)	5	10	12
Tempo de mistura (min)	6	6	6
Velocidade de rotação do misturador (rpm)	400	400	400
Caudal (l/min.) / Tempo de insuflação de CO ₂ (s)	2/60	2/60	2/60

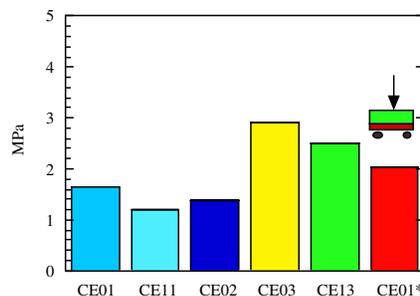
Os provetes compósitos foram sinterizados durante 2h a 1050°C. Na tabela II indica-se os valores de densidade e porosidade obtidos.

Tabela II Densidades teóricas e reais e % de porosidade dos provetes compósitos.

Provetes Compósitos (enchimento/acabamento)	Densidade teórica (g/cm³)	Densidade real (g/cm³)	Porosidade %
Molochite 3/16-8/zircão	3.02	1.86	38.4
Molochite -8/zircão	3.05	1.62	46.9

Da observação da tabela II facilmente se conclui que a menor % de porosidade dos provetes de molochite 3/16-8/zircão resulta do facto de o zircão penetrar mais facilmente nesta molochite, a qual é mais grosseira (partículas de 2 a 4,75 mm) do que na molochite -8 (partículas menores do que 2 mm), esperando-se assim obter uma melhor ligação das duas camadas.

A resistência à flexão em 3 pontos dos provetes está indicada na figura 4. As designações dos provetes são as mesmas da tabela I, tendo apenas sido acrescentada a sigla C, uma vez que se trata dos provetes compósitos. Os provetes CE01 e CE11 foram fabricados utilizando procedimentos perfeitamente idênticos, devendo-se a diferença obtida à dispersão inerente ao método experimental.

**Figura 4** Resistência à flexão dos provetes compósitos.

Os provetes CE02 foram produzidos com maior % de silicato de sódio na camada de enchimento. A análise dos resultados não permite concluir que a maior quantidade de silicato de sódio seja responsável por uma alteração da resistência à flexão, uma vez que os valores obtidos se encontram entre os valores dos provetes CE01 e CE11.

Foram ensaiados provetes CE01 com a face de zircão voltada para baixo (provetes CE01*), tendo claramente evidenciado uma maior resistência à flexão. Apesar desta posição ser a mais favorável em termos de resistência à flexão, uma vez que ela não representa a posição característica de serviço (o metal solicita a casca cerâmica), estes resultados devem ser encarados com algumas reservas.

A utilização de molochite -8 nos provetes do tipo CE03, gera as maiores resistências à flexão. Provetes do mesmo tipo, mas sinterizados a 900°C (provetes CE13), apresentam resistências inferiores, resultado de velocidades mais baixas de difusão entre os pontos de contacto das partículas cerâmicas, o que origina uma ligação mais fraca entre estas.

Após ruptura dos provetes ensaiados em flexão em 3 pontos, verificou-se que os provetes cerâmicos compósitos de molochite -8/zircão tinham delaminado, o que nunca aconteceu com os provetes compósitos molochite 3/16-8/zircão. Estes resultados e os valores de porosidade obtidos parecem sugerir que uma mistura das duas molochites poderá ser o melhor compromisso para a produção de moldações compósitas.

Na figura 5 está representada uma coquilha metálica, destinada à produção de torneiras, obtida por vazamento de uma liga cobre-berílio numa moldação cerâmica compósita (ver detalhes nas referências [2] e [10]).



Figura 5 Coquilha metálica destinada ao fabrico de torneiras por fundição.

3. CONCLUSÕES

As moldações cerâmicas compósitas constituídas por uma camada fina responsável pela reprodução dos detalhes do modelo, e por uma camada constituída por partículas de maiores dimensões, que possui um custo muito mais baixo, permitem produzir ferramentas metálicas de grandes dimensões com custos mais competitivos do que os conseguidos com as moldações cerâmicas tradicionais.

A melhor ligação entre as duas camadas de cerâmico dá-se com a molochite 3/16-8, no entanto estas moldações são menos resistentes do que as obtidas com molochites - 8. Misturas das duas molochites parece ser o melhor compromisso para a produção de moldações compósitas com resistências adequadas.

Referências

- [1] Teresa P. Duarte, F. Jorge Lino Alves, Rui J. L. Neto, “Utilização de Moldações Cerâmicas no Fabrico de Moldes Metálicos”, O Molde, Revista da Associação da Indústria de Moldes, Ano 12, Nº 39, pp. 32-41, Março, (1999).
- [2] ASM, “Casting”, Metals Handbook, Vol. 15, 9th. Ed, ASM, (1996).
- [3] João Rocha Silva, “Moldações Cerâmicas Compósitas”, Tese de Mestrado em Eng. Mecânica, DEMEGI, FEUP, Porto, Março, (2000).
- [4] He Xiang Ping, “Precision Cast Dies Produced by a Ceramic Mould Process – a Review”, Cast Metals, Volume 2, Nº 1, (1989).
- [5] R. E. Greenwood, “Ceramic Molding by the Unicast”, American Society of Tools and Manufacturing Engineers (ASTME), CM 67-534, Creative Manufacturing Seminars, (1967).
- [6] A. J. Clegg, “The Shaw Process-a Review”, Foundry Trade Journal, pp. 429-438, September (1980).
- [7] Teresa. P. Duarte, F. Jorge Lino Alves, Rui J. L. Neto e Manuel S. Simão, “Fabrico de Moldações Cerâmicas para Obtenção de Moldes para Injecção de Plásticos por Fundição de Precisão”, Materiais 99, 9º Encontro da SPM, Vol. 2, pp. 117-122, Univ. Minho, Guimarães, 21-23 Junho, (1999).

- [8] T. P. Duarte, F. Jorge Lino Alves e R. J. L. Neto, “Ceramic Materials for Casting Metallic Molds”, *Struers Journal of Materialography*, Nº 34, pp. 9-11, Spring, (1999).
- [9] Rui J. Neto, Teresa P. Duarte, A. Barbedo de Magalhães, F. Jorge Lino Alves, “ A Prototipagem Rápida e a Fabricação Rápida de Ferramentas para Forjamento na Indústria de Ferragens”, *Tecnometal*, Nº115, pp. 5-9, Março/Abril, (1998).
- [10] F. Jorge Lino Alves e João Rocha, “Desenvolvimento de Moldações Cerâmicas Compósitas para o Fabrico de Ferramentas Metálicas, aguarda publicação na revista *O Molde*, Maio (2000).