

MOLDE

ANO 24
01.2013
Nº96
€4,50

//////
ESPECIAL

METROLOGIA NA INDÚSTRIA DE MOLDES

//////
BIGPROTO
FABRICO AVANÇADO DE
PROTÓTIPOS TÉCNICOS DE
GRANDES DIMENSÕES

//////
POTENCIAL DO
ELECTROSPINNING PARA
APLICAÇÕES INDUSTRIAIS

//////
O MERCADO DE MOLDES
NA ESLOVÁQUIA

BIGPROTO – FABRICO AVANÇADO DE PROTÓTIPOS TÉCNICOS DE GRANDES DIMENSÕES

M. SILVA(1), P. GAGO(1), L. MEDEIROS(2), J. BOM(3), A. MATEUS(4), R. SOARES(5), A. J. PONTES(6)

(1) MP Tool, 2431-967 Marinha Grande, (2) DISTRIM 2, 2431-967 Marinha Grande, (3) TJ Moldes, 2430-528 Marinha Grande

(4) Instituto Politécnico de Leiria, 2411-901 Leiria, (5) Centimfe, 2431-904 Marinha Grande, (6) Universidade do Minho, 4800-058 Guimarães

RESUMO

O projeto BIGPROTO, fabrico avançado de protótipos técnicos de grande dimensão, visa desenvolver e implementar a tecnologia de RIM (Reaction Injection Moulding) de Nylon.

Em Portugal não são conhecidas capacidades instaladas para RIM de Nylon. A nível internacional, só um reduzido número de empresas opera nesta área, suportadas no processo de NyRIM, comercializado pela MTT Technologies Group. Este processo consiste unicamente no vazamento em vácuo de nylon para moldes de silicone de alta temperatura (série de produção limitada a trinta peças).

Decorrente dos profundos desenvolvimentos, nos últimos anos, ao nível de materiais e moldes para técnicas de baixa pressão, tecnologias de prototipagem e fabrico rápido serão aplicadas no desenvolvimento de ferramentas de grande dimensão, a mais baixo custo e num menor espaço de tempo, para séries de maior dimensão.

Entre as atividades desenvolvidas encontram-se o desenvolvimento da tecnologia de RIM de Nylon (equipamentos e materiais de processamento) e o projeto e fabrico de moldes e masters de grande dimensão a utilizar no processamento de pequenas séries, pela tecnologia a desenvolver.

O consórcio do projeto é composto por empresas com vasta experiência em desenvolvimento do produto, prototipagem e fabrico rápido e moldes de injeção de plásticos – MP Tool (promotor), DISTRIM 2 e TJ Moldes, e entidades do SCTN (Sistema Científico e Tecnológico Nacional) com reconhecimento científico em áreas de investigação fundamental – Universidade do Minho, Instituto Politécnico de Leiria e Centimfe.

O projeto, com período de execução de três anos, teve início em abril de 2010 e termina em março de 2013.

1. INTRODUÇÃO

Os produtos plásticos obtidos por Moldação por Injeção com Reação (RIM) são, normalmente, em poliuretanos. Esta tecnologia consiste na injeção da resina termoendurecível a baixa pressão, permitindo obter produtos com propriedades mecânicas similares aos injetados em materiais convencionais porém, com pouca qualidade de superfície.

Em alternativa, e para peças de pequena ou média dimensão, em que seja requerida uma excelente qualidade superficial, pode ser utilizado o vazamento em vácuo de poliuretanos, utilizando moldes de silicone. Esta solução está bastante divulgada no Setor de Moldes para Plástico

Nacional e o Grupo Vangest tem competências neste domínio que são reconhecidas a nível internacional. A tecnologia tem como limitações a dimensão dos equipamentos disponíveis comercialmente (capacidade de vazamento até 5 litros) e o número de peças que é possível vazarem no mesmo molde (cerca de trinta).

No projeto BIGPROTO pretende-se desenvolver o conhecimento necessário à injeção a baixa pressão de nylon (RIM de Nylon), o que possibilita o fabrico de protótipos e pequenas séries de peças de grandes dimensões, com um desempenho em serviço melhorado e a mais baixo custo. Para o efeito, serão desenvolvidas cadeias diretas e indiretas de fabrico de moldes e masters em materiais alternativos.

A nível internacional, só um reduzido número de empresas dispõe do conhecimento e está em condições de oferecer serviços de qualidade no domínio da fabricação de protótipos e de pequenas séries de produtos plásticos de grandes dimensões, pelo que este projeto se traduzirá numa diferenciação positiva da MP Tool e das empresas parceiras no mercado internacional.

Por outro lado, a baixa viscosidade dos materiais utilizados (nylon), quando comparada com a viscosidade de materiais utilizados no RIM convencional (poliuretanos), permitirá a utilização de elevadas percentagens de cargas ou de materiais de reforço, com as correspondentes vantagens na vertente de custo ou de resistência mecânica.

O nylon é também um material que pode ser reciclado/reaproveitado com alguma facilidade, o que constitui uma mais-valia adicional ao desenvolvimento do produto.

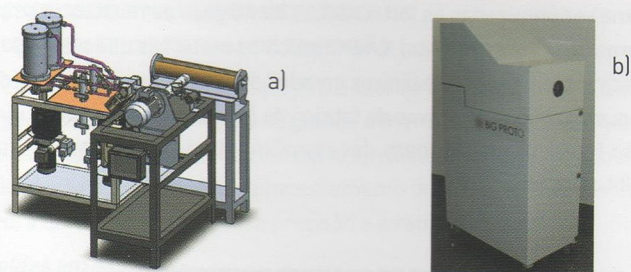
O projeto contempla três grandes áreas de desenvolvimento científico/tecnológico: a área de projeto de moldes de grandes dimensões para RIM de Nylon, a área do fabrico de masters e de moldes de grandes dimensões, e a área de desenvolvimento da tecnologia de RIM de Nylon propriamente dita.

2. TECNOLOGIA DE RIM DE NYLON

Para desenvolvimento e implementação da tecnologia de RIM de Nylon, o consórcio propôs-se a desenvolver dois equipamentos capazes de realizar a mistura do monómero com os catalisadores, ativadores e demais aditivos, e de processamento/injeção a baixa pressão da formulação resultante.

2.1. Equipamentos protótipos

Para a otimização de formulações de nylon (por monitorização do progresso de reação e propriedades dos produtos) foi desenvolvido um equipamento laboratorial protótipo, com capacidade de vazamento até 1 litro.

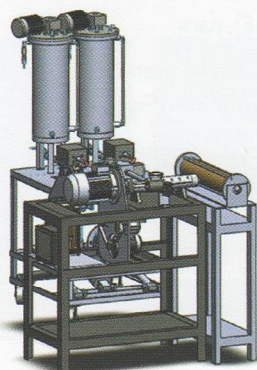


F1 – Sistema protótipo laboratorial: (a) Modelo CAD e (b) equipamento final.

O sistema protótipo laboratorial (Figura 1), de mistura e injeção/vazamento, é constituído por três módulos: mistura e doseamento do nylon 6 (RIM), coextrusora de duplo fuso e êmbolo de injeção. O sistema foi concebido tendo por base os sistemas de RIM tradicionais e as propriedades do material a processar, o nylon 6 (viscosidade, reações, etc).

Para a produção de protótipos de grande dimensão, com as formulações de nylon otimizadas, foi desenvolvido um equipamento industrial protótipo, com uma capacidade de vazamento até 20 litros.

O sistema protótipo industrial (Figura 2) apresenta uma maior capacidade de bombeamento e doseamento, adequados à produção de produtos de grande dimensão.



F2 – Modelo CAD do sistema protótipo industrial.

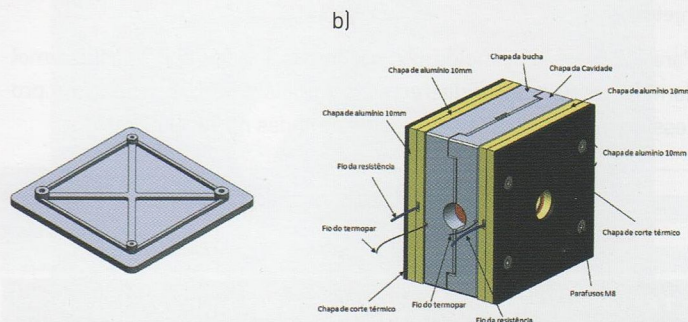
2.2. Materiais e processamento

No processo de RIM de nylon os produtos formam-se por reação química entre o ϵ -caprolactona, catalisadores e ativadores. A reação deve ser devidamente controlada de modo a se conseguir fabricar peças de qualidade e com interesse industrial.

O processamento baseia-se essencialmente em quatro etapas: fusão do monómero (caprolactona), adição do ativador e catalisador, mistura dos fundidos e injeção com reação para o interior do molde onde se dará a polimerização do nylon. A fusão e adição ocorrem simultaneamente em dois reservatórios separados (num depósito é misturada a caprolactona com o ativador e no outro a caprolactona com o endurecedor), e a mistura acontece na cabeça de mistura de alta pressão.

As condições de processamento e os materiais do molde têm influência determinante no processamento do nylon. Assim, foi desenvolvido um programa experimental para identificação e quantificação dessa influência.

Placas de dimensão 100x100x8 mm foram produzidas com o equipamento protótipo laboratorial, em molde em alumínio, tal como ilustrado na Figura 3.

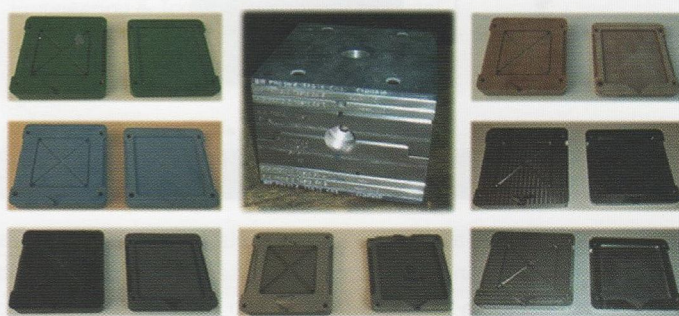


F3 – Modelos CAD: (a) geometria de estudo e (b) molde.

O processo de Moldação por Injeção com Reação de Nylon desenvolve-se em moldes aquecidos a aproximadamente 150 °C. Diferentes postigos moldantes (Figura 4) foram desenvolvidos, quer para avaliação do seu desempenho térmico e mecânico em processamento de nylon, quer para desenvolvimento de competências de fabrico de postigos em tecnologias e materiais não convencionais, tal como apresenta a Tabela 1.

Tecnologias	Materiais
Maquinação	Poliuretano (SikaBlock M940)
	Resina epoxidica (SikaBlock M2010)
	Celeron
	Baquelite
	Aço (S275 JR)
	Alumínio (5083)
Vazamento em vácuo	Resina epoxidica (Biresin L74) com 60 wt% de carga de alumínio
	Resina epoxidica (Biresin L74) com 15 wt% de carga de aço e 40 wt% de carga de alumínio

T1 – Tecnologias e materiais de fabrico dos postigos.



F4 – Molde em alumínio e postigos moldantes produzidos em diferentes materiais.

Por monitorização do progresso da reação de polimerização e medição das propriedades dos produtos obtidos, foram otimizadas formulações e definidas especificações referentes às melhores condições para fabrico de protótipos ou de pequenas séries de peças de grandes dimensões.

O material de injeção/vazamento utilizado foi o AP-Nylon Cast-Polyamide que é sintetizado por polimerização aniônica da poliamida, utilizando um ativador e catalisador (Bruggolen C – Additive Systems) e poliamida pré-fabricada.

Os ensaios de processamento foram realizados para avaliação da influência da velocidade e temperatura de reação, e das diferentes percentagens de ativador e catalisador, nas propriedades finais dos produtos injetados.

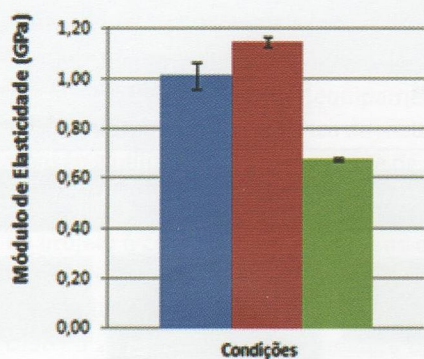
Para cada versão de molde, por integração dos diferentes postigos moldantes produzidos em diferentes materiais, foram avaliadas em processamento as três condições apresentadas na Tabela 2.

Condições	% de ativador	% de catalisador	Temperatura
1	3	6	170
2	3	4,5	170
3	3	6	150

T 2 – Condições de mistura e processamento.

Do estudo concluiu-se que as tecnologias/materiais usados no fabrico de postigos moldantes não são indicados para o processamento do nylon por polimerização a alta temperatura. Com a exceção dos postigos metálicos, verificou-se degradação térmica em todos os restantes postigos, e deformação mecânica em apenas alguns. O desgaste e empeno sofrido durante o processamento impediram a obtenção de peças com bom acabamento e estabilidade dimensional.

Não obstante, foram realizados ensaios mecânicos (ensaios de tração) com amostras de cada condição, injetadas no molde de alumínio. Estes ensaios, segundo a norma ISO 571 de 1993, foram realizados à temperatura ambiente e humidade relativa de cerca de 50%, numa máquina universal – Zwick Z005. A célula de carga foi de 5 kN, e velocidade de 5 mm/min.



F5 – Módulo de elasticidade

Entre as propriedades avaliadas (módulo de elasticidade e as tensões e deformações de cedência e rotura), salienta-se a avaliação do módulo de elasticidade (Figura 5), tendo-se verificado que com a diminuição da percentagem de catalisador, aumenta o módulo de elasticidade (comparação entre condições 1 e 2). Um maior tempo de polimerização leva a uma maior cristalinidade, e portanto, a um módulo de elasticidade superior. Por outro lado, quando a temperatura do molde diminui (condição 3), o módulo de elasticidade deve aumentar (o tempo de cristalização é maior). Esta situação não foi verificada talvez devido a diferentes percentagens de humidade nas amostras (os ensaios aconteceram em dias diferentes), ou acumulação de tensões internas geradas na fase de maquinação dos provetes de tração. Os materiais usados são muito sensíveis à humidade e a sua presença influencia as propriedades mecânicas, designadamente o módulo de elasticidade e a tensão máxima.

Uma vez otimizadas as formulações (condições de mistura e temperaturas de processamento), e verificados os materiais que não suportam os ciclos térmicos e mecânicos gerados durante o processamento do nylon, soluções alternativas de fabrico de ferramentas de grande dimensão foram avaliadas, para desenvolvimento de pequenas séries, por RIM de Nylon.

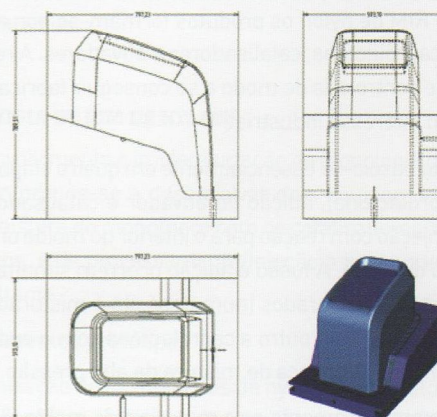
3. PROJETO DE MOLDES DE GRANDES DIMENSÕES

O projeto de molde de grandes dimensões para RIM de Nylon requer um conhecimento aprofundado do processo e materiais de moldação a baixa pressão, e do comportamento dos materiais dos moldes.

Uma vez endogeneizado este conhecimento, o consórcio BIGPROTO definiu geometrias de grande dimensão para validação industrial de equipamentos de processamento (sistema protótipo industrial) e ferramentas/moldes. Para cada geometria foram desenvolvidas diferentes soluções tecnológicas de fabrico, baseadas na maquinação direta e no fabrico indireto de moldes (recurso a masters). Tecnologias de processamento de metais (fundição e spray tooling) e de silicone (moldes de silicone) foram priorizadas por estes materiais suportarem os ciclos térmicos em processamento de nylon.

Na área de desenvolvimento de moldes de grande dimensão foram utilizadas ferramentas de modelação e simulação, designadamente ferramentas CAx (CAD e CAE), para:

- Projeto de ferramentas de grande dimensão adequadas ao processamento de nylon por RIM (Figura 6);
- Avaliação da influência do material do molde e da espessura das peças na cinética do processo de polimerização e nos perfis de temperatura ocorrem no interior dos moldes;
- Avaliação de deformações dos moldes para as condições de pressão e temperatura que ocorrem nos ciclos de injeção/vazamento de peças em RIM de Nylon, com ou sem cargas ou reforços;
- Cálculo das estruturas metálicas para montagem dos moldes rápidos, tendo em consideração as soluções de projeto que terão que ser utilizadas para garantir adequada precisão nas operações de abertura e fecho do molde.



F6 – Módulo de elasticidade

4. TECNOLOGIAS E MATERIAIS DE FABRICO DE MOLDES E MASTERS DE GRANDE DIMENSÃO

Diferentes processos de prototipagem e fabrico rápido têm vindo a ser utilizados no fabrico de moldes de grande dimensão para RIM de Nylon. Cadeias de fabrico direto e indireto estão em desenvolvimento tendo em consideração as condições de processamento do nylon, o tamanho das séries, a dimensão das peças, a precisão e a rapidez de fabrico.

a) Moldes em silicone

Para pequenas séries de produção (aproximadamente 30 peças) de peças de pequena ou média dimensão, em que é requerida qualidade de superfície, a melhor solução consiste no vazamento em vácuo de misturas de nylon, para moldes em silicone.

A tecnologia de fabrico de moldes de silicone é uma tecnologia de rapid tooling já dominada pelo consórcio (na vertente de desenvolvimento de moldes para vazamento de PUR) e constitui um método viável para a produção de protótipos e pequenas séries de protótipos de grandes dimensões, quer por vazamento em vácuo de PUR, quer por vazamento em vácuo de nylon.

Para desenvolvimento de um molde de silicone (Figura 7) foi necessário a construção de um modelo por SLS – Selective Laser Sintering, em equipamento DTM – Sinterstation 2500. O silicone usado foi o MCP Silicone Rubber VTX 5900 da MTT.



F7 – Molde em silicone.

b) Moldes por fundição de alumínio

A fundição de ligas de alumínio permite obter moldes de grandes dimensões em prazos curtos e a custos reduzidos.

O processo consiste no vazamento de alumínio em moldes em areia, previamente fabricados a partir de modelos em madeira ou poliuretano



F8 – a) Modelos em poliuretano; b) Molde em areia.

(Figura 8).

Por fundição obtém-se uma pré-forma (Figura 9) que necessita, em etapa final, de acabamento de superfície por maquinação.

Outras tecnologias estão em aplicação designadamente, a tecnologia de spray tooling.



9 – Pré-forma em alumínio.

5. CONCLUSÃO

O processo de RIM de Nylon é um processo inovador com extraordinário potencial de aplicação em produtos dos mais diversos setores de atividade.

Em Portugal, não há registo de capacidades instaladas para este processo, pelo que as empresas que integram o consórcio estão a reforçar o seu conhecimento e capacidade de oferta tecnológica com vista à entrada em novas áreas de negócio (alargamento da cadeia de valor).

Estão em desenvolvimento tecnologias que permitem o fabrico de protótipos e pequenas séries de peças plásticas de grandes dimensões em condições vantajosas de prazo de entrega e de preço.

As tecnologias de Prototipagem Rápida são hoje ferramentas fundamentais para a entrada em novos mercados, alargando a oferta de produtos personalizados, promovendo uma maior exploração de opções de design e facilitando os ciclos de validação associados à criação de produtos inovadores.

Face ao exposto, é clara a contribuição dos desenvolvimentos técnicos e científicos do Projeto BIGPROTO para uma maior projeção do setor de “Engineering & Tooling” a nível internacional.

Agradecimentos

Projeto em Co-Promoção no âmbito do Sistema de Incentivos à Investigação e Desenvolvimento Tecnológico do QREN - contrato nº 11440.

Referências bibliográficas

[1] Macosko, C.W. (1989) - RIM - Fundamentals of Reaction Injection Molding. New York: Hanser Publishers, 1989. 257 p. ISBN 3-446-15196-6.

[2] Rosato, D. V.; Rosato, D. V.; Rosato, M. V. - Plastic Product Material and Process Selection Handbook. Oxford: Elsevier Science & Technology Books, 2004. 618 p. ISBN 1 85617431X.

[3] Chua, C.K.; Hong, K.H.; Ho, S.L. - Rapid tooling technology - Part 1. A comparative study. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. Vol. 15: (1999), p. 604-608.

[4] Rosochowski, A.; Matuszak, A. - Rapid tooling: the state of the art. Journal of Materials Processing Technology. Vol. 106: (2000), p. 191-199.

[5] Dunne, P.; Soe, S. P.; Byrne et. al. - Some demands on rapid prototypes used as master patterns in rapid tooling for injection moulding. Journal of Materials Processing Technology. Vol. 150 (2004), p. 201-207. ■