



molde

□□□ Ano 16 · n.º 56
□□□ Março 2003
□□□ € 4,00



| A Tecnologia não é uma Questão de Fé | Desafios à Indústria de Moldes |
Portuguesa Exploração das Tecnologias e a Competitividade das Empresas de
Moldes | Estado da Arte dos Processos Aditivos de Prototipagem Rápida: Meca-
nismo de Cura em Processos Estereolitográficos | *State of the Arte of Rapid
Prototyping Additive Processes: Curing Mechanisms in StereoLitographic Processes* |
Empresa do Trimestre | *Company of the Quarter* [EuroCumsa] |

Desenvolvimento de Sistemas de Extracção Eficientes para Moldes de Injecção

A. Pontes*,

A. Pouzada*, B. Araújo**

Development of Efficient Ejection Systems for Injection Moulds

Resumo

O projecto e fabrico de moldes de injecção para componentes técnicos de alta qualidade são tarefas complexas, que requerem uma caracterização precisa do processo de moldagem por injecção e das mudanças no material provocadas pelo processo. No desenho de moldes com buchas profundas (ex. Caixas e peças tubulares), conhecendo a força necessária para extrair os componentes é útil para a decisão de implementar o sistema de extracção mais eficiente na ferramenta e para garantir a integridade dos componentes moldadas. A força de extracção depende de dois grupos de factores: alguns independentes do molde (principalmente o tipo de polímero e as condições de processamento) e outros relacionados com o molde (principalmente a geometria da peça e a rugosidade da bucha). Os dados obtidos de um molde munido de instrumentos (pressão, temperatura e força) para uma moldagem tubular são comparados com previsões de um modelo teórico. O desenvolvimento de um programa computacional, que usa um algoritmo mais simplificado para prever a força de extracção em geometrias mais complexas apropriadas para alargar a amplitude da pesquisa, é também apresentada neste artigo.

Introdução

O molde é uma ferramenta que pode ser usada na produção de um grande número de componentes geometricamente iguais. Durante a definição do molde, o projectista deve ter em conta várias alternativas, que irão afectar a funcionalidade, o desempenho e os custos da ferramenta. Um ou mais componentes de plástico são produzidos em cada ciclo de injecção. No fim de cada ciclo, os componentes deverão ser retirados do molde para que um novo ciclo possa começar. O correcto funcionamento do sistema de extracção é importante para a sequência do processo, já que uma falha nesta altura poderá causar a interrupção do ciclo e necessitará de intervenção humana. O sistema de extracção é composto por vários componentes, que podem ser accionados pelo sistema de extracção da

Abstract

The design and manufacture of injection moulds for high quality technical parts are complex tasks requiring a precise characterisation of the injection moulding process and the material changes

induced by processing. In the design of moulds with deep cores (e.g. for boxes or tubular fittings) knowing the force required to eject the parts is useful for the decision on the more efficient ejection system to be implemented in the tool and for guaranteeing the integrity of moulded parts. The ejection force depends on two groups of factors: some independent from the mould (mainly, type of polymer

material and processing conditions) and others related to the mould (mainly the part geometry and core roughness).

Data obtained from a fully instrumented mould (pressure, temperature and force) for a tubular moulding are compared with predictions from a theoretical model. The development of a computational program, which uses a more simplified algorithm to predict the ejection force in more complex geometries, suitable to extend the amplitude of the research, is also presented in this paper.

Introduction

The mould is a tool that may be used for the production of a large number of geometrically similar parts. During the definition of the mould, the designer must consider various alternatives that will affect functionality, performance and cost of the tool.

	Policarbonato Polycarbonate	Polistireno Polystyrene
Temp. do fundido (C) Melt Temp. (C)	310	230
Temp. do molde (C) Mould Temp. (C)	85	52
Pressão de manut. (MPa) Hold Pres. (MPa)	12 to 110	5 to 68
Tempo de extracção (s) Time to ejection (s)	38	15 to 45

Quadro 1 - Programa de moldagem.
Table 1 - Moulding program.

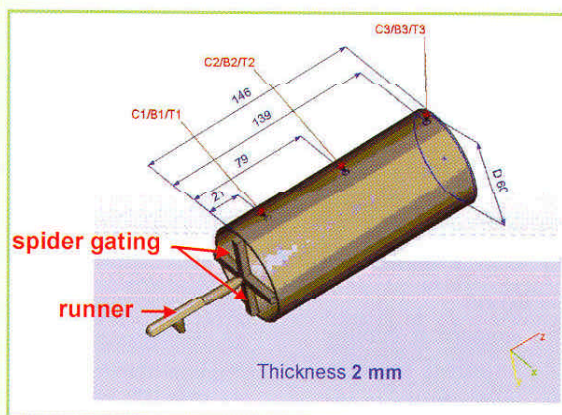


Fig. 1 - Moldagem.
Fig. 1 - Moulding.

One or more plastic parts are produced every injection cycle. At the end of each cycle the parts should be removed from the mould so that a new cycle can begin. The correct operation of the ejection system is important for the sequence of the process, since a failure at this phase may cause the interruption of the cycle and require human intervention.

The ejection system consists of several components, which can be actuated by the ejection system of the injection machine, or by hydraulic, pneumatic or electrical auxiliary devices [1]. Typically, the selection of these components is made on the basis of experience and, sometimes, they are only optimised upon mould testing, prior to production. This situation results in additional costs.

In the case of parts with deep cores, the estimation of the ejection force is important for the design of the ejection system. In some cases, the ejection strategy can be a decisive factor and may imply redesigning the plastic part. Therefore, most of these plastic products have a draft that most of the times is not decided during the conception phase. Nevertheless, it must be suggested by the mouldmaker in order to guarantee the quality of the moulded part.

In this work, preliminary results of a research and development program are presented for the optimisation of the ejection of injection-moulded products

Experimental Moulding

The studies were based on 2 mm thick tubular mouldings (60 mm in diameter, 146 mm in length) filled with parallel flow (figure 1).

The polycarbonate grade used (Lexan 141R from GE Plastics) contains a release agent to ensure easy demoulding. This specific grade is commonly used in electrical resistant applications, electrical and automotive industry components.

The polystyrene grade (Lacqrene 1541 from Elf Atochem) used has good flow and optical properties, and high stiffness. Its main applications include packaging, medical devices, office equipment, etc.

The moulding was done in a moulding cell based on an injection moulding machine of 1MN clamp force, a thermoregulator, and a material drier. The moulding program is briefly summarized in Table 1. Different mould surface temperatures at ejection were obtained by changing the time to ejection.

The instrumented research mould was described elsewhere [2,3], designed and manufactured to measure ejection force. The pressure and temperature profiles at

máquina de injeção ou por dispositivos auxiliares hidráulicos, pneumáticos ou eléctricos[1]. Geralmente, a selecção destes componentes é feita com base na experiência e, por vezes, são apenas optimizados em experiências, posteriores à produção. Esta situação tem custos adicionais.

No caso de componentes com buchas profundas, a estimativa da força de extracção é importante para o desenho do sistema de extracção. Em alguns casos, a estratégia de extracção pode ser um factor decisivo e poderá implicar o redesenho do componente de plástico. Por isso, a maioria destes produtos de plástico tem um ângulo de saída que, na maior parte das vezes, não é decidido durante a fase de concepção. No entanto, deverá ser sugerido pelo fabricante de moldes de forma a garantir a qualidade do componente moldado. Neste trabalho, os resultados preliminares da pesquisa e o desenvolvimento do programa são apresentados para a optimização da extracção de produtos moldados por injeção.

Experiência Moldação

Os estudos foram baseados em moldes tubulares de 2 mm de espessura (60mm de diâmetro e 146 mm de comprimento) enchido por fluxo

paralelo (figura 1).

A qualidade de policarbonato usada (Lexan141R da GE Plásticos) contém um agente de libertação para assegurar uma fácil desmoldagem. Esta qualidade específica é normalmente utilizada em aplicações isoladoras e em componentes da indústria automóvel.

A qualidade de polistireno (Lacqrene1541 da Elf Atochem) utilizada tem um bom nível de fluxo, boas propriedades ópticas e boa rigidez. As principais aplicações incluem embalagens, aparelhos médicos, equipamentos de escritório, etc.

A moldação foi feita numa célula de moldagem usando uma máquina de injeção de 1MN de força de aperto, um termoregulador e um secador de material. O programa de moldagem

está resumidamente descrito no Quadro 1. Durante a injeção foram obtidas diferentes temperaturas na superfície do molde, mudando o tempo de extracção.

O molde instrumentado de pesquisa está descrito mais adiante [2,3] e foi desenhado e fabricado para medir a força de extracção. Os perfis de pressão e temperatura na interface bucha-polímero em diferentes posições do fluxo, foram também monitorizados, usando um sistema rápido de aquisição de dados.

Simulações

As experiências de moldagem foram simuladas, utilizando software comercial C-Mold (versão 99.7 de Moldflow). Foram construídas malhas de elementos finitos das moldagens completas, incluindo os canais de enchimento, o bico de injeção e os canais de arrefecimento (figura 2). Os dados do material

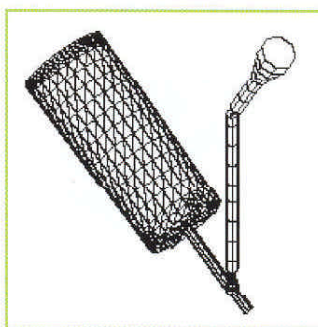


Fig. 2 - Malha do modelo.
Fig. 2 - Mesh of the model.

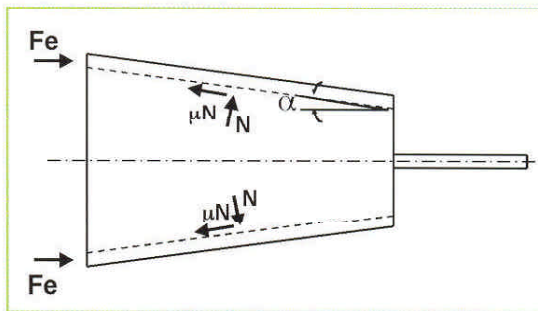


Fig. 3 - Equilíbrio da força na extracção.
Fig. 3 - Force balance at ejection.

para as simulações foram tirados da base de dados interna da C-Mold

O Modelo Teórico

Durante a extracção do tubo da bucha do molde, apresentada na figura 3, a força de extracção (F_e) deve ultrapassar a força de fricção ($\mu.N$) que resulta da pressão de contacto (P_c) acumulada durante a solidificação do material. A força normal (N) pode ser obtida aquando da integração da pressão de contacto na área total de contacto entre a moldação e a bucha. No entanto, considerando que o ângulo de saída é reduzido, a força de extracção é calculada como [3,4]

$$(1) \quad F_e = \mu \int P_c \, dA$$

onde dA é a área elementar de integração dada por

$$(2) \quad dA = \frac{2\pi r(x) dx}{\cos(\alpha)}$$

A pressão de contacto (P_c) é obtida por:

$$(3) \quad P_c(x, t_e) = \frac{\sigma_{\theta\theta}(x, t_e) H_{part}}{r(x)} \cos(\alpha)$$

Substituindo a equação 3 e a equação 2 pela equação 1 obtém-se

$$(4) \quad F_e = 2\pi H_{part} \mu \int \sigma_{\theta\theta}(x, t_e) dx$$

A pressão média circunferencial antes da extracção $\sigma_{\theta\theta}(x, t_e)$, do material amorfo, solidificando como sólido elástico, é obtida através da seguinte equação

$$(5) \quad \sigma_{\theta\theta} = \frac{E(T_e)}{1-\nu} \left(\beta P_s + \alpha(T_s - T_e) \right) - \frac{E(T_e)}{1-\nu^2} \frac{H_{part}}{D_m} \delta_r$$

As variáveis $E(T_e)$, α , β e P_s são o módulo elástico à temperatura de extracção, o coeficiente da expansão termal, a compressibilidade e a pressão em cada camada a solidificar, respectivamente. Uma barra cruzada sobreposta indica a média calculada sobre a camada solidificada.

O primeiro e segundo termos na equação 5 são os efeitos da pressão induzida e da contracção termal, respectivamente. O efeito termal é proporcional à diferença entre a temperatura de solidificação T_s e a temperatura média na extracção T_e .

O terceiro termo é a contribuição da contracção da espessura, dentro do molde, δ_r (é positivo quando a espessura do componente é mais pequena que a espessura nominal da impressão), que reduz a média das pressões internas. O começo da contracção da espessura é determinado pela condição $P(x, t_r^*)=0$ (como medida na superfície externa do tubo ou conseguida por um programa de simulação para moldação por injeção).

Pode calcular-se a força de extracção para moldações tubulares, utilizando as equações 6 e 7. Substituindo a equação 5 pela 4 obtemos

$$(6) \quad F_e = \mu \int \left(\beta P_s + \alpha(T_s - T_e) - \frac{E(T_e)}{(1-\nu^2)} \frac{H_{part}}{D_m} \delta_r \right) dx$$

Esta equação mostra que a força de extracção está directamente dependente do módulo elástico à temperatura de

the core-polymer interface at different flow path positions were also monitored using a fast data acquisition system.

Simulations

The moulding experiments were simulated using the commercial software C-Mold (version 99.7 of Moldflow). Finite element meshes of the complete mouldings were constructed, including the runners, the nozzle of the injection moulding machine and the cooling channels (figure 2). The material data for the simulations were taken from the C-Mold resident database.

The theoretical model

During the ejection of the tube from the mould core, which is shown schematically in the figure 3, the ejection force (F_e) must overcome the friction force ($\mu.N$) resulting from the contact pressure (P_c) built up during the solidification of the material.

The normal force (N) can be obtained upon integration of the contact pressure over the total contact area between the moulding and the core.

Thus, considering that the draft angle is small, the ejection force is calculated as [3,4]

$$(1) \quad F_e = \mu \int P_c \, dA$$

where dA is the elementary area of integration given by

$$(2) \quad dA = \frac{2\pi.r(x).dx}{\cos(\alpha)}$$

The contact pressure (P_c) is given by:

$$(3) \quad P_c(x, t_e) = \frac{\sigma_{\theta\theta}(x, t_e).H_{part}.\cos(\alpha)}{r(x)}$$

Substituting equation 3 and equation 2 into equation 1 it results

$$(4) \quad F_e = 2\pi.H_{part}.\mu \int \sigma_{\theta\theta}(x, t_e).dx$$

The average circumferential stress before ejection $\sigma_{\theta\theta}(x, t_e)$, of the amorphous material solidifying as elastic solid, is given by the following expression

$$(5) \quad \sigma_{\theta\theta} = \frac{E(T_e)}{1-\nu} \left(\beta P_s + \alpha(T_s - T_e) \right) - \frac{E(T_e)}{1-\nu^2} \frac{H_{part}}{D_m} \delta_r$$

The variables $E(T_e)$, α , β and P_s are the elastic modulus at ejection temperature, the coefficient of thermal expansion, the compressibility, and the pressure at each solidifying layer, respectively. A superimposed cross bar denotes averaging over the solidified layer.

The first and second terms in the equation 5 are the pressure induced effects and the thermal contraction, respectively. The thermal effect is proportional to the difference between the solidification temperature, T_s , and the average temperature at ejection T_e .

The third term is the contribution of the thickness shrinkage, inside the mould, δ_r (that is positive when the part thickness is smaller than the nominal thickness of



Fig. 4 - Interface do utilizador do programa e representação em 3D de um componente de plástico.
Fig. 4 - User interface of the program and 3D representation of a plastic part.

the impression), which reduces the average internal stresses. The onset of the thickness shrinkage is determined by the condition $P(x, t^*)=0$, (as measured on the external surface of the tube, or obtained by a simulation program for injection moulding).

Using equations 6 and 7 the ejection force in tubular mouldings can be calculated. Substituting equation 5 into equation 4 one obtains

$$F_e = \mu \cdot \frac{2\pi \cdot H_{part}}{1-\nu} \cdot E(T_e) \cdot \int_0^L \left(-\beta \cdot \bar{P}_s + \alpha(T_s - \bar{T}_e) - \frac{H}{(1+\nu)D_m} \cdot \delta_r \Big|_r^L \right) \cdot dx$$

This equation indicates that the ejection force is directly dependent on the elastic modulus at ejection temperature, the coefficient of friction (considered here as a constant), the thickness of the part, and the shrinkage at ejection time.

The last term inside the integral is to be considered if the tube shrinks in the thickness direction. This may happen for lower holding pressures or times leading to the reduction of the force required to eject the part.

Computational program

A computational program was developed to extend the amplitude of the research for parts of complex geometry (see figure 4) [5]. The mathematical model used in the algorithm is based on equation 1. The integral was replaced by the summation of the normal forces (N_i) on each element of the STL mesh. This model also accounts for the different draft angles (α_i) of each surface.

$$F_e = \sum_{i=1}^n \frac{\mu(Ra, \bar{T}_e) - \tan \alpha_i}{\cos \alpha_i + \tan \alpha_i \cdot \sin \alpha_i} \cdot N_i$$

$$N_i = \sum_{j=1}^3 A_j \cdot E(\bar{T}_e) \cdot \varepsilon(\bar{T}_e) \cdot \sin \frac{\theta_j}{2}$$

The ejection force is calculated using the material properties, geometry of the plastic part and estimated processing conditions as input data.

This application enables the mould designer to assess ejection options and configurations for a specific product in the design stage. The architecture of the program is illustrated in figure 5.

The geometry of the part can be imported from common 3D CAD systems using STL format, which represents a triangulation of the boundary.

extracção, o coeficiente de fricção (considerado aqui como constante), a espessura do componente e a contracção na altura da extracção.

Será considerado o último termo dentro da integral se o tubo contrair no sentido da espessura. Pode acontecer com pressões de manutenção mais baixas ou tempos que levam à redução da força necessária para extrair o componente.

O Programa Computacional

Um programa computacional foi desenvolvido para alargar a amplitude da pesquisa para componentes de geometria complexa (ver figura 4) [5]. O modelo matemático utilizado no algoritmo é baseado na equação 1. A integral foi substituída pelo somatório das forças normais (N_i) em cada elemento da malha STL. Este modelo também tem em conta os diferentes ângulos de saída (α_i) de cada superfície.

$$F_e = \sum_{i=1}^n \frac{\mu(Ra, T_e) \cdot \tan \alpha_i}{\cos \alpha_i + \tan \alpha_i \cdot \sin \alpha_i} \cdot N_i$$

$$N_i = \sum_{j=1}^3 A_j \cdot E(T_e) \cdot \varepsilon(T_e) \cdot \sin \frac{\theta_j}{2}$$

A força de extracção é calculada, utilizando as propriedades do material, a geometria da peça plástica e as condições de processamento previstas como dados de entrada.

Esta aplicação permite ao projectista calcular as opções e as configurações de extracção para um produto específico durante a fase de projecto. A arquitectura do programa está ilustrada na figura 5.

A geometria do componente pode ser importada de sistemas normais de 3D CAD, utilizando o formato STL, que representa uma triangulação da fronteira.

Durante este trabalho, o modelo STL da peça plástica, ilustrado na figura 1, foi utilizado na validação do programa computacional.

O valor calculado da força de extracção foi então comparado com os dados experimentais em cada condição de processamento.

Resultados e discussão

Para o cálculo das forças de extracção foi calculado o coeficiente estático de fricção (μ) como 0.2 para PE e 0.3 para PC. É sabido que o coeficiente de fricção está dependente da temperatura e da rugosidade da superfície [6], mas os dados não estão ainda disponíveis.

A variação do módulo com a temperatura para PE e PC foi criada em modo curvado, utilizando um analisador mecânico dinâmico, Perkin-Ellmer DMA7.

O efeito da temperatura na superfície de contacto foi analisado para o caso PE (figura 6) e, ao aumentar a temperatura, foi

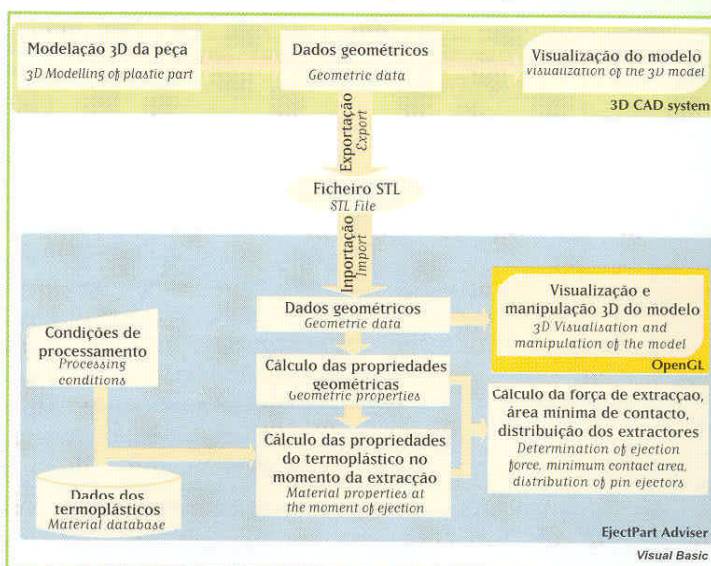


Fig. 5 - Arquitectura da aplicação. / Fig. 5 - Architecture of the application.

observado um decréscimo monotónico da força de extracção. Com base na equação 6, trata-se de um resultado esperado do efeito concorrente da redução do módulo e da contracção na altura da extracção, ambas apontando nessa direcção.

O efeito da variação da pressão de manutenção na força de extracção (figuras 6 e 7) é geralmente no sentido da sua redução com o aumento da pressão para os dois materiais utilizados neste trabalho. No entanto, e especialmente no caso do PE, em pressões baixas de manutenção verifica-se um valor muito mais baixo. Esta situação pode ser atribuída aos efeitos contrários da contracção térmica, o efeito da pressão e a contracção devido à espessura. A contracção na direcção da circunferência aumenta quando a pressão de manutenção diminui, contribuindo por isso para o aumento da força de extracção; no entanto, este efeito é compensado por um aumento da contracção directa, devido à espessura. Por outro lado, uma maior contracção, devido à espessura que leva ao afastamento do material da superfície da cavidade da moldação, faz com que a temperatura se mantenha alta devido à fraca condução do calor; consequentemente uma diminuição na força de extracção é apresentada na figura 5.

As previsões para a força de extracção foram efectuadas utilizando o modelo teórico anteriormente referido e foram comparadas com os dados experimentais (figuras 6 a 8). Em geral, o modelo está directamente relacionado com os dados experimentais.

No caso do programa computacional, a aproximação entre a força de extracção calculada para o modelo STL e os dados experimentais foi razoável. No entanto, para aplicar estes números em aplicações industriais reais, é necessária uma validação mais completa para geometrias complexas, recorrendo à utilização de testes experimentais.

Conclusões

Foi utilizado neste trabalho um molde de pesquisa com instrumentos, desenhado para a produção de peças tubulares, enchido com fluxo paralelo, para medir a força de extracção. Foram levadas a cabo experiências em máquinas de injeção, utilizando materiais amorfos PC e PE. Em particular, foram analisados os efeitos da temperatura da superfície na altura da extracção e da pressão de

During this work, the STL model of the plastic part, illustrated in figure 1, was used for the validation of the computational program.

The estimated value of the ejection force was then compared with the experimental data for each processing condition.

Results and discussion

For the calculation of the ejection forces the static coefficient of friction (μ) was estimated as 0.2 for PS and 0.3 for PC. It is known that the coefficient of friction is dependent on the surface temperature and the roughness of the surface [6] but data is not yet available.

The variation of the moduli with temperature, for PS and PC, were generated in bending mode using a dynamic mechanical analyser Perkin-Elmer DMA7.

The effect of the contact surface temperature was analysed for the case of PS (figure 6), and a monotonic decrease of the ejection

force upon increasing the temperature was observed. On the basis of equation 6 this is an expected result of the concurrent effect of the reduction of the modulus and the shrinkage at ejection, pointing together in that direction.

The effect of the variation of the holding pressure on the ejection force (figures 6 and 7) is generally in the sense

of its reduction with the rising pressure for the both materials used in this work. However, and specially in the PS case, at low holding pressures, a value much smaller than expected is observed. This may be attributable to the counteracting effects of the thermal contraction, the pressure effect and the through-thickness shrinkage. The shrinkage in the circumferential direction increases when the holding pressure decreases, thus contributing to an increase of the ejection force; however, this effect is compensated by an increase

of the through-thickness shrinkage. Also, a larger through-thickness shrinkage, which leads to the detachment of the material from the moulding cavity surface,

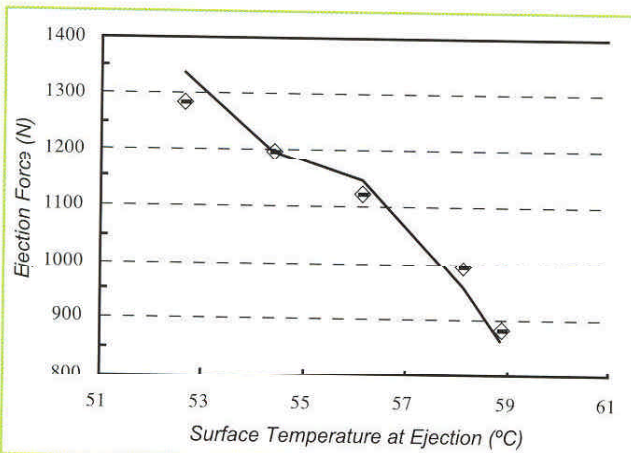


Fig. 6 - Resultados experimentais (símbolos) e resultados previstos (linha) para PE - efeito da temperatura da superfície na altura da extracção.
Fig. 6 - Experimental (symbols) and predicted (line) results for PS - effect of the surface temperature at ejection.

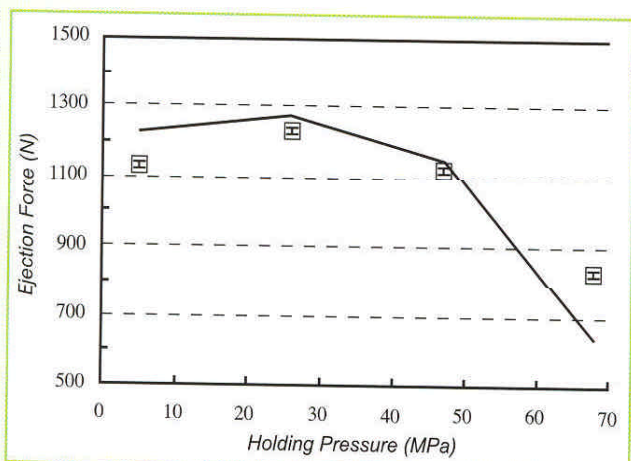


Fig. 7 - Força de extracção experimental (símbolos) e prevista (linha) para PE - efeito da força de manutenção.
Fig. 7 - Experimental (symbols) and predicted (line) ejection force for PS - effect of the holding pressure.

causes the temperature to remain higher due to the poor heat conduction; consequently a decrease in the ejection force is observed as in figure 5.

Predictions of the ejection force were made using the previously referred to the theoretical model, and compared with the experimental data (figures 6 through 8). In general the model is in close agreement with the experimental data.

In the case of the computational program, the approximation between the estimated ejection force for STL model and the experimental data was fair. However, in order to apply these algorithms in real industrial applications, further validation for complex geometries through experimental testing is necessary.

Conclusions

In this work, an instrumented research mould, designed for the production of tubular mouldings, filled with a parallel flow, was used to measure ejection force. Injection moulding tests were performed using two amorphous materials, PC and PS. In particular, the effects of the surface temperature at the ejection and of the holding pressure on the ejection forces were analysed.

The results, for both materials, show that the ejection force decreases monotonically upon increasing the surface temperature at ejection, whereas the effect of increasing the holding pressure is towards the reduction of the ejection force only when higher holding pressures are applied.

The theoretical model results closely agree with experimental data.

To improve the accuracy of the results calculated by the computational program, future work should be carried out on the generation of quality meshes from the STL data. Another improvement would be the integration of this algorithm in a more complete code capable of simulating filling, packing and cooling phases. We expect this would improve the estimation of the ejection force since the calculations would be based on more precise local average temperatures and shrinkage values.

Acknowledgements

The authors acknowledge the financial support given by the IC-PME to the Mouldforce project (grant P0015).

Keywords

Ejection force, Injection moulding, Simulation, CAD, CAE

manutenção nas forças de extracção.

Os resultados, nos dois materiais, revelam que a força de extracção diminui monotonicamente ao aumentar a temperatura da superfície na altura da extracção, ao passo que o efeito do aumento da pressão de manutenção provoca um redução da força de extracção, quando pressões de manutenção mais elevadas são aplicadas.

Os resultados do modelo teórico estão muito próximos dos dados experimentais. Para melhorar a exactidão dos resultados calculados pelo programa computacional, deverão ser efectuados trabalhos futuros na geração de malhas de qualidade dos dados STL. Outro melhoramento seria a integração deste algoritmo num código mais completo, capaz de simular enchimentos, compactação e fases de refrigeração. Esperamos que venha a melhorar as previsões da força de extracção, já que os cálculos seriam baseados em médias

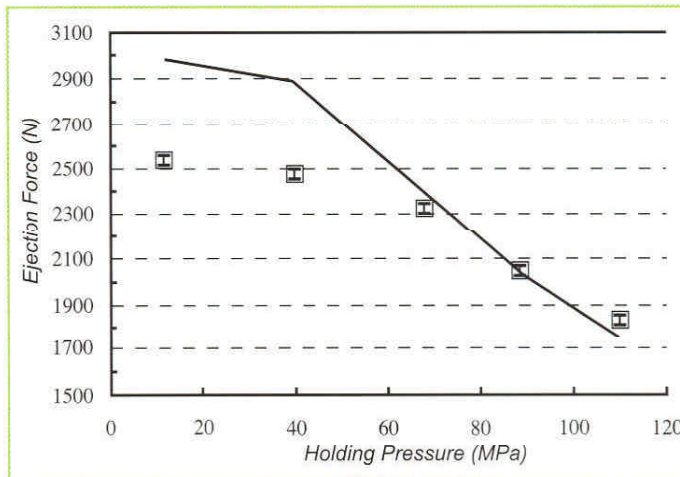


Fig. 8 - Força de extracção experimental (símbolos) e cálculo (linha) para PC - efeito da força de manutenção.

Fig. 8 - Experimental (symbols) and predicted (line) ejection force for PC - effect of the holding pressure.

de temperatura locais mais precisas e em valores de contracção.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro dado pelo IC-PME ao projecto Mouldforce (concessão P0015).

Palavras-chave

Força de extracção, Moldação por injeção, Simulação, CAD, CAE

Bibliografia

- [1] MENGES, G. AND MOHREN, P. - How to Make Injection Molds, Hanser, New York, (1993)
- [2] BRITO, A.M., PONTES A. J., FEBRA, A. OLIVEIRA, J. SELADA, A., POUZADA A. S. - Injection mould for assessment of ejection forces. O Molde, N50 (2001), p.56.
- [3] PONTES, A. J. - Shrinkage and ejection forces in injection moulded products. Guimarães: Universidade do Minho, 2002. 200 p. PhD Thesis
- [4] PONTES, A.J., PANTANI, R., TITOMANLIO G. POUZADA, A. S. - On the prediction of ejection forces for tubular moldings, Proceedings of 60th annual meeting of the Society of Plastics Engineers. San Francisco: May, 2002. Paper 534
- [5] ARAÚJO, B. J. - Racionalização de sistemas de extracção em moldes de injeção. Guimarães: Universidade do Minho, 2001. 101 p. Master Thesis.
- [6] FERREIRA, E.C.; MUSCHALLE, N.M.; NEVES, N.M.; POUZADA, A.S. - Analysis of parameters determining the friction properties of thermoplastics in injection molding, Proceedings of 60th annual meeting of the Society of Plastics Engineers. San Francisco: May, 2002. Paper 94.

*Departamento de Eng. de Polímeros; U.M.

**Centímetro.