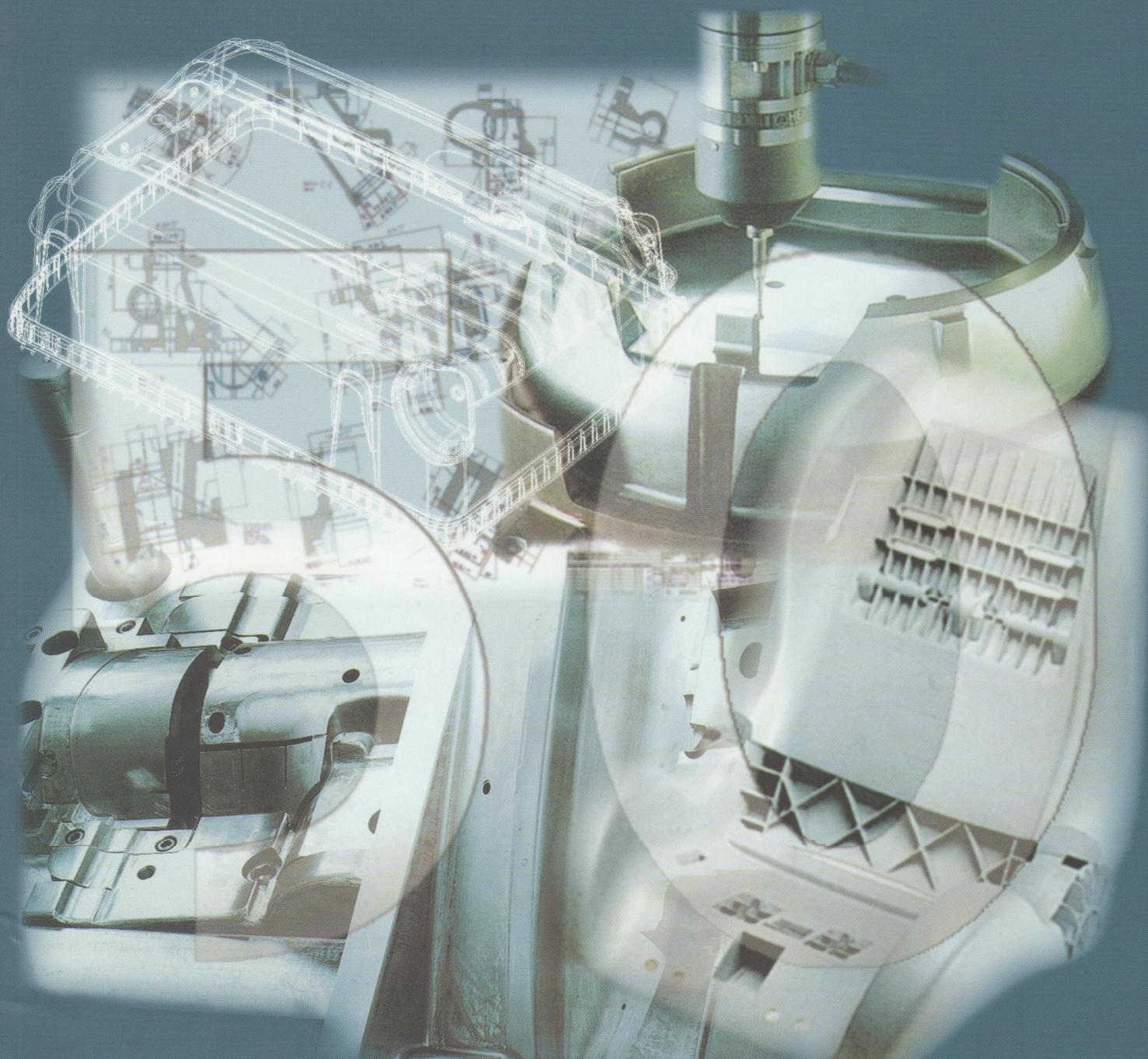




molde

Ano 14 · n.º 50
Setembro 2001
750\$00 [€ 3,75]



| Desenvolvimento de Produto | **Product Development** | Projeto de Moldes | **Mould Design** | Fresagem de Alta Velocidade | **High Speed Milling** | Planeamento e Preparação de trabalho de Erosão | **The Planning and Preparation of EDM Work** | O Prazo dos Moldes: Respostas para uma concorrência activa | **Mould Delivery Times: Solutions for Effective Competition** |

Molde para Medição de Forças de Extracção

A. M. Brito(1), A. J. Pontes(1), A. Febra(2), J. Oliveira(3),
A. Selada(4), e A. S. Pouzada(1)

Introdução

A moldação por injecção é o processo mais usado para produzir peças de plástico, requerendo, muitas delas, moldes complexos. Durante o processo, o material fundido é injectado, para um molde fechado, e frio com pressões relativamente elevadas (fase de injecção). As forças elevadas exercidas pela unidade de fecho mantêm o molde fechado, evitando que o material possa sair da impressão. Após a injecção e para compensar a densificação e consequente contração, é injectado mais material para a impressão a pressão constante (fase de pressurização) até que o ataque solidifique. Depois desta fase, o material solidifica até atingir uma rigidez suficiente (fase de arrefecimento) que permita a sua extracção do molde. Uma vez que a plasticização do material para uma nova moldação leva tempo, no final da fase de pressurização o parafuso começa a rodar e o material é fundido, e transportado para a sua extremidade.

No intervalo entre a abertura e o fecho do molde a peça é extraída. O ideal seria que a seguir à abertura do molde a peça pudesse cair por gravidade. Contudo, devido à contração, contra-saídas e adesão, por vezes a peça tende a ficar presa no molde, geralmente, na bucha, e soluções específicas são necessárias para a extrair. O sistema de extracção pode requerer um projecto específico quando, por exemplo, são necessários longos cursos de extracção ou elevadas forças de extracção devido a uma excessiva rigidez ou contração de alguns termoplásticos.

O sistema de extracção é normalmente actuado pela máquina de moldação por injecção. Se este método não for possível, o sistema de extracção pode ser actuado autonomamente por um sistema pneumático ou hidráulico [1].

Os extractores devem funcionar com segurança e eficiência, devendo actuar nas nervuras, paredes laterais, etc. Estes pormenores de projecto, introduzidos para aumentar a rigidez da peça, dificultam a extracção.

O sistema de extracção pode causar deformações, marcas ou mesmo partir a peça. Para evitar estes danos é necessário optimizar o número, localização e dimensões dos extractores e pontos de injecção de ar.

Normalmente os extractores provocam marcas na peça. Em alguns produtos isto não é aceitável e consequentemente é necessário ter especial atenção ao projecto do sistema de extracção.

Injection Mould for Assessment of Ejection Forces

Introduction

*In*jection moulding is the most used process to produce plastics products, many of them requiring the use of complex tools. During the process, the molten material is injected into a cold closed mould using a relatively high pressure (injection phase). High forces at the clamping unit keep the mould closed, preventing the material to escape from the impression. After filling and to compensate the densification and consequent shrinkage, more material is injected into the impression at constant pressure (packing phase) until the gate seals off. After this phase, the material solidifies until sufficient rigidity (cooling phase) allows the part to be ejected from the mould. Since the plasticisation of material for the next moulding takes time, at the end of packing phase the screw starts rotating and material is molten and transported to the front of its tip.

During the mould opening and closing phase, the part is ejected or extracted. It would be ideal that after the mould opening, the gravity could separate the part from the mould. However, due to shrinkage, mould undercuts and adhesion, sometimes the part tends to remain in the mould, generally, onto the core, and specific solutions are required to enable the ejection.

The ejection system may require precise design when, for example, the parts have long ejection paths, or high ejection forces result from the excessive rigidity or shrinkage of some thermoplastics.

The moulding machine usually actuates the ejection system. If this method is not possible, the ejection system can be actuated independently by pneumatic or hydraulic systems [1].

The ejector pins must work safely and precisely, and must be applied on ribs, side panels, etc. These design details that are introduced to increase the rigidity of the part make the ejection difficult.

The ejection system may cause deformations, marks, or even break the part. To avoid these damaging effects it is necessary to optimise the number, location and dimensions of the ejector pins and air vents.

Normally the ejector pins cause a vestige in the part. In some products this is not acceptable and thus it will be necessary to pay especial attention to the design of the ejector system. When lower viscosity materials are used, attention must be paid to the adjustment and tolerance of the ejection pins, to prevent flashing.

Considering the aspects associated to the ejection system during the mould design stage will contribute to an earlier start of the automatic production of a large runs of products. One of the aspects that frequently must be sorted out is the prediction of the ejection forces.

For deep parts (e.g. boxes, tubular fittings), the ejection forces depend on the contact pressure (p_c), the area (A_c) between the core and the part at the moment of ejection, and the coefficient of friction, (m) [2,3].

The contact pressure results mainly from the shrinkage caused by the solidification of the thermoplastic and from the recovery of elastic deformation of the mould caused by the pressure gradient during the moulding cycle.

The coefficient of friction and the contact pressure are not easy to calculate or obtain, because they depend on the processing variables, the moulding material and the core roughness [4-7]. Furthermore the friction data is not derived from test methods reproducing the actual moulding conditions.

These important issues are being addressed at the Department of Polymer Engineering of Universidade do Minho, with the active participation of the industry, in the Mouldforce EU supported project. This paper introduces the development of a fully instrumented mould for assessment of the ejections forces and the ejection process of deep core mouldings.

Prototype Mould

The ejection force is influenced by factors, which can be split in two groups: factors independent from the mould (type of material and processing conditions) and factors related to the mould (part geometry, draft angle, core roughness, etc.).

The experimental assessment of the ejection force required the development of a prototype mould. This mould should be versatile enough to investigate geometry changes, the draft angle and core roughness, and to monitor the ejection force, the pressure and the core surface temperature.

To meet these objectives the mould was designed with interchangeable cavities and cores. The initial core geometry was

Quando se usam materiais com baixa viscosidade, deve-se ter em atenção o ajustamento e tolerância dos extractores para prevenir a formação de rebarbas.

A consideração dos aspectos associados ao sistema de extracção durante o projecto do molde contribui para iniciar mais rapidamente a produção, em automático, de um grande número de produtos. Um dos aspectos que frequentemente deve ser considerado é a previsão das forças de extracção.

Para peças fundas (por ex., caixas, acessórios para tubagens), as forças de extracção dependem da pressão de contacto (p_c), da área (A_c) entre a bucha e a peça no momento de extracção, e do coeficiente de atrito (m) [2, 3].

A pressão de contacto resulta principalmente da contracção causada pela solidificação do termoplástico e da recuperação da deformação elástica do molde causada pelo gradiente de pressões durante o ciclo de injeção.

O coeficiente de atrito e pressão de contacto não são fáceis de calcular ou obter, porque dependem das variáveis de processamento, material da moldação e rugosidade da bucha [4-7]. Além disso os dados do coeficiente de atrito não são obtidos por métodos que reproduzam as condições de moldação.

Estes aspectos importantes têm sido estudados no Departamento de Engenharia de Polímeros, com participação activa da indústria, no âmbito do projecto Mouldforce suportado pela UE. Este artigo apresenta o desenvolvimento de um molde instrumentado para avaliação das forças e do processo de extracção de produtos moldados em buchas longas.

Molde experimental

A força de extracção é influenciada por factores, que podem ser divididos em dois grupos: factores independentes ao molde (tipo de matéria-prima e condições de processamento) e factores relacionados com molde (geometria da peça, ângulos de saída, rugosidade superficial da bucha, etc.).

A avaliação experimental da força de extracção requereu o desenvolvimento um molde protótipo. Este molde deverá ser suficientemente versátil, para avaliar a influência da variação da geometria da peça, dos ângulos de saída e da rugosidade superficial da bucha e monitorizar a força de extracção, a pressão e a temperatura da superfície da bucha.

Para se atingirem estes objectivos o molde foi projectado com cavidades e buchas intermutáveis. A geometria inicial da bucha era cónica com 60 mm de diâmetro e um ângulo de saída de 0.55.

Para possibilitar a colocação dos sensores na bucha esta foi construída em duas metades que se ajustam através de postiços circulares que permitem a produção de moldações tubulares com e sem fundo (figura 1).

O projecto da bucha previu, também, a extracção assistida com ar comprimido. A saída do ar é feita pela superfície de junção do postiço circular com as duas metades da bucha. Isto permite estudar a influência que a injecção de ar poderá ter na força de extracção, especialmente no caso de peças com fundo, onde o vácuo pode ocorrer durante o arrefecimento.

Para evitar a medição de forças que não as de extracção, o sistema de extracção é operado por um cilindro hidráulico que acciona uma placa extractora. Este sistema foi montado no topo do molde.

Durante a extracção, a abertura do molde é feita em duas fases para evitar o contacto entre a peça e a cavidade. Inicialmente a bucha, e todo o sistema de extracção, acompanham o movimento da parte móvel do molde até que a abertura seja suficiente para a placa extractora actuar. Depois a bucha e o sistema de extracção param, continuando

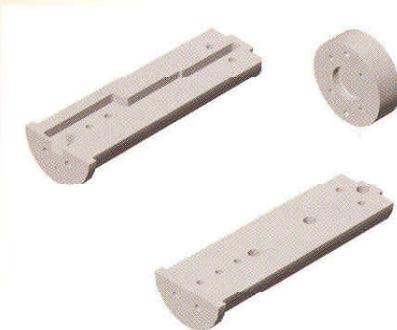


Fig. 1 – Componentes da bucha
Fig. 1 – Core components

Molde Fechado

- Injecção, pressurização e arrefecimento



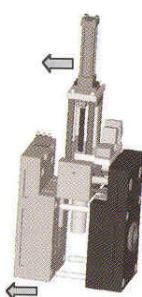
Abertura do Molde

- Movimento da placa móvel e do sistema de extracção
- Travamento do sistema de extracção e continuação do movimento da placa móvel



Mould Closed

- Injection, pressurization and cooling



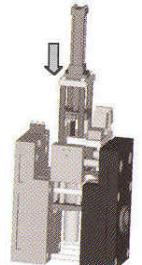
Opening of the Mould

- Movement of moving plate with the ejection system
- Locking of the ejection system and further movement of the moving plate

To avoid the measurement of forces parasitic to the ejection, the ejection system is operated by a hydraulic cylinder that actuates a ejector plate. This system is mounted on the top of the mould.

Extracção

- O cilindro hidráulico actua a placa extractora

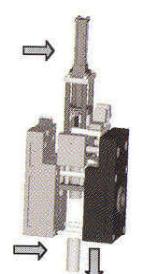


Ejection

- The hydraulic cylinder actuates the ejector plate

Reposicionamento e Fecho do Molde

- O cilindro hidráulico recua e a placa extractora é reposicionada
- Regresso da placa móvel e do sistema de extracção à posição inicial



Resetting and Mould Closing

- The hydraulic cylinder moves back and the ejector plate resets
- Return of the moving plate and the ejection system to the initial position

During ejection, the opening of the mould is done in two steps to prevent the contact between the part and the cavity. Firstly the core, and all ejection system follow the movement of the moving part of the mould until the daylight is enough for the ejection plate to actuate. Then the core and the ejection system stop, the movement of the mobile part continuing. As a result the

Fig. 2 – Funcionamento do molde

Fig. 1 – Operation of the mould

core stays hanging in the mould daylight, causing that the ejection force will result only from the extraction of the part from the core (figure 2). This force is measured by two piezoelectric load cells (Kistler 9021 A) located on the actuating bars of the ejection plate (figure 3).

For the convenience of modeling and analysis of the processing effect, the part is filled with parallel flow. This implies that the gate must be at one of the extremes of the part. For the part with bottom, a central gating system is used, whereas for the part without bottom a cross system with four injection points applies (figure 4).

Due to the length of the part (146 mm) and to allow for it balanced location in the mould, an inclined sprue with respect to the principal axis of the part is used. This inclination makes its the ejection in the cool sprue case impossible. This difficulty is overcome by the use of a hot runner.

The mould temperature control system is done by water lines in the two halves of the core and in the cavity plates.

The monitoring of pressure and temperature is done through a instrumentation system using three pressure sensors in the cavity (Kistler 6157 BA 0.4) C1, C2, and C3, and three pressure and temperature sensors in the core (Kistler 6190 A 0.4) B1/T1, B2/T2 e B3/T3. These core and cavity sensors are located along the flow path and face each other (figure 5).

The acquisition and monitoring of the signal measured by the sensors is based on a data acquisition board, PCMCIA 2855 A1, and the software DATAFLOW, from Kistler, for data handling and visualization of the signal and signal condition, and amplifiers (figure 6).

In each cycle the monitoring process is triggered by a switch that is actuated when the mould close.

Preliminary Results and discussion

Typical results of the pressure evolution and the temperature measured in the mould walls are shown in figures 7. These results show the variation of the pressure and temperature evolution along the flow path for the tree positions indicated in the figure 5.

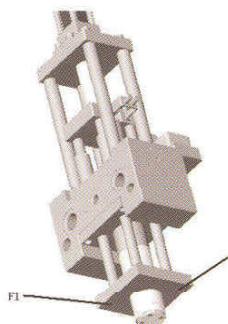


Fig. 3 – Localização das células de carga

Fig. 3 – Load cell localization



Fig. 4 – Moldações

Fig. 4 – Mouldings

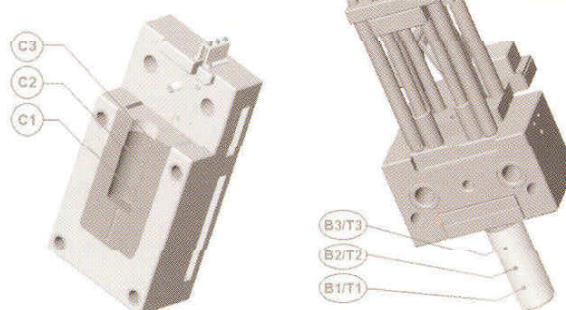


Fig. 5 – Localização dos sensores de pressão e temperatura

Fig. 5 – Location of the pressure and temperature sensors

do o movimento da parte móvel. Como resultado a bucha fica suspensa na abertura do molde, permitindo que a força de extracção seja apenas a resultante da extração da peça da bucha (figura 2). Esta força é medida por duas células de carga piezoelectrícias (Kistler 9021 A) colocadas nas hastes de accionamento da placa extractor (figura 3).

Para facilitar a modelação e a análise dos efeitos do processamento, a peça é injectada com um fluxo paralelo. Isto implica que o ataque se situe num dos seus extremos. Para a peça com fundo usou-se um ataque central enquanto que na peça sem fundo foi usado um sistema em cruz com quatro pontos de injecção (figura 4).

Devido ao comprimento da peça (146 mm) e para permitir a sua localização balanceada no molde, usou-se um jito inclinado relativamente ao eixo principal da peça. Esta inclinação impossibilita a sua extração no caso de ser um jito frio. Esta dificuldade foi ultrapassada pela utilização de um bico aquecido.

O sistema de controlo de temperatura do molde é feito através de linhas de água colocadas nas duas metades da bucha e nas cavidades.

A monitorização da pressão e temperatura é feita através de um sistema de instrumentação usando três sensores de pressão na cavidade (Kistler 6157 BA 0.4) C1, C2, e C3, e três sensores de pressão e temperatura na bucha (Kistler 6190 A 0.4) B1/T1, B2/T2 e B3/T3. Estes sensores situam-se ao longo do caminho de fluxo e estão

colocados face a face (figura 5).

A aquisição e monitorização do sinal medido pelos sensores são feitas através de uma placa de aquisição de dados, PCMCIA 2855 A1 e do software DATAFLOW, da Kistler, para tratamento e visualização dos sinais, condicionador de sinal, e amplificadores (figura 6).

Em cada ciclo o processo de monitorização é iniciado por um sensor (trigger) que é actuado quando o molde fecha.

Resultados Preliminares e discussão

Os resultados típicos, da evolução da pressão e da temperatura

medida nas paredes do molde são apresentados nas figuras 7. Estes resultados mostram a variação da evolução da pressão e da temperatura ao longo do caminho de fluxo para as três posições indicadas na figura 5.

Observa-se que a pressão medida no primeiro sensor é bastante superior do que a dos sensores mais afastados do ataque. Esta diferença de pressão pode ser explicada pela análise da evolução da temperatura (figura 7b). O primeiro sensor mede uma temperatura à superfície da bucha, superior à dos sensores mais afastados do ataque. A temperatura superior do material implica menor viscosidade, menor espessura da camada solidificada e, portanto, melhor transmissão da pressão durante a fase de pressurização.

Estes resultados são característicos do processo e podem ser usados directamente como dados de entrada nos modelos de previsão, bem como para validar simulações do enchimento do molde e avaliar o desempenho dos softwares de simulação usados neste trabalho.

Na figura 8 está apresentada a evolução da força medida pelas células de carga durante a extração. A forma das curvas mostra que, durante a extração, há um aumento súbito da força seguido de uma diminuição mais lenta até ao valor da pré-carga. O aumento súbito corresponde à força requerida para ultrapassar o atrito

estático entre a peça e a bucha antes do movimento da peça. A diminuição mais lenta da força deve-se, por um lado, à passagem do atrito estático a cinético e, por outro, à redução da pressão de contacto durante a extração, resultante da conicidade da bucha.

Para aferir a reprodutibilidade do sistema, realizaram-se 20 moldações em ciclo automático, após estabilização do processo. O estudo foi baseado em moldações tubulares com as dimensões nominais de 2 mm de espessura, 60 mm de diâme-

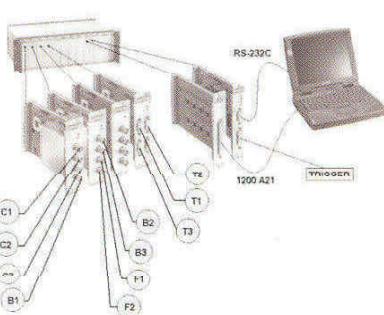


Fig. 6 – Sistema de aquisição dos dados

Fig. 6 – Acquisition data system

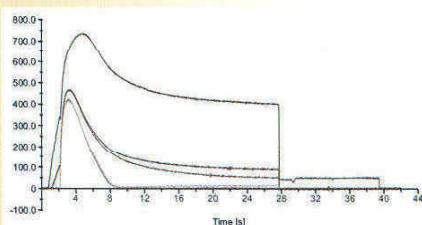
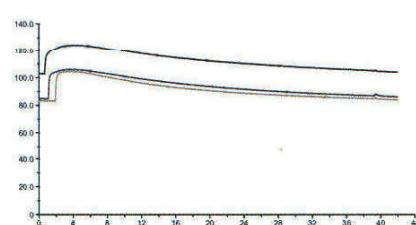


Fig. 7 – Evolução da pressão (a) e temperatura (b) ao longo do ciclo de injeção

Fig. 7 – Pressure (a) and temperature (b) evolution along the moulding cycle



side, to the reducing contact pressure during the ejection, resulting from the draft angle of the core.

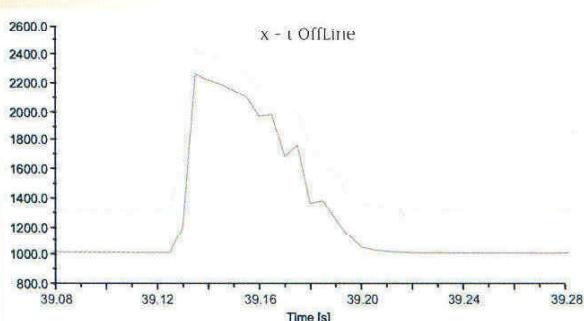


Fig. 8 – Evolução da força no momento da extração

Fig. 8 – Force evolution at the during the ejection

It is observable that the pressure measured by the first sensor is much higher than that of the sensors more distant from the gate. This pressure difference could be explained upon analysing the evolution of the temperature data (figure 7b) The first sensor measures a temperature at the core surface higher than that monitored by the sensors more way from the gate. The higher temperature of the material implies its lower viscosity, a lower thickness of the solidified layer and, consequently, better pressure transmission during the holding phase.

These results are characteristic of the process and could be used directly as input data in the prediction models, as well as to validate the injection moulding simulations and to assess the performance of simulation softwares used in this work.

In the figure 8 the force evolution measured by the load cells during the ejection is shown. The shape of the curves shows that, during ejection it exists a sharp increase of the force, followed by a slow decrease until the base value. The sharp increase corresponds to the force required to overcome the

static friction between part and core before the movement of the part. The slow decreasing of the force on one side is due, to the change from static to kinetic friction and, on the other

To assess the reproducibility of the system 20 mouldings were produced in automatic cycle, after the stabilization of the process. The study was based in tubular mouldings with the nominal dimensions of 2 mm in thickness, 60 mm of internal diameter and 146 mm in length. The injection moulding cell consists of a injection moulding machine Demag Dico NCIII of 1 MN of

clamp force, one thermo-regulator and a drier with circulating air. The mouldings were produced in polycarbonate (Lexan 141R from General Electric Plastics).

The force at the moment of ejection, the measurement being more relevant to the objective of the work, its variation along 20 cycles is shown in figure 9. In the same figure the average and the frame of variation associated to the standard deviation is shown. The average error of the measurements is 3.5%.

Conclusions

This R&D mould was designed and manufactured in close cooperation between university and industries satisfied the requirements of the work. It was verified that the ejection force measurements using a relatively complex mechanical system were recorded with the average error of 3.5%, which is meaningless for this kind of equipment. The ejection force could be even used as a quality control criterion as an alternative to other criteria used for that effect as, for example, the moulding weight.

Acknowledgements

This work was developed by a consortium (Somoltec, Moliporex, Centimfe and Universidade do Minho) financially supported by the IC-PME program (project Mouldforce - P0015).

References

- 1- Menges, G. and Mohren, P. *How to make Injection Moulds*, Hansen, New York, 1993
- 2- Menges, G. and Bangert, H., Measurement of coefficients of static friction as means of determining opening and demoulding forces in injection moulds, *Kunststoffe*, 71 (1981).
- 3- Kaminski, A., Messen und Berechnen von Entformungskräften an geometrisch einfachen Formteilen, *Kunststoffe*, 66 (1976), p. 208.
- 4- Pontes, A.J., Pinho, A.M., Miranda, A.S., Pouzada, A.S., Influência das condições de processamento na força de extração em moldes de injeção de termoplásticos, *O Molde*, 34, (1997), p. 25
- 5- Pontes, A. J., Aplicação de técnicas computarizadas no projecto de um molde instrumentado para avaliação de forças de extração, Universidade do Minho, trabalho de síntese, 1997.
- 6- Pontes, A. J., Titomanlio, G., Pouzada, A. S., The influence of processing conditions in ejection forces of injection moulded parts, Conference Proceedings of Annual Meeting of PPS-15, 's Hertogenbosch, Maio 1999.
- 7- Pontes, A. J., Cardoso, I. B., Pantani, R., Pouzada, A. S., Assessment of ejection forces of deep injection mouldings, Conference Proceedings of Regional Meeting of PPS2000, Zlin, Agosto, 2000, p. 86.

(1) Departamento de Engenharia de Polímeros, Universidade do Minho

(2) Somoltec, SA

(3) Moliporex, Lda.

(4) Centimfe

tro interno e 146 mm de comprimento. A célula de injeção é constituída por uma máquina de injeção Demag D100 NCIII de 1 MN de força de fecho, um termo-regulador e um secador de matéria-prima com circulação de ar. As moldações foram feitas em policarbonato (Lexan 141R da General Electric Plastics).

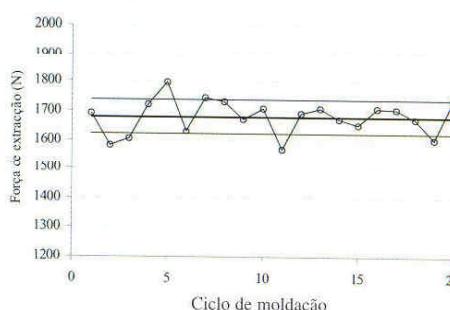


Fig. 9 – Força de extração

Fig. 9 – Ejection force

A força no momento da extração, a medição mais relevante para o objectivo deste trabalho, e sua variação ao longo dos 20 ciclos apresenta-se na figura 9. Na mesma figura apresenta-se a média e a banda da variação associada ao desvio padrão. O erro médio das medições é de 3.5%.

Conclusões

Este molde I&D, projectado e construído em estreita colaboração entre a universidade e a industria, satisfaz as especificações requeridas neste trabalho. Verificou-se que as medições da força de extração usando um sistema mecânico relativamente complexo foram obtidas com um erro médio é de 3.5%, que é um valor perfeitamente aceitável para este tipo de equipamentos. A força de extração pode ser utilizada como um critério de controlo de qualidade como alternativa a outros critérios usados para esse efeito como, por exemplo, o peso das moldações.

Agradecimentos

Este trabalho foi desenvolvido por um consórcio (Somoltec, Moliporex, Centimfe e Universidade do Minho) financiado pelo programa IC-PME (projeto Mouldforce - P0015).

Referências

- 1- Menges, G. and Mohren, P., *How to make Injection Moulds*, Hansen, New York, 1993
- 2- Menges, G. e Bangert, H., Measurement of coefficients of static friction as means of determining opening and demoulding forces in injection moulds, *Kunststoffe*, 71 (1981).
- 3- Kaminski, A., Messen und Berechnen von Entformungskräften an geometrisch einfachen Formteilen, *Kunststoffe*, 66 (1976), p. 208.
- 4- Pontes, A.J., Pinho, A.M., Miranda, A.S., Pouzada,A.S., Influência das condições de processamento na força de extração em moldes de injeção de termoplásticos, *O Molde*, 34, (1997), p. 25
- 5- Pontes, A. J., Aplicação de técnicas computarizadas no projecto de um molde instrumentado para avaliação de forças de extração, Universidade do Minho, trabalho de síntese, 1997.
- 6- Pontes, A. J., Titomanlio, G., Pouzada, A. S., The influence of processing conditions in ejection forces of injection moulded parts, Conference Proceedings of Annual Meeting of PPS-15, 's Hertogenbosch, Maio 1999.
- 7- Pontes, A. J., Cardoso, I. B., Pantani, R., Pouzada, A. S., Assessment of ejection forces of deep injection mouldings, Conference Proceedings of Regional Meeting of PPS2000, Zlin, Agosto, 2000, p. 86.

(1) Departamento de Engenharia de Polímeros, Universidade do Minho

(2) Somoltec, SA

(3) Moliporex, Lda.

(4) Centimfe