

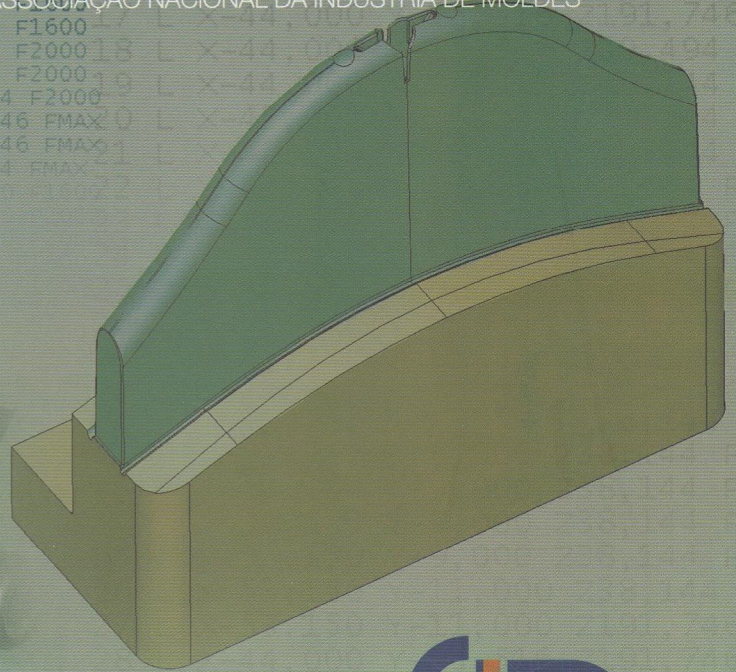
Molde

5 TCH CALL 1 Z S15000;(Fresa: Dia= 12,000 R.Canto= 0,500) S15000;(Fresa: 0
10 TCH PROBE 583 MEDICAO COMPRIMENTO~
Q350=0 ; TIPO DE MEDICAO ~
Q361=3 ; QUANTIDADE DE MEDICOES ~
Q362=0.01 ; VARIACAO ADMITIDA ~
Q359=+0 ; CORR. ADITIVA COMPR.
11 CYCL DEF 32.0 TOLERANCIA
12 CYCL DEF 32.1 T0.005
13 M03
14 M38
15 M14
16 L X 4,000 Y 0 R0 00 M07
17 L X 4,000 Y 5,51 L9 46 FM
18 L X 4,000 Y 5,51 L9 46 FM
19 L X 4,000 Y 5,51 L9 46 FM
20 L X 42,000 Y -15,516 Z38,144 F2000
21 L X 42,000 Y -10,516 Z38,144 F2000
22 L X 42,900 Y -9,000 Z38,144 F1600
23 L X 48,150 Y -9,000 Z38,144 F2000
24 L X 53,150 Y -9,000 Z38,144 F2000
25 L X 53,150 Y -11,000 Z191,746 FMAX
26 L X 53,150 Y -11,000 Z38,144 F2000
27 L X 53,150 Y -11,000 Z191,746 FMAX
28 L X 44,000 Y -15,516 Z191,746 FMAX
29 L X 44,000 Y -15,516 Z39,144 FMAX

no 20 - N.º 79 - SETEMBRO 2008

REVISTA DA CEFAMOL ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE MOLDES

4.50 euros



CIM
IX congresso
indústria de moldes
30 e 31 de Outubro 2008



2008
Moldes Portugal
MOULDS EVENT

27 a 31 de Outubro October

A Indústria Portuguesa
de Moldes e os Pólos de Competitividade

Materiais Avançados para Moldes
Material Selection for High Performance Moulds

Moldação por Injecção de Polímeros Incompatíveis
Injection moulding of incompatible polymers

Moldação por Injecção de Polímeros Incompatíveis

Injection Moulding of Incompatible Polymers

M. GOMES, J.C. VIANA, A.J. PONTES*

RESUMO | Neste artigo, foi estudada a moldação por injecção de polímeros incompatíveis. Para tal foram usadas duas técnicas de moldação multi-material, sobre-injecção e co-injecção mono-sandwich. Estudou-se o efeito das condições de processamento e do uso de aditivos compatibilizadores na adesão de polímeros moldados. O estudo mostra que, para a técnica de sobre-injecção, mudando as condições de processamento, tais como as temperaturas do fundido e do molde, é possível aumentar a adesão entre os dois polímeros. Para a co-injecção mono-sandwich, a incorporação de pequenas quantidades de um agente compatibilizador, tais como nanoargilas e SEBS (estireno-etileno-butadieno-estireno), aumentam a adesão entre polímeros. As nanoargilas são mais eficientes para temperaturas do fundido mais baixas, enquanto SEBS melhora a adesão a temperaturas mais altas.

Palavras-chave: adesão, polímeros incompatíveis, co-injecção, sobre-injecção, condições de processamento

ABSTRACT | In this paper the moulding of incompatible polymers is studied. Two different multi-material techniques were used: overmoulding and mono-sandwich. The effect of processing conditions and the use of compatibilization additives were investigated. The study shows that, for the overmoulding technique, changing processing conditions, like melt temperature and mould temperature, increases the adhesion between two polymers. For mono-sandwich processing, the incorporation of low amounts of compatibilizers, such as nanoclays and Styrene-Ethylene-Butadiene-Styrene copolymer, SEBS, improves the adhesion at lower and higher polymer melt temperatures, respectively.

Keywords: adhesion, incompatible polymers, co-injection, overmoulding, processing conditions

INTRODUÇÃO

Recentemente temos assistido ao aparecimento de uma grande variedade de processos de moldação de polímeros que envolvem a injecção multi-material. Estas técnicas permitem uma redução significativa das operações de montagem, no tempo de produção e nos custos. Também se verifica um aumento da qualidade do produto moldado sem que para isso haja um aumento no custo, havendo mesmo por vezes até uma redução.

Duas das principais técnicas de moldação multi-material são a co-injecção e a sobre-injecção. A co-injecção consiste no fluxo simultâneo de dois materiais termoplástico, onde um dos materiais encapsula o outro. Para tal são usadas duas unidades de injecção (na moldação por sandwich) ou uma extrusora e uma unidade de injecção (na moldação por mono-sandwich) e um só bico de injecção. Ambos os polímeros fluem juntos para dentro do molde, um externamente (casca) e outro no interior (núcleo) mantendo esta configuração ao longo do enchimento. A sobre-injecção é uma técnica de moldação por injecção não convencional na qual dois ou mais polímeros são introduzidos sequencialmente no molde com um determinado intervalo de tempo [1].

A adesão entre os polímeros assim como as condições de processamento constituem dois dos principais factores na formação da interface entre dois polímeros moldados por injecção multi-material. Costalas e Krauss [2] observaram que havia um aumento da adesão entre os polímeros com o aumento da temperatura do polímero de inserto em amostras obtidas por sobre-injecção. A sua análise por microscopia das moldações mostraram que, para uma temperatura do inserto elevada, não é visível nenhuma linha de união entre os dois materiais, mas que por outro lado, esta linha é visível em amostras processadas a baixas temperaturas do inserto. Dijkstra et al. [3] investigaram a influência da temperatura da superfície de contacto entre os polímeros na adesão de amostras moldadas por injecção multi-material. Observaram que aumentando desta temperatura, o nível de adesão também aumentava.

No que diz respeito à medição da adesão, existem mais de 350 testes [4]. A

INTRODUCTION

Recently, we have been witnessing the appearance of a great number of moulding processes of polymers involving multi-material injection moulding. These techniques allow a significant reduction in assembly operations, manufacturing time and costs. Also, there is an increase in product quality without increasing production costs, and sometimes even decreasing it.

Two of the main multi-material techniques are co-injection and overmoulding. Co-injection involves the simultaneous flow of two thermoplastic materials, where one material encapsulates the other. This is accomplished with the use of two separate injection units (in sandwich injection moulding) or an extruder and an injection unit (in mono-sandwich injection moulding), and a single injection nozzle. Both materials flow together into the mould as skin and core and maintain this configuration throughout the injection phase. Overmoulding is a non-conventional injection moulding method in which two or more polymers are introduced sequentially, with a time lag, into the mould [1].

The material adhesion as well as the processing conditions constitutes two of the main factors in establishing the interfacial interaction in a multi-material injection moulded part. Costalas and Krauss [2] observed that the adhesion between polymers increased with the insert temperature, in overmoulded samples. The microscopic analysis of the moulded samples showed that, for a high insert temperature, there is no visible boundary line between materials; on the other hand, this line is visible in samples with lower insert temperature. Dijkstra et al. [3] investigated the influence of surface temperature on adhesion of two-component injection moulded samples. They observed that increasing contact temperature, the degree of adhesion also increases.

When it comes to measure the adhesion between materials, there are more than 350 adhesion tests listed [4]. The structure of the sample and the materials system been investigated are the main selection criteria

estrutura da amostra bem como o sistema de materiais a ser investigado são os principais critérios na selecção do teste mais adequado. A resistência das zonas aderentes está dependente da energia total que é necessário fornecer até que ocorra ruptura, o que justifica a utilização de testes mecânicos para a quantificação de adesão [5].

Neste trabalho foi investigada a adesão entre polímeros incompatíveis moldados por duas técnicas de moldação por injeção multi-material; sobre-injecção e co-injecção (mono-sandwich). Nestes casos de estudo foram usados sistemas de polímeros diferentes, respectivamente; Polipropileno (PP) e Policarbonato-ABS; e PP e poliestireno (PS). Em ambos os casos, foram usados testes mecânicos para medir a tensão de corte na interface entre os dois polímeros, assim permitindo inferir acerca da adesão entre eles.

EXPERIMENTAL

Materials

Os polímeros usados encontram-se listados na Tabela 1. O PP é um Moplen HP548T, da Basell; o PC/ABS é um Cycloy C2800, da GE Plastics; e o PS de uso genérico Styron da Dow Europe. Estes sistemas de materiais foram seleccionados devido ao seu grande consumo, vasta utilização na indústria automóvel e pela sua incompatibilidade. Os compatibilizadores seleccionados para este estudo foram o copolímero de blocos SEBS (Kraton FG1901X, da Kraton Polymers), e uma nanoargila (NanoMax, da Nanocor).

TABELA TABLE 1

Materials usados neste estudo *Materials used in this study.*

Técnica multi-material <i>Multi-material technique</i>	Polímero I <i>Polymer I</i>	Polímero II <i>Polymer II</i>	Compatibilizadores <i>Compatibilizers</i>
Sobre-injecção <i>Overmoulding</i>	PP	PC/ABS	-
Co-injecção mono-sandwich <i>Mono-sandwich</i>	PP	PS	Nanoargila <i>Nanoclay</i> ; SEBS

Moldação por Injecção Multi-Material

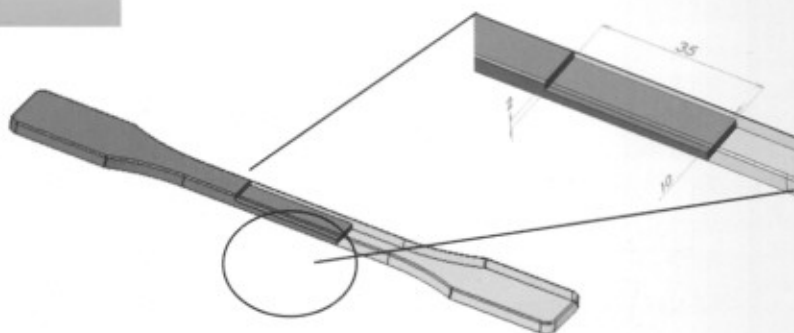
Sobre-injecção

A geometria das amostras moldadas por sobre-injecção encontra-se ilustrada na Figura 1. A máquina de injeção Krauss Maffei KM60-210A foi usada para produzir as peças por sobre-injecção. Numa primeira etapa o PP foi injectado a três temperaturas de injeção de 210, 230 e 250 °C, para depois ser usado como inserto na injeção do PC/ABS. Antes da moldação, o PC/ABS foi seco numa estufa durante 4h a 80 °C, para eliminar eventual humidade. A injeção do segundo material seguiu uma matriz fr Taguchi L8 (planeamento de experiências - DOE) implementada para investigar a influência das variáveis de processamento na adesão dos materiais.

FIGURA PICTURE 1

Geometria das amostras usadas na moldação por sobre-injecção

Geometry of the samples used in overmoulding injection moulding



for the adequate test. The reliability of the adherent zones is dependent upon the total energy that needs to be supplied until failure occurs, thus justifying the use of mechanical tests for adhesion quantification [5].

In this work, the adhesion of incompatible polymers moulded by two multi-material injection moulding techniques is investigated. These are overmoulding and co-injection moulding (mono-sandwich). In these two case studies different polymer systems are used, respectively; polypropylene (PP) and Polycarbonate-ABS blend; and PP and polystyrene (PS). Mechanical tests were carried out in both cases to measure the shear stress at the two polymers interface, thus allowing inferring about the adhesion.

EXPERIMENTAL

Materials

The materials used are presented in Table 1. The polypropylene is a Moplen HP548T, from Basell; the PC/ABS blend is a Cycloy C2800, from GE Plastics; and the general purpose PS is Styron, from Dow Europe. These material systems were selected due to their high consumption, wide use in automotive industry and their incompatibility. The compatibilizers selected for this study were a SEBS block copolymer (Kraton FG1901X, from Kraton Polymers), and a nanoclay (montmorillonite) based masterbatch (NanoMax, from Nanocor).

Multi-material Injection Moulding

Overmoulding

The geometry of the overmoulded samples is shown in Figure 1. A Krauss Maffei KM60-210A injection moulding machine was used to produce the overmoulded parts. In a first stage, PP was injected at three injection temperatures (210, 230 and 250 °C) to be later used as an insert for the PC/ABS injection. Prior injection, PC/ABS blend was dried in a woven during 4h at 80°C in order to eliminate possible moisture. The injection of the second material (PC/ABS) followed a L8 Taguchi array (design of experiments - DOE) implemented to investigate the influence of processing variables in the adhesion of both materials.

As principais variáveis de interesse seleccionadas foram a temperatura de fundido (T_f) e do molde (T_m), a velocidade de injeção (V_{inj}) e a pressão de manutenção (Ph). A Tabela 2 mostra a matriz Taguchi utilizada e os respectivos valores das variáveis.

The main variables of interest were: the melt (T_f) and mould temperatures (T_m), the injection velocity (V_{inj}) and the holding pressure (Ph). Table 2 shows the Taguchi matrix used with the values of the input variables.

TABELA TABLE 2

Planeamento de experiências para a sobre-injeção do PC/ABS (T_f – temperatura do fundido; T_m – temperatura do molde; V_{inj} – velocidade de injeção (% da valor máximo da máquina); Ph – pressão de manutenção no fundido)

Design of experiments for PC/ABS overmoulding (T_f – melt temperature; T_m – mould temperature; V_{inj} – injection velocity (% of maximum machine value); Ph – melt material holding pressure)

Exp.	T_f (°C)	T_m (°C)	V_{inj} (%)	Ph (MPa)
E1	230	50	20	50
E2	230	50	40	75
E3	230	70	20	75
E4	230	70	40	50
E5	270	50	20	75
E6	270	50	40	50
E7	270	70	20	50
E8	270	70	40	75

Co-injeção

As placas com as dimensões 150x40x2 foram moldadas através de um ataque em filme, utilizando para isso uma máquina de moldação por injeção bi-material Ferromatik K85. O PP é o material do núcleo e o PS o da casca. Foram usadas três diferentes composições dos sistemas poliméricos: PP/PS; PP+SEBS (10%wt)/PS e PP+ nanoargila (6%wt)/ PS. O SEBS foi misturado com o PP usando uma extrusora de duplo-fuso Carvex, a 60 rpm e um intervalo de temperaturas entre 170-210°C. A nanoargila foi mistura com o PP mecanicamente. Estes materiais foram moldados a três temperaturas do material do núcleo de 210, 230 e 250 °C. A Tabela 3 apresenta as composições dos materiais e as temperaturas do material do núcleo utilizadas. Estudos anteriores dos autores sugerem que o melhor rácio de PP/PS é 45/55, já que assim se consegue a melhor distribuição do material do núcleo dentro do material da casca. Também se verifica que a velocidade de injeção não tem um efeito significativo nesta distribuição, tendo sido considerado um valor constante de 40% do valor máximo da máquina.

As placas rectangulares co-injectadas foram cortadas a laser com a forma de provetes de tracção (Figura 2) para testes mecânicos com as dimensões máximas de 100x16mm. As amostras foram cortadas de forma a que toda a zona do pescoço do provete fosse constituída por material da casca e do núcleo. Num dos lados da zona de amarra havia apenas material da casca, e no outro, a casca foi separada do núcleo permitindo amarrar apenas material do núcleo (ver Figura 3).

Co-injection

A two-component injection moulding machine, Ferromatik K85, was used to co-inject plaques with dimensions of 150x40x2 mm through a film gate. PP is the core material and the skin is PS. Three different blend compositions were studied: PP/PS; PP+SEBS(10%wt)/PS and PP+nano clay (6%wt)/PS. SEBS block copolymer was blended with PP using a Carvex twin extruder, at 60 rpm and temperature range of 170-210 °C. Nanoclay was blended with PP by mechanical mixing. These materials were moulded at three melt temperatures of the core material of 210, 230 and 250 °C. Table 3 presents the materials composition and core material temperatures used. Previous author's simulations studies suggested that the best material ratio for PP/PS is 45/55, as this gives the best distribution of the core material inside the skin. Also, it was observed that the injection velocity doesn't have a significant effect on this distribution, being considered a constant value of 40% the machine maximum.

The injected rectangular plates were laser cut into dog-bone shape tensile specimens (Figure 2) for mechanical testing, with maximum dimensions of 100x16mm. The samples were cut in a way that the entire specimen neck area would be constituted by skin and core material. In one side of the gripping area there was only skin material, and in the other side, skin was detached from core allowing the gripping of just core material.

TABELA TABLE 3

Condições de processamento para a co-injeção
Co-injection moulding conditions

Composição Composition	Temperatura do material do núcleo Core Material Temperature (°C)
PP/PS	210
PP/PS	230
PP/PS	250
PP+SEBS/PS	210
PP+SEBS/PS	230
PP+SEBS/PS	250
PP+nano clay/PS	210
PP+nano clay/PS	230
PP+nano clay/PS	250

FIGURA PICTURE 2

Preparação das amostras para testes mecânicos.
Dimensões máximas da amostra 100x16mm
Sample preparation for mechanical test.
Maximum sample dimensions 100x16mm

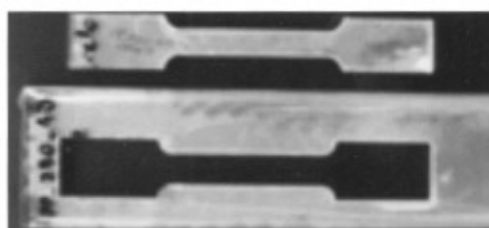
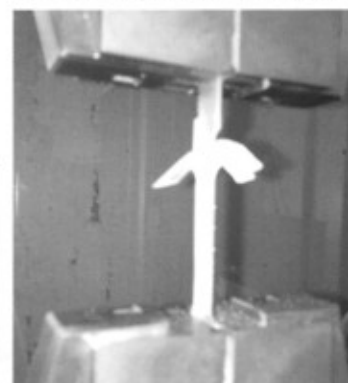


FIGURA PICTURE 3

Mechanical test for co-injected samples
Teste mecânico para amostras co-injectadas



Testes mecânicos – adesão

As amostras sobre-injectadas foram testadas numa máquina de tracção Zwick Roell Z05, a uma velocidade de 5 mm/min e à temperatura ambiente (23 °C). Os testes foram repetidos 5 vezes para cada condição. Foi determinada a máxima tensão de corte que é necessário aplicar para separar a amostra. Apesar de não haver na literatura testes normalizados para medir a adesão em amostras sobre-injectadas, a metodologia adoptada fornece uma ideia acerca da adesão entre os dois materiais, e acima de tudo, acerca da influência dos parâmetros de processamento na adesão entre polímeros moldados.

As amostras co-injectadas foram também testadas na mesma máquina Zwick Roell Z05 a uma velocidade de 3 mm/min e à temperatura ambiente. Cada um dos polímeros foi apertado em amarras opostas conforme a Figura 3. Os testes foram repetidos 3 vezes para cada condição. Foi medida a tensão de corte máxima que é necessário aplicar para separar os materiais do núcleo e da casca. Mais uma vez se refere que este não é um teste normalizado, mas é bastante útil para avaliar a adesão entre os dois polímeros, e acima de tudo, acerca da influência das condições de processamento e da incorporação de aditivos, na adesão entre polímeros moldados.

Os dados mecânicos foram tratados estatisticamente pela Análise de Variância (ANOVA).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Amostras sobre-injectadas

As curvas representativas da tensão de corte-deformação para todas as amostras sobre-injectadas segundo a matriz do DOE (Tabela 2), encontram-se apresentadas na Figura 4. A temperatura de injeção do material do inserto (PP) parece ter um efeito na tensão de corte e, assim, na adesão entre os polímeros. As experiências 5, 6 e 8 apresentam os valores mais elevados da tensão de corte, todas partilhando a temperatura de fundido mais elevada para o polímero sobre-injectado.

Mechanical tests - adhesion

The overmoulded specimens were tested in a Zwick Roell Z05 tensile machine at a crosshead velocity of 5 mm/min and at room temperature (23 °C). The tests were repeated 5 times for each moulding condition. The maximum interfacial stress needed to be applied to debond the specimens was assessed. Although there are no standard adhesion tests described in literature for overmoulded samples, this methodology gives an idea about the adhesion between the two polymers, and most of all, about the influence of the processing parameters on the adhesion of moulded polymers.

The co-injected samples were also tested in the same Zwick Roell Z05 at a crosshead speed of 3 mm/min at room temperature. Each polymer was clamped in opposed grips as depicted in Figure 3. The tests were repeated 3 times for each condition. The maximum interfacial stress needed to be applied to debond the core from the skin materials was measured. Again, this is not a standard test, but it is very useful to evaluate the adhesion between the two polymers, and most of all, about the influence of the processing conditions and of the incorporation of additives on the adhesion between moulded polymers.

The mechanical data (maximum shear interfacial stress) were treated by an Analysis of Variance (ANOVA) approach.

RESULTS AND DISCUSSION

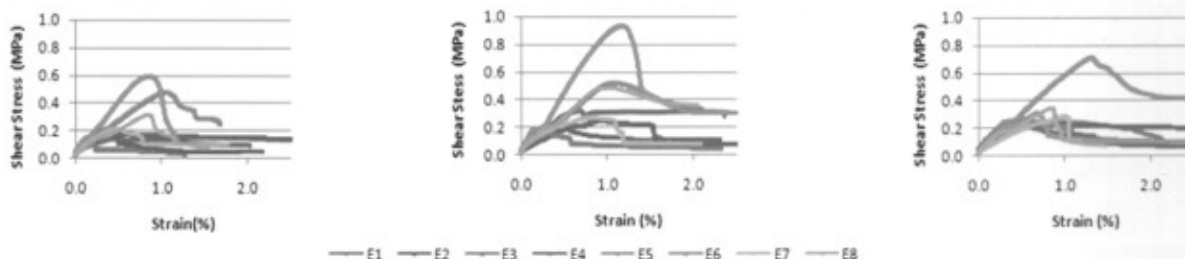
Overmoulded samples

Representative shear stress-strain curves for the overmoulding experiments according to the DOE matrix (Table 2) are shown in Figure 4. The injection temperature of the insert polymer (PP) appears to have an effect on the interfacial stress and thus on the polymer adhesion. Experiments 5, 6 and 8 present the highest shear stress levels, all sharing the highest melt temperature of the over-injected polymer.

FIGURA PICTURE 4

Curvas tensão de corte-deformação para cada experiência (ver Tabela 2) e cada temperatura do material do núcleo.

Shear stress-strain curves for each experiment (see Table 2) at each core material temperature of: a) 210°C, b) 230 °C and c) 250 °C /



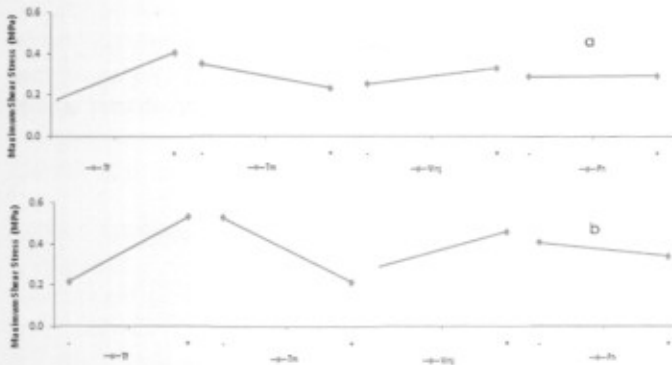
A Figura 5 mostra o efeito das variáveis de processamento na tensão de corte, para cada temperatura de injeção do polímero do inserto. Para todas as temperaturas, a tensão de corte aumenta com a temperatura de fundido e diminui com a do molde. Para uma temperatura de 230 °C, a tensão de corte diminui com a velocidade de injeção e aumenta com a pressão de manutenção. Já para as outras temperaturas, a tensão de corte aumenta ligeiramente com V_{inj} e é independente de Ph .

A Figura 6 evidencia as percentagens de contribuição das variáveis de processamento na tensão de corte máxima. Para a temperatura de 210 °C do inserto de PP, o parâmetro mais significativo para a tensão de corte é a

Figure 5 displays the effect of the processing variables on the shear stress, for each melt temperature of the inserted polymer. At all temperatures, the shear stress increases with the melt temperature and decreases with the mould temperature. For a temperature of 230 °C, the shear stress decreases with the injection flow rate and it increases with the holding pressure; while for the other temperatures it slightly increases with V_{inj} and it is independent upon Ph .

Figure 6 shows the percentage of contribution of the processing variables for the maximum shear stress. For the 210°C temperature of the inserted PP, the most significant parameter affecting the shear stress

temperatura do fundido do PC/ABS, T_f. Para a temperatura de 230 °C, tanto a temperatura do fundido como a do molde têm iguais contribuições. Para a temperatura de 250 °C, a T_f tem a maior influência, seguida por um reduzido efeito da pressão de manutenção.



Da análise das Figuras 4, 5 e 6 verifica-se que a adesão é maximizada para uma temperatura do inserto de PP de 230 °C, uma elevada temperatura de fundido do polímero sobre-injectado e uma reduzida temperatura do molde. Isto deve-se provavelmente, ao facto de com uma temperatura de fundido mais alta ocorrer soldadura por fusão, e como o molde está a uma temperatura mais baixa, o arrefecimento é mais rápido mantendo assim esta configuração. Por outro lado, para temperaturas elevadas, o fundido reproduz melhor a superfície do outro material (replicação), melhorando a área de contacto.

FIGURA PICTURE 6

Percentagem das contribuições de cada parâmetro de injeção na tensão de corte máxima

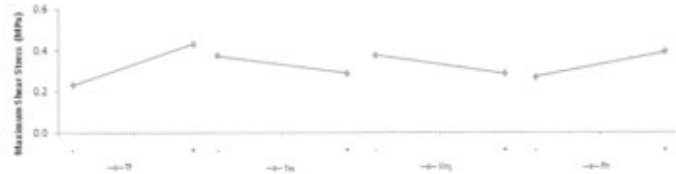
Percentage contribution of each moulding parameter for the maximum shear stress

■ T_f ■ T_m ■ V ■ P₂

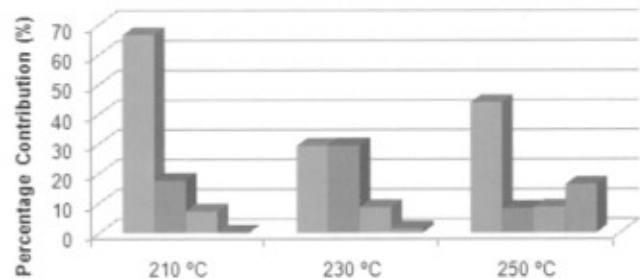
FIGURA PICTURE 5

Efeitos dos parâmetros de injeção na máxima tensão de corte para as temperaturas do núcleo de a) 210°C, b) 230 °C e c) 250 °C

Effects of the injection moulding parameters on the maximum shear stress for core temperatures of a) 210°C b) 230 °C and c) 250 °C



The analysis of Figures 4, 5 and 6 show that the adhesion is maximized for a temperature of the PP insert of 230°C, a high melt temperature of the overmoulded polymer and a low mould temperature. This is probably due to the fact that with a higher melt temperature occurs welding (though interfacial diffusion) by melting. Also at higher temperatures the melt reproduces better the other material surface (replication), improving contact area.



Amostras co-injectadas

As curvas representativas de tensão de corte-deformação para as amostras co-injectadas (Tabela 3) estão representadas na Figura 7. Como seria de esperar, a temperatura do polímero do núcleo tem um efeito nos valores de tensão de corte na interface entre os dois polímeros. Além disso, a utilização de agentes compatibilizadores tem uma grande influência na referida tensão de corte, especialmente para o caso do SEBS.

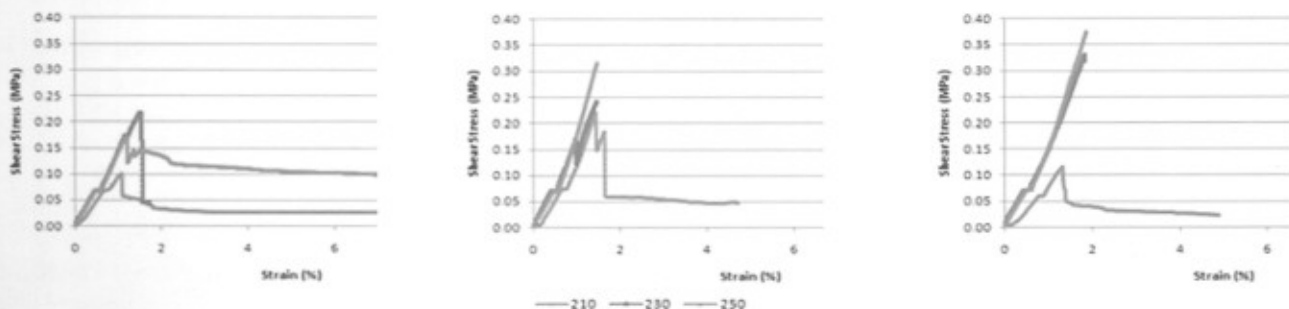
Co-injected samples

The representative shear stress-strain curves for the co-injected experiments (Table 3) are shown in Figure 7. As expected, the temperature of the core polymer has an effect on the shear stress level. Furthermore, the use of additives has a marked influence on the sustained shear stress level, especially for the case of incorporation of SEBS.

FIGURA PICTURE 7

Curvas de tensão de corte -deformação para cada sistema de materiais: a) PP/PS, b) PP+nanoargila/PS e c) PP+SEBS/PS; para cada temperatura de injeção do polímero do núcleo

Shear stress-strain curves for each material system compositions: a) PP/PS, b) PP+nanoargila/PS and c) PP+SEBS/PS; for each core material injection temperature



A Figura 8 mostra a variação da tensão de corte máxima com a temperatura do material do núcleo, e com o tipo de compatibilizador. Para as composições de PP/PS e PP+SEBS/PS, a tensão de corte máxima aumenta com a temperatura do polímero do núcleo. As amostras de PP+nanoargila/PS são menos sensíveis a variações na temperatura de injeção do polímero do núcleo. A temperaturas baixas (210 °C), a incorporação de nanoargilas resulta num maior incremento da tensão de corte máxima. Contrariamente, o uso de SEBS aumenta a máxima tensão de corte a altas temperaturas. Para todas as temperaturas, a adição de compatibilizador (nanoargilas ou SEBS) aumenta a tensão máxima de corte.

FIGURA PICTURE 8

Tensão de corte máxima para cada composição dos sistemas de materiais e temperaturas do material do núcleo.

Maximum shear stress for each material system composition and core material temperature

■ PP/PS ■ PP+Nanoclay/PS ■ PP+SEBS/PS

CONCLUSÕES

O interesse pela moldação por injeção multi-material tem vindo a aumentar nos últimos anos e alguns melhoramentos ao processo foram alcançados de forma a fornecer soluções únicas neste campo. Este estudo investigou a adesão entre polímeros incompatíveis em moldação por injeção multi-material sob condições típicas de processamento. Verificou-se que, na sobre-injeção, a temperatura de fundido do polímero de inserto tem um efeito na adesão entre ambos os polímeros. Por outro lado, as condições de processamento do polímero sobre-injectado têm também um efeito importante na adesão entre os polímeros. Estas incluem a temperatura do fundido e a do molde, como factores mais relevantes. O primeiro tem um efeito positivo mais elevado, já o segundo, tem um efeito negativo. Para a co-injeção mono-sandwich, a temperatura do polímero do núcleo influencia a adesão entre ambos os polímeros. Quanto mais alta é esta temperatura, mais elevada é a adesão entre os polímeros incompatíveis. Este efeito não é tão patente para as amostras em que foram adicionadas as nanoargilas. O SEBS e as nanoargilas provaram ser bons compatibilizadores para o PP e o PS. Finalmente, mostrou-se que a adesão entre o PP e o PS melhora com a incorporação de nanoargilas a baixas temperaturas de injeção, ou com a adição de SEBS a altas temperaturas de injeção.

REFERÊNCIAS REFERENCES

- [1] V. Goodship, J.C. Love, Multi-material Injection Moulding, Rapra Review Reports, 2002 / [2] E. Costalas, H. Krauss, Kunststoffe Plast Europe, 85 (1995) 11, 1887-1891
[3] K. Dijkstra, G. Vlogman, A. Magalhães, Kunststoffe Plast Europe, 88 (1998) 3, 348-352 / [4] K.L.Mittal, Adhesion measurements of films and coatings, VPS, Utrecht, 1995 / [5] S. Kisin, Adhesion changes at metal-polymer interfaces, 2007, Technical University of Eindhoven.

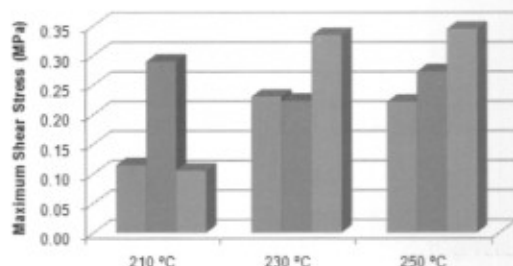
AGRADECIMENTOS ACKNOWLEDGEMENTS

Os autores agradecem ao Domenico e à Madalena (estudantes de Erasmus) a ajuda no trabalho experimental.

The authors acknowledge Domenico and Madalena (Erasmus students) for helping with the experimental work.

* IPC - Instituto de Polímeros e Compósitos, Universidade do Minho / Institute for Polymers and Composites, University of Minho
I3N, Institute of Nanostructures, Nanomodelling and Nanofabrication

Figure 8 shows the variations of the maximum shear stress with core material temperature and compatibilizer type. For PP/PS and PP+SEBS/PS compositions, the maximum shear stress increases with core polymer temperature. The PP+nanoargila/PS samples are less sensitive to variations on the injection temperature of the core polymer. At low temperature (210 °C), the incorporation of nanoclays leads to a higher increment on the maximum shear stress. Conversely, the use of SEBS improves the maximum sustained shear stress for the highest melt temperatures. For all the temperatures, adding a compatibilizer (nanoclay or SEBS) improves the maximum shear stress.



CONCLUSIONS

The interest in multi-material injection moulding has been increasing in the last years and novel improvements of the process have been achieved to provide unique solutions in this field. This study investigated the adhesion of incompatible materials in multi-material injection moulding under typical processing conditions. It revealed that, for the overmoulding injection, the melt temperature of the first material has an effect in the adhesion of both materials. In addition, the processing conditions for the second injected polymer have also an effect in the adhesion. These include the melt and mould temperatures, as the most relevant factors. The former has a higher and positive effect in the polymers adhesion, whereas the latter has a negative effect. For mono-sandwich injection moulding, the core polymer temperature has an effect on adhesion. The higher the temperature, the higher is the adhesion between two incompatible polymers. This effect is not so evident for the samples where the nanoclay was incorporated. SEBS and Nanoclay proved to be good compatibilizers for PP and PS. Finally, it has been shown that the adhesion between PP and PS is improved by the incorporation of nanoclays at low injection temperatures or by adding SEBS at high melt temperatures.

AMPCO METAL YOUR SOLUTION PROVIDER

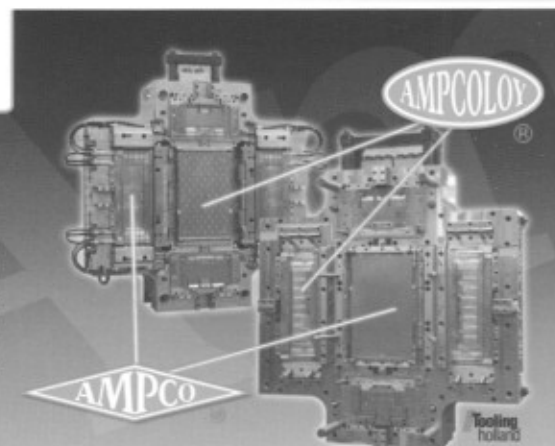
"Seu fornecedor com soluções flexíveis e tecnicamente mais adaptadas às suas aplicações."



Contactos:

Ampco Metal Portugal, Lda.
Via Central de Milheirós, 360
4475-330 MILHEIRÓS

Telef.: 22 978 30 80
Fax: 22 978 09 12
E-mail: geral@ampcometal.com



www.ampcometal.com