

CONEM 2016
CONGRESSO NACIONAL DE
ENGENHARIA MECÂNICA

21-25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

ESTUDO DA GEOMETRIA PARA ANÁLISE DE ADESÃO DE SISTEMAS MULTICOMPONENTE

Luciano Pisanu, luciano.pisanu@fieb.org.br¹
Marcio Luis Ferreira Nascimento, mlfn@ufba.br¹
Josiane Dantas Viana Barbosa, josianedantas@fieb.org.br²
Valter Estevão Beal, valtereb@fieb.org.br²
Erick Costa de Sousa, erickcostas@hotmail.com²
Alexandro Quirino da Silva, alexandro@fieb.org.br²
Paulo Vitor Pereira Massaranduba, vitor.massaranduba@outlook.com²

¹Universidade Federal da Bahia – UFBA, Campus de Ondina, Salvador – BA

²SENAI Cimatec, Av. Orlando Gomes, 1845 – Piatã. 41650-010 Salvador – BA – Brasil

Resumo: O processo de injeção multicomponente vem ganhando espaço no cenário industrial por viabilizar a união de diferentes materiais em um único processo, permitindo a criação de peças com um design arrojado, tempo de fabricação reduzido e maior valor agregado. No entanto um dos maiores desafios desta tecnologia é o processo de união que ocorre entre os materiais que na sua maioria tem propriedades distintas. Este trabalho tem como objetivo e avaliar a força de adesão entre materiais poliméricos obtidos pelo processo de injeção por sobreposição (overmolding) e criar uma metodologia específica para avaliar a força de adesão entre polímeros. Inicialmente foi desenvolvido um molde, inspirado na ISO 527, com geometria que permite a injeção sobreposta de materiais. Verificou-se a força máxima de resistência a tração das amostras e, por meio de um dispositivo especialmente projetado, baseado na norma ASTM D 905-08, foi verificada a força de adesão entre eles. A geometria da ferramenta prevê a intersecção de 120 mm² (overlap) e é obtida no processo de dupla injeção com placa rotativa. As amostras ensaiadas foram montadas em um dispositivo especial usinado em aço com uma lacuna que propicia exercer uma força de tração contrária nas duas partes. Foi utilizada uma injetora multicomponente, e por meio de um controle pré-estabelecido nas variáveis do processo de injeção foram avaliados os corpos de prova injetados em polipropileno com diferentes temperaturas de processamento. O resultado do experimento validou a geometria do corpo de prova, possibilitando uma nova metodologia de análise de adesão de polímeros obtidos pelo processo de overmolding. Ao final foi possível observar que temperatura de injeção está diretamente correlacionada à força de adesão dos polímeros.

Palavras-chave: teste de adesão, polímeros, sobreinjeção, moldagem por injeção.

1. INTRODUÇÃO

O processo de injeção multicomponente vem ganhando espaço no cenário industrial por viabilizar a união de diferentes materiais com diferentes propriedades em um único produto. É uma tecnologia que está sendo largamente adotada pela indústria de transformação, pois permite elevado grau de automação sem etapas de montagem adicionais ou pós-processamento (Banerjee et al. 2007). Existe uma gama de processos multicomponente, sendo que, cada um pode ser utilizado de acordo com a complexibilidade e aplicação do material a ser produzido, bem como, o custo envolvido para a produção. São cinco os processos de injeção multicomponente mais conhecidos, sendo esses: Co-Injection, Sandwich molding, Bi-Injection, Overmolding e Multi-Shot molding (Gouker et al. 2006).

O procedimento conhecido como Overmolding, utilizado neste experimento é um processo complexo que utiliza moldes múltiplos para produzir uma peça multicomponente. O primeiro material é injetado num molde por meio de técnicas convencionais de moldagem de SMM (Single Material Molding) e, em seguida gira em torno do seu próprio eixo 180° e recebe o segundo material para se combinar com o primeiro (Gupta 2011). No entanto, a presença de um componente já moldado durante a segunda fase e, fases subsequentes de moldagem torna esta tecnologia diferente do processo de moldagem por injeção tradicional, como já foi dito, sendo assim muitas razões podem contribuir para

problemas de fabricação, estes motivos incluem incompatibilidade material, as interações entre os sistemas de refrigeração para as diferentes fases, a localização dos pontos de injeção, moldabilidade do polímero e problemas no sistema de ejeção (Banerjee et al. 2007).

Para que se obtenha uma boa adesão, devem ser conhecidas as ligações entre dois polímeros que pode ser considerada como uma soma de forças de origem mecânica, física e química que se sobrepõem e influenciam umas nas outras (Klemarczyk 2002). As forças de origem mecânica que são produzidas pela ancoragem da superfície em poros ou rugosidades existentes; forças de origem eletrostática, as quais se referem à diferença entre as eletronegatividades dos materiais, ocorrem através da transferência de elétrons. Na ligação química a adesão ocorre através de ligações primárias iônicas ou covalentes, e/ou por forças intermoleculares secundárias que se distinguem devido a energia de ligação entre as moléculas. O mecanismo de adesão por adsorção envolve forças que se desenvolvem entre os átomos nas duas superfícies. Os processos que controlam a adesão entre tipos similares de termoplásticos e sistemas homogêneos são explicados pela teoria da difusão, a qual admite que a adesão ocorra através do movimento livre de partículas em segmentos de cadeias de polímeros a nível molecular através da interface, que permite consequentemente uma absorção gradual entre as superfícies (Wool 2006).

Outro fator de fundamental importância para uma boa adesão entre polímeros acontece pela influência em cada uma das três etapas do processo de sobre injeção (plastificação, injeção propriamente dita e resfriamento), é chamada de variáveis de processo (Cavalheiro 2007; Ahrens et al. 2011). As variáveis de processo são configurações disponíveis na injetora que podem ser ajustadas de acordo com a preferência do operador para obter o resultado esperado, em cada uma das três etapas descritas anteriormente. Esses valores devem ser adequados e repetidos para que assim seja garantida a qualidade e repetitividade da peça.

Como meio de avaliar a força de adesão entre polímeros, este trabalho tem como objetivo criar uma metodologia específica, através de um dispositivo mecânico, que possa medir a força para separar as partes dos corpos na região de sobreposição dos materiais.

1. DESCRIÇÃO GERAL DO MÉTODO

Com o objetivo de analisar a força de adesão entre polímeros a metodologia proposta foi confeccionar corpos de prova sobre injetados e submetê-los a um ensaio de tração utilizando dispositivo proposto neste estudo. Desta forma, o experimento adota a seguinte metodologia: Seleção da matéria prima, programação dos parâmetros de injeção, moldagem dos corpos de prova, adaptação do corpo de prova ao dispositivo, elaboração do método para o teste mecânico e realização do ensaio de cisalhamento.

O desenvolvimento de um método de ensaio para verificar a força de adesão entre polímeros sobre injetados visa contribuir como uma ferramenta capaz de avaliar as propriedades mecânicas da união de dois materiais e pode ser aplicada na pesquisa de compatibilidade de materiais e aplicações industriais. Com os corpos de prova injetados, os mesmos foram submetidos ao ensaio de tração em máquina universal da marca EMIC e ensaiados com o auxílio do dispositivo que transfere toda a força de tração para a região de adesão.

Para o experimento em questão, alguns parâmetros do ensaio mecânico de tração foram adaptados ao ensaio de cisalhamento com o objetivo de encontrar resultados mais precisos. O ensaio em questão nos fornece a tensão de cisalhamento, força de cisalhamento e a deformação como resultado do deslocamento das faces.

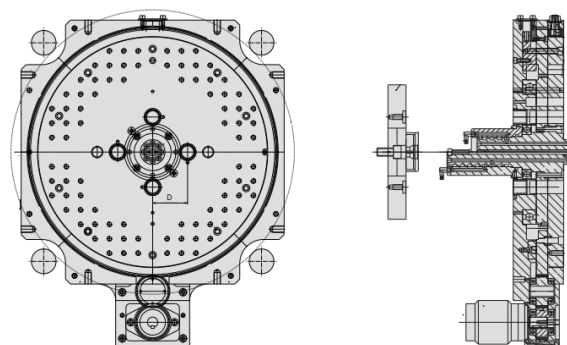
1.1. Injeção do Corpo de Prova

Para a moldagem do corpo de prova foi desenvolvido um molde com geometria baseada na ISO 527, corpo de prova Tipo 1, com dupla cavidade que permite obter corpos de prova sobre moldados. O polímero utilizado neste estudo foi o Polipropileno EP 440L da Braskem com fluidez média de 6g/10min, que devido a sua baixa afinidade química com outros materiais, citado por Wool (2006), apresenta dificuldade de adesão com outros polímeros. Através de um controle pré-estabelecido nas variáveis do processo de injeção listados na Tab. 1, foram obtidas amostras em duas condições de temperatura diferentes (TM 1 e TM 2) para ensaios de tração e cisalhamento em função da temperatura do moldado.

A confecção das amostras ocorreu em uma máquina injetora ARBURG Allrounder 70 utilizando duas unidades de injeção vertical e horizontal, com o auxílio de uma placa rotativa apresentada na Fig.1 obteve-se corpos de prova com uma intersecção de 120 mm² (overlap).

Tabela 1: Valores parametrizados da moldagem por injeção

	Unidade de injeção 1	Unidade de injeção 2
Pressão de injeção (bar)	1000	400/400/300 (3 etapas)
Vazão de injeção (cm ³ /s)	80	30/25/20 (3 etapas)
TM 1 (°C)	240	240
TM 2 (°C)	260	260
Tempo de resfriamento (s)	25	20



**Figura 1. Desenho da placa rotativa da máquina Arburg Allrounder 370S
(Fonte: Manual do Equipamento)**

A Fig. 2 apresenta o modelo do corpo de prova desenvolvido para testes de adesão de polímeros, onde a região de intersecção dos materiais pode ser ajustada para cada ensaio. Neste trabalho adotou-se uma região de sobreposição de 120mm².

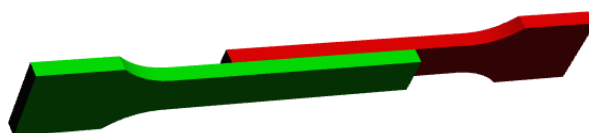


Figura 2. Modelo geométrico do corpo de prova sobre injetado.

1.2. Dispositivo para Ensaio de Adesão

Os métodos mais tradicionais para medir a resistência de união dos materiais estão baseado na ASTM D1876. Esta norma apresenta algumas variações para determinadas aplicações, são elas: Floating Roller or (without rollers) Moving Table; Floating Roller (115 degrees); Peel Wheel; 180 Degree Peel e “T” Peel. Ao avaliar todos os métodos apresentados, este trabalho se propõe a contribuir com uma nova geometria de corpo de prova de sobre injeção e a criação de um dispositivo que consegue aplicar a tensão de cisalhamento diretamente sobre a região soldada. Para a solução deste problema foi desenvolvido um dispositivo, baseado na norma ASTM D 905-08. Este modelo consiste num sistema que aloja em uma cavidade as partes sobre injetadas, e todo o conjunto é envolvido em um cofre que pode ser adaptado em máquina universal de ensaios para aplicação da carga. Este dispositivo transmite toda a força do ensaio de tração para a área de adesão entre os materiais, eliminando substancialmente os momentos fletores transversais, permitindo a análise de um resultado mais real com reduzido desvio padrão das medições. Para um melhor entendimento da proposta a Fig. 3(a) e Fig. 3(b) compara as forças que atuam no corpo de prova sem e com o dispositivo.

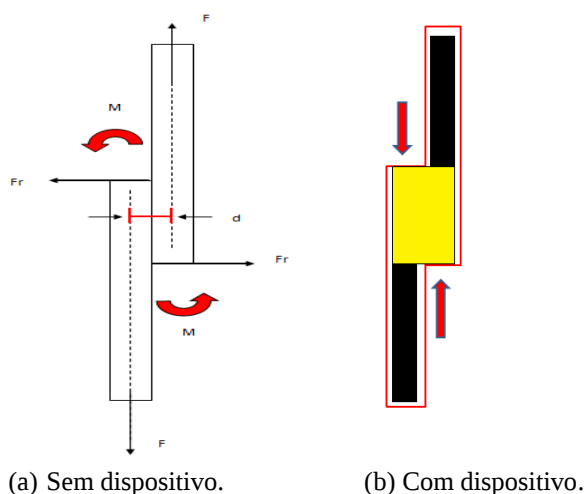


Figura 3. (a) Representação da força aplicada no corpo de prova sobre injetado sem dispositivo e (b) corpo de prova sobre injetado com dispositivo.

Como metodologia proposta os corpos de prova injetados foram levados à máquina de ensaios universal EMIC DL10000 para a aplicação da carga a uma taxa de 1mm/seg. Primeiramente foram ensaiados apenas as amostras obtidas na condição de TM1 sem o dispositivo apropriado para avaliar se ocorreria o deslocamento das faces soldadas, o que indicaria uma fraca adesão. Em seguida, foram ensaiadas, com o dispositivo apresentado na Fig.4, as amostras obtidas na condição TM1 e TM2.

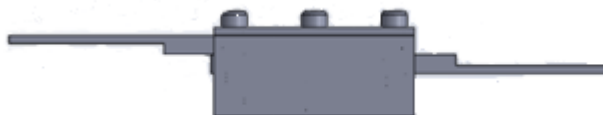


Figura 4. Desenho geométrico do dispositivo de ensaio

2. RESULTADOS

Analisando os resultados obtidos, a condição adotada para abrir o molde e promover o giro da placa foi semelhante ao adotado pela indústria, ou seja, aguardar o material estar completamente solidificado abaixo da temperatura de cristalização. Observando a Fig. 5 verificou-se que resultado para o ensaio de tração com a condição TM1 indicou que houve uma forte interação da camada sobre injetada com o polipropileno moldado na primeira fase. Partindo de uma análise mais detalhada do gráfico exposto pôde-se verificar que os corpos de prova obtiveram uma força máxima na tração antes do escoamento de aproximadamente 562 N.

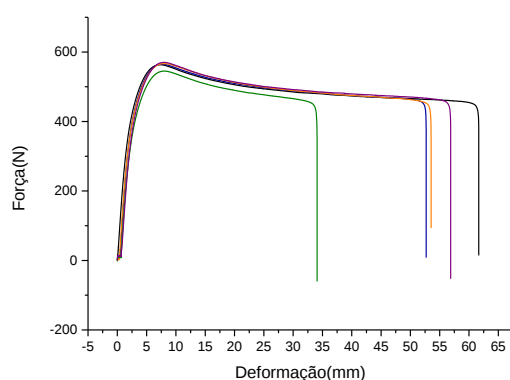


Figura 5. Gráfico da Força x deformação para condição TM1 sem dispositivo.

Este comportamento conduz a hipótese que a solda entre os materiais foi muito efetiva e o corpo de prova rompeu na região logo abaixo da união, onde a geometria do corpo de prova volta a ter menor espessura e concentrar maior tensão (Fig. 6) apresenta a região onde ocorreu o rompimento. Pode ser observado que a região de fratura ocorreu fora da área de sobre moldagem, evidenciando a forte adesão das duas partes sobre injetadas.



Figura 6. Corpos de prova rompidos durante o ensaio de tração

As amostras ensaiadas com o dispositivo estão apresentadas no gráfico da Fig. 7, onde por meio dos resultados obtidos anteriormente foi realizado uma redução da área de contato entre as partes do corpo de prova para poder aumentar as tensões sobre a superfície de adesão e retirar da parte útil de menor área. Foi constatado uniformidade nos resultados comparativos, direcionando as tensões para a região de estudo e obter os dados da real força de adesão. Este resultado indica que a geometria desenvolvida para o experimento e o dispositivo desenvolvido conseguem medir a força necessária para separar os corpos sobre injetados em diferentes condições de processo. Por meio do experimento foi possível verificar que a temperatura de moldagem TM1 apresentou uma força de adesão de $1468 \pm 23,8\text{N}$ e TM2 $1567 \pm 15,61$, o que levanta a hipótese que a temperatura do fundido tem influência direta na adesão de polímeros.

Outros autores em estudos de sobre moldagem também evidenciaram esta hipótese (Cavalheiro 2007; Patankar 2010). Diante disso, pretende-se em estudos futuros entender a morfologia dos corpos de prova estudados e verificar a microestrutura formada.

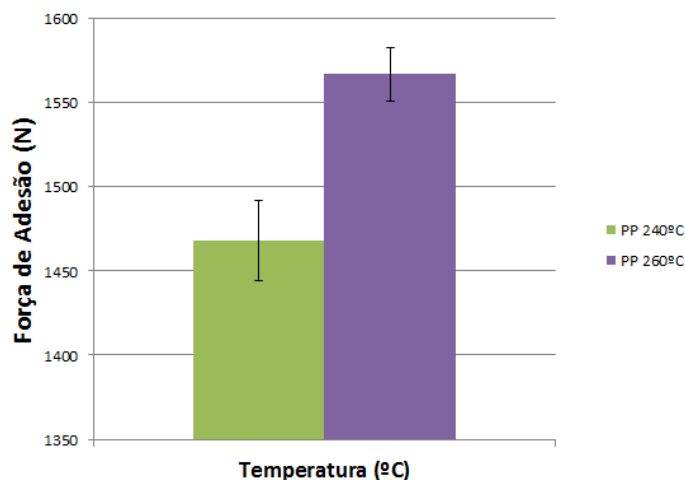


Figura 7. Resultados do ensaio de adesão com dispositivo

3. CONCLUSÃO

O estudo da adesão de polímeros obtidos por moldagem multicomponente é a ciência que apresenta oportunidades de inovação na área de união de materiais. A indústria de transformação vem adotando tecnologias modernas de combinação de material, porém acaba utilizando na maioria das vezes, matrizes poliméricas rígidas com cobertura elastômeros que possuem em geral boa adesividade.

O dispositivo proposto apresentou resultados favoráveis e poderá ser implementado como mais uma ferramenta de investigação sobre adesão de polímeros. Ficou evidenciado que a temperatura de moldagem afeta diretamente a força de adesão entre polímeros. Pesquisas mais investigativas se fazem necessário para entender qual o mecanismo predominante na união de polímeros de mesma base polimérica através da moldagem por injeção.

4. AGRADECIMENTOS

Agradecemos o SENAI CIMATEC e da Universidade Federal da Bahia, através do Programa de Pós Graduação em Engenharia Industrial - PEI.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahrens, Carlos Henrique, Gean Vitor Salmoria, Universidade Federal, and De Santa Catarina. 2011. "Aplicação Do Processo De Moldagem Por Injeção Sobre Insertos De Termoplástico (Sobreinjeção) Em Moldes De." *Manufacturing Engineering*.
- Banerjee, Ashis Gopal, Xuejun Li, Greg Fowler, and Satyandra K. Gupta. 2007. "Incorporating Manufacturability Considerations during Design of Injection Molded Multi-Material Objects." *Research in Engineering Design* 17: 207–31.
- Cavalheiro, Andrei Zwetsch. 2007. Universidade Federal de Santa Catarina "Propriedades De Peças De Paredes Espessas E Finas De Polipropileno Isotático Injetadas Em Moldes-Protótipo." UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA PROGRAMA.
- Gouker, Regina M., Satyandra K. Gupta, Hugh A. Bruck, and Tobias Holzschuh. 2006. "Manufacturing of Multi-Material Compliant Mechanisms Using Multi-Material Molding." *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 30(11-12): 1049–75.
- Gupta, Satyandra K. 2011. *Overview of In-Mold Assembly Research at the Advanced Manufacturing Lab*.
- Klemarczyk, Philip. 2002. *Adhesion Science and Engineering*. Elsevier B.V. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780444511409500196>.
- Patankar, Mukund Purushottam. 2010. "The Evaluation of the Effect of Processing Parameters on Adhesion Performance of Polyether Based TPU over Mold on to Polycarbonate Substrate, Master of Science Thesis."
- Wool, Richard P. 2006. "Adhesion at Polymer-Polymer Interfaces: A Rigidity Percolation Approach." *Comptes Rendus Chimie* 9(1 SPEC. ISS.): 25–44.

6. RESPONSABILIDADE AUTORAL

“Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho”.

STUDY GEOMETRY FOR ADHESION ANALYSIS OF MULTICOMPONENT SYSTEMS

Luciano Pisanu, luciano.pisanu@fieb.org.br¹

Marcio Luis Ferreira Nascimento, mlfn@ufba.br¹

Josiane Dantas Viana Barbosa, josianedantas@fieb.org.br²

Valter Estevão Beal, valtereb@fieb.org.br²

Erick Costa de Sousa, erickcostas@hotmail.com²

Alexandro Quirino da Silva, alexandro@fieb.org.br²

Paulo Vitor Pereira Massaranduba, vitor.massaranduba@outlook.com²

¹Universidade Federal da Bahia – UFBA, Campus de Ondina, Salvador – BA

²SENAI Cimatec, Av. Orlando Gomes, 1845 – Piatã. 41650-010 Salvador – BA – Brasil

Abstract. The multicomponent injection process is gaining visibility in the industrial scenario allowing the union of different materials in a single process, the creation of parts with a bold design, reduced manufacturing time and greater added value. However one of the biggest challenges of this technology is the process of union between the materials. As a means of assessing the strength of adhesion between polymer materials obtained by overlapping injection process, also known as overmolding, this study aims to create a specific methodology to evaluate the strength of adhesion between polymers. Using a template, inspired by ISO 527, with a geometry that allows the overlapped injection, the maximum tensile strength of samples were verified and through a specially designed device, based on the standard ASTM D 905-08, was verified the shear strength of adhesion between them. The geometry of the figure provides the intersection of 120 mm² in overlapped area, which is obtained in the double injection molding with the assistance of a rotating plate process. The samples were mounted on a special device machined with a gap that provides a counter pulling force in two parts. Through a pre-established control in the injection process variables, the specimens injected made with polypropylene using different processing temperatures were evaluated. The result of the experiment validated the geometry of the specimen, allowing a new membership analysis methodology for polymers obtained by overmolding process. The result of tests also showed that injection temperature is directly correlated to the polymer adhesion strength.

Keywords: adhesion test, polymers, encapsulation, injection molding.