OTIMIZAÇÃO VIA MÉTODO DE TAGUCHI DA MOLDAGEM POR INJEÇÃO DE POLÍMEROS: DIMINUIÇÃO DE TEMPO DE CICLO E ESTUDO DA INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES DE MOLDAGEM NO EMPENAMENTO DE PEÇAS

Rômulo Lacerda Zavatario Barros (PIBIC/CNPq), Benjamim de Melo Carvalho (Orientador), e-mail: bmcarval@hotmail.com.
Universidade Estadual de Ponta Grossa/Engenharia de Materiais.

Engenharia de materiais e metalurgia/ Engenharias

Palavras-chave: polipropileno, caracterização, tratamento estatístico

Resumo

A otimização do ciclo de moldagem por injeção deve levar em conta não só o tempo de ciclo, mas também a qualidade das peças produzidas. Assim, é extremamente importante compreender a influência de diferentes condições de moldagem nas propriedades das peças. Desse modo, podem-se escolher as condições que conciliam maior produtividade, mas conferindo propriedades adequadas. O empenamento de tais peças pode ser observado quando há, por exemplo, diferença de temperatura entre os moldes, de modo a acarretar tensões, as quais resultam em uma peça empenada e deformada, afetando negativamente a qualidade do polímero e por fim suas propriedades e aplicações. No presente trabalho, fora realizado um estudo estatístico com variação simultânea da velocidade de injeção e pressão de compactação, além da indução de gradientes térmicos entre os moldes, de modo a visualizar modificação de propriedades e principalmente se surgiria empenamento nas peças injetadas. Com isso foi possível observar, por meio de caracterização térmica e mecânica que o polipropileno não sofre grande variação nas suas propriedades com gradientes térmicos induzidos entre os moldes de até 15 ºC, sendo que o fator que mais influenciou na modificação das propriedades fora a variação da velocidade de injeção.

Introdução

A moldagem por injeção é, conjuntamente com a extrusão, o principal processo de produção de componentes plásticos. O custo de um produto produzido por tal processo está intimamente associado ao tempo de ciclo da moldagem. Entretanto, a otimização do ciclo de moldagem deve levar em conta não só o tempo de ciclo, mas também a qualidade das peças produzidas. Assim, é extremamente importante compreender a influência de diferentes condições de moldagem nas propriedades das peças. Desse modo, podem-se escolher as condições que conciliam maior produtividade, mas conferindo propriedades adequadas.

Observando esses aspectos relacionados com a otimização do processo, pode-se ressaltar para o seguinte trabalho a questão de condições as quais resultam em empenamento da peça polimérica, de modo que o estudo de tais condições se torna necessário para melhorias contínuas do processo e consequentemente do produto final. Essa observação vem a ser importante pelo fato já citado, o qual consiste na busca de ciclos de injeção curtos, mas que possibilitem qualidade na peça produzida, sendo essa qualidade encontrada em peças nas quais não sejam

identificados defeitos provenientes do processo de injeção. Dessa maneira, um dos defeitos que podem surgir pelo processo de injeção vem a ser o empenamento, o qual deve ser evitado para melhoria das peças injetadas.

O empenamento de tais peças pode ser observado quando há, por exemplo, diferença de temperatura entre os moldes, de modo a acarretar tensões, as quais resultam em uma peça empenada e deformada, afetando negativamente a qualidade do polímero e por fim suas propriedades e aplicações. Sendo assim, mais uma vez vale citar que o estudo vem a ser importante na diminuição dos defeitos provenientes da injeção, conhecendo as condições de empenamento a fim de evitá-las nos processos de produção de peças poliméricas injetadas.

Materiais e Métodos

O material utilizado na seguinte pesquisa fora o polipropileno H301 de média massa molar da empresa Braskem SA.

Injeção dos corpos de prova

Para a parte de injeção dos corpos de prova, foi utilizada a injetora de marca Boy 55M com condições de processo fixa, sendo elas: perfil de temperatura de 210ºC/202ºC/192ºC/172ºC, respectivamente do bico de injeção, zona 4(temperatura do fundido), zona 2 e zona 1; velocidade do parafuso de 100 rpm; pressão de 900 bar; tempo de aplicação de contato de 3 segundos; pressão de espera de 200 bar e tempo de sub-fase de empacotamento de 15 segundos. No processo a temperatura dos moldes fora variada (35ºC para o fixo e variação de 35 a 50ºC no móvel), pois fora gerado gradientes de 5º e 15º C, tendo a temperatura do molde móvel sendo variada em relação ao molde fixo. Foram injetados 10 corpos de prova para cada condição de processo.

Obtenção do empenamento

Para a obtenção do empenamento dos corpos de prova, fora montado um sistema composto por uma região de fixação lateral, e um micrômetro o qual quando em contato com o material, acusava o valor da espessura contando o empenamento do corpo de prova. Dessa forma, era descontado do valor da espessura do material anteriormente medido, de modo a analisar e avaliar o quanto o material estava empenado. Foram medidos para 8 corpos de prova da cada condição de maneira a obter uma média dos resultados. As amostras foram submetidas diretamente após o processo de injeção, sem necessidade de ambientação.

Ensaio de Impacto Instrumentado

Para a realização do ensaio de impacto, foram utilizados corpos de prova injetados nas mesmas condições já citadas, sendo 10 corpos de cada condição. O ensaio de impacto fora realizado seguindo a norma, com ambientação de pelo menos 24h em laboratório, sendo entalhados primeiramente em equipamento Zwick/Rockwell e então submetidos ao ensaio de impacto Izod no equipamento também da marca Zwick/Rockwell.

Calorimetria Diferencial de Varredura

Para caracterização térmica do material fora utilizado apenas a técnica de calorimetria diferencial de varredura (DSC), de modo a determinar as temperaturas de fusão e do PP e comparar o seu comportamento submetido aos diferentes

gradientes térmicos no processo de moldagem por injeção. Todo o processo ocorreu até a temperatura de aquecimento de 200ºC sendo resfriado o material até 30ºC, ambos com uma taxa de 10ºC/min, seguindo a norma ASTM D3418-15.

A caracterização ocorreu em 1 amostra da região central de todas as condições de injeção, sendo realizadas duas corridas no equipamento Shimadzu DSC 60.

Resultados e Discussão

Primeiramente, fora realizado o planejamento ortogonal de Taguchi para se ter quais as condições dos experimentos os quais seriam rodados para identificação de qual parâmetro exerceria maior influência no empenamento das peças de PP injetado.

Tabela 1 – Planejamento ortogonal de Taguchi

Condição	P compactação (bar)	V injeção (cm/s)	Gradiente Tmolde (ºC)
1	1 (160)	1 (70)	0
2	2 (180)	2 (90)	0
3	3 (200)	3 (110)	0
4	1 (160)	2 (90)	5
5	2 (180)	3 (110)	5
6	3 (200)	1 (70)	5
7	1 (160)	3 (110)	15
8	2 (180)	1 (70)	15
9	3 (200)	2 (90)	15

Fonte: O autor

Para o ensaio mecânico de impacto, não fora identificado nenhuma alteração por meio do teste de Tukey, com as médias permanecendo entre 16 a 18 J (valores baixos até mesmo para o PP puro) demonstrando que não houve alterações na propriedade por meio da variação das condições, nos nove experimentos de Taguchi. Por Tukey, onde pela média, há separação entre subgrupos por um intervalo de 95% de confiança, foi possível observar que as médias estavam todas no mesmo subgrupo, não havendo diferença maior que 5% nos seus valores.

Para o empenamento, ocorreu divisão das condições em subgrupos por Tukey, com valores entre 0,00750 e 0,03 mm, demonstrando que havia diferenças entre as condições, sendo as condições C3 e C1 apenas no subgrupo A; C2 e C8 apenas no subgrupo B; todas as outras condições estavam na interseção entre as duas, sendo componentes dos dois subgrupos. Dessa forma foi realizada uma Análise de Variância e identificado que o parâmetro que exerceu maior influência no caso fora a modificação da velocidade de injeção, demonstrando mais uma vez que a presença de gradientes térmicos no molde (até 15 ºC) não afeta drasticamente as propriedades do PP de média massa molar.

Já na caracterização térmica, foi possível observar que houve valores de picos de fusão variados entre as nove condições, sendo coletadas as entalpias da primeira corrida (relacionada com a história térmica do material), sendo valores entre 94,2 J/g a 106 J/g. Dessa forma, meio de uma análise de variância foi possível visualizar que o parâmetro que mais exerceu influência na modificação dos resultados fora a velocidade de injeção, demonstrando mais uma vez a fraca

influência de gradientes de até 15ºC na injeção de polipropileno H301 de média massa molar.

Conclusões

No presente trabalho foram realizados testes mecânicos por impacto, térmicos por DSC e também foram observados principalmente o empenamento dos corpos pela presença de gradiente térmico de 5 e 15ºC entre os moldes da injeção. Com os resultados de impacto, demonstrou que a modificação das condições não exerceu nenhuma influência nas propriedades mecânicas, acusando por meio do teste de Tukey que as médias de cada condição pertenciam ao mesmo subgrupo.

Já para o empenamento, as médias foram discriminadas em diferentes subgrupos pelo teste de Tukey, de modo que com a análise de variância, pode-se observar que o principal fator de infuência era a velocidade de injeção com contribuição de aproximadamente 37%, comprovando que a presença de gradientes no molde (de até 15ºC) não exerceu grande influência no empenamento, mostrando que as peças de polipropileno de média massa molar não são sensíveis à variação térmica (de até 15ºC) nos moldes de injeção.

Na caracterização térmica os resultados foram analisados por meio da análise de variância, da mesma forma, fora demonstrado que o parâmetro que gerou maior influência na sua modificação foi a velocidade de injeção com aproximadamente 53,37%, sendo que nesse caso, a influência do gradiente dos moldes foi apenas de 4,06%.

Com os resultados, pode-se concluir que o PP H301 de média massa molar não é sensível a variação de até 15ºC entre as temperaturas dos moldes de injeção.

Agradecimentos

Agradeço ao CNPq e à Universidade Estadual de Ponta Grossa pela oportunidade de realização e proporcionar os recursos necessários para tal.

Referências

[1] WANG, Xiaoxin; ZHAO, Guoqun; WANG, Guilong. Research on the reduction of sink mark and warpage of the molded part in rapid heat cycle molding process. **Materials & Design**, v. 47, p. 779-792, 2013.

[2] GHAZALI, M. F. et al. Injection Mould Analysis in Reducing Warpage of Nylon PA66 Side Arms Using Taguchi Method and ANOVA. **International Journal of Basic & Applied Sciences IJBAS-IJENS Vol: 11 No**, v. 1, p. 87-92, 2011.

[3] GUO, Wei et al. Prediction of warpage in plastic injection molding based on design of experiments. **Journal of Mechanical Science and Technology**, v. 26, n. 4, p. 1133, 2012.

[4] BOCI¹GA, E. et al. Warpage of injection moulded parts as the result of mould temperature difference. 2010.**International Scientific Journal**,v.44,n.1,p.28-34,2010

[5] SÁNCHEZ, R. et al. On the relationship between cooling setup and warpage in injection molding. **Measurement**, v. 45, n. 5, p. 1051-1056, 2012.

[6] BOM, Ricardo Pedro; LEÃES, Vinícius Severo. Avaliação do empenamento de peças plásticas injetadas em um molde com diferença de temperatura entre as placas. **Estudos Tecnológicos em Engenharia**, v. 4, n. 2, p. 135-145, 2008.

[7] HARADA, Julio. Peças com Defeitos de Injeção do Tipo Empenamento Sob Contração Irregular. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, p. 41, 1994.