

<https://eventos.utfpr.edu.br//sei/sei2019>

Projeto e manufatura de sistema para moldagem de polímeros por injeção

Design and manufacture of polymer injection molding system

RESUMO

Nesse trabalho, foram desenvolvidos o projeto e manufatura de uma máquina para moldagem plástica por injeção. O projeto tem uma capacidade produtiva de peças plásticas maior que uma impressora 3D e custos de aquisição e operação muito menores quando comparados a uma máquina de moldagem por injeção convencional. Para que isso pudesse ser atingido, o sistema foi projetado com majoritariedade de componentes puramente mecânicos e operação manual, que garantem uma aquisição econômica, robustez e simplicidade. Foi utilizado software de desenho assistido por computador (CAD) durante a concepção do sistema e a viabilidade foi verificada através da ferramenta de simulação no mesmo. O sistema projetado é capaz de produzir peças plásticas com volume de aproximadamente 20 cm³ sob uma pressão máxima em torno de 8,5 MPa usando o raio mínimo de ajuste da alavanca em um tempo estimado de 1 peça a cada 5 minutos.

PALAVRAS-CHAVE: Polímeros. Moldagem de polímeros. Moldagem por injeção.

ABSTRACT

In this work, the design and manufacture of a plastic injection molding machine were developed. The design has a higher plastic parts production capacity than a 3D printer and much lower acquisition and operation costs compared to a conventional injection molding machine. For achieving this, the system was designed with a majority of purely mechanical components and manual operation, which grants an economic acquisition, robustness and simplicity. Computer aided design (CAD) software was used during the system's conception, and viability was verified through the software's simulation tool. The designed system is capable of producing plastic parts with a volume of approximately 20 cm³, under a maximum pressure of around 8.5 MPa, using the lever's minimal adjustment radius, in an estimated time of 1 piece every 5 minutes.

KEYWORDS: Polymers. Polymer molding. Injection molding.

Jean Leone da Conceição
Esteves

jeanleonece@gmail.com

Universidade Tecnológica Federal
do Paraná, Guarapuava, Paraná,
Brasil

Diogo Zampieri Montanher

dzmontanher@gmail.com

Universidade Tecnológica Federal
do Paraná, Guarapuava, Paraná,
Brasil

Recebido: 19 ago. 2019.

Aprovado: 01 out. 2019.

Direito autoral: Este trabalho está
licenciado sob os termos da Licença
CreativeCommons-Atribuição 4.0
Internacional.



8 TRABALHO DECENTE
E CRESCIMENTO
ECONÔMICO



9 INDÚSTRIA, INOVAÇÃO
E INFRAESTRUTURA



INTRODUÇÃO

A substituição de materiais primários por polímeros tem sido amplamente aplicada em diversas áreas, pois eles possuem propriedades interessantes como baixa massa específica.

Polímero é o nome atribuído a uma classe de materiais constituído de macromoléculas compostas basicamente por carbono e hidrogênio, e destaca-se frente a outras classes de materiais devido a sua flexibilidade, elasticidade e resistência (CALLISTER, 2018).

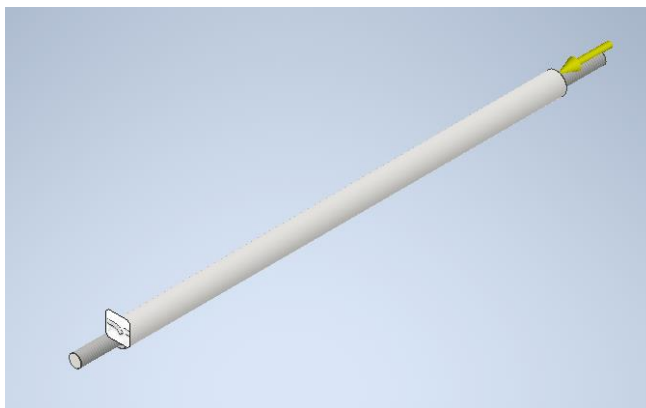
A transformação de polímeros de sua forma bruta em produtos acabados se dá quase que exclusivamente por moldagem, a qual pode ser feita por meio de diferentes técnicas, como exemplo: vazamento, fiação por fusão, compressão, calandragem, injeção, extrusão, sopro (MORAWETZ, 1995). Neste trabalho é destacado o processo de injeção, que é uma técnica amplamente utilizada, e consiste basicamente em injetar dentro de um molde metálico o polímero fundido por meio de altas pressões. As máquinas injetoras utilizadas para esta finalidade fazem uso de moldes e porta molde complexos compostos por sistemas de refrigeração, extração, fixação, placa impulsora, placa porta pinos, entre outros. Todos esses sistemas devem ser usinados em aço de alta dureza para suportar o desgaste e as altas pressões de operação das máquinas. Essas características fazem com que a produção de moldes e porta moldes para moldagem de polímeros tenha um custo elevado.

Para compensar o alto custo inicial devido à produção do molde é necessária uma produção em larga escala, da ordem de milhares de peças moldadas. Isso não caracteriza um problema técnico, uma vez que máquinas injetoras são capazes de produzir com facilidade mais de um milhão de peças ao dia. Entretanto, a necessidade de produção em larga escala pode caracterizar um impedimento logístico, uma vez que certo ramo comercial/industrial pode precisar de apenas algumas centenas de peças moldadas. Uma possível alternativa para esse problema é a impressão 3D, a qual vem se popularizando no Brasil. Essa técnica permite a produção de peças plásticas com baixo custo, porém, com alto tempo de produção, cerca de 5 horas a depender do tamanho da peça. Deste modo, a impressão 3D pode ser uma técnica efetiva para a produção de peças na ordem de dezenas. Sendo assim, este trabalho tem como foco desenvolver um sistema de injeção de polímeros com capacidade de produção entre as máquinas injetoras convencionais e as impressoras 3D, ou seja, em torno de cem peças ao dia.

MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho se divide em duas etapas, a saber: projeto e simulação. O projeto e a simulação foram realizados no software de desenho assistido por computador (CAD) Autodesk Inventor 2019. Na etapa de simulação, a integridade estrutural mecânica da máquina foi verificada componente por componente. Para cada elemento estrutural, os vínculos mecânicos devido ao contato entre peças foram considerados e pontos de forças foram aplicados no exato local onde ocorre esforços mecânicos. A figura 1 exemplifica esse processo.

Figura 1 – Exemplo da simulação de esforços na haste de suporte do pistão. A seta amarela é a força sendo aplicada no corpo, e a parte fixada representada no outro lado.



Fonte: Imagem gerada pelo Autodesk Inventor 2019.

Foi usado o polímero PET (Polietileno tereftalato) como material base. Para o aquecimento do mesmo, deve-se ligar em série o relé de estado sólido com a resistência, que estará enrolada no cilindro, nos contatos do controlador de temperatura que são referentes a parte de alimentação de energia elétrica e ligar os contatos de sinal de impulso do controlador direto no relé. Fazendo isso também é necessário ter conectado o sensor termopar no controlador. Toda vez que, através do sensor termopar, o controlador detectar que a temperatura está abaixo da que se quer, ele envia um sinal para o relé fazendo com que ele ligue a resistência.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O sistema idealizado consiste de uma alavanca presa a um pistão que desliza sem folga dentro de um cilindro aquecido por uma resistência de Kanthal, mantendo o polímero a ser injetado no molde em estado líquido (figura 2).

Figura 2 – Imagem da máquina de injeção.



Fonte: Imagem gerada pelo Autodesk Inventor 2019.

A aplicação de uma força F_1 na extremidade da alavanca promove um deslocamento d_1 , e conseqüentemente, o pistão transmitirá uma força F_2 no polímero, que estará dentro do cilindro, com um deslocamento d_2 . Com boa aproximação, podemos considerar que o trabalho mecânico realizado sobre a alavanca é conservado. Considerando que trabalho é o produto entre força e deslocamento, temos:

$$F_2 = \frac{F_1 d_1}{d_2} \quad (1)$$

Ou seja, a força exercida pelo pistão depende diretamente da força e do deslocamento que atuam sobre a alavanca e inversamente do deslocamento do pistão. Os valores dos deslocamentos d_1 e d_2 são obtidos por relações entre o ângulo que a alavanca fará e os raios de aplicação e recebimento da força, mostrados nas Eq.(2) e Eq.(3).

$$d_1 = 2r_1 \sin\left(\frac{\phi}{2}\right) \quad (2)$$

$$d_2 = 2r_2 \sin\left(\frac{\phi}{2}\right) \quad (3)$$

Uma vez que a pressão é definida como a razão entre a força aplicada e a área A da superfície de aplicação da força (Eq. 4), temos que a pressão de injeção de nosso sistema é:

$$P = \frac{F_2}{A} = \frac{F_1 d_1}{A d_2} \quad (4)$$

Ademais, temos que a área da base e o volume do cilindro que contém o polímero a ser injetado são dados pelas equações 5 e 6:

$$A = \pi r^2 \quad (5)$$

$$V = A d_2 \quad (6)$$

De posse dessas equações é possível estimar alguns parâmetros importantes deste sistema como exemplo, a pressão e a capacidade de injeção plástica, considerando o raio mínimo de aplicação da força na alavanca. Os Quadros 1 e 2 fornecem os parâmetros do projeto.

Quadro 1 – Dados de entrada

| Descrição | Símbolo | Valores de entrada |
|-----------------------------------|---------|-------------------------|
| Força aplicada manualmente | F_1 | 500 N |
| Raio mínimo de aplicação da força | r_1 | 0,96 m |
| Raio máximo de aplicação da força | r_1 | 1,16 m |
| Raio de transmissão da força | r_2 | 0,0911 m |
| Ângulo base de movimentação | ϕ | 20° / 0,349066 radianos |

Fonte: Autoria própria (2019).

Quadro 1 – Dados de saída dos primeiros cálculos

| Descrição | Símbolo | Valores de saída |
|--|-----------|-----------------------|
| Força transmitida para o pistão | F_2 | 5268,93 N |
| Pressão máxima de injeção no raio mínimo | P | 8,55 Mpa |
| Pressão máxima de injeção no raio máximo | $P_{máx}$ | 10,33 Mpa |
| Volume máximo de injeção | V | 19,58 cm ³ |

Fonte: Autoria própria (2019).

Como parâmetro de entrada foi utilizado uma força de 500 N e um raio de aplicação de força de quase 1 m. Esses valores foram escolhidos de modo que qualquer pessoa possa operar a máquina.

Foi necessário saber qual a espessura do fio de Kanthal que deveria ser usado, para isso foi feito cálculos simplificados da quantidade de calor necessária no sistema.

$$Q = m_c c_c \Delta T + m_p c_p \Delta T + m_p l \quad (7)$$

Usando a tensão elétrica da rede como 127 volts, é possível obter a potência necessária e, portanto, escolher uma bitola de fio adequada.

$$Pt = \frac{1,2Q}{\Delta t} \quad (8)$$

$$R = \frac{V^2}{Pt} \quad (9)$$

$$d = \sqrt{\frac{4L\rho}{\pi R}} \quad (10)$$

O Quadro 3 a seguir mostra os dados de entrada e as propriedades dos materiais.

Quadro 3 – Dados de entrada

| Descrição | Símbolo | Valores de entrada |
|--|------------|-----------------------|
| Massa do cilindro | m_c | 0,668 kg |
| Massa máxima do polímero | m_p | 0,102 kg |
| Calor específico do cilindro a pressão constante | c_c | 486 $\frac{J}{kgK}$ |
| Calor específico do polímero a pressão constante | c_p | 1030 $\frac{J}{kgK}$ |
| Calor latente específico do polímero | l | 140000 $\frac{J}{kg}$ |
| Diferença de temperatura | ΔT | 293 K |

| Descrição | Símbolo | Valores de entrada |
|----------------------|------------|-----------------------|
| Tempo de aquecimento | Δt | 60 s |
| Resistividade | ρ | $1390 \frac{kg}{m^3}$ |

Fonte: Autoria própria (2019).

Assim, obtemos os valores da potência e da bitola do fio, descrito no Quadro 4.

Quadro 4 – Dados de saídas

| Descrição | Símbolo | Valores de saída |
|-------------------|---------|------------------|
| Potência elétrica | Pt | 2804,68 W |
| Diâmetro do fio | d | 1,00 mm |

Fonte: Autoria própria (2019).

CONCLUSÃO

O modelo de máquina alcançado é bastante satisfatório para os propósitos que foi pensada, ela possui itens que facilitam o posicionamento e permitem mudar alguns dos parâmetros de injeção, como a pressão através da distância de aplicação da força.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Universidade Tecnológica Federal do Paraná pelos recursos financeiros fornecidos e pelo ambiente que nos proporciona para estudar.

Agradeço também ao meu orientador, Diogo Zampieri Montanher, pela confiança, pela disponibilidade e todos os ensinamentos que levaram a realização desse trabalho.

REFERÊNCIAS

CALLISTER JR., W. D., Ciência e Engenharia dos Materiais: Uma Introdução, 7° ed, Rio de Janeiro: LTC, 2008. 7° Edição, p. 355-376.

MORAWETZ, Von H., Polymers: The Origins and Growth of a Science, 1995, editora Dover.