ANÁLISE NUMÉRICA DO AQUECIMENTO DE UM MOLDE IMRESSO EM ABS DIGITAL SUBMETIDO A MOLDAGEM POR INJEÇÃO DE UM POLÍMERO.

V. BLOSS¹, J. F. T. de CARVALHO²

¹ Universidade FEEVALE, ICET

² Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Engenharia Mecânica

E-mail para contato: vinicius.bloss@gmail.com

E-mail para contato: filipe.carvalhosw@ufrgs.br

RESUMO – O presente trabalho apresenta um estudo numérico da dinâmica de fluidos aplicada dentro de um molde de injeção construído em polímero através da impressão 3D com a tecnologia Polyjet, para a injeção de peças em termoplástico ABS, onde o tempo e temperatura máxima de aquecimento são relevantes para garantir estabilidade do molde.

1. INTRODUÇÃO

Moldes de injeção são utilizados largamente na indústria para fabricação de peças a partir da moldagem por injeção, sendo caracterizados pela capacidade de produzir peças com a geometria específica da sua cavidade, em alguns casos, onde peças complexas precisam ser produzidas, os moldes necessitam de equipamentos de usinagem CNC e de ferramentas de usinagem especiais para serem fabricados. Moldes construídos através da impressão 3D pela tecnologia Polyjet não necessitam de ferramentas especiais, o que garante liberdade geométrica em sua construção, limitando-se apenas aos ângulos essenciais para a extração das peças injetadas. Em moldes construídos em polímeros especiais para a injeção de ABS, faz-se necessário avaliar cuidadosamente o efeito da temperatura ao longo da injeção.

No Quadro 1 estão definidas algumas características do ABS digital, nome comercial da resina utilizada para construção do molde, referentes ao aquecimento e resfriamento quando submetido a temperatura limite.

Temperatura máxima de operação	Tempo máximo na temperatura máxima	Tempo de recuperação da máxima temperatura
250 – 300 °C	25 min	4 min

Quadro 1 - Características térmicas do ABS no processo de injeção

Pode-se observar que os moldes impressos em ABS Digital suportam no máximo 300 °C por 4 min, após esse tempo pode ocorrer a mudança das características físico-mecânicas do molde.

A Tabela 1 corresponde as características físico-mecânicas do ABS digital, utilizadas para configurar os parâmetros de simulação.

	ASTM	UNIDADE	MÉTRICO
RESISTENCIA À TRAÇÃO	D-638-03	MPa	55-60
ALONGAMENTO NA RUPTURA	D-638-05	%	25-40
MÓDULO DE ELASTICIDADE	D-638-04	MPa	2600-3000
RESISTENCIA À FLEXÃO	D-790-03	MPa	65-75
MÓDULO DE FLEXÃO	D-790-04	MPa	1700-2200
DENSIDADE	ASTM D792	g/cm ³	1,17-1,18
HDT (TEMPERATURA DE DEFLEXÃO TÉRMICA) °C @ 0.45MPa	D-648-06	°C	82-90
CONDUTIVIDADE TÉRMICA	ASTM C177	W.m/K	2,59 (à 22,7 °C)

Tabela 1 - Propriedades ABS Stratasys (Strtasys, 2017)

A Tabela 2 representa os parâmetros de injeção utilizados no teste experimental, no qual o protótipo impresso foi submetido aos parâmetros reais de injeção de ABS, os mesmos utilizados quando a injeção é realizada em moldes de aço ou alumínio (Cazón, 2014).

TIPO DO PARÂMETRO	VALOR UTILIZADO
TEMPERATURA NA ROSCA	240 / 220 / 200 / 190 °C
PRESSÃO DE INJEÇÃO	40 Bar
VELOCIDADE INJEÇÃO	50 mm/min
PRESSÃO RECALQUE	20 Bar
VELOCIDADE RECALQUE	50 mm/min

Tabela 2 - Parâmetros de injeção

As temperaturas na rosca correspondem aos 4 estágios de aquecimento, sendo que 240°C é a temperatura de injeção do ABS fundido no molde de ABS Digital.

2. MODELAGEM MATEMÁTICA

A simulação do escoamento do fluido de trabalho no interior do molde envolve resolver a equação de conservação de massa e a equação de conservação de quantidade de movimento.

A representação da equação da conservação da massa (continuidade) é dada pela Equação (3.1).

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \quad (3.1)$$

onde ρ é a massa específica do fluido de trabalho, e u é a sua velocidade.

O transporte de quantidade de movimento é dado pela Equação (3.2).

$$\frac{\partial(\rho p_i)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho p_j u_i)}{\partial x_j} = -\frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\mu_{eff} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \delta_{ij} \frac{2}{3} \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \right) \right] + f_i \quad (3.2)$$

onde P é a pressão do fluido de trabalho, μ_{eff} é a viscosidade efetiva (correspondente à soma das viscosidades laminar e turbulenta).

A equação de Navier-Stokes é apresentada em sua forma geral da na Equação (3.3). No caso em estudo, o escoamento apresenta propriedades físicas variáveis, ρ e μ podem variar em todo o campo do escoamento, de tal forma que a equação para escoamento compressível apresenta-se da seguinte forma:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \vec{V}) + \nabla \cdot (\rho \vec{V} \vec{V}) = -\nabla P - \frac{2}{3} \nabla(\mu \nabla \cdot \vec{V}) + \nabla \cdot (2\mu \mathbf{S}) + \rho \cdot \vec{g} \quad (3.3)$$

Em termos das componentes (u,v,w), a Equação (3.3) apresenta-se na forma das Equações (3.4) a (3.6) (Patankar, 1980).

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v u)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w u)}{\partial z} = -\frac{\partial P}{\partial x} + \mu \left[\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right] + \rho \cdot g_x \quad (3.4)$$

$$\frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u v)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w v)}{\partial z} = -\frac{\partial P}{\partial y} + \mu \left[\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right] + \rho \cdot g_y \quad (3.5)$$

$$\frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u w)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v w)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w w)}{\partial z} = -\frac{\partial P}{\partial z} + \mu \left[\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right] + \rho \cdot g_z \quad (3.6)$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O estudo do aquecimento do molde de injeção plástico apresenta resultados obtidos em simulação de acordo com dados de experimentos verificados em experimentos. Os resultados sugerem que o molde plástico aquece à mesma temperatura do material injetado após um tempo de 3 minutos, o que indica que a cada ciclo de injeção que dura XX minutos o molde necessita de pelo menos 10 minutos de resfriamento natural para que não haja superaquecimento do molde.

A temperatura no molde pode ser verificada conforme o número de iterações, representada pela Figura 1

Figura 1 – Temperatura do molde de injeção plástico Versus iterações

Temperatura tem que ser ambiente após 4 minutos (fabricante do material Stratasys define que esse é tempo mínimo de recuperação do molde) em convecção natural com o P e T ambiente.

Figura 2 – Temperatura do molde de injeção plástico Versus tempo de injeção.

4. REFERÊNCIAS

PATANKAR, Suhas V. **Numerical heat transfer and fluid flow**. New York Hemisphere, 1980.

CAZÓN, Aitor; MORER, Paz; AMTEY, Luis. **PolyJet technology for product prototyping: Tensile strength and surface roughness properties**. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture, v. 228, n. 12, p. 1664-1675, 2014.