

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2015.06.014

夹芯注壳层熔体最小预注量的计算与验证^{*}王涛^{1,2}, 王增春^{1,2}, 侯巧红^{1,2}

(1. 河北机电职业技术学院机械工程系, 河北邢台 054000; 2. 河北省高校金属材料加工与数字化成型应用技术研发中心, 河北邢台 054000)

摘要:在夹芯注射成型中为了更多地填充价格较低的芯层材料, 需在不发生芯层熔体前沿冲破的前提下, 找到壳层熔体最小预注量。从运动学角度探讨芯层熔体前沿冲破过程, 建立了快速计算壳层熔体最小预注量的数学方程; 利用 Co-Injection 模块, 针对具体塑料件进行试验验证, 并利用二次迭代法可大幅减少计算值与实际值的偏差。

关键词:夹芯注射成型; 壳层熔体预注量; 芯层熔体前沿冲破; 数值模拟

中图分类号: TQ320.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2015)06-0062-03

Calculation and Validation of Min Volume Fraction of Prefilled Polymer in Sandwich Injection Molding

Wang Tao^{1,2}, Wang Zengchun^{1,2}, Hou Qiaohong^{1,2}

(1. Department of Mechanical Engineering, Hebei Institute of Machinery and Electricity, Xingtai 054000, China;

2. Research and Development Center of Hebei Universities for Metal Processing Molding and Simulation, Xingtai 054000, China)

Abstract: In order to fill more core material of low price in sandwich injection molding, the min prefilled polymer volume fraction must be found without core-melt breakthrough. From the perspective of kinematics, the process of the core-melt breakthrough was discussed, and the mathematic formula which rapidly forecasted min prefilled polymer volume fraction was created. Then by means of the co-injection module in the software of Moldflow Plastics Insight, above conclusions were validated for the specific validated, and the deviation of predicted value and the actual value was greatly reduced by twice substitution method.

Keywords: sandwich injection molding; prefilled polymer volume fraction; core-melt breakthrough; numerical simulation

在夹芯注射成型中, 两种高分子熔体依次填充模腔。填充过程中, 高分子熔体多相分层流动, 最终获得多层复合材料产品。先填充的高分子熔体为产品壳层, 而后填充的高分子熔体为产品芯层^[1-3]。夹芯注射成型填充过程中, 有可能发生芯层熔体前沿追赶上壳层熔体前沿, 最终形成芯层材料裸露在壳层材料之外的废品。上述现象称为芯层熔体前沿冲破。壳层熔体预注量的增大可以避免上述现象, 但为了获得低成本产品, 生产中总是尽可能地减小价格较高的壳层熔体预注量, 这便要求工艺调试时能快速找到壳层熔体最小预注量^[3-4]。

笔者分析芯层熔体前沿追赶壳层熔体前沿的填充过程, 以此为基础建立工艺实践中迅速计算壳层熔体最小预注量的数学方程, 并基于 Moldflow 平台的 Co-Injection 模块, 针对具体塑料件进行试验验证和修正。

1 夹芯注射成型流动模型的建立

芯层熔体前沿冲破过程可简化为图 1 中平板内的芯、壳层熔体前沿追赶过程。预填充的壳层熔体全部进入模腔后, 开始填充芯层熔体。此时, 芯、壳

层熔体前沿之间沿填充方向有一定距离, 之后芯层熔体推动壳层熔体前进, 即芯、壳层熔体注射速率相等。但是, 芯层相对壳层的熔体前沿流动面积小, 使得芯层熔体前沿的流动速度更大, 并以此速度追赶较慢的壳层熔体前沿, 若最终超越壳层熔体前沿, 则出现芯层熔体前沿冲破^[3-5]。

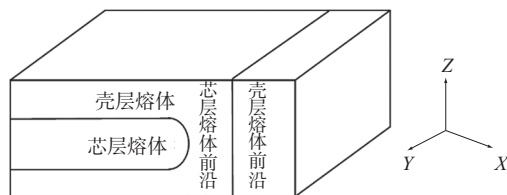


图1 夹芯注射成型流动模型

2 壳层熔体最小预注量计算方程的建立

图1中芯、壳层熔体沿X方向填充, 壳层熔体前沿的流动面积约等于YZ截面的面积。根据前述建立的流动模型中芯、壳层熔体前沿的追赶过程, 从运动学角度, 建立反映追赶过程的一系列数学方程。

^{*} 邢台市科学技术研究与发展计划项目 (2012ZC016)

联系人: 王涛, 讲师, 主要从事材料加工 CAD/CAE 方面的研究

收稿日期: 2015-03-26

$$\begin{cases} S_{\text{skin}} + S_0 = S_{\text{core}} \\ S_{\text{skin}} = \bar{V}_{\text{skin}} t \\ \bar{V}_{\text{skin}} = Q_{\text{skin}} / A_{\text{yz}} \\ S_0 = V_{\text{skin}} V_{\text{flat}} / A_{\text{yz}} \\ S_{\text{core}} = \bar{V}_{\text{core}} t \\ t = (V_{\text{melt}} - V_{\text{skin}}) V_{\text{flat}} / Q_{\text{core}} \end{cases} \quad (1)$$

式中:

S_0 ——壳 / 芯层熔体切换时,壳层熔体已沿 X 方向填充的长度, mm ;

t ——芯层从开始填充到发生芯层熔体前沿冲破所经历的时间, s ;

$S_{\text{skin}}, S_{\text{core}}$ ——经历时间 t , 沿填充方向 X , 壳层、芯层熔体前沿分别前进的长度, mm ;

$\bar{V}_{\text{skin}}, \bar{V}_{\text{core}}$ ——经历时间 t , 沿填充方向 X , 壳层、芯层熔体前沿分别的平均推进速度, mm / s ;

V_{flat} ——模型的总体积, mm³ ;

A_{yz} ——模型 YZ 平面的截面积, mm² ;

V_{melt} ——芯层熔体前沿刚超越壳层熔体前沿时,模腔中已注入的芯、壳层熔体总量(以其占模型总体积的百分比表征), % ;

V_{skin} ——预先注入的壳层熔体总量(以其占模型总体积的百分比表征), % ;

$Q_{\text{skin}}, Q_{\text{core}}$ ——壳层和芯层熔体单位时间内流过横截面的总量,即流动速率(芯层熔体推动壳层熔体前进时,可取二者相等,均为 Q), mm³ / s。

上述数学方程联立可得:

$$V_{\text{melt}} = \bar{V}_{\text{core}} A_{\text{yz}} V_{\text{skin}} / (\bar{V}_{\text{core}} A_{\text{yz}} - Q) \quad (2)$$

设 $V_{\text{skin}} = a$ 时, $V_{\text{melt}} = V$, $\bar{V}_{\text{core}} = \bar{V}_{\text{core1}}$; $V_{\text{skin}} = x$ 时, $V_{\text{melt}} = 100\%$ (即刚好不发生冲破), $\bar{V}_{\text{core}} = \bar{V}_{\text{core2}}$ 。分别代入式(1),得:

$$V = \bar{V}_{\text{core1}} A_{\text{yz}} a / (\bar{V}_{\text{core1}} A_{\text{yz}} - Q) \quad (3)$$

$$100\% = \bar{V}_{\text{core2}} A_{\text{yz}} x / (\bar{V}_{\text{core2}} A_{\text{yz}} - Q) \quad (4)$$

$$\text{令 } f(\bar{V}_{\text{core}}) = \bar{V}_{\text{core}} A_{\text{yz}} / (\bar{V}_{\text{core}} A_{\text{yz}} - Q) \quad (5)$$

式(5)中, A_{yz}, Q 可设置为定值。

式(3), (4), (5) 联立, 可得壳层熔体最小预注量计算方程:

$$x = f(\bar{V}_{\text{core1}} a) \times 100\% / f(\bar{V}_{\text{core2}}) V \quad (6)$$

实际应用中, 为方便计算, 可假设 $\bar{V}_{\text{core1}} = \bar{V}_{\text{core2}}$, 则式(6)可简化为:

$$x = a \times 100\% / V \quad (7)$$

式(7)在实际应用时更为简便; 式(6)较式(7)的计算结果更接近实际值, 但 $f(\bar{V}_{\text{core}})$ 为关于 $\bar{V}_{\text{core}}$ 的减函数, 主要受芯层熔体前沿的流动面积影响, 非定值。

芯 / 壳层熔体黏度比 $R > 1$ 时, 芯层熔体沿填充方向前进时, 将受到壳层的刮带作用, 形成阻力。但是, 由于壳层熔体比芯层熔体黏度小, 其对芯层熔体的刮带作用和阻力均较小, 使得芯层熔体前沿变形为尖凸形状刺入壳层熔体, 导致芯层熔体前沿流动面积减小, $\bar{V}_{\text{core}}$ 逐步增大^[4-7]。随壳层预注量 V_{skin} 的增大, 芯层熔体前沿发生冲破前已推进的距离增大, 上述趋势越发明显, 导致, $\bar{V}_{\text{core2}} > \bar{V}_{\text{core1}}$, $f(\bar{V}_{\text{core2}}) < f(\bar{V}_{\text{core1}})$, $f(\bar{V}_{\text{core1}}) / f(\bar{V}_{\text{core2}}) > 1$ 。则由式(7)计算所得 x 值小于式(6)计算所得 x 值, 即式(7)的计算值较实际值偏小。

与上述情形相反, 当 $R < 1$ 时, 由于壳层熔体黏度较大, 其对芯层熔体的刮带作用和阻力较大, 使得芯层熔体前沿以平坦的形状刺入壳层熔体, 导致芯层熔体前沿流动面积增大, 逐步减小, 最终导致式(7)的计算值较实际值偏大。

3 计算方程的试验验证与修正

3.1 试验对象

试验对象为某除草机机体外壳, 对其进行网格划分后见图2。其外形尺寸为 380 mm × 300 mm × 40 mm, 厚度 5 mm, 结构对称, 浇口位置见图2。

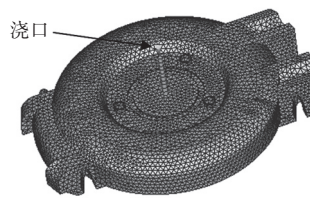


图2 除草机机体外壳网格划分图

3.2 试验组安排

芯层物料为聚对苯二甲酸丁二酯 (PBT)(Crastin HTI 619 NC010), 黏度为 327.0 Pa · s, 剪切速率为 $1 \times 10^3 \text{ s}^{-1}$, 注射温度为 260 °C; 壳层物料为尼龙 6(PA6)(牌号 SRV300 100 NAT, 意大利兰蒂奇工程塑料公司), 黏度为 114.6 Pa · s, 剪切速率为 $1 \times 10^3 \text{ s}^{-1}$, 注射温度为 260 °C。二者黏度比 R 为 2.83。

取壳层熔体注射温度 (A)、芯层熔体注射温度 (B)、壳层熔体注射速率 (C)、芯层熔体注射速率 (D) 为影响因素,设计试验因子与水平见表 1。用 $L_9(3^4)$ 正交表安排试验组,见表 2。表 2 的 9 组试验中,模具温度固定为 90°C ;初始壳 / 芯、芯 / 壳层熔体切换点 (当模腔内熔体占模腔的体积分数达到标定值时,切换为注射另一种材料) 分别取 40%, 95%。

表 1 影响因子与水平

水平	因素			
	$A / ^\circ\text{C}$	$B / ^\circ\text{C}$	$C / (\text{cm}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	$D / (\text{cm}^3 \cdot \text{s}^{-1})$
1	270	240	100	100
2	275	250	200	200
3	280	260	300	300

表 2 正交试验方案

试验组	因素			
	$A / ^\circ\text{C}$	$B / ^\circ\text{C}$	$C / (\text{cm}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	$D / (\text{cm}^3 \cdot \text{s}^{-1})$
1	270	240	100	100
2	270	250	200	200
3	270	260	300	300
4	275	240	200	300
5	275	250	300	100
6	275	260	100	200
7	280	240	300	200
8	280	250	100	300
9	280	260	200	100

3.3 试验流程与结果

试验之初,壳层熔体预注量 a_1 均为 40%,发生芯层熔体前沿冲破时的总熔体填充量设为 v_1 。将 a_1, v_1 代入式 (6),得计算值 x_1 。该产品的芯 / 壳层黏度比 R 为 $2.83 > 1$,式 (6) 的计算值较实际值偏小。为此,将计算值 x_1 值作为壳层熔体预注量 a_2 再次试验,发生芯层熔体前沿冲破时的总熔体填充量为 v_2 。将 a_2, v_2 代入式 (6),得计算值 x_2 。即利用二次迭代法进行收敛,从而减少计算误差。以 x_1 为基础,每次调整 0.5%,逐次试验,直到未发生芯层熔体前沿冲破,从而获得实际壳层熔体最小预注量 x_0 。计算 x_1, x_2 与 x_0 之间的误差: $\Delta 1 = (x_1 - x_0) \times 100\% / x_0$ 、 $\Delta 2 = (x_2 - x_0) \times 100\% / x_0$ 。试验结果见表 3。

表 3 试验结果

试验序号	$a_1 / \%$	$v_1 / \%$	$x_1(a_2) / \%$	$v_2 / \%$	$x_2 / \%$	$x_0 / \%$	$\Delta 1 / \%$	$\Delta 2 / \%$
1	40	67.2	59.52	86.00	69.21	69.52	-14.38	-0.45
2	40	72.51	55.16	86.65	63.66	64.16	-14.03	-0.78
3	40	77.45	51.65	87.10	59.30	60.65	-14.84	-2.23
4	40	74.31	53.83	88.95	60.52	63.33	-15.00	-4.44
5	40	73.04	54.76	87.63	62.49	62.76	-12.75	-0.43
6	40	65.85	60.74	89.20	68.09	68.74	-11.64	-0.95
7	40	74.85	53.44	88.68	60.26	60.44	-11.58	-0.30
8	40	64.11	62.39	95.11	65.60	66.39	-6.03	-1.19
9	40	70.47	56.76	91.99	61.70	63.76	-10.98	-3.23

由表 3 可见,使用式 (6) 计算的壳层熔体最小预注量有一定的参考价值。此外,利用二次迭代法可大幅减少计算值与实际值的偏差。

4 结论

(1) 芯 / 壳层熔体黏度比 R 对芯层熔体前沿流动面积影响较大,后者又进一步影响芯层熔体前沿的推进速度,并造成芯层熔体前沿冲破的趋势发生变化。

(2) 建立的快速计算壳层熔体最小预注量数学方程有一定的参考价值,且可利用二次迭代法大幅减少计算值与实际值的偏差。

参考文献

- [1] 陈金涛,马鑫萍,李海梅. 顺序共注射成型工艺参数对 iPP 制品柱晶生成的影响 [J]. 工程塑料应用, 2014, 42(10): 47-50.
Chen Jintao, Ma Xinping, Li Haimei. Effects of processing parameters on cylindrite formation isotactic polypropylene parts made sequential co-injection molding[J]. Engineering Plastics Application, 2014, 42(10): 47-50.
- [2] 万守臣,傅建,彭必友,等. 多组分注射技术研究现状 [J]. 工程塑料应用, 2010, 38(10): 91-93.
Wan Shouchen, Fu Jian, Peng Biyou, et al. Summary on research status of multi-component injection molding technologies[J]. Engineering Plastics Application, 2010, 38(10): 91-93.
- [3] Mark Parsons, Paul Toyoda. Co-injection molding of pvc with other thermoplastics: processing, properties and applications [J]. Journal of Vinyl & Additive Technology, 2002, 8(3): 202-208.
- [4] 王利霞,卢松涛,朱文娜,等. 共注射成型中芯 / 壳层材料黏度比对追赶距离的影响 [J]. 高分子材料科学与工程, 2010, 26(3): 116-118.
Wang Lixia, Lu Songtao, Zhu Wenna, et al. Influence of core-skin viscosity ratio on chase distance in co-injection molding[J]. Polymer Materials Science & Engineering, 2010, 26(3): 116-118.
- [5] 赵建,曲敏杰,夏英,等. 共注射制品芯层厚度分析的数值模拟 [J]. 高分子材料科学与工程, 2013, 29(9): 188-191.
Zhao Jian, Qu Minjie, Xia Ying, et al. Numerical simulation of core thickness fraction of molded products in co-injection molding[J]. Polymer Materials Science & Engineering, 2013, 29(9): 188-191.
- [6] 王涛,任立军,王增春,等. 注射温度和速率对夹芯注芯层熔体冲破趋势的影响 [J]. 塑料, 2013, 42(4): 28-31.
Wang Tao, Ren Lijun, Wang Zengchun, et al. Effect of injection temperature and rate on core-melt breakthrough of sandwich injection molding[J]. Plastics, 2013, 42(4): 28-31.
- [7] 周国发,巢芳超,闫丽. 熔体剪切变稀特性对聚合物水辅共注射成型过程的影响 [J]. 中国塑料, 2013, 27(8): 71-76.
Zhou Guofa, Chao Fangchao, Yan Li. Influence of melt shear-thinning on polymer water assisted co-injection molding process[J]. China Plastics, 2013, 27(8): 71-76.