

“H”型分流道流动平衡与塑料熔体动力学的关系

孙利民¹ 徐广民² 申长雨¹

(1. 郑州大学橡塑模具国家工程研究中心, 郑州 450002; 2. 郑州铁路职业技术学院, 郑州 450052)

摘要 针对小型塑料件采用一模多腔的模具进行生产时存在的分流道流动平衡问题, 通过分析流体在管道中的动反力, 揭示了塑料熔体动力学行为与流道平衡的关系。结果表明, 注射速率对流道平衡问题是非常敏感的。在生产实践中, 对一模多腔模具的分流道问题, 只要耐心调整注射速率, 是可以生产出合格产品的。

关键词 塑料熔体 动力学 一模多腔模具 分流道 流动平衡

为提高生产效率, 小型塑料件多采用一模多腔的模具进行生产, 这就面临流道流动平衡问题, 即如何设计流道几何参数和注射参数(温度、压力、流速等), 使得塑料熔体均匀分布于各分支流道, 同时充满各个型腔, 并得到相同的保压时间, 从而生产出全部合格的产品。另外, 在设计大型注塑件模具浇注系统时, 既要保证型腔充满, 又要减少因设计不当可能给制品带来的缺陷。因此实际生产中常采用多级分流道、多点同时进浇的方案。复杂的浇注系统在提高注塑件质量的同时也使设计的难度增加, 因而浇注系统的流道平衡是设计一模多腔模具和大型注塑模的关键之一。对此问题业内很多学者、技术人员做了大量卓有成效的研究工作, 其中林旭东等^[1]在聚合物幂律模型基础上提出了改善流道尺寸、实现合理提高注塑机注塑压力利用率的设想, 即在充分保证模具型腔充模压力的情况下, 通过适当减小流道截面尺寸, 加大了浇注系统部分的压力降, 同时也减少了流道上塑料熔体的浪费。他们还结合解析法和注塑 CAE 分析, 推导了流道截面尺寸优化设计计算式及计算步骤。结果是在保证熔体充模的情况下, 新的流道截面尺寸较按传统方法设计的截面尺寸有较明显的减小。周振勇等^[2]提出利用 CAE 技术对流道和浇口进行优化设计, 并总结出流道和浇口的形状特征, 最终建立了流道系统的特征和实体模型。杨为民等^[3]则利用可视化技术对流道平衡问题进行了试验研究, 可以很直观地观察到塑料熔体在分流道中的流动及充模过程, 了解到熔体的注射速率及熔体粘度对多分流道中流动平衡的影响。笔者在考虑塑料熔体动力学特征的基础上, 分析了熔体注射速率与流道流动平衡的关系, 以解释杨为民等的实验研究现象。

1 塑料熔体的物理模型

关于塑料熔体的流动模型有很多种, 20 世纪 50

年代 Rouse 提出了研究高分子稀溶液的哑铃模型, 稍后又改进为珠簧链模型, 经 Zimm 的推广, 此后又由 Lodge 和 Wu 导出了显式的本构方程, de Gennes 提出了串滴型模型, 将高分子链视为一种串滴组成, 滴中链段具有溶胀性, 而且认为高分子链段的短程缠结不具普遍性, 而缠结可以理解为分子链管的长程套环结构。笔者采用周持兴等^[4]的构象球模型(见图 1), 设想熔体大分子群相互交织成一个可形变的粘弹基体。从中任选 1 个代表大分子, 其周围的分子链段与之相互排斥、缠结, 犹如无规长链处于含无规分布障碍的基体中。在图 1 中, 障碍用圆点表示。当熔体静止时, 可设想这个代表大分子的构象被 1 个球壳所包围, 被称之为构象球。此时, 整个大分子呈现各向同性, 熔体表现为牛顿行为。在流场力的作用下, 这个构象球会发生变形。如果作用力很小, 构象球只发生弹性形变, 对于熔体而言, 此时还处于牛顿区域。当流场作用进一步增大后, 由于链段蠕行, 大分子解缠并被拉伸, 整个大分子表现为各向异性, 构象球发生粘弹性变形, 熔体产生粘弹性流动, 变成构象椭球。在高流场力的作用下, 大分子链被进一步拉伸, 构象椭球逐步变成了构象管。

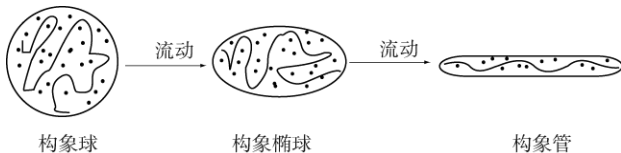


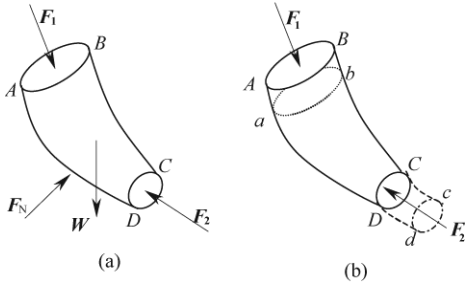
图 1 塑料熔体的构象球模型

2 熔体流动对模壁的作用力

为研究塑料熔体在分流道中的运动情况, 清楚了解熔体和模具流道壁间的相互作用力是必要的。由于熔体的非牛顿性, 准确推导比较困难, 现在以无粘无旋的理想流体在管道中的流动为例, 推导流体

流动对管壁的作用力。

假设有不可压缩流体在变截面的弯曲管道中作定常流动,所受外力如图 2 所示。所谓定常流动是指管内各处的速度分布不随时间而变化的流动。管中流体每单位时间流过的体积(体积流量) q_v 为常量,流体每单位体积的质量(密度) ρ 也是常量。



a— t 瞬时; b— $t + \Delta t$ 瞬时

图 2 流体在弯曲管道中流动时动反力分析图

现以弯曲管道 ABCD 所包含的这部分流体为研究对象,如图 2a 所示。作为一个质点系的这部分流体所受到的外力有:流体的重力 W ,管壁的反力 F_N ,以及进口截面 AB、出口截面 CD 上的流体压力 F_1 、 F_2 (这些力都是分布力的合力)。

在 t 瞬时,上述这部分流体的动量记作 p_{ABCD} ,经过微小的时间间隔 Δt ,流体运动到了 abcd 位置,此时这部分流体的动量记作 p_{abcd} 。于是,在时间间隔 Δt 内质点系动量的增量 Δp 为:

$$\Delta p = p_{abcd} - p_{ABCD}$$

由于流动是定常的,公共部分 abCD 中流速的分布不变,因此其中流体的动量也保持不变。因而上式可变为:

$$\Delta p = p_{CDdc} - p_{ABba}$$

设在进口和出口截面处流体的速度为 v_1 和 v_2 ,管道的截面积为 A_1 和 A_2 ,则流体体积流量 q_v 为:

$$q_v = A_1 v_1 = A_2 v_2 = \text{常量}$$

ABba 部分和 CDdc 部分流体的质量 m_1 、 m_2 分别为:

$$m_1 = \rho A_1 v_1 \Delta t = \rho q_v \Delta t$$

$$m_2 = \rho A_2 v_2 \Delta t = \rho q_v \Delta t$$

因此,它们的动量分别为:

$$p_{ABba} = \rho q_v \Delta t v_1$$

$$p_{CDdc} = \rho q_v \Delta t v_2$$

从而有:

$$\Delta p = \rho q_v \Delta t (v_2 - v_1)$$

动量对时间的变化率为:

$$\frac{dp}{dt} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta p}{\Delta t} = \rho q_v (v_2 - v_1)$$

根据质点系的动量定理,并注意到 $\Sigma F_i = W + F_1 + F_2 + F_N$,得到

$$\rho q_v (v_2 - v_1) = W + F_1 + F_2 + F_N \quad (1)$$

或写作

$$\rho q_v v_1 - \rho q_v v_2 + W + F_1 + F_2 + F_N = 0 \quad (2)$$

上式称为欧拉方程。

可以把管壁的动反力 F_N 分成 F'_N 、 F''_N 两部分,其中 F'_N 是由流体质量、进口和出口截面上流体压力所引起的,而 F''_N 则是由于流体的动量变化而引起的。显然

$$W + F_1 + F_2 + F'_N = 0 \quad (3)$$

(1) 式减去 (3) 式,得到

$$F''_N = \rho q_v (v_2 - v_1) \quad (4)$$

至于流体作用于管壁的动压力,则与上述动反力大小相等、方向相反。由式 (4) 可以得出,当流体在等截面直管中流动时,是没有动反力的(这里没有考虑流体对管壁的摩擦力),只要管道的截面大小或管道的方向有所改变,就有动反力产生。

3 熔体动反力与流道平衡

上述推导虽说是理想流体而言,但也基本上反映了塑料熔体在模具流道中流动时对模具的动压力的趋势。反过来模具的分流道壁对熔体也有同样大小的作用力,只不过是理想流体的作用力在整个管道内都是相等的,可反映在进口的压力上;而对塑料熔体这种高粘度流体,则只是在流体的方向和流速大小改变的截面局部有动反力,使部分熔体产生压缩变形。图 3 为一模四腔含有“H”型分流道系统的模型, $v_1 \perp v_2$,按理论分析理想流体无论主流道 A 中的流速多大, D、E 等四个型腔会同时充满。但是对于粘弹性塑料熔体则不一定。这是因为塑料熔体由一群如图 1 所示的构象球组成,在主流道和分流道的结合处受到垂直于流道壁 C 面的动反力作用,其大小与 $F''_N = -\rho q_v v_1$ 成正比,方向与流速方向相反,使局部的构象球压缩成构象椭球。当熔体流动锋面进入分流道后,压力消失,构象椭球反弹成构象球。当流速低时,动反力 F''_N 小,熔体反弹也小,对流道壁 C 面的压力大于流道壁 B 面的压力,由于粘性是一定的,流道壁 C 面对熔体粘结力大于流道壁 B 面对熔体的粘结力,熔体主要沿 C 面作剪切流动,相对 C 面的剪切速率大于相对 B 面的剪切速率,即 $\dot{\gamma}_C > \dot{\gamma}_B$,这样型腔 D 的充模速度就大于型腔 E。反之,当流速高时,动反力 F''_N 大,熔体冲到

流道壁 C 面后反弹到流道壁 B 面, 流道壁 B 面对熔体的粘结力大于流道壁 C 面对熔体的粘结力, 熔体主要沿 B 面作剪切流动, 相对 B 面的剪切速率大于相对 C 面的剪切速率, 即 $\dot{\gamma}_C < \dot{\gamma}_B$, 这样型腔 E 的充模速度就大于型腔 D , 所以只有在熔体充模速度和熔体粘度控制适当时, 型腔 D 、 E 才可同时充满。

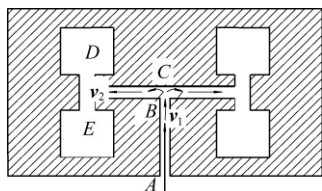


图3 熔体在分流道的流动模型

图4为杨为民等^[3]进行注射成型可视化研究中所拍的照片,其中:型腔 B 模的注射流速高于 A 模的注射流速,型腔充填速度与分析一致。

4 结语

通过分析流体在管道中的动反力问题,揭示了塑料熔体动力学行为与流道平衡问题的关系。由于塑料熔体是非牛顿流体,其表观粘度是剪切速率的

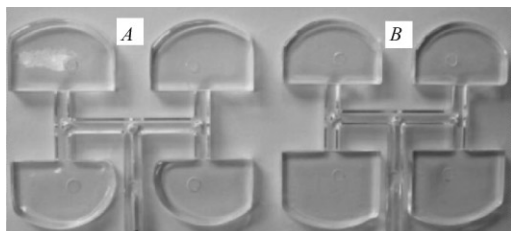


图4 具有“H”型分流道的充模与流速的关系

函数,所以注射速率对流道平衡问题是非常敏感的。在生产实践中,对一模多腔模具的分流道问题,只要耐心调整注射速率,是可以生产出合格产品的。

参考文献

- 1 林旭东,王鹏驹.基于注塑CAE分析的流道优化设计.塑料工业,1997,27(4):72
- 2 周振勇,顾正朝,石教英.注塑模流道系统集成设计技术研究.计算机辅助设计与图形学学报,2000,12(1):1
- 3 Yang Weimin, Hidetoshi Yokoi. Visual analysis of the flow behavior of core material in a fork portion of plastic sandwich injection molding. Polymer Testing, 2003,22:37
- 4 周持兴,Ait-Kadia. 高分子熔体的各向异性内部结构流变模型.高分子材料科学与工程,1997,13(5):6

HYDRODYNAMICS BEHAVIORS OF PLASTICS MELT AND FLOW BALANCE IN THE ‘H’ TYPE SUB-RUNNER OF MOULD

Sun Limin¹, Xu Guangmin², Shen Changyu¹

(1. National Engineering Research Center for Advanced Polymer Processing Technology, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China;

2. Zhengzhou Railway Vocational College, Zhengzhou 450052, China)

ABSTRACT During the production of small size plastics products with a multi-cavity mould, it will face with a problem of flow balance about sub-runner. The relationship about dynamics behaviors of plastics melt and its flow balance in the sub-runner of mould is found by analyzing the dynamics of liquid flow in pipe. The flow balance in the sub-runner of mould is sensitive to injection rate of plastics melt. In making plastics products, regulating the injection rate of plastics melt is a key.

KEYWORDS plastics melt, hydrodynamics, a mould with multi-cavities, sub-runner, flow balance

优惠发售《2000~2004年中国工程塑料加工应用技术研讨会论文集》光盘

应广大读者的要求,我社已将中国工程塑料工业协会加工应用专委会历年论文集加工制作成光盘版,光盘定价150元/盘。需购买的读者请尽快办理邮购手续。汇款时请注明“论文集光盘”。

“论文集光盘版”主要包括以下内容:

- (1) 2004年中国工程塑料加工应用技术研讨会论文集全文(正文337页)及会议通讯录(约200人)
- (2) 2003年塑料助剂和塑料加工应用技术研讨会论文集全文(正文373页)及会议通讯录(约350人)
- (3) 2002年中国工程塑料加工应用技术研讨会论文集全文(正文351页)及会议通讯录(约250人)
- (4) 2001年中国工程塑料加工及模具技术研讨会论文集全文(正文270页)及会议通讯录(约100人)
- (5) 2000年中国工程塑料加工应用技术研讨会论文集全文(正文339页)及会议通讯录(约200人)

邮局汇款:

收款单位:山东省济南市108信箱杂志社

邮编:250031 传真:(0531)5816706-808 5947355

电话:(0531)5816706-805,802,801 5947355

银行汇款:

户名:中国兵器工业集团第五三研究所

开户银行:济南市工商银行八一分理处

帐号:1602001209014424079