

# 基于 MPI 大型注塑模具滞流效应的研究

罗宇玲

(茂名学院机电工程学院, 茂名 525000)

**摘要** 利用专业模流分析软件 MPI 对大型注塑模具的滞流效应进行了分析、研究。以洗衣机内桶为实例, 讨论了大型注塑模具滞流产生的原因, 通过不同设计方案的分析、对比得出了不同材料、不同成型工艺参数(主要包括模具温度、熔体温度、熔体流动填充速率)下滞流效应的形式、特点, 总结提出解决滞流问题的方法。

**关键词** MPI 大型注塑模具 滞流效应 材料 工艺参数

随着社会经济的发展, 为满足人们对汽车、洗衣机、电视机、电冰箱等产品日益增长的需要, 像汽车保险杠、整体仪表板、电视机外壳、冰箱制件、大型周转箱等大型注塑件的生产迅速发展, 而这些大型注塑件的成型必须借助于大型注塑模具。注塑模具日趋大型化是今后塑料模具发展的一大趋势。据预测, 今后几年制造工业对大型注塑模具市场的需求量将以年均 10% 以上的速度增长。

在这些大型注塑模具的开发和应用过程中, 碰到的最大困难是设计上的问题较多, 致使注塑制品报废率居高不下。滞流效应就是大型注塑模具设计时经常碰到的一个问题。注射成型中的滞流是指聚合物熔体填充模具型腔时在特定流动方向流速减缓或停滞不前的现象。滞流会产生一系列成型缺陷, 即所谓的滞流效应<sup>[1]</sup>。滞流会在制品表面留下滞流痕, 影响保压质量, 在制品内部留下较大的残余应力(致使制品产生形状畸变、翘曲不平、壁厚不均等), 使分子定向不均匀, 另外, 滞流还会使型腔不能被完全充满, 造成短射/欠注(导致制品外形残缺不完整或多型腔时个别型腔填充不满), 这些都会严重影响塑料制品的质量, 增加废品率。

对于任何一种注射成型来说, 最重要的是控制充填的方式, 因为制品的缺陷都与塑料熔体在模具中的流动方式有关。而作为模流分析 CAE 软件的 MPI 可以在计算机上模拟塑料熔体在整个注塑过程中的流动情况, 准确预测熔体的填充、保压、冷却, 以及制品中的应力分布、分子和纤维取向分布、制品的收缩和翘曲变形等情况。

笔者现借助 MPI 模拟大型注塑件成型时熔体在填充模具型腔时的流动行为, 分析滞流效应产生的原因及不同塑料材料、不同工艺条件下产生滞流效应的形式与特点, 并在此基础上总结提出解决该问题的方法。

## 1 制品模型

成型过程中塑料熔体的流动是一个十分复杂的过程, 是由塑料材料、注射成型工艺、模具结构、制品形状尺寸等因素综合决定的。为了研究熔体在流动过程中产生滞流的原因, 采用 MPI 软件对图 1 所示洗衣机内桶进行了流动分析。



图 1 制件 3D 图

该制件最大直径 454 mm, 最大高度 441 mm, 平均壁厚 3 mm, 属于典型薄壁制件(壁厚与直径之比小于 0.05)。在洗衣机内桶内设计加强筋的目的是用来与衣服产生摩擦, 有利于去除衣服的污垢。为了节省原材料, 加强筋两侧的料厚会小一些, 因而塑料熔体在此处的流动阻力会增加, 易于产生滞流。考虑到该制品是较大的桶形件, 采用中心浇口进料。

## 2 滞流产生的原因

分析结果用 Fill time(填充时间)进行观察。Fill time 为动态结果, 它可以显示从进料开始到完成充模整个注塑过程中任一时刻流动前锋(Flow front)的位置。较为均衡的填充过程在 Fill time 结果中主要体现在两个方面: ①熔体基本上在同一时刻到达型腔各端部; ②在以等值线形式显示的结果中, 等值线间距比较均匀, 因为同一结果中稀疏的等值线表示流速缓和, 密集的等值线表示流速湍急。在 Fill time 结果中, 欠注部分以灰色显示, 当等值线密集在一个很小的区域内时往往会发生迟滞现象,

从而导致欠注<sup>[2]</sup>。

从所有的输出图像发现, 滞流主要发生的区域在洗衣机内桶顶端, 且主要在加强筋两侧区域(因此处的壁厚相对较薄), 在此处等值线变得密集, 出现了明显的欠注, 而在其它区域塑料熔体均能顺利填充。这说明塑料熔体在有多条路径流动时会向流动阻力小的方向流动。由于制品薄壁处壁厚突然变薄, 使得流动阻力增加, 塑料熔体在流动到该处时会向其它流动阻力小、压力降低的方向流动。此时在薄壁处的熔体流动变缓, 甚至停止流动, 直到向其它方向流动的熔体充满型腔、型腔压力增高才会迫使熔体往薄壁处流动。一旦塑料熔体流速减慢或停止流动, 熔体就会快速冷却, 使得熔体粘度增加, 流动更加困难, 又使冷却加剧, 这是一个自我激化的过程。一旦熔体冷却到材料的转化温度, 熔体固化, 将不能继续流动, 从而产生欠注现象。如果熔体在尚未冷却到转化温度之前又继续流动, 则也会在制品表面留下滞流痕等多种影响制品质量的现象。由此可见, 滞流对塑料注射成型的影响很大, 因此在注塑过程中应尽可能避免滞流的产生。

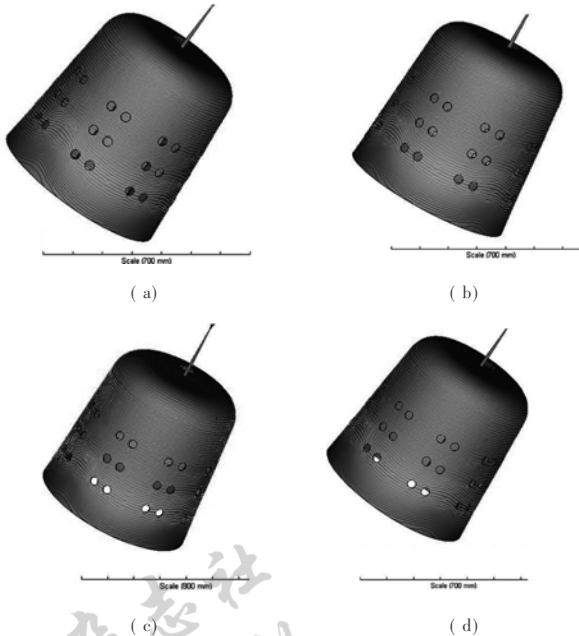
3 不同塑料材料和工艺条件对滞流效应的影响

为更好地观察塑料熔体在填充模具型腔时的流动行为, 分析塑料材料及其成型工艺条件对滞流效应的影响, 分别采用了聚丙烯 (PP)、(丙烯腈/丁二烯/苯乙烯) 共聚物 (ABS) 和聚苯乙烯 (PS) 3 种塑料材料进行了模流分析, 并对每种塑料各制定了 4 套分析方案。这 4 套方案均直接复制利用预分析中建立和修改好的网格模型, 方案 I 中的工艺参数为该材料在 MPI 软件数据库中的默认数值。方案 IV 中的熔体流动填充速率(以下简称填充速率)为设置值, 其它 3 套方案为自动值。

3.1 PP 的滞流效应

PP 的模流分析结果如图 2、表 1 所示。

从图 2 和表 1 可以看出, 方案 I 中在洗衣机内桶顶端有明显的滞流现象, 且主要在加强筋两侧。比较方案 I 和方案 II 可知, 提高模具温度使得熔体的注塑压力和锁模力都有明显降低, 但滞流现象并没有什么改善。这表明提高模具温度可以改善熔体在模内的流动性、减小充模压力和制品内的压力(体现为注塑压力降低), 但同时由于熔体在模腔内扩展流动时料头前沿低温熔膜对熔体的阻滞作用一般都较大, 再加上先进入模具型腔熔体的温度会下降得很快, 其粘度也会随之增大, 这更加剧了后进入



a—方案 I; b—方案 II; c—方案 III; d—方案 IV

图 2 PP 的填充输出图像

表 1 对 PP 模流分析的输出结果

| 方案     | 模具温度 /<br>℃ | 熔体温度 /<br>℃ | 填充速率 /<br>cm <sup>3</sup> · s <sup>-1</sup> | 输出结果        |           |         |
|--------|-------------|-------------|---------------------------------------------|-------------|-----------|---------|
|        |             |             |                                             | 最大注塑压力 /MPa | 最大锁模力 /kN | 填充时间 /s |
| 方案 I   | 50          | 230         | 811.75                                      | 81.87       | 11472.3   | 4.24    |
| 方案 II  | 70          | 230         | 725.39                                      | 78.88       | 10928.1   | 4.74    |
| 方案 III | 50          | 260         | 1033.14                                     | 74.46       | 10294.3   | 3.33    |
| 方案 IV  | 50          | 230         | 1000.00                                     | 81.73       | 11171.9   | 3.44    |

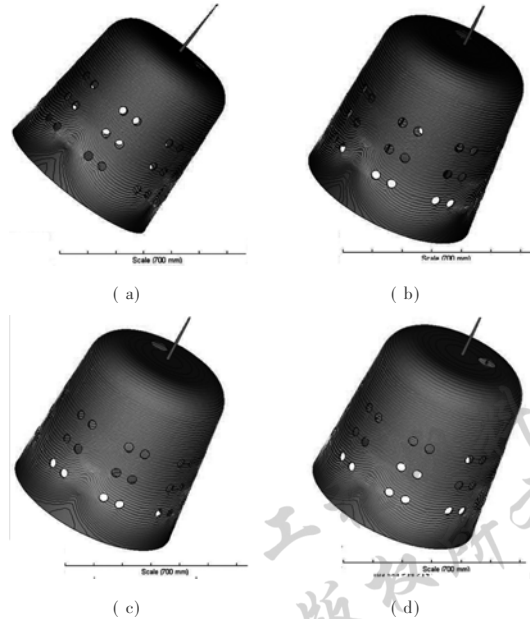
熔体的流动阻力, 如果此时的注塑压力降低不够大、浇口尺寸又比较大时, 因模具温度比熔体温度低, 对熔体有冷却作用, 容易使熔体在浇口附近的型腔处形成堆积, 使充模流动中止, 料流长度将会因此而缩短, 导致滞流现象出现或加剧。由此可见, 模具温度的提高虽可改善熔体的流动性, 使注塑压力降低, 但注塑压力的降低又会促使填充速率降低、填充时间增加, 最终无法有效地改善滞流现象。比较方案 I 和方案 III 可知, 提高熔体温度后, 熔体的填充速率明显增加, 熔体的注塑压力、锁模力和填充时间都明显降低。观察流动末端可以看出, 等位线变平缓了, 滞流效应得到了较大减缓。这表明, 对于 PP 类流动性好且流动性对熔体温度变化较敏感的塑料, 提高料温有利于塑化并会降低熔体粘度、流动阻力或注塑压力损失, 于是熔体在模内的流动和充模状况随之改变(流速增大、充模时间缩短)。PP 熔体的填充速率对粘度的影响较大, 比较方案 I 和方案 IV 可知, 注塑压力和锁模力变化不大, 但填充时间变化较

大,滞流效应得到了较大程度的减缓。比较方案Ⅱ和方案Ⅲ可以发现,提高熔体温度比提高模具温度更能改善熔体的流动,明显减缓滞流效应的作用。

因此,对于 PP 类流动性好且流动性对熔体温度变化较敏感的塑料,提高其熔体温度和填充速率,对减缓滞流效应具有较明显的作用。

3.2 ABS 的滞流效应

ABS 的模流分析结果如图 3、表 2 所示。



a—方案 I；b—方案Ⅱ；c—方案Ⅲ；d—方案Ⅳ

图 3 ABS 的填充输出图像

表 2 对 ABS 模流分析的输出结果

| 方案   | 模具温度 /<br>℃ | 熔体温度 /<br>℃ | 填充速率 /<br>cm <sup>3</sup> · s <sup>-1</sup> | 输出结果        |           |         |
|------|-------------|-------------|---------------------------------------------|-------------|-----------|---------|
|      |             |             |                                             | 最大注塑压力 /MPa | 最大锁模力 /kN | 填充时间 /s |
| 方案 I | 45          | 210         | 811.75                                      | 180         | 28804.0   | 4.51    |
| 方案Ⅱ  | 65          | 210         | 710.28                                      | 180         | 29047.5   | 5.14    |
| 方案Ⅲ  | 45          | 240         | 741.17                                      | 180         | 28250.7   | 4.67    |
| 方案Ⅳ  | 45          | 210         | 1000.00                                     | 180         | 28333.8   | 3.63    |

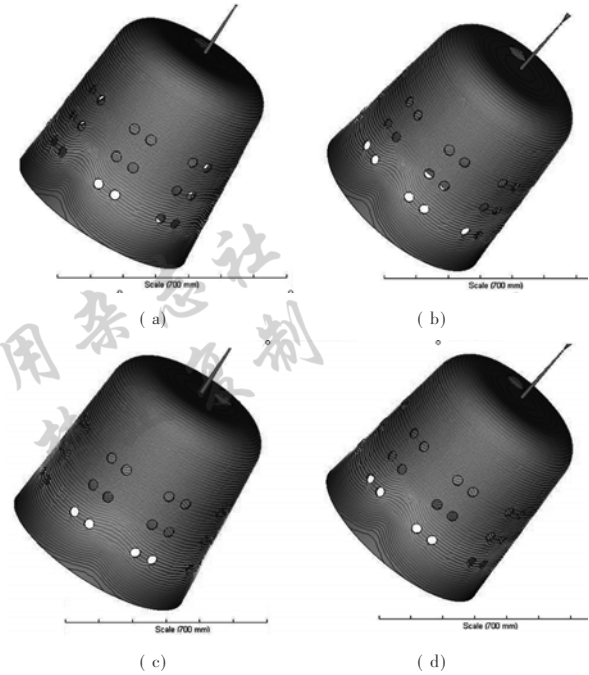
从图 3 可明显看出,与 PP 相比,ABS 的滞流现象比较严重。从表 2 中方案 I 和方案Ⅱ的比较可知,提高模具温度对改善流动性、减缓滞流效应的作用不大。比较方案 I 和方案Ⅲ难以看出熔体流动状况的改善,但从图 3c 可以清楚地看出,熔体的滞流效应得到了明显的改善,不但等位线变得平缓,而且滞流发生的区域明显缩小。由此可见,对于 ABS 类流动性中等且流动性对熔体温度变化较敏感的塑料,提高其熔体温度是降低粘度、改善流动性较好的方法之一。比较方案 I 和方案Ⅳ可知,等位线有所平缓。从填充时间(表 2)也可以看出,对于 ABS,提

高填充速率对改善熔体在模具内的流动状况有较大作用。

总之,对于 ABS 类流动性中等且流动性对熔体温度变化较敏感的塑料,提高熔体温度和填充速率对减缓滞流效应的作用较为明显,提高模具温度的作用则不大。

3.3 PS 的滞流效应

PS 的模流分析结果如图 4、表 3 所示。



a—方案 I；b—方案Ⅱ；c—方案Ⅲ；d—方案Ⅳ

图 4 PS 的填充输出图像

表 3 对 PS 模流分析的输出结果

| 方案   | 模具温度 /<br>℃ | 熔体温度 /<br>℃ | 填充速率 /<br>cm <sup>3</sup> · s <sup>-1</sup> | 输出结果        |           |         |
|------|-------------|-------------|---------------------------------------------|-------------|-----------|---------|
|      |             |             |                                             | 最大注塑压力 /MPa | 最大锁模力 /kN | 填充时间 /s |
| 方案 I | 50          | 230         | 725.39                                      | 89.03       | 12977.3   | 4.74    |
| 方案Ⅱ  | 70          | 230         | 655.65                                      | 86.50       | 12721.6   | 5.24    |
| 方案Ⅲ  | 50          | 260         | 1002.75                                     | 72.99       | 11017.9   | 3.43    |
| 方案Ⅳ  | 50          | 230         | 900.00                                      | 87.10       | 12295.4   | 3.82    |

从图 4 可明显看出,与 PP、ABS 相比,PS 的滞流现象比 PP 严重但却比 ABS 轻。从表 3 中方案 I 和方案Ⅱ的比较可知,提高模具温度可使注塑压力和锁模力都有所降低,导致填充速率有所下降,从而使得熔体在模腔内的填充时间延长,但从图 4b 可看到滞流发生区域略微减小且等位线有所平缓,滞流效应得到一定的改善。比较方案 I 和方案Ⅲ可知,由于 PS 的流动性对温度变化较敏感,提高熔体温度后填充速率也增大,这对改善熔体流动性、减缓滞流效应具有明显的改善作用。比较方案 I 和方案Ⅳ可

知,由于 PS 粘度对剪切速率的敏感性不强,在模具温度和熔体温度保持不变的情况下,提高熔体填充速率对改善流动性、减缓滞流效应有一定的作用,但效果不是很明显。

总之,对于 PS 类流动性好且流动性对熔体温度变化较敏感、粘度对剪切速率的敏感性不强的塑料,提高模具温度、熔体温度或填充速率对改善其熔体的流动性、减缓滞流效应都有帮助,其中提高其熔体温度的作用最明显,减缓滞流效应的效果最好。

### 3.4 MPI 分析结果

(1) 塑料在填充模具型腔时若流动路径中存在流动截面突然变小的地方,如制品薄壁处、浇口处等,则易在此处产生滞流效应。

(2) 不同的成型条件(模具温度、熔体温度等)对塑料熔体的流动性有不同的影响:提高模具温度对于改善塑料熔体的流动性和减缓滞流效应的作用不大;对于流动性好或流动性对熔体温度变化较敏感的塑料,提高熔体温度对改善熔体的流动性、减缓滞流效应的作用较明显;熔体粘度对剪切速率较敏感的塑料,提高填充速率可较好地改善滞流效应,而对于熔体粘度对剪切速率敏感性不强的塑料,提高填充速率则对改善滞流效应没有太大的帮助。

(3) 不同的塑料材料发生滞流效应的可能性不同,不同成型条件对其流动性的影响程度也不同:在

相同情况下,对于像 PP 和 PS 类流动性较好的材料,产生滞流效应的趋势和程度要比 ABS 类流动性稍差的材料轻;当改变熔体温度、填充速率等成型工艺条件时,对于像 PP、PS 类流动性较好材料的滞流效应有相对较明显的影响。

(4) 滞流效应可以通过改变成型条件、塑料材料种类得到不同程度的缓和,但不可能完全消除,解决滞流效应的根本的方法是使制品结构设计合理化,尽量避免制品壁厚突变,以使熔体填充型腔时各处的流动阻力基本均匀,其它方法(选用流动性好、粘度低的材料,提高熔体温度、填充速率、注塑压力等)可作为补充。

## 4 结语

除了上述方法外,滞流问题还可以通过其它方法加以解决,比如增加滞流产生处的壁厚,改变浇口位置和数量等。为了避免滞流问题的产生,模具设计人员应根据具体制品进行具体分析,综合考虑各个因素才能彻底有效地解决该问题。

## 参考文献

- [1] 汤彦近,刘会霞,王宵.避免滞流效应的浇注系统设计原则[J].模具工业,2005(2):46-49.
- [2] 王刚,单岩.Moldflow 模具分析应用实例[M].北京:清华大学出版社,2005.

## RESEARCH ON HESITATION EFFECTS OF LARGE INJECTION MOULD BASED ON MPI

Luo Yuling

(Department of Mechanical and Electrical Engineering, Maoming College, Maoming 525000, China)

**ABSTRACT** The hesitation effects of large injection mould are researched and analysed based on MPI. With the washer barrel as an example, the reason of hesitation effects for large injection mould are discussed. The forms and characteristics of hesitation effects in different materials and different process factors are gained through different design plans. The method solving this question is summarized and proposed.

**KEYWORDS** MPI, large injection mould, hesitation effect, material, process factors

## 《工程塑料应用》杂志开设“技术转让与合作”、“企业风采”栏目

为做好广大作者、读者单位最新科研成果及新产品、新技术的推广服务,《工程塑料应用》杂志和“工程塑料网”(www.epa1973.com)网站已开设“技术转让与合作”栏目,以便买卖双方有效交流与沟通。栏目内容可涉及科研成果及专利技术的转让,公司新产品、新技术简介等方面。另外,为了全方位宣传塑料行业精英企事业单位形象,《工程塑料应用》杂志增设“企业风采”栏目。报道内容主要是企业发展历史、企业文化、企业管理、研发创新能力、新产品发布、攻关项目介绍,人物专访等。来稿字数控制在 5000 字以内,可以附带图片。

《工程塑料应用》为中文核心期刊,是中国工程塑料工业协会会刊,国内外公开发行,屡获国家期刊奖,是中国塑料行业的权威媒体,知名度高,发行量大。可确保您发布的信息有足够的浏览量。

欢迎各有关企事业单位踊跃投稿!投稿时请加盖单位公章。具体刊登事宜请与编辑部直接联系。

地址:济南市 108 信箱杂志社(250031) 电话:0531-85878057 传真:0531-85878224 E-mail:epa@epa1973.com