

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2015.07.016

两种环境友好材料注射成型过程的模拟^{*}

徐志欣,路平,舒扬

(华侨大学,数字化视觉测量厦门市重点实验室,厦门 361000)

摘要:利用 Moldflow 软件对两种不同成分的聚对苯撑乙烯 (PPV) 材料的充填、翘曲过程进行了分析。研究表明,在给定的工艺参数下,不含玻璃纤维的 PPV 和质量分数为 30% 的玻璃纤维的 PPV 均可以充满型腔,质量分数为 30% 的玻璃纤维的 PPV 充填时间为 1.982 s,翘曲变形量为 0.503 6 mm,不含玻璃纤维的 PPV 充填时间为 2.532 s,翘曲变形量为 0.925 1 mm,这主要是由于玻璃纤维的存在能够增加熔体填充流道的速率以及减少流动方向上的翘曲变形量。

关键词:聚对苯撑乙烯;玻璃纤维;充填;翘曲变形;Moldflow

中图分类号:TQ327.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-3539(2015)07-0073-04

Simulation of Injection Molding Process for Two Environmental Friendly Materials

Xu Zhixin, Lu Ping, Shu Yang

(Key Laboratory of Digital Measurement Technology, Huaqiao University, Xiamen 361000, China)

Abstract : The poly-phenylene vinylene(PPV) and PPV with 30% glass fiber were selected to stimulate the filling, and warpage by using Moldflow software. The results show that under the predetermined processing parameters, PPV and PPV with 30% glass fiber can fill the cavity, the filling time of PPV with 30% glass fiber is 1.982 s and the warpage is 0.503 6 mm, but the filling time of PPV with no glass fiber is 2.532 s and warpage is 0.925 1 mm, the reason is that the existence of the glass fiber can increase the filling rate of the melt and decrease the warpage of flowing direction.

Keywords : poly-phenylene vinylene ; glass fiber ; filling ; warpage ; Moldflow

随着计算机技术的迅速发展,其在注射成型 CAE 技术中的应用越来越广泛,注射成型 CAE 技术是根据高分子的流变学、弹性力学以及计算机技术,通过有限元计算的方法来模拟塑料件的注塑过程和该注塑过程对塑料件成型质量的影响,尤其是塑料件在注塑过程中的流动性能,注塑过程中的分子取向、应力分布、收缩与翘曲变形等,以便能够帮助设计人员发现问题并尽早地改善,从而提高试模成功率^[1]。环境友好材料由于具有优良的材料使用性能和环境协调性逐渐被应用于塑料件的注射成型,目前关于环境友好材料的注射成型模拟少有报道。笔者主要采用了两种不同成分的环境友好材料纯聚对苯撑乙烯 (PPV) 和含质量分数为 30% 的玻璃纤维的 PPV(PPV1),结合 Moldflow 进行了注射成型过程的模拟,主要分析了 PPV 以及 PPV1 对塑料件充填与翘曲过程的不同影响。

1 试验方案

选取的塑料件为手机前盖,外观尺寸为 72.50 mm×56.40 mm×6.10 mm,在 Pro/E 4.0 中

构建三维实体模型并保存为 STEP 格式,为了提高后续有限元建模中网格划分的匹配率^[2],将实体模型导入 CAD Doctor 3.0 中对三维模型进行修复与简化,最后保存为 udm 文件,并将 udm 文件导入到 Moldflow6.1 中采用 Fusion 网络模型进行网格划分,通过软件的自动修复以及手动修复,对网格单元进行控制修改以后,可得到有限元模型如图 1 所示,其三角形数为 13 308,节点数为 6 836,单元的纵横比最大值为 5.899,最小值为 1.157,平均值为 1.743,匹配率为 89.7%,相互率 87.4%,网格质量良好,能够达到翘曲变形分析的要求^[3]。

根据塑料件的结构尺寸,采用 1 模 1 腔的结构^[4],浇注系统与冷却系统如图 2 所示。其中冷流道浇注系统采用 4 根冷却水管,冷却管道横截面积采用圆形横截面,管径为 5 mm,水管与塑料件距离

^{*} 国家自然科学基金项目 (51305144); 福建省自然科学基金 (2015 J01203)

联系人:徐志欣,男,主要从事材料性能方面的研究工作

收稿日期:2014-11-12



图1 手机前盖有限元模型

25 mm,管中心间距为 15 mm,距制品边缘距离 10 mm,分流道采用圆形的截面,浇口的类型采用潜伏式浇口,浇口尺寸半径为 1 mm。冷却液采用纯水介质,冷却介质雷诺系数为 10 000,冷却水入口温度为 20℃^[5]。塑料件所选取的环境友好材料分别为 PPV 材料与 PPV1 材料。



图2 浇注系统与冷却系统

2 试验结果与分析

根据两种不同成分的 PPV 与 PPV1 材料的物理性能,采用以 Moldflow 设置的材料所给出的初始工艺参数,模具的表面温度为 40℃,注塑机注射速率为 5 000 cm³/s,保压时间为 10 s,熔体温度 230℃,保压压力为 80 MPa。试验通过计算结果更加精确的 Fill 和 Cool + Flow + Warp 两种方式^[6],主要分析了 PPV 和 PPV1 材料在注射成型过程中的空腔充填效果与翘曲变形情况。在设定相同的注塑工艺参数下,两种不同成分的 PPV 与 PPV1 材料的充填与翘曲过程有所差异,说明 PPV 材料的物理化学性能是注射成型过程的主要影响因素,而 PPV 与 PPV1 材料的性能差异在于是否具有玻璃纤维填充物,PPV1 中玻璃纤维的存在使得塑料件在注射成型的过程中表现出不同的材料特性,进一步影响熔体在注射成型过程中的凝固与流动等行为,最终影响注射成型的工艺过程及塑料件的产品质量^[7]。

2.1 充填结果

充填是指从熔体进入模腔开始直至到达模腔

的末端的过程,通过充填分析可以预测塑料以及相关的成型工艺参数是否合理的设置,充填分析的目地主要是为了获得最佳浇注系统的设计^[8]。充填模拟主要对塑料件的充填时间、流动前沿温度、气穴以及熔接痕进行了分析,模拟结果如表 1 所示。表 1 中显示出 PPV 与 PPV1 两种材料的流动前沿温度、气穴分布位置相似,但充填时间和熔接痕具有明显的差异,如图 3 和图 4 所示,含有质量分数为 30% 玻璃纤维的 PPV1 材料的充填时间少于不含玻璃纤维的 PPV 材料,而且 PPV1 材料的熔接痕分布主要是表面熔接痕和内部熔接痕,PPV 材料主要是表面熔接痕^[9]。

表1 PPV 与 PPV1 充填模拟结果

项 目	材 料	
	PPV	PPV1
充填时间 / s	2.532	1.982
流动前沿最低温度 / ℃	219.5	219.3
流动前沿最高温度 / ℃	230.7	231.0
气穴分布位置	型腔表面	型腔表面
熔接痕 / deg	174.6	135.0

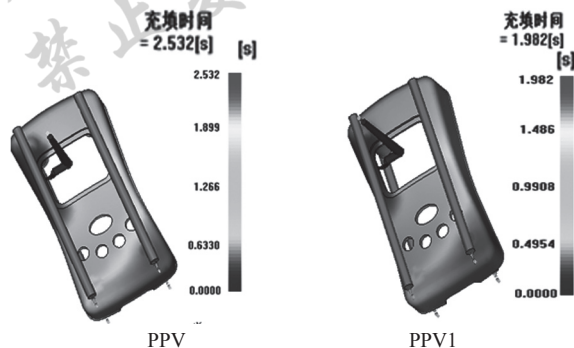


图3 PPV 与 PPV1 材料的填充时间

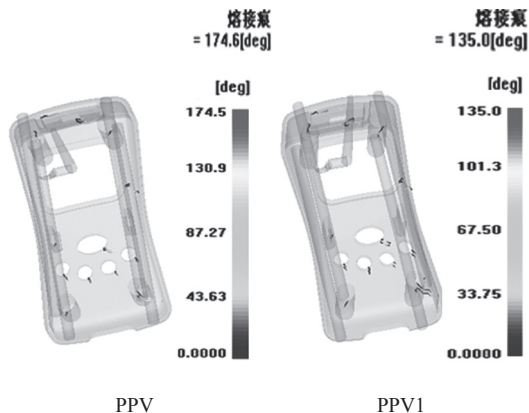


图4 PPV 与 PPV1 材料的熔接痕

从图 3 可以看出,PPV 与 PPV1 材料的充填时间分别为 2.532 s 和 1.982 s,型腔内熔体的充填状况良好。PPV1 材料的充填时间相较于 PPV 要少 0.550 s,充填时间与注射成型的效率有关,充填时

间越短则说明注射成型的效率越高^[10],由模拟分析图3可知PPV与PPV1的流道充填过程基本平衡,发生过保压和短射的可能比较低,但由于PPV1材料中具有玻璃纤维填充物,在PPV与PPV1材料的流道长度相同的情况下,玻璃纤维的存在增加了熔体填充流道的速率,因此,PPV1材料要比PPV更快速的充填完毕。PPV与PPV1的流动前沿温度相似,都处于219~230℃,因为流动前沿温度是指聚合物熔体在充填一个节点时候的中间流温度,代表的是截面中心的温度,变化不是很大,根据Moldflow软件中规定的流动前沿温度范围最大温差不超过10℃^[11],表明两种PPV材料都符合温差范围,说明熔体的流动基本正常,不会发生由于提前冷却而导致的欠注缺陷。熔接痕是由注射成型过程中若干股流料在模具中分流汇合,熔料在界面处未完全熔合留下的熔合印迹,属于塑料件表面的一种线状分布的痕迹,熔接痕的存在对塑料件的外观质量及力学性能产生不利的影响^[12]。从图4可以看出,PPV与PPV1材料的熔接痕主要分布在型腔的上表面,且PPV1的表面熔接痕要比PPV多,多位于远离潜伏浇口的位置,另外,PPV1材料的内部也存在少许的熔接痕。这是因为一方面PPV1中玻璃纤维含量较高,其相对分子质量较大使其熔体黏度增加,使得分子之间的内摩擦增加,两股料流相聚汇合时会出现熔体温度低于黏流温度的情况,最终导致熔体间未充分融合,使得表面熔接痕增加。另一方面,熔体中分散的玻璃纤维及玻璃纤维的取向结构同样也会对熔体分子间的相互扩散产生影响,这也促使了内部熔接痕的产生。玻璃纤维的存在会导致熔接痕处的强度降低,从而影响塑料件的质量,熔接痕一般无法消除,只能根据材料流变的性能分析,通过调整注塑的工艺参数可以实现对熔接痕的控制^[13],提高熔体温度可以降低熔体在填充过程中的黏度,使得熔体进入型腔后依旧能保持较强的活动能力和高温,有利于熔体间的充分融合,另外提高注塑压力和保压压力可以增加熔接痕处的密度,从而提高熔接痕的强度。

2.2 翘曲结果

注射成型过程中,由于收缩不均匀而在材料之间产生分子的作用力,在这种内应力的作用下塑料件就会产生翘曲变形,翘曲变形与塑料件的收缩性有关,一般来说若是均匀收缩只会引起体积的变化,而不均匀的收缩才会引起翘曲变形^[14]。翘曲变形

主要由稳定翘曲和非稳定翘曲两大类组成。对于稳定翘曲的应变与应力关系,呈线性关系分布且变形量很小,而非稳定翘曲应变与应力关系与稳定翘曲相反。根据翘曲变形的分析,可以得出影响翘曲变形的主要因素。该翘曲模拟中主要针对变形所有因素、变形X方向、变形Y方向、变形Z方向来进行分析,PPV与PPV1材料的翘曲变形程度值如表2所示。从表2可以看出,PPV与PPV1材料在X、Y、Z3个方向上的变形量有很大的差异,从而导致PPV1材料的变形所有因素要小于PPV材料,如图5所示。变形所有因素综合了PPV翘曲整体的变形其值为0.9251 mm,PPV1材料的翘曲整体变形量为0.5036 mm。PPV1中玻璃纤维的存在使得翘曲变形量有明显的减小,相对于PPV材料大约减小了0.4215 mm。

变形情况	材 料	
	PPV	PPV1
变形所有因素	0.925 1	0.503 6
变形X方向	1.106 8	0.549 8
变形Y方向	2.095 0	1.011 1
变形Z方向	0.811 8	0.742 4

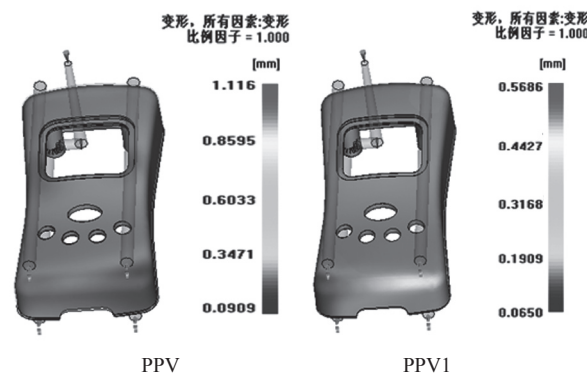


图5 PPV与PPV1材料的变形,所有因素

从表2可以看出,PPV1材料在X、Y方向的变形量均远小于PPV材料,而Z方向上的变形相差不大,这主要是由于玻璃纤维的各向异性引起流动方向上的收缩造成的。玻璃纤维表现出来的材料特性,影响熔体在注射成型过程中的凝固变形等行为,最终影响注射成型的工艺过程及制品质量,PPV1中的玻璃纤维质量分数为30%,会使PPV1在注塑过程中流动速率和注射速率下降。另外,玻璃纤维除了使塑料在注射成型过程中的流动行为发生变化,玻璃纤维还在熔体流动作用下发生纤维取向,使塑料件具有较好的强度和抗冲击力,但是力学性能呈现出较明显的各向异性。从塑料件的外观看,玻璃

纤维增强塑料件的尺寸稳定性较好,但也可能会由于在流动取向基础上的纤维取向而呈现出更明显翘曲变形各向异性。Moldflow 把翘曲变形的原因归结于冷却不均匀、收缩不均匀和分子取向不均匀,收缩不均匀的主要因素有塑料流动方向和垂直于流动方向的分子和纤维取向^[15]。根据 PPV 与 PPV1 材料的翘曲度对比^[16],其结果见表 3。PPV1 材料中玻璃纤维的各向异性使得流动方向 X 方向和垂直流动方向的 Y 方向翘曲变形量减少,从而达到减少整体的翘曲变形量的效果。

表 3 PPV 与 PPV1 材料翘曲度对比 %

不同变形的翘曲度	材 料	
	PPV	PPV1
变形所有因素	4.6	2.5
变形 X 方向	5.5	2.7
变形 Y 方向	10.4	5.1
变形 Z 方向	4.1	3.9

3 结论

(1) PPV 与 PPV1 材料的充填过程基本处于平衡, PPV1 材料的充填时间少于 PPV 材料,流动前沿温度相差不大但熔接痕多于 PPV 材料,这是由于 PPV1 中玻璃纤维的存在会缩短充填时间,增加熔接痕的类型和数目,但对流动前沿温度的影响不明显。

(2) PPV 与 PPV1 两种材料都会发生翘曲变形,但 PPV1 材料的翘曲变形度要远小于 PPV 材料,这是由于 PPV1 中玻璃纤维的各向异性改善了流动方向 X、Y 方向的收缩不均匀,最终使塑料件的整体变形量减少。

参考文献

- [1] 张继祥,秦海涛,钟厉,等.薄壁件注塑翘曲变形综合优化分析[J].塑料工业,2014,42(5):50-60.
Zhang Jixiang, Qing Haitao, Zhong Li, et al. Integrated optimization analysis of buckling deformation of thin-walled component[J]. China Plastics Industry, 2014, 42(5):50-60.
- [2] 卢小虎.模具工入门[M].合肥:安徽科技技术出版社,2005.
Lu Xiaohu. Introduction to mould worker[M]. Hefei:Anhui Science and Technology Press, 2005.
- [3] 陈建鹤.模具设计基础[M].北京:机械工业出版社,2003.
Chen Jianhe. Mold design basis[M]. Beijing:China Machine Press, 2003.
- [4] Faruk O, Bledzki A K, Matuana L M. Microcellular foamed wood-plastic composites by different processes:A review[J]. Macromolecular Materials and Engineering, 2007, 292(2):113-127.
- [5] 刘荣亮,胡泽豪.基于 CAE 的薄壁注塑件工艺参数多目标优化研究[J].塑料科技,2014(6):89-92.
Liu Rongliang, Hu Zehao. Study on multi-objective optimization of injection parameters for shell product based on CAE[J]. Plastics Science and Technology, 2014(6):89-92.
- [6] Sin L T, Rahman W, Rahmat A R, et al. Computer aided injection moulding process analysis of polyvinyl alcohol-starch green biodegradable polymer compound[J]. Journal of Manufacturing Processes, 2012, 14(1):8-19.
- [7] 左大平,张益华,芮玉龙.玻璃纤维增强 PA66 制品翘曲变形的研究[J].工程塑料应用,2006,33(12):23-25.
Zuo Daping, Zhang Yihua, Rui Yulong. The research of buckling deformation about glass fiber reinforced PA66 products[J]. Engineering Plastics Application, 2006, 33(12):23-25.
- [8] Thomas A R, Speight R G, Annareddy M. Using injection moulding simulation to develop environmentally friendly products[J]. Plastics, Rubber and Composites, 2008, 37(2-4):184-189.
- [9] 胡严,李吉泉.玻璃纤维对注塑制品翘曲变形的影响[J].轻工机械,2012,30(3):13-16.
Hu Yan, Li Jiquan. Impact of glass fiber on warpage in injection-molded parts[J]. Light Industrial Machinery, 2012, 30(3):13-16.
- [10] 张昉昉,钟汉如.基于 Moldflow 和 DOE 技术的翘曲变形工艺优化[J].塑料,2011,40(4):90-92.
Zhang Fangyun, Zhong Hanru. Parameter optimization of warpage processing based on moldflow and DOE technology[J]. Plastic, 2011, 40(4):90-92.
- [11] 王博,宋文学,刘清涛,等.基于正交试验的电池盖薄壁塑件注塑工艺参数优化[J].轻工机械,2014,32(5):1-4.
Wang Bo, Song Wenxue, Liu Qingtao, et al. Optimization of injecting process parameters for thin walled plastic parts of battery cover based on orthogonal experiment[J]. Light Industrial Machinery, 2014, 32(5):1-4.
- [12] 孙延.浅谈利用 Moldflow 软件对注塑产品翘曲影响分析[J].科技创新与应用,2012(24):1-2.
Sun Yan. The warp impact analysis of injection products based on Moldflow[J]. The Innovation and Application of Science and Technology, 2012(24):1-2.
- [13] 章柱衡.高闪光铝与 ABS 塑料共混注塑工艺及熔接痕的研究[D].广州:广东工业大学,2011.
Zhang Zhuheng. High flash aluminum and ABS plastic blending injection molding process and weld line research[D]. Guangzhou:Guangdong University of Technology, 2011.
- [14] 任双宁.注塑件翘曲变形及优化研究[D].南京:南京航空航天大学,2011.
Ren Shuangning. Research on warpage of injection molded part and its optimization[D]. Nanjing :Nanjing Aeronautics and Astronautics University, 2011.
- [15] 李一平,宫纪明.基于 CAE 技术的热塑性弹性体制品翘曲变形优化研究[J].南华大学学报:自然科学版,2013,27(2):37-41.
Li Yiping, Gong Jiming. Optimization of plastic-parts warpage with CAE technology[J]. Journal of Nanhua University of South China:Natural Science Edition, 2013, 27(2):37-41.