

# 碳纤维超薄笔记本外壳翘曲变形优化方案

傅洁琼<sup>1</sup>, 邓汝荣<sup>2</sup>

(1.广州城建职业学院, 广东 广州 510925; 2.广州科技职业技术学院, 广东 广州 510550)

**摘要:** 利用 Moldflow 模流分析软件对碳纤维超薄笔记本外壳翘曲变形的影响因素进行模拟分析, 针对影响塑件翘曲变形原因如冷却不均、分子取向和收缩不均等优化方案进行仿真验证, 结果表明: 优化冷却水路是改善笔记本外壳翘曲变形的最有效方法。

**关键词:** 碳纤维超薄笔记本; 翘曲变形; 冷却不均; 保压优化; 冷却水路

中图分类号: TG76; TP391.1 文献标识码: B 文章编号: 1001-2168(2017)08-0048-05

DOI: 10.16787/j.cnki.1001-2168.dmi.2017.08.011

## Optimization scheme of warpage for carbon fiber ultrathin notebook shell

FU Jie-qiong<sup>1</sup>, DENG Ru-rong<sup>2</sup>

(1.Guangzhou City Construction College, Guangzhou, Guangdong 510550, China; 2. Guangzhou Vocational College of Science and Technology, Guangzhou, Guangdong 510550, China)

**Abstract:** The influential factors of the warpage for carbon fiber ultrathin notebook shell were analyzed by using Moldflow software. The optimization scheme of warpage such as cooling, molecular orientation and shrinkage were validated. The results showed that the optimization of cooling channel was the best way to improve the warpage of the notebook shell.

**Key words:** carbon fiber ultrathin notebook shell; warpage; uneven cooling; holding pressure optimization; cooling channel

### 0 引言

翘曲变形是注射成型的常见缺陷, 塑件的变形量需满足尺寸精度和装配的要求, 当变形量超过许可范围时, 需采取相应的改进措施。碳纤维增强复合材料是由无机高分子碳纤维和有机高分子树脂复合的材料, 其力学性能类似于金属材料, 具有强度高、弹性模量大和高稳定性等特性以及阻尼减震性好、散热快、电磁屏蔽性佳等优点, 并且塑料颗粒密度低, 易加工成型, 是理想的超薄笔记本外壳成型材料。但是与普通的热塑性材料相比, 碳纤维复合材料的流动性差, 注射充填困难, 翘曲变形严重。现以某款碳纤维超薄笔记本外壳成型为例, 借助 Moldflow 仿真软件, 以实际注射的参数为工艺参数, 进行注射填充的仿真模拟, 以改善笔记本外壳塑件的翘曲变形。

收稿日期: 2017-03-13。

作者简介: 傅洁琼(1982-), 女(汉族), 福建龙岩人, 讲师, 主要研究方向为: 高分子材料成型及产品快速成型。

### 1 塑件翘曲变形原因

碳纤维超薄笔记本外壳外形尺寸为 344 mm×240 mm, 平均壁厚 1.2 mm(普通 PC/ABS 笔记本外壳壁厚为 2 mm), 碳纤维超薄笔记本外壳注射成型时易出现翘曲变形。图 1 所示为碳纤维超薄笔记本外壳有限元模型, 将此模型导入 Moldflow 软件进行翘曲分析, 得到图 2 所示的模拟结果。由图 2 可知, 塑件四周为 Z 向正变形, 最大变形量约为 0.5 mm, 塑件中间是 Z 向负变形, 最大变形量约为 -0.6 mm, Z 方向总的变形量约为 1.1 mm。根据经验, 影响塑件翘曲变形的原因有: 冷却不均、收缩不均、分子取向和角效应。

#### 1.1 冷却不均引起的翘曲变形

图 3 所示为由冷却不均引起的翘曲变形模拟结果, 由图 3 可知, 塑件中心最大变形量为 -0.437 2 mm, 四周最大变形量约为 +0.403 0 mm, 总变形量约为 0.84 mm, 且塑件的变形趋势与总的变形趋势一

致,因此需要优化水路排布设计。

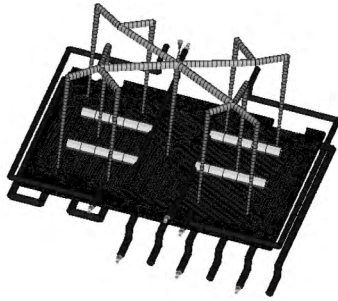


图1 碳纤维超薄笔记本外壳有限元模型

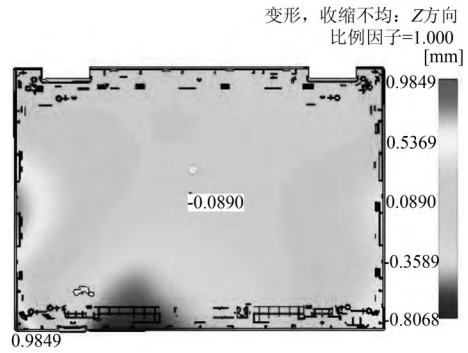


图4 收缩不均引起的Z方向翘曲变形

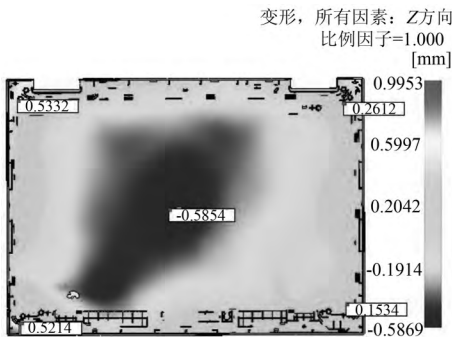


图2 塑件Z方向总的翘曲变形

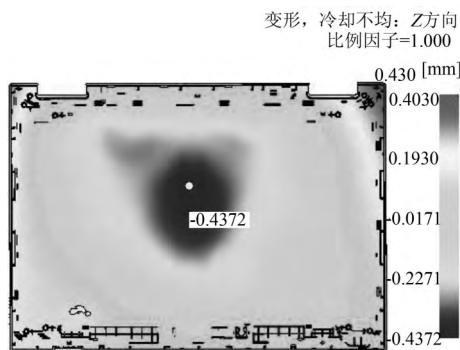


图3 冷却不均引起的Z方向翘曲变形

### 1.2 收缩不均引起的翘曲变形

图4所示为收缩不均引起的翘曲变形模拟结果,由图4可知,塑件中间最大变形量约为-0.089 0 mm,周边局部最大变形量为0.984 9 mm。碳纤维复合增强材料的收缩率较大,且在一定的范围内随成型过程参数如熔体温度、流动速率、保压压力及型腔表面的冷却速率的变化而变化,导致注入型腔的熔体流动不均匀和收缩不一致使得塑件壁厚不均匀<sup>[1]</sup>。在不影响塑件功能和强度的条件下,可以适当改进塑件壁厚,尽量做到壁厚均匀。

### 1.3 分子取向引起的翘曲变形

图5所示为由分子取向引起的翘曲变形模拟结果。聚合物在填充过程中,沿着流动方向分子链有拉伸作用,而垂直于流动方向没有拉伸作用,因此聚合物在这2个方向的收缩率不同。并且在熔体流动过程中,靠近型腔四周部分因冷却迅速,分子保持了拉伸状态;此时型腔内部流动的熔体仍然保持较高的温度,分子链由原来的拉伸状态变成松弛状态,最终导致塑件的表层受拉而内部受压,其表面的取向梯度较大而内部取向梯度几乎为零。同一截面各处的收缩率也存在差异,各层冷却后收缩率的总和叫做截面净收缩率,一般沿熔体流动方向的收缩率较大<sup>[2]</sup>。由图5可知,Z方向取向翘曲变形差异不大,大部分区域变形量为-0.066 1 mm,表明由分子取向引起的翘曲变形所占的比例较小。

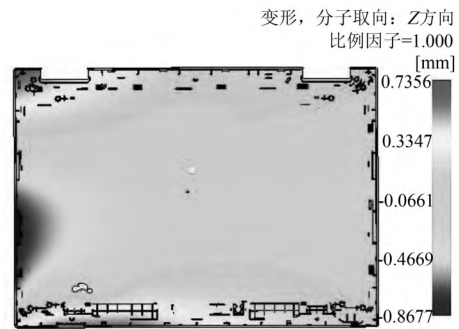


图5 分子取向引起的Z方向翘曲变形

### 1.4 角效应引起的翘曲变形

由角效应引起的变形主要分布于塑件的4个角,如图6所示,但数值相差不大,原因是:盒形塑件注射成型时型芯容易在4个角处积热,冷却时收缩率大。但是此处收缩受到型腔的限制,使得熔体在流动方向和厚度方向收缩不一致,脱模后,塑件四

周翘曲变形转变成中心变形。该塑件不属于典型的盒状零件,因此角效应引起的变形可以忽略。

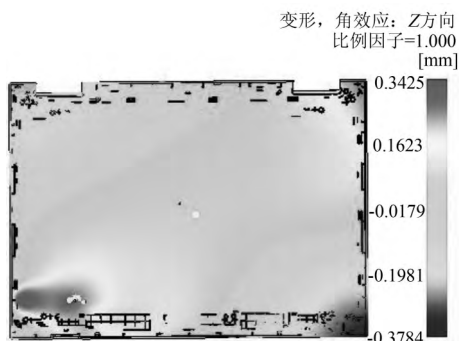


图6 角效应引起的Z方向变形

综上所述,4个影响因素中冷却不均、收缩不均、分子取向是翘曲变形的主要原因,由于总变形量超过了塑件0.7 mm的平面度要求,必须采取相应的措施减小塑件的翘曲变形。

## 2 翘曲变形改善方案

针对塑件翘曲变形的原因提出以下改进方案:

①优化模具冷却水路排布,改善由冷却不均造成的翘曲变形;②将冷流道改为热流道,减少压力损失和热量损耗;③调整保压条件,改善由收缩不均引起的翘曲变形;④控制熔体分子流动取向或者缓和松弛应力取向,减少因分子取向造成的翘曲变形<sup>[3]</sup>。其中熔体分子流动取向在模拟软件中无法实现,只能在实际注射成型中进行工艺参数的调整,因此现主要对模具冷却水路、流道选择、保压条件进行优化设计。

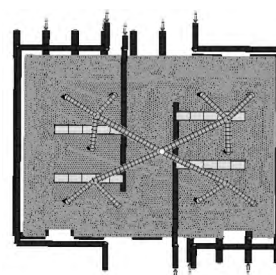
### 2.1 冷却水路优化设计

模具设计时,型芯面要避开推出系统,影响冷却水路排布,冷却效果不佳,针对冷却不均的分析结果,结合模具结构优化冷却水路排布,如图7所示。对优化的冷却水路进行翘曲分析,其结果如图8所示。

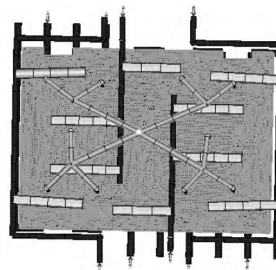
由图8可知,塑件翘曲变形量大幅度减少,塑件中间区域主要变形量为-0.348 9 mm,角部区域变形量为+0.055 1 mm,塑件总变形量约为0.4 mm,与优化前1.1 mm的总变形量(见图2)相比,塑件的翘曲变形得到较大的改善。

图9所示为冷却水路优化后冷却不均引起的翘曲变形。由图9可知,塑件翘曲变形量由0.86 mm

(见图3)减小至0.5 mm,翘曲变形改善明显。



(a)优化前



(b)优化后

图7 优化前后模具型芯水路对比

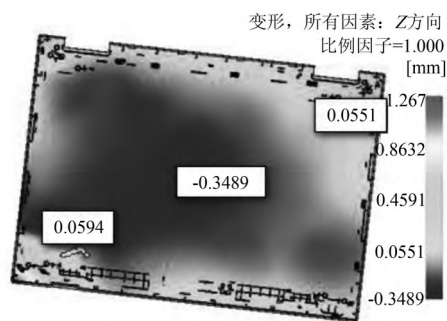


图8 冷却水路优化后塑件总变形量

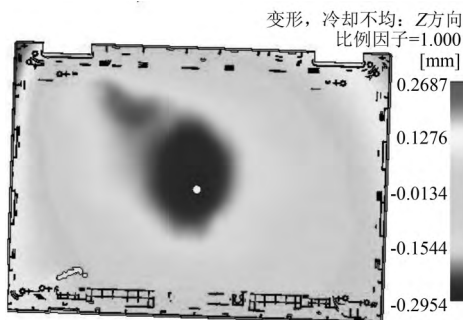


图9 冷却水路优化后冷却不均引起的翘曲变形

图10所示为冷却水路优化后收缩不均引起的翘曲变形。对比图4和图10可知,塑件翘曲变形量由1.79 mm减小至1.72 mm,翘曲变形得到一定改善。

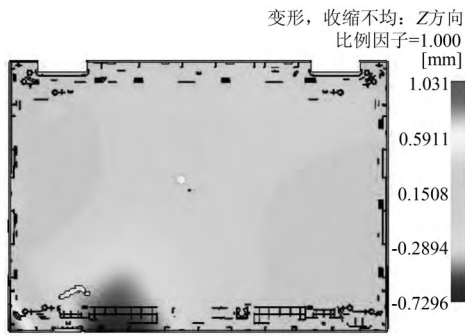


图10 水路优化后收缩不均引起的翘曲变形

图11所示为冷却水路优化后分子取向因素引起的翘曲变形。对比图5和图11可知,由分子取向引起的塑件翘曲变形量由1.59 mm减小至1.28 mm,翘曲变形得到较大的改善。

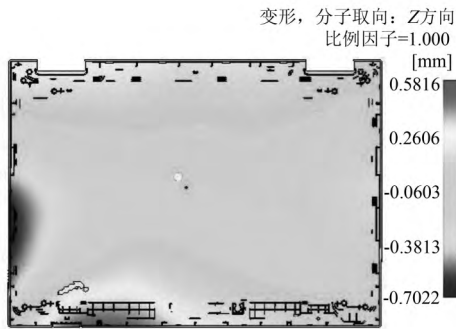


图11 冷却水路优化后分子取向引起的翘曲变形

### 2.2 热流道注射成型

改进前,塑件采用冷流道浇注系统成型,流道压力损失和温度损失大,翘曲变形大;改进后采用热流道成型,其模拟仿真结果如图12所示。由图12可知,塑件翘曲变形没有得到明显改善。

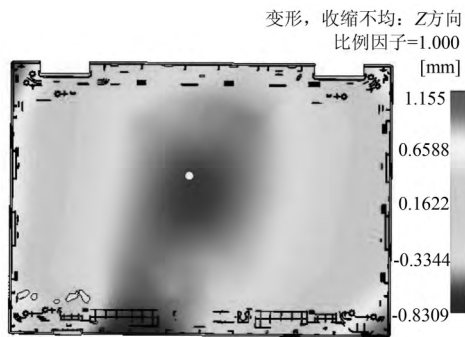


图12 采用热流道成型引起的翘曲变形

### 2.3 保压优化

改进前保压采用图13所示的保压曲线,保压压力为60 MPa,保压时间为4 s。由图13中保压分析结果可知,从某一浇口起始位置到填充末端同一直线方向依次取4个点N8684、N8688、N8692、N8696,其同一浇口处其他直线方向填充末端点N12708做压力-时间曲线,如图14所示。由图14可知,5个点处的压力曲线差异较大。在保压过程中,合理设置保压曲线可以减小压力梯度,改善塑件翘曲变形,即使塑件壁厚均匀,填充结束时,其内部还会存在压力梯度(一般浇口处的压力高,而最后填充的区域压力低)。保压曲线的设置应使保压压力在整个时间内阶段性降低,降低浇口处的压力,增大浇口处熔体收缩量,使其接近最后填充区域的收缩量,最终采用图15所示的2段保压方式。

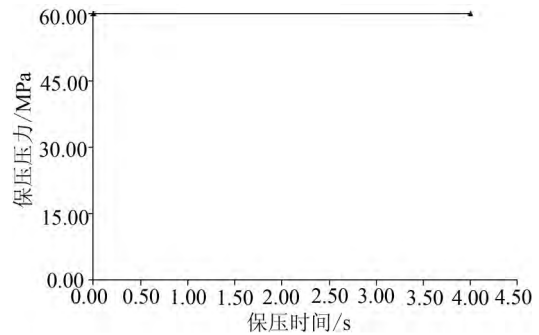


图13 一段保压曲线

2段保压压力的曲线中,第2段保压的起始时间由填充末端压力曲线对应的时间确定,终止时间由浇口的凝固时间确定<sup>[4-8]</sup>。由图14可知,末端节点N8696压力曲线峰值处对应的时间 $t_1=5.44$  s,压力为0时的时间 $t_2=9.43$  s,故第2段保压的起始时间 $T_1=(t_1+t_2)/2=7.435$  s。从填充分析结果可知浇口凝料凝固时间 $T_2=9.43$  s,从保压分析结果可知保压压力 $P=60$  MPa,注射时间 $T_3=V/P$ 切换时的时间,即 $T_3=5.47$  s。

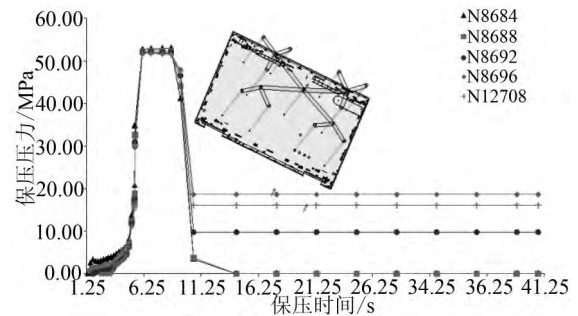


图14 5个点的压力-时间曲线图

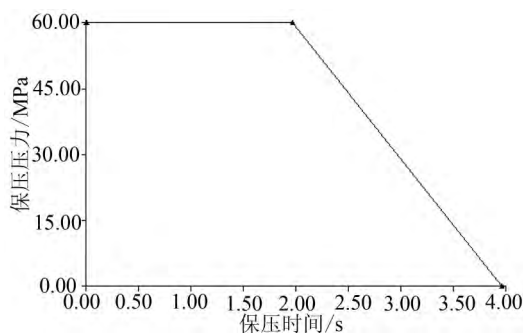


图15 优化后的2段保压曲线

从以上分析结果可知,优化后的保压曲线中,第1段保压时间 $T_a$ =第2段保压的起始时间 $T_1$ -注射时间 $T_3=7.435-5.47=1.965$  s;第二段保压时间 $T_b$ =浇口凝固时间 $T_2$ -第2段保压起始时间 $T_1=9.43-7.435=1.995$  s。

查看其中一浇口处的浇口节点N8684,浇口附近的节点N8688、N8692,填充末端节点N8696、N12708压力-时间曲线,如图16所示,对比可知靠近浇口处的节点N8688、N8692压力曲线更加接近,填充末端处的节点N8696、N12708稍有远离,保压压力由浇口处传递至填充末端,由于填充末端受到不同位置浇口传递的压力作用,个别填充末端点压力可能存在方向相反相互抵消的现象,保压数值差异较大。忽略个别现象,从总体情况看此保压方案对于减少塑件的收缩不均是可行的。

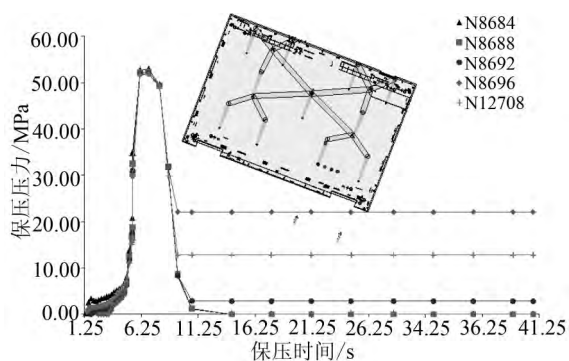


图16 优化后5个点的压力-时间曲线

保压优化后的翘曲变形如图17所示,由于壁厚不均匀,左下角和右上角的变形量稍大,薄壁位置还存在一定程度的翘曲变形,塑件总体翘曲变形量约为0.6 mm,与优化前的变形量1.1 mm相比,保压

方案的改善对减小翘曲变形量效果理想。

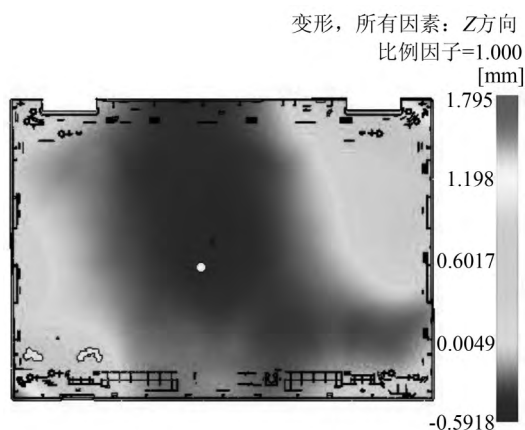


图17 保压优化后的翘曲变形

### 3 结束语

对碳纤维超薄笔记本外壳翘曲变形的原因进行分析,得出冷却不均、收缩不均及分子取向是塑件翘曲变形的3大影响因素。借助有限元分析软件,采用优化水路排布,浇注系统变冷流道为热流道,优化保压3种方案进行改进,最终塑件壁厚尽量均匀一致,Z向变形量减小,其中优化水路排布对减小翘曲变形的效果最明显,Z向变形量减少了0.7 mm。

### 参考文献:

- [1]张师军.碳纤维增强热塑性复合材料工艺与性能的研究[J].中国塑料,1998,12(6):34-56.
- [2]倪朝晖,张军,苏广均.碳纤维/聚丙烯复合材料的注塑成型及性能研究[J].广东化工,2012,39(17):78-96.
- [3]陈海涛,谢义林,王天军.塑料复合材料成型技术[M].北京:化学工业出版社,2011:1.
- [4]董召然.注塑机注射速度和保压压力控制及注射保压切换方法研究[D].沈阳:东北大学,2008:45-61.
- [5]于富冬,张晔.基于UG的冰箱发泡模标准件库的参数优化设计[J].模具工业,2015,41(5):37-41.
- [6]刘军.基于案例推理的注射模CAPP系统研究[J].模具工业,2008,34(5):9-13.
- [7]文根保,李和平,文莉.塑件成型缺陷分析与改进措施[J].模具工业,2009,35(11):46-49.
- [8]张晓陆.多侧浇口塑件成型熔体流动分析[J].模具工业,2010,36(12):43-46.