

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2023.05.012

手机壳注塑成型模流分析及工艺优化

尚雪梅^{1,2}, 门静^{1,2}, 韩海燕^{1,2}, 贾谦^{1,2}

(1. 西安交通大学城市学院机械工程系, 西安 710018; 2. 机器人与智能制造陕西省高校工程研究中心, 西安 710018)

摘要: 以一种手机壳自动化注射成型注塑模具为研究对象, 以注塑压力、注塑时间、注塑温度为影响因素, 利用 Moldflow 软件对模具内流体的流动行为进行模拟仿真, 确定最佳的浇口位置。对浇注系统和冷却回路进行仿真, 并对注塑件的翘曲变形、气孔和熔接痕进行分析, 最终确定手机壳注塑模具的最佳加工工艺组合方案。结果表明, 两点浇口进料比四点浇口进料产生的熔接痕数量少; 收缩不均引起塑件整体变形的最大因素, 其变形量为 0.584 6 mm。最佳工艺组合为: 模具温度为 52.5 °C、熔体温度为 241 °C、注射时间为 0.398 4 s; 两点浇口进胶, 冷却水道为 Y 型布置; 保压时间为 30 s、保压压力为 135 MPa。优化后得到的翘曲变形量为 0.405 6 mm, 相比优化前翘曲量降低了 30.6%。

关键词: Moldflow; 手机壳; 注塑成型; 模流分析; 工艺优化

中图分类号: TQ320.52, TP391.7 文献标识码: A 文章编号: 1001-3539(2023)05-0075-06

Moldflow Analysis and Process Optimization of Mobile Phone Case Injection Molding

Shang Xuemei^{1,2}, Men Jing^{1,2}, Han Haiyan^{1,2}, Jia Qian^{1,2}

(1. Department of Mechanical Engineering, Xi'an Jiaotong University City College, Xi'an 710018, China; 2. Engineering Research Center of Robot and Intelligent Manufacturing, Universities of Shaanxi Province, Xi'an Jiaotong University City College, Xi'an 710018, China)

Abstract : Taking an automatic injection mold of mobile phone case as the research object, injection pressure, injection time, and injection temperature as the influencing factors, using Moldflow software to simulate the flow behavior of fluid in the mold, the optimal gate position was determined. Simulation was conducted on the pouring system and cooling circuit, and analysis was conducted on the warping deformation, porosity, and fusion marks of the injection molded parts. Finally, the optimal processing technology combination scheme for the mobile phone case injection mold was determined. The results show that the number of fusion marks produced by two point gate feeding is less than that of four point gate feeding. Uneven shrinkage is the biggest factor causing overall deformation of plastic parts, with a deformation amount of 0.584 6 mm. The optimal process combination is: mold temperature of 52.5 °C, melt temperature of 241 °C, and injection time of 0.398 4 seconds, two point gate injection, Y-shaped layout of cooling water channel, the holding time to 30 seconds and the holding pressure to 135 MPa. The optimized warping deformation is 0.405 6 mm, which is 30.6% lower than the pre optimized warping deformation.

Keywords : Moldflow ; mobile phone case ; injection molding ; moldflow analysis ; process optimization

注塑成型技术能反映工业发展的水平,也是现代高新技术产业发展的基础^[1]。手机壳体结构较复杂,包含大量倒扣,为保证外观面光洁美观,因此外观面不能出现熔接痕、冷料痕、气泡等缺陷^[2]。目前,手机外壳设计主要借助 UG, Solidworks 等三维设计软件完成,手机外壳制造主要采用注塑技术,注塑前一般采用 Moldflow 进行仿真^[3-4]。

曹永志等^[5]利用 Pro/E 软件建立手机壳的三维

模型,优化注射位置后,注塑效率高,且不易出现应力集中。汤小东^[6]借助 Moldflow 对手机壳浇口位置、充模时间等进行模拟分析,优化模具设计方案,取得较好效果。闫磊^[7]基于工业机器人手机壳去披锋工装的操作,凸显了比传统手机壳去披锋操作流程所特有的优势。马瑞杰等^[8]对手机上壳进行 CAE 模拟,注塑件表面无明显的熔接痕、气穴等注塑缺陷,模拟结果可作为后续优化的依据。林峰等^[9]以

通信作者: 贾谦, 博士, 讲师, 研究方向为现代机械设计、现代测试技术

收稿日期: 2023-03-08

引用格式: 尚雪梅, 门静, 韩海燕, 等. 手机壳注塑成型模流分析及工艺优化[J]. 工程塑料应用, 2023, 51(5): 75-80.

Shang Xuemei, Men Jing, Han Haiyan, et al. Moldflow analysis and process optimization of mobile phone case injection molding[J]. Engineering Plastics Application, 2023, 51(5): 75-80.

某薄壁壳体为研究对象,采用正交试验法设计试验方案,并基于Moldflow进行数值模拟分析,有效提高塑件质量。么大锁等^[10]针对注塑产品容易产生翘曲和缩痕的问题,运用RBF神经网络模型和遗传算法对注塑成型质量进行控制与预测。曹争^[11]采用Moldflow软件对模具的浇注系统、锁模力等进行模拟分析,为手机精密模具及同类外壳塑件注塑模设计提供了参考。曹轶杰等^[12]运用Moldflow软件对产品浇注系统、冷却系统进行优化设计,利用UG软件完成产品的模具设计。牛海侠^[13]使用Moldflow对手机外壳型腔充填过程进行分析,发现了壳体中间因为各种因素导致的充填不足问题。邱志文等^[14]在对塑件结构与成型工艺进行分析的基础上,使用Moldflow软件对模型的最佳浇口位置、手机后盖制作过程的填充时间、熔接线和体积收缩率等进行模拟成型分析,进一步优化了成型工艺参数。王丽君^[15]针对塑件在成型过程中遇到翘曲变形的问题,使用Moldflow软件对塑件建立两种浇注系统以及冷却系统,并对其进行模拟仿真并选择最优方案,使用正交分析方法对成型参数进行优化,得出其最小翘曲变形量参数取值。

笔者针对手机壳自动化注射成型生产的需要,以一套一模型侧抽芯三板式注塑模具为研究对象,进行手机壳注塑成型模流分析及工艺优化。对所设计的模具进行“冷却+充填+保压+翘曲”四部分全面的分析,特别分析引起塑件整体变形的影响因素,针对可能产生的缺陷,通过优化工艺参数的方式减轻或消除缺陷,改善零件的翘曲量,为表面要求高的复杂塑件的注塑理论分析和生产提供支持。

1 手机壳塑件模型分析的前处理

1.1 模型导入及网格划分

采用SolidWorks进行手机壳三维建模,图形保存为.IGS文件。打开Moldflow分析软件,将文件导入新建工程,如图1a所示。导入后选择双层面,以1 mm为边长进行网格划分,如图1b所示。

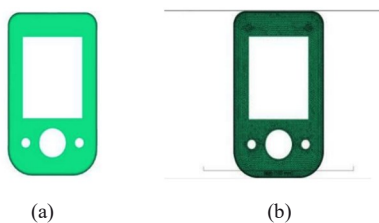


图1 模型导入及网格划分

有缺陷的网格会对Moldflow软件分析结果产生不良影响,甚至会导致无法计算,因此,在Moldflow软件分析之前有必要对划分网格的塑件进行网格诊断,网格诊断的统计结果如图2所示。最大纵横比为9.25%、最小纵横比为1.15%、平均纵横比为1.42%,网格划分较为均匀,没有出现尖锐的三角;自由边、多重边及配向不正确的单元均为0;网格的匹配率为86.5%,各项指标均符合Moldflow软件所要求的网格质量标准,可以不进行网格修复而直接进行双层面分析。

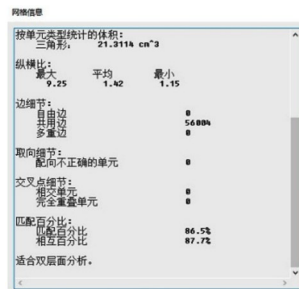


图2 网格诊断的统计结果

1.2 浇口位置及成型窗口的分析

在进行最佳浇口位置分析时,通过软件分析计算,综合模具成型的条件,可以确定用于分析最佳的浇口位置。首先,将任务栏中的“分析序列”设置为浇口位置分析,材料设置为丙烯腈-丁二烯-苯乙烯塑料(ABS),在“工艺设置”中选用默认注塑机,并将注塑机参数改为模具表面温度50℃,熔体温度230℃。浇口数量选择为4个,点击“开始分析”,得到的最佳推荐浇口位置如图3所示。

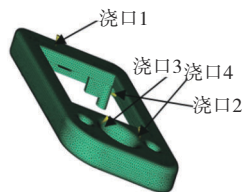


图3 推荐浇口位置

由流动阻力的分析结果可知,塑件表面画圈区域为最佳浇口位置,如图4a所示,在此区域设置点浇口,浇口位置如图4b所示。

确定浇口位置后,通过成型窗口分析确定部分工艺参数,可保证良好的模拟结果,成型窗口前“工艺设置”中对应参数应指定为材料对应参数:模具表面温度为50℃,熔体温度为230℃,模具温度范围20~80℃,熔体温度范围200~280℃,最大剪切

应力 0.28 MPa。将分析结果中的推荐参数与指定材料参数对比,分析日志中推荐参数见表1,推荐的模具温度为 74.50 °C,推荐的熔体温度为 204.10 °C,推荐的注射时间为 0.621 2 s,此情况下的参数配合成型质量最高。

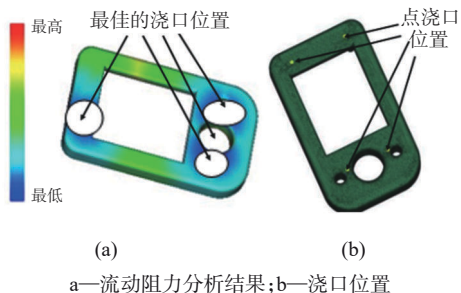


图4 流动阻力分析结果及浇口位置

表1 分析日志中推荐参数

参数	数值
保压时间/s	30
保压压力/MPa	135
最大设计锁模力/t	122.40
最大设计注射压力/MPa	150.00
推荐的模具温度/°C	74.50
推荐的熔体温度/°C	204.10
推荐的注射时间/s	0.621 2

1.3 流道系统和冷却回路的创建

该塑件虽然结构简单,但分流道截面为U型,自动创建的分流道截面只能为圆形或梯形,局限较大,故采用手动创建流道系统。首先,通过“几何”中“偏移节点”命令创建流道的节点,如图5a所示;其次,使用“柱体”命令,按照流道由进到出的顺序连接节点生成柱体,并且将柱体对应定义为主流

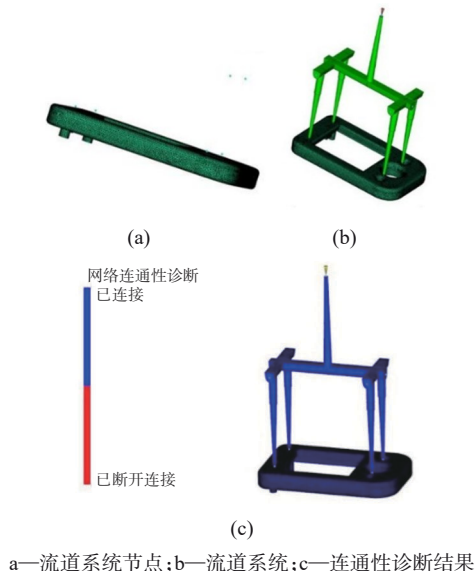


图5 流道及连通性诊断结果

道、分流道和点浇口;最后,对所生成柱体重新划分网格,流道系统便创建完成,效果如图5b所示。对创建完成后的流道系统进行连通性诊断,检查结果如图5c所示,流道系统和塑件整体不存在未联通区域,连通性良好,可用于接下来的分析。

与流道系统创建相同,冷却回路的创建方法也分为自动创建和手动创建,由于本模具冷却系统设计较为简单,通过自动创建可以达到效果。首先,点击工具栏中“几何”,选择其中的“冷却回路”命令,在出现的“冷却回路向导”中设置对应参数。指定水管直径 8 mm,水管与零件间距离 10 mm,水管沿 X 轴方向水平布置。管道之间采用软管连接,点击“完成”,冷却回路创建完成,如图6所示,至此流道系统和冷却系统全部创建完成。

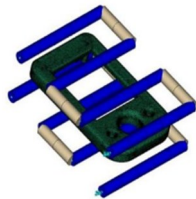


图6 冷却回路系统布置

2 基于 Moldflow 的注塑成型模流分析

Moldflow 软件有多种分析序列,既可以单独分析,也可以组合分析,为简化分析流程,将分析序列设置为“冷却+填充+保压+翘曲”,可以一次得到全部分析结果,熔体温度采用成型窗口分析,选取的值为 240.10 °C,开模时间采用默认值为 5 s,注射+保压+冷却时间为 20 s,填充控制选择以填充时间控制,填充时间为 1.555 s,速度/压力切换由填充体积控制,当填充体积为 99% 时进行速度/压力切换,保压控制为“%填充压力与时间”,勾选分离翘曲原因,以便查找引起翘曲产生的主要因素。

2.1 填充分析结果

在塑料模具成型过程中,填充是主要过程,填充过程会受熔融塑料的流动性以及传热性能影响,同时塑料的各项性能还会受压力、温度以及速度等变量影响,因此,填充过程非常复杂。由填充分析结果可知,塑件整体填充时间为 1.846 s,手机壳中部为最后填充部位,整体没有未填充区域,在分析日志中也找不到短射现象发生,可见填充完整,填充时间较为合理。图7为塑料熔体流动前沿温度分析结果:流动前沿最高温度为 243.2 °C,最低温度为

186.3℃,温度差为56.9℃,温差偏高,但塑件大部分前沿温度均匀,只有距离浇注系统最远端很少区域为相对低温区,故不会造成过多表面缺陷,同时,较高的前沿温度有利于提高熔接线的质量。

气孔是塑件常见缺陷之一,气孔数量太多将会影响塑件质量。本塑件气孔多集中于孔洞周围,气孔数量合理,此外,可通过模板间隙、推杆间隙和侧型芯的间隙排气,或开设排气槽来减少气孔数量。熔接线是由于不同浇口中进入型腔的熔体温度存在差异从而在接触位置产生的,本塑件单侧边缘产生的熔接线较长,不会影响塑件强度。

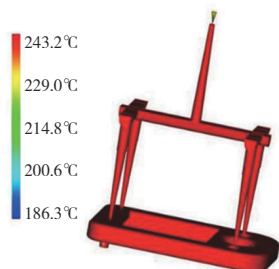


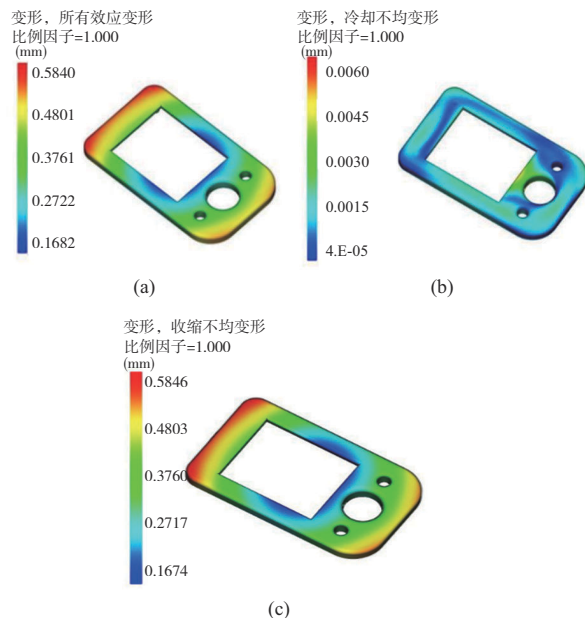
图7 流动前沿温度分析结果

2.2 冷却分析结果

冷却液从冷却水道入口流入,从另一端流出,带走流过区域的温度,达到冷却效果,冷却液进入和流出的温差若太高,则冷却效果不好,回路冷却液温度分析结果:流道冷却液入口温度为25.02℃、出口最高温度为25.86℃,温差0.84℃在合理范围内。回路管壁温度分析结果:温度最高区域为29.49℃,最低温度为25.17℃,温度差为4.32℃,温差处于合理范围内。回路热去除效率分析结果显示:塑件上方的冷却回路传热效率较高,塑件下方冷却回路冷却效率约为70%。冷却后塑件温度的分布显示:经冷却回路作用后,除浇口位置外,塑件整体温度在44℃左右,冷却效果良好,冷却回路布置合理。

2.3 翘曲变形分析结果

变形可分为“收缩”和“翘曲”,在模拟分析结果中,收缩是X和Y方向上的变形,翘曲则是Z方向上的变形。图8a为所有效应引起的变形结果,塑件变形较严重,变形量为0.5840 mm。图8b为冷却不均引起的变形,最大变形量为0.006 mm,塑件大部分变形量不大。图8c为收缩不均引起的变形,收缩不均引起塑件整体变形的最大因素,其变形量为0.5846 mm。



a—所有效应引起变形;b—冷却不均引起变形;c—收缩不均引起变形
图8 所有效应引起变形等分析结果

3 工艺优化分析

3.1 充填优化

原始方案中浇口位置为4个,熔接痕位置不理想,为减少熔接痕,优化方案中浇口数量为2个。优化方案中浇口位置如图9所示,对其进行成型窗口分析,获得最佳工艺参数:模具温度为52.5℃;熔体温度为241℃;注射时间为0.3984 s,该工艺参数下塑件成型质量为86.68%。

手动创建流道系统、划分网格和诊断连通性后,按照成型窗口分析选取的工艺参数进行工艺设置,随后进行充填分析。优化方案的充填时间为0.4819 s,较初始方案充填时间缩短了1.3641 s,优化效果明显。优化后熔接线数量明显减少,减少量约50%,且没有太长的熔接线,保证了塑件成型的质量。优化方案的气穴数量略有减少,但可以通过推杆间隙与模板间隙排气,减少气穴数量。

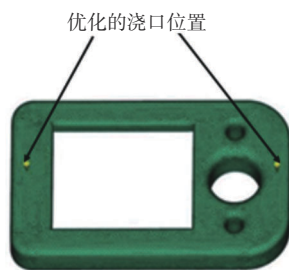


图9 优化浇口位置

3.2 冷却优化

在原始方案中,冷却水道采取X型布置,但优化方案采取Y型布置。冷却优化后,回路冷却液最高温度为25.76℃、最低温度为25.01℃,冷却液进出口温差为0.75℃,较原始方案降低0.09℃。回路管壁最高温度为27.71℃,最低温度为25.75℃,温差为1.96℃,较原始方案有明显改善。回路热去除效率均在80%以上,较原始方案提高约10%。冷却后的塑件表面温度约为42℃,较初始方案降低2℃。冷却优化效果明显。

3.3 翘曲优化

由原始方案翘曲分析可知,塑件主要变形方式为收缩,因此,重点针对收缩进行优化。翘曲优化后,由所有效应引起的变形分析如图10a所示,所有效应引起的最大变形量由初始方案中的0.5840 mm降至0.4047 mm。由收缩不均引起的变形分析如图10b所示,收缩不均引起的变形量由0.5846 mm降至0.4056 mm。由此可见,翘曲优化有效果,但收缩量仍较大。

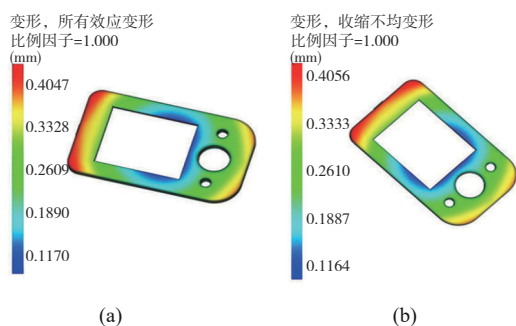


图10 回路冷却液温度等分析结果

因保压时间应大于浇口凝固时间,否则会造成保压时间不足。从冻结层因子分析结果可知,浇口凝固时间为30 s,故保压时间分别设置为30 s和40 s。塑件变形量最大的区域位于塑件顶端,保压时间为30 s时,由所有效应引起的变形量为0.2896 mm,较未优化保压曲线前的变形量减少了0.1151 mm;保压时间为40 s时,由所有效应引起的变形量为0.2892 mm,较30 s的变形量仅缩小了0.0004 mm,故30 s的保压时间优化效果较好,达到了优化目的。

4 结论

(1) 根据手机壳塑件的结构特点,利用Moldflow软件确定最佳浇口位置,对模具温度、塑料熔

体温度、注射时间、注射压力等进行了仿真。

(2) 利用Moldflow软件对手机壳塑件的翘曲变形、气孔和熔接痕进行分析,为模具结构的精确设计提供依据。

(3) 对设计工艺进行优化,优化后的工艺参数:模具温度为52.5℃、熔温度为241℃、注射时间为0.3984 s、保压时间为30 s、保压压力135 MPa。

参考文献

- [1] 葛朋. 精密注塑成型技术浅谈[J]. 广西轻工业, 2008, 15(4):40-41.
Ge Peng. Brief discussion on precision injection molding technology[J]. Guangxi Journal of Light Industry, 2008, 15(4):40-41.
- [2] 韩灵全, 王瑞麒, 李文琪, 等. 手机壳注塑成型工艺与模具设计[J]. 科技创新与应用, 2017, 6(1):87-88.
Han Lingquan, Wang Ruilin, Li Wenqi, et al. Injection molding process and mold design for mobile phone case[J]. Technology Innovation and Application, 2017, 6(1):87-88.
- [3] 南江萍. 智能手机外壳精密注塑模设计[J]. 工程塑料应用, 2022, 50(9):97-101.
Nan Jiangping. Design of precision injection mold for smartphone shell[J]. Engineering Plastics Application, 2022, 50(9):97-101.
- [4] 张志盛. 基于数值仿真的手机外壳注塑模具设计及工艺参数优化的研究[D]. 苏州: 苏州大学, 2017.
Zhang Zhisheng. Research on design of injection mold and optimization of process parameters for mobile shell based on numerical simulation[D]. Suzhou: Soochow University, 2017.
- [5] 曹永志, 王启祥, 王传龙. 基于Pro/E软件的手机壳注塑过程模流分析[J]. 塑料科技, 2021, 49(1):103-106.
Cao Yongzhi, Wang Qixiang, Wang Chuanlong. Moldflow analysis of injection molding process of mobile phone case based on Pro/E software[J]. Plastics Science and Technology, 2021, 49(1):103-106.
- [6] 汤小东. 基于Moldflow分析的手机壳零件注塑模设计[J]. 塑料科技, 2015, 43(12):78-81.
Tang Xiaodong. Design on injection mould for mobile phone shell based on moldflow analysis[J]. Plastics Science and Technology, 2015, 43(12):78-81.
- [7] 闫磊. 基于工业机器人的手机壳去披锋工装设计[J]. 中国新技术新产品, 2021, 29(1):79-82.
Yan Lei. Design of mobile phone case stripping tool based on industrial robot[J]. New Technology & New Products of China, 2021, 28(1):79-82.
- [8] 马瑞杰, 王晓花. 某手机壳注塑成型质量CAE分析[J]. 智能制造, 2019, 25(9):54-56.
Ma Ruijie, Wang Xiaohua. CAE analysis of injection molding quality for a mobile phone shell[J]. Intelligent Manufacturing, 2019, 25(9):54-56.
- [9] 林峰, 陈天凡. 基于BP神经网络的薄壁外壳注塑工艺参数优化

- [J]. 模具技术, 2019, 37(6):6-12.
- Lin Feng, Chen Tianfan. Parameter optimization of injection molding process for thin-walled shell based on BP network[J]. Die and Mould Technology, 2019, 37(6):6-12.
- [10] 么大锁, 贺莹, 于洋洋. 基于RBF神经网络和遗传算法的注塑成型质量控制与预测[J]. 塑料工业, 2020, 48(4):71-76.
- Yao Dasuo, He Ying, Yu Yangyang. Injection molding quality control and prediction based on RBF neural network and genetic [J]. China Plastics Industry, 2020, 48(4):71-76.
- [11] 曹争. 基于Moldflow的手机后壳精密注塑模设计[J]. 塑料工业, 2017, 45(5):65-68, 72.
- Cao Zheng. The Design of precision injection mold shell based on moldflow[J]. China Plastics Industry, 2017, 45(5):65-68, 72.
- [12] 曹轶杰, 陈进武, 张文凤, 等. 基于Moldflow和UG的手机前盖模具设计[J]. 塑料工业, 2020, 48(1):46-50.
- Cao Yijie, Chen Jinwu, Zhang Wenfeng, et al. Design of injection mold for mobile phone cover based on UG and moldflow softwares[J]. China Plastics Industry, 2020, 48(1):46-50.
- [13] 牛海侠. 手机外壳型腔充填过程的Moldflow模拟分析[J]. 山东农业工程学院学报, 2018, 35(10):16-18.
- Niu Haixia. Moldflow simulation analysis of machine shell mould filling process[J]. The Journal of Shandong Agriculture and Engineering University, 2018, 35(10):16-18.
- [14] 邱志文, 丘祥权. 一种基于Moldflow的复杂薄壁手机后盖的注塑工艺分析[J]. 轻工科技, 2020, 36(10):64-65, 70.
- Qiu Zhiwen, Qiu Xiangquan. Analysis of injection molding process for a complex thin-walled mobile phone back cover based on moldflow[J]. Light Industry Science and Technology, 2020, 36(10):64-65, 70.
- [15] 王丽君. 基于Moldflow的手机后盖塑件成型翘曲因素的分析[J]. 塑料工业, 2018, 46(6):48-51.
- Wang Lijun. Analysis of warpage factors of the plastic parts of mobile phone back cover based on moldflow[J]. China Plastics Industry, 2018, 46(6):48-51.

(上接第67页)

- [20] 邬志华, 曾竟成, 刘钧. 高速列车及其用复合材料的发展[J]. 材料导报, 2011, 25(21):108-114.
- Wu Zhihua, Zeng Jingcheng, Liu Jun. Development of high-speed train and its composites[J]. Materials Reports, 2011, 25(21):108-114.
- [21] 陈静, 邱启艳. 蜂窝夹层结构在飞机上的应用及发展[J]. 新材料产业, 2018(7):63-67.
- Chen Jing, Qiu Qiyuan. Application and development of honeycomb sandwich structure in aircraft[J]. Advanced Materials Industry, 2018(7):63-67.
- [22] 范雨娇, 王维维. 浅谈蜂窝夹层复合材料应用及成型工艺[J]. 新材料产业, 2020(6):53-56.
- Fan Yujiao, Wang Weiwei. Application and molding process of honeycomb sandwich composite[J]. Advanced Materials Industry, 2020(6):53-56.
- [23] 张娜. 芳纶材料在轨道交通领域的应用现状[J]. 纺织导报, 2020(7):30-33.
- Zhang Na. Application status of aramid materials in the field of rail transit[J]. China Textile Leader, 2020(7):30-33.
- [24] 杜秋男, 李瑞淳. 高速动车组裙板设计研究[J]. 铁道车辆, 2008(6):16-17, 47.
- Du Qiunan, Li Ruichun. Design and research on apron boards for high speed multiple units[J]. Rolling Stock, 2008(6):16-17, 47.
- [25] 王金田, 盖杰, 余以正, 等. 高速列车设备舱裙板气动强度研究[J]. 大连交通大学学报, 2022, 43(2):33-37.
- Wang Jintian, Gai Jie, Yu Yizheng, et al. Research on aerodynamic strength of apron board on high-speed train[J]. Journal of Dalian Jiaotong University, 2022, 43(2):33-37.
- [26] Zhu C, Li S, Li J, et al. Fire performance of sandwich composites with intumescent mat protection: Evolving thermal insulation, post-fire performance and rail industry testing[J]. Fire Safety Journal, 2020. DOI:10.1016/j.firesaf.2020.103205.