

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2019.08.018

基于 Moldflow 的储物盒注塑成型模拟及试验验证

黄可,许成中,刘江,马雪峰,卜凡

(常州机电职业技术学院机械工程学院,常州 213164)

摘要:对储物盒盖的注塑难点进行分析,得出模具应设计成单热流道双腔结构。选取熔体温度、注射时间、保压压力、保压时间为研究对象,利用 Moldflow 2018 模流分析软件,构建 4 因素 4 水平正交试验,通过极差分析,得出储物盒盖在熔体温度 226℃、注射时间 14 s、保压压力 70 MPa、保压时间 10 s 的条件下,变形总量最小,为 0.45 mm。对获得的最优参数进行了试验验证,验证结果表明,成型后储物盒盖整体外观良好;佐证了 Moldflow 2018 有限元分析数据准确,正交试验构建及模具设计合理。

关键词:熔体温度;注射时间;保压压力;保压时间;模流分析;正交试验

中图分类号: TQ320.66 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2019)08-0086-05

Simulation and Test Verification of Storage Box Injection Molding Based on Moldflow

Huang Ke, Xu Chengzhong, Liu Jiang, Ma Xuefeng, Bu Fan

(School of Mechanical Engineering, Changzhou Vocational Institute of Mechatronic Technology, Changzhou 213164, China)

Abstract : It is concluded that the mould should be designed with single hot runner and double cavity structure. Solution temperature, injection time, holding pressure and holding time were selected as the research objects. By using Moldflow 2018 mold flow analysis software, constructs the four factors, four levels orthogonal experiment, through the analysis of the poor, it is concluded that storage lifted the lid on the melt temperature of 226℃, 14 s injection time, holding pressure 70 MPa, the holding time under the condition of 10 s, deformation amount, the smallest is 0.45 mm. The results show that the overall appearance of the storage box cover is good after molding. It proves that the accuracy of Moldflow 2018 finite element analysis data, and the orthogonal test construction and mold design are reasonable.

Keywords : solution temperature ; injection time ; holding pressure ; holding time ; mold flow analysis ; orthogonal test

模具工业的飞速发展,促使了热流道技术的产业结构进一步细分,涌现出大批专门生产热流道总成的企业^[1-2]。在模具设计时如何选择热流道,并结合 CAE 技术对注塑成型工艺进行模拟及预测,具有十分重要的工程意义^[3-7]。

文献[8]利用有限元软件对失效丙烯腈-丁二烯-苯乙烯塑料 (ABS) 棒材挤出模头的流道进行了数值模拟;文献[9]对不同条件下聚合物熔体剪切速率分布情况及其对结晶度的影响机制进行研究;文献[10]选取咖啡机 ABS 控制面板为例,对其模板进行模流分析;文献[11]分析了 5 种主要工艺参数对制品尺寸的影响。上述文献通过 CAE 软件对

塑料件注塑成型的研究,对笔者有一定的启发,但仍不能解决储物盒盖单热流道双腔注塑的关键问题。笔者以某型号储物盒盖为研究对象,分析注塑难点,设计注塑模具,利用 Moldflow 2018 模流分析软件,对成型关键参数进行正交试验,最后进行极差分析得出最优参数,并进行试验验证。

1 产品分析

1.1 储物盒盖模型

图 1 所示为某品牌储物盒盖,生产批次量为 10 万只/批次,塑料件选用 ABS 材质,该塑料件外形尺寸为 195 mm×123 mm×62 mm,平均壁厚为 2 mm,塑料件两边存在扣接特征,塑料件内侧

基金项目: 2019 年江苏省大学生创新创业训练计划项目 (201913114001Y), 2019 年常州机电职业技术学院校级课题项目 (2019-ZXKJ-01), 江苏省高等职业教育高水平骨干专业建设项目 (苏教高[2017]17 号)

通讯作者: 黄可,高级技师,主要从事模具数控编程与加工作 E-mail: 244193480@qq.com

收稿日期: 2019-06-07

引用格式: 黄可,许成中,刘江,等. 基于 Moldflow 的储物盒注塑成型模拟及试验验证 [J]. 工程塑料应用, 2019, 47(8):86-90.

Huang Ke, Xu Chengzhong, Liu Jiang, et al. Simulation and test verification of storage box injection molding based on Moldflow[J]. Engineering Plastics Application, 2019, 47(8):86-90.

表面存在着多个不规则的微小结构,最小厚度仅为 0.5 mm,最小圆角仅为 0.3 mm。在 NX12.0 软件中指定模型类别为 PLASTIC,测得塑料件表面积为 $95\,846\text{ mm}^2$; 体积为 $109\,417\text{ mm}^3$; 质量为 114.5 g (取 ABS 密度为 1.07 g/cm^3)。该塑料件为高精度的外观件,精度等级为 MT3 级,外表面要求平整光滑无变形,没有熔接痕、收缩痕、飞边等缺陷。

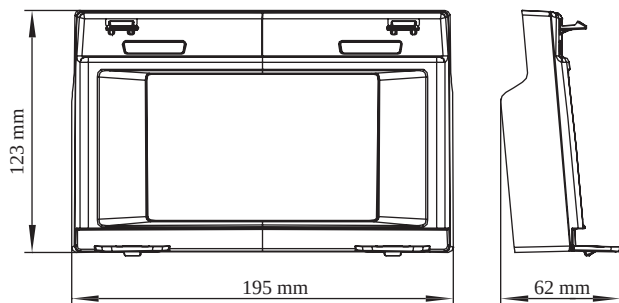


图1 储物盒盖零件图

1.2 注塑难点分析

图2为储物盒盖结构图,塑料件上存在扣接特征 A1~A3,需要设计滑块斜导柱抽芯机构;存在微小凸起 B1~B6,容易改变熔融料流的流向,形成湍流,易产生熔接痕、填充不足、水波纹、气穴、翘曲、收缩等缺陷。塑料件属于典型的薄壁零件,熔料流动阻力大,流动距离长,如果只采用冷流道注塑,表面质量差。

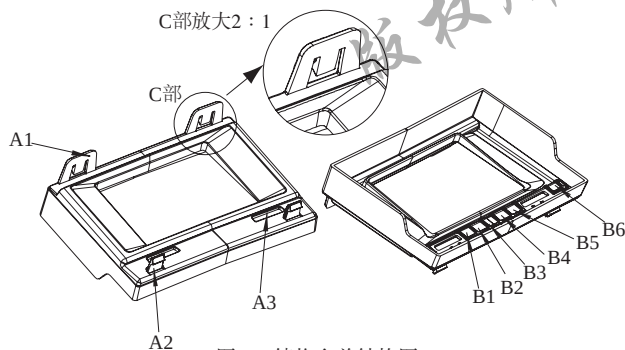


图2 储物盒盖结构图

该产品需采用热流道技术,以提高塑料件成型质量,优化模具结构,提高成型效率。热流道技术已经快速发展,有了专门的热流道模块可以采购,介于热流道模块价格相对较高,综合考虑本模具选择单热流道双腔结构。为保证充填均衡,两腔流道等长,两塑料件模具内位置为反向对称布置。考虑到塑料件的两边存在扣接特征 A1~A3,且抽芯距较塑料件整体尺寸较小,故决定两边设置滑块斜导柱抽芯机构;储物盒盖表面不能留有浇口痕迹,但两边又设置了滑块斜导柱抽芯机构,为了减少浇口对塑料件整体质量的破坏,只设置单个潜伏式浇口。

2 单热流道双腔模具设计

图3为单热流道双腔模具结构图,热流道系统选用 YODU 品牌,型号 YODU/25×18。热流道出口处设置冷主流道,形状为梯形,熔料经冷主流道送达冷流道。为保证流道自然平衡充填,冷流道等长、等截面。储物盒盖表面积较大且壁薄,成型后包紧力及推出阻力大,每腔设置 12 根直径 2 mm 的推杆,对称排列。

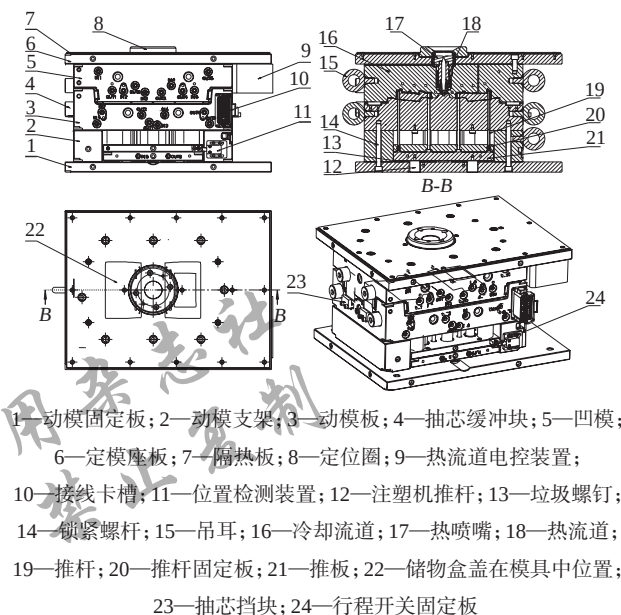


图3 单热流道双腔模具结构图

所设计模具为传统的“两板模”,定模板与注塑机间设置隔热板 7。储物盒盖的位置精度及外形精度要求较高,分型面选择在底端,使塑料件在凹模内能够直接成型,减少合模引入的误差;凹模板及动模板上直接开设水路 16,冷却介质选择纯水;位置检测装置 11 能够检测推板 21 及推杆固定板 20 的位置,检测到的信号通过接线卡槽 10 反馈给注塑机,供其判断是否执行下一步动作。

动模固定板 1 与注塑机相连接,随注塑机移动,注塑机前进,推杆 19 先与凹模 5 接触,推板 21 及推杆固定板 20 后退,直至位置检测装置 11 检测到合模完成,注塑机锁紧。熔融料流进入热流道 18,增压保温后,料流充填向各型腔,充填完成后,保压补缩、冷却,滑块斜导柱抽芯机构开始抽芯,导柱碰到抽芯挡块 23,抽芯完成。模具在注塑机后退的作用下开模,冷流道凝料和塑料件留在动模;注塑机双推杆作用于推板 21,推杆 19 将塑料件推出。

3 注塑工艺参数优化

3.1 选择优化参数

储物盒盖存在扣接特征,且存在局部范围的隆

起特征,注塑时料流紊乱,无法达到平流这一理想状态,注塑参数搭配不好,可能产生收缩、翘曲、气穴、水波纹等缺陷。

熔体温度、模具温度、注射时间、保压压力、保压时间等因素对注塑成型最终质量影响最大,本模具没有设计模具加热及模具温度检测装置,所以模具温度不作为优化因素。熔体温度过低则熔体黏稠度增大,流动性降低,导致内应力增加,塑料件收缩量大;温度过高,熔体黏稠度降低,有利于充填,但过大冷却温差会造成塑料件体积收缩,发生翘曲变形,结合 ABS 材质工程实际,选取熔体温度为 200 ~ 280℃。对于冷流道注塑,注射时间则直接反映了注塑速率,速率过快塑料件表面会发生喷射现象;过慢则凝固层厚度增加,导致充模阻力增加,本模具选择注射时间 8 ~ 14 s。充填完成后,熔料冷却、体积收缩阶段仍要向没有凝结的料流芯部补充熔料,降低产品收缩率,即为保压阶段,保压压力根据填充材料特性及模具结构选取 60 ~ 90 MPa。保压时间直接影响塑料件注塑周期,保压时间增加,塑料件收缩降低,生产节拍延长,由于保压与冷却同步进行,如果料流芯部甚至浇口已经凝结,保压则无意义,该塑料件壁厚较薄,选取保压时间为 4 ~ 10 s。

3.2 Moldflow 2018 模流分析软件预设

储物盒盖需要通过扣接特征与其它产品进行配合,配合后需外观平齐,接线较小,故本次分析将翘曲变形设为首要监测对象。将储物盒盖三维造型,以 igs 格式导入至 Moldflow 2018 模流分析软件,实体类型选择双层面,网格划分见图 4。



图 4 储物盒盖网格划分

网格统计得三角形实体 29 650 个;连通区域 11 个;已连接的节点数 14 926 个;按单元类型统计的三角形体积为 152.25 cm³;表面积(不包括模具镶块和冷却管道)1 375.53 cm²;纵横比平均 1.61,最小 1.16,最大为 4.67;取向细节中,配向不正确的单元为 0 个;边细节特征中,当不包括不可见三角形时,自由边为 0 个,共用边为 44 345 个,自由边为 0 个,多重边为 0 个;相互百分比为 89.6%;匹配百分比为 92.9%。

将分析序列设置为冷却 + 填充 + 保压 + 翘曲,冷却水路按所设计模具构建^[12-13],如图 5 所示,凹模水路沿 Y 方向设置,每腔设置 4 条,距型腔 25 mm;动模由于设置了推杆,水路如果沿 Y 方向设置,会出现干涉现象,故沿 X 方向设置,每腔设置 6 条。

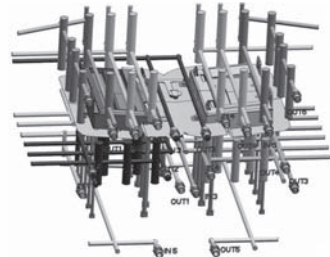


图 5 冷却水路

3.3 正交试验及试验结果极差分析

储物盒盖翘曲变形的影响因素较多,多因素耦合情况下,定量分析各因素的影响力比较困难^[14]。而正交试验在解决该类问题时,效率较高,具有齐整可比、均匀分散等特点。选取熔体温度、注射时间、保压压力、保压时间为研究对象,分别定义为因素 B、C、D、E^[15]。Moldflow 2018 模流分析软件,可监测注塑过程中翘曲量,包括变形总量及 X、Y、Z 各个方向上变形量,该塑料件精度等级为 MT3 级,故选择监测变形总量^[16-17]。正交试验的 4 因素 4 水平分配情况见表 1,正交试验方案及总变形量见表 2。

表 1 正交试验因素水平表

水平	因素			
	B/℃	C/s	D/MPa	E/s
1	200	8	60	4
2	226	10	70	6
3	263	12	80	8
4	280	14	90	10

表 2 正交试验方案和结果

序号	因素				组合	变形总量/mm
	B/℃	C/s	D/MPa	E/s		
1 [#]	B1(200)	C1(8)	D1(60)	E1(4)	B1C1D1E1	1.21
2 [#]	B1(200)	C2(10)	D2(70)	E2(6)	B1C2D2E2	1.16
3 [#]	B1(200)	C3(12)	D3(80)	E3(8)	B1C3D3E3	1.02
4 [#]	B1(200)	C4(14)	D4(90)	E4(10)	B1C4D4E4	0.85
5 [#]	B2(226)	C1(8)	D2(70)	E3(8)	B2C1D2E3	0.92
6 [#]	B2(226)	C2(10)	D1(60)	E4(10)	B2C2D1E4	0.78
7 [#]	B2(226)	C3(12)	D4(90)	E1(4)	B2C3D4E1	0.98
8 [#]	B2(226)	C4(14)	D3(80)	E2(6)	B2C4D3E2	1.05
9 [#]	B3(263)	C1(8)	D3(80)	E4(10)	B3C1D3E4	0.88
10 [#]	B3(263)	C2(10)	D4(90)	E3(8)	B3C2D4E3	1.26
11 [#]	B3(263)	C3(12)	D1(60)	E2(6)	B3C3D1E2	1.29
12 [#]	B3(263)	C4(14)	D2(70)	E1(4)	B3C4D2E1	0.87
13 [#]	B4(280)	C1(8)	D4(90)	E2(6)	B4C1D4E2	0.94
14 [#]	B4(280)	C2(10)	D3(80)	E1(4)	B4C2D3E1	1.01
15 [#]	B4(280)	C3(12)	D2(70)	E4(10)	B4C3D2E4	0.75
16 [#]	B4(280)	C4(14)	D1(60)	E3(8)	B4C4D1E3	1.14

表 2 中各数据对比结果如图 6 所示,变形总量处于 0.75 ~ 1.29 mm 之间,在第 11 组工艺参数的作用下储物盒盖的变形总量最高,为 1.29 mm;在第 15 组工艺参数的作用下储物盒盖的变形总量最低,为 0.75 mm。每组试验数据对变形总量的定量分析,还需要极差法进行分类分析。

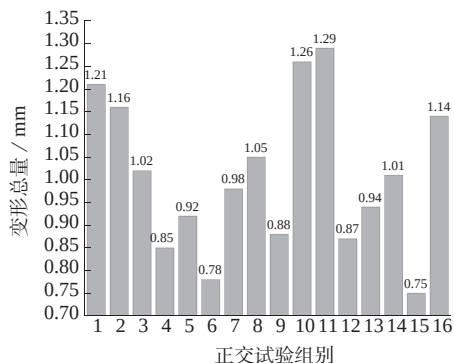


图 6 各组别变形总量对比图

表 3 为变形总量的极差分析。表 3 中极差 A 代表各工艺参数对变形总量的影响程度, A 值越大, 表示该参数对变形总量影响越大。其中, $A_{i1}, A_{i2}, A_{i3}, A_{i4}$ ($i=B, C, D, E$) 分别为不同工艺参数不同水平下变形总量的总和; $a_{i1}, a_{i2}, a_{i3}, a_{i4}$ ($i=B, C, D, E$) 分别为不同工艺参数不同水平下变形总量的平均值; F 为最小平均值与最大平均值之差即极差。

表 3 变形总量的极差分析

因素	B	C	D	E
A_{i1}	4.24	3.95	4.42	4.07
A_{i2}	3.73	4.21	3.70	4.44
A_{i3}	4.30	4.04	3.96	4.34
A_{i4}	3.84	3.91	4.03	3.26
a_{i1}	1.06	0.99	1.11	1.02
a_{i2}	0.93	1.05	0.93	1.11
a_{i3}	1.08	1.01	0.99	1.09
a_{i4}	0.96	0.98	1.01	0.82
F	0.15	0.07	0.18	0.29

各工艺参数对翘曲率的影响程度: $E > D > B > C$

最优组合: $E4D2B2C4$

对变形总量的极差分析,得出最优工艺参数组合为 $E4D2B2C4$ 即 $B2C4D2E4$,将该组参数与 16 组试验对比发现,该组工艺参数,没有进行过模拟,这也凸显了极差分析法的优点。对该组工艺参数重新利用 Moldflow 2018 进行有限元分析,得出在该组工艺参数下,储物盒盖的变形总量为 0.45 mm。对该组参数,即熔体温度 226℃;注射时间 14 s;保压压力 70 MPa;保压时间 10 s 进行试验验证。

4 试验验证

注塑机选择宁波三友塑料机械有限公司的

SZ160 / 100 型注塑机。试验模具完全按照所设计图纸制作,凹模选用胜百优质模具钢 S-STAR,楔紧块、滑块、斜导柱等选用预硬快切削热作模具钢 FDAC,压块等则选用高级优质中碳钢 S50C。试验条件严格参照 Moldflow 2018 模流分析软件模拟时预设条件。

试验现场如图 7 所示,成型后制品如图 8 所示。从图 8 可以看出,扣接特征 $A1 \sim A3$ 成型完全,没有产生收缩、气穴、水波纹等缺陷;微小凸起特征 $B1 \sim B6$,充填完全;整体外观良好。储物盒盖的模拟变形总量为 0.45 mm,试验后几乎没有发生变形,验证了模具设计的合理性,也佐证了 Moldflow 2018 有限元分析数据的准确性。

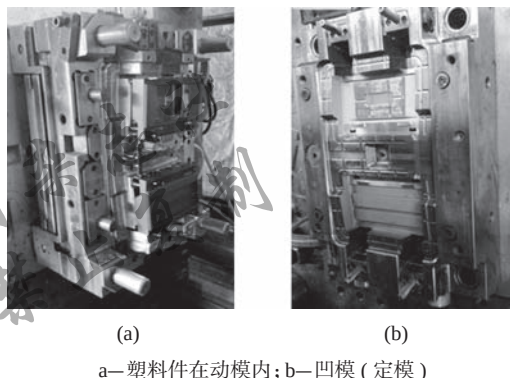


图 7 试验现场图

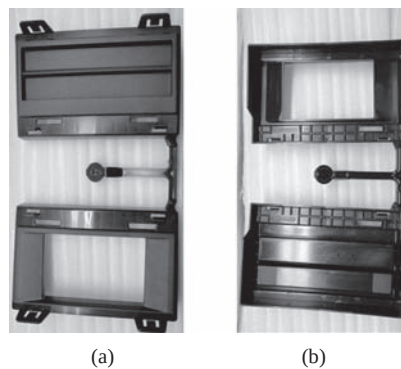


图 8 成型后制品

5 结论

(1) 通过对储物盒盖注塑难点进行分析,得出该类零件只能采用热流道注塑成型,综合考虑经济效益,将模具设计成单热流道双腔结构。

(2) 结合本模具特点,选取熔体温度、注射时间、保压压力、保压时间为研究对象;利用 Moldflow 2018 模流分析软件,构建 4 因素 4 水平正交试验,得出储物盒盖在熔体温度 226℃、注射时间 14 s、保压压力 70 MPa、保压时间 10 s 的条件下,变形总量

最小,为 0.45 mm。

(3) 对正交试验后所得出的最优参数进行了试验验证,验证结果表明,成型后储物盒盖整体外观良好。佐证了 Moldflow 2018 有限元分析数据准确,正交试验构建及模具设计合理。

参考文献

- [1] 陈晓勇,王谦. 基于 CAE 的移动电源壳盖热流道注塑模设计[J]. 工程塑料应用,2018,46(2):87-91.
Chen Xiaoyong, Wang Qian. Design of hot runner injection mould for mobile power cover based on CAE[J]. Engineering Plastics Application,2018,46(2):87-91.
- [2] 戚春晓,陈开源,黄小明. 某车型前门饰框热流道浇注系统设计与优化[J]. 塑料,2017,46(2):102-105.
Qi Chunxiao, Chen Kaiyuan, Huang Xiaoming. Design and optimization of runner system for front door sash based on Moldflow[J]. Plastics,2017,46(2):102-105.
- [3] 常净芳,廖秋慧,蒋霆,等. 基于 Moldflow 和正交实验的多嵌式汽车接插件包塑成型工艺参数优化[J]. 塑料工业,2017,45(1):57-60.
Chang Jingfang, Liao Qiuhui, Jiang Ting, et al. Parameters optimization of overmolding process for multiinsert connector of automobile based on moldflow and orthogonal experiment[J]. China Plastics Industry,2017,45(1):57-60.
- [4] 崔小松. 基于 Moldflow 的仪表台出风口浇注系统优化分析[J]. 塑料工业,2017,45(4):61-65,95.
Cui XiaoSong. Optimization analysis of the pouring system of the air outlet of instrument table based on moldflow[J]. China Plastics Industry,2017,45(4):61-65,95.
- [5] 翟林,韩国泰,胡海朝,等. 基于 Moldflow 与 Abaqus 的注射成型及模具结构联合仿真分析[J]. 中国塑料,2018,32(2):128-133.
Zhai Lin, Han Guotai, Hu Haichao, et al. Structural analysis of injection moulds based on moldflow and abaqus softwares[J]. China Plastics,2018,32(2):128-133.
- [6] 刘成娟,刘成刚,刘艳,等. 基于 CAE 与正交试验法的工艺参数对翘曲变形的影响分析[J]. 中国塑料,2018,32(1):102-107.
Liu Chengjuan, Liu Chenggang, Liu Yan, et al. Analysis of effect of injection-molding process parameters on warpage deformation of printer plastic parts based on CAE and orthogonal experiments[J]. China Plastics,2018,32(1):102-107.
- [7] 王小新,曹永宁. 基于 Moldflow 的竖梁基座气体辅助注射成型工艺优化[J]. 中国塑料,2017,31(1):75-79.
Wang Xiaoxin, Cao Yongning. Optimization of gas-assisted injection-molding process for vertical beam base parts based on moldflow[J]. China Plastics,2017,31(1):75-79.
- [8] 王和慧,王军,朱文敏,等. ABS 衣架式模头的失效分析及其结构改进[J]. 塑料,2017(6):118-125.
Wang Hehui, Wang Jun, Zhu Wenmin, et al. Failure analysis and structure optimization of ABS coat hanger die[J]. Plastics,2017(6):118-125.
- [9] 黄贤页,辛勇. 注射成型工艺参数对制品结晶度的影响机制[J]. 工程塑料应用,2018,46(2):65-68.
Huang Xianye, Xin Yong. Influence mechanism of process parameters on crystallization property of injection molding products[J]. Engineering Plastics Application,2018,46(2):65-68.
- [10] 关兴举,张海波. 有限元分析在 ABS 控制面板模具设计中的应用[J]. 工程塑料应用,2018,46(5):57-62.
Guan Xingju, Zhang Haibo. Application of finite element analysis in abs control panel mold design[J]. Engineering Plastics Application,2018,46(5):57-62.
- [11] 胡桂涵,高玉保,唐璠,等. 工艺参数对注塑制品尺寸的影响[J]. 中国塑料,2017,31(10):89-93.
Hu Guihan, Gao Yubao, Tang Fan, et al. Effects of parameters on dimension of an injection molded part[J]. China Plastics,2017,31(10):89-93.
- [12] 刘斌,吴茜. 注塑模具随形冷却水道的设计方法与分析[J]. 工程塑料应用,2017,45(8):123-128.
Liu Bin, Wu Xi. Analysis and design method of conformal cooling channel of injection mould[J]. Engineering Plastics Application,2017,45(8):123-128.
- [13] 周慧兰,周新建,王研婷. 基于 UG 二次开发注塑模冷却水路快速设计 CAD 系统[J]. 工程塑料应用,2017,46(1):62-65.
Zhou Huilan, Zhou Xinjian, Wang Yanting. Rapid design CAD system of cooling water channel for injection mould based on UG development technology[J]. Engineering Plastics Application,2017,46(1):62-65.
- [14] 吴军,蔡建臣. 基于 Moldflow 的 PUR 车轮注塑工艺参数优化[J]. 工程塑料应用,2018,46(6):56-59.
Wu Jun, Cai Jianchen. Parameters optimization of injection molding process of PUR wheel based on Moldflow[J]. Engineering Plastics Application,2018,46(6):56-59.
- [15] 蔡厚道. 正交设计与响应面法在空气滤清器盖注塑工艺优化中的应用和比较[J]. 中国塑料,2017,31(2):88-93.
Cai Houdao. Comparative investigation on orthogonal design and response surface method for injection molding process optimization of air filter covers[J]. China Plastics,2017,31(2):88-93.
- [16] 胡邓平,万胡亮,伍先明,等. 基于四元二次正交试验的空调框罩注塑工艺参数优化与成型模具试验研究[J]. 塑料工业,2017,45(1):64-67.
Hu Dengping, Wan Huliang, Wu Xianming, et al. Experimental research of injection molding process parameters optimization and molding die of air-conditioning plane frame based on four quadratic orthogonal test[J]. China Plastics Industry,2017,45(1):64-67.
- [17] 陈晓春,黄可. A 柱内饰件注塑成型工艺参数优化[J]. 塑料工业,2019,47(3):65-68,86.
Chen Xiaochun, Huang Ke. Optimization of injection molding parameters of column A interior trim[J]. China Plastics Industry,2019,47(3):65-68,86.