

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2024.01.016

高压连接器插座外壳模具设计与多目标注塑工艺优化

韩国泰, 翟林, 胡海朝

(天津中德应用技术大学, 天津 300350)

摘要:以高压连接器插座外壳为研究对象,进行模具设计和注塑工艺优化,在模具设计方面,将点浇口方案改为牛角式进胶方案,使模具结构由三板模简化为两板模。将牛角式浇口设计为嵌件结构,方便电火花成型加工,也方便浇口断裂时及时清理。为提高冷却效率,型腔部分采用环绕式水路设计,型芯部分采用水井式水路设计。由于产品下半部分壁厚较小,采用“圆顶杆+扁顶杆”结合的顶出方式,解决产品难以脱出的问题,同时顶杆与顶杆孔的间隙可以跑气,解决型芯狭窄区域的困气问题。使用Moldex3D对浇注系统、冷却系统设计方案进行仿真分析,验证设计方案合理,并获取初步注塑工艺参数。在工艺优化方面,以体积收缩率标准差和最大翘曲量为响应进行多目标注塑工艺优化,采用“正交试验+响应曲面实验”的方法优化,当熔体温度为228℃,保压压力237.5 MPa,保压时间5.88 s时多目标工艺参数最优,输入Moldex3D软件进一步模拟,得到体积收缩率标准差为0.937%,降低45.39%;最大翘曲量为0.181 mm,降低21.30%,说明优化方案可行。

关键词: 注塑模具设计; 注塑工艺; 正交实验; 响应曲面实验; 多目标注塑工艺优化

中图分类号: TQ320.662 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2024)01-0102-07

Mold design for shell of high voltage connector sockets and multi-objective injection molding process optimization

HAN Guotai, ZHAI Lin, HU Haichao

(Tianjin Sino-German University of Applied Sciences, Tianjin 300350, China)

Abstract : Taking the high voltage connector socket shell as the research object, mold design and injection molding process optimization were carried out. In terms of mold design, the point gate scheme was changed to a cow angle injection scheme, simplifying the mold structure from a three plate mold to a two plate mold. Design the horn gate as an embedded structure, which is convenient for EDM machining and timely cleaning when the gate breaks. To improve cooling efficiency, the cavity part adopts a circular waterway design, while the core part adopts a well waterway design. Due to the small wall thickness of the lower part of the product, a combined ejection method of "ejector pin + flat ejector pin" was adopted to solve the problem of difficult product detachment. At the same time, the gap between the top rod and the top rod hole can escape air, solving the problem of trapped air in the narrow area of the core. Using Moldex3D to simulate and analyze the design scheme of the pouring system and cooling system, the rationality of the design scheme was verified, and preliminary injection molding process parameters were obtained. In terms of process optimization, multi-objective injection molding process optimization was carried out in response to the standard deviation of volume shrinkage and maximum warpage. The method of "orthogonal experiment + response surface experiment" was used for optimization. When the melt temperature was 228 °C, the holding pressure was 237.5 MPa, and the holding time was 5.88 s, the multi-objective process parameters were optimal. Inputting Mold 3D software for further simulation, the standard deviation of volume shrinkage is 0.937%, reducing by 45.39%, the maximum warpage is 0.181 mm, a decrease of 21.30%, indicating that the optimization plan is feasible.

Keywords : injection mold design ; injection molding process ; orthogonal experiment ; response surface experiment ; multi-objective injection molding process optimization

基金项目: 天津市应用基础研究项目(22JCYBJC00330)

通信作者: 韩国泰, 高级工程师, 主要从事材料成型与控制工程专业教学与研究

收稿日期: 2023-11-02

引用格式: 韩国泰, 翟林, 胡海朝. 高压连接器插座外壳模具设计与多目标注塑工艺优化[J]. 工程塑料应用, 2024, 52(1): 102-108.

HAN Guotai, ZHAI Lin, HU Haichao. Mold design for shell of high voltage connector sockets and multi-objective injection molding process optimization[J]. Engineering Plastics Application, 2024, 52(1): 102-108.

高压连接器插座外壳(以下简称插座外壳)是用于汽车内部电路连接的主要部件,插座外壳多采用注塑成型方式。产品尺寸精度要求较高,翘曲量小于0.2 mm,表面不能有明显的凹痕、飞边,整体收缩均匀,无明显变形。

在模具设计方面,笔者拟使用Moldex 3D分析浇注系统、冷却系统等结构,验证模具结构方案,同时获得成型工艺参数,为后续优化实验提供初始数据。前期众多研究者使用模流分析软件对模具结构进行分析,为模具设计提供参考,使结构设计更合理,提高生产效率和产品质量。例如蔡凯武等^[1-3]针对产品的结构特点,采用Moldflow或Moldex3D进行模流分析,满足了塑件注射成型和表面精度要求。周淑容^[4]针对手机电池后壳的精密成型,运用CAE分析获得了基于三板模的牛角浇口和点浇口的尺寸,完成模具设计。

在优化注塑工艺参数方面,采用正交试验+响应曲面实验的方法对翘曲量和收缩率进行多目标优化,提高产品的质量。相关研究包括李丽等^[5]通过Moldflow模流分析,以产品的翘曲变形量作为响应目标,获取较理想的成型工艺参数并完成模具设计。邱彤等^[6]基于Moldflow对透镜注塑压缩成型工艺进行仿真研究,以体积收缩率和翘曲变形量为优化目标,以正交试验法与综合平衡法相结合获得最优工艺参数组合,并与响应曲面法工艺优化方案对比,确定最佳试验方法。

1 模具结构设计

1.1 塑件结构及使用性能分析

插座外壳产品为上下层结构,如图1所示。外形尺寸为45 mm×50 mm×35 mm。结构为非对称式上下层结构,壁厚最厚处为5 mm,最薄处为1 mm,脱模斜度设为1.2°^[7]。

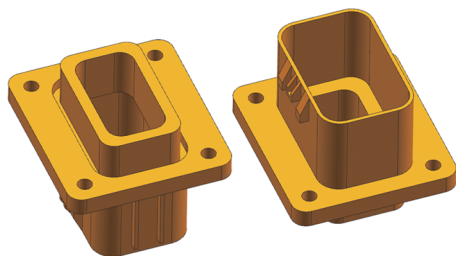


图1 产品图

Fig. 1 Product drawing

1.2 浇注系统设计

模具型腔布局为一模四腔,为简化模具结构,

选定牛角式潜伏浇口,单浇口进胶,分流道和浇口布局如图2所示。浇口采用牛角式潜伏浇口^[8],除具有点浇口的保压效果好,熔体流动性好,获得较好表面质量的优点,还可以简化模具结构为二板模。但由于牛角式浇口难以加工,所以设计成嵌件结构,方便电火花成型加工,且浇口若断裂在模具内时方便清理。设置拉料杆以方便开模后顶出浇口,具体结构如图3所示。

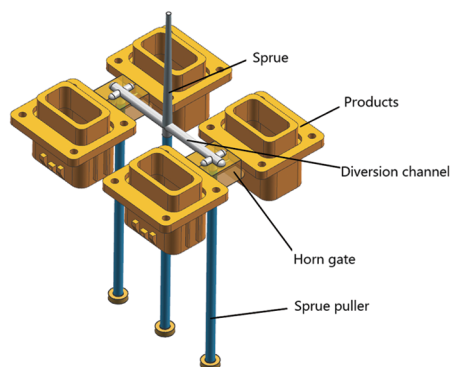


图2 浇注系统

Fig. 2 Gating system

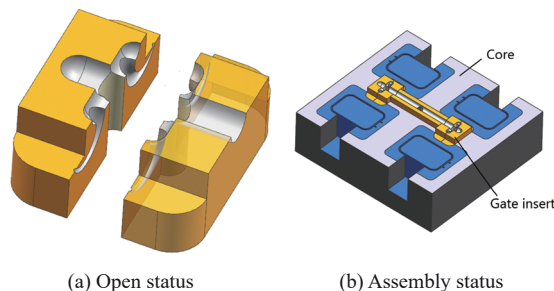


图3 牛角式浇口

Fig. 3 Horn gate

1.3 冷却系统设计

为达到更好的冷却效果,根据型腔和型芯的结构,定模选用环绕式水路设计,动模选用水井式冷却水路,如图4所示。

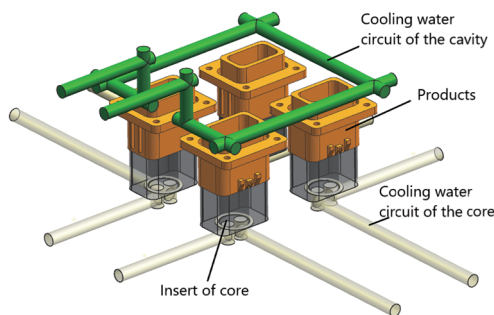


图4 冷却水路布局图

Fig. 4 Cooling water circuit layout

(PC),牌号 WONDERLOY PC-6220。此材料流动性好、成型后表面光洁度高、变形小^[9]。推荐初始注塑工艺参数见表1。

表1 注塑工艺参数

Tab. 1 Injection process parameters

Mold temperature/°C	Melt temperature/°C	Injection pressure/MPa	Filing time/s	Packing press/MPa	Packing time/s
60	240	250	1.8	250	5.6

将塑件、浇注系统设计方案和冷却系统设计方案以STP格式分别导入Moldex 3D软件,进行立体网格划分,如图8所示。如图8a所示,充填时间为1.8 s,四个型腔距离浇口等距位置填充时间为1.494,1.478,1.484,1.480 s,时间相近,说明分流道

和浇口的尺寸和布局合理。为了保证模具的冷却效果,回路冷却液出入口温差通常情况下不超过5 °C,对于精度要求较高的塑件温差应不超过2 °C^[10]。此次分析定模水路冷却液出入口温差最大为0.727 °C,动模水路冷却液出入口温差最大为0.282 °C,符合模具设计要求。分析结果显示体积收缩率标准差为1.716%,最大翘曲量为0.260 5 mm。

3 成型工艺多目标优化设计

本试验以体积收缩率标准差和最大翘曲量为目标,体积收缩率标准差小说明体积收缩率越接近平均数,最大翘曲量小说明尺寸越精确^[11]。

3.1 正交实验

基于初始注塑工艺参数分析结果,综合前人文献研究确定本次实验影响因素为6个:模具温度(A)、熔体温度(B)、注塑压力(C)、充填时间(D)、保压压力(E)和保压时间(F)^[12]。综合考虑经济和时间成本,采用正交试验进行因子筛选。基于设计阶段分析结果,实验各因子取值见表2,选用6因子5水平进行设计,以体积收缩率标准差Y1和翘曲量Y2为响应值,权重各为50%。

表2 六因子五水平取值表

Tab. 2 Six factor five level values table

Level	Factor					
	A/°C	B/°C	C/MPa	D/s	E/MPa	F/s
1	57	228	237.5	1.68	237.5	5.32
2	58.5	234	243.75	1.73	243.75	5.46
3	60	240	250	1.8	250	5.6
4	61.5	246	256.25	1.85	256.25	5.74
5	63	252	262.5	1.9	262.5	5.88

使用Moldex3D软件分别对表2的数据进行正交试验,试验次数25次,考察指标为体积收缩率标准差Y1 (%)和最大翘曲量Y2 (mm),试验结果见表3。通过分析得到Y1和Y2的极差值表分别见表4~表5,对于体积收缩率Y1各因子影响显著程度排序为B>E>F>D>A>C,对于翘曲量Y2各因子影响显著程度排序为E>B>F>A>D>C。

各因子对Y1和Y2影响趋势如图9所示,运用综合平衡法分析,对于B、D对于Y1和Y2影响趋势相同,B₁D₄为最佳水平。A、C、E、F对于Y1和Y2影响趋势相反,分别取中间值,即A₃C₃E₃F₃,因此正交试验最佳组合为A₃B₁C₃D₄E₃F₃。将此参数输入MOLDEX 3D进行模拟仿真,得到Y1为1.104%,Y2

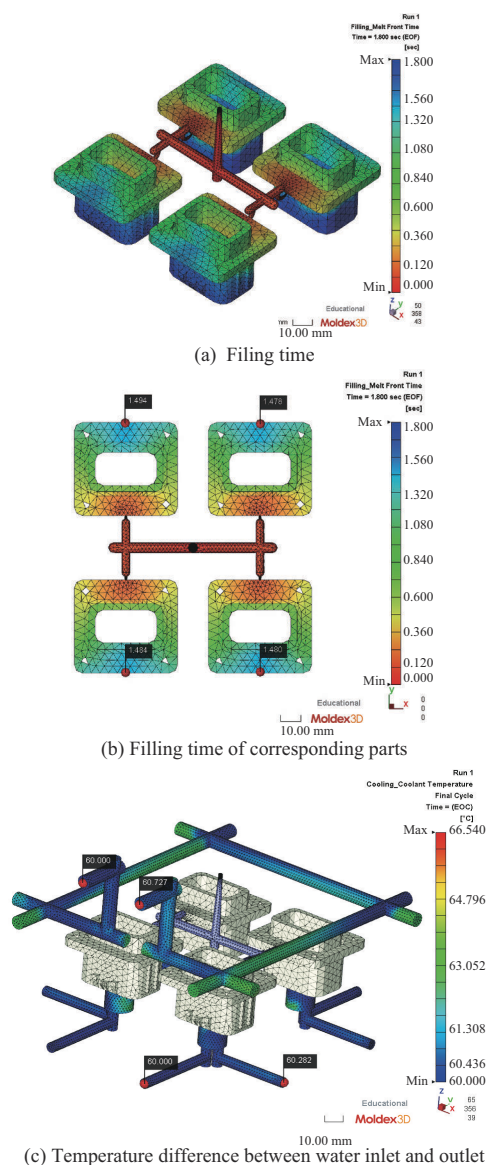


图8 浇注系统和冷却系统方案仿真分析

Fig. 8 Simulation analysis of gating system and cooling system

为0.240 mm,相比初始分析结果,体积收缩率标准差减少35.66%,最大翘曲量减少7.87%。

表3 正交试验结果
Tab. 3 Orthogonal test results

No	A/°C	B/°C	C/MPa	D/s	E/MPa	F/s	Y1/%	Y2/mm
1	57	228	237.5	1.68	237.5	5.32	0.938 491	0.177 048
2	57	234	243.75	1.73	243.75	5.46	0.945 807	0.213 736
3	57	240	250	1.8	250	5.6	0.965 707	0.249 839
4	57	246	256.25	1.85	256.25	5.74	0.991 657	0.282 156
5	57	252	262.5	1.9	262.5	5.88	1.024 45	0.313 840
6	58.5	228	243.75	1.8	256.25	5.88	0.841 424	0.235 266
7	58.5	234	250	1.85	262.5	5.32	0.887 911	0.239 556
8	58.5	240	256.25	1.9	237.5	5.46	1.008 38	0.214 208
9	58.5	246	262.5	1.68	243.75	5.6	1.047 35	0.251 000
10	58.5	252	237.5	1.73	250	5.74	1.068 23	0.280 272
11	60	228	250	1.9	243.75	5.74	0.879 17	0.201 025
12	60	234	256.25	1.68	250	5.88	0.910 43	0.238 696
13	60	240	262.5	1.73	256.25	5.32	0.963 216	0.244 161
14	60	246	237.5	1.8	262.5	5.46	0.990 882	0.307 272
15	60	252	243.75	1.85	237.5	5.6	1.104 34	0.245 690
16	61.5	228	256.25	1.73	262.5	5.6	0.830 395	0.259 941
17	61.5	234	262.5	1.8	237.5	5.74	0.941 606	0.200 902
18	61.5	240	237.5	1.85	243.75	5.88	0.965 182	0.237 740
19	61.5	246	243.75	1.9	250	5.32	1.023 76	0.269 923
20	61.5	252	250	1.68	256.25	5.46	1.064 72	0.301 638
21	63	228	262.5	1.85	250	5.46	0.867 533	0.223 230
22	63	234	237.5	1.9	256.25	5.6	0.886 969	0.260 578
23	63	240	243.75	1.68	262.5	5.74	0.928 847	0.296 167
24	63	246	250	1.73	237.5	5.88	1.048 57	0.237 469
25	63	252	256.25	1.8	243.75	5.32	1.101 23	0.266 320

表4 收缩率(标准差)极差值表

Tab. 4 Shrinkage rate (standard deviation) range table

Level	A/°C	B/°C	C/MPa	D/s	E/MPa	F/s
1	0.973 2	0.871 4	0.970 0	0.978 0	1.008 3	0.982 9
2	0.970 7	0.914 5	0.968 8	0.971 2	0.987 7	0.975 5
3	0.969 6	0.966 3	0.969 2	0.968 2	0.967 1	0.967 0
4	0.965 1	1.020 4	0.968 4	0.963 3	0.949 6	0.961 9
5	0.966 6	1.072 6	0.968 8	0.964 5	0.932 5	0.958 0
Delta	0.008 1	0.201 2	0.001 5	0.014 6	0.075 8	0.024 9
Rank	5	1	6	4	2	3

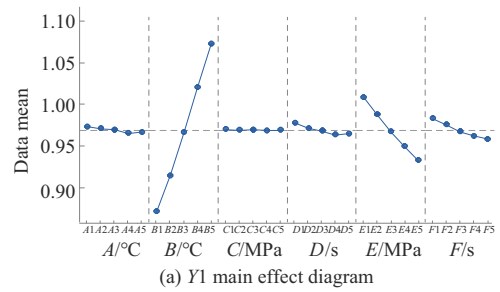
表5 最大翘曲量极差值表

Tab. 4 Table of maximum warpage range values

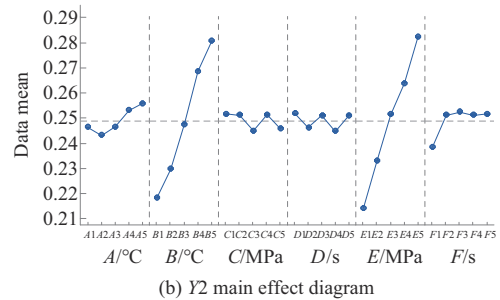
Level	A/°C	B/°C	C/MPa	D/s	E/MPa	F/s
1	0.247 3	0.219 3	0.252 6	0.252 9	0.215 1	0.239 4
2	0.244 1	0.230 7	0.252 2	0.247 1	0.234 0	0.252 0
3	0.247 4	0.248 4	0.245 9	0.251 9	0.252 4	0.253 4
4	0.254 0	0.269 6	0.252 3	0.245 7	0.264 8	0.252 1
5	0.256 8	0.281 6	0.246 6	0.251 9	0.283 4	0.252 6
Delta	0.012 7	0.062 2	0.006 7	0.007 2	0.068 3	0.014 0
Rank	4	2	6	5	1	3

3.2 响应曲面实验

基于正交试验的实验结果,翘曲量仍然不满足



(a) Y1 main effect diagram



(b) Y2 main effect diagram

图9 主效应图

Fig. 9 Main effect diagram

小于0.2 mm的要求,因此使用响应曲面实验继续优化。选择显著度排前3位的因子:熔体温度(B)、保压压力(E)和保压时间(F)作为响应曲面实验因子,考察指标为体积收缩率标准差Y1和最大翘曲量Y2^[13]。

响应曲面实验设计是一种实验条件寻优方法,适宜解决非线性多变量问题。该方法以多元二次回归方程为工具,将各影响因素与响应目标通过函数表达出来,并对各因素进行合理取值,从而使响应目标值达到最优^[14]。对于二阶多项式响应面,工艺参数在不同水平下与对应响应值之间的表达式见式(1)。

$$y'(x) = \beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i x_i + \sum_{i=1}^n \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i=1}^n \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon \quad (1)$$

式(1)中: y' 为响应目标值; β_0 为响应面的回归系数; x 为设计变量; i, j 为变量下标; n 为设计变量的个数; ε 为统计误差。

响应面常用的实验设计方法有BBD (Box-behnken design)法和CCD (Central composite design)法。基于正交试验的结果,选择熔体温度(B)、保压压力(E)和保压时间(F)3个因子作为响应曲面实验因子,考察指标为体积收缩率标准差Y1和最大翘曲量Y2^[15]。由于在因素水平数相同时,BBD法不存在轴向点,实验次数更少,因此选择BBD法优化注塑工艺参数。响应曲面设计取值见表5,响应曲面实

验结果见表6。

表5 响应曲面设计取值表

Tab. 5 Response surface design value table

Factor	Level		
	-1	0	1
B/°C	228	240	252
E/MPa	237.5	250	262.5
F/s	5.32	5.6	5.88

表6 响应曲面实验设计与结果

Tab. 6 Response surface experimental design and results

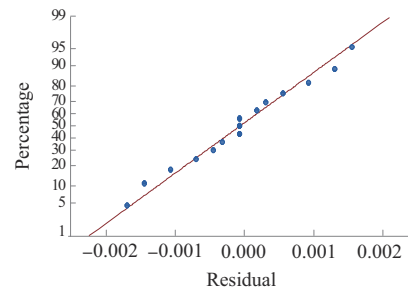
Std order	Run order	Pt type	Blocks	B/°C	E/MPa	F/s	Y1/%	Y2/mm
1	1	2	1	228	237.5	5.60	0.942	0.181
6	2	2	1	252	250.0	5.32	1.08	0.282
4	3	2	1	252	262.5	5.60	1.031	0.318
13	4	0	1	240	250.0	5.60	0.98	0.257
15	5	0	1	240	250.0	5.60	0.98	0.257
5	6	2	1	228	250.0	5.32	0.907	0.218
2	7	2	1	252	237.5	5.60	1.109	0.246
8	8	2	1	252	250.0	5.88	1.057	0.282
14	9	0	1	240	250.0	5.60	0.98	0.257
7	10	2	1	228	250.0	5.88	0.895	0.218
9	11	2	1	240	237.5	5.32	1.025	0.217
3	12	2	1	228	262.5	5.60	0.86	0.255
11	13	2	1	240	237.5	5.88	1.012	0.218
10	14	2	1	240	262.5	5.32	0.948	0.292
12	15	2	1	240	262.5	5.88	0.934	0.292

分别对结果进行方差分析,观察残差概率图,如图10a、图10b所示,大部分点接近成一条直线,说明残差符合正态分布,模型成立^[16]。体积收缩率标准差模型Y1的R-sq和R-sq(调整)为99.93%和98.73%,最大翘曲量Y2的R-sq和R-sq(调整)为99.99%和98.95%,说明模型没有过拟合。通过响应优化器对体积收缩率标准差和最大翘曲量进行多目标优化,优化目标均为最小值,优化预测结果如图11所示。

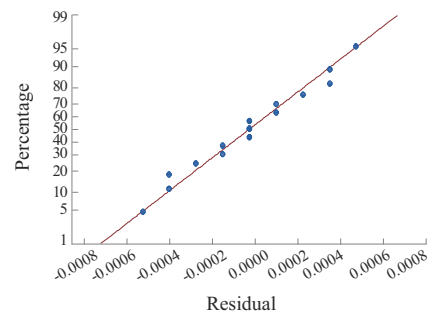
Y1和Y2优化结果合意性为0.834 9,数值匹配性较好。优化结果为:熔体温度228 °C,保压压力238.005 1 MPa,保压时间5.88 s时,体积收缩率标准差为0.934 8%,最大翘曲量为0.181 5 mm。

3.3 优化方案仿真验证

将优化方案的数值输入Moldex3D进行仿真模拟,得到体积收缩率标准差为0.937%,最大翘曲量为0.181 mm。与预测优化结果接近,说明优化模型可行。



(a) Y1 residual normal probability graph



(b) Y2 residual normal probability graph

图10 残差正态概率图

Fig. 10 Residual normal probability graph

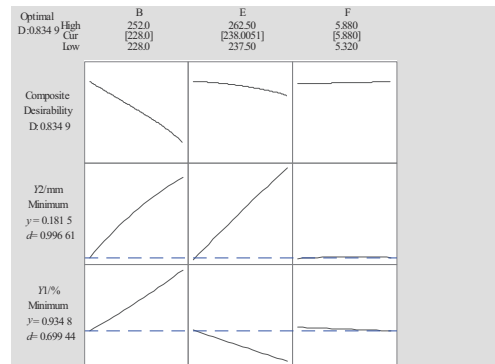


图11 优化预测图

Fig. 11 Optimization prediction diagram

4 结论

(1)使用Moldex3D软件对产品进行模流分析,浇口采用牛角式潜伏浇口。冷却方案为定模采用环绕式水路,直径8 mm,动模水路采用水井式,直径16 mm。基于流道及冷却方案设计模具结构,并根据模流分析结果确定了后续优化试验中各因子的参数范围。

(2)多目标优化实验采用正交实验和响应曲面结合的方法。以体积收缩率标准差和最大翘曲量为响应,因子筛选采用6因子5水平正交试验,筛选出塑料熔体温度、保压压力和保压时间3个主要因子。响应面实验选用BBD法,通过Moldex3D分析

得到15组实验翘曲变形值,通过响应优化器优化预测数值为:塑料熔体温度228℃,保压压力237.5 MPa,保压时间5.88 s时,体积收缩率标准差为0.934 8%,最大翘曲量为0.181 5 mm。

(3)将预测工艺参数输入Moldex3D进行模拟分析,该工艺条件下体积收缩率标准差0.937%,最大翘曲量0.181 mm,与优化预测结果接近,比初始模拟数值体积收缩率标准差降低45.39%,最大翘曲量降低30.52%,相较正交试验结果体积收缩率标准差降低15.33%,最大翘曲量降低24.5%,说明优化模型可行。

参考文献

- [1] 蔡凯武,李秋奋,王春鹏.汽车保险杠装饰条塑料精密模具设计[J].塑料,2022,51(1):89-93.
CAI Kaiwu, LI Qiufen, WANG Chunpeng. Precision mould design for bumper decoration strip plastic[J]. Plastics, 2022, 51(1):89-93.
- [2] 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.
- [3] 许珂,付倩,李秉辉,等.基于Moldex3D可降解国际象棋的注塑仿真模拟[J].工程塑料应用,2023,51(7):73-78.
XU Ke, FU Qian, LI Binghui, et al. Injection molding simulation of degradable chess based on Moldex3D[J]. Engineering Plastics Application, 2023, 51(7):73-78.
- [4] 周淑容.基于CAE优化分析的后壳精密注射模设计[J].塑料,2022,51(4):16-21.
ZHOU Shurong. Design of precision injection mould for back shell based on CAE optimization analysis[J]. Plastics, 2022, 51(4):16-21.
- [5] 李丽,伍小波.电子仪表外壳注塑成型工艺研究及模具设计[J].塑料科技,2023,51(4):88-92.
LI Li, WU Xiaobo. Research on injection molding process of electronic instrument shell and mold design[J]. Plastics Science and Technology, 2023, 51(4):88-92.
- [6] 邱彤,刘泓滨,代元祥,等.基于正交试验与响应曲面法的透镜注塑压缩成型工艺参数的多目标优化试验[J].塑料工业,2021,49(11):70-73.
QIU Tong, LIU Hongbin, DAI Yuanxiang, et al. Multi-objective optimization experiment of lens injection compression molding process parameters based on the orthogonal and response surface method[J]. China Plastics Industry, 2021, 49(11):70-73.
- [7] 范玉,黄继战,范佳琦.电池正极支架成型工艺分析及其注塑模具设计[J].工程塑料应用,2022,50(11):102-107.
FAN Yu, HUANG Jizhan, FAN Jiaqi. Molding process analysis of battery positive pole bracket and its injection mould design[J]. Engineering Plastics Application, 2022, 50(11):102-107.
- [8] 徐文庆,陈黎明,胡智清.电视机外壳大型注射模设计[J].塑料,2023,52(3):151-160.
XU Wenqing, CHEN Liming, HU Zhiqing. Design of large injection mould for TV shell[J]. Plastics, 2023, 52(3):151-160.
- [9] 郭斌扬,周天意,于洋洋,等.基于响应面和ASA的抑爆球注塑质量多目标优化[J].塑料,2021,50(5):147-155.
WU Binyang, ZHOU Tianyi, YU Yangyang, et al. Multi-objective optimization of explosion suppression ball injection molding quality based on response surface model and ASA algorithm[J]. Plastics, 2021, 50(5):147-155.
- [10] 王茜,李香燕,王培安.化妆品盖注塑成型过程参数化分析[J].塑料,2020,49(6):123-127.
WANG Qian, LI Xiangyan, WANG Peian. Parametric analysis of cosmetic cap injection molding process[J]. Plastics, 2020, 49(6):123-127.
- [11] D. C. 蒙哥马利.实验设计与分析[M].北京:中国统计出版社,1998.
MONTGOMERY D C. Design and analysis of experimental[M]. Beijing: China Statistics Press, 1998.
- [12] 郭巍,李金松,严焱.基于正交试验的汽车座椅调角器注射成型质量优化[J].工程塑料应用,2022,50(9):64-69.
GUO Wei, LI Jinsong, YAN Kui. Optimization of injection molding quality of automotive seat recliner based on orthogonal test[J]. Engineering Plastics Application, 2022, 50(9):64-69.
- [13] 黄可,杨欢,马雪峰,等.基于NX和Moldflow的轮胎罩注塑成型模拟及试验验证[J].塑料,2019,48(9):67-70.
HUANG Ke, YANG Huan, MA Xuefeng, et al. Simulation and test verification of injection molding of tire cover based on NX and Moldflow[J]. Plastics, 2019, 48(9):67-70.
- [14] 田铖.基于响应面法的结构优化设计研究[D].上海:上海海洋大学,2016.
TIAN Cheng. Research on structural optimization design and based on response surface method[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2016.
- [15] 齐雪,廖秋慧,祝璐琨,等.基于响应面法的汽车接插件注塑工艺优化[J].塑料科技,2018,46(10):95-99.
QI Xue, LIAO Qiuhui, ZHU Lukun, et al. Optimization for car connector injection molding process based on response surface model[J]. Plastics Science and Technology, 2018, 46(10):95-99.
- [16] 代元祥,刘泓滨,邱彤,等.基于GS理论与响应面法的玻璃纤维增强PA66气门室盖注塑成型优化[J].塑料工业,2022,50(5):119-124.
DAI Yuanxiang, LIU Hongbin, QIU Tong, et al. Optimization of injection molding of glass fiber reinforced PA66 valve chamber cover based on GS theory and response surface method[J]. China Plastics Industry, 2022, 50(5):119-124.