[研究·设计]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2014.05.001

基于正交试验的电池盖薄壁塑件注塑工艺参数优化

王 博[1]，宋文学[1]，刘清涛[2]，邓海平[3]

（1.西安航空学院 机械学院，陕西 西安 710077；2.长安大学 机械工程学院，陕西 西安 710064；
3.深圳航盛电子股份有限公司，广东 深圳 518103）

摘 要：针对笔记本电池盖这类薄壁塑件在注塑成型时产生过大翘曲变形量的缺陷，以翘曲变形量为质量指标，采用多因素正交试验法，运用Moldflow注塑成型分析软件进行16次数值模拟试验，获得塑件在注塑温度、模具温度、注塑时间、保压时间、保压压力5因素4水平下成型的翘曲变形量，通过极差分析法比较5个成型工艺参数对翘曲变形量的影响程度，并得到塑件的最优成型工艺参数组合。再由Moldflow模拟试验可知，在最优成型工艺参数组合下塑件的翘曲变形量得到显著改善，并进一步分析找到了薄壁类塑件发生翘曲变形的主要原因。最后，通过电池盖的实际制造证实了优化方案的正确性。

关 键 词：注塑成型；工艺参数；翘曲变形；正交试验；Moldflow软件

中图分类号：TQ320.66 **文献标志码**：A **文章编号**：1005-2895(2014)05-0001-04

Optimization of Injecting Process Parameters for Thin Walled Plastic Parts of Battery Cover Based on Orthogonal Experiment

WANG Bo[1], SONG Wenxue[1], LIU Qingtao[2], DENG Haiping[3]

(1. School of Mechanical Engineering, Xi′an Aeronautical University, Xi′an 710077, China;
2. School of Construction Machinery, Chang′an University, Xi′an 710064, China;
3. Hang Sheng Electronic Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong 518103, China)

Abstract: According to defects caused by excessive warping deformation of thin wall plastic parts in injection molding, taking notebook battery cover for example, by the multi factors orthogonal test method and based on Moldflow injection molding analysis software, with the warping deformation as quality index, were adopted for 16 times simulation tests. The warping deformation of plastic parts was obtained under four levels and five factors such as the injection temperature, mold temperature, injection time, pressure holding time, packing pressure. The influence degree of 5 process parameters on the amount of warping deformation was compared by using range analysis and an optimized parameter combination was achieved. Then, the warping deformation was significantly improved in the optimized parameter combination by moldflow validation. After further analysis, the main reasons of warping deformation for thin walled plastic parts are found simultaneously. Finally, a battery cover manufacturing example show that the optimal combination of process parameter, obtained by the above method, is correct perfectly.

Key words: injection molding; process parameters; warpage; orthogonal experiment; Moldflow

翘曲变形是指塑件脱离模具型腔后，其形状未按照设计的形状成型[1]，它是塑料制品常见的缺陷之一。薄壁类塑件是指成型塑件的壁厚小于1 mm的塑件[2]。笔记本电池盖的壁厚一般在0.6～0.8 mm之间，属于典型的薄壁类塑件，在成型时极易产生过大的翘曲变形量，严重影响到塑件的成型质量，因此对于其

收稿日期：2014-06-28；**修回日期**：2014-07-15

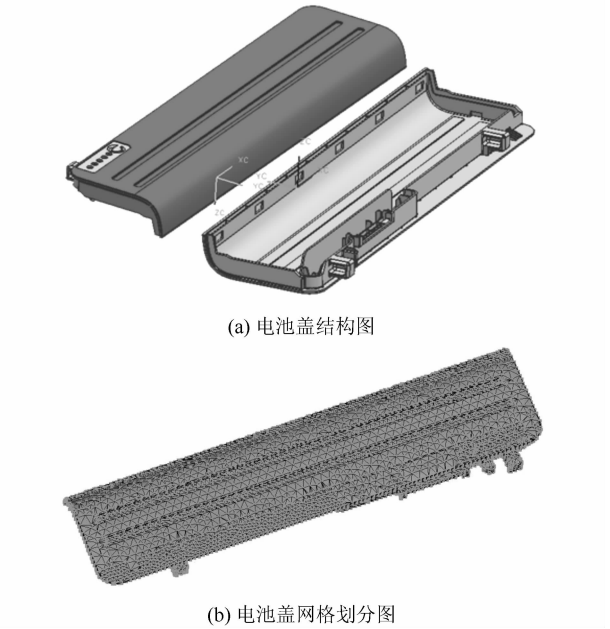
基金项目：国家自然基金资助项目(51305042)

作者简介：王博(1983)，男，陕西咸阳人，硕士，助教，主要研究方向为先进制造技术。E-mail：wangbo4303@163.com

翘曲变形的研究已成为业界的一个重点。业界认为塑件翘曲变形的原因有 3 个方面:①不均匀冷却;②区域收缩;③分子流动取向。相应的改善措施为:①使塑件具有合理的结构形状;②改善模具结构;③优化注塑成型工艺参数;④选用收缩率小的材料。但在工程实际中,由于客观原因的限制,塑件的结构形状和模具的结构往往不能做过大变动,材料也为指定选用,因此,经常从注塑成型工艺参数方面进行改善。本文利用 Moldflow 软件中的 MPI/Warp 分析模块对笔记本电池盖注塑工艺进行翘曲模拟分析,通过正交试验设计,优化成型工艺参数减小塑件的翘曲变形量,找出塑件发生翘曲变形的主要原因,为工程实际提供参考。

1 塑件结构及工艺分析

图 1 为电池盖结构图及网格划分图,外形尺寸约为:206 mm×55.2 mm×16.2 mm,允许翘曲变形量不大于 0.5 mm,大部分壁厚较为均匀,为 0.8 mm 左右,两端壁厚为 2.35 mm 左右,故塑件两端部在成型时易发生翘曲变形。该塑件材料为 PC(聚碳酸酯),其密度为 1.2 g/cm^3,缩水率为 0.35%[3]。Moldflow 推荐工艺参数范围为:最低熔体温度 280 ℃,最高熔体温度为 310 ℃,最低模具温度 70 ℃,最高模具温度 100 ℃。



(a) 电池盖结构图

(b) 电池盖网格划分图

图 1 电池盖结构图及网格划分图

Figure 1 Structure shape and grid model of battery cover

2 模型前处理

将模型从 Pro/E 软件中导入 HyperMesh 中,去除圆角曲面简化模型,划分网格,然后再以 STL 格式导入到 Moldflow 软件中,以 Fusion 类型划分网格。网格划分如图 2 所示,模型节点有 12 247 个,三角单元有 24 568 个,最小纵横比为 1.16,自由边和相交单元为零[4],网格匹配率为 92%。设置进浇系统(潜伏式牛角浇口、热流道类型)和冷却水路[5](冷却水路直径为 10 mm,采用 35 ℃水冷却)。有限元模型如图 2 所示。

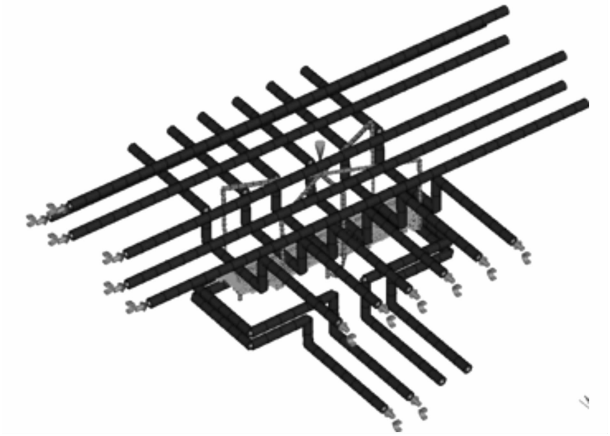


图 2 有限元分析模型

Figure 2 Finite element analysis model

3 正交试验设计

3.1 正交试验工艺参数

正交试验设计方法是以数学理论、专业知识和实践经验为基础,充分利用标准化的正交表来安排试验方案,并对试验结果进行计算分析,最终达到减少试验次数,缩短试验周期,迅速找到优化方案的一种科学计算方法[6]。此方法是以最少数量的试验完成所考察的试验因素在不同试验水平上组合的全部试验,从而确定出各试验因素对试验目标影响程度的大小,同时获得各试验因素的最佳试验水平组合[7]。影响薄壁塑件注塑成型翘曲变形量大小的主要因素有:注塑温度、模具温度、注塑时间、保压时间和保压压力,将他们简称为因素 A,B,C,D,E,并假设各因素之间不存在交互作用。在各因素的取值范围内,每个因素均匀的取 4 个水平,如表 1 所示。

表 1 试验因素水平划分

Table 1 Experimental factors levels division

水平	因数				
	注塑温度 A/℃	模具温度 B/℃	注塑时间 C/s	保压时间 D/s	保压压力 E/MPa
1	280	70	0.7	2.0	100
2	290	80	0.8	2.5	110
3	300	90	0.9	3.0	120
4	310	100	1.0	3.5	130

根据表1的因素及水平划分设置模拟试验正交表,考察5因素4水平对塑件翘曲变形量的影响,所有不同的试验条件共有4^5个,而由正交试验设计,只需作16次试验,试验的目的是找出各工艺因素对塑件翘曲变形量影响程度的强弱排序,并得到最佳工艺参数组合。

3.2　正交试验及结果

根据因素及水平划分,采用5因素4水平的正交试验矩阵,选用正交表$L_{16}(4^5)$,并按表2设置的工艺参数进行模拟试验,将翘曲变形量作为考核指标,分析类型设置为:流动+冷却+翘曲[8]。

表2　试验方案与结果

Table 2　Experimental scheme and results

项目	因数					翘曲量/mm	项目	因数					翘曲量/mm
	注塑温度 *A*/℃	模具温度 *B*/℃	注塑时间 *C*/s	保压时间 *D*/s	保压压力 *E*/MPa			注塑温度 *A*/℃	模具温度 *B*/℃	注塑时间 *C*/s	保压时间 *D*/s	保压压力 *E*/MPa	
1	280	70	0.7	2.0	100	1.265	9	300	70	0.9	3.5	110	1.039
2	280	80	0.8	2.5	110	1.132	10	300	80	1.0	2.0	120	0.975
3	280	90	0.9	3.0	120	0.939	11	300	90	0.7	2.5	130	1.215
4	280	100	1.0	3.5	130	1.139	12	300	100	0.8	3.0	100	0.985
5	290	70	0.8	3.0	130	1.219	13	310	70	1.0	2.5	120	1.145
6	290	80	0.9	3.5	100	0.959	14	310	80	0.7	3.0	130	1.225
7	290	90	1.0	2.0	110	0.999	15	310	90	0.8	3.5	100	1.015
8	290	100	0.7	2.5	120	1.209	16	310	100	0.9	2.0	110	1.045

为了能够清楚地看出各因子对试验目标的影响程度,引入极差分析。极差是各参数不同水平下试验结果均值的最大值和最小值之差值[9],计算后的极差结果见表3。其中K_i表示第i个因子水平下的均值;R为因子在4个水平下最大值与最小值之差,即因子水平的极差。对应因子下的R值越大,说明该因子对指标的影响值越大,如果调整此工艺参数的取值,产品翘曲量就会相应发生比较大的变化[10];若该因子下的R值越小,说明该因子对产品的翘曲量变化影响小。从表3可看出对5个注塑成型工艺参数对笔记本电池盖制品翘曲量的影响程度的强弱排序依次是:注塑时间>保压压力>保压时间>模具温度>注塑温度。表明影响塑件翘曲的最重要因素是注塑时间和保压压力,保压时间和模具温度次之,注塑温度影响最小。得到的最优成型工艺参数方案为:*A*3*B*3*C*3*D*4*E*2,即选用注塑温度为300 ℃,模具温度为90 ℃,注塑时间为0.9 s,保压时间为3.5 s,保压压力为110 MPa。

表3　因素水平的极差分析

Table 3　Range analysis of factor levels　mm

因数	K_1	K_2	K_3	K_4	极差 R
注射时间 *A*	1.119	1.097	1.054	1.108	0.065
模具温度 *B*	1.167	1.073	1.042	1.095	0.125
注塑时间 *C*	1.229	1.088	0.995	1.065	0.234
保压时间 *D*	1.071	1.175	1.092	1.038	0.137
保压压力 *E*	1.056	1.054	1.067	0.137	0.146

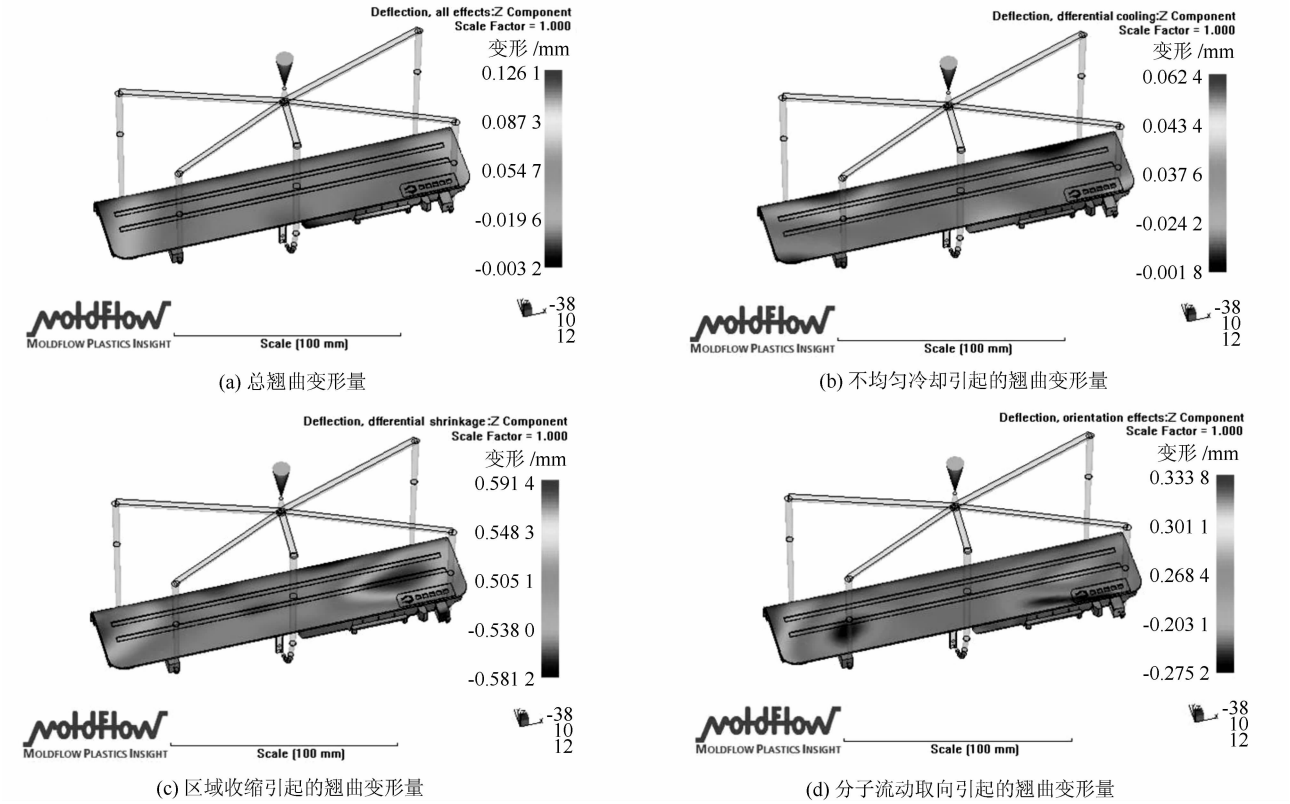
图3所示是在最优成型工艺参数方案下分析得到的翘曲变形量。图3(a)为总翘曲变形量;图3(b)、(c)、(d)分别为不均匀冷却、区域收缩、分子流动取向引起的翘曲变形量。最优成型工艺参数组合下得到总翘曲变形量为0.129 mm。与上述正交试验最大结果1.265 mm比较,下降近78%,极大地减小了塑件的翘曲变形量。通过对图3(b)、(c)、(d)的比较可知区域收缩引起的翘曲变形最大,分子流动取向引起的翘曲变形次之,冷却不均匀引起的翘曲变形最小,则可知区域收缩是引起塑件翘曲变形的主要原因。

4　结语

1)根据正交试验及Moldflow模拟分析,得出在薄壁塑件成型过程中,主要工艺参数对塑件翘曲变形影响的强弱排序依次为:注塑时间>保压压力>保压时间>模具温度>注塑温度。

2)选用最优工艺参数组合*A*3*B*3*C*3*D*4*E*2,即注塑工艺参数为:注塑温度300 ℃、模具温度90 ℃、注塑时间0.9 s、保压时间3.5 s、保压压力110 MPa。电池盖塑件的翘曲变形量得到显著改善,图4所示是在最优工艺参数组合下得到的电池盖注塑成型实物,该塑件的翘曲变形符合设计要求,成型质量良好。

3)区域收缩是引起塑件翘曲变形的主要原因,分子流动取向对塑件翘曲变形的影响次之,不均匀冷却对塑件翘曲变形的影响最小。因此,在进行塑件的模具设计时,要尽可能的选择优化的模具结构,可使塑件的翘曲变形得到更好改善。



(a) 总翘曲变形量 (b) 不均匀冷却引起的翘曲变形量

(c) 区域收缩引起的翘曲变形量 (d) 分子流动取向引起的翘曲变形量

图 3 最优工艺参数组合下的翘曲变形量

Figure 3 Warpage of the optimal process parameters

图 4 合格塑件

Figure 4 Qualified plastic parts

参考文献:

[1] 郭广思. 注塑成型技术[M]. 北京:机械工业出版社,2009.

[2] KURTARAN H, ERZURUMLU T. Efficient warpage optimization of thin shell plastic parts using response surface methodofogy and genetic algorithm[J]. Advanced Manufacturing Technology,2006,27(5/6):468 - 472.

[3] 王博. 笔记本电脑电池盖进浇方案 Moldflow 分析[J]. 工程设计学报. 2012,19(3):217 - 220.

[4] 王刚,单岩. Moldflow 模具分析应用实例[M]. 北京:清华大学出版社,2005.

[5] 张国强. 注塑模设计与生产应用[M]. 北京:化学工业出版社,2007.

[6] 陈魁. 试验设计与分析[M]. 北京:清华大学出版社,2005.

[7] 马晓丽,马履中. 正交—遗传试验算法的分析与应用[J]. 工程设计学报,2005,12(6):334 - 337.

[8] 陈川,范建蓓,吕永锋. 基于 Moldflow 的电池外壳注塑成型研究[J]. 轻工机械,2014,32(1):99 - 102.

[9] 赵佳峰,狄金叶. 基于正交试验及 Moldflow 模拟优化扶手盖板注塑工艺[J]. 工程塑料应用,2011,39(10):55 - 57.

[10] 钱应平,黄菊花,周细枝,等. 基于 CAE 的轿车零件注射模具优化设计[J]. 塑料工业,2011,39(1):65 - 68.

[研究·设计]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2014.05.002

基于正交法的进口分布器内分布管的结构优化

冯 贺,虞 斌,纪鹏飞

(南京工业大学 机械与动力工程学院,江苏 南京 210009)

摘 要:气体进口分布器是炭黑急冷器的的关键部件。若进入换热管内的炭黑烟气分布不均匀,有可能导致烟气在某些管子内结焦而发生堵塞,因而改变急冷器的操作状态。针对这种现象,以炭黑急冷器进口分布器内的分布管为对象,通过数值模拟及正交分析研究其结构参数对烟气分布均匀度的影响,得出影响最大的因素并求得最优值。

关 键 词:分布管,正交分析,结构优化,数值模拟

中图分类号:TK172.4 **文献标志码**:A **文章编号**:1005-2895(2014)05-0005-04

Structural Optimization of Distribution Tubes in Inlet Distributor Based on Orthogonal Analysis

FENG He, YU Bin, JI Pengfei

(School of Mechanical and Power Engineering, Nanjing Tech University Nanjing 210009, China)

Abstract: Gas inlet distributor is the key part to carbon black quencher. If the carbon black smoke distribution was uneven, some tubes in carbon black quencher would be blocked because of coking, which would change operation state of quencher. Aiming at the phenomenon, tubes in distributor is taken as an object, and the effect of structural parameters on evenness of carbon black smoke is analyzed based on numerical simulation and orthogonal analysis, and the largest effect factor and the optimal value are obtained.

Key words: distribution tubes; orthogonal analysis; structural optimization; numerical simulation

为使裂解气均匀地流入各换热管,进口管箱内设有使气体转向、增强湍流作用的气体分布器,其结构对裂解气在废热锅炉中的流动状况和换热效果具有重要影响[1]。分布器中分布管的结构参数是影响裂解气在换热管内入口流量均匀度的重要参数,因此合理地选择分布管的结构参数,使进入各换热管的裂解气分布趋于均匀,是保证裂解气在急冷器内急冷效果的关键,是急冷器设计研究的重要内容。

1 分布管的结构

文中提到的炭黑急冷器的分布器是采用两排正三角形错排排列的结构。分布管的相对距离为 a(分布管到扩压器出口的距离与分配空间区的高度之比),相对直径为 b(分布管板外形大小的当量直径与椭圆形管板的纵向直径之比)。根据工程实践中有关此数据的经验选择,本文选取了 $a=2.1$, $b=0.5$。许多研究者对气体横掠圆形与椭圆形管束进行了研究,结果表明采用椭圆管能减小阻力系数、降低流动损失[2-4]。以综合考虑分配器内涡量、湍流耗散率和气体分配不均匀性进行综合评价显示分布管截面的椭圆度 e 在1.12~1.20之间,具有较佳的综合性能。本文采用 e 为1.20的椭圆管进行分析,椭圆形分布管机构示意图见图1。

2 评价指标及正交试验设计

2.1 评价指标

采用换热管内体积流量的标准方差 σ_{STD} 作为各换热管内出口流量不均匀度的评价指标

$$\sigma_{STD}=\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(Q_i-\overline{Q})^2} \tag{1}$$

收稿日期:2014-03-013;**修回日期**:2014-04-14

作者简介:冯贺(1989),男,江苏徐州人,硕士研究生,研究方向为高效传热传质设备。E-mail:fengetone@126.com