

[新设备·新材料·新方法]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2019.05.015

飞机支线架注塑成型缺陷分析和多目标优化

郭文博¹, 刘泓滨¹, 车应田², 周文杰³, 周东华³

(1. 昆明理工大学机电工程学院, 云南 昆明 650500; 2. 中国铁建高新装备股份有限公司, 云南 昆明 650500;
3. 惠州大亚湾和平精密注塑有限公司, 广东 惠州 516000)

摘 要:课题组以飞机支线架注塑成型过程中的熔接痕和气泡为优化目标,通过浇口位置寻优和更改浇口形式,消除了塑件成型过程中在浇口附近产生的熔接痕和气泡缺陷,同时发现了熔接痕和气泡在塑件成型过程中位置和形状的一致性;将浇口直径、模具温度、熔体温度、注射时间、V/P转换体积和保压压力作为工艺参数进行正交试验。通过工艺参数寻优,对熔接痕和气泡缺陷进行多目标优化,发现浇口直径对熔接痕和气泡的影响度较大,并得到最佳工艺参数组合为:模具温度 60 ℃,熔体温度 245 ℃,注射时间 5 s, V/P 转换体积 99%,保压压力 245 MPa,浇口直径 1 mm。同时发现熔接痕和气泡在受工艺参数影响方面具有一致性,证明了熔接痕和气泡在形成机理、成形位置和形状、受工艺参数影响度的一致性。最终结果是熔接痕长度减少了 35.66%,气泡面积缩小了 26.74%。浇注系统和工艺参数优化 2 方面因素,为今后对熔接痕和气泡缺陷研究,以及工程生产中消除熔接痕和气泡缺陷提供了参考。

关 键 词: 注塑成型;熔接痕;气泡;浇注系统;多目标优化;TOPSIS 综合评价法

中图分类号:TQ320.66 文献标志码:A 文章编号:1005-2895(2019)05-0077-07

Injection Molding Defect Analysis and Multi-Objective Optimization of Aircraft Branch Frame

GUO Wenbo¹, LIU Hongbin¹, CHE Yingtian², ZHOU Wenjie³, ZHOU Donghua³

(1. Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500, China;

2. China Railway Construction High-tech Equipment Co., Ltd., Kunming 650500, China;

3. Huizhou Daya Bay Peace Precision Molding Company Ltd., Huizhou, Guangdong 516000, China)

Abstract: Taking the weld marks and bubbles in the process of injection moulding of aircraft branch frame as the optimization objective, the weld marks and bubbles near the gate were eliminated by optimizing the gate position and changing the gate form. At the same time, the consistency of the position and shape of the weld marks and bubbles in the process of moulding was found. The orthogonal test was carried out with the process parameters of the gate diameter, mold temperature, melt temperature, injection time, V/P conversion volume and pressure holding. Through optimization of process parameters, multi-objective optimization of weld marks and bubble defects was carried out. It was found that gate diameter had a great influence on weld marks and bubbles. The optimum combination of process parameters was obtained as follows: die temperature of 60 ℃, melt temperature of 245 ℃, injection time of 5 s, V/P conversion volume of 99%, holding pressure of 245 MPa, gate diameter of 1 mm. Meantime, the consistency of weld marks and bubbles affected by process parameters was found, which proved the consistency of weld mark and bubbles in formation mechanism, forming position and shape, and the degree of influence of process parameters. The final weld line length was optimized by 35.66% and the bubble area was optimized by 26.74%. The study on two influencing factors of gating system and process parameters optimization provides reference for future research on weld marks and bubble defects and eliminating weld marks and bubble defects in engineering production.

Keywords: injection molding; weld line; bubble; gating system; multi-objective optimization; TOPSIS comprehensive evaluation method

收稿日期:2019-03-05;修回日期:2019-07-29

第一作者简介:郭文博(1995),男,山西晋城人,硕士,主要研究方向为数字化设计与制造。E-mail:1304595944@qq.com

熔接痕和气泡是注塑成型过程中常见的缺陷,受到塑件造型、模具结构以及生产参数等多方面的影响^[1]。塑件成型过程中产生的熔接痕和气泡会影响塑件的外观和强度质量^[2,3]。因此对于塑件成型过程中可能产生的熔接痕和气泡缺陷应当进行优化,以提高塑件的生产质量。

钱萍等^[4]以汽车后视镜罩为研究对象,在制造汽车后视镜罩之前,利用 Moldflow 软件对其进行了模流分析,设计多个不同浇口位置方案,通过进行气泡和熔接痕分析,优化浇口位置,减少了气泡数量和降低了熔接痕强度。冯权和^[5]以相机前壳为研究对象,设计了7种浇口位置方案对相机前壳成型过程中可能产生的气泡和熔接痕进行了研究,通过比较各个方案产生的熔接痕和气泡情况,发现熔接痕数量随浇口位置的增加而增加,且气穴产生的位置与熔接痕产生的位置相接近,并指出两股熔料汇合时产生了熔接痕,同时气体没有及时排出,所以在熔接痕附近会产生气泡。

目前已有许多学者对塑件成型过程中产生的熔接痕和气泡进行了研究,但是缺少对优化过程中熔接痕和气泡缺陷表现出的规律性进行深入探讨。课题组利用 Moldflow 软件对飞机支线架在生产过程中可能出现的熔接痕和气泡进行预测,并通过调整浇口形式和位置的方式减少生产缺陷;对工艺参数进行优化,分析熔接痕和气泡缺陷之间的联系,最后对塑件进行试模和生产。

1 制件工艺性分析

课题组研究对象为飞机支线架,主要用于波音飞机系列中。飞机支线架主要分布在飞机的油箱周围,用于支撑油箱,同时飞机上复杂的线路从支线架上部的孔隙穿过,方便飞机后期的线路维护。

1.1 制件结构

飞机支线架如图1所示。尺寸为44.41 mm × 74.33 mm × 117.14 mm;表面为流线型,呈对称分布;内部为中空结构,制件上部有作穿线用途的孔。

1.2 制件材料

制件材料为 Dupont 公司生产的聚酰胺612。聚酰胺612是以己二胺和十二碳二酸为原料聚合而成,柔韧性好,吸湿性低^[6],可以用在耐摩擦、耐低温场合以及精密部件等方面^[7]。

2 浇注系统的设计及 CAE 分析

课题组采用3个浇口位置,2种浇口形式对塑件的浇注系统进行了设计,并使用 Moldflow 软件对塑件进行了 CAE 仿真分析。3种浇口位置分别为:生产单

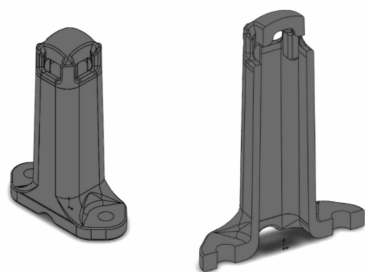


图1 三维模型

Figure 1 3D model

位试模时采用的浇口位置、Moldflow 最佳浇口位置分析得出的位置和优化后的浇口位置。浇口形式采用试模时的侧浇口和潜浇口两种浇口形式,共设计了6种浇注系统。

2.1 浇口位置选择

1) 生产单位试模时采用的浇口位置靠近塑件底部右侧,如图2所示。



图2 试模时的浇口位置

Figure 2 Gate location during test

2) Moldflow 最佳浇口位置是使用 Moldflow 软件对最佳浇口位置进行分析得到的,最佳浇口分析结果如图3所示。

根据 Moldflow 分析结果,确定浇口位置在塑件中部靠边侧的位置,此位置距型腔各个位置的距离相对接近。

3) 改进后的浇口位置由塑件中部靠边侧位置移到了底部中间壁厚的位置,如图4所示。

由于塑件体积相对较小,壁薄,考虑到薄壁承受压力的能力相对较弱,根据浇口选择的原则^[8,9],浇口位置选择塑件中间壁厚的位置,确保塑件在注射过程中,平均薄壁位置的压力^[10],进而减少浇口附近的缺陷。

2.2 试验设计

在确定了浇口位置和浇口形式后,试验设计方案如表1所示。

建议的浇口位置有:
靠近节点

521010

(a)建议的浇口位置



(b)查找节点



(c)节点所在位置

图3 最佳浇口位置分析过程
Figure 3 Optimal gate location analysis process



图4 改进后的浇口位置
Figure 4 Gate location after improved

表1 浇注系统分析实验设计

Table 1 Experimental design of gating system

实验序号	浇口位置	浇口形式
1	原浇口位置	侧浇口
2	原浇口位置	潜浇口
3	Moldflow 最佳浇口位置	侧浇口
4	Moldflow 最佳浇口位置	潜浇口
5	中间壁厚位置	侧浇口
6	中间壁厚位置	潜浇口

确定试验方案后,对试验进行 CAE 分析,参数设置为:模具温度为 70 ℃,熔体温度为 250 ℃,注射压力为 245 MPa,成型时间为 13 s,V/P 转换时的充盈体积为 98%。

2.3 CAE 试验结果分析

方案 1 为生产试模时的浇注系统结构和生产参数,方案 1 的熔接痕和分析结果直接反映了生产时的缺陷,实验 CAE 分析结果如图 5 所示。

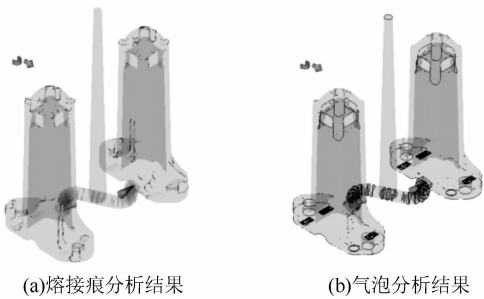


图5 方案 1 缺陷 CAE 分析结果
Figure 5 CAE result of experiment 1

通过 CAE 分析结果可以看到熔接痕和气泡主要集中在浇口附近和塑件顶部,而实际试模种缺陷的位置也集中在浇口附近和塑件顶部,如图 6~7 所示,验证了 CAE 分析结果与实际试模结果的一致性。

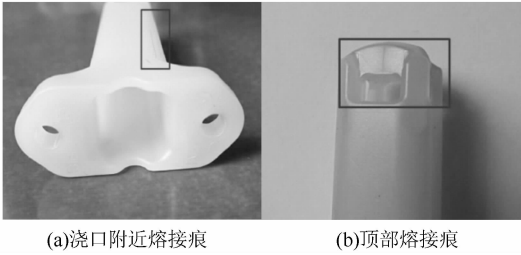


图6 试模时熔接痕缺陷
Figure 6 Weld line of test

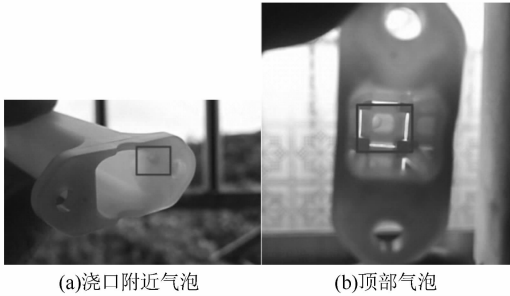


图7 试模时气泡缺陷
Figure 7 Bubble of test

通过对实验进行分析,可以得到 CAE 分析结果如表 2 所示。

表2 浇注系统实验 CAE 分析结果

Table 2 CAE result of gating system experiments

实验序号	熔接痕/mm	气泡/mm ²
1	210.84	225.25
2	198.55	212.70
3	244.42	235.72
4	240.55	232.19
5	157.68	192.13
6	151.35	189.92

由表2可知,实验6的熔接痕长度和气泡面积分析结果最佳,对比分析结果可以看出,通过改进浇口位置和浇口形式,基本消除了浇口附近产生的熔接痕和气泡缺陷;同时还发现,气泡和熔接痕产生的位置和形状相近。实验6的CAE分析结果如图8所示。

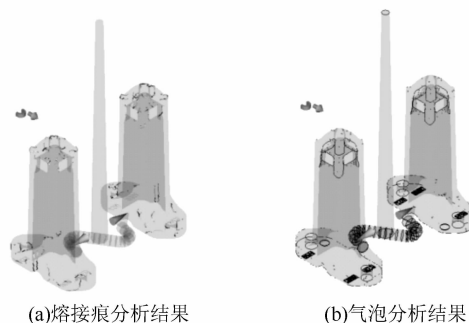


图8 实验6缺陷CAE分析结果

Figure 8 CAE result of experiment 6

3 基于TOPSIS的多目标参数优化

3.1 工艺参数的正交试验设计

选取模具温度(A)、熔体温度(B)、注射时间(C)、 V/P 转换体积(D)、保压压力(E)、浇口直径(F)作为优化参数,对优化目标熔接痕长度(Y_1)气泡面积(Y_2)进行优化,因素水平如表3所示。

表3 因素水平的设计

Table 3 Design of factor and level

水平	因素					
	$A/^{\circ}\text{C}$	$B/^{\circ}\text{C}$	C/s	$D/\%$	E/MPa	F/mm
1	50	230	1	99	245	1.0
2	60	245	2	98	230	1.5
3	70	260	3	97	215	2.0
4	80	275	4	96	200	2.5
5	90	290	5	95	185	3.0

设计正交实验,实验结果如表4所示。

均值分析就是根据试验结果,确定各个试验因素对试验目标的关联度,同时,可以预测出对应于最佳质量指标的最优因素水平组合。表5中,均值 k_1 :

$$k_1 = \frac{\sum_{j=1}^5 m_{Aij}}{5}。$$

式中: m_{Aij} 为在 A 因素1水平下,即模具温度为 50°C 时的各熔接痕长度。

极差分析是通过对该因素的若干个试验结果中的最大与最小值求差得来的,反映了该因素对目标结果的影响程度。表5中, A 因素的极差

$$D_A = 180.85 - 161.53 = 19.32 \text{ mm}。$$

同理可得熔接痕和气泡的均值和极差如表5和表6所示。

表4 正交实验结果

Table 4 Result of orthogonal test

实验序号	Y_1/mm	Y_2/mm^2	实验序号	Y_1/mm	Y_2/mm^2
1	147.66	185.35	14	170.15	212.96
2	154.08	184.21	15	181.40	214.25
3	176.92	219.91	16	193.60	223.14
4	168.75	207.35	17	160.80	183.50
5	166.50	205.84	18	181.58	235.48
6	190.35	213.63	19	174.08	209.52
7	145.68	178.96	20	194.20	213.80
8	146.87	174.50	21	165.55	207.42
9	158.03	194.78	22	186.76	222.80
10	166.71	204.20	23	172.50	208.84
11	159.85	202.16	24	177.36	215.91
12	161.46	205.35	25	183.50	209.16
13	148.21	185.72			

表5 熔接痕极差分析

Table 5 Range analysis of weld line mm

因素	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	极差 D
A	162.78	161.53	164.21	180.85	177.13	19.32
B	171.40	161.75	165.22	169.67	178.46	16.71
C	170.58	174.48	170.80	170.84	159.82	14.66
D	166.77	167.99	176.34	168.59	166.81	9.57
E	162.82	167.41	168.94	177.65	169.69	14.84
F	159.83	159.16	181.82	165.72	175.45	22.66

表6 气泡极差分析

Table 6 Range analysis of bubble mm^2

因素	k'_1	k'_2	k'_3	k'_4	k'_5	极差 D'
A	200.53	193.21	204.09	213.09	212.83	19.870
B	206.34	194.96	204.89	208.10	209.45	14.490
C	212.16	206.09	206.15	203.90	195.45	16.710
D	201.62	202.64	207.83	208.69	202.96	7.070
E	194.70	205.16	209.28	208.66	205.95	14.578
F	193.74	194.77	214.78	201.21	215.24	21.500

各因子影响对优化目标熔接痕和气泡的影响效果分别如图9和图10所示。

3.2 实验结果分析

1) 熔接痕分析结果

结合表5可以得到,各因素对熔接痕长度结果的影响程度排序:浇口直径>模具温度>熔体温度>保压压力>注射时间> V/P 转换体积。最优工艺参数组合为 $A_2B_2C_5D_1E_1F_2$ 。

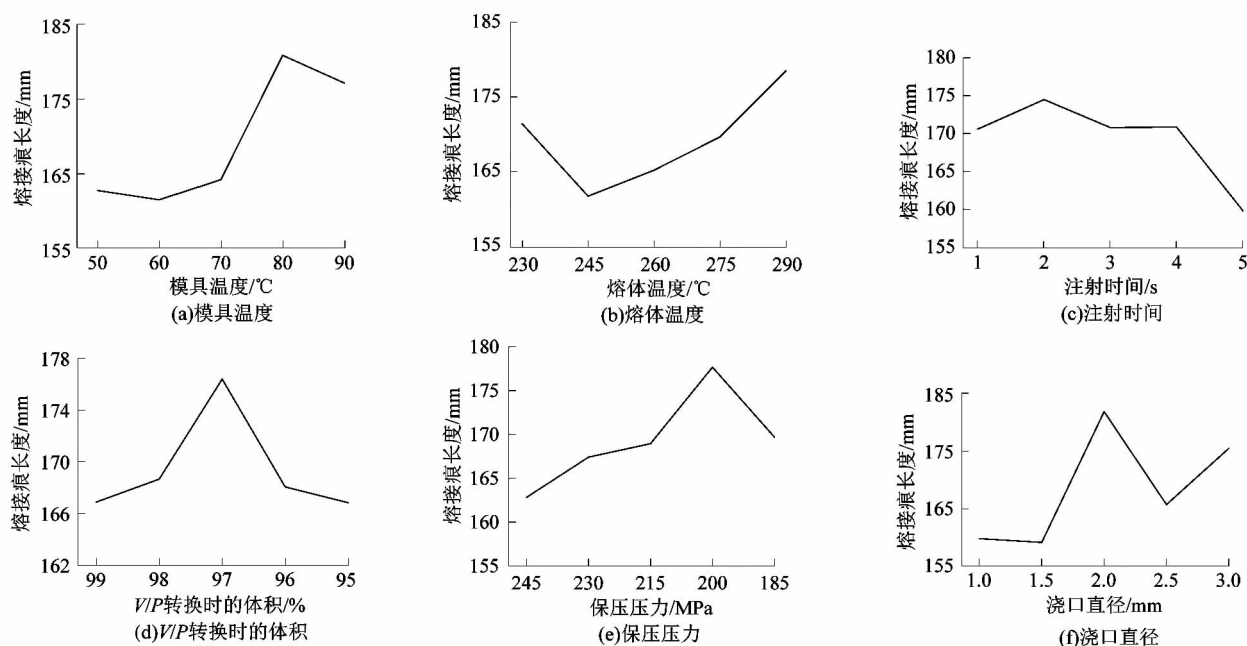


图9 工艺参数对熔接痕长度的影响效果

Figure 9 Effect of technological parameters on weld mark length

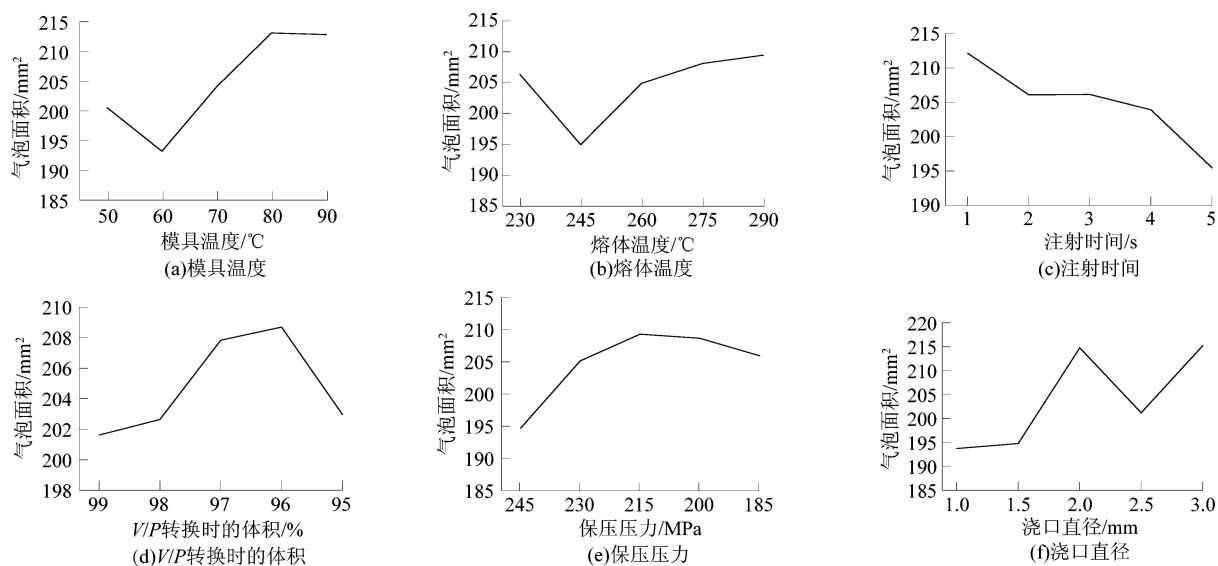


图10 工艺参数对气泡面积的影响效果

Figure 10 Effect of technological parameters on bubble area

2) 气泡分析结果

由表6可以得到各个因素对气泡面积结果的影响度排序:浇口直径>模具温度>注射时间>保压压力>熔体温度>V/P转换体积。最佳优化参数组合为 $A_2B_2C_5D_1E_1F_1$ 。

对比熔接痕和气泡的正交实验结果可以得到如下结论:

①从浇口位置和浇口形式分析结果中可以看到,

熔接痕和气泡的分布位置,形状相似,这是因为部分气泡的产生正是因为熔接不良导致的^[11],因此在熔接痕附近会产生气泡。

②熔料熔接时的强度受冷却效果的影响很大^[12],而模具温度会直接影响熔融塑料的冷却过程进而影响熔接强度,因此,模具温度对熔接痕和气泡的影响较大。

③浇口位置和浇口形式对塑件成型后的熔接痕和气泡结果影响很大,在参数优化中,加入了浇口直径作

为优化参数,且浇口直径因素对熔接痕和气泡的影响最大,佐证了浇注系统对熔接痕和气泡的影响效果。

3.3 基于 TOPSIS 法的工艺参数多目标优化

TOPSIS 法为系统工程中有限方案多目标分析的一种常用的分析方法^[13-14]。TOPSIS 综合分析法数学模型建立的基本步骤^[15]为:将 CAE 试验值进行标准化,计算各优化目标的权重系数,然后计算 TOPSIS 评价指数 C_i 。

数据的同趋化和无量纲化统称为数据的标准化^[16],同趋化公式为:

$$x'_{ij} = \frac{1}{x_{ij}}。$$

式中: x_{ij} 为第 i 次试验,第 j 项评价指标的试验值; x'_{ij} 为试验值 x_{ij} 进行同趋化后的数值。

无量纲化公式为:

$$a_{ij} = \frac{x'_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x'^2_{ij}}}。$$

式中: x'_{ij} 为同趋化后的各试验值; n 表示试验次数; a_{ij} 为第 i 次试验,第 j 项评价指标无量纲化后的值。

采用熵值法计算权重系数 ω_j ,首先计算每项评价指标的熵值

$$H_j = -k \sum_{i=1}^n s_{ij} \ln s_{ij}。$$

式中: $k = \frac{1}{\ln n}$; s_{ij} 为第 j 项评价指标,第 i 个评价对象占此指标的比重。

$$\text{其中, } s_{ij} = \frac{x'_{ij}}{\sum_{i=1}^n x'_{ij}}。$$

第 j 项指标的信息熵冗余度

$$e_j = 1 - H_j。$$

第 j 项指标的权重系数

$$\omega_j = \frac{e_j}{\sum_{j=1}^m e_j}。$$

式中: m 为评价指标数,文中有熔接痕长度和气泡面积 2 个评价指标,因此 $m = 2$ 。

在得到各评价指标的权重系数 ω_j 后,可以得到:

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m \omega_j (a_{ij}^+ - a_{ij}^-)^2};$$

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m \omega_j (a_{ij}^- - a_{ij}^+)^2}。$$

TOPSIS 评价指数

$$C_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-}。$$

最终的 TOPSIS 评价指数 C_i 如表 7 所示。

表 7 TOPSIS 综合评价结果

Table 7 TOPSIS comprehensive evaluation

Y_1/mm	Y_2/mm	D^+	D^-	C_i
0.226 8	0.232 7	0.009 48	0.051 00	0.843 296 827
0.211 9	0.208 5	0.012 40	0.046 40	0.788 987 664
0.200 9	0.198 8	0.044 20	0.014 90	0.252 570 726
0.209 5	0.200 9	0.034 00	0.024 90	0.422 551 163
0.207 4	0.197 7	0.032 00	0.027 00	0.457 945 429
0.226 0	0.218 6	0.049 10	0.012 30	0.199 636 666
0.196 8	0.190 7	0.003 92	0.056 20	0.934 673 245
0.184 6	0.189 5	0.001 40	0.057 80	0.976 366 103
0.173 0	0.182 0	0.021 07	0.038 00	0.643 236 490
0.208 3	0.221 3	0.031 30	0.027 60	0.467 911 745
0.184 4	0.172 4	0.026 20	0.033 40	0.560 306 232
0.192 4	0.193 8	0.028 90	0.030 90	0.517 030 119
0.172 4	0.189 9	0.009 96	0.050 40	0.834 807 792
0.202 3	0.195 8	0.037 40	0.021 80	0.368 224 673
0.179 3	0.182 2	0.044 40	0.014 60	0.248 274 904
0.194 1	0.194 4	0.054 20	0.006 50	0.107 323 775
0.188 8	0.188 1	0.017 70	0.042 30	0.705 513 602
0.182 5	0.194 1	0.052 80	0.008 83	0.143 379 310
0.228 0	0.232 7	0.038 10	0.020 70	0.351 236 259
0.211 9	0.208 5	0.051 30	0.011 80	0.187 535 584
0.200 9	0.198 8	0.032 20	0.027 10	0.457 225 565
0.209 5	0.200 9	0.050 60	0.008 35	0.141 805 717
0.207 4	0.197 7	0.036 90	0.021 80	0.371 371 231
0.226 0	0.218 6	0.042 70	0.016 10	0.273 427 847
0.196 8	0.190 7	0.043 60	0.016 40	0.274 072 026

将表 7 中的评价指数 C_i 进行极差分析,分析结果如表 8 所示。

表 8 评价指数 C_i 的极差分析结果

Table 8 Evaluation index C_i range analysis results

因素	均值 1	均值 2	均值 3	均值 4	均值 5	极差
A	0.553	0.644	0.506	0.299	0.303	0.345
B	0.433	0.618	0.516	0.412	0.327	0.291
C	0.393	0.392	0.442	0.459	0.620	0.228
D	0.512	0.494	0.360	0.441	0.497	0.152
E	0.609	0.482	0.409	0.358	0.448	0.251
F	0.648	0.647	0.263	0.506	0.318	0.385

根据均值分析可以得到最佳工艺参数组合为 $A_2B_2C_5D_1E_1F_1$,即模具温度 60 ℃,熔体温度 245 ℃,注射时间 5 s,V/P 转换体积 99%,保压压力 245 MPa,浇口直径 1 mm 为最佳工艺参数组合。将该优化参数组合使用 Moldflow 软件进行熔接痕和气泡分析,得到熔接痕长度为 157.26 mm,气泡面积为 172.68 mm²。熔接痕长度优化了 35.66%。气泡面积优化了 26.74%。

3.4 优化后的 CAE 分析验证

将优化后的浇注系统和工艺参数应用到实际生产中,生产出的产品如图 11 所示,可以看出生产出的试样产品无明显缺陷。

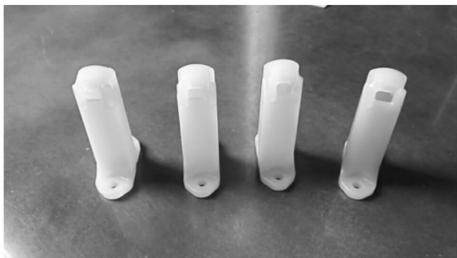


图 11 生产实物

Figure 11 Production physical drawing

4 结论

1) 课题组通过对浇口位置和浇口形式的优化,有效地减少了浇口附近的熔接痕和气泡缺陷,同时证明了熔接痕和气泡缺陷在塑件生产过程中存在位置和形状的一致性。

2) 通过对生产参数进行正交试验分析,发现了生产参数对熔接痕和气泡的影响存在一致性。同时使用 TOPSIS 评价模型对生产参数进行多目标优化,得到最佳生产参数组合为:模具温度 60 ℃,熔体温度 245 ℃,注射时间 5 s, V/P 转换体积 99%,保压压力 245 MPa,浇口直径 1 mm。最佳工艺参数组合使熔接痕长度优化了 35.66%,气泡面积优化了 26.74%。使用优化组合的参数对飞机支线架进行试模生产,生产质量良好。

3) 课题组在浇注系统优化和工艺参数优化中分别发现了熔接痕和气泡在成型位置、形状和受工艺参数影响程度的一致性,为今后学者研究熔接痕和气泡缺陷提供了将熔接痕和气泡缺陷归类研究的思路,也为工程上解决熔接痕和气泡缺陷问题提供了参考。

参考文献:

[1] 汪勇. 基于 CAE 翘曲分析的飞机天窗部件注塑模具优化设计研

究[D]. 长沙:湖南大学,2017:3-4.

- [2] SHIN H, PARK E S. Analysis of crack phenomenon for injection - molded screw using moldflow simulation [J]. Journal of Applied Polymer Science, 2009, 113(4): 2702 - 2708.
- [3] YAMADA K, TOMARI K, ISHIAKU U S, et al. Evaluation of mechanical properties of adjacent flow weld-line [J]. Polymer Engineering and Science, 2005, 45(8): 1180 - 1186.
- [4] 钱萍, 朱红建, 朱理. CAE 技术在注塑成型浇注系统优化设计中的应用[J]. 机械工程师, 2010(4): 84 - 86.
- [5] 冯权和. 面向电子产品塑料跌落仿真的注塑成型工艺优化[D]. 成都: 西华大学, 2010: 8 - 13.
- [6] 彭治汉, 施祖培. 塑料工业手册(聚酰胺)[M]. 北京: 化学工业出版社, 2001: 554 - 556.
- [7] REN Mingqiao, SONG Jianbin, ZHAO Qingxiang, et al. Primary and secondary crystallization kinetic analysis of nylon 1212 [J]. Polymer International, 2004, 53(11): 1658 - 1665.
- [8] SUN Guogong, LIU Changhua, LI Qiang. Optimal design of runner for shell of mobile telephone based on moldflow software [J]. Applied Mechanics and Materials, 2015, 741: 191 - 194.
- [9] 张梦梦, 陈泽中, 刘会. 基于 UG 与 Moldflow 的汽车门槛饰条工艺优化及模具设计[J]. 塑料, 2013, 42(6): 106 - 109.
- [10] 郝宏勋, 黄鹏. 基于 Moldflow 的汽车前面板 CAE 优化分析与模具设计[J]. 塑料工业, 2016, 44(7): 55 - 59.
- [11] 黄朝华, 孙筱. 注塑模内贴饰件外观缺陷及成型对策[J]. 现代塑料加工应用, 2015, 27(6): 29 - 31.
- [12] 黄珍媛, 肖尧, 陈邑, 等. 顺序注塑成型技术改善超薄笔记本外壳质量的研究[J]. 塑料工业, 2017, 45(1): 53 - 56.
- [13] HWANG C L, YOON K. Methods for multiple attribute decision making//multiple attribute decision making [M]. Berlin: Springer Berlin Heidelberg, 1981: 58 - 191.
- [14] 信桂新, 杨朝现, 杨庆媛, 等. 用熵权法和改进 TOPSIS 模型评价高标准基本农田建设后效应[J]. 农业工程学报, 2017, 33(1): 238 - 249.
- [15] 李存斌, 张建业, 谷云东, 等. 一种基于前景理论和改进 TOPSIS 的模糊随机多准则决策方法及其应用[J]. 运筹与管理, 2015, 24(2): 92 - 100.
- [16] 郭文博, 刘泓滨, 车应田, 等. 多指标评价方法在注塑成型工艺中的应用[J]. 塑料, 2019, 48(1): 97 - 101.



www.QCtester.com

因为专业, 所以权威

因为用心, 所以收获更多



扫一扫 加入我们