

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2015.12.017

汽车音响塑料件模具设计及成型工艺优化研究*

范玉^{1,2}, 钟兴³, 范佳琦⁴, 黄继战¹

(1. 江苏建筑职业技术学院, 江苏徐州 221116; 2. 江苏建筑节能与建造技术协同创新中心, 江苏徐州 221116; 3. 江苏农林职业技术学院, 江苏句容 212400; 4. 北京理工大学机械与车辆学院, 北京 100081)

摘要: 以某品牌汽车音响面板为例, 应用 Moldflow Plastics Insight 2013 对其浇口位置进行模拟分析, 根据分析结果优化模具设计方案, 利用 UG8.0、胡波外挂设计了模具总装图; 并利用 Moldflow 进行成型工艺模拟, 在熔体流动速率、模具温度、保压压力和保压时间工艺参数的可行区间内, 构建正交变化模拟试验, 利用极差法确定了最优加工参数组合, 对于提高塑料件的质量, 显著缩短塑料模具的设计、制造周期具有重要的指导意义。

关键词: 注塑模; Moldflow; 成型工艺; 优化

中图分类号: TP391.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2015)12-0076-05

Automobile Audio Plastic Mold Design and Molding Optimization

Fan Yu^{1,2}, Zhong Xing³, Fan Jiaqi⁴, Huang Jizhan¹

(1. Jiangsu Jianzhu Institute, Xuzhou 221116, China; 2. Jiangsu Building Energy-Saving Construction Techniques and Coordination Innovation Center 221116, China; 3. Jiangsu Polytechnic College of Agriculture and Forestry, Jurong 212400, China; 4. Beijing Institute of Technology School of Locomotive, Beijing 100081, China)

Abstract: In certain brand of car audio panels as example, its gate location was simulation analysed using Moldflow Plastics Insight 2013, mold design was optimized based on analysis results. The mold assembly drawing was designed using UG8.0 and Hooper plug. The molding process was simulated using Moldflow. Within the feasible range of melt flow rate, mold temperature, holding pressure, holding time process parameters, the optimal processing parameters was determined using range method combination, which has important significance for improving the quality of plastic parts, significantly reducing plastic mold design, and manufacturing cycle.

Keywords: injection mold; Moldflow; molding process; optimization

采用 Moldflow 软件可以准确地预测塑料件的翘曲、收缩变形等缺陷。利用 Moldflow MPI 分析模块对汽车音响面板注射成型中的浇口位置、充填、流动及翘曲等进行了分析模拟, 根据分析结果对注塑工艺条件进行优化, 得到最佳的工艺参数, 从而保证了模具设计的合理性。

1 塑料件及翘曲理论分析

1.1 塑料件分析

根据产品的要求, 汽车音响塑料件采用的材料是丙烯腈-丁二烯-苯乙烯塑料 (ABS), 塑料件长度 226 mm, 宽度 60 mm, 高度 8 mm, 该塑料件壁厚最小处为 1.5 mm, 大部分壁厚 2 mm, 外表面要求光滑精致, 图 1 为汽车音响塑料件三维图。

1.2 塑料件翘曲理论分析

塑料件翘曲的本质是由于其内部残留应力超过材料的屈服强度而产生的塑性变形。塑料件翘曲主要由不均匀收缩、不均匀冷却和分子取向 3 部分

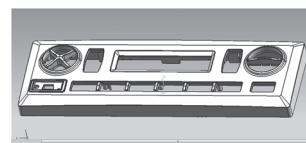


图 1 汽车音响塑料件三维图

组成。

根据分析, 塑料件注射成型过程产生的应变张量可以完整地表示为:

$$\varepsilon_i = \varepsilon_i^p + \varepsilon_i^T + \varepsilon_i^c + \varepsilon_i^R + \varepsilon_i^O + \dots$$

式中: ε_i ——真实应变;

ε_i^p ——静水压产生的应变;

ε_i^T ——温度分布不均匀产生的应变;

ε_i^c ——塑料件结晶收缩产生的应变;

* 江苏建筑节能与建造技术协调创新中心开发基金项目 (SJXTY1503), 江苏省住建厅项目 (ZD14B106)

联系人: 范玉, 副教授, 主要从事建筑模具、塑料模具新技术及 CAE 分析研究工作

收稿日期: 2015-10-12

ε_i^R ——化学反应产生的应变;

ε_i^O ——分子链取向产生的应变。

为了便于研究,将所有应变简化为时间或压力的函数,即:

$$\varepsilon_j^k = f(t) \text{ 或 } \varepsilon_j^k = f(P)$$

式中: $k=P, T, e, R, \dots$

在各向同性条件下,各种应变的表达式分别为:

$$\varepsilon_i^P = \int_0^P \beta dP, \varepsilon_i^T = \int_{T_s}^T \alpha dT, \varepsilon_i^C = \int_{\phi_s}^{\phi} C_c d\phi,$$

$$\varepsilon_i^R = \int_{R_s}^R C_R dR, \varepsilon_i^O = \int_{\xi_s}^{\xi} C_0 d\xi$$

式中: P ——静水压力;

T ——塑料温度;

ϕ ——结晶度;

R ——化学反应转化系数;

β ——压缩系数;

α ——热膨胀系数;

ξ ——化学取向度;

C_R, C_c, C_0 ——与聚合物结晶、化学反应和分子链取向相关常数;

积分下限常量的下标 s 代表熔体固化起始时刻。

同时考虑残留应力和残留应变的塑料件翘曲变形数值计算公式为:

$$\sum [K_e][\delta^e] = [R_T] + [R_s] - [R_0]$$

式中: $[K_e]$ ——单元刚度矩阵;

$[\delta^e]$ ——单元位移矩阵;

$[R_T]$ ——等效温度载荷矩阵;

$[R_s]$ ——等效收缩应力矩阵;

$[R_0]$ ——等效初应力载荷矩阵。

此外,在计算塑料件翘曲变形时也常采用一种基于残余应变理论的经验模型:

$$S^{\square} = a_1 M_v + a_2 M_c + a_3 M_0^{\square} + a_4 M_T + a_5$$

$$S^{\perp} = a_6 M_v + a_7 M_c + a_8 M_0^{\perp} + a_9 M_T + a_{10}$$

式中: $S^{\square}$ ——平行于熔体流动方向的线性收缩率;

$S^{\perp}$ ——垂直于熔体流动方向的线性收缩率;

M_v ——体积收缩率;

M_c ——结晶度;

$M_0^{\square}$ ——平行于熔体流动方向的分子取向度;

$M_0^{\perp}$ ——垂直于熔体流动方向的分子取向度;

M_T ——模具温度对塑料件收缩约束;

$a_1 \sim a_{10}$ ——反应收缩特性能材料常数。

由于塑料件翘曲的驱动力是塑料件内部过高的残留应力,所以求解式可获得在残留热应力、残留流动应力、残留保压应力和不均匀收缩应力下的塑料件应力应变分布,从而预测塑料件翘曲变形。

2 模具设计

2.1 浇注系统的设计

应用 Moldflow MPI 对塑料件进行结构分析,对流动的平衡性、型腔内的流动阻力、产品的形状和壁厚、注射成型中浇口位置的可行性等因素进行分析,以确定最佳浇口位置。最佳浇口位置的分析结果如图 2 所示。

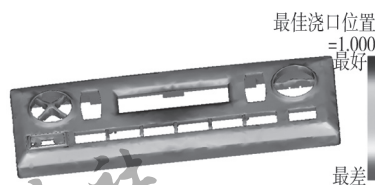


图2 最佳浇口位置分析

塑料件的品质取决于模具的结构设计,而浇口的形式和位置是重要的模具结构参数。根据软件推荐位置,考虑到塑料件的对称性,该塑料件浇注系统设计2个浇口,主流道在塑料件中部,长 60 mm,小端直径 3.5 mm,大端直径 5 mm。分流道采用圆形截面,直径取 5 mm。图 3 为浇注系统示意图。

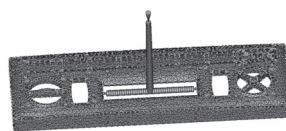


图3 浇注系统示意图

2.2 模具结构

根据模仁尺寸选用模架,利用胡波外挂自动生成模板等各个模架标准件,再根据具体设计的模具结构修改模架,调整模板零件尺寸。图 4 为定模部分的三维图,模具结构的装配图如图 5 所示。

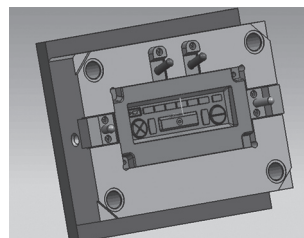
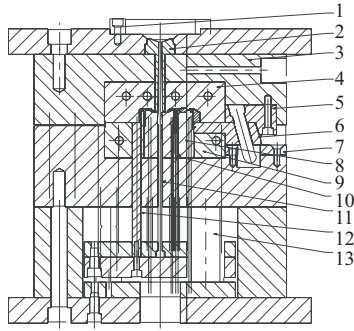


图4 定模部分三维图

3 成型工艺实验设计

在应用 Moldflow 2013 进行模拟分析时,选取塑料件的最大体积收缩率值和最大翘曲变形作为优化目标,选用熔体流动速率、模具温度、保压压力和



1—定位圈; 2—浇口套; 3—定模板; 4—型腔镶块; 5—斜楔;
6—斜滑块; 7—镶块; 8—型芯镶件; 9—型芯; 10—推管;
11—拉料杆; 12—推杆; 13—支撑杆

图5 模具装配图

保压时间作为优化参数,每个因素取3个水平,进行正交实验,考虑最大体积收缩率值和最大变形的网格密度和温度、压力等控制因素的波动,共进行了9次实验。正交实验方案如表1所示。

表1 正交化实验设计表

实验编号	熔体流动速率 / $(\text{cm}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	模具温度 / $^{\circ}\text{C}$	保压压力 / MPa	保压时间 / s
1 [#]	40	40	96	10
2 [#]	40	50	108	15
3 [#]	40	60	120	20
4 [#]	50	40	108	20
5 [#]	50	50	120	10
6 [#]	50	60	96	15
7 [#]	60	40	120	15
8 [#]	60	50	96	20
9 [#]	60	60	108	10

4 结果和讨论

模拟实验主要在 Moldflow Plastics Insight (MPI) 软件平台上进行。通过极差、方差分析,确定各因素对指标的影响程度,以便得到一组最优的工艺参数,具体实验结果如表2所示。

表2 正交化实验结果统计表

实验编号	填充时间 / s	翘曲变形量 / mm	体积收缩率 / %	锁模力 / kN	流动前沿温度 / $^{\circ}\text{C}$
1 [#]	0.98	0.70	7.63	384.3	231.6
2 [#]	0.98	0.65	7.54	416.0	231.6
3 [#]	0.98	0.51	7.07	574.1	231.6
4 [#]	0.78	0.66	7.47	351.1	231.4
5 [#]	0.78	0.60	5.66	487.0	231.4
6 [#]	0.78	0.74	7.73	319.1	231.4
7 [#]	0.65	0.60	5.69	430.6	231.3
8 [#]	0.65	0.73	7.64	319.5	231.3
9 [#]	0.65	0.67	7.45	408.9	231.3

4.1 翘曲变形极差分析

表3为翘曲变形极差分析表。在3[#],5[#],7[#]实验中采用了较大的保压压力120 MPa,最终翘曲变形分别为0.51,0.60,0.60 mm。而在1[#],6[#],8[#]实验中

采用了较小的保压压力为96 MPa,最终翘曲变形分别为0.7,0.74,0.73 mm。从表3可以看出,翘曲变形极差最大的是保压压力,表明保压压力是影响翘曲变形的主要因素。其次为熔体流动速率、保压时间、影响最小的为模具温度。适当增加保压压力和保压时间,可以有效地对塑料补缩,减少收缩率,所以须以较大的保压压力来克服浇口阻力以进行补料,使制品的密度增加,减小收缩和塑料件变形。从表3还可以看出,在工艺窗口内选择3[#]实验的工艺组合可以使翘曲变形最小,翘曲分析图如图6所示。这说明适当增加保压时间和保压压力可以有效地减小产品收缩,控制尺寸。

表3 翘曲变形极差分析表

实验编号	熔体流动速率 / $(\text{cm}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	模具温度 / $^{\circ}\text{C}$	保压压力 / MPa	保压时间 / s	翘曲变形 / mm
1 [#]	40	40	96	10	0.70
2 [#]	40	50	108	15	0.65
3 [#]	40	60	120	20	0.51
4 [#]	50	40	108	20	0.66
5 [#]	50	50	120	10	0.60
6 [#]	50	60	96	15	0.74
7 [#]	60	40	120	15	0.60
8 [#]	60	50	96	20	0.73
9 [#]	60	60	108	10	0.67
均值1	0.62	0.65	0.72	0.66	
均值2	0.67	0.66	0.66	0.66	
均值3	0.67	0.64	0.57	0.63	
极差	0.05	0.02	0.15	0.03	

变形, 所有因素: 变形
比例因子=1.000

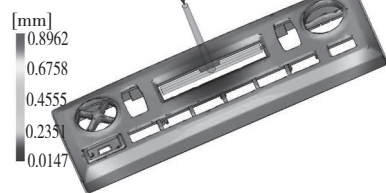


图6 翘曲分析图

4.2 体积收缩率极差分析

表4列出体积收缩率极差分析表。通过极差分析可知,影响汽车音响塑料件体积收缩的最重要因素是保压压力,熔体流动速率、保压时间、模具温度的影响很小。最优方案为5[#],即:熔体流动速率 $50 \text{ cm}^3/\text{s}$,模具温度 50°C ,保压压力120 MPa,保压时间10 s。

从模具温度变化可以看出,注塑过程中模具温度分布较为均匀,主要在 $40 \sim 60^{\circ}\text{C}$ 之间,满足材料对模具温度的要求。图7为体积收缩率分析结果。由图7可以看出,收缩率在 $-0.36\% \sim 5.66\%$ 之间,

超出了材料允许的最大收缩率 1.06 %,收缩率较大的地方集中在浇口周围和塑料件末端区域。

表 4 体积收缩率极差分析表

实验编号	熔体流动速率 / ($\text{cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	模具温度 / ℃	保压压力 / MPa	保压时间 / s	体积收缩率 / %
1 [#]	40	40	96	10	7.63
2 [#]	40	50	108	15	7.54
3 [#]	40	60	120	20	7.07
4 [#]	50	40	108	20	7.47
5 [#]	50	50	120	10	5.66
6 [#]	50	60	96	15	7.73
7 [#]	60	40	120	15	5.69
8 [#]	60	50	96	20	7.64
9 [#]	60	60	108	10	7.45
均值 1	7.41	6.93	7.67	6.91	
均值 2	6.95	6.95	7.48	6.99	
均值 3	6.93	7.42	6.14	7.39	
极差	0.48	0.49	1.53	0.48	

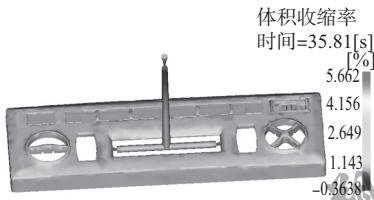


图 7 体积收缩率分析

4.3 锁模力极差分析

表 5 为锁模力极差分析表。从表 5 可以看出,锁模力极差最大的是保压压力,表明,保压压力是影响锁模力的主要因素;其次为熔体流动速率、模具温度,影响最小的为保压时间。另外,从表 5 还可以看出,在工艺窗口内选择 6[#] 的工艺组合可以使锁模力最小。通过 CAE 分析,得到注射熔体在填充模具的过程中的压力变化,并且给出锁模力的变化曲线,如图 8 所示。

表 5 锁模力极差分析表

实验编号	熔体流动速率 / ($\text{cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	模具温度 / ℃	保压压力 / MPa	保压时间 / s	锁模力 / kN
1 [#]	40	40	96	10	384.3
2 [#]	40	50	108	15	416.0
3 [#]	40	60	120	20	574.1
4 [#]	50	40	108	20	351.1
5 [#]	50	50	120	10	487.0
6 [#]	50	60	96	15	319.1
7 [#]	60	40	120	15	430.6
8 [#]	60	50	96	20	319.5
9 [#]	60	60	108	10	408.9
均值 1	45.81	38.87	34.10	42.67	
均值 2	38.57	40.75	39.20	38.86	
均值 3	38.63	43.40	49.72	41.49	
极差	7.24	4.53	15.62	3.81	

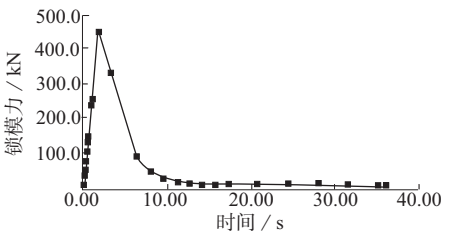


图 8 锁模力分析

5 实验验证

5.1 填充时间分析

填充时间反映了塑料熔体在型腔中流动的不平衡程度,它是影响塑料件收缩、翘曲等的重要因素。因此,采用 Moldflow MPI 分析确定最佳的浇口位置和浇口结构形式,以使这个时间差最小化,使熔体流动过程平衡。填充分析是从注射开始到充满型腔整个过程中流动前沿位置的分析,不同的颜色显示了熔体流动时的形状变化以及充模过程。图 9 所示为充模时间分析结果。填充分析结果显示,填充时间为 0.867 s,颜色过渡比较柔和,这说明流动平衡性较好,填充过程比较平缓,模具型腔能在较短的时间内被充满,填充情况处于合理状态。

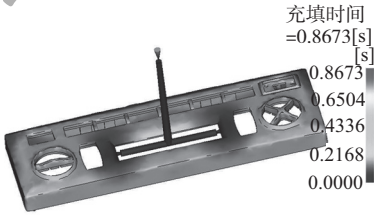


图 9 填充时间分析结果

5.2 变形分析

收缩不均匀是塑料件出现缩痕和翘曲变形的重要原因之一。塑料件的收缩率取决于熔体的补偿能力,而熔体的补偿能力与保压压力的大小以及在该压力下将熔体继续向模内传递的保压时间有关,保压压力大,保压时间长,则塑料件的收缩率就小,因此保压压力与保压时间对塑料件的收缩率、翘曲起着非常重要的作用。

在工艺窗口内,3[#] 的工艺组合可以使翘曲变形最小,5[#] 的工艺组合可以使塑料件体积收缩最小,6[#] 的工艺组合可以使锁模力最小,再对 3[#],5[#],6[#] 中的工艺组合进行优化试验,得到最优的工艺方案为:熔体流动速率 45 cm^3/s ,模具温度 55℃,保压压力 120 MPa,保压时间 15 s。其翘曲变形分析结果如图 10 所示。

最优的工艺方案生产的汽车音响塑料件如图 11 所示。

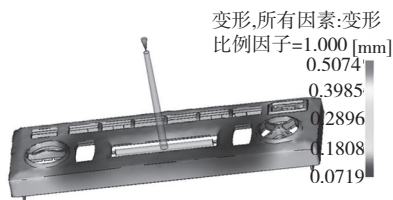


图10 最优的工艺方案和翘曲分析图

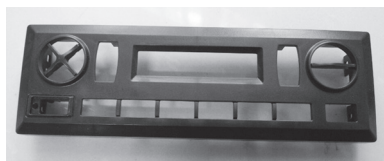


图11 最优的工艺方案生产的汽车音响塑料件

6 结论

运用正交算法,获得了多目标条件下的最优工艺参数组合,实践证明,采用优化后的工艺参数生产的塑料件体积收缩小,翘曲变形小,表面光洁,无缩孔,无熔接痕,装配合格,完全满足了客户的要求,应用 Moldflow 进行模流分析,可提高塑料件的质量,缩短生产周期。

参考文献

- [1] 于智宏. 基于 CAE 分析的注塑成型工艺参数对塑件缺陷的影响[J]. 塑料科技, 2013, 41(5): 87-89.
Yu Zhihong. Effect of injection molding process parameters on defects of plastic parts based on CAE analysis[J]. Plastics Technology, 2013, 41(5): 87-89.
- [2] 吴梦陵, 张珑. 塑料成型 CAE—Moldflow 应用基础[M]. 北京: 电子工业出版社, 2010.
Wu Mengling, Zhang Long. Plastic molding CAE—Moldflow application infrastructure[M]. Beijing: Electronic Industry Press, 2010.
- [3] 余小鲁, 曹志敏. 基于 Moldflow 的手机外壳注塑成型分析[J]. 塑料工业, 2010, 38(S0): 89-92.
Yu Xiaolu, Cao Zhimin. Analysis of injection molding of cell phone shell based on Moldflow[J]. Plastics Technology, 2010, 38(S0): 89-92.
- [4] 郝洪艳. 基于 CAD/CAE/CAM 技术的按键注塑模具设计[J]. 塑料科技, 2008, 36(12): 66-70.
Hao Hongyan. Design of injection mold for button based on CAD/CAE/CAM[J]. Plastics Technology, 2008, 36(12): 66-70.
- [5] 王静. 基于 CAE 分析的塑料框架注塑模设计[J]. 塑料科技, 2010, 38(8): 68-71.
Wang Jing. Design of injection mold for plastic frame based on CAE analysis[J]. Plastics Technology, 2010, 38(8): 68-71.
- [6] 崔伟清, 王胜凯, 任雯. 基于 Moldflow 的打印机上盖注塑模具优化设计[J]. 塑料, 2012, 41(6): 84-86.
Cui Weiqing, Wang Shengkai, Ren Wen. Design of injection mold for plastic frame based on CAE Analysis [J]. Plastics, 2010, 38(8): 84-86.

吉林中研高塑成功研发防静电 PEEK

吉林省中研高性能工程塑料股份有限公司(简称“中研高塑”)科研团队不断突破创新,成功研发出防静电聚醚醚酮(PEEK),该产品具有优异的防静电功能。

在工业生产或应用中,因接触、摩擦等现象会产生静电,静电的危害非常大。产品设备因产生静电会吸附空气中游浮的粉尘颗粒,以及与金属摩擦产生的碎屑等,从而影响其质量和使用寿命;因瞬间的电场或电流产生的热量,亦会使产品严重受损,因此静电防护十分必要。

据中研高塑质量管理部门负责人介绍,纯 PEEK 是绝缘的,体积电阻率为 $1 \times 10^9 \sim 1 \times 10^{16}$,而中研高塑防静电 PEEK 具有优异的耐高温、耐化学性、耐磨、抗蠕变等特性,可以长期保证电阻率在 1×10^6 和 1×10^9 之间,目前很多客户已经开始试用该产品,反馈情况非常好。

防静电 PEEK 可以应用于纺织机械的耐磨件、密封圈、半导体工业、LCD 工业等。(慧聪塑料网)

塑料多功能母料企业研讨产品归类

2015 年 11 月 16 日,中国塑料多功能母料在《国民经济行业分类》及海关出口编码中重新定位归类申报行业征集会议在东莞召开。本次会议由中研高塑多功能母料专委会秘书处组织,山东鲁燕色母粒有限公司、深圳市高分子行业协会等十多家企业和行业组织代表参会。

据中国塑协多功能母料专委会主任季德虎介绍,我国现有多功能母料生产厂家 1300 余家,年生产能力达到 1500 万 t 以上,其中填充母料厂家 600 多家,年生产能力约在 1000 万 t,年生产填充改性母料约 600 万 t;着色母料生产厂家 400 余家,年生产能力达到 150 万 t,年产量在 100 万 t;各种功能性母料厂家 300 余家。但因历史原因,塑料母料中的着色母料在我国《国民经济行业分类》及海关出口编码中一直归口于化工染化行业,属于高污染、高耗能产业,并且在海关一直没有单列税号,因此得不到国家相关政策的支持,制约了行业的正常发展。季德虎表示,要成功解决塑料多功能母料在我国《国民经济行业分类》及海关出口编码中重新定位归类问题,需要塑料多功能母料行业和企业的大力支持。

中国塑料加工工业协会副秘书长、综合业务部主任田岩就塑料多功能母料在《国民经济行业分类》及海关出口编码中重新定位归类问题的立项材料、申报流程、注意事项等方面作了详细指导,并逐一了解与会代表企业目前难题、未来方向等情况,为部分企业提供了专业的解决方案。

会上,代表们表示,业内企业充分了解国家相关政策对企业的发展极为重要,并强烈要求申请我国塑料多功能母料在《国民经济行业分类》及海关出口编码中重新定位归类。

(中聚网)