

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2017.09.015

汽车接插件随形水路设计及工艺优化^{*}

祝璐琨¹, 廖秋慧¹, 陈杰¹, 齐雪¹, 苏州²

(1. 上海工程技术大学材料工程学院, 上海 201620; 2. 苏州铭青精密模塑有限公司, 江苏苏州 215126)

摘要: 根据汽车接插件的模具规格和使用要求, 基于 Moldflow 软件对汽车接插件的成型过程进行数值模拟, 设计冷却系统和流道系统, 针对冷却系统对热流道区域冷却不足的问题进行优化, 增加随形水路。根据 Taguchi 正交实验分析了熔体温度、模具温度、注塑时间、保压时间、保压压力 5 个因素对产品框口区域翘曲变形的影响规律, 得到最佳工艺参数组合, 最后对最佳参数组合进行了模拟验证。实际生产表明, 该方案可以缩短产品的开发周期与成型周期, 提高生产效率。

关键词: 汽车接插件; Moldflow; 正交实验; 随形水路; 工艺参数

中图分类号: TQ320.66 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2017)09-0071-05

Design of Conformal Cooling Channels and Process Optimization for Car Connectors

Zhu Lukun¹, Liao Qiuhui¹, Chen Jie¹, Qi Xue¹, Su Zhou²

(1. College of Materials Engineering, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China;

2. Suzhou Mingqing Precision Mold & Plastic Co., Ltd., Suzhou 215126, China)

Abstract: According to the mold specification and operating requirement of car connectors, the numerical simulation of the molding process was carried out based on Moldflow software, cooling system and runner system were designed on products. Conformal cooling channels were added to optimize problem that cooling system was lack of cooling in the hot runner area. Based on orthogonal experiments, five process parameters including melt temperature, mold temperature, injection time, packing time, packing pressure were analyzed on the warpage of product box opening area, the optimal combination of process parameters was obtained and verified by simulation. The actual production shows that this design can shorten the development cycle and molding cycle of products, and improve the quality of molding.

Keywords: car connectors; Moldflow; orthogonal experiment; conformal cooling channels; process parameters

接插件是汽车电器系统常用的零部件之一, 其作用是将电路中的阻断部分或孤立部分连接起来, 导通电流, 实现其预订功能。汽车接插件一般采用注射成型工艺进行生产, 其成型质量、尺寸精度要求较高, 由于金属嵌件的存在, 注塑制品易产生收缩不均、翘曲变形等质量缺陷^[1]。因此对汽车接插件成型工艺的研究有着重要的实用价值, 可以通过 Moldflow 软件模拟分析产品的成型过程, 判断产品成型工艺的合理性, 完善模具设计方案。

冷却水路是注塑模具设计过程中的难点, 尤其是一些结构复杂的产品, 很难一次性设计出使模具温度均衡的冷却方案, 甚至可能需要多次更改冷却方案才能完成。Moldflow 软件的冷却求解器可以模拟模具温度在整个周期内的瞬态变化^[2]。通过冷却求解器, 判断冷却系统的冷却盲区, 对模具局部冷却不足区域重新布置冷却水路, 降低模具温差。某

些结构特殊的模具可以采用 3D 打印随形水路, 既不影响模具机构运行, 又能达到良好的冷却效果。

笔者通过运用 Moldflow 软件, 设计并完善了汽车接插件的冷却系统, 结合正交实验得到最佳工艺参数组合, 最后对实验结果进行模拟验证, 以提高成型质量。

1 汽车接插件成型工艺分析与优化

1.1 汽车接插件工艺性及材料分析

汽车接插件的三维结构如图 1 所示, 外形尺寸为 110 mm × 65 mm × 40 mm, 壁厚差异大, 细小特征较多, 主体壁厚约 3.4 mm。产品结构复杂, 包含 6 根片状金属嵌件, 为保证汽车接插件拥有良好

^{*} 国家自然科学基金项目 (51275283), 上海工程技术大学研究生科研创新项目 (16KY0514)。

联系人: 廖秋慧, 副教授, 主要研究方向为材料成型及控制技术

收稿日期: 2017-06-25

的力学性能与电器性能,产品插针部位和 a, b 框口装配区域质量要求较高,尤其是翘曲变形。产品的翘曲变形受多种因素影响,主要有产品结构、模具结构、塑胶材料和工艺参数四个方面^[3]。产品结构与塑胶材料一般在模具设计前已经确定。模具结构中对翘曲变形影响较大的是浇口位置和冷却水路布局,该汽车接插件采用热流道的填充方式,考虑到熔体流动平衡和热流道的浇注方式,产品浇口位置基本确定。笔者从冷却系统和成型工艺参数两方面考虑,改善冷却系统使产品冷却均匀,减少因模具温差导致的收缩不均;优化成型工艺参数,通过调整工艺参数减小翘曲变形。

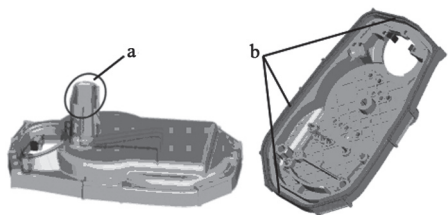


图1 汽车接插件三维结构图

塑胶材料选用玻璃纤维 (GF) 和玻璃微珠 (GB) 混合增强的聚对苯二甲酸丁二酯 (PBT), 记为 PBT-(GF+GB), 其中 GF 和 GB 的质量分数均为 20%, 产品牌号为 Arnite TZ6 280 BLK, 其常用工艺参数见表 1。嵌件材质为 CuSn₆ (锡青铜)。

表1 Arnite TZ6 280 BLK 材料常用工艺参数

项目	数值
模具温度 / °C	40 ~ 120
熔体温度 / °C	235 ~ 275
绝对最大熔体温度 / °C	315
顶出温度 / °C	193
最大剪切应力 / MPa	0.4
最大剪切速率 / s ⁻¹	50 000

1.2 建立初始成型工艺模型

利用 ProE 4.0 软件根据产品设计图纸三维造型, 导入到 CADdoctor 软件对曲面和边界进行修复和简化, 简化模型后导入到 Moldflow 软件中, 以 3D 网格类型划分网格, 利用网格修复工具修复模型网格, 直到网格统计数据满足 Moldflow 软件模拟的要求。

根据汽车接插件产品结构和初始模具设计方案建立流道系统和冷却系统, 如图 2 所示。本方案采用针阀式热流道的充填方式, 可以准确控制浇口的开启与关闭, 减小浇口痕迹, 热流道喷嘴直径为 3 mm。冷却系统共有 5 条冷却水路, 其中水路

1 与水路 2 为定模水路, 直径为 8 mm; 水路 3、水路 4 与水路 5 为动模水路, 水路 3 直径为 8 mm, 水路 4 直径为 6 mm 且串联有一个直径为 10 mm 的隔水板, 水路 5 直径为 6 mm 且串联有两个直径为 10 mm 的隔水板。

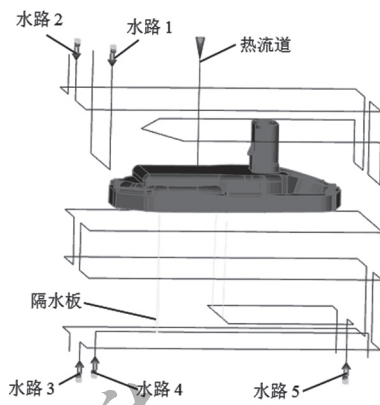


图2 初始方案分析模型

1.3 初始成型工艺分析

在 Moldflow 软件中选择“冷却 + 填充 + 保压 + 翘曲”分析序列, 设置模具模仁尺寸为 220 mm × 140 mm × 140 mm, 为模具模仁划分 3D 网格。成型工艺参数设置如表 2 所示。其它工艺参数采用软件推荐值。

表2 初始成型工艺分析参数设置

项目	数值或选项
注射时间 / s	1.3
模具温度 / °C	80
熔体温度 / °C	240
保压时间 / s	5
保压压力 / MPa	35
模具温度选项	周期内瞬态

Moldflow 软件分析结果如图 3 ~ 图 5 所示。图 3 为初始方案回路冷却液温度, 回路冷却液温度差小于 1 °C, 满足要求, 水路 2 靠近热流道且水路布局较长温差接近 1 °C; 图 4 为产品冷却时模具的瞬态温度, 热流道喷嘴区域模具温度较高, 可能导致浇口区域冷却不足, 延长成型周期; 图 5 为初始方案产品的体积收缩率, 浇口区域体积收缩率较大, 可能产生局部凹痕等产品缺陷, 可以通过水路优化的方法改善这种问题。

1.4 冷却系统优化及其成型工艺分析

针对初始方案热流道周围冷却不足的现象提出冷却系统优化方案, 优化后水路布局如图 6 所示, 水路 2 的布局稍有变化, 原来靠近热流道的部分进行一些改动。增加水路 6, 根据热流道的形状设计

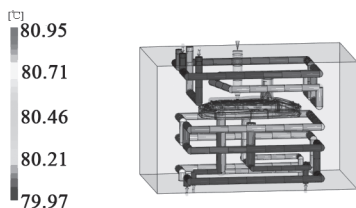


图3 初始方案回路冷却液温度

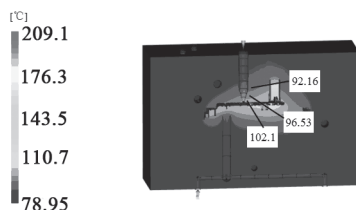


图4 初始方案模具的瞬态温度

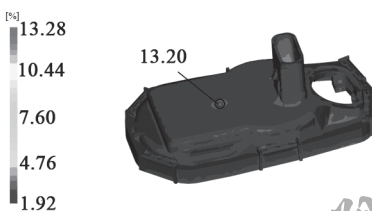


图5 初始方案产品的体积收缩率

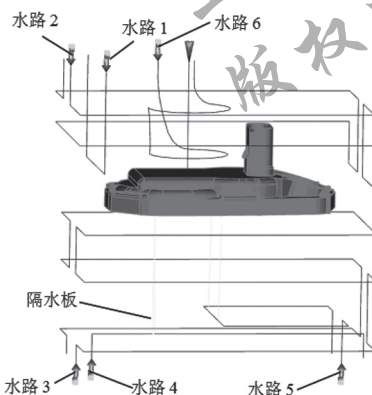


图6 冷却系统优化后分析模型

出环绕热流道的随形水路,该区域镶块采用 316L 不锈钢粉末 3D 打印加工。其它水路保持不变。

3D 打印技术的日趋成熟,为材料应用、设备制造及成型工艺等方面提供了新的思路^[4]。由于技术和成本原因,3D 打印技术尚未在注塑模具方面实现广泛运用,但也有部分企业开始使用 3D 打印技术设计与加工注塑模具水路镶件,解决模具中出现的局部冷却不均的问题,在有限的模具空间里实现高效的冷却效率,减少内部积热,提高冷却均匀性,随形水路镶件 3D 模型如图 7 所示^[5]。

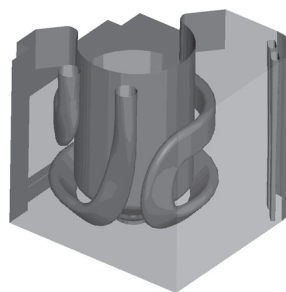


图7 随形水路镶件模型

利用 Moldflow 软件对冷却系统优化后的模型进行分析,所有参数设置与前述初始成型工艺参数保持一致。图 8 为冷却水路优化后产品冷却时模具的瞬态温度,热流道喷嘴区域模具温度下降 10℃左右,冷却效果明显。图 9 为冷却水路优化后产品的体积收缩率,浇口区域体积收缩率达到 11.50%,相比初始方案有所下降。通过对热流道周围随形水路的设计与加工,解决局部冷却的温控问题,减少产品的成型周期。

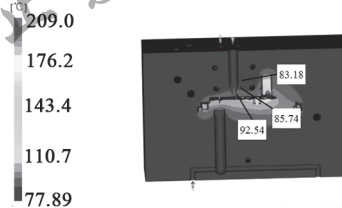


图8 冷却系统优化后模具的瞬态温度

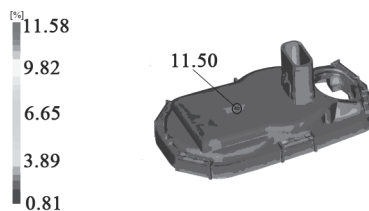


图9 冷却系统优化后产品的体积收缩率

2 汽车接插件工艺参数优化

2.1 确定实验目的和考核指标

汽车接插件属于精密注塑制品,金属嵌件使得成型过程较普通注射成型复杂,为确保产品 a、b 框口装配区域拥有良好的成型质量,应尽可能减小 a、b 区域的翘曲变形,满足装配要求。根据 Moldflow 软件输入表 2 成型参数得到翘曲变形结果,产品 a 区域的变形量满足公差要求,产品变形量较大的是 b 区域,最大值为 0.462 mm,如图 10 所示,故优化的重点是减小 b 区域的翘曲变形。

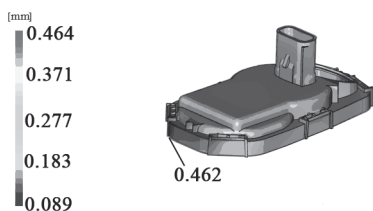


图10 汽车接插件初始方案翘曲变形

实验的目的是根据 Taguchi 正交实验找出汽车接插件翘曲变形最小的工艺参数组合,采用信噪比来衡量,实验采用望小特性的信噪比函数进行计算,其信噪比 (η) 按公式 (1) 计算^[6]。

$$\eta = \frac{S}{N} = -10 \lg \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i^2 \right) \quad (1)$$

式中: n 为样本数, X_i 代表第 i 次的试验数据。

从公式 (1) 得出信噪比越大试验数值越小,产品的翘曲变形量越小。

2.2 Taguchi 正交实验因素和水平的选择

汽车接插件的翘曲变形受多方面因素影响,当注塑机、塑胶材料、模具设计方案等已经确定时,可以通过合理的调整工艺参数提高产品的成型质量。根据表 1 Arnite TZ6 280 BLK 材料的常用工艺参数和产品实际生产要求,选出熔体温度 (A)、模具温度 (B)、注射时间 (C)、保压时间 (D) 和保压压力 (E) 五个对产品翘曲变形影响较大的因素进行实验设计,从每个实验因素中选取 5 个水平,正交实验因素水平如表 3 所示^[7]。

表3 正交实验因素水平表

因素	水平 1	水平 2	水平 3	水平 4	水平 5
A / °C	235	245	255	265	275
B / °C	60	70	80	90	100
C / s	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3
D / s	4	5	6	7	8
E / MPa	20	25	30	35	40

2.3 实验结果与分析

根据 Taguchi 正交实验方法,由表 3 正交实验因素水平的划分列出正交实验方案,选用正交实验表 $L_{25}(5^5)$,采用 5 因素 5 水平的正交实验矩阵^[8],将数值输入到 Moldflow 软件中进行数值模拟,得到汽车接插件在各个水平因素下的翘曲变形值 X_i 和对应的信噪比 η_i 。

实验采用极差分析法确定每个因素对汽车接插件翘曲变形的影响程度和最佳工艺方案,极差由同一实验因素下不同水平信噪比均值的最大值与最小值相减所得,极差值越大表示这个因素对翘曲变

形的影响程度越大^[9]。计算出各因素在每个水平所做试验的结果的信噪比之和,并求出 5 水平下的平均值 $K_i^{[10]}$, K_i 表示每个因素下第 i 个水平的产品翘曲变形的信噪比均值,表 4 为各个因素水平下的信噪比均值和信噪比极差。

表4 信噪比极差分析表

项目	A	B	C	D	E
K_1	8.172	7.947	7.335	6.150	6.928
K_2	7.705	7.722	7.149	6.819	7.129
K_3	7.234	7.090	7.140	7.374	7.312
K_4	6.788	6.985	7.129	7.836	7.427
K_5	6.311	6.464	7.455	8.030	7.412
极差	1.861	1.483	0.326	1.880	0.499
排序	2	3	5	1	4
最佳方案	A ₁	B ₁	C ₅	D ₅	E ₄

按照极差数据得出每个因素对产品翘曲变形量影响程度: 保压时间 > 熔体温度 > 模具温度 > 保压压力 > 注射时间。最佳工艺参数组合 A₁B₁C₅D₅E₄, 即由实验得出的汽车接插件翘曲变形量最小的成型工艺参数为模具温度 60 °C、熔体温度 235 °C、注塑时间 1.3 s、保压时间 8 s、保压压力 35 MPa。将最佳工艺参数输入到 Moldflow 软件中进行数值模拟,得到汽车接插件的翘曲变形值为 0.325 mm, 相比之前的 0.462 mm 有明显的改善。实际生产表明,产品的翘曲方向与变形量与本实验模拟结果基本一致,汽车接插件试模样品如图 11 所示。



图11 汽车接插件试模样品

3 结论

(1) Moldflow 软件的冷却求解器可以模拟模具温度在整个周期内的瞬态变化,判断冷却系统的冷却盲区,帮助完善冷却水路布局,提高冷却效率。

(2) 3D 打印随形冷却水路可以很好地解决局部冷却的温控问题,减少冷却盲区,缩短产品的成型周期。

(3) 通过 Taguchi 正交实验优化汽车接插件的成型工艺参数,有效改善了产品的翘曲变形,验证了成型工艺优化方案能够改善成型质量,并为模具现场试模提供重要参考依据。

参考文献

- [1] 刘成娟,吴秋平,何海琴,等. 注塑浇口对带金属嵌件打印机板翘曲变形的影响[J]. 塑料工业,2014,42(4):35-38,47.
Liu Chengjuan, Wu Qiuping, He Haiqin, et al. The effect of injection gate on warping of printer board with metal insert[J]. China Plastics Industry, 2014, 42(4):35-38, 47.
- [2] 李雁召. 快速变模温注塑成型过程数值模拟及制品质量控制研究[D]. 重庆:重庆大学,2015.
Li Yanzhao. Research on numerical simulation and product quality control of rapid heating cycle molding process[D]. Chongqing:Chongqing University, 2015.
- [3] Yoewono M S, Agung K. Optimization and simulation of plastic injection process using genetic algorithm and Moldflow[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2017, 30(2):398-406.
- [4] 李芳,伍世锋,贾宇霖. 3D 打印技术在注射模设计随形水路中的应用[J]. 模具工业,2017,43(3):55-59,62.
Li Fang, Wu Shifeng, Jia Yulin. Application of 3D printing technology in conformal cooling channels of injection mould design[J]. Die & Mould Industry, 2017, 43(3):55-59, 62.
- [5] Shinde M S, Ashtankar K M. Additive manufacturing-assisted conformal cooling channels in mold manufacturing processes[J]. Advances in Mechanical Engineering, 2017, 9(5):1-14.
- [6] 凤贝贝. 注塑模具设计中的数值模拟与工艺优化[D]. 合肥:合肥工业大学,2016.
Feng Beibei. Numerical simulation and process optimization in the design of injection mould[D]. Hefei:Hefei University of Technology, 2016.
- [7] 王志强. 注塑成型工艺试验优化方法及应用研究[D]. 杭州:浙江工业大学,2009.
Wang Zhiqiang. Experimental optimization of injection molding process and its application[D]. Hangzhou:Zhejiang University of Technology, 2009.
- [8] 李锐传. 发动机散热风扇罩注塑成型工艺优化设计与研究[D]. 广州:华南理工大学,2015.
Li Ruichuan. Optimization design and research on injection molding process engine cooling of fan cover[D]. Guangzhou:South China University of Technology, 2015.
- [9] 张建卿. 车用CD托架CAE注塑工艺参数优化分析[J]. 工程塑料应用,2016,44(7):73-78.
Zhang Jianqing. CAE optimization analysis of injection process parameters for automobile CD bracket[J]. Engineering Plastics Application, 2016, 44(7):73-78.
- [10] 张帅,金久芝,陈振,等. 管道连接筒注射成型数值模拟与模具设计优化[J]. 工程塑料应用,2016,44(11):71-75.
Zhang Shuai, Jin Jiuzhi, Chen Zhen, et al. Injection Molding numerical simulation and mold design optimizing of pipe connecting tube[J]. Engineering Plastics Application, 2016, 44(11):71-75.

硬质塑料包装市场将会实现全球性扩张和增长

塑料包装随处可见,硬质塑料是在使用中比较常见的增韧塑料,其用于包装产品或材料等各种各样的应用中。由于它具有易于模塑、质量轻、无腐蚀性以及价格便宜等特性,因而非常适用于工业当中。

硬质塑料包装可以特别地用于增加产品的保质期。塑料包装包括有不同的类型,比如壶、瓶子、铝瓶、罐子、瓦楞盒和气溶胶容器。

根据锡安市场研究的调查结果,预计对可生物降解的硬质塑料包装的需求将不断增长,并且在不久的将来会推动市场的快速发展。此外,人们转向饮料和其他家庭护理产品也会对全球硬质塑料包装市场的发展产生积极影响。另一方面,城市化的快速增长也有助于市场的快速发展。此外,人们可支配收入的增长将对未来的市场发展产生积极的影响。硬质塑料所具有的基本性能如硬度、阻力和强度,也正在增加这些塑料在市场上的需求。

食品饮料行业包装的创新设计将推动未来硬质塑料包

装市场的发展。高级硬质塑料包装竞争激烈可能会在一定程度上阻碍市场的发展。此外,双酚 A(BPA) 在塑料制品制作中越来越多的使用也成为全球硬质塑料包装市场的一个主要挑战。

全球硬质材料包装市场可以按照纸张、玻璃、金属、塑料等进行分类。其中塑料包装是保持优势的主要部分。全球市场以终端用户的应用为基础,具体包括消费者可用的产品、食品和饮料、个人护理、电子、制药等。其中食品饮料行业是比较领先的终端用户应用领域。此外,制药终端用户应用领域是全球硬质塑料包装市场的第二大应用领域。

在全球收入方面,亚太地区正在成为一个占据主导地位的地区。此外,中国对硬质塑料的需求正在不断增长,预计未来也将能推动市场的发展。并且,中国食品饮料行业的有利增长态势将在未来几年内扩大市场。由于金融稳定性的增加,欧洲市场也呈现出显著的增长态势。北美是紧随欧洲其后的第二大区域。同时,北美迅速发展的工业网络有望促进硬质塑料包装市场的发展。(材料科技在线)