

[制造·使用·改进]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2021.04.018

基于 Moldflow 的车灯装饰框拐角 气痕成因分析与对策

姚震¹, 李金国^{1*}, 谢海波²

(1. 台州职业技术学院 模具研究所, 浙江 台州 318000; 2. 浙江大豪车业有限公司, 浙江 台州 318000)

摘要:车灯装饰框对外观质量有着极高的要求,针对注塑成型过程中经常会出现装饰框拐角周围存在气痕,导致产品外观不合格的情况。课题组借助 Moldflow 软件对某车灯装饰框成型方案进行模拟,发现拐角区域存在困气现象,是造成表面气痕缺陷的主要成因。研究表明:装饰框拐角处壁厚较厚,喷泉流动自由表面接近半圆形,自由表面曲率半径大于拐角半径,易形成困气。课题组通过改变拐角附近壁厚,减少喷泉流动自由表面半径,当车灯件拐角半径 $R > T/2$ 时,数值模拟结果显示该区域不存在困气现象。经试模,改进后车灯装饰框表面质量合格。

关键词:注塑成型;车灯装饰框;困气;气痕;Moldflow 软件

中图分类号:TQ320.66;TH164 文献标志码:A 文章编号:1005-2895(2021)04-0094-05

Causes and Countermeasures of Flow Marks in Corner of Car Lamp Decoration Frame Base on Moldflow

YAO Zhen¹, LI Jinguo^{1*}, XIE Haibo²

(1. Mold Design Research Institute, Taizhou Vocational & Technical College, Taizhou, Zhejiang 318000, China;

2. Zhejiang Dahao Automotive Co., Ltd., Taizhou, Zhejiang 318000, China)

Abstract: There are extremely high requirements for the appearance quality of the decoration frame of car lamp. In view of the problem that gas mark often appears at the corner of decoration frame in the process of injection molding which results in unqualified product, the injection molding process of the car lamp decoration frame was simulated by Moldflow software and it was found that the trapped gas in the corner area was the main cause of gas mark defect. The results show that the relatively thick wall thickness of the corner of the decoration frame, the nearly semicircular free surface of the fountain flow and its curvature radius which is bigger than corner radius are the reasons that easily cause the trapped gas phenomenon. By changing the wall thickness near the corner and reducing the free surface of the fountain flow, when the corner radius of the car lamp $R > T/2$ wall thickness of the car lamp parts, the numerical simulation results show that there is no trapped gas phenomenon in this area. The surface quality of the decoration frame of car lamp is qualified after mold testing.

Keywords: injection molding; car lamp decoration frame; trapped gas; air mark; Moldflow

车灯被喻为汽车的眼睛,其配件对汽车的外观质量和照明性能都有重要影响。气痕是车灯制品常见的外观注塑成型缺陷之一,表现形式为表面易出现勾形纹和泪珠形纹,并且缺陷消除难度大。气痕影响了国产车灯在高端汽车上的应用,企业常采用油漆涂层来

处理缺陷,但效果不佳。

对于车灯配件的成型问题,国内外学者做过一系列研究。李金国等^[1]借助 Moldflow 软件研究了成型工艺对车灯导光条注塑成型的流痕和气穴等缺陷问题,提出了采用热流道时序技术,实施低速高压注射,

收稿日期:2020-12-12;修回日期:2021-05-30

基金项目:台州市重点技术创新团队项目:高精智能塑料模具研发(02071028);台州市科技计划项目:2001gy17。

第一作者简介:姚震(1989),男,浙江台州人,硕士,讲师,主要从事模具 CAD/CAE/CAM 技术研究。通信作者:李金国(1979),男,浙江台州人,博士,教授,主要从事模具 CAD/CAE/CAM 技术研究。E-mail:lijinguo_2002@126.com

能够有效解决透明、厚壁塑件的流痕和困气。钟健灵等^[2]通过改变浇口的位置和结构,解决了聚光片熔接痕缺陷问题。吴荣佳等^[3]研究了注塑制品表面流痕的成因以及影响其产生的过程参数。陈先立^[4]研究了灯罩的残余应力问题,发现提高模具温度,减小保压压力和保压时间,可以有效降低模内残余应力。课题组借助 Moldflow 软件分析车灯配件成型表面产生气痕的成因,探究解决此类问题的有效方法,以期车灯配件的注塑成型提供参考。

1 产品分析

研究对象为某车灯装饰框,要求表面光滑无痕,耐高温。塑件外部尺寸为 540 mm × 270 mm × 110 mm,最大壁厚为 3 mm,最小壁厚 2 mm,中间开有 3 个孔,用来放置照明灯,其结构如图 1 所示。



图 1 车灯装饰框

Figure 1 Car lamp decoration frame

根据制品使用工况和性能要求,选用聚碳酸酯(PC)材料,牌号为 Makrolon 2405,其相关材料特性如表 1 所示。

表 1 PC 塑料特性

Table 1 Characteristics of PC

模具 温度/℃	熔体 温度/℃	顶出 温度/℃	最大剪切 应力/MPa	最大剪切 速率/s ⁻¹
100	300	130	0.5	40 000

2 熔体流动前沿自由表面形态

车灯装饰框拐角气流痕的出现主要是因为模内的喷流泉现象。从数学模型上分析,塑料熔体在模腔内的流动可以看成是黏性不可压缩流体的流动,由于车灯装饰框的横截面厚度方向尺寸远小于长度和宽度 2 个方向的尺寸,可采用广义 Hele-Shaw 流动描述^[5-6]。假设流体不可压缩,根据流变学基础方程可以得到:

$$\nabla \cdot v = 0; \quad (1)$$

$$\frac{\partial P}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial z} \left(\eta \frac{\partial u}{\partial z} \right) = 0; \quad (2)$$

$$\frac{\partial P}{\partial y} - \frac{\partial}{\partial z} \left(\eta \frac{\partial v}{\partial z} \right) = 0. \quad (3)$$

式中: u, v 分别表示 x, y 方向的速度分量; P 为压力; η

为黏度系数。

黏度模型采用 Cross 模型,数学表达式为:

$$\eta = \frac{\eta_0}{1 + \left(\frac{\eta_0 \gamma}{\tau^*} \right)^{1-n}}. \quad (4)$$

式中: γ 为剪切速率; η_0 由材料常数确定; τ^* 为牛顿流体和幂律流体转变点切应力。

根据边界条件,即 $z = \pm b$ 处, $u = 0$, 可得:

$$u = -\frac{1}{2\mu} \left(\frac{\partial P}{\partial x} \right) (b^2 - z^2). \quad (5)$$

式中: b 为壁厚 T 的 1/2, 即 $b = T/2$; μ 为动力黏度。

则 u 在 z 向作抛物线分布如图 2 所示,其中 τ 为黏性阻力。

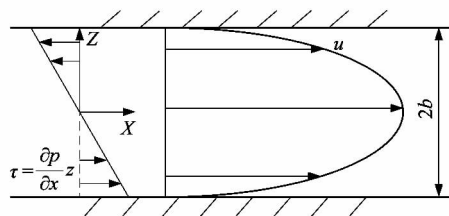


图 2 熔体截面速度分布

Figure 2 Velocity distribution of melt section

熔体中央处速度最快,2 侧速度较慢。熔体前进至最前端时,由于表面张力的作用,熔体减速并向模壁运动形成喷泉形状的流动波。自由表面的形状变得接近于半圆形^[7]。熔体充填过程如图 3 所示^[8-9]。

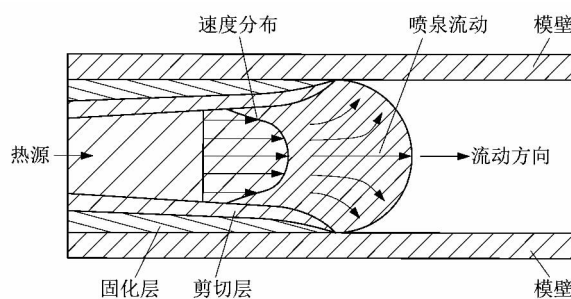


图 3 熔体充填过程

Figure 3 Fusant filling process

3 车灯配件方案对比

3.1 初始方案

将装饰框的几何模型以 STL 格式导入到 MoldFlow 软件中进行网格划分,采用 Fusion 双层面型网格。网格边长 2.5 mm,网格厚度均匀,网格总数为 151 124,节点数为 75 544,网格匹配率达到 90%,符合成型分析要求。分析类型设定为“冷却 + 填充 + 保压 + 翘曲分析”。车灯配件网格模型如图 4 所示。根据

其结构并结合企业实际生产设计经验,模具型腔布局采用“一模两穴”的方式。浇注和冷却系统结构如图5所示,采用扇形浇口,热流道进料,随形水路冷却。

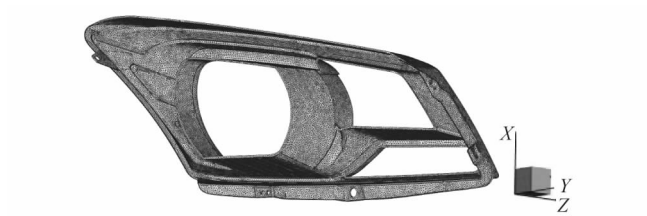


图4 双层面网格模型

Figure 4 Fusion model

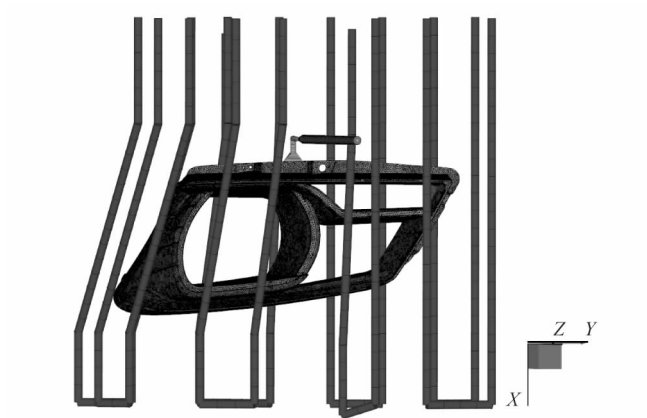


图5 浇注和冷却系统结构

Figure 5 Running system and cooling system structure

注塑初始工艺参数如表2所示。

表2 注塑工艺参数

Table 2 Technological parameters

模具 温度/℃	熔体 温度/℃	注射 时间/s	冷却 时间/s	保压 压力/MPa
100	300	3.5	28	50

根据模流分析结果可以得到如图6(a)所示塑料流动等值线图,在椭圆圈出区域等值线呈V字型,熔体流经该区域时左右2边先流过台阶。为准确模拟该区域熔体流动现象,对该区域进行等效处理,对网格进行细化,并采用3D网格,得到云图放大区域。通过剖面图6(b)可以直观看到此处存在空隙,其成因是由于熔体流经该区域时,由于拐角半径过小,熔体前沿自由表面与模腔壁之间形成了微小封闭空间,加上左右2边熔体包裹,模腔内空气汇集在此处无法排出。在压力进一步增强和流动趋势带动下,气体沿流动方向迁移,在表面形成气痕。这与实物样件表面气痕所处位置基本一致。实物表面气痕如图7所示。

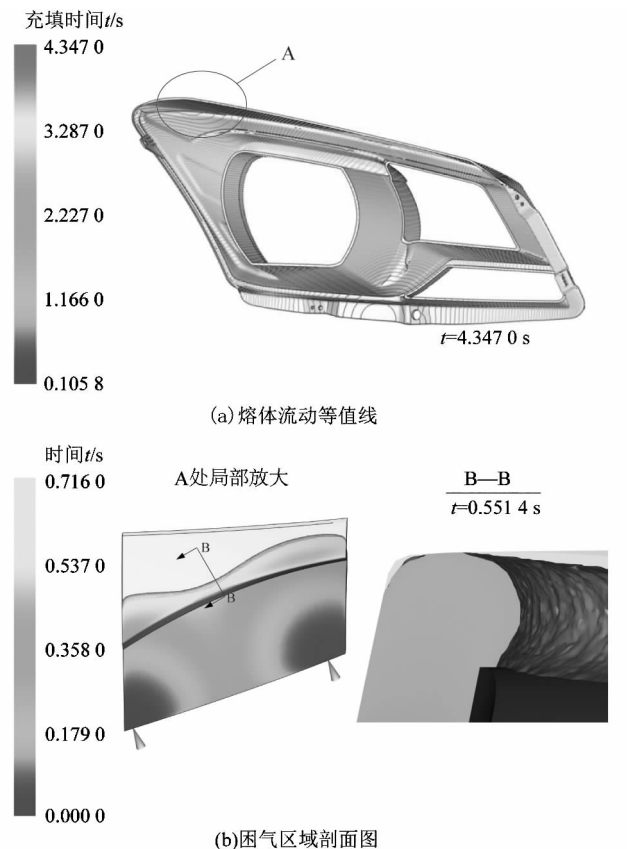


图6 气痕区域熔体流动状态

Figure 6 Fusant flow state in gas marks area



图7 实物表面气痕

Figure 7 Gas marks of physical surface

3.2 改进措施

根据产品设计经验,针对模内因困气产生的气痕问题,可以使用以下几种方法:

- 1) 产品设计时把拐角做大,使模内气体在熔体前沿自由表面推动下向前移动,避免气体困在该区域;
- 2) 改变熔体流动方向;
- 3) 特种工艺骤冷骤热;
- 4) 型腔内抽真空。

针对该装饰框产品,考虑成本及效率。最适合的应该是加大拐角,但由于翻料痕处于A面,即外观面,拐角不允许更改,并且加大拐角需要对模具进行烧焊,

定模是淬火处理,烧焊影响其性能,故以上方法均不适用。

根据熔体前沿喷泉流动原理,其自由表面接近半圆形,通过改变拐角前端(熔体来料方向)壁厚,即可改变自由表面曲率半径。在初始方案中,熔体自由表面曲率半径相对于拐角过大,如图 8 所示,致深色区域形成微小封闭空间。故可通过减小熔体表面曲率半径,即减小拐角前端熔体来料方向壁厚(如图 9 所示,深色区域为相对原始方案减少部分),使得熔体前沿流经该区域时能贴合拐角内表面,模内气体则顺着料流向前推进。为避免产生封闭空间,则有

$$R > 1/2T。$$

式中: R 为拐角曲率半径; T 为拐角前端熔体来料方向壁厚。

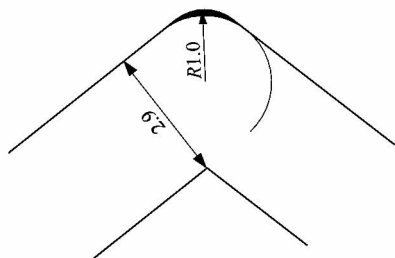


图 8 初始方案熔体自由表面相对拐角曲率半径
Figure 8 Curvature radius of fusant free surface in corner region

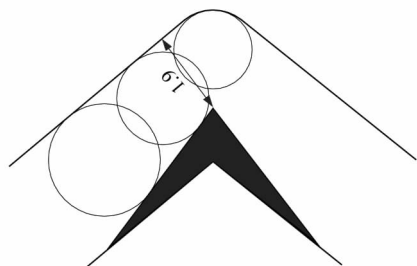


图 9 改进后结构横截面示意图
Figure 9 Schematic diagram of cross section of structure

对车灯装饰框减小拐角前端熔体来料方向壁厚,不改变成型工艺参数,重新通过 Moldflow 数值模拟,得到如图 10 所示塑料熔体流动状态。由图 10 可知,在拐角区域不再有空隙产生,塑料熔体可平顺地流过该区域,困气现象已得到了消除。

4 实际验证

根据改进方案壁厚要求,对模具动模侧进行了烧焊处理,如图 11 所示。试模的工艺参数为 MoldFlow

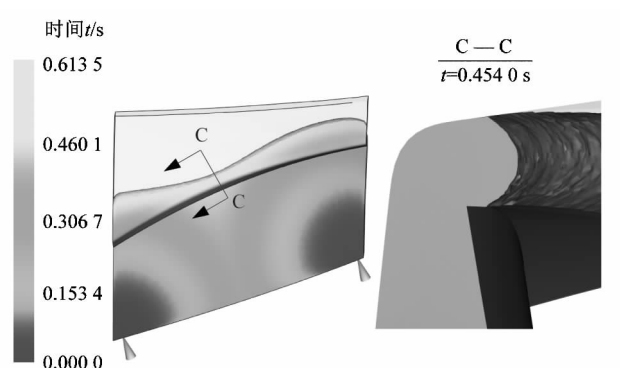


图 10 改进后塑料熔体流动状态

Figure 10 Plastic Fusant flow state after improvement

软件的数值模拟结果参数,经试模生产,获得的塑件如图 12 所示,符合要求。

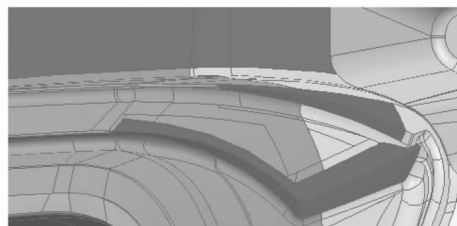


图 11 模具烧焊

Figure 11 Mold welding



图 12 装饰框合格产品实物

Figure 12 Qualified decoration frames

5 结语

由于车灯装饰框拐角半径过小,容易导致塑料熔体流经该区域时产生困气现象,导致表面出现气痕,影响产品外观。为了降低修模成本,减少对模具的修补损坏,课题组提出通过减小局部壁厚,即减小塑料熔体前沿自由表面曲率半径,使自由表面曲率半径小于塑件转角半径,即 $R > T/2$,有效避免了困气现象产生。经修模后注射成型测试,塑件脱模后放置一段时间,未发现气痕成型缺陷,塑件达到预期的质量要求。

(下转第 103 页)