

[研究·设计]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2012.06.002

基于 CAE 技术的建筑模板注射成型工艺参数优化设计

郭梅¹, 李金国^{1,2}, 刘红¹

(1. 浙江工业大学 机械工程学院, 浙江 杭州 310014;
2. 台州职业技术学院 模具工程研究所, 浙江 台州 318000)

摘要:建筑模板是混凝土结构工程施工的重要工具,用于确保墙面的平整度,但由于其面积较大,壁厚薄,在注塑成型中,容易出现翘曲变形,无法满足现代建筑要求。结合工程经验和 CAE 技术,建立浇注系统和冷却系统。借助正交试验法对成型关键工艺参数进行优化设计,获得一组最优工艺参数。通过现场测试,结果表明模板的翘曲量得到控制,满足行业标准。图 11 表 6 参 9

关键词:建筑模板;翘曲变形;正交优化;CAE 技术

中图分类号:TQ320.66 文献标志码:A 文章编号:1005-2895(2012)06-0005-05

Processing Parameters Optimizing Design in Building Template with Injection Molding Based on CAE Technique

GUO Mei¹, LI Jinguo^{1,2}, LIU Hong¹

(1. College of Mechanical Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China;
2. Mold Design Research Institute, Taizhou Vocational & Technical College, Taizhou 318000, Zhejiang, China)

Abstract: As an important construction tool, building template is used to ensure the flatness of the concrete wall. Because of the larger area and thickness wall of building template, it is easy to warp deformation, which unable to meet modern architectural requirements. Combination of engineering experience and CAE, the gating system and cooling system were established. Based on orthogonal experiment method, the key process parameters were optimized and the best process parameters were obtained. Through testing on the spot the results show that the warpage of the template is controlled and meets the requirements of industry standards. [Ch, 11 fig. 6 tab. 9 ref.]

Key words: building template; warpage deformation; orthogonal optimization; computer aided engineering (CAE)

0 引言

建筑模板是混凝土结构工程施工的重要工具,在现代浇混凝土结构工程中,模板(包括支架)工程一般占混凝土结构工程造价的 20%~30%,占工程用工量的 30%~40%,占工期的 50%左右。模板的成型质量直接影响工程建设的质量、造价和效益。

建筑模板材料为增强聚丙烯,其成分由聚丙烯和 45% 的玻璃纤维(PP+45% GF)组成的复合材料。该材料质量轻,屈服、拉伸、压缩强度和硬度优,耐热性能

较好,稳定性好,高频电性能不好,成型容易,但收缩率大,低温呈脆性,耐磨性不高。

由于建筑模板面积大,其成型质量好坏将直接影响建筑墙体的质量。因此对模板注塑成型质量要求较高,其成型后要求:模板翘曲量控制 5 mm 以下、表面无熔接痕、焦斑等影响制品其性能的缺陷。目前企业生产的建筑模板翘曲量远大于要求,无法满足建筑施工要求。因此,在详细了解它的特性的基础上,对建筑模板注塑成型进行 CAE 分析,优化工艺参数,提高一

收稿日期:2012-04-05;修回日期:2012-05-25

作者简介:郭梅(1979),女,台州路桥人,讲师,硕士研究生,主要研究方向为模具 CAD/CAE 技术。通信作者:李金国, E-mail: lijinguo_2002@126.com

次试模成功率^[1-3]。

1 基于 CAE 技术的建筑模板注塑成型仿真分析

对大型塑料制品来说,凭借模具师的经验设计方法,很难获得高质量的塑料制品,往往需要经过多次修模,导致模具的精度和强度下降,模具使用寿命降低。采用 CAE 模拟技术,在模具设计前进行模拟分析,准确反映成型问题,从而让设计师避开成型缺陷,提高一次试模成功率。

1.1 建筑模板 CAE 模拟前处理

1) 对建筑模具进行网格划分。

建筑模板的几何尺寸为 1.6 m × 0.6 m,壁厚 4 mm,如图 1 所示。结构内部细节较为复杂,如图 2 所示,因此在 CAD Doctor 中进行修模处理。

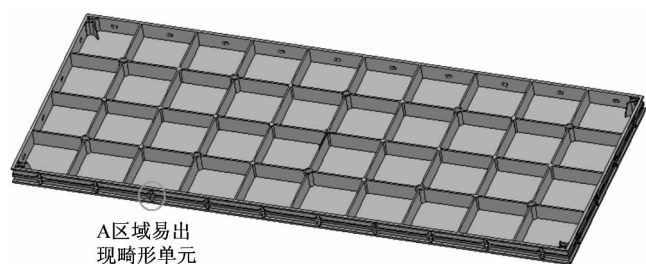


图 1 建筑模板几何模型

Figure 1 Geometric model

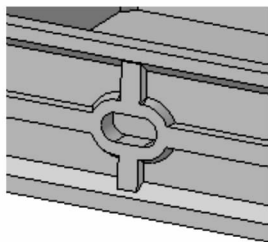


图 2 A 区域局部放大

Figure 2 Local enlargement of A

将修模好的塑模转化为 .stl 格式文件,导入至 Moldflow 模流数值分析软件中,模式为 Fusion,即双层面格式,进行网格划分,网格变为 10 mm,共有 187 722 个单元,如图 3 所示。通过网格修补后,A 区域的网格如图 4 所示,单元厚度均在 4 mm 左右,与模型厚度一致,网格匹配率达到 94.3%,质量较好,可以做翘曲分析^[4-5]。

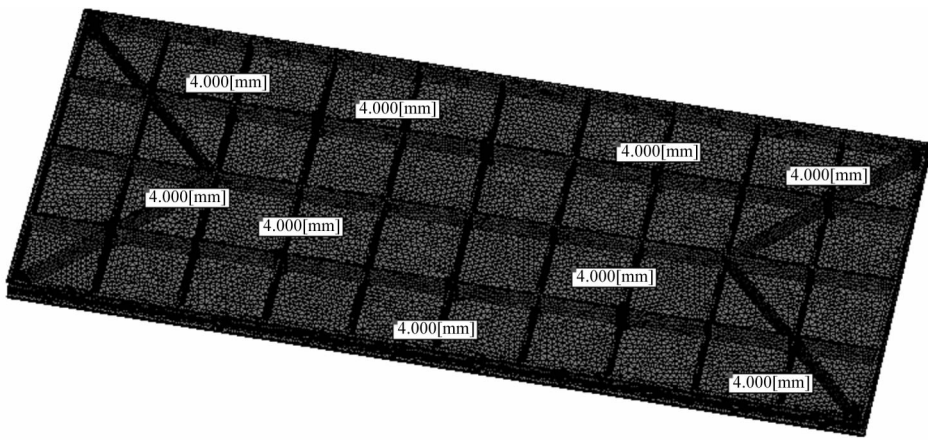


图 3 建筑模板的有限元模型

Figure 3 Finite element model of the building template

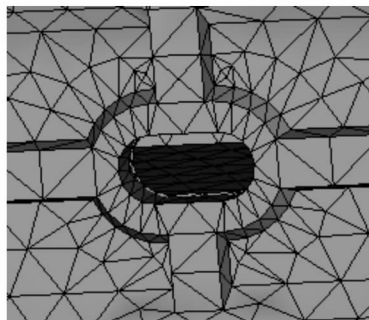


图 4 A 区域局部放大

Figure 4 Local enlargement of A

2) 定于建筑模板材料。

建筑模板材料为 PP + 45% GF,材料库推荐的工艺参数如表 1 所示。材料的比体积与温度的关系如图 5 所示,PP + 45% GF 具有较好的流动性能。

表 1 PP + 45% GF 推荐工艺参数

Table 1 Processing parameter of the PP + 45% GF

熔料 温度/℃	模具 温度/℃	顶出 温度/℃	最大剪切 应力/MPa	最大剪切 速率/s ⁻¹
200 ~ 280	20 ~ 80	93	0.26	24 000

3) 建筑模板的浇注系统设计。

对于大型塑料件,其浇注系统较长,压力损失较为明显,采用普通的冷流道,不但增加了浇注系统凝料,而且对注塑机的注射压力要求较高,因此不适合该产品。针对建筑模板的结构特点,选用热流道技术来搭建浇注系统。浇口位置采用模具设计师的建议,4 点进浇。热流道浇注系统如图 6 所示。

4) 建筑模板的冷却系统设计。

建筑模板为大型塑料件,冷却时间相对较长,直接

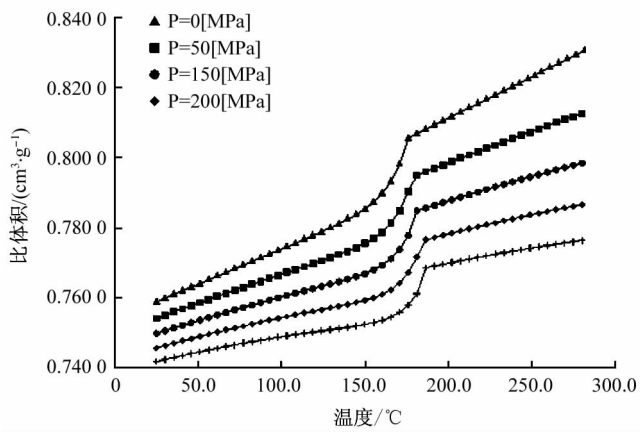


图5 材料的比体积与温度关系
Figure 5 Volume VS temperature

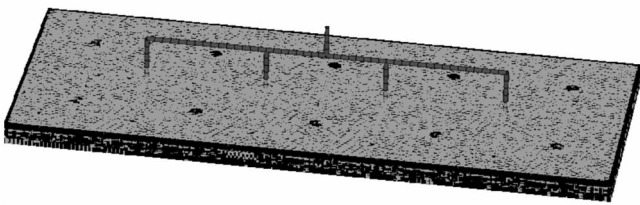


图6 建筑模板浇注系统设计
Figure 6 Runner system of the building template

影响成型周期,从而关系着生产率的高低。针对建筑模板的结构特点和模具设计师的建议,尽可能的布置冷却水路。冷却系统如图7所示。

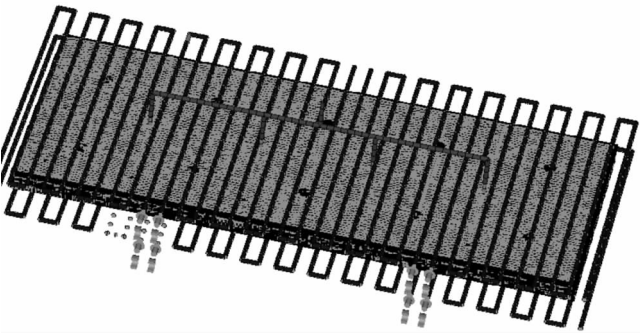


图7 建筑模板冷却系统
Figure 7 Cool water system of the building template

1.2 建筑模板 CAE 模拟模拟分析

对于首次模拟,采用自动分析,工艺参数为默认。自动分析将给出推荐工艺参数,此结果为后续的工艺参数调整提供参考,推荐的工艺如表2所示。

表2 工艺参数

Table 2 Processing parameter

模具温度/℃	熔料温度/℃	注射时间/s	冷却时间/s	保压时间/s
80	295	3.35	20	30

分析结果如图8所示,总体翘曲量达到20.37 mm,远大于企业要求的5 mm。

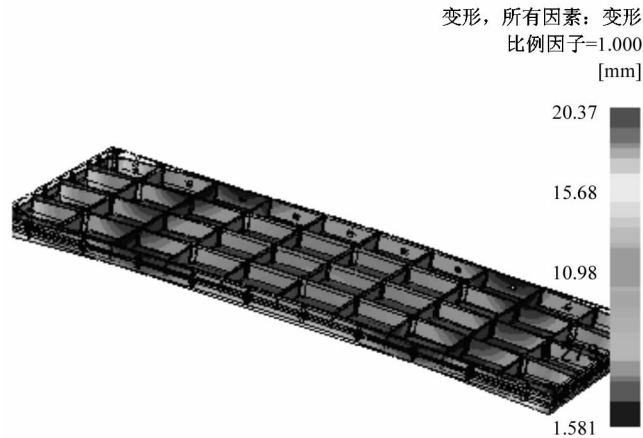


图8 总体翘曲量
Figure 8 Whole warpage deformation

试模的注射时一段压力为98 MPa,速度75 mm/s,二段压力为43 MPa,速度为28 mm/s,三段压力为40 MPa,速度为23 mm/s。

2 基于正交优化试验的工艺参数优化设计

正交试验设计是一种常用的试验设计方法,其试验过程如图9所示。

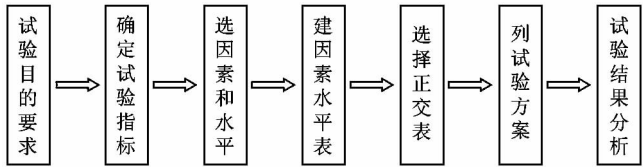


图9 正交优化试验流程
Figure 9 Optimization course of orthogonal experiment

根据建筑模板总体翘曲量小于5 mm的要求,确定总体翘曲量最小为正交优化的目标。Moldflow 软件模拟分析,得到了各工艺参数的推荐值,依据建筑模板特点和实际经验,得出其工艺参数范围,均匀划分得到各参数水平,得到如表3所示的工艺参数因素水平表^[6-7]。

表3 工艺参数水平表

Table 3 Level of the processing parameter

水平	熔体温度 A/℃	模具温度 B/℃	注射时间 C/s	保压时间 D/s	冷却时间 E/s
1	195	40	3	30	50
2	210	45	6	35	60
3	225	50	9	40	70
4	240	55	11	45	80
5	255	60	14	50	90

根据表 3 给出的因素和水平,建立正交试验表,通过 Moldflow 模拟优化目标 Y (翘曲总量),如表 4 所示。

选择极差分析法来确定实验因素对翘曲量影响的主次顺序,并绘制因素水平与指标趋势图。极差分析计算完 K 值后就要计算极差 R 值,用 R_j 表示为第 j 列因素的极差,即 j 因素各水平下平均指标最大值与最小值之差^[8]。

$$R_j = \max(\overline{K_{j1}}, \overline{K_{j2}}, \overline{K_{jm}}) - \min(\overline{K_{j1}}, \overline{K_{j2}}, \overline{K_{jm}})$$

将上表简化一下,将各列中每个工艺参数的 1、2、3、4、5 水平下的最大翘曲量之和记作 K_1, K_2, K_3, K_4, K_5 ,其平均值记作 k_1, k_2, k_3, k_4, k_5 ,5 个平均值中最大值与最小值之差即为每个工艺参数的极差 R 。结果见表 5。

为更直观地反映因素对实验指标的影响规律和趋势,以因素水平为横坐标,以实验指标值为纵坐标,绘制因素与指标趋势图,如图 10 所示。

根据上述分析可得,最佳工艺参数组合如表 6 所示。并将最优工艺参数组合在 Moldflow 中进行注塑模拟,模拟仿真结果如图 11 所示^[9]。

3 结语

通过数值模拟仿真和正交试验法对建筑模板进行注塑成型工艺参数优化设计,总体翘曲量由原来的 20.37 mm 降至 3.596 mm,成型制品翘曲量得到控制,满足了客户要求。正交试验和数值模拟仿真结合的方法能在较少的试验次数得到试验范围内较优的工艺参数组合,可以胜任新产品投产周期短的要求。

表 4 复合模板正交试验表

Table 4 Table of orthogonal experiment

实验	熔体温度 A/℃	模具温度 B/℃	注射时间 C/s	保压时间 D/s	冷却时间 E/s	翘曲总量 Y/mm
1	195	40	3	30	50	4.836
2	195	45	6	35	60	5.846
3	195	50	9	40	70	3.968
4	195	55	11	45	80	4.546
5	195	60	14	50	90	6.124
6	210	40	6	40	80	4.578
7	210	45	9	45	90	3.123
8	210	50	11	50	50	4.354
9	210	55	14	30	60	5.547
10	210	60	3	35	70	3.467
11	225	40	9	50	60	3.862
12	225	45	11	30	70	3.174
13	225	50	14	35	80	4.755
14	225	55	3	40	90	3.444
15	225	60	6	45	50	4.635
16	245	40	11	35	90	5.689
17	245	45	14	40	50	3.425
18	245	50	3	45	60	3.848
19	245	55	6	50	70	3.029
20	245	60	9	30	80	6.052
21	255	40	14	45	70	5.126
22	255	45	3	50	80	4.867
23	255	50	6	30	90	3.867
24	255	55	9	35	50	3.214
25	255	60	11	40	60	4.215

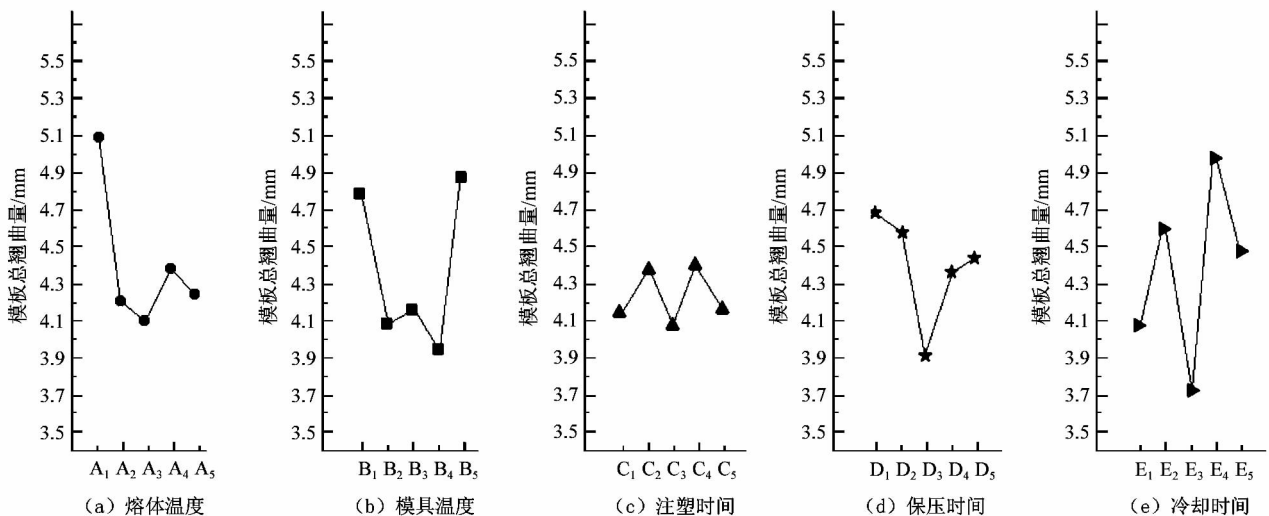


图 10 因素与指标趋势图

Figure 10 Analysis of the index trend and factor

表 5 极差分析表
Table 5 Range analysis

因素	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	极差 R
熔体温度 A	25.320	21.069	19.87	22.043	21.289	5.064	4.214	3.974	4.408	4.258	1.090
模具温度 B	24.091	20.435	20.792	19.780	24.493	4.818	4.087	4.158	3.956	4.898	0.942
注射时间 C	20.462	21.955	20.219	21.978	21.005	4.092	4.391	4.044	4.396	4.201	0.352
保压时间 D	23.476	22.971	19.630	21.978	22.236	4.695	4.594	3.926	4.396	4.447	0.769
冷却时间 E	20.464	23.318	18.764	24.798	22.247	4.093	4.664	3.753	4.959	4.449	1.206

表 6 最佳工艺参数
Table 6 Best processing parameter

熔料温度/℃	模具温度/℃	注射时间/s	冷却时间/s	保压时间/s
220	55	9	70	40

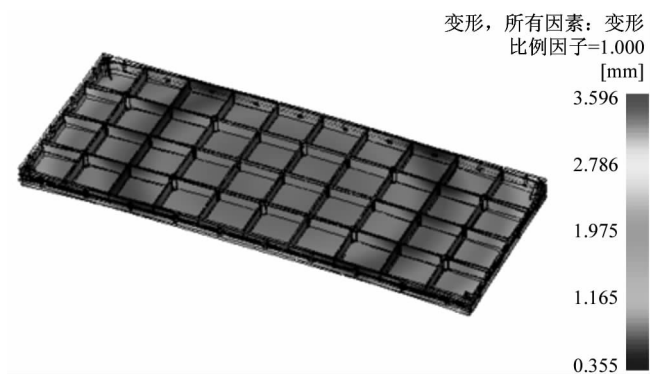


图 11 优化后的建筑模板翘曲量

Figure 11 Warpage deformation after optimization

参考文献 (References):

- [1] 李金国, 张国庆. 基于 Moldflow 与正交试验结合的注射模工艺参数优化设计[J]. 模具工业, 2007(12): 1-5.
- [2] 黄小良, 李金国, 花丹红. 大型塑料托盘浇注系统的优化设计[J]. 轻工机械, 2009, 27(2): 16-19.
- [3] 贾敬华, 尹红灵. 基于正交优化的薄壳类注塑产品的翘曲控制[J]. 模具技术, 2011(1): 1-9.
- [4] 游剑文. 注射成型塑料制品常见缺陷及其解决方案[J]. 科技经济市场, 2010(6): 6-7.
- [5] 李海梅. 减少塑件翘曲变形的一种方法[J]. 模具工业, 1997(6): 30-33.
- [6] 陶永亮. 基于正交试验法置物箱成型工艺优化研究[J]. 现代塑料加工应用, 2011(6): 21-25.
- [7] 王睿鹏, 孟庆霞. 基于 Moldflow 与正交试验的注塑工艺参数优化设计[J]. 宁夏工程技术, 2011(4): 12-15.
- [8] 林权. 基于正交试验法 PPE + PA6 注塑件收缩变形研究[J]. 陇东学院学报, 2011(6): 40-43.
- [9] 赖家美, 罗章, 柳和生, 等. 基于正交试验的气体辅助注射成型工艺参数优化[J]. 工程塑料应用, 2011(11): 31-33.

(上接第 4 页)

4 结论

- 1) 用多重参考系法(MRF)及标准 $k-\varepsilon$ 模型模拟了三种不同桨叶的流动状况, 分区讨论了不同桨型的速度场特性。其中 Rushton 桨以径向流动和周向流动为主, 三叶后弯桨和 PTU 桨以轴向流动和周向流动为主。
- 2) 搅拌釜内流型对混合过程有决定性的影响。
- 3) 混合时间的长短与加料点的位置密切相关。从 P_1 , P_2 和 P_3 点监测得到的混合时间来看 Rushton 桨比 PTU 桨长, PTU 桨比三叶后弯桨长。而液面处的 P_4 点监测到的混合时间 Rushton 桨的时间最短, 其次是三叶后弯桨, 最长的是 PTU 桨。综合来看, 三叶后弯桨的混合效率相对较高, 适合 EPS 聚合反应的高黏工况。

参考文献 (References):

- [1] 陈学江. 可发性聚苯乙烯珠粒(EPS)的生产工艺[J]. 塑料科技, 2000(2): 16-18.
- [2] JAWORSKI Z, DYSTER K N, MOOR I P T, et al. The use of angle resolved LDA data to compare two differential turbulence models applied to sliding mesh CFD flow simulation in a stirred tank[C]//Proceedings of 9th European Conference on Mixing. Paris: Groupe Francais de Génie des Procédés, 1997: 187-193.
- [3] MONTANTE G, LEE K C, BBRUCATO A, et al. Numerical simulations of the dependency of flow pattern on impeller clearance in stirred vessels[J]. Chemical Engineering Science, 2001, 56: 3751-3770.
- [4] 张国娟, 闵健, 高正明, 等. 涡轮桨搅拌槽内混合过程的数值模拟[J]. 北京化工大学学报, 2004, 31(6): 24-27.
- [5] JAVED K H, MAHMUD T, ZHU J M. Numerical simulation of turbulent batch mixing in a vessel agitated by a Rushton turbine[J]. Chemical Engineering and Processing, 2006, 45: 99-112.
- [6] 方键, 桑芝富, 杨全保. 侧进式搅拌器三维流场的数值模拟[J]. 石油机械, 2009, 37(1): 30-34.
- [7] 赵静, 程先明, 高正明. 组合桨液相搅拌槽内流动特性的实验研究及数值模拟[J]. 北京化工大学学报, 2011, 38(3): 22-27.
- [8] KARRAY S, DRISS Z, KCHAOU H, et al. Numerical simulation of fluid-structure interaction in a stirred vessel equipped with an anchor impeller[J]. Mechanical Science and Technology, 2011, 25(7): 1749-1760.
- [9] PAKZAD L, EIN-MOZAFFARI F, CHAN P. Using computational fluid dynamics modeling to study the mixing of pseudoplastic fluids with a Scaba 6SRGT impeller[J]. Chemical Engineering and Processing, 2008, 47: 2218-2227.
- [10] 陈红生, 何雄志. 结晶搅拌流场及传热过程的数值模拟[J]. 轻工机械, 2010, 28(4): 26-29.
- [11] 龚峻松. 三叶后掠桨用于悬浮聚合时的搅拌特性和设计原则[J]. 舰船科学技术, 2006, 28(2): 64-71.

[研究·设计]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2012.06.003

塑料刀叉气辅成型模具浇注系统设计

牟一楠¹, 何建军²

(1. 浙江工业大学 国际学院, 浙江 杭州 310023; 2. 浙江金典模具有限公司, 浙江 台州 318020)

摘 要:气体辅助注射成型是一种特殊注塑成型工艺,其模具设计尚未形成完善的体系。文章以塑料刀叉为例,基于塑料熔体的充填流动和气体保压模拟,通过熔体充填区域和气体充填区域来评价设计优劣,进行气辅成型模具浇注系统的设计,并推荐可行的工艺参数。图5参10

关 键 词:模具设计;气体辅助注射成型;数值模拟;浇注系统

中图分类号:TQ320.66 文献标志码:A 文章编号:1005-2895(2012)06-0010-003

Runner System Design of the Gas-Assisted Injection Mold for Plastic Knife and Fork

MOU Yinan¹, HE Jianjun²

(1. College of International, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310023, China;

2. Zhejiang Jindian Mold Co., Ltd., Taizhou 318020, Zhejiang, China)

Abstract: Gas-assisted injection molding (GAIM) is a special injection molding process with less perfect design system on products and mold. Taking a plastic knife and fork as a example, this paper introduced the running gate system design in GAIM mold based on the simulation on filling flow of plastic melt and preservation of gas, the design is evaluated the design by the fill regions of melt and gas cores. Feasible process parameters were also recommended based on the simulation-design. [Ch, 5 fig. 10 ref.]

Key words: mold design; gas-assisted injection molding; simulation; running gate system

0 引言

气体辅助注射成型(简称气辅成型)通过高压气体在注塑产品内部产生中空截面,在不影响产品功能的前提下减少用料,并利用气体的保压作用减少制品残余内应力,消除制品表面缩痕,显示出传统注射成形无法比拟的优越性,同时为许多无法用传统工艺注射成形的产品提供了可能^[1-2]。目前已有大量研究者对气体辅助注射成型进行了较多的机理研究与数值模拟^[3-5]研究,并进行了工艺实验和优化研究^[6]研究,在产品设计方面进行了一些总结^[7-8],而关于模具设计方面的研究较少。

气辅成型特别适用于制作管状和棒形零件、大型平板类零件、传统注射成型难以成形的复杂形状不均匀壁厚产品。文中以有粗柄的塑料刀叉为例,基于塑

料熔体的充填流动和气体的穿透保压模拟,进行气辅成型模具浇注系统的设计,并推荐可行的工艺参数。

1 产品及工艺性分析

粗柄的成套塑料刀叉的模型如图1所示。长度为255 mm,手柄部直径为30 mm。

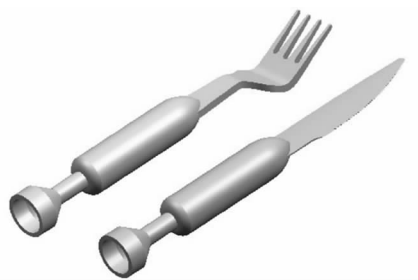


图1 塑料刀叉产品图

Figure 1 Part of the knife and fork

收稿日期:2012-07-09;修回日期:2012-08-01

基金项目:2010年黄岩区重大科技计划项目(2010002)

作者简介:牟一楠(1992),女,浙江黄岩人,本科,主要研究方向为数值模拟在注塑成型中的应用。E-mail:728476678@qq.com