

母线绝缘配件注塑成型冷却系统的优化分析

毕 扬, 闫 浩, 沈晓辉

(安徽工业大学 冶金工程学院, 安徽 马鞍山 243032)

摘要:采用Moldflow注塑模拟软件,基于某母线绝缘配件注塑成型模具冷却系统关键指标的分析,通过调整冷却回路排布、新增加5条冷却回路并引入隔板等措施对其冷却系统进行优化设计,并对优化冷却系统的冷却时间与各项温度指标进行模拟分析。结果表明:通过优化,冷却系统的回路冷却液温度、回路管壁温度与零件温度明显降低,冷却时间缩短;优化冷却系统的冷却效果理想,可有效缓解冷却压力。

关键词:注塑成型;冷却系统;冷却回路;Moldflow

中图分类号:TQ 320.66 **文献标志码:**A **doi:**10.3969/j.issn.1671-7872.2019.02.004

Optimal Analysis of Cooling System for Busbar Insulation Parts Injection Mold

BI Yang, YAN Hao, SHEN Xiaohui

(School of Metallurgical Engineering, Anhui University of Technology, Ma'an shan 243032, China)

Abstract: With Moldflow injection simulation software, based on the analysis of key indicators of the cooling system for injection molding of busbar insulation parts, the cooling system was optimized by adjusting the arrangement of the water path, adding five new cooling water paths and inserting the water partition plate. The cooling time and temperature indices of the optimized cooling system were simulated and analyzed. The results show that after optimization, the circuit coolant temperature, circuit metal temperature and part temperature of the optimized cooling system are obviously reduced, and the cooling time is shortened. The optimized cooling system has ideal cooling effect and the cooling pressure is effectively alleviated.

Key words: injection molding; cooling system; cooling circuit; Moldflow

注塑成型过程中熔体充满模腔后,从浇口处熔体冷却冻结至塑件被顶出模腔的这一阶段称为冷却阶段^[1]。冷却阶段无熔体注入模腔,但模腔内部还会有小部分熔体流动,模腔内压力迅速下降,致使塑件脱模时有足够的刚度避免变形,当残余应力趋于零值时较易脱模。但若冷却过快会导致收缩不均,需在模具结构内添加冷却系统以调节模温及冷却液温度,使模腔内的温度便于塑件高效冷却冻结。衡量注塑模具冷却系统冷却效果好坏的标准为冷却过程中塑件制品温度是否均匀,冷却时间是否最短^[2]。在Moldflow注塑模拟软件中,可通过模拟熔体在模腔内的热传递情况来判断模具冷却系统的冷却效率。

注塑成型冷却过程比较复杂,国内外很多学者对其做了相关研究。李锐传^[3]利用Moldflow软件优化模具的冷却系统,通过增加冷却回路和水井缩短了塑件的冷却时间;褚建忠等^[4]利用Moldflow软件对两个不同形状的大型塑件冷却系统进行分析,得出塑件冷却系统对成型周期的影响,并设计多种优化冷却系统方案以缩短塑件的成型周期,减少翘曲变形量;申长雨等^[5]在优化冷却系统的过程中参考灵敏度分析法,不仅使塑件

收稿日期:2019-04-09

作者简介:毕扬(1994—),女,江苏扬中人,硕士生,主要研究方向为注塑成型模拟。

通信作者:沈晓辉(1974—),男,安徽巢湖人,博士,教授,主要研究方向材料加工工程。

成型周期缩短,还使塑件的变形量有所减少;李耀辉等^[6]利用Moldflow软件优化了抽屉塑件的冷却系统,使塑件冷却系统中的型芯温度与型腔温度趋于一致,获得品质优良的塑件,减少了能量损耗;Tang等^[7]探索出有关冷却温度的计算函数,优化了一模多腔塑件模型中冷却系统流道分布和流道尺寸及冷却液流动速率;Dimla等^[8]研究表明,浇口位置分布与冷却回路布置对冷却系统有较大影响,以有限元与热传导分析方法为理论基础,重新布置了能有效提高冷却效率的冷却回路。上述研究表明,Moldflow模拟软件能为优化模具冷却回路设计和选择注塑成型工艺参数作科学指导。基于此,笔者以生产某母线绝缘配件的模具为研究对象,借助Moldflow注塑模拟软件,通过改变冷却回路排布与增加隔水板等方式优化模具冷却系统,以期提高冷却系统的冷却效率。

1 冷却系统的模拟与分析

1.1 冷却系统模型的建立

文中研究的塑件来自某模具公司,为母线槽绝缘组装配件中的一部分,其外形如图1。塑件长宽高为178.5 mm×115.0 mm×47.5 mm,平均厚度为2.55 mm。

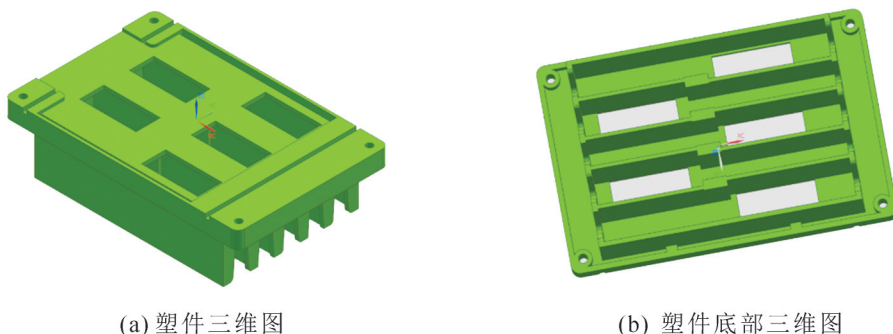


图1 塑件外形示意图

Fig. 1 Shape sketch of plastic part

塑件采用单浇口进浇。文中使用的CAE模拟软件为Moldflow,采用双层面网格对塑件三维模型进行网格划分,利用网格修复工具修改网格若干次,最终统计模型网格单元数为23 918,最大纵横比为11.89、匹配率为95.5%,自由边、多重边、取向不正确单元、相交单元、完全重叠单元均为零,连通区域为1。网格条件满足Moldflow软件对塑件的冷却模拟分析。塑件产品材料为聚苯乙烯(PS),设置冷却液温度为25℃,冷却液雷诺数为10 000。

塑件模具冷却系统如图2。冷却管道采用圆形横截面,管道直径为8 mm,环绕塑件四周有2条“口”字型冷却回路。采用有限元对冷却回路进行网格划分,网格统计结果满足模拟要求。

1.2 冷却过程分析

1.2.1 回路冷却液温度

冷却液温度的变化反映模具冷却系统设计的合理性,进水口与出水口温差过大,表明冷却回路的设计方案或工艺参数设置不尽合理,塑件制品热传递易出现问题。冷却分析日志内容为冷却液从流道入口到出口温度的改变。如果冷却液温度上升大于2~3℃,则可利用回路冷却液温度标识模具温度变化较大处。回路冷却液温度模拟结果如图3。从图3可看出,进水口的水温是25℃,温水温度分布范围在25.03~29.35℃之内,温差高于2℃,表明冷却水经过的模腔内部冷却效果不好,不能使模具冷却均匀。

1.2.2 回路管壁温度

这一指标显示温度在冷却回路管壁的分布变化,故回路管壁温度应均衡分布。模具中塑件附近的回路

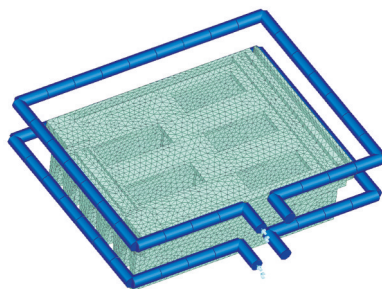


图2 塑件模具的冷却系统

Fig. 2 Cooling system of plastic mold

管壁温度可能会上升,从而导致冷却液温度也上升。回路管壁温度尽量不能高于入口处温度 $5\text{ }^{\circ}\text{C}$,如果某些区域的回路管壁温度太高,可采取以下措施:加粗冷却管道;重新布置或增加冷却回路;降低冷却液温度;提升冷却液流动速率^[9]。回路管壁温度模拟结果如图4。由图4可看出,冷却液水道表面温度最高位基本分布在 $29.89\sim 35.53\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之内,比冷却液入口温度高 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右。冷却液水道表面温度比冷却液入口温度高 $5\sim 10\text{ }^{\circ}\text{C}$,说明热量去除不充分。

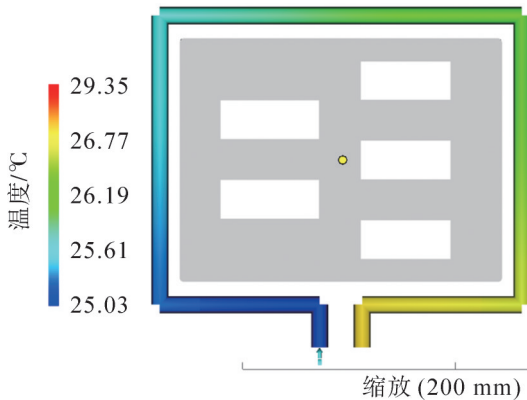


图3 回路冷却液温度模拟结果

Fig. 3 Simulation results of circuit coolant temperature

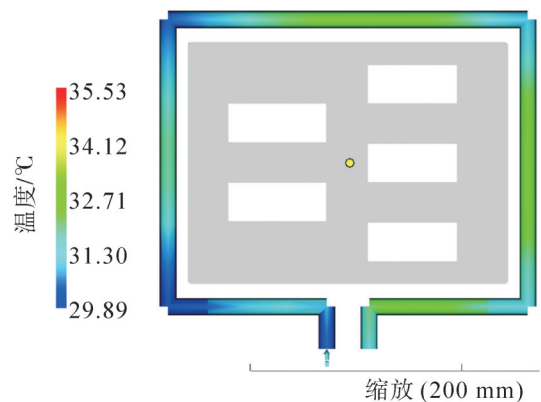


图4 回路管壁温度模拟结果

Fig. 4 Simulation results of circuit metal temperature

1.2.3 零件温度

零件温度显示塑件成型周期中零件单元的平均温度。塑件顶面或底面的温差不能相差 $\pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$,温度在每个模型面的变化尽量控制在 $10\sim 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。零件温度模拟结果如图5。从图5可看出,零件温度分布不均匀,塑件顶部温度在 $54.68\sim 71.02\text{ }^{\circ}\text{C}$,而塑件底部温度最高为 $103.7\text{ }^{\circ}\text{C}$,温差较大,表明需重点考察冷却底部中间部位。

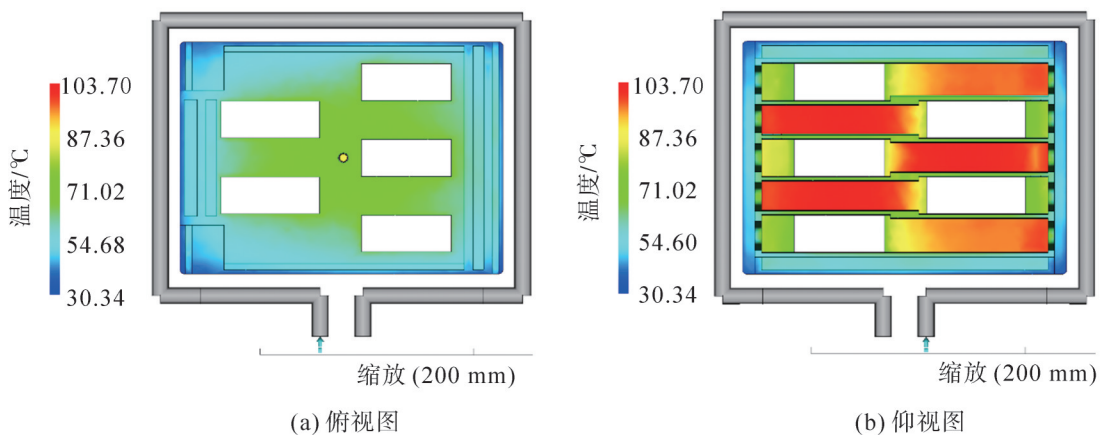


图5 零件温度模拟结果

Fig. 5 Simulation results of parts temperature

1.2.4 零件达到顶出温度的时间

这一指标为熔体单元冷却定型至一定程度可从模腔顶出温度(PS材料顶出温度为 $86\text{ }^{\circ}\text{C}$)所需的时间。理想状态下,塑件所需冷却冻结的时间较短,冻结效果更均匀。记录塑件冷却模型冻结区域的冷却时间,若大部分冷却冻结区域与最后冷却冻结区域所需时间差值较大,则其影响因素为壁厚增加或模具温度过高。若影响因素为模具温度过高,可重新布置冷却回路。针对这一问题可采取以下措施:降低冷却液温度;在未冻结区域布置冷却回路;加长冷却周期^[10]。零件达到顶出温度时间的模拟结果如图6。从图6可以看出,零件达到顶出温度的时间为 170 s ,时间过长,应考虑优化冷却系统,缩短塑件的冻结时间。

1.2.5 回路热去除效率

回路热去除效率表示单位冷却管道截面吸收模具热量的效率,能显示管道哪些地方可吸收更多热量。

影响冷却管道回路热去除效率的因素有回路雷诺数、冷却管道与塑件制品的距离、冷却液与管道之间的温差,且这3个因素数值越大,热去除效率就越高^[11]。回路热去除效率的模拟结果如图7。从图7可看出:塑件周围2条方形循环式冷却管道的热去除效率不高,上方冷却回路回路热去除效率为0.50~0.63,冷却效果不理想;下方冷却回路热去除效率接近0.63~0.75,只有下方回路部分区域热去除效率为1,总体来说并不理想。

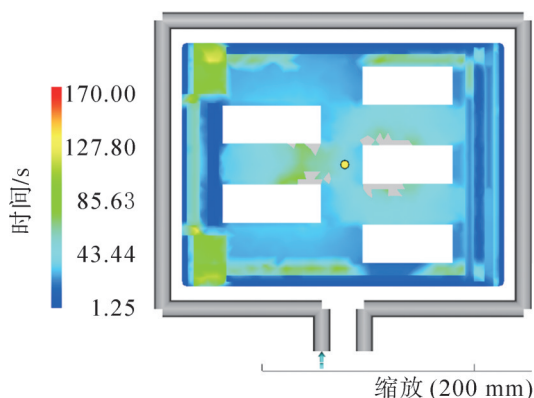


图6 零件达到顶出温度的时间

Fig. 6 Time of parts to reach ejection temperature

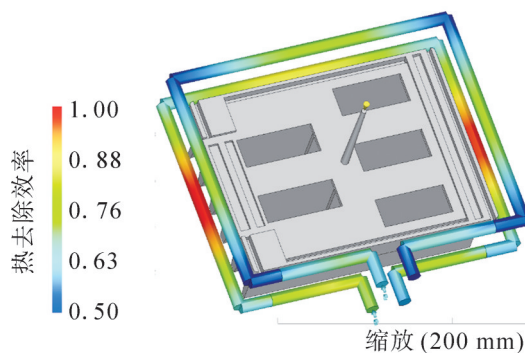


图7 回路热去除效率

Fig. 7 Thermal removal efficiency of circuit

塑件模具冷却系统分析表明,该模具冷却系统存在冷却效率不够、冷却时间过长、局部热去除效率不够等问题。塑件整个成型周期内冷却占据最多时间,控制塑件成型的关键在于控制塑件冷却时间,要提高注塑成型生产效率,就要缩短塑件的冷却时间^[12]。故以冷却效率与冷却时间为重点,对模具冷却回路进行优化设计。

2 冷却系统的优化模型与模拟分析

2.1 冷却系统优化模型的建立

模具冷却系统中有2条环绕塑件四周的冷却回路,冷却效果不太理想,通过增加冷却回路、调整回路排布、引入隔板等方式使冷却效果充分均匀,将模具和塑件温度调整至合适温度。故冷却系统优化方案为改变2条冷却回路布置,并增加5条含有隔水板的隔板式冷却回路。如图8所示:一条冷却环形回路分布在塑件上方,另一条冷却环形回路环绕塑件四周;引入隔水板,拉近管道和塑件之间的距离,隔水板离底部冷却效果较差的位置较近以增强对塑件底部内侧的冷却效果;2条冷却回路冷却管道为圆形,直径为8 mm;含隔水板的隔板式冷却回路管道与隔水板同样为圆形横截面,管道直径为8 mm。

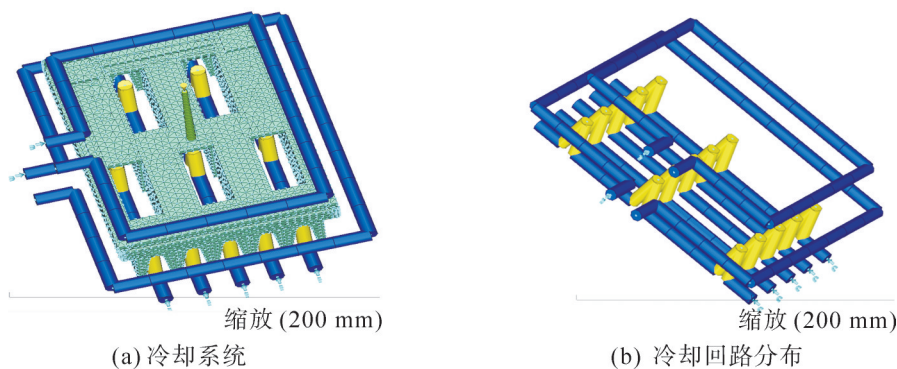


图8 模具冷却系统的优化方案

Fig. 8 Optimizing scheme of cooling system for mold

2.2 冷却过程分析

2.2.1 回路冷却液温度

回路冷却液温度如图9。由图9可看出:优化方案的回路冷却液最高温度即出水口温度降至26.26℃,较

原冷却回路下降 $3.09\text{ }^{\circ}\text{C}$,说明冷却系统优化后其冷却效果有所提高。

2.2.2 回路管壁温度

回路管壁温度如图10。由图10可看出:优化的回路管壁最高温度下降至 $26.64\text{ }^{\circ}\text{C}$,减少了25%;所有回路温度在 $20.98\sim 23.81\text{ }^{\circ}\text{C}$,低于 $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的标准范围,符合要求,证明增添的冷却回路和隔水板能缓解冷却压力。

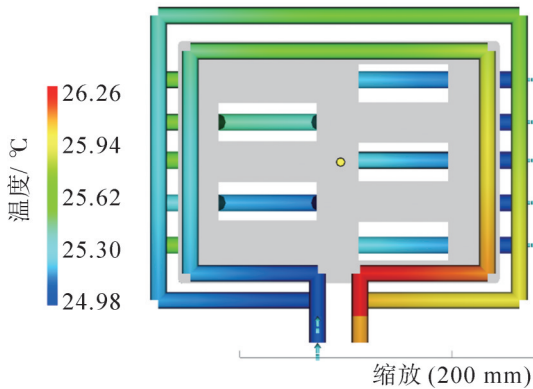


图9 回路冷却液温度

Fig. 9 Coolant temperature of optimizing circuit

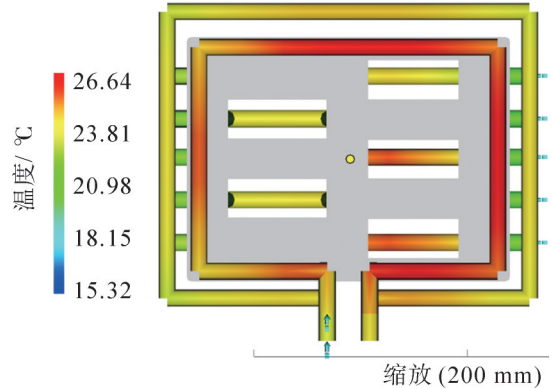
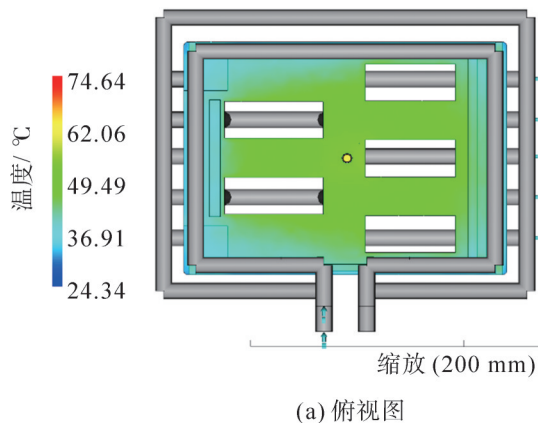


图10 回路管壁温度

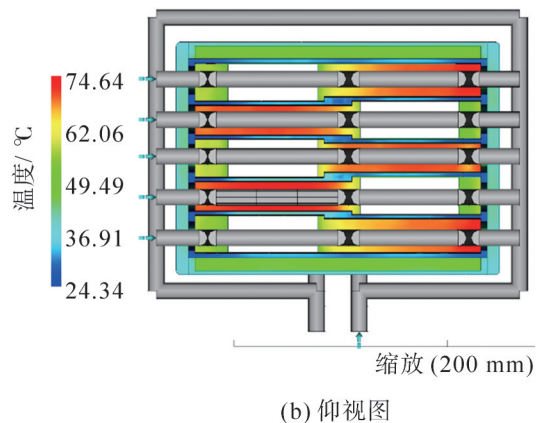
Fig. 10 Metal temperature of circuit

2.2.3 零件温度

零件温度如图11。由图11可看出:对塑件底部中间区域加强冷却,零件温度发生了显著变化,最高温度为 $74.64\text{ }^{\circ}\text{C}$,与图6的 $103.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ 相比降低了 $29.06\text{ }^{\circ}\text{C}$,减少了28%,冷却效果显著。



(a) 俯视图



(b) 仰视图

图11 优化后零件温度

Fig. 11 Temperature of optimizing parts

2.2.4 零件达到顶出温度的时间

图12为优化方案的零件达到顶出温度的时间。从图12可看到,零件达到顶出温度的时间为 120.8 s ,相比于原冷却系统缩短约 49 s ,冷却效果显著,大大缩短了冷却时间。优化方案的设计重点在于改变回路布局,达到冷却充分且均匀的效果。将隔水板放置在温度较高的底部,可增强冷却效果,缩短冷却时间。

2.2.5 回路热去除效率

图13为塑件优化方案的回路热去除效率。由图13可看出:上方的冷却环形回路与环绕塑件的冷却环形回路的热去除效率均较高,接近 $0.80\sim 1$,冷却

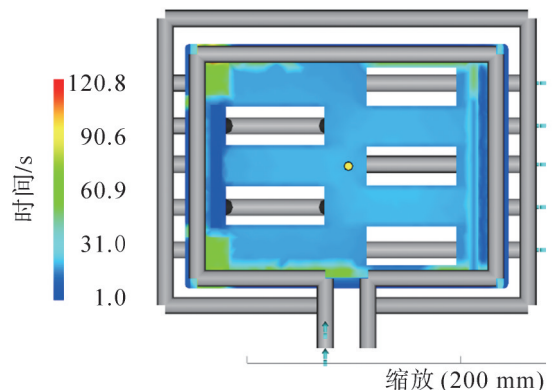


图12 优化后零件达到顶出温度的时间

Fig. 12 Time of optimizing parts to reach ejection temperature

效果很好;下侧的带有隔水板的隔板式冷却水道,冷却效果理想。说明优化冷却系统冷却效果较好。

对模具冷却系统进行优化设计,模拟分析表明,与原冷却系统相比,优化后的冷却系统冷却效果理想,不仅提高了冷却效率,还缩短了冷却时间。

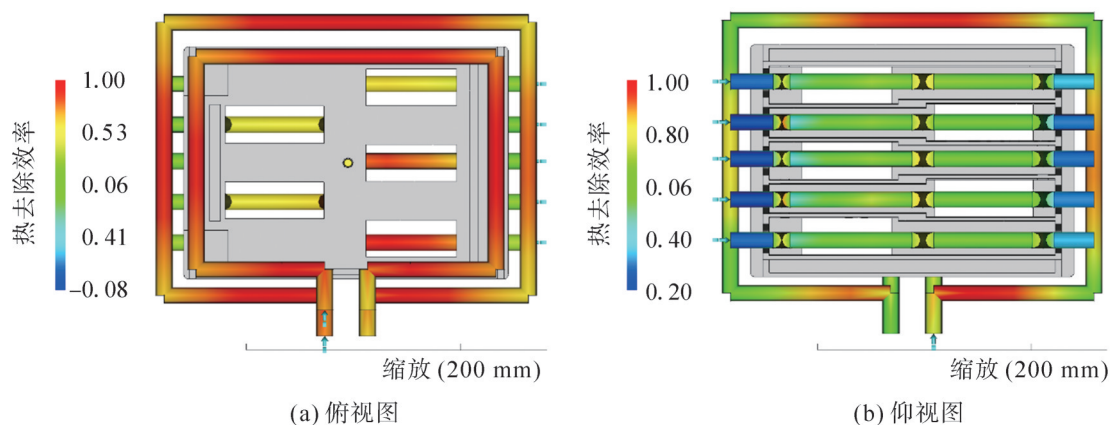


图13 优化回路热去除效率

Fig. 13 Thermal removal efficiency of optimizing circuit

3 结 论

针对塑件模具冷却系统存在冷却效率不高、冷却时间过长、局部热去除效率不够等问题,对该系统进行优化设计,即调整原来2条回路的排布,增加5条冷却回路并引入隔水板,且采用Moldflow模拟软件对优化前后冷却系统的冷却过程进行分析,结果表明:优化冷却系统回路冷却液温度指标有所下降,回路管壁温度、零件温度降幅较大,零件达到顶出温度的时间得到有效缩短、冷却效果增强显著,回路热去除效率均较高、冷却效果好;优化设计的模具冷却系统能缓解冷却压力,同时可提高冷却效率,缩短成型周期。这项分析可为今后零件冷却分析作指导。

参考文献:

- [1] 黄常翼,刘良瑞. CAD/CAE技术在塑料模具中的应用[J]. 黄冈职业技术学院学报,2007,9(1):81-84.
- [2] 周标,邓小雷. 注塑工艺参数交互作用对塑料齿轮收缩变形的影响[J]. 轻工机械,2008,26(5):23-27.
- [3] 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,2016:5-8.
- [4] 褚建忠,宋荣. 基于CAE环境下大型塑料托盘模具的浇注系统设计[J]. 塑料,2007,36(5):97-100.
- [5] 申长雨,程耿东. 注塑模冷却系统灵敏度分析方法及应用[J]. 计算力学学报,1992,9(4):430-436.
- [6] 李耀辉,许春龙,韩阳飞. 基于CAE技术的抽屉冷却回路优化设计[J]. 机械工程与自动化,2008(6):66-67.
- [7] TANG L Q, ChASSAPIS C, MANOUCHEHRI S. Optimal cooling system design for multi-cavity injection molding[J]. Finite Elements in Analysis and Design, 1997, 26(3):229-251.
- [8] DIMLA D E, CAMILOTTO M, MIANI F. Design and optimisation of conformal cooling channels in injection moulding tools[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2005, 164/165:1294-1300.
- [9] 褚建忠. 基于CAE环境下大型注射模冷却系统的优化设计[D]. 杭州:浙江工业大学,2009:59-62.
- [10] 余晓容,申长雨,陈静波,等. 多型腔注射模浇注系统优化设计[J]. 工程塑料应用,2004,32(4):49-52.
- [11] 曹雄刚,靳伍银,韩炎娜,等. Taguchi试验设计在注射成型工艺参数优化中的应用[J]. 模具工业,2008,34(3):1-5.
- [12] 郭梅. 大尺寸复合材料注塑件模流分析及工艺参数优化[D]. 杭州:浙江工业大学,2012:75-80.

责任编辑:何莉