

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2018.11.018

仿血管模型的随形冷却水道设计与优化

刘斌,林梓威,吴茜

(华南理工大学聚合物成型加工工程教育部重点实验室,聚合物新型成型装备国家工程研究中心,广州 510641)

摘要:针对传统冷却水道对于复杂制品难以保证冷却效果的局限性,提出仿血管模型的随形冷却水道的设计,并利用 Moldflow 软件对传统冷却水道方案与仿血管模型的随形冷却水道方案的模流分析结果进行对比,结合实例验证仿血管模型的随形冷却水道设计的优化性。实践证明,仿血管模型的冷却水道能够显著减少注射成型的冷却时间,提高注塑制品的质量。

关键词: 注塑模具; 随形冷却水道; 仿血管模型; 设计; 优化

中图分类号: TQ76 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2018)11-0084-05

Design and Optimization of Conformal Cooling Channel Based on Blood Vessel Model

Liu Bin, Lin Ziwei, Wu Xi

(The Key Laboratory of Polymer Processing Engineering of Ministry of Education, National Engineering Research Center of Novel Equipment for Polymer Processing, South China University of Technology, Guangzhou 510641, China)

Abstract : In view of the limitation that it was difficult for the traditional cooling channel to guarantee the cooling effect for complex products, the conformal cooling channel based on blood vessel model was proposed. The software Moldflow was used to analyze and compare the mold flow results of the traditional cooling channel and the conformal cooling channel based on blood vessel model. An example was given to verify the optimization of the design of the conformal cooling channel based on the blood vessel model. The practice has proved that the conformal cooling channel based on blood vessel model can significantly reduce the injection cooling time and improve the quality of injected products.

Keywords : injection mould ; conformal-cooling channel ; blood vessel model ; design ; optimization

随着人们对塑料制品的要求越来越高,注塑模具中冷却水道的设计变得越来越重要。传统的冷却水道一般由深孔钻床加工,形状为简单的直线型,对于大型复杂的制品,难以保证冷却效果。笔者提出仿血管模型的随形冷却水道设计,基于 3D 打印制造,通过变化的冷却水道有针对性地加强注塑模具型腔热点区域的冷却效果,改善制品质量,缩短成型周期。

1 仿血管模型的随形冷却水道的设计

仿血管模型的随形冷却水道的设计,需要先分析整个制品的结构,确定仿毛细血管随形冷却水道的位置即制品的热点区域,或者传统直线型冷却水道方案存在的冷却盲区^[1],再确定冷却水道出入口、

仿动脉随形冷却水道及仿静脉随形冷却水道。

仿血管模型的随形冷却水道的特点在于:冷却水从随形冷却水管入口进入,通过大直径冷却水道(类似血管的动脉),再分支多个小直径的冷却水道(类似血管的毛细血管),最后汇聚到大直径冷却水道(类似血管的静脉),这种变截面并且带有细微分支的随形冷却水道的设计即为仿血管模型的随形冷却水道的设计。仿血管模型的随形冷却水道适用于存在局部热点或者容易形成干涉的制品。

以汽车某配件制品为例进行仿血管模型的随形冷却的模拟分析,其 3D 模型见图 1。其最大直径为 50 mm,高 70 mm,主体壁厚为 1 mm,最厚壁厚为 2 mm,最薄壁厚为 0.5 mm,材质为聚丙烯(PP)。

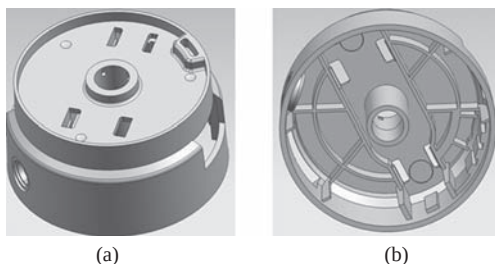
基金项目: 广东省省级科技计划项目 (2014B010132002, 2017B090913003)

通讯作者: 刘斌,教授,工学博士,主要研究方向为模具 CAD/CAE/CAM 和材料成型装备及数控技术 E-mail: bliu@scut.edu.cn

收稿日期: 2018-08-19

引用格式: 刘斌,林梓威,吴茜. 仿血管模型的随形冷却水道设计与优化[J]. 工程塑料应用,2018,46(11): 84-88.

Liu Bin, Lin Ziwei, Wu Xi. Design and optimization of conformal cooling channel based on blood vessel model[J]. Engineering Plastics Application, 2018, 46(11): 84-88.



a—正面; b—反面

图1 汽车某配件 3D 模型

该制品的特点是存在较深而细的骨架,且其注塑模具的顶出机构含有多根顶针,若用传统直线型冷却水道容易与顶针发生干涉,而采用仿血管模型的随形冷却水道的设计,则由于仿动脉随形冷却水道和仿静脉随形冷却水道中间分支成多条小直径的仿毛细血管随形冷却水道,既避免了与顶针的干涉现象,又可贴近制品表面,从而使得制品的冷却更加充分且均匀^[2-4]。制品顶针的排布图和顶针与随形冷却水道配合的局部放大图分别如图2、图3所示。

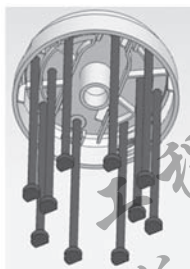


图2 制品顶针的排布图



图3 顶针与随形冷却水道配合的局部放大图

1.1 传统冷却水道的设计

由于传统计算机数控(CNC)加工工艺的限制,传统冷却水道的设计只能为直线型^[5-7]。对于型腔的冷却水道设计,笔者采用常见的双并联回路冷却水道^[8-11],型腔的双并联回路冷却水道设计如图4所示。

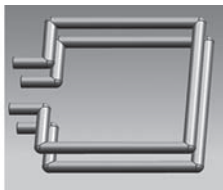


图4 型腔的双并联回路冷却水道设计

型芯的冷却水道为水井^[12-15],型腔的双并联回

路水道和型芯的水井组合成的传统冷却水道整体设计方案如图5所示。冷却水道的直径均为9 mm。

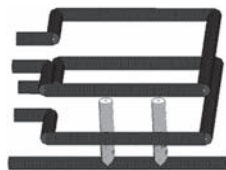


图5 传统冷却水道整体设计方案

1.2 随形冷却水道的设计

型腔的随形冷却水道设计仍然采用传统的双并联回路形式,而型芯的冷却水道则采用仿血管模型的随形冷却水道的设计,设计结果如图6所示。型腔中的传统并联双回路的冷却水道和型芯中的随形冷却水道的整体设计方案如图7所示。



图6 型芯的仿血管模型的随形冷却水道设计

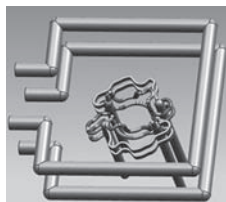


图7 型芯、型腔的随形冷却水道的整体设计方案

型芯中的随形冷却水道由仿动脉冷却水道、仿静脉冷却水道和仿毛细血管冷却水道组成。水流从仿动脉冷却水道进入型芯的冷却水道,通过极细的环绕的仿毛细血管冷却水道,相当于加长了管道长度和热交换面积,将局部热点进行充分热交换,再通过仿静脉冷却水道流出。其中,仿动脉冷却水道的直径为9 mm,仿静脉冷却水道的直径为9 mm,仿毛细血管冷却水道的直径为3 mm,带状冷却水道的截面长为5 mm,宽为1 mm。

1.3 模流分析结果对比

(1) 型腔表面温度分布。

图8、图9分别为传统冷却水道方案和随形冷却水道方案的制品温度分布。

对比发现,图8中,传统冷却水道方案的制品出现高达184.2℃的热点,其它大部分区域温度为80℃左右;而图9中,随形冷却水道方案的制品温度分布比较均匀,大部分区域温度为55℃左右,热点区域也基本消除,随形冷却水道方案的冷却效果

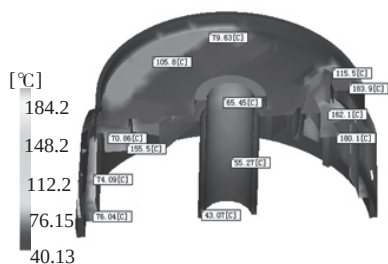


图8 传统冷却水道方案的制品平均温度

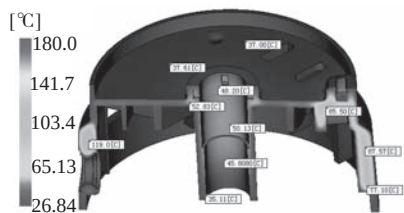


图9 随形冷却水道方案的制品平均温度

显然更好,相比于传统冷却水道方案,型腔区域的整体温度降低了将近 25℃,局部热点也少了很多。

(2) 到达顶出温度所需的时间。

图 10、图 11 分别为传统冷却水道方案和随形冷却水道方案的制品达到顶出温度的时间。

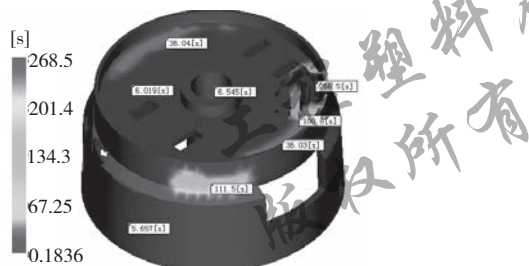


图10 传统冷却水道方案制品到达顶出所需温度的时间

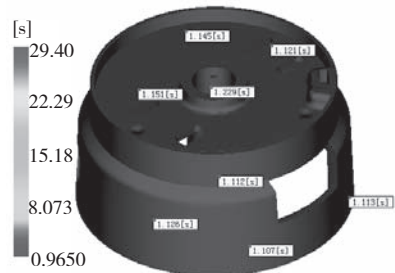


图11 随形冷却水道方案制品到达顶出所需温度的时间

对比发现,图 10 传统冷却水道方案的制品达到顶出温度的时间为 268.5 s;而图 11 随形冷却水道方案的制品达到顶出温度的时间为 29.4 s,相比传统冷却水道方案大大减少了将近 230 s,冷却时间缩短为传统冷却水道方案的 1/9。

(3) 翘曲变形。

图 12、图 13 分别为传统冷却水道方案和随形冷却水道方案的制品翘曲变形。

对比发现,传统冷却水道方案的制品翘曲变形

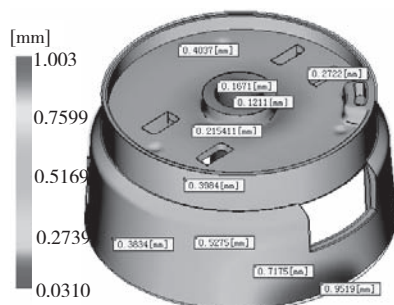


图12 传统冷却水道方案的制品的翘曲变形

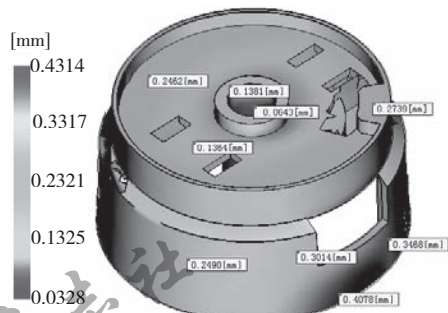


图 13 随形冷却水道方案的制品的翘曲变形量为 1.0030 mm;而随形冷却水道方案的制品翘曲变形量仅为 0.4314 mm,相对于传统冷却水道方案,随形冷却水道方案的制品翘曲变形量减少了将近一半,因为传统冷却水道距制品表面的距离随着制品的形状变化而改变,冷却不均匀,故翘曲变形加大。传统冷却水道方案和随形冷却水道方案的冷却效果对比如表 1 所示。

表1 传统冷却水道方案和随形冷却水道方案的冷却效果对比

方案	型腔表面平均温度 / ℃	冷却时间 / s	最大翘曲变形量 / mm
传统冷却水道	80	268.5	1.0030
随形冷却水道	55	29.4	0.4314

2 实例

2.1 某汽车后视镜壳模型分析

某汽车后视镜塑料壳三维模型如图 14 所示,厚度分析如图 15 所示。



图14 汽车后视镜壳三维图

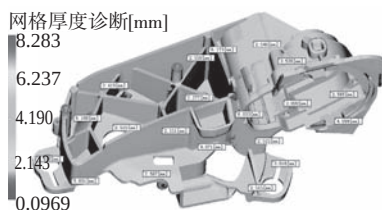


图15 汽车后视镜壳的厚度分析图

该后视镜塑料壳的成型材料为聚对苯二甲酸丁二酯 (PBT) 与 50% 的玻璃纤维复合成的 PBT/玻璃纤维复合材料,形状复杂,壁厚不均,大部分壁厚为 2.5 mm,最小壁厚为 0.097 mm,最大壁厚为 8.283 mm。若采用传统直线型冷却水道,容易造成冷却不均,影响制品的质量;而采用仿血管模型的随形冷却水道,可以有针对性地加强壁厚较厚处的冷却,缩短冷却时间,减少翘曲变形,改善制品质量。

2.2 传统与仿血管模型的随形冷却水道的设计

传统直线型冷却水道通过普通 CNC 加工方式制造,过渡处全部为直角,对于柱体的冷却采用冷却井来实现。传统冷却水道的设计如图 16 所示。

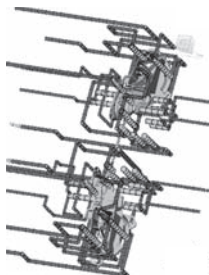
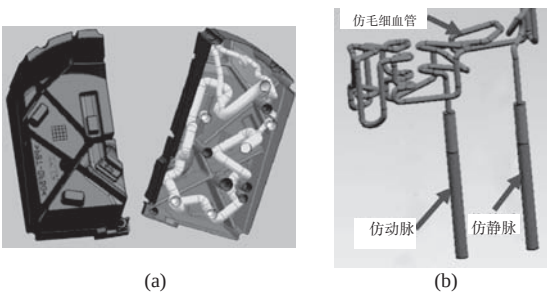


图 16 传统冷却水道的设计

仿血管模型的随形冷却水道的加工制造采用 CNC 结合金属 3D 打印方式,大部分的冷却水道利用传统 CNC 加工,局部较难冷却的地方,根据制件形状,设计出随形冷却水道,采用 3D 打印方式加工。主要针对该汽车后视镜壳局部壁厚较厚处采用镶件进行仿血管模型的随形冷却设计,加强冷却,消除热点。其镶件及其随形冷却水道的设计如图 17 所示。



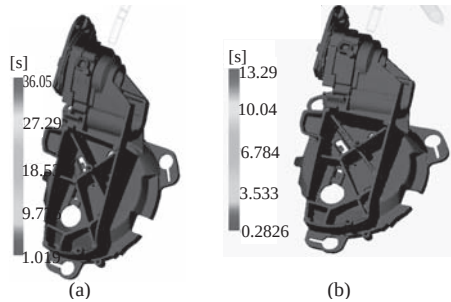
a—镶件;b—镶件中的随形冷却水道设计

图 17 带有随形冷却水道的镶件

2.3 分析结果对比

带传统冷却水道和带随形冷却水道的注塑制品达到顶出温度的时间分别如图 18 所示。从图 18 可知,带传统冷却水道的注塑制品达到顶出温度的时间为 36.05 s,而带随形冷却水道的注塑制品达到顶出温度的时间为 13.29 s。两者比较可以很明显地发现,带随形冷却水道可使制品达到顶出温度的

时间减少了近 2 / 3,冷却时间大大缩短,很大程度上缩短了成型周期。



a—传统冷却水道方案;b—随形冷却水道方案

图 18 制品达到顶出温度的时间

传统冷却水道方案和随形冷却水道方案的模流分析时间对比如表 2 所示。

表 2 传统冷却水道和随形冷却水道方案模流分析时间对比 s

方案	填充时间	保压时间	冷却时间	开合模时间	成型周期时间
传统冷却水道	1.8	12	36	10	59.8
随形冷却水道	1.8	12	13.3	10	37.1

2.4 实际生产结果对比

仿血管模型的随形冷却水路采用 CNC 结合金属 3D 打印方式制造,其镶件实物图如图 19 所示,注塑模具实物图如图 20 所示。图 21 为采用传统冷却水道方案得到的制品实物图和采用随形冷却水道方案得到的制品实物图。

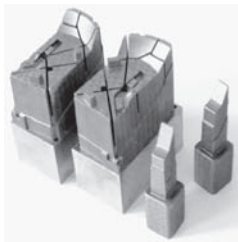


图 19 镶件实物

实际生产中发现,采用传统冷却水道方案得到的制品表面的刮痕严重,开模时粘模严重,而采用随形冷却水道方案得到的制品表面很光滑,没有粘模。

传统冷却水道方案和随形冷却水道方案的实际生产时间对比如表 3 所示。实际生产结果显示,传统冷却水道方案的总生产周期为 59.8 s,随形冷却水道方案的总生产周期为 45.8 s,降低大约 23%,与模流分析结果大致吻合。

表 3 传统冷却水道和随形冷却水道方案实际生产时间对比 s

方案	填充时间	保压时间	冷却时间	开合模时间	成型周期时间
传统冷却水道	1.8	12	36	10	59.8
随形冷却水道	1.8	12	22	10	45.8

3 结论

主要研究仿血管模型的随形冷却水道设计与

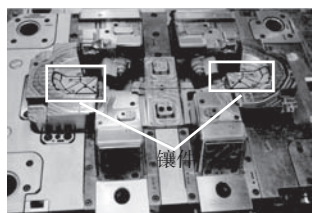
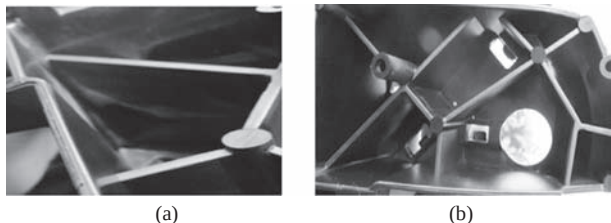


图20 注塑模具实物



a—传统冷却水道方案; b—随形冷却水道方案

图21 两种冷却水道方案制得的后视镜壳制品实物图

优化。分析了仿血管模型的随形冷却水道设计的原理,然后采用仿血管模型设计了汽车某配件注塑成型模具的随形冷却水道,并将传统直线型冷却水道方案和优化后的随形冷却水道方案的实际生产结果进行对比,发现随形冷却水道的冷却效果比传统冷却水道的冷却效果大大改善,冷却时间也大大减少。

参考文献

- [1] 宋珂,胡青春,姜晓平. 注塑模具冷却水道排布优化设计[J]. 塑料工业,2014,42(12):45-48.
Song Ke, Hu Qingchun, Jiang Xiaoping. Optimization design of injection mold cooling channels arrangement[J]. China Plastics Industry, 2014, 42(12):45-48.
- [2] 杨翔鹏,王霏,张际亮,等. 应用 Moldflow 和 SLM 的随形冷却水道注塑模具设计与制作[J]. 应用激光,2017,37(2):282-287.
Yang Xiangpeng, Wang Fei, Zhang Jiliang, et al. Design of injection mold for conformal cooling channel based on SLM[J]. Applied Laser, 2017, 37(2):282-287.
- [3] 吴成龙. 基于 3D 打印的随形冷却水道注塑模设计与制造技术研究[D]. 广州:华南理工大学,2015.
Wu Chenglong. Research on injection mold design and manufacturing technology for cooling channel based on 3D printing[D]. Guangzhou:South China University of Technology, 2015.
- [4] 陈胜贵,刘艾岑,孙振忠. 基于 Moldex3D 的塑胶模具随形冷却水道优化设计[J]. 机电工程技术,2016,45(7):44-50.
Chen Shenggui, Liu Aicen, Sun Zhenzhong. Optimization design of conformal cooling channel for plastic mould based on Moldex3D[J]. Mechanical & Electrical Engineering Technology, 2016, 45(7):44-50.
- [5] 徐华鹏. 注塑模具多孔随形冷却水道设计成形研究[D]. 重庆:重庆大学,2016.
Xu Huapeng. Study on design of porous cooling channel for injection mold[D]. Chongqing:Chongqing University, 2016.
- [6] 吕志杰,黄尚宇,董晨阳. 注塑模冷却水道工艺参数优化[J]. 工程塑料应用,2017,45(8):80-83.
Lyu Zhijie, Huang Shangyu, Dong Chenyang. Optimization of parameters for cooling channel of injection mold[J]. Engineering Plastics Application, 2017, 45(8):80-83.
- [7] 何雪冰. 一种注塑模冷却水道设计[J]. 装备制造技术,2016(7):65-66.
He Xuebing. Design of cooling channel for injection mold[J]. Equipment Manufacturing Technology, 2016(7):65-66.
- [8] 张美丽,辛勇. 基于随形冷却技术的医用针筒注塑模具设计[J]. 塑料工业,2015,43(11):61-64.
Zhang Meili, Xin Yong. Design of injection mold for medical syringe barrel based on conformal cooling technology[J]. China Plastics Industry, 2015, 43(11):61-64.
- [9] 李月明. 基于鼠标的随形冷却注塑模多目标优化研究[J]. 塑料工业,2016,44(5):66-70.
Li Yueming. Study on multi-objective optimization of the injection mold with conformal cooling channels based on mouse[J]. China Plastics Industry, 2016, 44(5):66-70.
- [10] 郭东海,冯涛,段国庆,等. 基于 SLM 成形随形冷却水道注塑模具的应用[J]. 电加工与模具,2017(6):42-45.
Guo Donghai, Feng Tao, Duan Guoqing, et al. Application of injection mold for forming cooling water channel based on SLM[J]. Electromachining & Mould, 2017(6):42-45.
- [11] 刘斌,吴茜. 注塑模具随形冷却水道的设计方法与分析[J]. 工程塑料应用,2017,45(8):123-128.
Liu Bin, Wu Xi. Analysis and design method of conformal cooling channel of injection mould[J]. Engineering Plastics Application, 2017, 45(8):123-128.
- [12] 林权,刘瑞来. 基因遗传算法结合模流分析优化注塑模冷却水道设计[J]. 中央民族大学学报:自然科学版,2018,27(1):27-33.
Lin Quan, Liu Ruilai. Optimization of injection mold cooling water channel by genetic algorithm combined with mold flow analysis[J]. Journal of Minzu University of China: Natural Sciences Edition, 2018, 27(1):27-33.
- [13] 张晨峰. 应用异型水路设计改善楔型导光板射出成型质量之研究[D]. 中国台湾省:台湾国立高雄科技应用大学,2013.
Zhang Chenfeng. Research on improving the quality of wedge-shaped light guide plate by using special shaped waterway design[D]. Taiwan Province of China: National Kaohsiung University of Applied Sciences, 2013.
- [14] 闵全钊. 埋管法的随形冷却注塑模关键技术研究[D]. 广州:华南理工大学,2015.
Min Quanzhao. Research on the key technology of the cooling mold with the embedded tube method[D]. Guangzhou:South China University of Technology, 2015.
- [15] 辛勇. 随形冷却对注塑成型制品翘曲变形影响研究[D]. 南昌:南昌大学,2014.
Xin Yong. Effect of cooling with shape on Warpage of injection molded parts[D]. Nanchang: Nanchang University, 2014.