

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2015.10.014

基于 3D 打印的随形冷却水道注塑模具设计

刘斌,谭景焕,吴成龙

(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:以某机床冷却水泵叶轮塑件的注塑模具为研究对象,采用不同的方案进行随形冷却水道的设计,利用 Moldflow 软件进行模流分析,选出冷却效果最优的冷却方案,并根据所确定的冷却方案进行随形冷却水道和型腔镶件的设计;然后利用 3D 打印中的选择性激光熔化技术进行加工制造,得到随形冷却水道与型腔一体的模具镶件;最后完成整个模具的装配,并注射成型出合格的叶轮塑件。

关键词: 注塑模具; 随形冷却水道; 3D 打印; SLM; 模具镶件

中图分类号: TQ320.5+2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2015)10-0071-04

Design of Injection Mould with Conformal Cooling Channel Based on 3D Printing

Liu Bin, Tan Jinghuan, Wu Chenglong

(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 : An injection mould of a plastic impeller, which was used for machine tool cooling water pump, was taken as an targeted research subject. Different schemes were adopted to design the conformal cooling system. Moldflow software was used to finish the mold flow analysis of the plastic part in order to find out an optimal scheme of cooling performance. According to the cooling option, the conformal cooling channel and cavity insert were designed correspondingly, then a mould insert integrated with conformal cooling system and cavity was manufactured by SLM technique in 3D printing. Finally, the mould was assembled together and the impeller was qualifiedly injection molded.

Keywords : injection mould ; conformal cooling channel ; 3D printing ; SLM ; mould insert

美国麻省理工学院的 E. Sachs 教授在 1997 年提出了注塑模随形冷却技术^[1],认为该技术将是 3D 打印最主要的应用之一。注塑模具的随形冷却方式与传统的冷却方式的区别在于,其冷却水道的形状随着注塑制品的外形变化而不再呈直线状。这种冷却水道很好地解决了传统冷却水道与模具型腔表面距离不一致的问题,可以使得注塑制品得到均匀的冷却,冷却效率更高^[2-6]。

随着近年来 3D 打印技术的发展,随形冷却技术成为了注塑模具冷却系统研究的热点。用 3D 打印技术制造随形冷却模具,不仅简化了制造工艺,同时也方便了随形冷却水道的设计,提高了设计的效率,随形性更为理想。目前应用比较广泛的用于制造随形冷却模具的 3D 打印技术主要有:选择性激光烧结(SLS)、选择性激光熔化(SLM)、直接金属激光烧结(DMLS)、电子束选区熔化(EBSM)、激光近净成形(LENS)等,其中以 DMLS 和 SLM 更具成型优势,且 DMLS 与 SLM 的成型原理相近。

SLM 是由德国 Fraunhofer 激光器研究所提出。采用 SLM 技术制造的产品,无需后期的高温烧结和渗铜,工艺简单,产品相对致密度可达到正常金属的 99.5%,可进行任何机械加工^[7]。

传统注塑模具包括成型零件、导向部件、浇注系统、脱模机构、抽芯机构、排气系统、温控系统和其它结构零件等 8 个部分,其中,可以采用 3D 打印制造的主要部件是成型零件和冷却系统,这些部件的设计与传统设计有所不同。因此,笔者着重介绍注塑模具中成型零件和冷却系统(即随形冷却水道)的设计与制造。

1 塑件模型分析

某机床冷却水泵叶轮塑件结构如图 1 所示,其半径为 37 mm,高 10 mm,壁厚 1 mm,壁厚均匀,叶片靠近中心处较高,边缘处较矮,脱模斜度为 1°,

联系人:刘斌,博士,教授,主要研究方向为模具 CAD/CAE/CAM 和材料成型装备及数控技术

收稿日期:2015-07-18

塑件质量要求不允许有裂纹,材料为高密度聚乙烯。

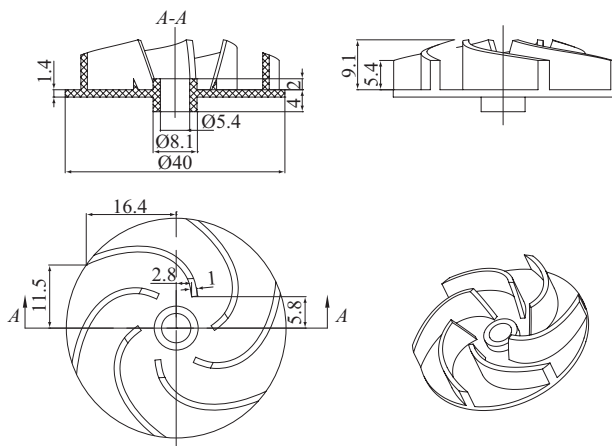


图1 叶轮结构示意图

该塑件的结构较为简单,整体体积较小,相邻叶片之间空间小,叶片为曲面状,难点在于叶片的冷却。对于型腔,通常的做法是在型腔底部设置一条冷却水道,但无法从根本上解决叶片冷却缓慢的问题,型腔上靠近叶片的位置容易产生热点,造成冷却不均,引起翘曲形变。为改善冷却效果,采用随形冷却方案,模具结构设计成镶嵌式,在型腔内部沿着叶轮叶片的空间设置随形冷却水道。

对于型芯,主要冷却部分为叶轮上部的圆形平面,其冷却水道可以采用并联式水道,也可以将冷却水道设计成圆环状。

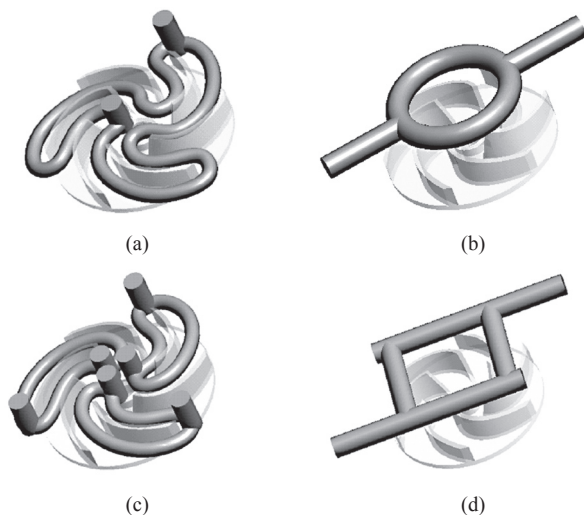
2 冷却系统设计及模拟分析

2.1 冷却水道的设计

3D 打印的冷却水道的截面形状多种多样,可以是 U 形、圆形和椭圆等截面。笔者设计的随形冷却水道的截面选用圆形截面,因为圆形截面的管道比较适合 SLM 成型工艺,不存在尖角,从而减小了边角处的热应力积累,避免注塑时因应力集中而造成模具损坏,而且,选用圆形截面可以借鉴注塑模具传统冷却水道的设计经验,可以更好地控制模具壁面温度。该叶轮注塑模具的型腔型芯可以分为端面及叶片两部分分别进行冷却。具体的冷却方案如下所示。

(1) 型腔的冷却方案。如图 2 所示,型腔的冷却方案共有 4 种:方案 1,冷却水道直径为 3 mm,管道具有 1 个入水口,1 个出水口,如图 2a 所示;方案 2,冷却水道直径为 4 mm,冷却水道整体外形为环形,如图 2b 所示;方案 3,冷却水道为圆形,直径为 3 mm,管道具有 3 个入水口,3 个出水口,如图 2c 所示;方案 4,冷却水道直径为 4 mm,冷却水道整

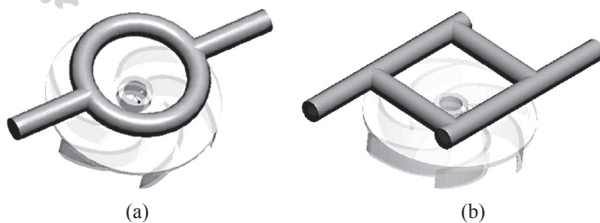
体外形为矩形,如图 2d 所示。



a—方案 1; b—方案 2; c—方案 3; d—方案 4

图2 型腔的冷却水道布局方案

(2) 型芯的冷却方案。如图 3 所示,型芯的冷却方案共有两种:方案 A,冷却水道直径为 6 mm,冷却水道整体外形为环形,如图 3a 所示;方案 B,冷却水道直径为 6 mm,冷却水道整体外形为矩形,如图 3b 所示。



a—方案 A; b—方案 B

图3 型芯的冷却水道布局方案

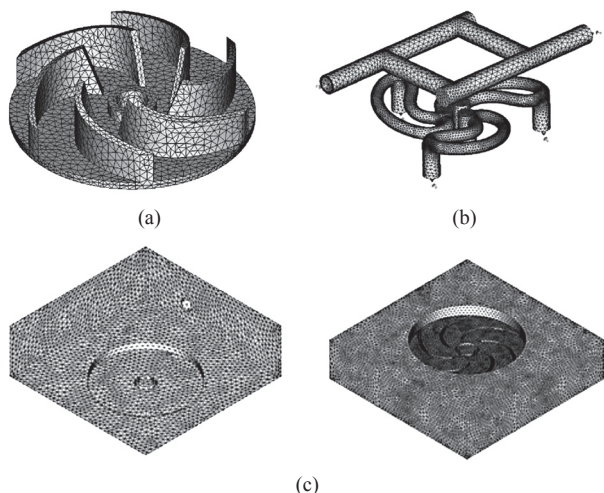
2.2 冷却分析

对以上不同的冷却设计方案,使用 Moldflow 软件进行冷却模拟分析。分析时采用的工艺参数为:开模时间为 5 s,保压 8 s,熔体温度为 220℃,冷却水温度为 25℃。由于实际生产中主要考虑制品的冷却,因此在叶轮的冷却分析中,忽略了浇注系统的冷却,以注塑位置替代。分析方案共 8 组,分别以“型腔冷却方案+型芯冷却方案”表示,如 1A 为一组。

分析网格模型如图 4 所示(以方案 3B 为例),包括:塑件 3D 网格模型(图 4a)、冷却水道 3D 网格模型(图 4b)和模具 3D 网格模型(图 4c)。

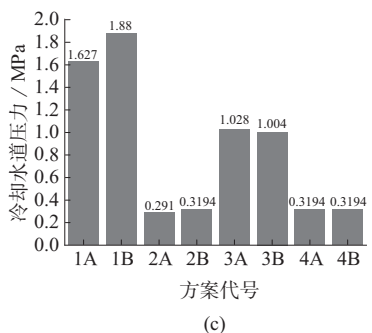
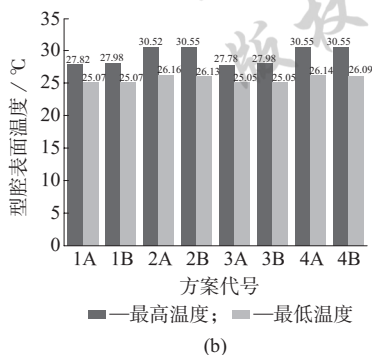
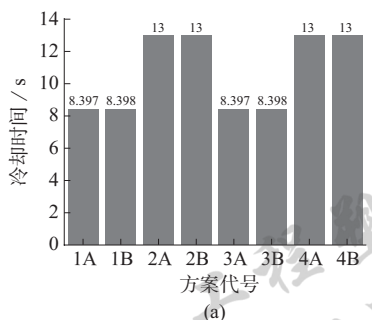
2.3 模拟结果及分析

通过冷却分析,各实验方案的冷却时间、模具型腔表面温度和冷却水道压力模拟结果分别如图 5a、图 5b 和图 5c 所示。



a—塑件 3D 网格模型; b—冷却水道 3D 网格模型;
c—模具 3D 网格模型

图4 网格模型(以方案3B为例)



a—冷却时间; b—型腔表面温度; c—冷却水道压力

图5 不同方案冷却模拟结果

从图 5a 可以看出,8 组实验方案中,方案 1A, 1B,3A 和 3B 的冷却时间基本一致,这主要是因为

对于该塑件,决定冷却时间长短的关键在于叶片的冷却,这 4 组冷却方案中,型腔具有随形冷却水道,对叶轮叶片的冷却效率更好,因此冷却时间更短,对比方案 2A,2B 和 4A,4B,这 4 组冷却方案的冷却时间缩短了约 35.4%。

从图 5b 可以看出,方案 1A,1B,3A 和 3B 的型腔表面温度分布宽度在 2.8℃左右,方案 2A,2B 和 4A,4B 的型腔表面温度分布宽度约为 4.4℃。总体上来看,各实验方案都具有较好的均匀性,这主要是因为该塑件体积较小,几乎全部处于冷却水道所覆盖的冷却范围内,在足够的冷却时间内,均可获得较为均匀的冷却效果。综合来看,方案 1A,1B,3A 和 3B 的型腔表面温度分布均匀性可提高约 36.4%。

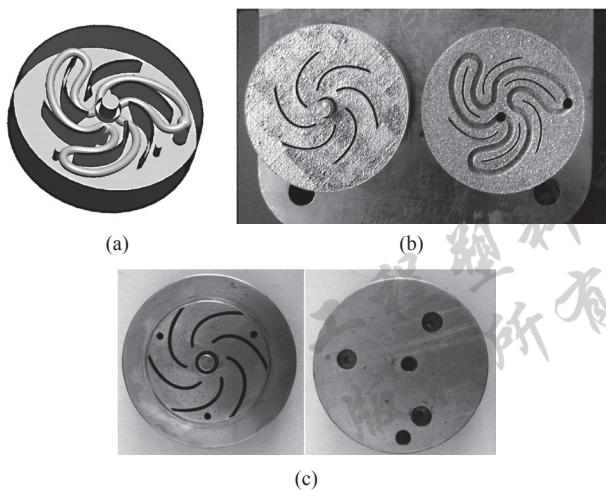
从图 5c 可以看出,具有 3 个入口的随形冷却水道的压力约为传统冷却水道的 3.3 倍,具有 1 个入口的随形冷却水道的压力约为传统冷却水道的 6 倍。总体上,随形冷却水道的压力比传统冷却水道的压力大很多,这是由于随形冷却水道的直径较小,管路弯曲,流动的阻力较大。1 个入水口的随形冷却水道流程较长,因此压力比 3 个入水口的水道压力大。

通过以上分析可知,一方面,随形冷却具有较高的冷却效率,冷却均匀性很好,且模具壁面温度接近于冷却水温度,这是由于冷却水道更加贴近型芯型腔壁面,随形冷却的冷却覆盖面几乎包括塑件的所有区域,模具与冷却水的换热很快,因此冷却效果得到很大提升。另一方面,随形冷却水道的压力损失较大,是传统冷却水道的几倍,因此,通入冷却水时就需要较大的泵送力。

3 模具的设计与制造

根据以上的冷却分析结果,方案 1A,1B,3A 和 3B 的冷却效果相差不大。虽然方案 1B 的管道压力较大,但是方案 3A 和 3B 存在型腔随形冷却水道入口或者出口水路太过复杂的问题,不利于加工,而方案 1A 中的型芯冷却水道为圆形,其与方案 1B 中的矩形型芯冷却水道相比,也存在加工难度相对较大的问题。因此,注塑模具最终采用 1B 的冷却方案,即型芯使用传统冷却水道,型腔采用有 1 个入水口和 1 个出水口的随形冷却水道。型芯结构简单,可采用整体式设计,并使用传统机械加工进行制造。型腔采用镶嵌式,中间带随形冷却水道的镶件采用 SLM 的 3D 打印工艺制造,以减少成型工件的尺寸,降低加工成本,外部镶块采用机械加工。

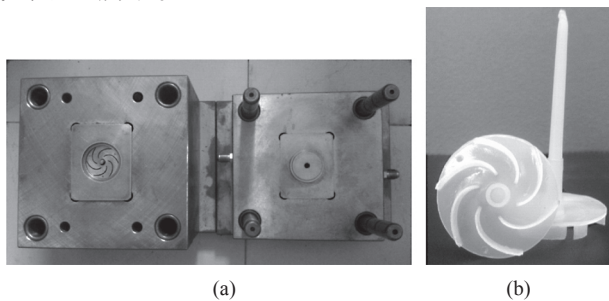
考虑到塑件的结构特征、使用环境、质量要求及3D打印工艺的特性等因素,3D打印成型镶件后,需对端面进行机械加工,以降低表面粗糙度。型芯的底部需要添加支撑,去除支撑后也需要机械加工,以保证与动模板的配合。所以,进行模具设计时,需要预留足够的加工余量,对应本套模具,取0.6 mm。至于成型叶片的位置,由于是轮廓堆积面,表面比较平整,使用喷砂处理即可,设计时可以按照标准尺寸设计,拔模斜度设计为1°。顶针孔设置在塑件边缘处,为防止注塑时因孔与顶杆配合间隙过大而形成塑件飞边,将孔缩小设计,后续采用机械加工进行扩孔。模具镶件的三维模型、SLM成型的模具镶件和经表面打磨的模具镶件分别如图6a、图6b和图6c所示。



a—模具镶件的三维模型; b—SLM成型的模具镶件;
c——表面加工与打磨后的模具镶件

图6 模具镶件

最终模具的整体装配如图7a所示。选用合适的工艺参数对叶轮进行注塑,得到合格的叶轮塑件如图7b所示。



a—模具装配实物图; b—叶轮塑件
图7 模具装配图及注塑叶轮塑件

4 结语

以某机床冷却水泵叶轮塑件的注塑模具为研究对象,设计并制造出一套随形冷却水道注塑模具,并注射成型出合格的叶轮塑件。采用不同的冷却方案进行随形冷却水道的设计,通过Moldflow软件进行模流分析,对比了不同冷却方案的冷却效果与管道压力分布,选取最佳方案进行模具镶件的设计;根据塑料叶轮的结构特征对型腔镶块和型芯进行设计,完成了型腔镶件的3D打印,以及型腔镶块和型芯的加工;完成注塑模具的装配,选用合适的工艺参数进行注射成型,得到合格的叶轮塑件。

参考文献

- [1] Sachs E, Eylonis E, Allen S, et al. Production of injection molding tooling with conformal cooling channels using the three dimension printing process[J]. Polymer Engineering and Science, 2000, 40(8):1 232-1 247.
- [2] Wang Yu, Yu Kaimin, Wang C C L, et al. Automatic design of conformal cooling circuits for rapid tooling[J]. Computer Aided Design, 2011, 43(8):1 001-1 010.
- [3] Dang Xuan-Phuong, Park Hong-Seok. Design of U-shape milled groove conformal cooling channels for plastic injection mold[J]. International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, 2011, 12(1):73-84.
- [4] 程蓉, 伍晓宇, 郑建平. 基于SLS的随形冷却水道注塑模间接快速制造技术[J]. 模具工业, 2011, 37(4):70-75.
Cheng Rong, Wu Xiaoyu, Zheng Jianping. Indirect rapid manufacture of injection mould with conformal cooling channels based on SLS[J]. Die & Mould Industry, 2011, 37(4):70-75.
- [5] 何寅. 随形冷却水道注塑硬模快速制造方法研究[D]. 武汉: 湖北工业大学, 2012.
He Yin. Study on rapid manufacturing of hard injection mold with conformal cooling channels[D]. Wuhan: Hubei University of Technology, 2012.
- [6] 王勇. 注塑模随形冷却优化设计及分型制造方法的研究[D]. 武汉: 湖北工业大学, 2013.
Wang Yong. Study on the optimization and mold parting method of conformal cooling channels for injection mold[D]. Wuhan: Hubei University of Technology, 2013.
- [7] 杨永强, 刘洋, 宋长辉. 金属零件3D打印技术现状及研究进展[J]. 机电工程技术, 2013, 42(4):1-7.
Yang Yongqiang, Liu Yang, Song Changhui. The status and progress of manufacturing of metal parts by 3D printing technology[J]. Mechanical and Electrical Engineering Technology, 2013, 42(4):1-7.