

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2023.02.013

多孔隔板注射成型随形水路优化及模具结构设计

林权, 刘其南, 林丽敏, 刘磊, 王先保

(武夷学院机电工程学院, 福建武夷山 354300)

摘要: 传统冷却水路设计受制于模具结构及加工条件, 常导致冷却效率低, 成型质量不佳等问题, 为此以多孔隔板塑件为例, 应用模流分析技术进行冷却水路优化设计, 通过比较分析传统常规水路与随形水路对产品成型冷却影响, 获知随形冷却水路对比常规水路, 达到顶出温度时间减少了 24%, 成型周期时间节约了 30.5%, 热移除效率提高了 23.8%, 产品温度分布均匀性提高了 27.25%, 有效最高温度下降了 10.15%, 有效最低温度也下降了 10.60%, 产品总体翘曲变形量下降了 13.56%, 随形水路对改善冷却效果作用显著。最后, 对一模一腔的随形水路多孔隔板注塑模进行结构设计, 为了避免结构干涉, 采用了潜伏浇口搭配“一内三外”的侧向抽芯结构方式, 有效地简化了模具结构, 使加工的多孔隔板质量优良, 为类似产品注塑模具设计提供参考。

关键词: 多孔隔板; 注射成型; 模流分析; 随形水路; 冷却优化; 模具设计

中图分类号: TQ320.66 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2023)02-0084-07

Optimization of Conformal Channel for Injection Molding of Porous Barrier and Design of Mould Structure

Lin Quan, Liu Qinan, Lin Limin, Liu Lei, Wang Xianbao

(School of Mechanical and Electrical Engineering, Wuyi University, Wuyishan 354300, China)

Abstract : Since the traditional cooling channel design is limited by the mould structure and processing conditions, it often leads to problems such as low cooling efficiency and poor molding quality. In order to solve the problems, taking the plastic parts of porous barrier as an example, the mold flow analysis technology was used to optimize the design of cooling channels, and the influence of traditional conventional channel and conformal channel on the cooling of product molding was compared and analyzed. The results show that, compared with the conventional channels, the ejection temperature time of conformal cooling channels is reduced by 24%, the molding cycle time is saved by 30.5%, the heat removal efficiency is increased by 23.8%, the product temperature distribution uniformity is increased by 27.25%, and the effective maximum temperature is decreased by 10.15%, the effective minimum temperature is decreased by 10.60%, and the overall warpage deformation of the product is decreased by 13.56%, the conformal channels have a significant effect on improving the cooling effect. Finally, the structural design of the injection mould with one mould and one cavity was carried out. To avoid the structure interference, a lateral core-pulling structure of "one inside and three outside" combined with submarine gate was adopted, which effectively simplified the mould structure and made the processed porous barrier with good quality. It is hoped to provide a reference for the design of injection moulds for similar products.

Keywords : porous barrier ; injection molding ; mold flow analysis ; conformal channel ; cooling optimization ; mould design

目前冷却水路的设计大多依照传统经验法则, 并使用直通钻孔方式制作, 但随着产品日趋复杂, 以及模内结构与装置增加, 在设计水路时, 除了需对产品提供均匀的冷却之外, 还需注意不能干涉到

模具内其它机构, 因此冷却水路设计空间自由度小, 设计难度倍增, 常造成冷却时间增加与产品产生翘曲变形等不足^[1-3]。随着三维打印技术的发展以及激光烧结技术的成熟, 随形冷却技术在注塑模

基金项目: 国家自然科学基金项目(61903288), 福建省教育厅中青年教师科研项目(JAT190775)

通信作者: 林权, 副教授, 硕士, 研究方向为塑料成型工艺及模具 CAD/CAE 技术

收稿日期: 2022-11-02

引用格式: 林权, 刘其南, 林丽敏, 等. 多孔隔板注射成型随形水路优化及模具结构设计[J]. 工程塑料应用, 2023, 51(2): 84-90.

Lin Quan, Liu Qinan, Lin Limin, et al. Optimization of conformal channel for injection molding of porous barrier and design of mould structure[J]. Engineering Plastics Application, 2023, 51(2): 84-90.

水路设计中得到青睐,其不受传统水路加工限制,设计时更贴近产品轮廓,能有效解决产品死角积热问题,使产品整体冷却均匀,尤其对于复杂的模具结构,更能展现其优点^[4-5]。笔者以多孔隔板塑件为研究对象,应用Moldex3D模流分析技术,比较分析传统常规水路与随形水路对产品成型冷却影响,探讨解决该模具的冷却效果不佳、生产周期长等问题,并进行注塑模具结构设计。

1 塑件结构工艺分析

图1为多孔隔板塑件三维结构及流道系统模型,塑件基本尺寸为78 mm×120 mm×66 mm,平均壁厚约为2 mm,多孔隔板作为仪器面板,要求外表面光滑、无明显瑕疵缺陷、强度及硬度高,成型过程不出现短射、裂痕、空孔、凹痕等缺陷。塑件顶面有两个通孔与一个沉头孔,沉头孔部分壁厚较小,容易出现短射,如图1中A点位置。塑件前端面设置有一个窗口孔,侧面设置有若干个卡扣连接孔,以及内侧边缘分布有较多的连接卡扣,使塑件外轮廓部分壁厚较大,为主要散热区域,如图1中B点位置。塑件后侧中部,有一个长40 mm的连接柱,为局部热节点,如图1中C点局部视图所示。多孔隔板塑件材料选用来自奇美公司的丙烯腈-丁二烯-苯乙烯塑料(ABS)材料,牌号为PA-765,材料模具温度范围为40~80℃,熔体温度范围为195~235℃,绝对最大熔体温度为255℃,顶出温度为90℃,最大剪切力为0.3 MPa,最大剪切速率为50 000 s⁻¹,熔体密度为1.09 g/cm³,当熔体温度为215℃时,材料热导率为0.27 W/(m·K),比热为2 000 J/(kg·K)。

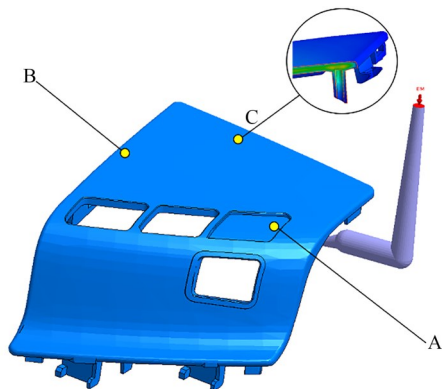
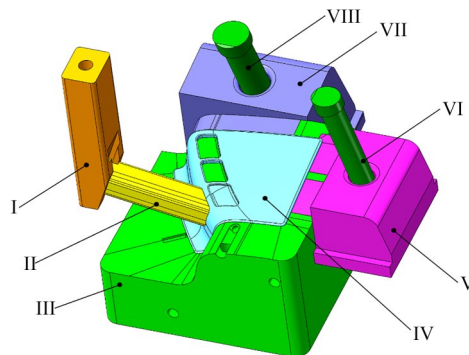


图1 塑件三维结构及流道系统

从图1多孔隔板结构分析可知,成型加工的关键是塑件各面的成型孔及周边卡扣,模具需要在多个方向采用侧向分型与抽芯机构,综合考虑塑件的产量、精度、模具生产成本等因素,选择采用一模一

腔布局,分型面选取塑件轮廓最大处,曲线分型,塑件主要成型零部件结构设计如图2所示。塑件外表面定模型腔部分采用一体成型,塑件内表面动模部分由主型芯与局部镶件滑块等组合构成。



I—方销; II—侧型芯; III—动模型芯; IV—塑件; V—第一侧滑块;
VI—第一斜导柱; VII—第二侧滑块; VIII—第二斜导柱

图2 塑件成型零部件结构

2 成型浇注系统设计

通过利用Moldex3D最佳浇口位置分析模块,结合图2塑件成型零部件结构设计,选择在塑件内表面靠近A点的筋板上设置潜伏浇口,这种设计不仅不影响塑件外观,而且进料区域接近塑件中心,既有利于成型压力布局,又有利于薄壁沉头孔充填,流道系统构成如图1所示。图1中锥形主流道始端直径为3.5 mm,锥度为2°,圆形分流道直径为8 mm,锥形潜伏浇口始端直径为1.5 mm,末端为5.0 mm。通过利用Moldex3D成型窗口模块,获得成型工艺参数如下:模具温度为80.0℃,熔体温度为235.0℃,注射时间为0.6 s,开模时间为5.0 s。为了更贴近真实生产过程,模拟注射生产过程中的参数变化,充填控制手段采用相对螺杆速度曲线的流道速率与注射体积,当注射体积百分比分别为10.0%, 15.0%, 30.0%, 40.0%, 50.0%, 60.0%, 70.0%, 80.0%, 90.0%, 100.0%, 对应的熔体流动速率为25.8%, 25.8%, 63.5%, 74.5%, 75.0%, 91.5%, 100.0%, 59.6%, 41.9%, 22.3%。

3 冷却系统设计

3.1 常规水路设计

常规冷却水路是在模具型腔板或型芯上钻孔加上水嘴、堵头形成水路,依据多孔隔板塑件结构和流道型腔布局,建立常规冷却系统模型如图3所示。水路采用传统加工工艺,分别是位于塑件上方和下方的一条阶梯式直通冷却回路,水路直径统一设计为8 mm,依据传统1:3:5规则进行水路排

列^[6-7],即水路直径:水路中心至型腔表面距离:相邻水路间中心间距的比值为1:3:5,并设置冷却水雷诺数为10 000,冷却水温为40℃。

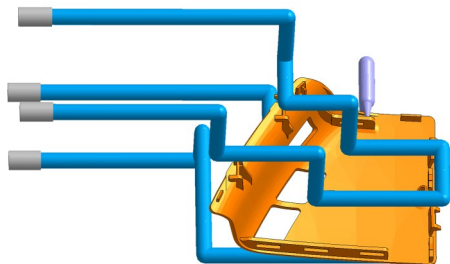


图3 常规水路冷却系统模型

3.2 随形水路设计

随形水路是由带水路的成型零件通过将金属粉末激光烧结成型而成,常见的冷却水路的截面形状有圆形、椭圆、U形等,由于圆形截面的管道比较适合选择性激光熔化(SLM)成型工艺,且不存在尖角,从而减小了边角处的热应力积累,避免了在较大注射压力作用下发生模具开裂损坏等情形^[8-9]。从图2多孔隔板模具成型结构分析,该塑件冷却可分为定模和动模两部分,塑件外表面为一体式定模型腔成型,依据实践经验,外表面的冷却效果一般优于内表面,因此随形水路设计主要考虑在成型内表面的动模型芯上进行构造,以加强塑件内表面冷却,缓解积热,均衡动模温。图4为多孔隔板塑件随形水路设计方案,在动模型芯内部沿着多孔隔板的形状空间布局设置随形冷却水路,巧妙地避开了其它成型结构零件,冷却介质相关参数设置与常规水路一致。

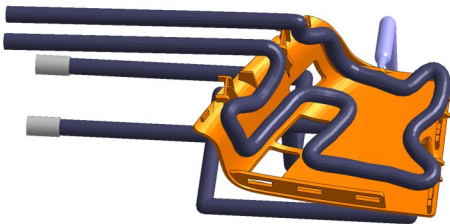


图4 随形水路冷却系统模型

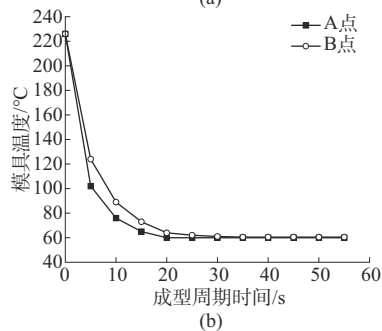
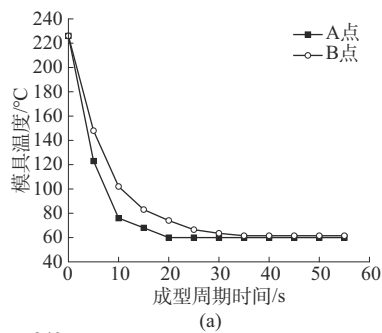
4 模流结果分析

4.1 水路形式对冷却时间影响

多孔隔板塑件原料为ABS PA-765,其顶出温度为90℃,所以只有当产品中心层各部分温度低于90℃时,才能进行产品顶出,以确保顶出时产品强度能承受顶出力,避免因刚性不足,在顶出时造成产品变形或破裂。另外在产品顶出后,为了避免因产品各部位温差太大而发生收缩不均与翘曲,最终

导致产品变形从而影响质量,故对于产品脱模条件,除了需要低于顶出温度外,还需确定产品最厚处与较薄处中心层的温度差不大于5℃。在此,为了观察冷却分析过程中产品内部温度随时间的变化,在图1中选取远离浇口位置的塑件最厚处B点与离浇口较近的较薄处A点作为参考点,利用Moldex3D进行模流分析。

图5为产品中心层温度随时间变化的曲线,其中图5a为常规水路中心层温度随时间变化曲线,图5b为随形水路中心层温度随时间变化曲线,由图5可知,常规水路中塑件A和B点的温度分别于8.4 s和12.2 s低于材料顶出温度,在28.5 s时两点温度差小于5℃,达到可以脱模顶出状态;随形水路中塑件A和B点的温度分别于6.5 s和9.5 s低于材料顶出温度,在19.8 s时两点温度差小于5℃,达到可以脱模顶出状态。由此可知,随形水路达到可顶出温度的时间减少24%,并进一步减小产品温差到达小于5℃的时间,可以节约成型周期时间30.5%,主要原因是随形水路的传热面积明显大于常规水路,随形水路也更贴近热源。



a—常规水路; b—随形水路

图5 产品中心层温度随时间变化曲线

4.2 水路形式对热移除效率影响

冷却水路与产品距离越近、水路内冷却液雷诺数越高、冷却液与模具间温差越大,热移除效率则越高,所以通过比较热移除效率可以观察哪些水路能排除更多的热量,可以了解水路各个区域的运作

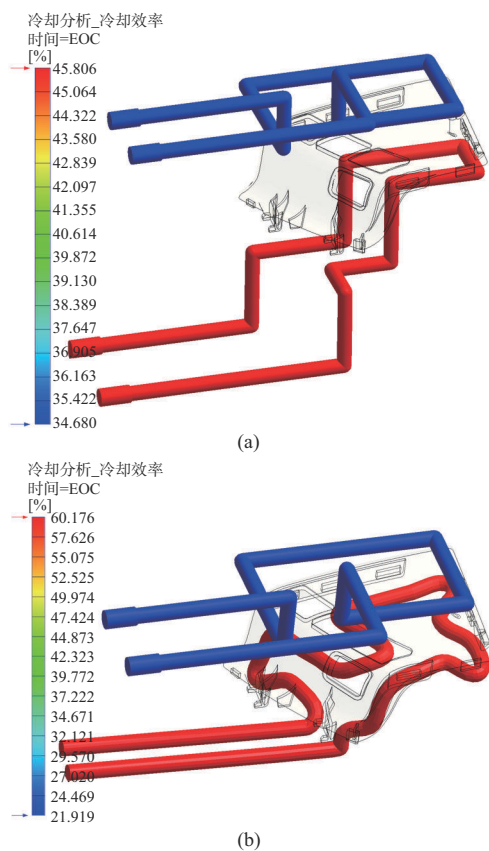
情形^[10]。冷却成型周期内,冷却水管的热移除效率计算如下:若 Q_c 表示透过水管放热量, Q_m 表示模座在成型过程总散热量,则可以把热移除效率定义为 $Q_c = [Q_c / (Q_c + Q_m)] \times 100\%$,此数据代表通过各水管吸收热量的百分比(效率),其中正值代表吸热,负值代表放热。

多孔隔板塑件设计冷却水温为40℃,水温上限为45℃,模具型腔表面温度上限为80℃,冷却水雷诺数为10 000,图6a为常规水路热去除效率模流分析结果,图6b为随形水路热去除效率模流分析结果。通过图6a和图6b的模流冷却分析结果可知,对于常规水路布局,定模水路移除热量为34.680%,动模水路移除热量为45.806%,标准差为5.556;对于随形水路布局,定模水路移除热量为21.919%,动模水路移除热量为60.176%,标准差为2.579,两者比较发现,内表面为主要热移除区,随形水路吸收了更多的热量,尤其是动模部分,热移除效率提高了23.8%,显著提高了塑件内表面散热效果。另外,从入口到出口的水路内冷却液温度变化,常规水路为2.17℃,随形水路为1.23℃,都满足水路温升小于

3℃的标准。

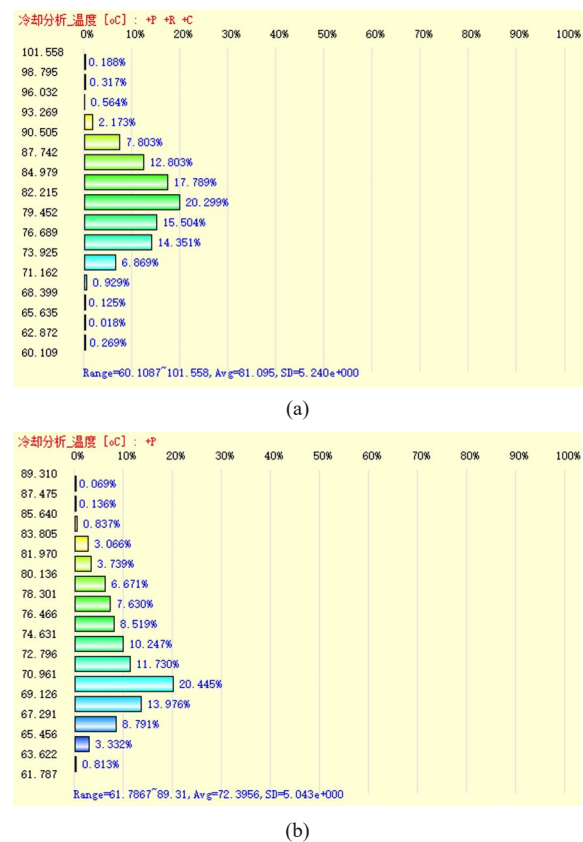
4.3 水路形式对零件温度影响

由于单一的模流冷却分析结果中,仅仅显示了塑件温度分布最大值和最小值,但大多数塑件产品顶出时温度分布是不均的,只有一小部分区域的温度为模流结果中的最大或最小值,因此单一值不适合直接作为指标进行比较^[11-12]。依据Moldex3D模流分析理论,提出采用变动指数法^[13],利用塑件产品温度分布色阶图的统计数据,来计算获取相对的变动指数,变动指数越小,则表示产品冷却系统参数设计合理,产品冷却固化越均匀。图7a和图7b分别为常规水路和随形水路顶出时的产品温度分布结果色阶图,图中描述了达到顶出时间塑件温度分布情形。图7a列出统计值由大到小的排列,例如排序第一的统计值为20.299%、排序第二的统计值为17.789%,以此类推;对应左侧零件温度轴,变动值处在一个范围内,在此固定取最上限值计算,比如排序第一统计值对应零件温度为82.215℃、排序第二统计值对应零件温度为84.979℃,以此类推;但也有部分统计值很小,其对应零件温度所分布的区域占比也很小,在此则忽略不计,所以比较分析时,



a—常规水路; b—随形水路

图6 水路热移除效率



a—常规水路; b—随形水路

图7 零件温度分布

取整体的95%来计算变动指数。零件温度分布变动指数定义为 $F_{CT,V}$,其计算方式如下:

$$F_{CT,V} = \frac{P_1 \times T_1 + P_2 \times T_2 + \cdots + P_n \times T_n}{T_1 + T_2 + \cdots + T_n} \quad (1)$$

式中: P_n ——色阶图中产品冷却分析结果各区域温度统计值;

T_n ——对应 P_n 的零件温度上限值。

由图7a可得,当 $n=8$ 时,常规水路布局的零件温度就满足覆盖塑件95%以上区域,由图7b可得,当 $n=10$ 时,随形水路布局的零件温度就满足覆盖塑件95%以上区域。

将图7常规水路和随形水路的零件温度分布统计数据分别代入公式(1)可获得两者零件温度变动指数分别为12.04与8.76,由此可知随形水路相比常规水路,其温度分布均匀性提高了27.25%,有效最高温度也下降了10.15%,有效最低温度也下降了10.60%,随形水路对均匀零件温度分布及降低有效作用温度有明显作用。

4.4 水路形式对翘曲的影响

翘曲变形量常作为判断产品质量好坏与冷却均匀与否的重要指标,影响变形量的因素有产品两侧温度不同所产生的收缩、产品各区域因厚度不同所产生的收缩、材料配向方向于平行和垂直方向所产生的收缩^[14-16]。根据多孔隔板塑件使用装配要求,其对平行于主流道方向的Z轴变形量特别重视,坐标轴方向如图8所示,表1为两种水路布局形式翘曲变形模流分析结果。从表1可以看出,两种水路形式在X轴方向差异值为0.054 mm,Y轴方向差异值为0.003 mm,X轴与Y轴的变化差异较小,主要

是其变形量不是由冷却差异所引起,故水路形式的改变并不会产生明显的影响,而Z轴变形量受水路形式影响较大,两种水路形式在Z轴方向差异值为0.112 mm,采用随形水路后翘曲变形量下降了18.48%,总体变形量下降了13.56%,主要原因是随形水路使塑件两侧温度不同所产生的收缩减小,有效缓解型腔型芯冷却差异。表1比较数据为两种形式水路在各方向及总体位移上的最大值,实际分析可知,在随形水路作用下,塑件产品大部分区域的翘曲变形量不足0.4 mm,符合产品变形量要求,随形水路作用下的翘曲变形总位移分布如图8所示。

5 注塑模具结构设计

多孔隔板注塑模具结构如图9所示,为一模一腔两板式注塑模,为了保证外观不留入水痕迹,采用潜伏浇口内侧进料,模具型腔由动模型芯11、定模镶件13、斜导杆8、第二侧滑块23以及侧型芯等零件构成,动模型芯11与定模镶件13接触面为分型面,呈曲线状,通过斜导杆8以及推杆29顶出成型固化在动模型芯11上的多孔隔板实现脱模。

鉴于塑件的多孔多卡扣等特征,在该模具上设计一副内侧抽芯机构和三副外侧抽芯机构。

内侧抽芯采用斜顶滑座机构,在此选用深圳三上公司的万向斜顶滑座,主要由滑动底座5、滑板33、斜顶滑座6、斜导杆8、停止板32、固定件7及销轴等零件构成,斜顶滑座6安装在推杆固定板4上,通过推出动作驱动斜导杆8将塑件成型卡扣脱离斜导杆8,并辅助塑件顶出,完成抽芯。

外侧抽芯机构主要用于成型图1中塑件侧面的窗口孔以及周边卡扣,塑件顶面两通孔位于开模方向,通过动模型芯11与定模镶件13碰穿而成。第一副外侧分型抽芯机构由图2中的第一侧滑块V、第一斜导柱VI构成,抽芯方向与开模方向垂直,采用螺钉进行滑块定位。第二副外侧分型抽芯机构由图2中的第二侧滑块VII,第二斜导柱VIII构成,也就是图9中第二侧滑块23,第二斜导柱21,因该侧滑块抽芯方向与开模方向不垂直,向定模一侧倾斜5.5°,因此必须设计可靠的滑块定位装置,主要由挡板24、衬套25、拉杆26、弹簧27组成。第三副外侧抽芯机构由图2中的固定于定模座板的方销I,以及与方销端部采用锥面T型槽相连接的侧型芯II构成,同样通过开合模动作实现侧向抽芯。

该模具冷却水路分别由定模的常规水路和动模的随形水路构成,常规水路开设在定模镶件13

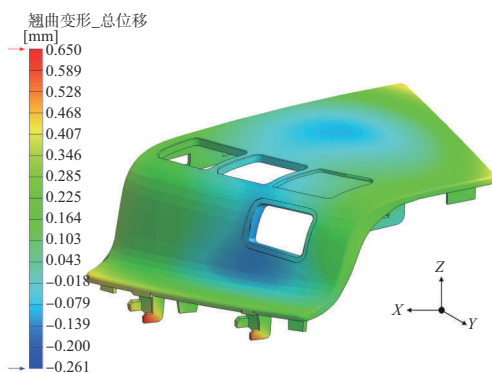


图8 随形水路作用下的翘曲变形总位移

表1 各水路形式产品变形量

水路形式	总体	X轴	Y轴	Z轴
常规水路	0.752	0.429	0.385	0.606
随形水路	0.650	0.483	0.388	0.494

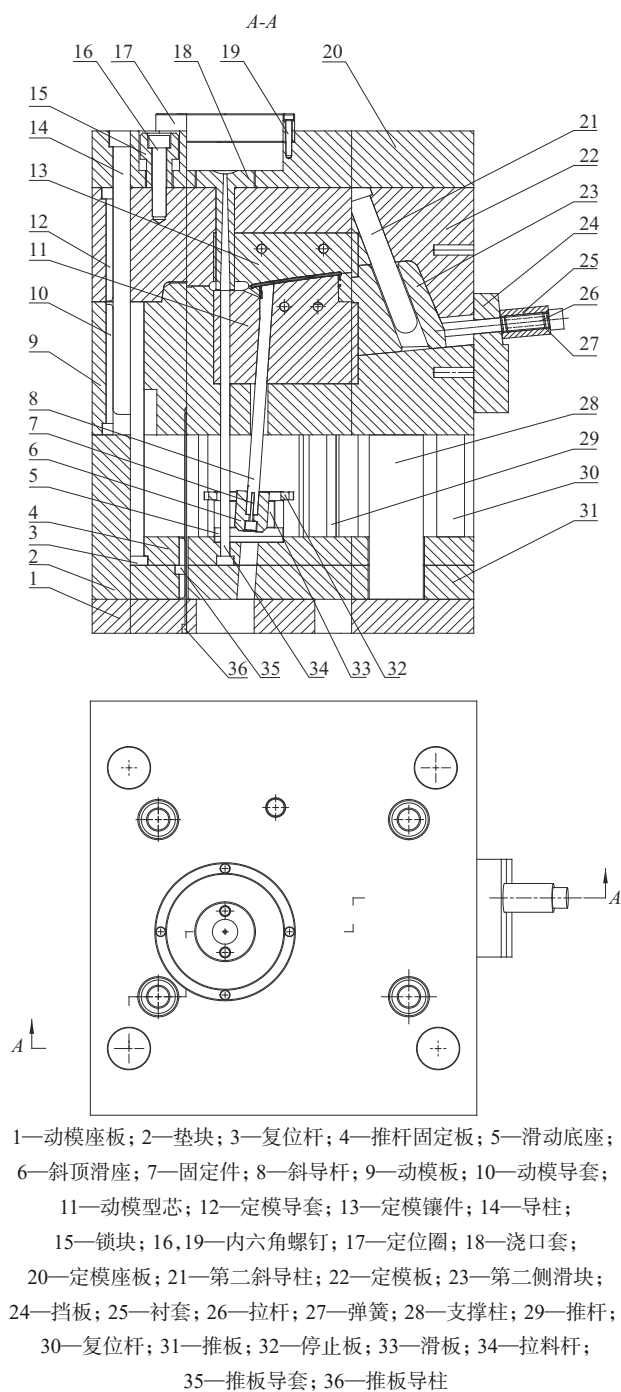


图9 模具总装图

中,随形水路开设在动模型芯11中,所有不进出水的水道端头使用堵头密封,所有的水路接缝处,均需要安装“O”型密封圈,以防止水的泄漏使模具产生锈蚀,图10为模具三维剖切图。最后,经实践证明,一模一腔的潜伏浇口搭配一内三外的侧向抽芯结构方式,有效地简化了模具结构,结合随形水路冷却方式,使加工的多孔隔板质量优良,加工效率较高。

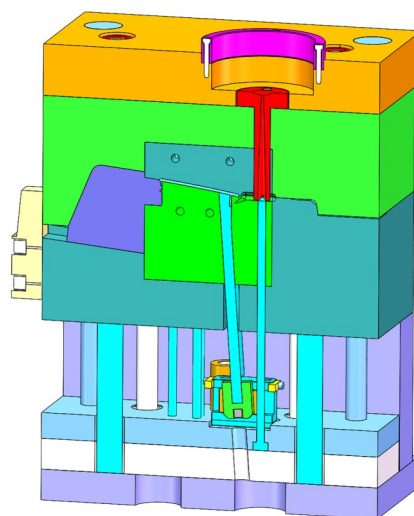


图10 模具三维剖切图

6 结语

在注射成型周期中,冷却时间占成型周期的三分之二以上,为了提高生产效率,缩短冷却时间为最佳选择,传统冷却水路设计受制于模具结构及加工条件,冷却系统不能迅速将模具的热量均匀带离模具,常导致冷却效率低,成型质量不佳等问题。笔者以多孔隔板塑件为例,利用Moldex3D模流分析软件,依据塑件结构形状特性,进行随形水路设计,并比较分析探讨常规水路与随形水路对产品成型冷却的影响,研究获得如下结论:

(1)相较于常规水路,随形水路能减少达到顶出温度的时间24%,节约成型周期时间30.5%,主要原因是随形水路的传热面积明显大于常规水路,随形水路也更贴近热源;

(2)在相同的水路参数设计下,相比常规水路,随形水路热移除效率提高了23.8%;

(3)利用变动指数法,获知随形水路相比常规水路对零件温度分布均匀性提高了27.25%,随形水路对均匀零件温度分布及降低有效作用温度有明显作用;

(4)相比常规水路,采用随形水路冷却可使塑件总体翘曲变形量下降13.56%,产品大部分区域的翘曲变形量不足0.4 mm;

(5)定模型腔的常规水路与动模型芯的随形水路配合,以及“一内三外”的独特侧向成型抽芯结构,有效地简化了模具结构,使加工的多孔隔板质量优良,生产效率较高。

综上所述,随形水路显著提高了冷却效果,均匀了模具热量,稳定了产品质量。

参考文献

- [1] 马一恒. 基于3D打印的注塑模随形冷却水路优化设计及应用研究[D]. 青岛: 青岛科技大学, 2020.
Ma Yiheng. Research on the optimal design and application for the conformal cooling channel of the injection mold based on 3D printing[D]. Qingdao: Qingdao University of Science Technology, 2020.
- [2] Marin F, de Miranda J R, de Souza A F. Study of the design of cooling channels for polymers injection molds[J]. Polymer Engineering and Science, 2018, 58(4):552-559.
- [3] Wei Zhihao, Wu Jiakai, Shi Nan, et al. Review of conformal cooling system design and additive manufacturing for injection molds[J]. Mathematical Biosciences and Engineering : MBE, 2020, 17(5):5 414-5 431.
- [4] 董志家, 王小新, 管航, 等. 基于3D打印的注塑模随形冷却水路优化设计[J]. 现代塑料加工应用, 2020, 32(4):48-51.
Dong Zhijia, Wang Xiaoxin, Guan Hang, et al. Optimization design of conformal cooling system of injection mould based on 3D printing[J]. Modern Plastics Processing and Applications, 2020, 32(4): 48-51.
- [5] 李红莉, 叶军, 刘志安. 狭长型薄壁零件的注塑模3D打印随形水路设计及开发[J]. 塑料工业, 2022, 50(1):99-102, 162.
Li Hongli, Ye Jun, Liu Zhian. Design and development of trial production of 3D printing conformal waterway for injection mold of long and narrow thin-walled parts[J]. China Plastics Industry, 2022, 50(1):99-102, 162.
- [6] 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. Investigation on design and forming process of lattice-structure conformal cooling channels in plastic injection mould[D]. Chongqing: Chongqing University, 2016.
- [7] 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. Optimizing Design of cooling water channel for injection mould by gene genetic algorithm and mould-flow analysis[J]. Journal of MUC (Natural Sciences Edition), 2018, 27 (1):27-33.
- [8] 刘雷. 基于3D打印的快速模具关键技术研究[D]. 石家庄: 河北科技大学, 2018.
Liu Lei. Research on key technology of rapid tooling based on 3D printing[D]. Shijiazhuang: Hebei University of Science and Technology, 2018.
- [9] 李瑞峰, 李客, 周伟召. 激光金属3D打印技术的研究进展[J]. 粘接, 2022, 49(7):98-105.
Li Ruifeng, Li Ke, Zhou Weizhao. Research progress in laser metal 3D printing technology[J]. Adhesion, 2022, 49(7):98-105.
- [10] 王乾. 注射模随形冷却水道生成与优化[D]. 武汉: 华中科技大学, 2017.
Wang Qian. Generating and optimizing of conformal cooling channel in injection mold design[D]. Wuhan: Huazhong University of Science & Technology, 2017.
- [11] 王茂龄, 张荣语, 许嘉翔. 模流分析理论与实务[M]. [出版地不详]: 科盛科技股份有限公司, 2018.
Wang Maoling, Zhang Rongyu, Xu Jiaxiang. Theory and practice of mold flow analysis[M]. [S.l.]: Kesheng Technology Co., Ltd., 2018.
- [12] 刘其南, 林权, 李俊杰, 等. 基于Moldex3D的常规水路与异型水路设计对注塑成型质量影响研究[J]. 中央民族大学学报(自然科学版), 2020, 29(4):38-44.
Liu Qinan, Lin Quan, Li Junjie, et al. Influence of conventional and conformal cooling design on injection molding quality based on Moldex3D[J]. Journal of MUC (Natural Sciences Edition), 2020, 29(4):38-44.
- [13] 林权, 陈丽军, 黄章鹏. 基于变动指数法优化注塑模冷却水路[J]. 现代塑料加工应用, 2019, 31(4):56-59.
Lin Quan, Chen Lijun, Huang Zhangpeng. Optimization of injection mold cooling water path based on variable method[J]. Modern Plastics Processing and Applications, 2019, 31(4): 56-59.
- [14] 韩坤男, 王大勇, 王洋, 等. 基于Mold flow的覆盖板注射成型过程分析[J]. 大连交通大学学报, 2022, 43(3):79-82.
Han Kunnan, Wang Dayong, Wang Yang, et al. Analysis of injection molding process of covering plate based on Mold flow[J]. Journal of Dalian Jiaotong University, 2022, 43(3):79-82.
- [15] Fu S J. Optimization of process parameters for injection molding based on taguchi technique[J]. Advanced Materials Research, 2018, 538(541):1 170-1 174.
- [16] Mukras S M S, Omar H M, Al-Mufadi F A. Experimental-based multi-objective optimization of injection molding process parameters[J]. Arabian Journal for Science and Engineering, 2019, 44(9): 7 653-7 665.