

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2024.05.017

复杂交错格栅的滤芯托架热流道注塑模具设计

刘晓坤^{1,2}, 孙正阳³, 于洋洋^{1,4}, 陈晔¹, 杨栋梁¹, 季宁^{1,4}

(1. 天津仁爱学院机械工程学院, 天津 301636; 2. 天津圣达辰洋汽车部件有限公司, 天津 301600;
3. 天津市生华厚德科技有限公司, 天津 300182 4. 天津大学内燃机燃烧学国家重点实验室, 天津 300072)

摘要: 针对复杂交错薄壁格栅的滤芯托架在注塑成型时极易造成困气和脱模时易变形的问题, 设计了点浇口二板式热流道注塑模具。首先, 对滤芯托架进行结构设计和材料成分分析, 基于 CAE 技术, 考虑复杂结构形式及注塑机吨位选择因素, 确定了最佳浇口位置; 其次, 考虑冷却+填充+保压+翘曲过程, 分析了流动前沿温度与气穴现象, 通过局部结构设计和排气方式增加配合间隙, 有效解决排气问题。高效的冷却回路设计缩短了冷却时间, 提高了生产效率。巧妙地设计了顶出机构, 七个推件块有差别布置, 同时中间位置也设计了顶出机构, 在顶出时保持方向一致性, 解决了交错薄壁格栅结构复杂和表面积大带来的翘曲量大和体积收缩大的问题。在注塑机上开展模具工作试模, 采用最优拉丁超立方方法采样工艺参数数据, 依次输入注塑机面板内, 寻优后得到最优工艺参数。生产实践证明, 该模具结构合理, 工作过程稳定可靠, 可为具有交错薄壁格栅结构特征的相似结构的产品注塑模具设计提供重要参考。

关键词: 格栅; 交错薄壁; 滤芯托架; 热流道; 模具结构

中图分类号: TQ320.66 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2024)05-0115-06

Design of hot runner injection mold for complex staggered thin-walled grille filter element bracket

LIU Xiaokun^{1,2}, SUN Zhengyang³, YU Yangyang^{1,4}, CHEN Ye¹, YANG Dongliang¹, JI Ning^{1,4}

(1. School of Mechanical Engineering, Tianjin Renai College, Tianjin 301636, China; 2. Tianjin Shengda Chenyang AUTO PARTS Co., Ltd., Tianjin 301600, China; 3. Tianjin Shenghua Houde Technology Co., Ltd., Tianjin 300182, China;
4. State Key Laboratory of Engines, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract : In order to solve the problem that the complex staggered thin wall filter element bracket is easy to cause trapped gas during injection molding and easy to deform during demold, a point gate two-plate hot runner injection mold was designed. The structure design and material composition analysis of filter element bracket were carried out. The reasonable gating position was determined by CAE analysis of the pouring system. The temperature and cavitation phenomena of the flow front were analyzed considering the process of cooling, filling, holding and warping. The exhaust problem was effectively solved by local structural design and exhaust method of increasing the matching gap. Efficient cooling loop design reduced cooling times and increases overall productivity. The ejector mechanism was cleverly designed, and the seven push-pieces were arranged differently. At the same time, the ejector mechanism was also designed in the middle position to maintain the direction consistency when ejecting. The problems of large warpage and volume shrinkage were solved. The mold work test was carried out on the injection molding machine. The process parameters were sampled by the optimal Latin Hypercube method. Then the process parameters were input into the panel of the injection molding machine, and filter element bracket was manufactured. The optimal process parameters were obtained. The production practice has proved that the mold structure is reasonable, the working process is stable and reliable. It can provide useful reference for the injection mold design of products with similar structure with staggered thin-walled grid structure.

Keywords : grating ; staggered thin wall ; filter element bracket ; hot runner ; mould structure

基金项目: 天津市教委科研计划项目(2023KJ258)

通信作者: 于洋洋, 博士, 副教授, 硕士生导师, 主要研究方向为精密注塑成型加工

收稿日期: 2024-03-05

引用格式: 刘晓坤, 孙正阳, 于洋洋, 等. 复杂交错格栅的滤芯托架热流道注塑模具设计[J]. 工程塑料应用, 2024, 52(5): 115-120.

LIU Xiaokun, SUN Zhengyang, YU Yangyang, et al. Design of hot runner injection mold for complex staggered thin-walled grille filter element bracket[J]. Engineering Plastics Application, 2024, 52(5): 115-120.

空气滤清器主要部件是壳体和滤芯,芯件起过滤作用,是核心部件,与上、下壳体的装配尺寸精度是关键的一环,直接影响通气阻抗、过滤效率、保养周期和使用寿命。而装配精度的影响因素除了尺寸精度、变形、收缩率等,滤芯托架的尺寸要求也是重要环节,只有满足所有部件严格的精度要求,才能实现一款满足模态、疲劳、强度和噪声要求的滤清器产品^[1-2]。其中,托架成型质量和尺寸精度直接影响上、下盖本体在高度方向上装配的尺寸精度,滤芯托架与上壳体的装配精度也直接影响滤芯的使用,甚至导致失效,也是生产实际容易忽视的工程问题。托架的质量和尺寸精度除了设计和安装装配的因素外,与注塑成型工艺的精度息息相关,也是工程实际的难点。其次,空气滤清器能够吸收有害污染物,防止吸入人体,同时能够减少噪声污染^[3-4]。轻量化是现代工业的主旋律,汽车、轮船等内燃机相关行业,使用的滤清器零部件等向高分子材料方向发展,其中滤芯托架基本采用玻纤增强聚丙烯(PP),主要原因是其具有良好的力学性能、耐热、阻燃以及成型容易^[5]。由于该材料在注塑生产过程中收缩率相对较大,造成形状尺寸较大的偏差,导致装配困难^[6]。滤芯托架的设计与开发中,模具设计、材料成分配比及工艺参数的选择是否合理,大都首先采用仿真技术评估^[7-10]。因此,为满足滤芯托架的尺寸精度要求,结合仿真技术,开发优异的工艺及模具具有至关重要的作用。

注塑成型工艺将熔融态的工程塑料在注塑机注射压力下注入精密模具型腔内,具有生产效率高、易于实现操作自动化且制品精度高等优点,是非金属材料制品批量加工的首选制造方法^[11]。笔者针对复杂交错薄壁格栅结构的滤芯托架注塑成型时极易造成困气和脱模时易变形的问题,设计了点浇口三板式热流道注塑模具,解决了交错薄壁格栅结构复杂和表面积大带来的翘曲量大和体积收缩大的问题。生产实践证明,该模具结构合理,工作过程稳定可靠,可为具有交错薄壁格栅结构特征的相似结构的模具设计与开发提供重要参考。

1 滤芯托架结构与材料选择

1.1 滤芯托架结构

研究的滤芯托架结构如图1所示,最大外形尺寸为265 mm×160 mm×36 mm,格栅呈大V型结构,厚度1.67 mm,格栅结构上下交错设计,由于滤芯结构的影响,纵向格栅在水平平面内,纵向交错放置,

空隙为2.3 mm,横向格栅与水平面呈30°,横向交错放置,空隙同样为2.3 mm,呈现薄壁交错格栅,能够达到颗粒物质过滤,形成第一道过滤作用,达到粗过滤目的;特殊的结构设计也同时达到稳固滤芯位置的作用。滤芯托架注塑件杜绝缩痕、光泽不均、飞边等缺陷,由于装配精确的严格要求,边部翘曲不能过大。由于上下及左右交错布置的内部格栅数量较多,涉及面积较广,容易造成填充不足、气穴和冷却不均等现象,以及考虑生产效率和生产成本的需求,因此采用热流道模具方案。

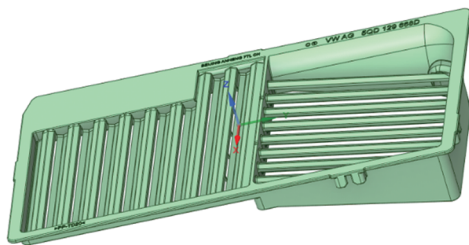


图1 产品结构图

Fig. 1 Diagram of product

1.2 材料分析

PP密度小,熔点高,在155 °C左右软化,无色、无臭、无毒,使用温度范围广,可在-30 °C和140 °C正常使用,具有力学性能高、耐热性、耐化学性好和高耐磨性,因此,材料选用PP(中国石化燕山石化公司,K8303)。其压力—容积—温度曲线(PVT)和流变曲线如图2所示。

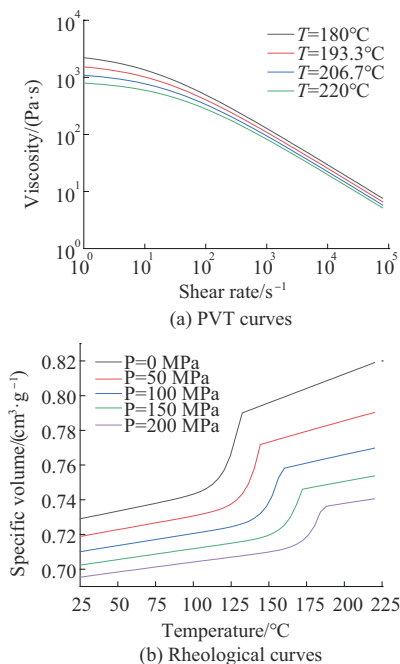


图2 PP的PVT及流变曲线

Fig. 2 PVT and rheological curves of PP

2 CAE 工艺分析

2.1 浇注系统CAE 分析

浇注系统由主流道、分流道及浇口构成,其中浇口位置影响熔体流动特性,进而影响产品质量,浇注系统的设计应首先确定最佳浇口位置。将复杂交错薄壁格栅的滤芯托架模型导入 Moldflow 分析软件,采用双层面网格并对网格进行处理以达到 CAE 分析对网格质量要求^[12-14]。分析序列设置为“浇口位置”,分析结果如图 3 所示。

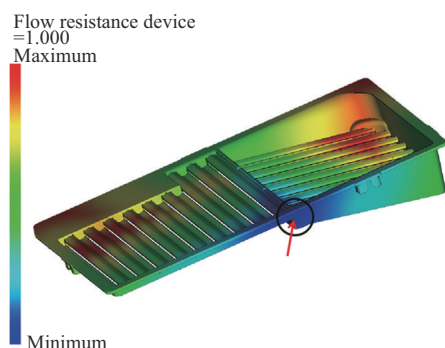


图3 浇口匹配性分析结果

Fig. 3 Results of gate matching analysis

浇口匹配性分析,圆圈标记位置为蓝色最深区域,浇口位置匹配性最优。考虑熔体流动平衡,以及滤芯托架年产量、现有注塑机的最大注塑质量、模具复杂程度等因素,浇口设置在红色箭头所示处,浇注系统如图 4a 所示,黄色圆锥标记处为熔体

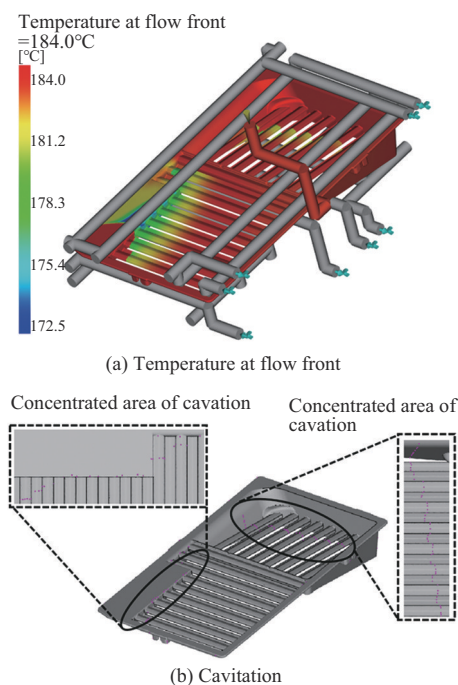


图4 浇注系统CAE 分析结果

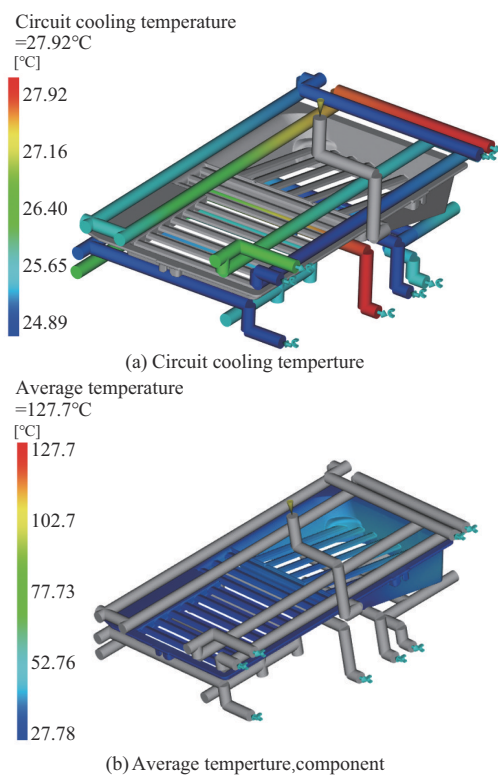
Fig. 4 CAE analysis results of pouring system

入口。特别注意,热流道的浇注系统呈现红色。

将分析序列设置为“冷却+填充+保压+翘曲”,考虑试件注塑过程中温度影响和模具热膨胀的影响,分析结果如图 4 所示。从图 4a 可以看出,在填充阶段,流动前沿温度的温差为 11.5 °C,大于 5 °C,在填充过程中存在短射或迟滞区域。气穴分析结果如图 4b 所示,气穴主要存在于流动前沿温度较低的部位(图 4a 的蓝色区域),由于此处为复杂交错薄壁结构且远离浇注口,熔体在较窄的型芯通道内流动,若排气不畅,极易产生困气进而造成短射。浇注系统 CAE 分析结果提示设计型芯结构时,可采用适当局部变厚和型芯镶件,利用镶件配合间隙进行有效排气,解决填充过程中的短射现象。

2.2 冷却系统CAE 分析

冷却回路的优良影响冷却时间的长短,从而影响生产效率^[15-17]。设计冷却回路要求均匀冷却,降低残余应力,从而达到尺寸精度要求和生产稳定性,最终提高塑件质量。增加冷却管道长度将增大可用于热传导的表面积。缩小冷却管道之间的距离可使模具温度更均匀。均匀冷却有助于实现有效的热传导。考虑模具内部的结构形式,保证冷却回路不与模具其他结构件发生干涉,最大限度地提高托架的冷却效果,设计冷却回路如图 5 所示,水道



(b) Average temperature, component

图5 冷却CAE 分析结果

Fig. 5 Cooling CAE analysis results

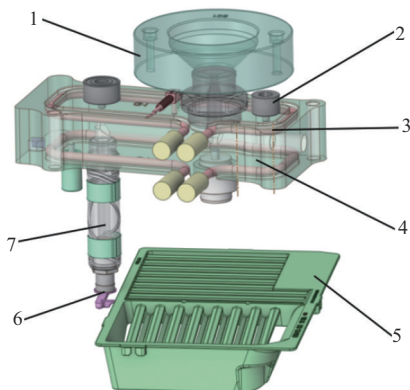
直径为10 mm,距托架表面距离14 mm,在动模侧设有2道环形水路,定模侧设置2道环形水路。

如图5a所示,设计的上端部为平面环形水路,下端部为阶梯式环形水路,最高回路冷却液温度为27.92℃,最低为24.89℃,温差为3.03℃<5℃,具有良好的冷却作用。如图5b所示,零件冷却结束时的平均温度是27.78℃,远低于材料的顶出温度210℃,能够具有良好的顶出效果。综合以上分析,该冷却系统设计方案可行。

3 模具结构设计

3.1 浇注系统结构设计

模具浇注系统如图6所示,在热流道板上设计了2个调整支撑钉,材质为45#钢,达到有效调整模具型腔装配高度目的;加热管采用铜管并且内部填充石英加热丝,在热流道板的上下表面对称设置了2根加热管,可有效提升对热流道板的加热速度;热流道管外部套装绝热套可有效防止热量的流失;单腔热嘴为采购的标准件,喷嘴直径为6 mm。



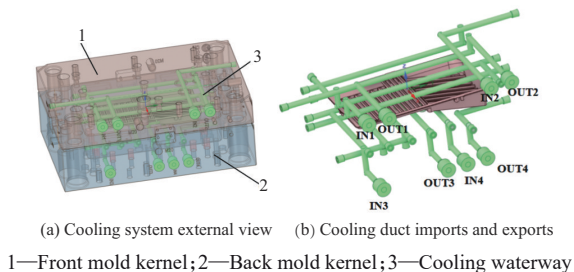
1—Locating ring; 2—Adjusting brace; 3—Heating tube; 4—Hot runner manifold; 5—Bracket; 6—Single cavity hot nozzle; 7—Pipe box

图6 热流道浇注系统

Fig. 6 Hot runner pouring system

3.2 冷却系统结构设计

建立的模具冷却系统如图7所示。前、后模仁中均设有冷却水道,水道直径为10 mm,为便于加



(a) Cooling system external view (b) Cooling duct imports and exports
1—Front mold kernel; 2—Back mold kernel; 3—Cooling waterway

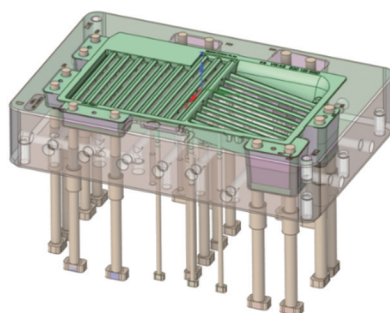
图7 模具冷却系统

Fig. 7 Die cooling system

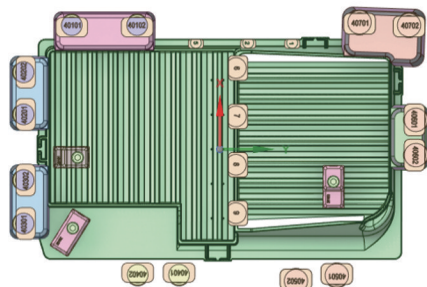
工,均采用直通式水道,水道设有4条回路,4个进口(IN1, IN2, IN3, IN4)及4个出口(OUT1, OUT2, OUT3, OUT4)。

3.3 成型型芯和顶出机构设计

滤芯托架呈现复杂交错薄壁格栅结构形式,结构复杂、表面积大,对成型型芯内表面粗糙度有极高的要求,翘曲量和体积收缩也要求严格,为使滤芯托架顺利脱模,方便加工和抛光,成型型芯如图8所示,顶针和推件块配合顶出滤芯托架结构,推件块七个有差别布置,同时中间位置也设计增加顶出机构,在顶出时保持方向一致性,避免损伤滤芯托架,设计导向杆带有导向槽。成型型芯和顶出机构如图8所示。



(a) Isometric projection drawing



(b) Top view

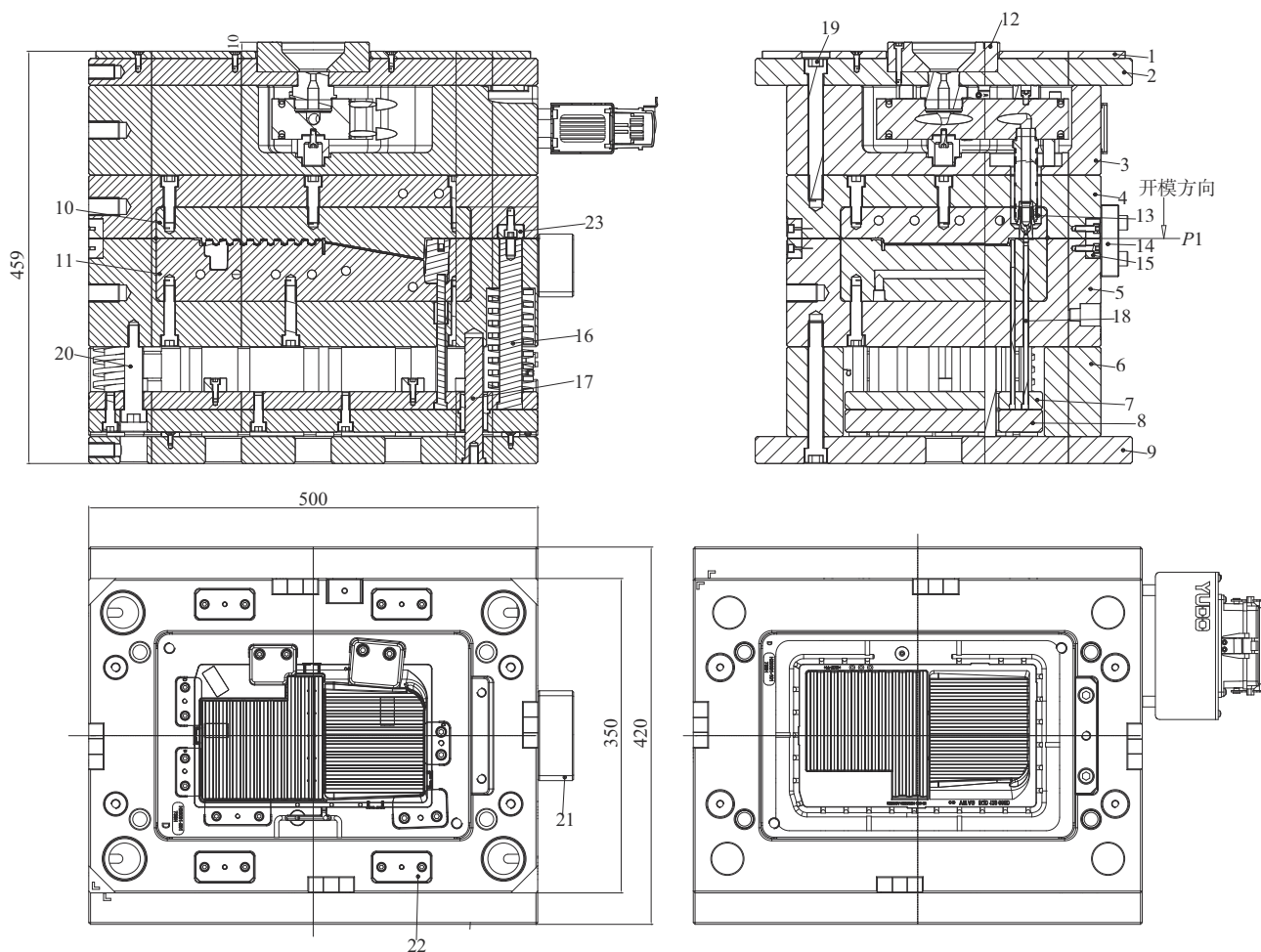
图8 成型型芯和顶出机构设计

Fig. 8 Forming core and ejection mechanism design

4 模具工作过程

模具整体结构如图9所示。工作过程如下:

(1) 将模具安装在注塑机有效空间上,模具处于闭合状态,采用最优拉丁超立方方法采样工艺参数数据,依次输入注塑机面板内,寻优后得到最优工艺参数,把料投入注塑机的料斗,料经过注塑机料筒加热,由玻璃态变为黏流态,当料筒前端积聚的熔料对螺杆产生一定的压力时,螺杆就在转动中后退,直至与调整好的行程开关相接触,具有模具一次注射量的塑料预塑和储料结束,接着注射液压缸开始工作,与液压缸活塞相连接的螺杆以一定的速



1—Insulation board; 2—Fixed clamping plate; 3—Diverter plate; 4—Fixed plate (Plate A); 5—Moving plate (Plate B); 6—Parallel block; 7—Ejector retainer plate; 8—Knockout plate; 9—Moving clamping plate; 10—Front mold kernel; 11—Back mold kernel; 12—Locating ring; 13—Hot nozzle; 14—Lock module; 15—Side-lock; 16—Release link; 17—Ejector guide pillar; 18—Push rod; 19—Screw; 20—Stop screw; 21—Suspension module; 22—Counterbalance; 23—Reset rod pad

图9 热流道注塑模结构

Fig. 9 Injection mold hot runner structure

度和压力将熔料通过料筒前端的喷嘴,再经过热流道模具中的热嘴,热嘴升温,流道中的料一直处于熔融状态,注入到模具型腔,经过保压、冷却等阶段后,准备开模。

(2) 注塑机动模板朝开模方向运动,模具在P1分型面处打开,此时,注塑机顶杆推动推出机构的推板8及推杆固定板7,从而带动推杆将塑件从动模部分推出脱模。

(3) 复位杆16装有弹簧,使推出机构预先复位。

(4) 模具闭合复位。

5 实际生产验证

在完成模具整体结构设计、加工制造后,基于CAE分析并利用海天SA3800注塑机进行多次试模,经多次修正最终获得关键注塑工艺参数:模具

表面温度 59.21 °C,熔体温度 183.27 °C,注射时间 1.2 s,保压时间 29.97 s,冷却时间 30 s。

采用上述得到的工艺参数进行批量生产,获得的滤芯托架产品如图10所示。经实际生产验证,该模具结构合理,工作过程稳定可靠。



图10 产品

Fig. 10 Product

6 结论

(1) 基于浇注系统CAE分析,确定了合理的浇

口位置,通过局部结构设计和排气方式增加配合间隙,有效解决排气问题。高效的冷却回路设计缩短冷却时间,提高了整体生产力。

(2) 巧妙地设计了顶出机构,推件块七个有差别布置,同时中间位置也设计增加顶出机构,在顶出时保持方向一致性,解决了交错薄壁格栅结构复杂和表面积大带来的翘曲量大和体积收缩大的问题。

(3) 生产实践证明,该模具结构合理,工作过程稳定可靠,可为具有交错薄壁格栅结构特征的相似结构的产品注塑模具设计提供有益借鉴。

参考文献

- [1] 关英俊,张力锋,李想,等.汽车空气滤清器的模态分析及结构优化[J].计算机仿真,2015,32(4):124-127.
GUAN Yingjun, ZHANG Lifeng, LI Xiang, et al. Modal analysis and structure optimization of the car air filter[J]. Computer Simulation, 2015, 32(4):124-127.
- [2] 何志霞,蒋兆展,王硕,等.空气滤清器的空气动力学仿真及优化[J].中南大学学报(自然科学版),2012,43(3):1 179-1 184.
HE Zhixia, JIANG Zhaozhan, WANG Shuo, et al. Aerodynamic simulation and structural optimization of air filter[J]. Journal of Central South University (Science and Technology), 2012, 43(3): 1 179-1 184.
- [3] 杨德银,吴孟兵,王帅.基于HyperWorks的汽车空气滤清器模态分析[J].汽车实用技术,2021,46(5):146-148.
YANG Deyin, WU Mengbing, WANG Shuai. Modal analysis of automotive air filters based on HyperWorks[J]. Automobile Applied Technology, 2021, 46(5):146-148.
- [4] 冯建永,张建春,张华,等.汽车空气滤清器过滤用材料的结构与性能及其新产品研发[J].纺织学报,2013,34(6):58-66.
FENG Jianyong, ZHANG Jianchun, ZHANG Hua, et al. Properties and new product development of automobile air filter filtration material[J]. Journal of Textile Research, 2013, 34(6):58-66.
- [5] 李志强,丁超,刘元驰,等.玻璃纤维增强聚丙烯复合材料耐水解性能的研究[J].塑料工业,2020,48(4):119-123.
LI Zhiqiang, DING Chao, LIU Yuanchi, et al. Study on water resistance of glass fiber reinforced polypropylene composites[J]. China Plastics Industry, 2020, 48(4):119-123.
- [6] 上官林建,申长雨,刘保臣,等.短玻纤增强聚丙烯注射充模过程的数值模拟[J].材料导报,2008,22(7):88-90.
SHANGGUAN Linjian, SHEN Changyu, LIU Baochen, et al. Numerical simulation of injection molding filling process of glass fiber reinforced polypropylene[J]. Materials Reports, 2008, 22(7): 88-90.
- [7] 杨晓云.计算机模拟技术在高分子材料注塑成型中的应用[J].合成树脂及塑料,2021,38(1):89-92.
YANG Xiaoyun. Application of computer simulation in polymer injection molding[J]. China Synthetic Resin and Plastics, 2021, 38 (1):89-92.
- [8] 曹伟,任梦柯,刘春太,等.注塑成型模拟理论与数值算法发展综述[J].中国科学:技术科学,2020,50(6):667-692.
CAO Wei, REN Mengke, LIU Chuntai, et al. A review on the theories and numerical methods for injection molding simulations[J]. Scientia Sinica (Technologica), 2020, 50(6):667-692.
- [9] 刘峰,袁毅,沈洪雷. Moldflow 分析序列对薄壁塑件翘曲分析的影响[J].塑料科技,2017,45(11):86-89.
LIU Feng, YUAN Yi, SHEN Honglei. Influence of moldflow analysis sequence on warpage of thin-shell plastic parts[J]. Plastics Science and Technology, 2017, 45(11):86-89.
- [10] 王秀梅,翟豪瑞.基于CAE技术的翘曲分析及反变形补偿设计[J].工程塑料应用,2018,46(5):77-80.
WANG Xiumei, ZHAI Haorui. Warpage analysis and anti-deformation compensation design based on CAE technology[J]. Engineering Plastics Application, 2018, 46(5):77-80.
- [11] 季宁,于洋洋,么大锁.基于CAE的升降筒注塑模具设计[J].塑料工业,2021,49(6):84-89.
JI Ning, YU Yangyang, YAO Dasuo. Injection mould design of lifting cylinder based on CAE[J]. China Plastics Industry, 2021, 49 (6):84-89.
- [12] 季宁,张卫星,于洋洋,等.基于最优拉丁超立方抽样方法和NSGA-II算法的注射成型多目标优化[J].工程塑料应用,2020,48(3):72-77.
JI Ning, ZHANG Weixing, YU Yangyang, et al. Multi-objective optimization of injection molding based on optimal latin hypercube sampling method and NSGA - II algorithm[J]. Engineering Plastics Application, 2020, 48(3):72-77.
- [13] 陈忠杭,胡燕海,沈加明,等.基于GA-BP-PSO算法的薄壁注塑件翘曲变形优化[J].工程塑料应用,2024,52(3):70-75.
CHEN Zhonghang, HU Yanhai, SHEN Jiaming, et al. Optimization of warpage deformation of thin-walled injection molded parts based on GA-BP-PSO algorithm[J]. Engineering Plastics Application, 2024, 52(3):70-75.
- [14] 吴国鹏,于洋洋,季宁,等.基于改进FAHP的抑爆球注塑成型质量多目标优化[J].塑料,2024,53(1):156-162.
WU Guopeng, YU Yangyang, JI Ning, et al. Multi objective optimization of injection molding quality of explosion suppression ball based on improved FAHP[J]. Plastics, 2024, 53(1):156-162.
- [15] TAN X H, WANG L G, WANG W S. Optimization of injection molding process parameters with material properties based on GA and BP[J]. Applied Mechanics & Materials, 2013, 345:586-590.
- [16] MEI Y, XUE M Y. Optimization of injection molding process parameters based on GA-ELM-GA[C]. MATEC Web of Conferences, 2022, 355:01029.
- [17] HASHIMOTO S, KITAYAMA S, TAKANO M, et al. Simultaneous optimization of variable injection velocity profile and process parameters in plastic injection molding for minimizing weldline and cycle time[J]. Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing, 2020, 14(3). DOI: 10.1299/jamdsm. 2020jamdsm0029.