

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2022.06.018

基于 Moldflow 的揭盖式洗发水瓶盖注塑模具设计

汪政¹, 冯文², 孙袁星²

(1. 江苏海洋大学海洋工程学院, 江苏连云港 222005; 2. 江苏海洋大学机械工程学院, 江苏连云港 222005)

摘要: 针对揭盖式洗发水瓶盖自动化注射成型生产的需要, 设计了一套一模两腔三板式注塑模具。首先分析了塑件的结构特点; 然后利用 Moldflow 软件确定了最佳浇口位置, 并对塑件的充填时间、速度 / 压力转换时的压力、流动前沿温度、体积收缩率、缩痕指数、变形和锁模力进行了分析, 为模具结构的精确设计提供了依据; 最后应用 UG 软件对该产品注塑模具进行整体结构设计, 主要包括模具的浇注系统、分型面与成型零件、侧向抽芯机构、推出机构和冷却系统。考虑到塑件表面精度要求较高且结构较为复杂, 型芯采用整体式结构, 型腔设计成组合式型腔, 由一个主型腔和两个小滑块组成。冷却系统采用围绕型的循环水路以实现模具的快速降温。采用斜导柱式侧向抽芯机构进行成型并脱模, 塑件通过“推杆 + 推管 + 推板”的联合推出机构实现完全脱模。在整个设计过程中, 利用 UG 和 Moldflow 相结合的方法进行注塑模具设计可以提高塑件产品的成型质量, 缩短模具研发周期, 降低模具制造成本。

关键词: Moldflow; 洗发水瓶盖; 注塑; 模具设计

中图分类号: TQ320.52, TP391.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2022)06-0105-06

Design of Injection Mold for Shampoo Bottle Cap with A Hood Based on Moldflow

Wang Zheng¹, Feng Wen², Sun Yuanxing²

(1. School of Ocean Engineering, Jiangsu Ocean University, Lianyungang 222005, China;

2. School of Mechanical Engineering, Jiangsu Ocean University, Lianyungang 222005, China)

Abstract : According to the need for automatic injection molding production of the shampoo bottle cap with a hood, a set of injection mold with one mold, two-cavity and three-plate was designed. Firstly, the structural characteristics of the plastic part were analyzed. Then, the Moldflow software was used to determine the best gate position, and the filling time of the plastic part, the pressure of speed/pressure conversion, the flow front temperature, the rate of volume shrinkage, the shrinkage index, the deformation and clamping force were analyzed which provided a basis for the accurate design of mold structure. Finally, UG software was used to design the overall structure of the injection mold, mainly including the gating system, the parting surface and molding parts, the side core-pulling mechanism, the ejecting mechanism, and the cooling system. Considering that the surface precision of the plastic part is high and the structure is complex, the core adopted the integral structure, and the cavity was designed into a combined cavity, which was composed of the main cavity and two small sliders. The cooling system was designed by using a revolving circuit to achieve rapid cooling of the mold. The external side core-pulling mechanism with a bevel lead column was applied for molding and demoulding. The plastic part was completely demoulded through the ejection mechanism by “ejector pins pushing + ejector pipes pushing + the stripper plate pushing”. In the whole design process, using the combination method of UG and Moldflow for injection mold design can improve the product quality, shorten the mold development period, and reduce mold manufacturing costs.

Keywords : Moldflow; shampoo bottle cap; injection molding; mold design

基金项目: 江苏省高等学校自然科学基金项目 (18 KJB430008), 江苏省先进材料功能调控技术重点实验室开放课题项目 (JSKLFCTAM202011), 江苏省研究生科研与实践创新计划 (KYCX20_2928)

通信作者: 冯文, 博士, 主要研究方向为模具设计与制造及晶界工程

收稿日期: 2022-04-10

引用格式: 汪政, 冯文, 孙袁星. 基于 Moldflow 的揭盖式洗发水瓶盖注塑模具设计 [J]. 工程塑料应用, 2022, 50(6):105-110.

Wang Zheng, Feng Wen, Sun Yuanxing. Design of injection mold for shampoo bottle cap with a hood based on Moldflow[J]. Engineering Plastics Application, 2022, 50(6):105-110.

模具作为我国机械制造业中最基础的设备,在实际生产中起着十分重要的作用^[1]。随着注塑模具行业的蓬勃发展,注塑模具已经成为我国机械制造的支柱产业。注射成型因其生产效率高、成型快、可大批量生产形状复杂的零件而被广泛使用,各类塑料用品也走进千家万户,小到日常用品,如水杯、水桶、饭盒等,大到家电产品,如电视、洗衣机、空调等的外壳等^[2]。Moldflow 是一款用于模具成型设计的软件,可及时发现模具设计过程中存在的问题,常用于加工工艺参数的前处理,以达到降低研发周期和生产成本的目的^[3-5]。

洗发水作为日常生活的必需品,消耗量巨大,洗发水瓶盖也随之成为需求量很大的塑件。洗发水瓶盖在外形上不仅要美观,还要符合人体工学以方便消费者使用^[6]。为了使洗发水瓶盖能实现大批量高效率生产,对其注塑模具的设计提出了很高的要求。

笔者以一种揭盖式洗发水瓶盖为例,利用 Moldflow 软件对其注塑成型过程进行了仿真模拟,并设计了模具结构,得到可行的注塑方案。

1 塑件工艺性分析

1.1 塑件结构分析

图1为揭盖式洗发水瓶盖塑件的三维模型。由图1可知,塑件外形类似梯形圆台且表面光滑,内部结构较为复杂,主要由圆环、长方体等结构组成,且塑件整体为对称结构。通过测量塑件实体得到塑件的厚度为1 mm,最大外形尺寸为59.1 mm×36.2 mm×18.5 mm。基于上述揭盖式洗发水瓶盖的结构特点,该塑件的注塑模具设计需要解决以下工艺问题^[7]:

(1) 为保证塑件外形尽量光滑,需选择合适的浇口形式和浇口位置。

(2) 为简化注塑模具结构以利于成型,需选择合适的分型面位置。

(3) 因塑件表面积较大,为使各部位熔料凝固均匀,需解决塑件的冷却问题。



图1 揭盖式洗发水瓶盖三维模型图

1.2 材料选择

聚丙烯(PP)具有无毒无臭、易染色、耐冲击等特点,可作为揭盖式洗发水瓶盖的材料。选用 Generic Default 制造商牌号为 Generic PP 的热塑性材料^[8],此 PP 的密度为 0.91 g/cm³,收缩率为 2%,拉伸弹性模量为 0.89 GPa,泊松比为 0.42,其质量小、不吸水、成本低,有较强的抗划痕能力,表面刚度^[9],在各类日常用品中应用广泛。Generic PP 注塑成型推荐工艺参数为:模具表面温度 50℃,熔体温度 220℃,模具温度 45℃,顶出温度 124℃,剪切应力最大值 0.25 MPa,剪切速率最大值 10 000 s⁻¹。

2 注塑模具结构设计

2.1 浇注系统设计

(1) 浇注系统方案。

浇注系统是影响产品质量的关键结构,揭盖式洗发水瓶盖的表面质量要求较高,故浇口位置的设置应尽量不影响塑件的外观。为了提高揭盖式洗发水瓶盖的生产效率,注塑模具拟采用一模两腔的结构。为避免成型过程中出现浇注不均的现象,将主流道热嘴设置在模具的中心位置,分流道热嘴对称布置在型腔上方。

(2) 模流分析。

首先用 UG 软件创建三维实体模型,保存为 .STL 格式,然后将塑件的三维模型导入 Moldflow 中,因注塑塑件壁厚均匀,选用双层面网格进行分析。图2为塑件的网格划分图。网格划分结果显示三角形网格单元为 52 020 个,节点值共 26 006 个,表面积为 7 553.2 mm²,体积为 3 737 mm³,最大纵横比为 13.77,最小纵横比为 1.16,平均纵横比为 1.63,匹配百分比为 92.3%,相互百分比为 92.2%,可见选择双层面网格分析的结果可靠^[10]。

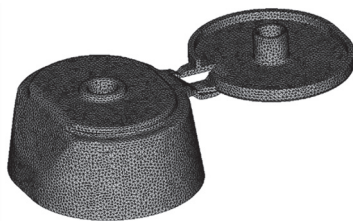


图2 网格划分图

浇口的位置关系到模具内熔融塑料的流动情况,并影响塑件成品的质量^[11]。在浇注完成后,为了使塑件去除浇口后的残留痕迹小而不影响其外观,笔者选择点浇口的进料方式^[12-13]。图3为注塑模具的浇口分析结果。由图3可知,塑件的最佳浇口位置为瓶盖与瓶盖身连接处。

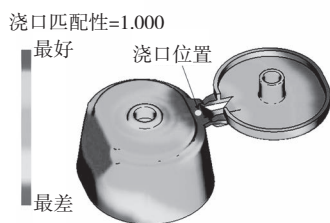


图3 浇口匹配性

图4为注塑模具的浇注系统。通过计算确定主流道长度为57.2 mm,入口直径为5 mm,主流道锥角为 3° ,主流道剪切速率为 $3.75 \times 10^3 \text{ s}^{-1}$ 。分流道的形状选择梯形截面,其长边为6 mm,高为5 mm,两腰夹角为 10° ,分流道剪切速率为 $3.45 \times 10^3 \text{ s}^{-1}$ 。

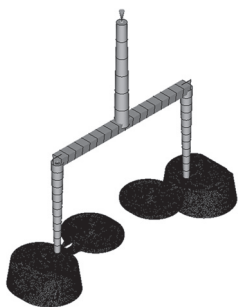
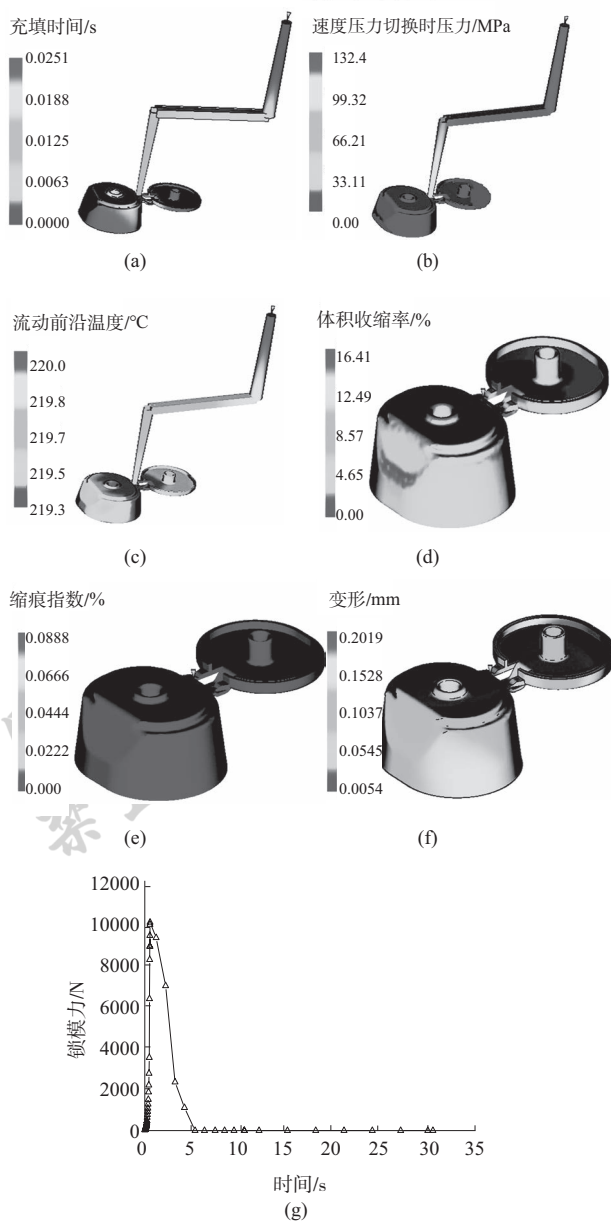


图4 浇注系统

根据上述浇口位置分析和浇注系统的设计,在Moldflow中仿真分析影响揭盖式洗发水瓶盖成型质量和结构尺寸的条件。图5为模流分析数据。由图5a可知,完成洗发水瓶盖充填所需时间为0.0251 s,表示熔料在各位置填充均匀,成型过程流畅,能满足模具内部熔料的流动要求。在速度/压力切换状态下,所需的最大填充压力为132.4 MPa,且无透明部分,表明压力合理,如图5b所示。塑件成型的最高温度为 220.0°C ,最低温度为 219.3°C ,温差为 0.7°C ,意味着成型过程中温度分布均匀,能满足成型要求(图5c)。从图5d可以看出,塑件的最大收缩率为4.65%,但整体收缩较为均匀,不影响塑件的使用。根据图5e可知,塑件的缩痕指数为0.0888%,产生缩痕或缩孔的可能性低,成型理想。塑件在瓶盖端口处的最大变形为0.2019 mm,在靠近塑件浇口处的最小变形为0.0054 mm,其变形数值较小,对塑件成型质量影响较小,可以忽略不计,具体如图5f所示。由图5g发现,塑件充填时锁模力峰值约为10235.81 N,曲线在上升阶段相对平滑,没有折线或者凸起,说明注塑机的注射状态良好。



a—充填时间;b—速度/压力转换时的压力;c—流动前沿温度;
d—体积收缩率;e—缩痕指数;f—变形;g—锁模力

图5 模流分析数据

2.2 分型面与成型零件设计

(1) 分型面设计。

分型面的选择对模具结构形式和模具成型零件结构具有重要影响,在选取分型面时应遵循以下基本原则^[14]:

①分型面应在塑件靠近定模板一侧的最大轮廓处,以便塑件和模具分离。

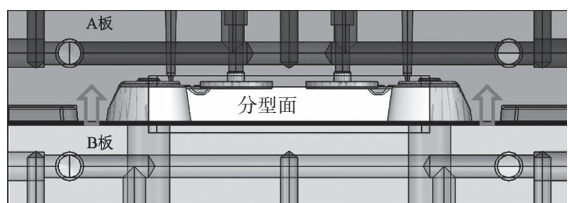
②分型面应保证脱模对塑件的表面质量和外形尺寸影响最小。

③分型面应与动模板保持平行,确保模具具有足

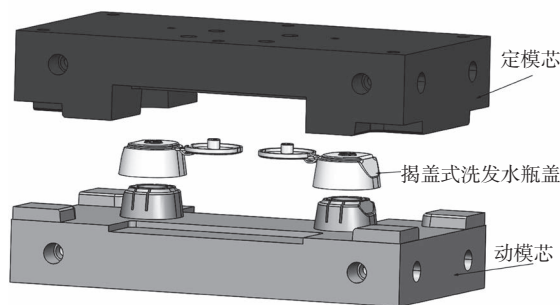
够的夹紧力,避免因夹紧力不足导致熔料泄漏。

④分型面位置应不妨碍浇注系统的设计,避免复杂的浇注管道排布。

图6为注塑模具的分型面及分模结构。分型面的位置如图6a所示,分型面选择在瓶盖底面。图6b为模具的分模结构,此分型面的位置不仅不会影响塑件脱模,还可以简化加工工艺和模具结构。



(a)



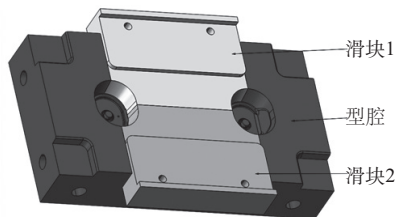
(b)

a—分型面位置;b—分模结构

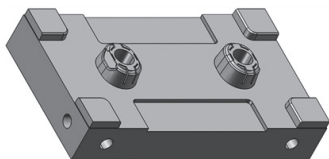
图6 分型面及分模结构

(2) 成型零件设计。

为了使用户获得良好的使用体验,洗发水瓶盖表面应保证光滑无毛边。图7为成型零件结构图。上模型腔采用组合拼接结构,由型腔和2个滑块组成,如图7a所示。下模型芯采用一体式结构,如图7b所示。



(a)



(b)

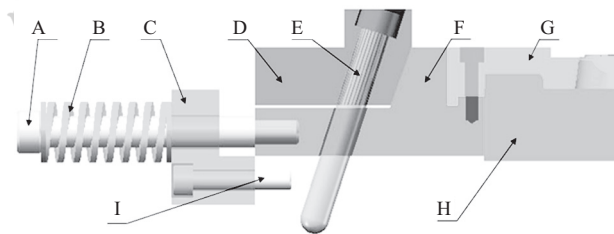
a—上模成型零件图;b—下模成型零件图

图7 成型零件结构图

2.3 侧向抽芯机构设计

当塑件侧面有孔、槽、凸台等不规则结构时,需采用侧向抽芯机构实现塑件的成型与脱模。在所有侧向抽芯机构中,斜导柱侧向抽芯机构因其稳定性好、结构简单、工作效率高等特点而被广泛应用^[15],故采用斜导柱侧向抽芯机构。

图8为注塑模具的侧向抽芯机构。内六角轴肩螺钉1穿过限位块3固定在滑块座6上,滑块座6与滑块7配合安装,楔紧块4和滑块座6通过斜导柱5固定在一起。在脱模时,随着楔紧块4和滑块座6的分离,斜导柱5会带动滑块座6与滑块7远离型芯8,直至碰到限位块3。斜导柱5与开模方向的夹角取18°。由于斜导柱的角度会影响合模,使零件产生干涉,为避免发生干涉现象,在设计楔紧块时一般使其斜边角度比斜导柱的角度大2°,因此楔紧块斜边与开模方向的夹角为20°,此时侧向抽芯机构能够满足注塑模具的使用条件。



A—内六角轴肩螺钉;B—弹簧;C—限位块;D—楔紧块;E—斜导柱;
F—滑块座;G—滑块;H—型芯;I—内六角螺钉

图8 侧向抽芯机构

2.4 推出机构设计

在一次注射周期结束后,需由推出机构从模具中顶出塑件,设计推出机构时应遵循以下基本原则^[16]:

(1) 推出机构应设计在塑件刚度和强度最大处,以免塑件推出时产生变形。

(2) 推出机构应设置在动模侧。

(3) 推出机构应尽量设计在模具内侧,以免影响塑件外观。

塑件脱模力计算公式如下:

$$Q=(A \times P \times \cos \alpha(f \cdot \tan \alpha)) / (1+f \times \sin \alpha \cos \alpha) \quad (1)$$

式中: A 为包容面积,通过软件测得 $A=2669.48 \text{ mm}^2$; P 为单位压力,通常取20 MPa; α 为开模角度, $\alpha=1^\circ$; f 为摩擦系数,通常取0.5;计算得出塑件所需的脱模力为25 536.16 N。

注塑模具选用推管脱模方式,推管采用T10A钢。通过计算得出推管长度为119.2 mm,推管直径

选择 15 mm,确保了塑件能够完全脱模,且避免了因开模行程太长而造成推管的过度磨损。图 9 为注塑模具的推出机构图,推管布置在揭盖式洗发水瓶盖身内部的圆环口上。

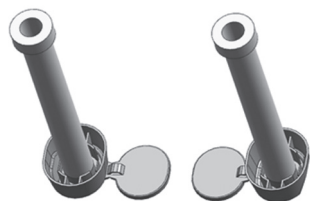


图 9 推出机构示意图

2.5 冷却系统设计

为了提高生产效率,需要使注塑完成后的塑件温度迅速降下来,常用的方法是通过直接冷却注塑模具以实现塑件的快速降温。冷却系统的布置不仅会影响塑件的表面质量,还会影响塑件翘曲变形的程度。由 Moldflow 软件分析得出注塑模具的注塑容积为 $11\,968\text{ mm}^3$,熔体质量为 10.89 g。按注射循环时间 20 s,每小时注射 180 次计算得到单位时间注塑量为 0.5445 g/s 、注水流量为 $80\,000\text{ mm}^3/\text{s}$ 、水线直径为 8 mm、流体速率为 $1\,592\text{ mm/s}$ 、水线布局长度为 460.2 mm、管道数量为 2 根。为使冷却均匀,冷却水道采用围绕型的回路,分别布置在动模侧和定模侧,冷却系统具体布局如图 10 所示。

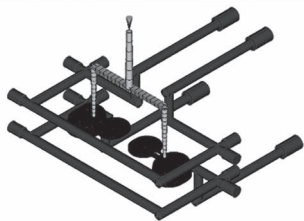


图 10 冷却系统

3 整体结构及工作原理

图 11 为揭盖式洗发水瓶盖注塑模具的主要结构。模具主要由动模板 5、型芯 6、型腔 7、定模板 8 以及滑块镶件 18 组成。根据国家标准 GB/T11335-2008,选择型号为 FCI3035-A80-B60-C80 的模架。

注塑模具注射成型的工作过程具体为:

(1) 注塑模具与注射机配合安装,将 PP 材料颗粒加入到注塑机,使其加热到熔融态。塑料熔体流经主流道、分流道和浇口后进入模具型腔 7,并在型腔内充分保压、冷却、固化。

(2) 注塑机带动注塑模具动模部分运动,成型后的塑件脱离型腔 7,紧包在型芯 6 上。

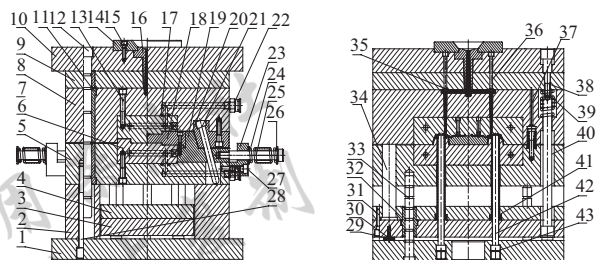
(3) 将斜导柱 21 抽离动模板 5 后,滑块 18 和滑块座 19 在斜导柱 21 的带动下运动至限位块 30 处,完成侧向抽芯。

(4) 推杆板 3 与推杆固定板 4 带动推管 41 运动顶出塑件,并利用拉杆 40 将浇注系统中的凝料拉出定模板 8,使浇口凝料和塑件自动切断。

(5) 推出结束后,在弹簧 24 的作用下,滑块 18 和滑块座 19 及斜导柱 21 回到原位;在复位弹簧 39 的作用下,推杆板 3、推杆固定板 4 和推管 41 回到原位,完成复位。

(6) 在注塑机驱动下,注塑模具动模、定模完成合模。

(7) 重复上述步骤进入下一注射周期。



- 1—动模座板;2—垫块;3—推杆板;4—推杆固定板;5—动模板;
6—型芯;7—型腔;8—定模板;9—脱料板;10—定模座板;11—导套;
12—导柱;13,15,27,28,31,38—内六角螺钉;14—定位圈;16—浇口套;
17—密封圈;18—滑块;19—滑块座;20—楔紧块;21—斜导柱;
22—水嘴;23—楔紧块;24—弹簧;25—内六角轴肩螺钉;26—垫片;
29—平头螺钉;30—限位块;32—推板导套;33—推板导柱;
34—复位杆;35—镶件;37—开闭器;39—复位弹簧;40—拉杆;
41—推管;42—镶件;43—无头螺钉

图 11 注塑模具结构图

4 结论

以一种揭盖式洗发水瓶盖为例,利用 Moldflow 软件对其进行了模流分析。结果显示,浇口的最佳位置在瓶盖与瓶盖身连接处、充填时间为 0.025 1 s、速度/压力切换状态下所需的最大填充压力为 132.4 MPa、成型温度为 $219.3\sim 220\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、最大体积收缩率为 16.41%、缩痕指数为 0.088 8%、变形量为 $0.0054\sim 0.2019\text{ mm}$ 以及锁模力为 10 235.81 N,分析结果为模具结构设计提供了依据。

针对揭盖式洗发水瓶盖的结构特点,利用 UG 软件设计了塑件模具的浇注系统、分型面与成型零件、侧向抽芯机构、推出机构、冷却系统等结构。首先,选择瓶盖底面作为注塑模具的分型面,型腔设计成腔体加滑块的组合式结构,型芯设计成一体式结构。其次,由于揭盖式洗发水瓶盖侧面有凹凸结构,

脱模时需要特殊处理才能避免塑件损坏,故设计斜导柱滑块抽芯结构来解决此问题。此外,为减轻模具质量,使用推管加推杆板和推板固定板作为模具的推出机构。为防止塑件变形同时控制成型时间,采用围绕型的水路冷却系统对模具进行快速降温。最后,对注塑模具整体结构进行设计,并介绍了注塑模具的工作流程,为结构类似的注塑模具设计提供了参考和设计思路。

参考文献

- [1] 周红霞,罗永洪,陈平,等.基于方向盘注塑模在UG中设计与制造的应用研究[J].内燃机与配件,2021(22):96-97.
Zhou Hongxia, Luo Yonghong, Chen Ping, et al. Design of CNC machine tool automatic production system based on cloud manufacturing[J]. Internal Combustion Engine & Parts, 2021(22):96-97.
- [2] 王新蒙.空调器下壳体大角度斜抽芯注塑模具设计[J].塑料,2021,50(4):108-111,117.
Wang Xinmeng. Design of injection mold with large angle inclined core pulling for lower shell of air conditioner[J]. Plastics, 2021, 50(4):108-111, 117.
- [3] 黄小娣.基于Moldflow的数控机床接触式滚轮传感器的注塑模具设计与优化分析[J].塑料科技,2021,49(2):74-77.
Huang Xiaodi. Design and optimization analysis of injection mold for NC machine tool contact roller sensor based on Moldflow[J]. Plastics Science and Technology, 2021, 49(2):74-77.
- [4] 赵春元.基于Moldflow的烟丝水分仪注塑模具浇口位置优化分析[J].塑料科技,2021,49(4):75-78.
Zhao Chunyuan. Optimal analysis of gate position of injection mold for tobacco moisture meter based on Moldflow[J]. Plastics Science and Technology, 2021, 49(4):75-78.
- [5] 吴凌云.基于Moldflow和BP神经网络的网络通信中继器注塑模具工艺优化[J].塑料科技,2021,49(4):86-89.
Wu Lingyun. Process optimization of injection mold for network communication repeater based on Moldflow and BP neural network[J]. Plastics Science and Technology, 2021, 49(4):86-89.
- [6] 韩海军,向金宝.一种揭盖式洗发水瓶盖的注塑模具设计[J].塑料科技,2019,47(4):77-81.
Han Haijun, Xiang Jinbao. Design of injection mould for shampoo bottle cap with a hood[J]. Plastics Science and Technology, 2019, 47(4):77-81.
- [7] 陈怀民,张远怀.气体发生器壳体模流分析及模具结构设计[J].现代塑料加工应用,2018,30(1):55-59.
Chen Huaimin, Zhang Yuanhuai. Simulation flow analysis and design of mould structure for gas generator shell[J]. Modern Plastics Processing and Applications, 2018, 30(1):55-59.
- [8] 廖生温,王玉勤,王可胜,等.基于BP神经网络的导管接头注塑工艺参数优化[J].工程塑料应用,2021,49(3):65-70.
Liao Shengwen, Wang Yuqin, Wang Kesheng, et al. Optimization of injection process parameters of catheter joint based on BP neural network[J]. Engineering Plastics Application, 2021, 49(3):65-70.
- [9] 何亮,喻慧文,曾雪东.洗发水瓶揭盖式瓶盖注塑模设计[J].工程塑料应用,2015,43(9):84-87.
He Liang, Yu Huiwen, Zeng Xuedong. Design of injection mould for shampoo bottle uncover type bottle cap[J]. Engineering Plastics Application, 2015, 43(9):84-87.
- [10] 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, Me Dasuo. Injection mould design of lifting cylinder based on CAE[J]. China Plastics Industry, 2021, 49(6):84-89.
- [11] 闫竹辉,刘斌,黄强.汽车接插件二次注射成型模具设计[J].工程塑料应用,2020,48(12):72-76.
Yan Zhuhui, Liu Bin, Huang Qiang. Design of secondary injection mould for automobile connector[J]. Engineering Plastics Application, 2020, 48(12):72-76.
- [12] 赵建平,李盛辉,王力.电路板外壳注塑Moldflow工艺优化与模具制造技术[J].制造技术与机床,2019(6):170-175.
Zhao Jianping, Li Shenghui, Wang Li. The Moldflow process optimization and mold manufacturing technology of circuit board shell injection[J]. Manufacturing Technology & Machine Tool, 2019(6):170-175.
- [13] 邹金红,杨敏敏,罗华云.基于某款手机后盖模具设计及工艺优化研究[J].塑料工业,2020,48(1):73-77.
Zou Jinhong, Yang Minmin, Luo Huayun. Based on mobile phone back cover mold design and process optimization research[J]. China Plastics Industry, 2020, 48(1):73-77.
- [14] 朱彦,徐乔擎,庄向斌.基于Moldflow的遥控器壳精密注塑模具设计[J].塑料科技,2021,49(3):70-72.
Zhu Yan, Xu Qiaoping, Zhuang Xiangbin. Design of precision injection mold for remote control shell based on Moldflow[J]. Plastics Science and Technology, 2021, 49(3):70-72.
- [15] 李林.侧向分型与抽芯机构注塑设计在实际中的运用[J].农业开发与装备,2019(9):96-97.
Li Lin. The application of lateral parting and core drawing mechanism injection molding design in practice[J]. Agricultural Development & Equipments, 2019(9):96-97.
- [16] 吴小飞.扫地机器人底座注塑模具设计[J].机电信息,2022(4):48-50.
Wu Xiaofei. Design of injection mould for sweeping robot base[J]. Mechanical and Electrical Information, 2022(4):48-50.