

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2024.10.017

基于气辅成型某汽车把手的注塑模具设计

叶銮真¹, 荣星², 蔡部林³, 游和路¹

(1.集美大学诚毅学院,福建厦门 361021; 2.集美大学海洋装备与机械工程学院,福建厦门 361021;

3.厦门部林科技有限公司,福建厦门 361100)

摘要: 为保证某汽车把手的注塑模具成型结构及成型质量的可靠性,基于 Moldflow 进行 CAE 注射成型模拟,确定以气辅溢流成型法作为模具设计及注射成型的方案。CAE 模拟结果显示,该塑件所有有效应变变形量比采用气辅标准成型法塑件的变形量降低了 31.3%,对充填熔体体积精准性要求较低、更容易控制,气体型芯穿透效果好,并得到最适合的浇口位置、最佳注塑工艺参数,以及气辅成型的最佳进气位置、气体延迟时间、气体注射时间、气体压力及气体保压时间等工艺参数。根据成型方案,针对性地设计了油缸驱动的气辅注气针运动机构、料道封闭运动机构及溢料槽。根据塑件产品的结构特征,利用斜导柱驱动滑块机构带动双面斜楔块运动,从而驱动一对滑块镶件相向移动,解决了在空间有限的情况下,伞形齿面及沉孔的抽芯脱模问题;设计了斜导柱驱动滑块抽芯机构,实现了筋条、转轴锥孔等特征的侧向抽芯。为确保气辅成型、塑件顶出等动作按照优化的注塑工艺安全、准确、可靠地运行,针对各运动机构,设计了相应的顺序控制及保障机构。经过注塑生产验证,模具操控调试简单方便,运行安全、准确、可靠,塑件质量稳定,符合设计要求。

关键词: 气辅成型;斜楔驱动抽芯;CAE 注塑模拟;顺序控制;注塑模具

中图分类号: TQ320.66+2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2024)10-0116-08

Design of injection mould for car handle based on gas-assisted molding

YE Xianzhen¹, RONG Xing², CAI Bulin³, YOU Helu¹

(1. Chengyi College, Jimei University, Xiamen 361021, Xiamen, China; 2. Jimei University, College of Marine Equipment and Mechanical Engineering, Xiamen 361021, China; 3. Xiamen Bulin Technology Co., Ltd., Xiamen 361100, China)

Abstract : To ensure the reliability of the injection molding structure and quality of a certain car handle, CAE injection molding simulation was conducted based on Moldflow, and gas-assisted flash molding method was determined as the mould design and injection molding scheme. CAE simulation results show that total effect deformation of the plastic parts is reduced by 31.3% compared to the gas-assisted standard forming method. Requirement for the accuracy of the filling melt volume is relatively low and easier to control. Gas-core penetration effect is good, and the most suitable gate position, optimal injection process parameters, as well as the optimal inlet position, gas delay time, gas injection time, gas pressure, and gas holding time for gas assisted forming are obtained. According to the molding plan, a targeted design was made for the pneumatic injection needle movement mechanism driven by the oil cylinder, the material channel closure movement mechanism, and the flash groove. Based on the structural characteristics of plastic products, the angle pin is used to drive the sliding block mechanism to drive the double-sided inclined wedge block to move, thereby driving a pair of sliding block inserts to move towards each other, solving the problem of core pulling and demolding of umbrella shaped tooth surfaces and countersunk holes in limited space. An angle pin driven slider core pulling mechanism was designed to achieve lateral core pulling with features such as ribs and tapered holes on the shaft. To ensure the safe, accurate and reliable operation of gas-assisted molding, plastic part ejection and other actions according to the optimized injection molding process, corresponding sequence control and guarantee mechanisms have been designed for each motion mechanism. After injection molding production verification, the mold control and debugging are simple and convenient, the operation is safe, accurate and reliable, the quality of plastic parts is stable, and it meets the design requirements.

Keywords : gas-assisted injection molding ; wedge driven core-pulling ; CAE injection molding simulation ; sequential control ; injection mould

基金项目: 厦门市科技补助项目(No.2022CXY0306),福建省高校产学研合作项目(No.2021H6032)

通信作者: 荣星,副教授,主要从事产品及模具设计加工、塑胶成型技术、数控技术研究与应用

收稿日期: 2024-07-21

引用格式: 叶銮真,荣星,蔡部林,等.基于气辅成型某汽车把手的注塑模具设计[J].工程塑料应用,2024,52(10):116-123.

YE Xianzhen, RONG Xing, CAI Bulin, et al. Design of injection mould for car handle based on gas-assisted molding[J]. Engineering Plastics Application, 2024, 52(10): 116-123.

气辅成型使用高压气体(氮气)压力代替传统的注塑保压,降低了所需的锁模力,可扩大注塑机成型范围。将塑件产品成型为中空结构,还可以减少产品表面的凹陷缩痕、翘曲变形等问题,保证塑件的外观质量;成型后的塑件壁厚基本均匀,塑件冷却更快,可缩短生产成型周期,减少树脂的使用量,降低材料成本,并达到轻量化设计目的^[1-2]。

气辅成型工艺参数主要包括熔体注射量、气道设计、注气点布局、气体延迟时间、气体压力和气体保压时间等,这些参数之间会相互影响,需要反复调试^[3-4],否则会出现吹破、气指等缺陷,很难得到理想穿透深度的气体型芯^[5],气指缺陷还会导致零件强度、刚度显著降低^[6],影响塑件制品使用功能。

对于壁厚相差较大且允许成型为中空结构的塑件制品,适合应用气体辅助注射成型。汽车把手塑件制品在气辅注射成型应用中具有一定的代表性,有学者基于CAE模拟成型技术在其成型工艺优化方面进行了相关的研究工作^[2-3,7-9],或对注塑模具的浇口位置、注气位置和溢料口位置做了优化设计^[10-12]。

笔者利用注塑模拟成型CAE技术对某汽车把手气辅成型工艺过程进行仿真,根据优化得出的气辅成型方案实施模具结构设计,并针对气辅成型过程中的注气针延迟注气、气体保压时间以及料道封闭等动作,设计相应的动作实施机构,以及动作可靠性的保障控制系统。根据汽车把手的结构特点,设计合理可靠的抽芯机构及模具总体结构。

1 把手塑件产品结构分析

某汽车把手材质为聚丙烯(PP),其最大外形尺寸为 $172.5\text{ mm}\times 132.7\text{ mm}\times 69.4\text{ mm}$,结构如图1所示,把手的手握部分为壁厚最大部位,截面为实心圆形结构,尺寸为 $\Phi 29.8\text{ mm}$,而位于转轴孔内的筋条壁厚最小值为 1.2 mm ,塑件壁厚最大值与最小值相差约24.8倍,故选择气辅注射成型^[13]。由于转轴部位结构复杂,筋条较多且壁厚小,需正确选择气辅注射成型工艺类型,并进行模具结构设计。

据塑件需求订单量,模具设计为一模一腔分布。根据把手塑件结构特点,遵循分型面为制品最大投影面的设计规则^[14],按照图1所示 PL 线作为分型线将塑件进行分型;塑件左右端存在 $\Phi 25.5\text{ mm}$ 转轴锥孔、筋条及 $\Phi 8.5\text{ mm}$ 锥孔,需按照图中 L, R 方向设计滑块抽芯机构;固定把手转轴孔的内端面相

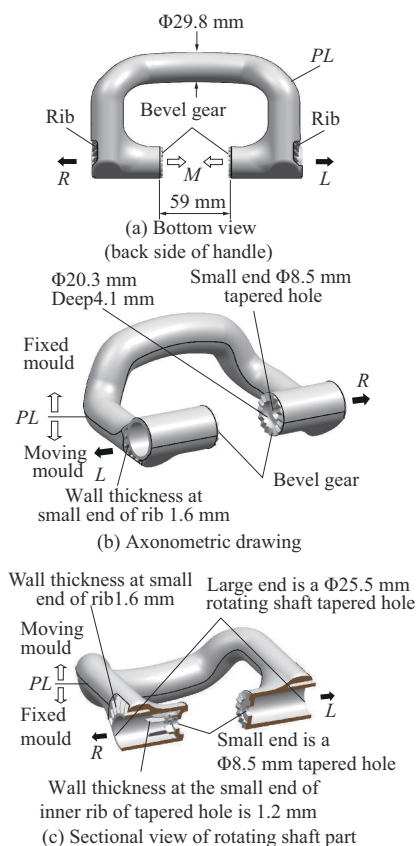


图1 某汽车把手产品结构图

Fig. 1 Structural diagram of a certain car handle product

对分布伞形齿(齿高 1.8 mm)及 $\Phi 20.3\text{ mm}$ 沉孔(深 4.1 mm),需按照图1中 M 方向设计滑块抽芯机构,在 M 方向内端面相对抽芯距离必须大于 $(1.8+4.1)\times 2=11.8\text{ mm}$,而内端面相距只有 59 mm ,如果按照传统的斜导柱驱动滑块抽芯机构设计,其难点在于抽芯运动空间明显不够。

2 把手塑件产品CAE注塑模拟分析

在气辅成型工艺参数中,对气体穿透效果起决定性作用的是熔体注射量、气体压力和气体保压时间^[4]。对塑件收缩变形量的影响程度,由大到小的顺序依次为气体压力、气体延迟时间、熔体注射时间、熔体注射量、熔体温度^[7]。对塑件翘曲变形量的影响程度,由大到小的顺序依次为模具温度、保压时间、熔体温度、保压压力^[15]。

结合Moldflow模流分析和模具结构,在图2所示位置设置浇口、气体辅助注射成型的气针。在浇口附近设置气针进气的原因,是因为气针与浇口放在塑件同一端,气体穿透方向与熔体流动方向一致,有利于气体穿透熔体。利用塑件本身作为气道,通过高压气体推动熔体填满模具型腔,并在产

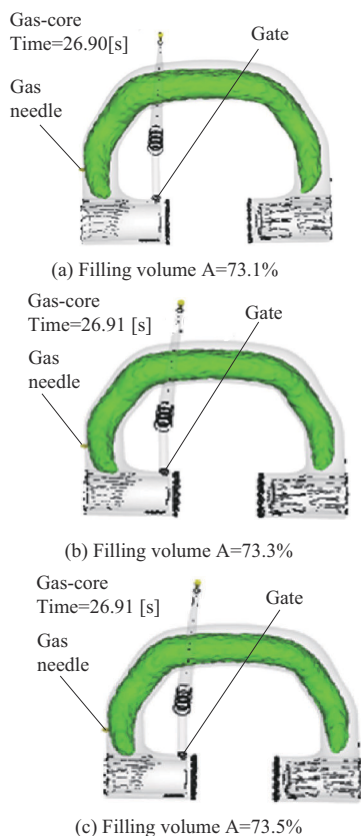


图2 标准成型法模拟仿真气体型芯

Fig. 2 Gas-core from standard molding method simulation

品内部形成中空截面^[3,16]。选择对气辅成型效果影响较大的熔体注射时间、熔体注射量、气体延迟时间、气体压力和气体保压时间5个因素进行正交试验,得出表1所示优化注塑工艺参数,其中A=73.5%。熔体注射量因制品形状及结构不同,需进行测试调整,熔体注射量越大,则气体穿透深度越小,熔体厚度越大,体现不出气辅注射成型的优势;熔体注射量若过小,则会出现熔体填不满型腔,甚至出现气体吹破熔体前沿的现象^[17]。因而,在模具设计、注塑生产之前,以表1工艺参数为基础,对适合本把手塑件成型的气辅标准成型法、溢流成型法两种方案进行CAE模拟分析,探讨熔体注射量对成型结果的影响,进一步优化熔体注射量参数,并确

表1 模拟仿真注塑工艺参数

Tab. 1 Simulated injection molding process parameters

Mould temperature/°C	Melt temperature/°C	Injection Time/s	Filling volume/%	Gas delay time/s	Gas pressure and time	
					Time/s	Gas pressure/MPa
40	220	1.2	A	1	0	0
					0.1	5
					24.9	5
					25	4.5

定气辅注射成型具体方案。

2.1 基于气辅标准成型法CAE分析

气辅标准成型法工艺过程为:熔体短射体积占模具型腔的60%~95%、气体注射、气体保压、停止注射气体和塑件顶出^[17];在前期正交试验得出熔体体积充填73.5%的基础上,改变熔体填充比例,分析比较气体型芯穿透及塑件变形等情况,对塑件成型质量进一步优化控制。如图2和图3所示,列出了具有代表性的3种熔体体积充填方案A=73.1%, 73.3%, 73.5%的气体型芯、塑件所有效应变形的模拟结果。

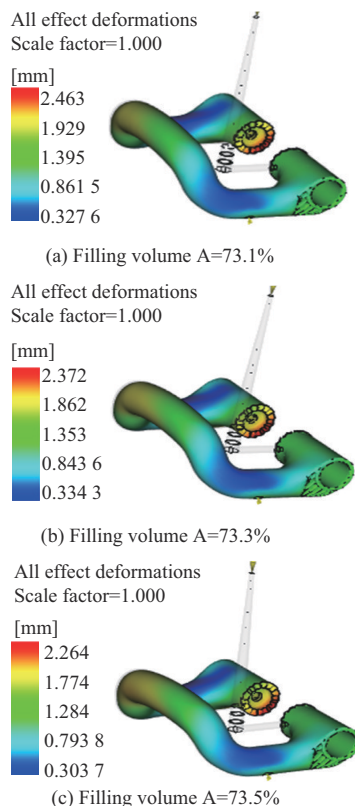


图3 标准成型法模拟仿真所有效应变形

Fig. 3 All effect deformations from standard molding method simulation

从以上气辅标准成型法CAE模拟仿真可知,熔体体积充填A=73.3%(模具型腔体积为244.6 cm³)时,气体型芯最理想,塑件所有效应变形为2.372 mm,成型效果总体最优。当熔体体积充填超过最优值的±0.27%时,气体型芯开始偏离最理想状态。

2.2 基于气辅溢流成型法CAE分析

气辅溢流成型法是在模具型腔侧合适的位置设计加工溢料口及溢料槽,让高压气体替换的一部分熔体进入到溢料槽。如图4所示,在熔体充填接

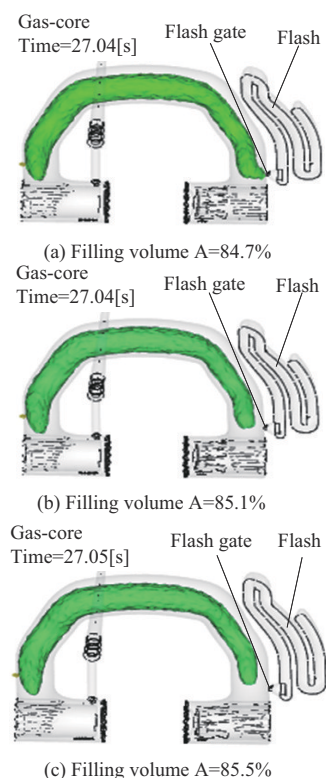


图4 溢流成型法模拟仿真气体型芯
Fig. 4 Gas-core from flash molding method simulation

近末端的位置增设溢料口、溢料槽,溢料槽设计为“之”字形布局。在表1注塑工艺参数基础上,改变熔体填充比例,进行气辅溢流成型法模拟仿真分析,对塑件成型质量和气体穿透情况进行优化控制。如图4和图5所示,列出了具有代表性的3种熔体体积充填方案A=84.7%,85.1%,85.5%的气体型芯、塑件所有效应变形的模拟结果。

从以上气辅溢流成型法CAE模拟仿真可知,熔体体积充填A=85.1%(模具型腔体积为244.6 cm³)时,气体型芯最理想,塑件所有效应变形为1.629 mm,成型效果总体最优。在熔体体积充填超过最优值的±0.47%时,气体型芯开始偏离最理想状态。

采用气辅标准成型法成型塑件时,模具结构简单,模具型腔容积固定,当熔体注射量偏离最优值±0.27%时,将直接影响气体穿透熔体所形成的气道长短及形状,对充填熔体体积准确性要求较高;气辅溢流成型法增加了余料排出结构,模具结构相对复杂,对充填熔体体积精准性要求相对低一些,在注射成型过程中易于控制熔体的注射量,注塑工艺较为简单^[15],其不足之处在于成型过程中会产生溢料,但PP是一种应用广泛的热塑性塑料,可以安全地重复使用和回收。将图3b和图5b模拟仿真塑件

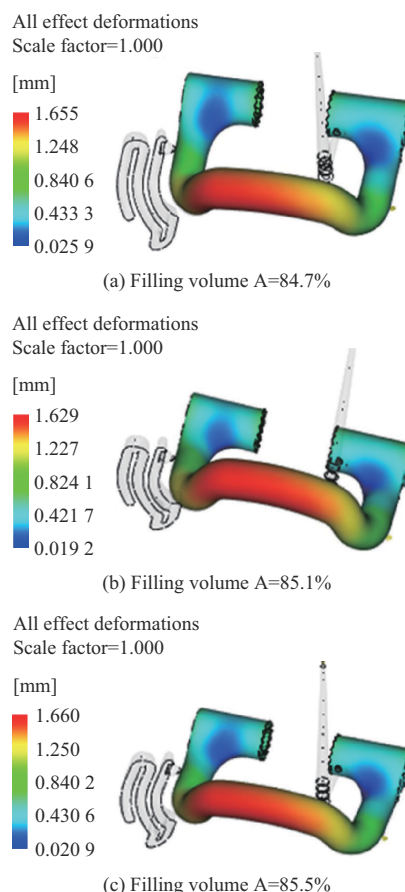


图5 溢流成型法模拟仿真所有效应变形

Fig. 5 All effect deformations from flash molding method simulation

所有效应变形的数据进行对比,气辅溢流成型法塑件所有效应变形量较标准成型法降低了31.3%。故选择气辅溢流成型法工艺注射成型该汽车把手塑件,并设计合适的模具结构,注塑时熔体体积充填率A=85.1%,其他优化的注塑工艺参数见表1。

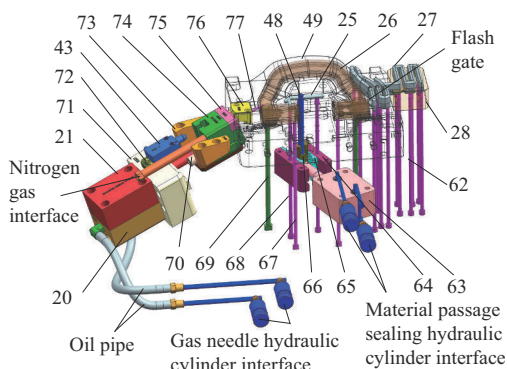
3 模具关键结构设计

3.1 气辅成型系统设计

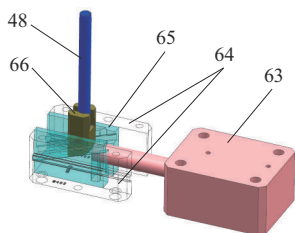
(1) 注气机构设计。

图6a为气辅成型的空间布局,如图6a所示,在进浇口同一端附近,设计直径为 $\varnothing 4$ mm 注气针77插入型腔熔体的注气方式,在填充末端设计2.5 mm×0.5 mm 溢料溢出口,由于注气针孔、溢料口设计在把手非外观面及非手握部位,且把手表面为皮纹面,注气后的气眼闭合痕、溢料剪除痕容易隐藏在塑件表面,不会影响外观和手握的质感^[18]。

如图6a所示,注气针77由固定块75固定于滑块座74组成滑动部件;滑动部件由压块73限制在动模板4滑槽内滑动;注气针77插入、后退动作由油缸21驱动;注气针77的运动轨迹由导向块76保



(a) Spatial layout of gas-assisted molding



(b) Material passage closing mechanism

- 20—Oil circuit integrated seat; 21, 63—Hydraulic cylinder; 25—Sprue;
26—Handle plastic part; 27—Flash; 28—Flash groove insert;
43—Limit switch; 48—Material passage closing needle;
49—Moving mold cavity; 62, 67, 69—Ejector pin;
64—Guide rail block; 65—Single bevel wedge; 66—Angular slider;
68—Ejecting pin; 70—Limit column; 71—Fixed seat;
72—Limit switch fixing plate; 73—Pressing block; 74—Slider seat;
75—Fixed block; 76—Guide block; 77—Gas injection needle

图6 气辅成型系统

Fig. 6 Gas-assisted molding system

证;滑动部件后退位置由限位柱70限制,行程开关43检测滑动部件是否后退至设定位置并发出信号;油路集成座20、油缸21由固定座71整体固定在动模板4侧面。高压氮气通、断及压力大小等由外部供气系统根据注塑工艺控制。

(2)料道封闭机构设计。

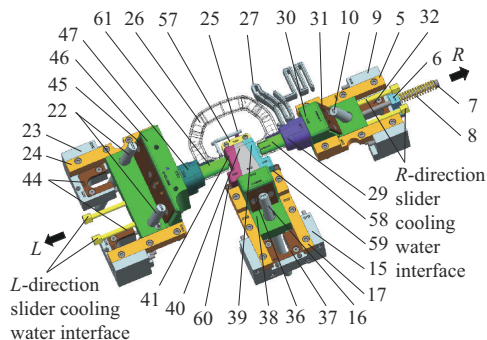
为防止在高压气体作用下,进浇口附近熔融树脂倒灌熔料筒,影响塑件品质,在注入高压气体之前,要封闭浇口^[19]。如图6b所示,油缸63推动单斜面楔块65在导轨块64导轨内滑动,单斜面楔块65的斜滑槽带动斜滑块66、料道封闭针48上下运动,实现将注射料道截断、打开的目的。料道封闭机构固定在动模板4背面。

3.2 抽芯机构设计

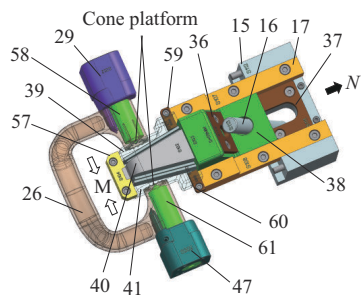
(1)内抽芯机构设计。

为解决图1所示的转轴内端面伞形齿(齿高1.8 mm)及 $\varnothing 20.3$ mm沉孔(深4.1 mm)特征脱模时,在 M

方向相向抽芯运动空间不够的问题,设计了如图7b所示的内抽芯机构。



(a) Spatial layout diagram of core-pulling mechanism



(b) Axonometric drawing of internal core-pulling mechanism

- 5, 17, 24—Slide strip; 6—Spring seat; 7—M10 bolt; 8—Spring;
9, 15, 23—Extended seat; 10, 16, 22—Angular pin; 25—Sprue;
26—Handle plastic part; 27—Flash; 29, 39, 41, 47—Slide insert;
30, 38, 46—Slide seat; 31, 32, 36, 37, 44, 45—Wear-resistant block;
40—Double bevel wedge; 57—Positioning block;
58, 61—Molding insert; 59, 60—Guide rail

图7 抽芯机构

Fig. 7 Core pulling mechanism

双斜面楔块40固定于滑块座38组成内滑块组件,模具开模时,内滑块组件在定模侧斜导柱16驱动下,于滑块压条17与动模板4、加长座15形成的导轨槽内沿 N 方向滑动,同时,双斜面楔块40的T型导轨带动滑块镶件39,41沿 M 方向运动,实现内抽芯动作;滑块镶件39,41分别在导轨59,60上滑动;合模时,定模侧斜导柱16驱动内滑块组件沿 N 反方向运动,同时,双斜面楔块40的T型导轨带动滑块镶件39,41沿 M 反方向运动,外抽芯机构的成型镶件58,61的锥台分别插入滑块镶件39,41锥孔,双斜面楔块40插入定位块57内,起定位作用,保证各活动成型镶件之间的准确合模。

(2)外抽芯机构设计。

把手塑件存在 $\varnothing 25.5$ mm转轴锥孔、筋条及 $\varnothing 8.5$ mm锥孔等无法正常脱模特征,需按照图7a中 L, R 方向设计向模具外侧抽芯机构实现脱模。

L 方向设计为双斜导柱22驱动滑块组件,留出空间设计注气运动机构;滑块组件由成型镶件61、滑块镶件47、耐磨块45、滑块座46等组装而成;在动模板4、加长座23的合模面侧加工滑槽,与滑块压条24、耐磨块44组成抽芯运动滑轨;固定在定模侧的双斜导柱22驱动滑块组件于滑轨内运动,实现 L 方向抽芯运动。

R 方向滑块组件由成型镶件58、滑块镶件29、耐磨块31、滑块座30等组装而成;在动模板4、加长座9的合模面侧加工滑槽,与滑块压条5、耐磨块32组成抽芯运动滑轨;固定在定模侧的斜导柱10驱动滑块组件于滑轨内运动,实现 R 方向抽芯运动。为防止 R 方向滑块组件的重力作用使其偏离正常位置,在滑块座30的尾部,设计了由弹簧座6、M10螺栓7、弹簧8组成的限位装置。

4 模具总体结构及工作原理

4.1 模具整体结构设计

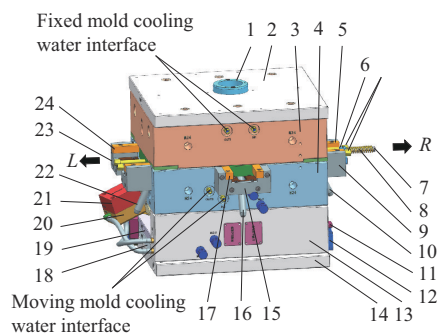
把手塑件模具选用两板模架,在三个方向设计了侧向抽芯结构,在 L 方向还设计了注气运动机构。为保证模具精准导向定位,除了导柱导套定位外,在定模板3、动模板4的配合面设计了4套精定位块35,在定模型腔52与动模型腔49的配合面设计了4对定位锥台,进一步保证把手塑件26合模线精准及手握的质感,如图8所示。

模具浇注系统采用直浇口转侧浇口方式进胶;开模后,2支顶料针68顶出料头25,把手塑件26采用2支顶针67、2支顶针69顶出,溢料27由12支顶针62顶出溢料槽,实现全自动注射成型。

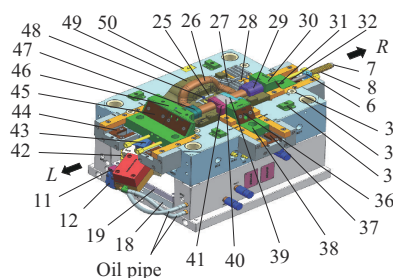
气辅成型注塑模具与传统的注塑模具一样,在成型过程中也需对模具温度进行控制^[20],否则会影响塑件成型质量及效率。故在动模侧设计了一条直径8 mm直通水路对动模板4冷却,一组直径8 mm循环水路对动模型腔49冷却。在定模侧设计了一组直径10 mm循环水路对定模型腔52冷却。在 L, R 方向滑块组件内的直径5 mm循环水路进入10 mm隔片式冷却水井对成型镶件58,61进行冷却。

4.2 模具工作原理及可靠性保障

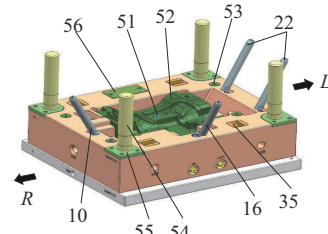
在模具合模时,塑件顶出机构依靠复位弹簧42、复位杆33强行复位,以防止顶针67、顶针69、顶料针68与定模型腔52、溢料顶针62与定模侧溢料槽发生干涉碰撞,同时,塑件顶出机构还设计了挡块11、行程开关12,注气机构设计了行程开关43,按



(a) Axonometric drawing of mould



(b) Axonometric drawing of moving mould



(c) Axonometric drawing of fixed mould

- 1—Locating ring; 2—Fixed mold base plate; 3—Fixed mold plate;
- 4—Moving mold plate; 5, 17, 24—Slide strip; 6—Spring seat;
- 7—M10 bolt; 8—Spring; 9, 15, 23—Extended seat of slide guide rail;
- 10, 16, 22—Angular pin; 11—Block; 12, 43—Limit switch;
- 13—Cushion block; 14—Moving mold base plate; 18—Push plate;
- 19—Ejector pin fixing plate; 20—Oil circuit integrated seat;
- 21—Hydraulic cylinder; 25—Sprue; 26—Handle plastic part;
- 27—Flash; 28—Flash groove insert; 29, 39, 41, 47—Slide insert;
- 30, 38, 46—Slide seat; 31, 32, 36, 37, 44, 45—Wear-resistant block;
- 33—Return pin; 34—Guide bushing; 35—Fine positioning block;
- 40—Double bevel wedge; 42—Return spring; 48—Material passage closing needle; 49—Moving mold cavity; 50—Counter; 51—Sprue bush; 52—Fixed mold cavity; 53—Wear-resistant block on end face of return pin; 54—Guide pillar; 55—Guide pillar fixing plate;
- 56—Wear-resistant block on mold clamping surface

图8 模具结构

Fig. 8 Mould structure

照图9所示顺序,检测控制模具开合模及相关机构动作。

5 结论

在对某汽车把手塑件进行注塑模具设计之前,

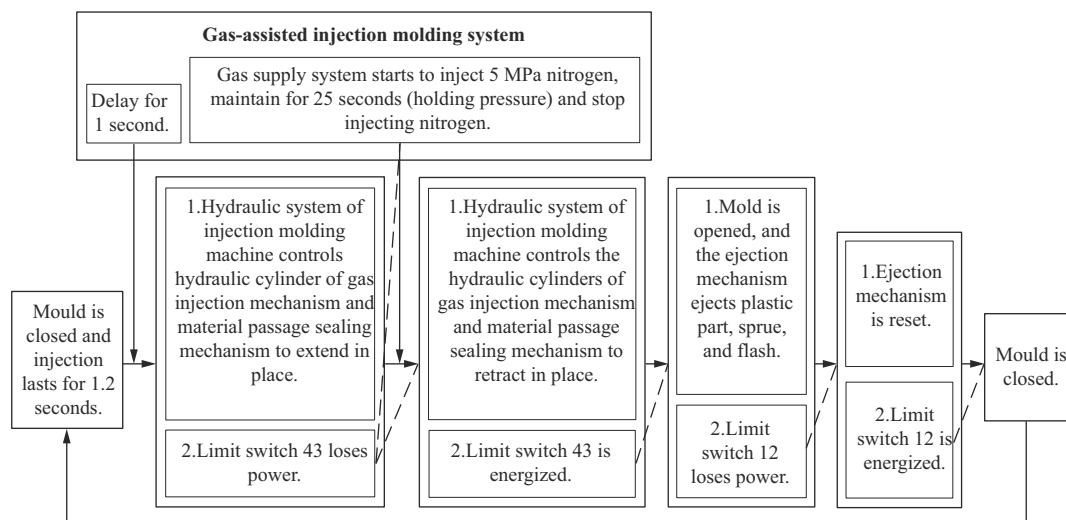


图9 开合模顺序及控制

Fig. 9 Opening and closing sequence and control

基于气辅成型技术对塑件把手进行了CAE注塑模拟,对气辅标准成型法及溢流成型法两种工艺方案中的气体型芯穿透效果、塑件所有效应变形进行了比较分析,最终选择了注射成型过程中易于控制熔体注射量、气体型芯穿透效果好及塑件所有效应变形量小的气辅溢流成型法方案,据此进行模具设计加工,并针对性地设计了油缸驱动的气辅注气针运动机构、料道封闭运动机构。在空间不足的情况下,根据塑件结构特征,利用斜导柱驱动滑块机构带动双面斜楔块运动,从而驱动一对滑块镶件相向移动实现内抽芯,解决了塑件把手转轴内侧特征脱模问题;设计了斜导柱驱动滑块抽芯机构,解决了塑件把手转轴外侧特征脱模问题。根据CAE模拟仿真得到的优化工艺参数,制定了注塑工艺流程,并设计了相应的控制及保障机构。经过试模及批量生产验证,模具调试简单方便,运行安全、准确可靠,注塑的塑件质量稳定。

参考文献

- [1] 谢祖通,翁礼杰,李朋,等.基于气辅工艺车门扶手骨架的热流道模具设计[J].工程塑料应用,2023,51(12):100-105.
XIE Zutong, WENG Lijie, LI Peng, et al. Design of hot runner mould for door armrest framework based on gas assisted technology [J]. Engineering Plastics Application, 2023, 51(12):100-105.
- [2] 傅莹龙.基于气辅技术与正交试验的汽车门把手成型工艺优化[J].模具制造,2022,22(12):37-40.
FU Yinglong. Optimization of molding process of automobile door handle based on gas assisted technology and orthogonal test[J]. Die & Mould Manufacture, 2022, 22(12):37-40.
- [3] 程佳玮,曹俊哲,谢传颖,等.基于Moldflow的汽车把手气辅注塑工艺多目标优化[J].工程塑料应用,2024,52(4):89-93.

CHENG Jiawei, CAO Junzhe, XIE Chuanying, et al. Multi-objective optimization of automotive handles gas-assisted injection molding process based on Moldflow[J]. Engineering Plastics Application, 2024, 52(4):89-93.

- [4] 王蕴晴,王小新,杜鹏辉,等.基于Moldflow的冰箱顶盖气体辅助注塑工艺优化设计[J].模具技术,2022(2):20-25.
WANG Yunqing, WANG Xiaoxin, DU Penghui, et al. Optimal design of gas-assisted injection molding process for refrigerator cover based on Moldflow[J]. Die and Mould Technology, 2022(2): 20-25.
- [5] 沈祖炎,王子秦,夏琴香,等.多筋梳形件气辅成型型指缺陷模拟与控制研究[J].高分子通报,2023,37(3):345-357.
SHEN Zuyan, WANG Ziqin, XIA Qinxian, et al. Research on simulation and control of gas fingering defect in gas-assisted injection molding of multi-rib comb shaped part[J]. Polymer Bulletin, 2023, 37(3):345-357.
- [6] HSU C C, HUANG C T, CHANG R Y. Simulation of dynamic gas penetrations on fingering behaviors during gas-assisted injection molding[J]. Journal of Polymer Engineering, 2018, 38(1):93-105.
- [7] 梁春兰,胡慧敏,孙秀倩.汽车车门把手气辅成型工艺CAE优化研究[J].精密成形工程,2022,14(9):131-135.
LIANG Chunlan, HU Huimin, SUN Xiuqian. CAE optimization of gas-assisted forming process for automobile door handle[J]. Journal of Netshape Forming Engineering, 2022, 14(9):131-135.
- [8] 赵战锋.基于气辅注射成型工艺CAE优化的汽车手柄模具设计[J].中国塑料,2020,34(3):78-84.
ZHAO Zhanfeng. Mold design of automobile handle based on GAIM CAE optimization[J]. China Plastics, 2020, 34(3):78-84.
- [9] 尹红灵,吴国洪.汽车门把手的气辅注射成型工艺优化[J].模具技术,2018(5):46-50.
YIN Hongling, WU Guohong. Optimization of gas-assisted injection molding process for car door handle[J]. Die and Mould Technology, 2018(5):46-50.

- [10] 赵战锋. 基于 Moldflow 的新能源汽车手柄气辅成型工艺优化[J]. 塑料, 2020, 49(4):73–77, 86.
ZHAO Zhanfeng. Gas-assisted forming process optimization of new energy automobile handle based on Moldflow[J]. Plastics, 2020, 49(4):73–77, 86.
- [11] 潘俊宇, 匡唐清, 赖德炜, 等. 汽车门把手的气体辅助注塑模具改进及工艺优化[J]. 中国塑料, 2017, 31(4):91–96.
PAN Junyu, KUANG Tangqing, LAI Dewei, et al. Improvement of gas-assisted injection molds and process optimization for car door handles[J]. China Plastics, 2017, 31(4):91–96.
- [12] 杜林芳, 苗秋玲. 汽车内饰把手气辅注射成型模具设计[J]. 中国塑料, 2017, 31(4):102–105.
DU Linfang, MIAO Qiuling. Design of gas-assisted injection molds for car interior door handles[J]. China Plastics, 2017, 31(4):102–105.
- [13] 黄淑慧, 赵珠宇, 林军, 等. 不同截面型腔的气辅共注塑成型制件质量分析[J]. 塑料, 2021, 50(6):129–134.
HUANG Shuhui, ZHAO Zhuyu, LIN Jun, et al. Quality analysis of the gas-assisted co-Injection molding process of cavities with different cross-section[J]. Plastics, 2021, 50(6):129–134.
- [14] 荣星, 丁瑞铭, 蔡部林. 某塑胶 U 型管注塑模具设计[J]. 塑料工业, 2023, 51(8):73–79.
RONG Xing, DING Ruiming, CAI Bulin. Design of injection mould for plastic U-tube[J]. China Plastic Industry, 2023, 51(8):73–79.
- [15] 谭安平, 骆静, 谭平. 基于 Moldflow 软件的短射法气辅成型数值分析及优化[J]. 合成树脂及塑料, 2023, 40(3):54–57, 71.
TAN Anping, LUO Jing, TAN Ping. Numerical analysis and optimization of short shot gas assisted molding based on Moldflow[J]. China Synthetic Resin and Plastics, 2023, 40(3):54–57, 71.
- [16] 周纪委, 翟剑敏, 王明伟, 等. 汽车中控后端盖板气辅注塑模具设计[J]. 工程塑料应用, 2023, 51(7):103–109.
ZHOU Jiwei, ZHAI Jianmin, WANG Mingwei, et al. Gas-assisted injection mold design for automotive central control rear cover[J]. Engineering Plastics Application, 2023, 51(7):103–109.
- [17] 丁宏. 气辅注塑成型工艺的研究与应用[D]. 厦门: 厦门大学, 2009.
DING Hong. Study & application on gas-assisted injection molding technology[D]. Xiamen: Xiamen University, 2009.
- [18] 周纪委, 王明伟, 吴迪, 等. 汽车尾门左右窗框饰板气辅注塑模具设计[J]. 中国塑料, 2023, 37(11):141–148.
ZHOU Jiwei, WANG Mingwei, WU Di, et al. Design of gas assisted injection mold construction for left and right window frame trim panels of automobile tailgate[J]. China Plastics, 2023, 37(11):141–148.
- [19] 张斌, 唐春华. U 形提手气辅注射成型分析与优化[J]. 模具技术, 2021(1):20–25.
ZHANG bin, TANG Chunhua. Analysis and optimization of gas-assisted injection moulding for U-shaped handle[J]. Die and Mould Technology, 2021(1):20–25.
- [20] GIANG N T, MINH P S, SON T A, et al. Study on external gas-assisted mold temperature control with the assistance of a flow focusing device in the injection molding process[J]. Materials, 2021, 14(4). DOI:10.3390/ma14040965.