

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2022.04.015

# 童车骨架热流道注塑模设计

华丽霞<sup>1</sup>, 刘沛龙<sup>1</sup>, 郭兴<sup>2</sup>

(1. 义乌工商职业技术学院, 浙江义乌 322000; 2. 山东省教育发展服务中心, 济南 250011)

**摘要:** 分析了童车骨架塑件的结构工艺特点。基于塑件自动化成型的需要, 设计了一副多板热流道模具用于塑件的成型。模腔使用带有 3 个热嘴的热流道浇注系统进行浇注。为了简化模具结构, 设计了 4 个侧面滑块抽芯机构和 8 个内收抽芯机构用于塑件的脱模。选用多板式模架, 使模具分两次开模, 一次用于内收抽芯机构的驱动, 另一次用于模腔打开和 4 个侧面滑块机构的驱动。4 个侧面滑块机构的成型件和塑件上错层槽筋等特征的成型件都使用组合式成型镶件。动模板上配置的多块耐磨板起到配模平衡并防止锁模力在闭模时压坏模腔分型面的作用。设计的模具结构使模腔能够得到有效充填和充分保压, 确保了塑件的注塑质量, 有效降低了模具的制造成本。

**关键词:** 童车骨架; 热流道; 结构设计; 镶件; 注塑模具

**中图分类号:** TQ320.5+2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2022)04-0081-06

## Design of Hot Runner Injection Mold for Baby Carriage Skeleton

Hua Lixia<sup>1</sup>, Liu Peilong<sup>1</sup>, Guo Xing<sup>2</sup>

(1. Yiwu Industrial and Commercial College, Yiwu 322000, China; 2. Shandong Education Development Service Center, Jinan 250011, China)

**Abstract :** The structural and technological characteristics of the plastic parts of the baby carriage skeleton were analyzed. Based on the needs of automatic molding of plastic parts, a multi-plate hot runner mold was designed for the molding of plastic parts. The cavity was gated by using a hot runner gating system with 3 hot nozzles. In order to simplify the mold structure, the four side-slider core-pulling mechanisms and the eight retraction core-pulling mechanisms were designed for demoulding of plastic parts. The multi-plate mold base was selected, so that the mold was opened twice, one was used to drive the internal core-pulling mechanism, and the other was used to open the mold cavity and drive the four side-slider mechanisms. The molded parts of the four side-slider mechanisms and the molded parts of the staggered groove ribs on the plastic parts all used the combined molding inserts. The multiple wear-resistant plates that were set on the moving-plate played a role in balancing the mold matching and preventing the clamping force from crushing the parting surface of the mold cavity when the mold was closed. The designed mold structure enabled the mold cavity to be effectively filled and fully press maintained, which ensured the injection quality of the plastic parts and effectively reduced the mold manufacturing cost.

**Keywords :** baby carriage skeleton ; hot runner ; structural design ; insert ; injection mold

童车骨架塑件是童车塑件中最复杂的塑件之一, 该塑件注塑模具设计有以下难点: (1) 塑件上所设置的功能附加特征结构复杂, 形式多样, 特别是侧抽芯脱模时成型件容易拉坏塑件, 且侧抽芯机构的设计受限制条件也比较多<sup>[1-2]</sup>; (2) 由于塑件尺寸大, 采用冷流道浇注系统很难达到模腔充填饱满的效果, 容易产生诸如缺料、熔接线、裂纹等注塑品质缺陷<sup>[3-5]</sup>。因而, 在设计童车骨架塑件的注塑模具时,

如何保证模腔得到充足充填和实施有效保压, 如何使复杂特征的脱模无损、可靠, 如何简化脱模机构和模具整体结构, 以降低模具制造成本, 是设计人员必须慎重考虑的综合性问题。

### 1 童车骨架结构

童车骨架结构如图 1 所示。该童车骨架采用 30% 玻纤 (GF) 增强聚丙烯 (PP) 材料进行注射成型, 缩水率为 0.4%~0.5%。童车骨架外形基本尺寸为

基金项目: 浙江省 2019-2020 年度产教融合“五个一批”产学研合作协同育人项目 (立项序号 208)

通信作者: 华丽霞, 硕士, 副教授, 从事工业设计、产品成型加工、教育理论等研究

收稿日期: 2022-01-28

引用格式: 华丽霞, 刘沛龙, 郭兴. 童车骨架热流道注塑模设计 [J]. 工程塑料应用, 2022, 50(4):81-86.

Hua Lixia, Liu Peilong, Guo Xing. Design of hot runner injection mold for baby carriage skeleton[J]. Engineering Plastics Application, 2022, 50(4):81-86.

350.6 mm×162.6 mm×86.0 mm。童车骨架的结构特征构成较为复杂,主要表现为:塑件4个侧面上的子特征设计各不相同,种类构成多且复杂;4个侧面的外壁上,A侧面及C侧面侧孔多,B侧面有2个过孔座,过孔座侧边设置有侧槽,D侧面整体为1个龙门槽;塑件内壁上,中间部位加强筋多,中间部位靠近B侧面一端设置有1个双圆槽,双圆槽的每个单个圆槽侧壁上设置有4个卡扣槽,共8个卡扣槽,卡扣槽为矩形通孔槽,每个卡扣槽外侧都设置有1个错层槽筋,共8个错层槽筋。

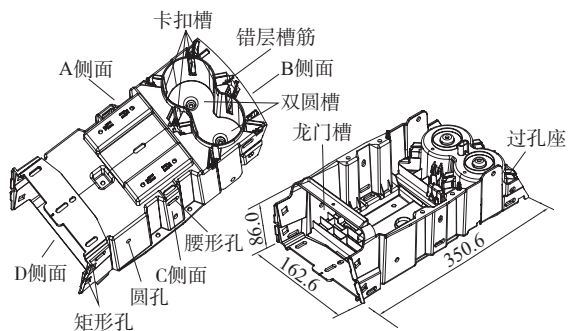
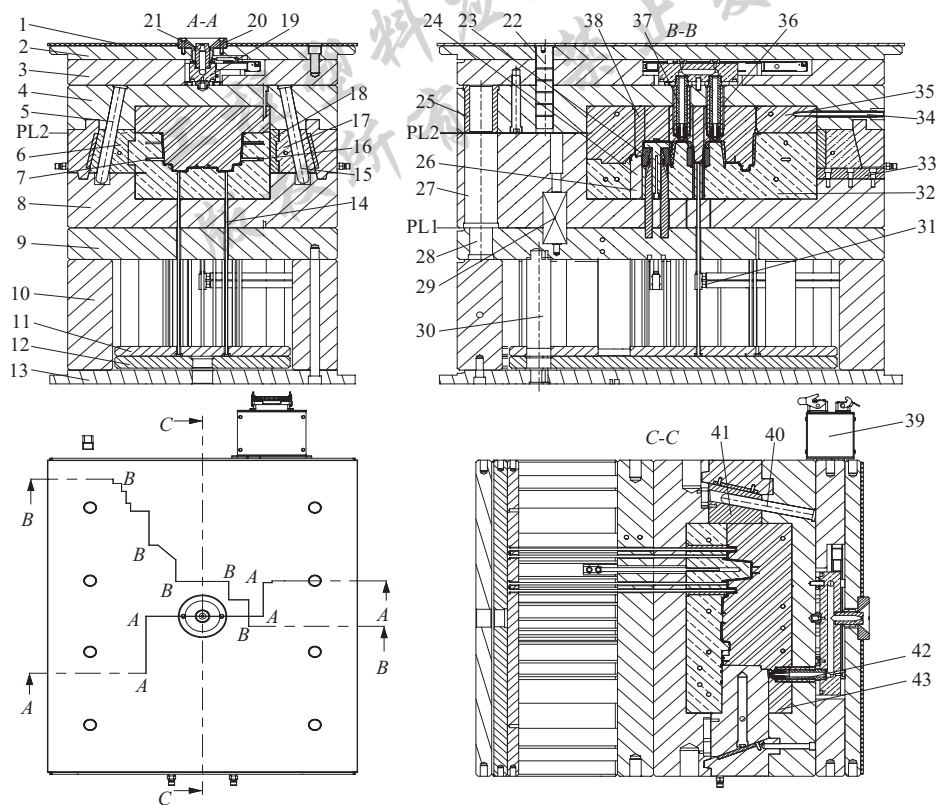


图1 童车骨架

结合塑件结构特点及同类塑件模具设计经验,可以判断塑件成型模具设计有以下要求:(1)模腔的浇注须采用多个浇口进行浇注,以保证模腔各充填末端获得充足的充填和有效保压,较好的办法是采用多点热嘴进行充填;(2)4个侧面的脱模需要设置4个侧面抽芯脱模机构来实现,且须满足4个侧面上各种不同特征的无损脱模;(3)双圆槽侧壁上8个卡扣槽的每个卡扣槽都需要使用一个内收抽芯机构在狭窄空间内对其实施侧抽芯脱模;(4)塑件局部特征的成型,如错层槽筋等,采用整体式成型件进行成型时,整体式成型件的加工难度大,成型件需要使用多个小镶件进行镶拼组合,以降低成型件加工难度。模腔的浇注、塑件4个侧面的脱模、卡扣槽的脱模、局部区域复杂特征成型件的设计是塑件模具结构设计的难点<sup>[6-7]</sup>,因而,模具结构设计须从浇注系统、脱模机构、成型件设置、冷却系统及整体结构布置等方面进行优化设置,以完成塑件的模具结构设计。

## 2 模具结构

设计的塑件模具结构如图2所示。



- 1—隔热板;2—定模座板;3—隔空垫板;4—定模板;5—A侧面滑块斜导柱;6—A侧面滑块;7—A侧面侧孔镶件;8—动模板;9—动模垫板;10—模脚;11—盖板;12—推板;13—动模座板;14—顶针;15—C侧面滑块斜导柱;16—C侧面侧孔镶件;17—C侧面滑块;18—镶件压块;19—热流道板;20—定位环;21—浇口套;22—定位导柱;23—卡扣槽活动镶件;24—驱动插杆;25—定模板导套;26—错层槽筋下镶件;27—动模板导套;28—导柱;29—弹簧;30—支撑柱;31—加长型水管;32—型芯镶件;33—滑块耐磨板;34—延伸式水嘴;35—型腔镶件;36—G<sub>1</sub>热嘴;37—G<sub>2</sub>热嘴;38—错层槽筋上镶件;39—接线盒;40—B侧面滑块斜导柱;41—B侧面滑块;42—G<sub>3</sub>热嘴;43—D侧面龙门槽滑块;PL<sub>1</sub>, PL<sub>2</sub>—开模面

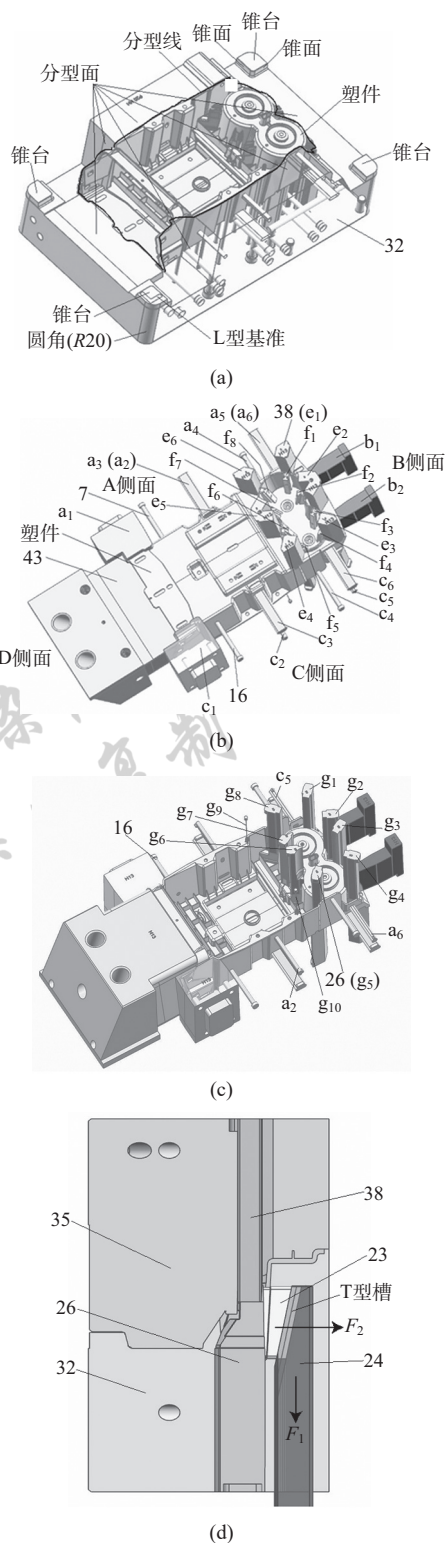
图2 模具结构

模具为一种多板式热流道模具。模架选用龙记标准模架,规格为 LKM AI6080-A120-B240-C260,在模架动模一侧增加了动模垫板 9,使得模具成为一种多板式结构模具。之所以选用多板式模架结构,是由于塑件双圆槽特征侧壁上的 8 个卡扣槽的每个卡扣槽都需要使用侧抽芯脱模,需要增加一次开模( $PL_1$  面),用以驱动 8 个卡扣槽的成型件实施侧抽芯脱模<sup>[9-11]</sup>。之所以选用 3 点式热嘴热流道浇注系统进行浇注,主要是因为塑件尺寸较大,使用冷流道浇注系统浇注时,因流动路径过长而容易产生冷料堵塞流道和浇口问题,使模腔充填困难,所以,为缩短浇注系统流道长度及便于实施多点浇注,使用 3 点式热嘴热流道浇注系统对模腔实施浇注,热嘴使用开放式热嘴。因塑件尺寸较大,模具规格尺寸也较大,模具需要使用容模尺寸较大的注塑机。因模腔四面需要设置 4 个侧抽芯脱模机构,模腔布局只能使用 1 模 1 腔布局。鉴于热流道浇注系统开设的需要,模架上需要单独安装热流道板 19,且该板需采取绝热措施,因而定模座板 2 和定模板 4 之间需要加装隔空垫板 3,加装此板后,定模座板 2、隔空垫板 3 和定模板 4 三块模板之间的安装定位使用 4 个均衡布置的定位导柱 22 进行定位,这样做的好处是,定位导柱 22 是标准件,可以直接选用而无需另外加工,并且导柱本身的加工精度相对较高,定位精准,尺寸较大( $\varnothing 32$  mm),强度好,能有效保证热嘴的安装精度。动模板 8 和动模垫板 9 之间有一次开模打开( $PL_1$  面),需要借助 4 个均衡布置的弹簧 29 进行撑开,弹簧 29 在  $PL_1$  面闭合时处于压缩状态,预压缩量为 10%。

### 3 成型件

成型镶件设置如图 3 所示。

为便于成型零件加工,节省贵重钢材用量,以降低模具的制造成本,模腔由多个成型件镶拼组合而成<sup>[12-15]</sup>。其中,主成型件由型芯镶件 32、型腔镶件 35 组成,两者的分型面设置如图 3a 所示。对于分型面的设置,不能以塑件的最大外沿轮廓线来进行设置,而是结合塑件侧面成型及脱模所需的成型件形状来进行设置,因而,在设置了图 3a 所示的分型线后,模腔的分型面由多个高度不同的局部分型面组合而成。型芯镶件 32、型腔镶件 35 闭合时由 4 角的 4 个锥台进行定位,每个锥台的锥面斜度为  $5^\circ$ ,型芯镶件 32、型腔镶件 35 两主要成型件的 4 角使用 R20 圆角,以便于两者在各自对应的模板框槽



$a_1 \sim a_6$ —A 侧面镶件;  $b_1 \sim b_2$ —B 侧面镶件;  $c_1 \sim c_6$ —C 侧面镶件;  
 $e_1 \sim e_6$ —错层槽筋下镶件;  $f_1 \sim f_8$ —卡扣槽活动镶件;  
 $g_1 \sim g_8$ —错层槽筋上镶件;  $g_9, g_{10}$ —小圆柱镶件;  
 $F_1, F_2$ —抽芯方向; 其余编号同图 2  
a—主成型件分型设置; b—模腔反面镶件;  
c—模腔正面镶件; d—卡扣槽活动镶件

图 3 成型镶件设置

中安装。主成型件加工时,都统一以 L 形基准标识所在位置的两个侧面作为加工基准,这样能有效减小成型件之间的装配误差,保证模腔闭合精度。鉴于主成型件型芯镶件 32、型腔镶件 35 中心部位有较多的细小而突兀的成型部位,两者材料都选用合金工具钢 DIN1.2738,该材料能满足两个成型件细小突兀成型部位的高应力使用要求,且 DIN1.2738 能进行渗氮、镀铬、火焰硬化表面等处理,有良好的机械加工、抛光性能,能满足塑件材料对成型件表面的硬度、耐磨性等要求。

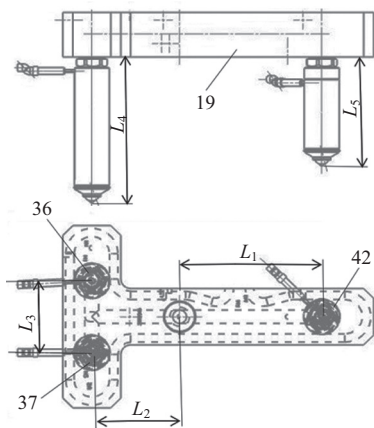
为保证模腔的强度,针对塑件 4 个侧面的侧抽芯成型件的设计做以下设置:(1)针对 A 侧面、C 侧面和 B 侧面三个侧面的成型与脱模要求,A 侧面和 C 侧面的每个侧孔、B 侧面的过孔座成型件都使用一个单独的镶件成型,然后由设置在型芯镶件 32 外周的 3 个滑块机构驱动而实施抽芯,这样能非常有效地保证型芯镶件 32 的整体强度,同时,又能防止侧面成型件侧抽芯脱模时将塑件侧面拉拽变形而损坏塑件,如图 3b 所示。A 侧面的成型件即 A 侧面滑块 6 上镶嵌有 A 侧面侧孔镶件 7 和镶件  $a_1 \sim a_6$ ; C 侧面的成型件即 C 侧面滑块 17 上镶嵌有 C 侧面侧孔镶件 16 和镶件  $c_1 \sim c_6$ ; B 侧面的成型件即 B 侧面滑块 41 上镶嵌有镶件  $b_1$  和  $b_2$ 。(2)针对 D 侧面,只能使用一个整体式成型件——D 侧面龙门槽滑块 43 进行成型和抽芯脱模。

针对错层槽筋特征,因其正面特征和反面特征形状都比较尖锐、突兀,直接从型芯镶件 32、型腔镶件 35 上加工出其成型特征时,加工难度非常大,因而采用镶件组合的方式来获得其成型件,故型芯镶件 32 内设置镶件  $e_1$  (零件 38)~ $e_6$  共 6 个镶件,如图 3b 所示,型腔镶件 35 内设置镶件  $g_1 \sim g_8$  共 8 个镶件,如图 3c 所示。镶件  $g_9$  和  $g_{10}$  为成型两个小孔的镶件。

针对双圆槽内壁上的 8 个卡扣槽,设置 8 个卡扣槽活动镶件  $f_1 \sim f_8$ ,以其中的镶件  $f_5$  即图 3d 中的卡扣槽活动镶件 23 为例,将该镶件结构设置成横向抽芯滑块形式,由驱动插杆 24 进行驱动,驱动插杆 24 按  $F_1$  向向下移动时,将通过 T 型槽驱动卡扣槽活动镶件 23 按  $F_2$  向做 4.5 mm 的侧向抽芯,实现卡扣槽特征的抽芯脱模。

#### 4 浇注系统

模腔的浇注采用 3 点式热嘴热流道浇注系统进行浇注,如图 4 所示,浇注系统的设计如下:



$L_1 \sim L_5$ —尺寸;其余编号同图 2

图 4 热流道浇注系统

(1) 热嘴内径。G1 热嘴 36, G2 热嘴 37 及 G3 热嘴 42 选用 AESB16 型热嘴,经计算,浇口直径为 4.75 mm,为便于加工,取浇口直径为 6 mm。浇口长度对注塑过程的顺利进行有明显的影 响,为防止热嘴的浇口出现拉丝流延问题,浇口长度与浇口直径之比应小于 1,因而,3 个热嘴的浇口长度取 5 mm。

(2) 热膨胀误差。浇注系统加热到模具工作状态时,热流道板 19 和 3 个热嘴因温度升高将会产生热膨胀变形,这将涉及到两个问题:①热流道板 19 变形会导致该板上的 3 个热嘴安装孔的中心线与 3 个热嘴的中心线错位,主要体现为图 4b 中  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$  尺寸的变化;② 3 个热嘴长度发生变化,主要表现为热嘴 36、热嘴 37 的长度  $L_4$  变长,热嘴 42 的长度  $L_5$  变长。设计时应考虑室温状态和注塑温度状态下  $L_1 \sim L_5$  尺寸的变化。

(3) 加热功率。在浇注系统中,热流道板 19 和 3 个热嘴外壳使用膨胀系数小的合金钢材 S136 材料,经计算,热流道系统总体所需加热功率约为 5 kW。

(4) 密封。热嘴与热流道板之间的流道外围须采取密封措施,防止溢料。

(5) 防堵塞。GF 增强 PP 的熔融黏度增大,流动性变差,须提高注塑压力;尽量避免或少使用回料/颗粒污染料,以防堵塞热流道。GF 增强后,PP 的吸湿性能增大,注塑时应烘干。

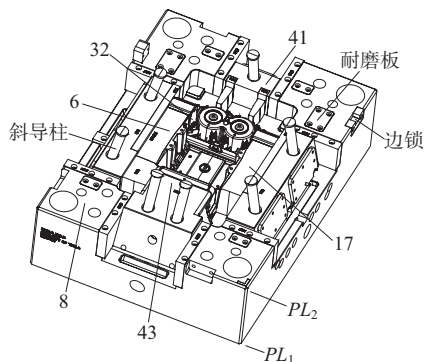
采用的浇注系统具有如下特点:①节约塑料,缩短成型周期,降低注射压力要求;②能获得持续的保压来控制塑件变形;③简化模具结构,降低生产成本。

## 5 冷却系统

在模具中,模腔的冷却使用9条冷却管道进行冷却,其中型腔一侧使用5条水路,型芯一侧使用4条水路。冷却水水路直径都为12 mm,以保证模腔获得足够冷却。为达到较好的冷却效果,在型腔镶件32内开设多个冷却水井,以使冷却水尽可能接近外表成型面。在A侧面滑块6,C侧面滑块17和D侧面龙门槽滑块43上,设置的水路尽可能跟随滑块的成型面形状,以保证模腔冷却效果均匀。在型芯冷却水路中,设置多个冷却水井,以加强对镶件 $g_1 \sim g_8$ 所在区域的冷却。

## 6 脱模机构

脱模机构布置如图5所示。塑件的脱模设计包括4个部分:(1)8个卡扣槽的内收抽芯脱模;(2)塑件从型腔镶件35上脱模;(3)4个侧面都需要侧抽芯脱模,(4)塑件须从型芯镶件32上最终脱模。因而,设计模具结构时,在模架上增加了一次开模( $PL_1$ 面),用于驱动8个卡扣槽成型件抽芯脱模;动模上设计了4个侧面滑块抽芯机构,在 $PL_2$ 面打开的同时完成塑件4个侧面及其上子特征的侧抽芯脱模。由于A侧面滑块6,C侧面滑块17及D侧面龙门槽滑块43都是体积较大的大滑块,此3个滑块都采用2根斜导柱进行驱动。由于模腔四周都有滑块机构,相邻滑块机构之间须设置保证闭模精确定位的边锁。在动模板8上配置有多块耐磨板,能起配模平衡作用,便于配模,还可以起到防止锁模力在闭模时压坏模腔分型面的作用。塑件的完全脱模由均衡布置的43根顶针顶出,每根顶针的直径都需在10 mm以上,以确保顶针顶出的刚度。



编号同图2

图5 脱模机构布置

## 7 模具工作过程

结合图2所示,注塑完成后,模具按以下几步动作完成塑件的脱模:模具开启时,在注塑机动模板

的驱动下,模具动模下行,由于均衡布置的4个弹簧29的撑开,模具首先在 $PL_1$ 面处打开,打开时,紧固安装在动模垫板9上的8个驱动插杆24拉动各自对应的卡扣槽活动镶件23完成侧抽芯, $PL_1$ 面打开距离为34 mm,此距离使用4个拉杆进行定距。动模继续下行,模具在 $PL_2$ 面处打开,打开过程中,塑件从型腔镶件35中脱出,同时,A侧面滑块6,C侧面滑块17,B侧面滑块41和D侧面龙门槽滑块43完成侧抽芯, $PL_2$ 面打开距离为285 mm。模具动模继续下行,注塑机顶杆顶住推板12而将顶针顶住,从而将塑件从型芯镶件32上脱出,实现塑件的完全脱模。复位过程与此相反。

## 8 结语

采用三点式热流道浇注系统,解决了童车骨架塑件体积大、结构复杂而难以使用冷流道浇注系统进行浇注问题。四个侧面使用侧滑块抽芯机构进行侧抽芯脱模,模架增加一次开模动作驱动8个卡扣槽成型件实施侧抽芯脱模等措施的采用,使模具的生产制造难度得到有效降低,塑件的注塑生产实现了完全自动化,生产效率得到较大提升。

### 参考文献

- [1] 雷芳,黄克勤,刘路兴.具有多种脱模结构的汽车灯罩精密模具设计[J].工程塑料应用,2021,49(5):97-102.  
Lei Fang, Huang Keqin, Liu Luxing. Precision mold design of automobile lampshade with various demoulding structures[J]. Engineering Plastics Application, 2021, 49(5):97-102.
- [2] 赵利颇,王倩,曹春雷,等.支架接头复杂脱模机构注塑模设计[J].工程塑料应用,2021,49(7):92-96,107.  
Zhao Lipo, Wang Qian, Cao Chunlei, et al. Design of injection mold with complex core-pulling mechanisms for connector with bracket[J]. Engineering Plastics Application, 2021, 49(7):92-96, 107.
- [3] 张维合.LED灯座强制脱模注塑模具设计[J].现代塑料加工应用,2017,29(2):51-54.  
Zhang Weihe. Design of forced release injection mould for LED socket[J]. Modern Plastics Processing and Applications, 2017, 29(2): 51-54.
- [4] 卞平,肖国华.基于CAE分析的转盘斜齿轮自润滑脱模机构模具结构设计[J].中国塑料,2019,33(2):103-109.  
Bian Ping, Xiao Guohua. Mold structure design of self-lubricating demolding mechanism of rotary wheel bevel gear based on cae analysis[J]. China Plastics, 2019, 33(2):103-109.
- [5] 闵志宇,李豪,柳翊,等.订书机上盖注塑模具设计[J].工程塑料应用,2021,49(11):109-112.  
Min Zhiyu, Li Hao, Liu Yi, et al. Design of injection mold for stapler upper cover[J]. Engineering Plastics Application, 2021,

- 49(11):109-112.
- [6] 王颖,黄卫庭,黄健,等.汽车座椅内外侧盖板复杂抽芯注塑模具设计[J].工程塑料应用,2021,49(9):87-91.
- Wang Ying, Huang Weiting, Huang Jian, et al. Design of injection mould with complex core pulling mechanism for inner and outer cover of automobile seat[J]. Engineering Plastics Application, 2021, 49(9):87-91.
- [7] 吴炳进.声呐面罩壳八滑块六次抽芯复合机构注塑模具设计[J].中国塑料,2019,33(6):117-126.
- Wu Bingjin. Design of injection mold for six-time core-pulling composite mechanism of eight sliders of sonar surface shell[J]. China Plastics, 2019, 33(6):117-126.
- [8] 张燕琴,黄科勤.迷你音响外壳注射模设计[J].模具工业,2016,42(4):48-51.
- Zhang Yanqin, Huang Keqin. Design of injection mold for mini audio shell[J]. Die & Mould Industry, 2016, 42(4):48-51.
- [9] 欧阳波仪.汽车仪表罩倾斜式多种脱模机构及其注塑模具设计[J].塑料工业,2016,44(9):70-75.
- Ouyang Boyi. Inclined multiple ejection mechanisms for automobile instrument cover and injection mold design[J]. China Plastics Industry, 2016, 44(9):70-75.
- [10] 贺柳操,卞平,肖国华.双头螺纹花洒旋转式抽芯脱模机构及其注塑模具设计[J].塑料工业,2016,44(10):42-45,49.
- He Liucuo, Bian Ping, Xiao Guohua. Design of injection mold and core demoulding mechanism for double thread rotary sprinkler pump[J]. China Plastics Industry, 2016, 44(10):42-45, 49.
- [11] 许傲,黄力.医用接头头前模四面抽芯脱模注塑模具设计[J].塑料,2017,46(2):110-113.
- Xu Ao, Huang Li. Design of injection mould for the medical plug with four sides extracting[J]. Plastics, 2017, 46(2):110-113.
- [12] 杨华林.球形件强制脱模注塑模具设计[J].制造技术与机床,2017(10):139-141.
- Yang Hualin. Design of forced demoulding injection mould for the spherical part[J]. Manufacturing Technology & Machine Tool, 2017(10):139-141.
- [13] 贺柳操,肖国华,卞平.IPad支架联动抽芯脱模机构及注塑模具设计[J].中国塑料,2017,31(12):117-123.
- He Liucuo, Xiao Guohua, Bian Ping. Design of demoulding mechanism and injection molds for iPad brackets[J]. China Plastics, 2017, 31(12):117-123.
- [14] 胡智清,周全,熊建武.仿真步枪枪托机械式自动脱模机构及注塑模具设计[J].塑料工业,2018,46(1):54-57.
- Hu Zhiqing, Zhou Quan, Xiong Jianwu. A rifle butt automatic demoulding mechanism and injection mold design[J]. China Plastics Industry, 2018, 46(1):54-57.
- [15] 何成战,梁松.艺术网格鸟巢模型特殊脱模机构模具设计[J].现代塑料加工应用,2020,32(2):42-45.
- He Chengzhan, Liang Song. Mould design of special demoulding mechanism for artistic grid bird nest model[J]. Modern Plastics Processing and Application, 2020, 32(2):42-45.
- 力学性能的影响[J].工程塑料应用,2020,48(1):68-71.
- Bai He, Su Yahui, Wang Hexin, et al. Influence of FDM 3D-printing process parameters on mechanical property of PLA sample[J]. Engineering Plastics Application, 2020, 48(1):68-71.
- [17] 闫存富,乔雪涛,郭晓红,等.基于熔融沉积快速成型3D打印翘曲变形的工艺参数优化[J].工程塑料应用,2021,49(12):77-80.
- Yan Cunfu, Qiao Xuetao, Guo Xiaohong, et al. Optimization of process parameters for 3D printing warpage deformation based on FDM[J]. Engineering Plastics Application, 2021, 49(12):77-80.
- [18] 刘卫兵,钱素娟,刘志东.3D打印用高分子材料及打印成型工艺参数优化研究进展[J].合成树脂及塑料,2020,37(2):85-89.
- Liu Weibing, Qian Sujuan, Liu Zhidong. Research progress and optimization of process parameters of polymer materials for 3D printing[J]. China Synthetic Resins and Plastics, 2020, 37(2):85-89.
- [19] 胡家荣.3D打印连续碳纤维增强热塑性复合材料弯曲性能研究[J].塑料科技,2019,47(11):40-43.
- Hu Jiarong. Study on the bending properties of 3D printing continuous carbon fiber reinforced thermoplastic composites[J]. Plastics Science and Technology, 2019, 47(11):40-43.
- [20] Li Liang, Tao Huang, Songxiang Yu, et al. Study on 3D printed graphene/carbon fiber multi-scale reinforced PLA composites[J]. Materials Letters, 2021, 300. DOI:10.1016/j.matlet.2021.130173.

~~~~~

(上接第80页)

- [12] 张迪.基于3D打印的高导电石墨烯基柔性电路的构建与性能研究[D].北京:北京化工大学,2016.
- Zhang Di. Fabrication and establishment of highly conductive graphene flexible circuits by 3D printing[D]. Beijing:Beijing University of Chemical Technology, 2016.
- [13] 田小永,闫万权,黄兰,等.石墨烯/柔性聚乳酸自传感复合材料结构3D打印与性能研究[J].机械工程学报,2021,7(57):215-233.
- Tian Xiaoyong, Yan Wanquan, Huang Lan, et al. Graphene/flexible polylactic acid self-sensing composite structures 3D printing and performance[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2021, 7(57):215-233.
- [14] Kim M, Jeong J H, Lee J-Y, et al. Electrically conducting and mechanically strong graphene-polylactic acid composites for 3D printing[J]. ACS Appl Mater Interfaces, 2019, 11(12):11 841-11 848.
- [15] 张向阳,贾仕奎,赵中国,等.3D打印用聚合物材料的研究进展[J].工程塑料应用,2020,48(5):156-159,165.
- Zhang Xiangyang, Jia Shikui, Zhao Zhongguo, et al. Research progress of polymer materials for 3D printing[J]. Engineering Plastics Application, 2020, 48(5):156-159, 165.
- [16] 白鹤,苏亚辉,王核心,等.FDM 3D打印工艺参数对PLA制件