

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2024.06.008

玻纤增强尼龙复合材料车门拉手座热流道模具设计

田科

(江西科技学院人工智能学院,南昌 330098)

摘要: 在车门拉手座塑件模具设计中,为解决高含量玻璃纤维增强尼龙复合材料成型时容易出现浮纤、收缩各向异性带来的翘曲变形大等潜在品质缺陷问题,运用 CAE 辅助分析对塑件的成型方案进行了优化分析。将浇注系统优化为潜伏式双浇口浇注系统,浇口的进胶直径为 1 mm,流道结构由三级冷流道+一级热流道组成。所获得的浇注效果为:引起浮纤发生的内外壁模温差控制在 38 °C 以下(标准值 ≤ 50 °C);主要外观面盖面的纤维取向张量范围为 0.737 3~0.998 6,能有效保证盖面的结构强度;塑件最大翘曲变形量为 1.024 mm,能保证塑件关键尺寸的成型精度满足 MT3 级 A 类精度要求;基于玻纤增强的模腔成型收缩率各向差异化设置分别为 X 向 0.3%,Y 向 0.1%,Z 向 0.2%。与优化结果对应的注塑工艺参数为:模温 89.4 °C,料温 292.4 °C,注射压力 92 MPa,冷却水温度 25 °C,注塑周期 38 s。模具结构为一种两板式热流道模具,一模两腔布局,模具中采用脱模方向集成法设计了 3 种脱模机构,其中的定模推板斜顶机构和油缸推板型斜抽芯机构对同类塑件脱模机构设计有较好的参考作用。

关键词: 复合材料;玻纤增强;尼龙;注塑;CAE 优化;各向异性;模具设计;收缩率

中图分类号: TQ320.5+2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2024)06-0047-08

Design of hot runner mould for door handle seat with glass fiber reinforced nylon composite

TIAN Ke

(School of Artificial Intelligence, Jiangxi University of Technology, Nanchang 330098, China)

Abstract : In the design of the mould for the car door handle seat plastic part, in order to solve the potential quality defects such as floating fibers and large warping deformation caused by shrinkage anisotropy during the molding of high content glass fiber reinforced nylon composites, the CAE auxiliary analysis method was used to optimize the molding plan of the plastic part. The gating system in the plan was optimized to be a double-submarine-gate gating system, with the gate inlet diameter of 1 mm, and the flow channel structure consisting of a three-stage-cold-runner and a hot-runner. The obtained gating effect is that the mould temperature difference between the inner and outer wall that causes floating fibers is controlled below 38 °C (standard value ≤ 50 °C); the probability range of fiber orientation tensor on the main appearance surface cover is 0.737 3-0.998 6, which can effectively ensure the structural strength of the cover surface; the maximum warping deformation of the plastic part is 1.024 mm, which can ensure that the forming accuracy of the key dimensions of the plastic part meets the MT3 Class A accuracy requirement; the anisotropic molding shrinkage rate of the cavity based on glass fiber reinforcement is set to 0.3% in the X direction, 0.1% in the Y direction, and 0.2% in the Z direction, respectively. The optimized injection molding process parameters are as follows: mould temperature of 89.4 °C, material temperature of 292.4 °C, injection pressure of 92 MPa, cooling water temperature of 25 °C, and injection molding cycle of 38 s. The mould structure is a two plate hot runner mould, the mould cavity layout is one mould with two cavities. Three demoulding mechanisms were designed by using the demoulding direction integration method in the mould, of which the fixed mould ejector plate lifter mechanism and the hydraulic cylinder ejector plate angle core pulling mechanism had a good reference for demoulding mechanism design of similar plastic parts.

Keywords : composite ; glass fiber reinforcement ; nylon ; injection molding ; CAE optimization ; anisotropy ; mould design ; shrinkage rate

基金项目: 江西科技学院校级线下一流课程《金工实习》(江科发[2021]187号)

通信作者: 田科, 硕士, 副教授, 主要研究方向为机械设计、模具、控制理论

收稿日期: 2024-04-06

引用格式: 田科. 玻纤增强尼龙复合材料车门拉手座热流道模具设计[J]. 工程塑料应用, 2024, 52(6): 47-54.

TIAN Ke. Design of hot runner mould for door handle seat with glass fiber reinforced nylon composite[J]. Engineering Plastics Application, 2024, 52(6): 47-54.

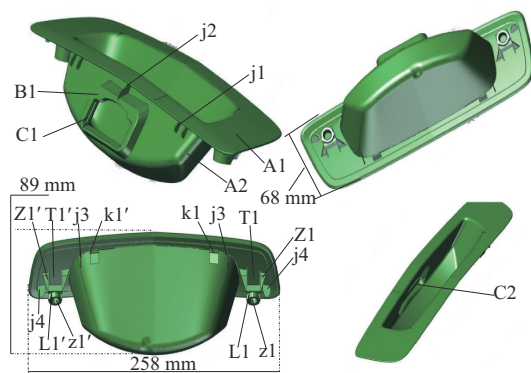
汽车以塑代钢的部分塑件中,一些结构强度要求较高的塑件需要用到玻璃纤维(GF)增强尼龙6(PA6)或GF增强尼龙66(PA66)进行成型,同样的塑件有时会依据主机厂家的要求,PA6/GF和PA66/GF两种复合材料都需用到。GF的添加主要目的是增强塑件的力学性能。在PA66/GF复合材料使用过程中,随着GF含量的增加(质量分数可至60%),PA66的力学性能(如强度等)、热学性能、尺寸稳定性等呈现先变强后趋弱的趋势,而熔融后的流动性则变差,吸水性降低^[1-4]。PA66中的GF含量越大,对注塑机塑化元件的磨损越大,注塑机螺杆和机筒相应转变为使用双金属螺杆和机筒。应用于汽车零部件中的PA66/GF复合材料中GF质量分数常取30%~43%,如在PA66中添加质量分数30%的GF后,PA66除了力学性能、尺寸稳定性、耐热性、耐老化性都有明显提高外,其耐疲劳强度是未增强前的2.5倍。在成型加工工艺方面,GF增强复合材料的成型工艺参数与未加GF前接近,但由于流动性变差的原因,为提高熔融料的流动性,一方面需要提高注塑压力,另一方面也要适当提高机筒的熔料温度(提高10~40℃)。在GF增强PA66复合材料塑件中影响塑件翘曲变形的因素包括冷却不均、收缩不均、取向不均及角效应等因素,其中取向不均是影响塑件成型尺寸的一个关键因素,主要原因是随着GF含量的增加,成型过程中在流动路径方向上和垂直流动路径方向上收缩的差异比较明显,取向不均成为影响塑件翘曲变形的主导因素^[5-8]。因而合理控制模具模腔中料流的流动方式是解决GF增强PA66材料成型塑件翘曲变形的一项关键措施,在模具结构设计中对应的具体设计因素为浇口位置的优化选择。在GF增强PA66复合材料塑件的成型模具设计中,需要引起重视的另一项工作是塑件成型模腔的材料收缩率应按照各向异性来设置,以保证获得准确尺寸的塑件。为获得准确尺寸的塑件,浇注系统的优化设计、合理的模温选择及塑件成型后的热处理也是保证塑件成型尺寸准确的必要措施。笔者结合某车门拉手座塑件采用质量分数43%GF增强PA66复合材料(PA66+43%GF)的成型要求及塑件的结构特点,设计了一副多板热流道模具用于该塑件的成型。模具设计方案中,结合PA66+43%GF的成型性能特点而采取了如浇注系统CAE优化、模腔成型收缩率各向异性设置、脱模

机构的集成和液压驱动式设置、模具整体结构对称式布局等各种模具设计措施,为同类塑件模具结构设计提供借鉴。

1 车门拉手座塑件分析

1.1 塑件结构

车门拉手座塑件结构如图1所示,塑件的主体结构由两部分构成,上部分为盖面A1,下部分为手指槽A2,盖面A1为非规则曲面造型体,手指槽A2依据人体工程学原理设计成梯形截面深槽并使用圆弧做光滑处理而获得。在盖面A1的下表面附加设置有4个尖角筋j1用于增强手指槽外壁的一个侧面与盖面A1底面之间的连接强度,另一个侧面上则设置2个卡勾k1/k1'和2个长竖筋j3/j3'加强与盖面A1底面之间的连接强度。在手指槽A2的一个侧壁上设置有扳手座B1,B1中间部位设置的槽分内外两个槽,外槽为C1,内槽为C2,扳手座B1通过梯形筋j2与手指槽A2增强连接。盖面A1的下表面设置2组基台螺柱L1/L1',单组构成特征由卡片槽T1、螺柱座Z1(其上设置有螺柱z1)加三角筋j4(4个)构成。塑件成型时,要求盖面A1表面及手指槽A2的内表面光滑($Ra1.6$ 以上),宽度尺寸为68 mm、长度尺寸为258 mm,控制在MT3~MT4级,其他尺寸按MT3~MT5级处理即可。塑件整体要求强度高、抗老化、耐磨损。塑件总量为15万件。



A1—Cover plate; A2—Finger groove; B1—Wrench holder;
k1/k1'—Hook; C1—Outer groove; C2—Inner groove;
L1/L1'—Foundation bolt; T1/T1'—Snap lock slot; Z1/Z1'—Boss base;
z1/z1'—Boss; j1/j2/j3/j3'/j4/j4'—Reinforcing ribs

图1 车门拉手座塑件

Fig. 1 Door handle seat plastic part

1.2 塑件材料

为保证塑件的强度等力学性能,材料拟使用PA66+43%GF,牌号为美国杜邦Zytel 70G43 L,该材料所成型的车用塑件具有尺寸稳定精度高、高刚性

等优点。

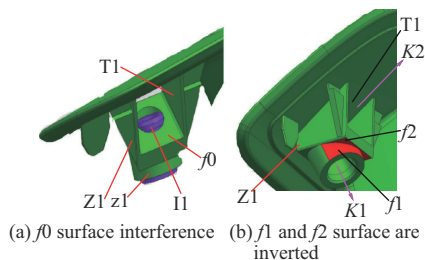
2 面向制造的设计难点分析

本塑件采用注塑方式进行批量生产,塑件批量制造时对应的塑件模具开模难点分析如下。

(1)塑件是一种非规则形几何体,开模主方向不好确定,其主分型线难以寻找,主分型面难以确定。

(2)塑件局部区域有较高外观要求,对模具成型件的设计和加工提出的要求较高。

(3)塑件的结构设计中有两处设计不利于塑件模具设计:其一是如图2所示,螺柱 $z1$ 的孔内需要镶入内螺纹镶件 $I1$,内螺纹镶件 $I1$ 有一部分露出卡片槽 $T1$ 的底面 $f0$,闭模时镶件 $I1$ 会与卡片槽 $T1$ 的成型件在底面 $f0$ 处产生干涉,因而此处卡片槽 $T1$ 底面 $f0$ 的结构形式需要改进,以利于该处成型件设计和底面 $f0$ 的脱模;其二是螺柱 $z1$ 的外壁 $f1$ 面和螺柱座 $Z1$ 的 $f2$ 面脱模时有强制脱模损坏的风险,即螺柱座 $Z1$ 按 $K1$ 的反向从型芯上脱出时 $f1$ 面形成倒扣面, $f2$ 面的成型件按 $f2$ 向抽芯时, $f2$ 面也是倒扣面,因而 $f1$ 面 $f2$ 面也需要做结构形式改进以利于塑件成型脱模,降低模具设计难度。



$K1/K2$ —core pulling direction; $Z1/z1/T1$ —The same as Fig.1;
 $f0$ — $T1$ bottom surface; $f1$ — $z1$ outer cylindrical surface;
 $f2$ — $Z1$ outer angle surface; $I1$ —Internal thread insert

图2 塑件注塑难点分析

Fig. 2 Difficulty analysis for injection molding of plastic part

(4)塑件采用PA66+43%GF成型,塑件成型冷却后具有收缩异向特点,塑件成型模腔的设计需要考虑收缩率的各向异性,以确保塑件成型尺寸准确,获得客户指定的成型精度要求。

(5)由于塑件为结构零件,有特定的力学性能要求,不同的浇口位置将影响到GF第一主方向的定向,因而浇注系统的开设将影响到由第一主方向定向决定的一些力学性能,所以如何最优化获得塑件模腔的浇口位置及浇口数量是塑件成型的关键难点所在。

(6)塑件的自动化脱模。塑件的脱模机构比较复杂,主要体现为以下方面:①4个加强筋 $j1$ 、1个加

强筋 $j2$ 特征与盖面 $A1$ 底面形成侧凹难以脱模,需要1个特定的脱模方向抽芯脱模;②手指槽 $A2$ 一个壁上的扳手座 $B1$ 的外槽 $C1$ 和内槽 $C2$ 需要2个特定的脱模方向抽芯脱模;③2个卡勾 $k1/k1'$ 与 $A1$ 底面形成侧凹,需要1个特定的脱模方向抽芯脱模;④2个卡片槽 $T1/T1'$ 的脱模也需要1个特定方向 $K2$ 抽芯脱模;⑤2个螺柱 $z1/z1'$ 的内孔需要1个脱模方向 $K1$ 抽芯脱模。

(7)由于材料添加GF的缘故,成型后塑件的收缩各向异性更容易导致塑件产生翘曲变形,塑件翘曲变形需通过优化浇口位置和优化注塑工艺参数加以控制,以满足塑件成型形状及尺寸要求。

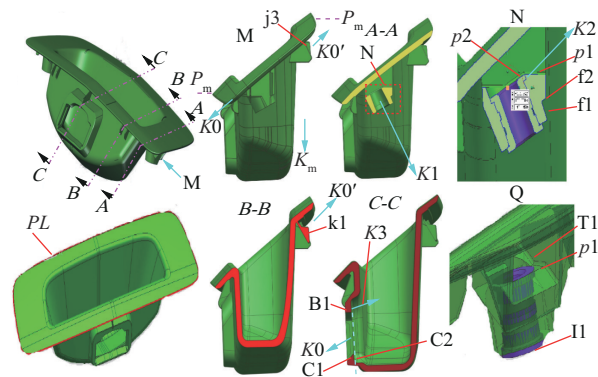
(8)由于材料中GF的质量分数较高(43%),潜在的浮纤问题更为容易出现。

3 基于CAE优化预分析的成型难点解决方案

塑件的成型难点,落实到具体的模具结构设计中分以下步骤解决。

3.1 脱模方向的确定

采用脱模方向集成设计办法,确定塑件各难脱模特征的脱模方向后,再确定塑件模腔的打开主方向(即主脱模方向),如图3所示。在局部特征的脱模方向设置中,按以下方式进行设置:①4个 $j1$ 、1个 $j2$ 与盖面 $A1$ 底面形成侧凹、扳手座 $B1$ 及其上外槽 $C1$ 的抽芯脱模方向集成为按 $K0$ 向抽芯(M视图所示);② $j3/j3'$, $k1/k1'$ 与盖面 $A1$ 底面形成的侧凹抽芯脱模方向集成为按 $K0'$ 向抽芯(M视图所示);③螺柱 $z1/z1'$ 的内孔抽芯脱模方向为 $K1$ 向($A-A$ 视图所示);④2个卡片槽 $T1/T1'$ 的抽芯脱模方向为 $K2$ 向,经角度测量分析后,2个 $j3$ 、2个 $k1$ 与盖面 $A1$ 底面形成的



PL —Main parting line; P_m —Main parting surface; $K0/K0'/K1/K2/K3$ —Core pulling direction; K_m —Mould opening direction; $p1$ —Improved $f0$ surface; $B1/k1/C1/C2/T1/j3/f1/f2/I1$ —The same as Fig.1/Fig.2

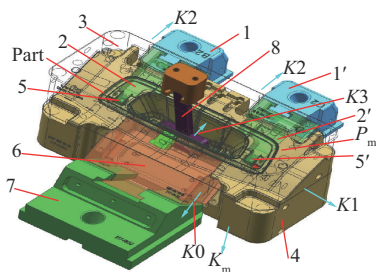
图3 脱模分析

Fig. 3 Demoulding analysis

侧凹抽芯脱模方向也可以合并为采用 $K2$ 向,即 $K0'$ 合并到 $K2$ 向;⑤内槽 $C2$ 的抽芯脱模方向按 $K3$ 向(N 视图所示);⑥在上述脱模方向集成设置下,塑件其他大部分特征的脱模可通过设置主分型线 PL 再设置对应的主分型面 P_m 后,在模腔按 K_m 向打开时即可获得脱模(M 视图所示);⑦为防止内螺纹镶件 $I1$ 与卡片槽 $T1$ 的成型件干涉, $f0$ 面改进为图3中 N, Q 视图所示 $p1$ 面, $f1$ 面、 $f2$ 面通过斜度改进为利于此两个面按 $K2$ 向脱模。

3.2 主分型面设置及分脱模方向成型件设计

抽芯脱模机构设计如图4所示,在主分型面设置为 P_m 面的条件下,为实现塑件的自动脱模而将模腔成型件设计成图4中6个主要成型件,分别为上斜滑块2和2'、型腔镶件3、型芯镶件4、下斜杆滑块5和5'、下斜滑块6、上斜顶8。上斜滑块2用于特征 $k1/j3/T1$ 的成型与按 $K2$ 向的抽芯,上斜滑块2'用于特征 $k1'/j3'/T1'$ 的成型与按 $K2$ 向的抽芯。下斜杆滑块5用于螺柱 $z1$ 内孔的成型与 $K1$ 向的抽芯脱模,下斜杆滑块5'用于螺柱 $z1'$ 内孔的成型与 $K1$ 向的抽芯脱模。下斜滑块6用于特征 $B1$ 及其上 $C1$ 的成型与按 $K0$ 向的抽芯脱模。上斜顶8用于特征 $C2$ 的成型与按 $K3$ 向的抽芯脱模。型芯镶件4按开模方向移动时带动塑件从型腔镶件3内脱出,塑件的最终脱模通过顶针将塑件从型芯镶件4上顶出而实现自动脱模。



1/1'—Upper drive slider; 2/2'—Upward angle slider; 3—Cavity inserts; 4—Core inserts; 5/5'—Lower angle rod slider; 6—Downward angle slider; 7—Lower drive slider; 8—Upward lifter; Part—Plastic part; $K0/K1/K2/K3/P_m/K_m$ —The same as Fig.3

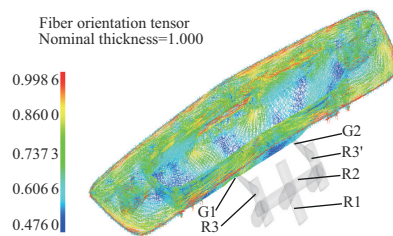
图4 抽芯脱模机构设计

Fig. 4 Design of core pulling and demoulding mechanism

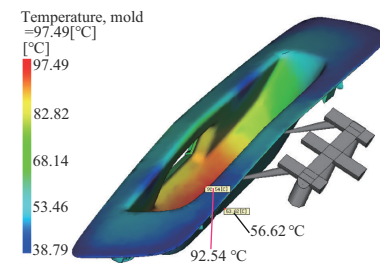
3.3 浇注系统优化设计

由于塑件材料的收缩具有各向异性特点,因而塑件浇注系统的设置将影响塑件的整体性能,特别是浮纤和收缩各向异性对塑件翘曲变形的影响两个问题^[9-12]。又由于受脱模机构件设置的影响,浇注

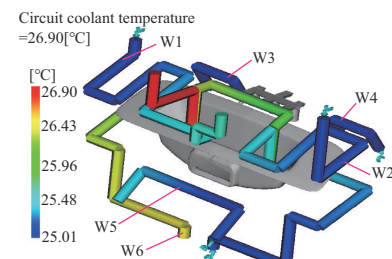
系统的浇口位置只能设置在特征 $k1/k1'$ 所在的侧面。浇口形式有两种方式可以选择:一种是香蕉形浇口,一种是潜伏式浇口。潜伏式浇口中有单点和两点两种方案可选。在同等注塑工艺参数条件下衡量主要指标纤维定向、翘曲变形及模温差(浮纤问题)的分析结果后,最终浇注系统优化设置为如图5a所示的两点潜伏式浇注方案^[12-16],浇口进胶直径为1 mm,流道结构由三级冷流道+一级热流道组成。在此方案浇注下,盖面 $A1$ 的纤维取向张量(即该方向上纤维的定向几率)范围为0.737 3~0.998 6,手指槽 $A2$ 的纤维取向张量范围不低于0.476 0,盖面 $A1$



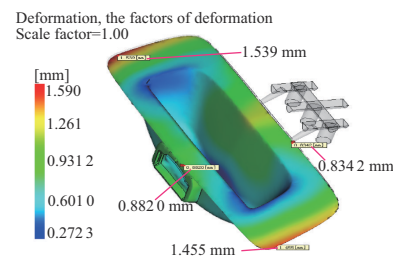
(a) Fiber orientation tensor



(b) Distribution of temperature



(c) Cooling pipeline layout



(d) Warping deformation

G1/G2—Submarine gate; R1/R2/R3/R3'—Cold runner;

W1~W6—Cooling pipeline

图5 浇注系统优化分析及冷却系统设计

Fig. 5 Optimization analysis of gating system

为塑件主要力学性能要求部位,故而由双潜伏式浇口 G1/G2 浇注的模腔能满足塑件纤维取向张量的分布要求。进一步观察模温差结果可以发现,模温差最大部位发生在手指槽 A2 的底面部位,如图 5b 所示,内外表面模温差小于 38°C ,低于产生浮纤问题的标准模温差值(50°C),浮纤产生的风险较低。在设置了如图 5c 所示的冷却管道系统后(W1~W6 进出口温差低于 3°C ,管道有效),塑件最大翘曲变形量为 1.539 mm ,且发生在塑件长度方向上的两侧(如图 5d 所示)。经进一步的注塑工艺参数优化,最终最大翘曲变形量为 1.024 mm ,能保证塑件的成型精度为 MT3 级,公差值为 A 类尺寸要求(尺寸 258 mm ,MT3 级公差值为 A 类 1.1 mm)。

3.4 冷却系统设计

如图 5c 所示,由于成型件设置的限制,冷却水管道的布置情况如下:管道 W1,W2 开设在型腔镶件 3 内,且在管道 W2 的路径上设置 2 个水井 J1,J2 以增强对手指槽 A2 的底面部位的冷却,缩小手指槽 A2 的底面部位内壁、外壁的模温差,防止浮纤的发生。管道 W3,W4 用于对上斜滑块 2 和 2' 进行冷却,管道 W5 用于对下斜滑块 6 进行冷却,管道 W6 用于对型芯镶件 4 进行冷却。冷却水进口温度为 25°C (常温水)。

3.5 模腔成型收缩率设置

由于塑件材料在添加 GF 后易引起收缩率各向异性,因而在设计模腔尺寸时,于各向设置合理的模腔成型收缩率是保证塑件成型尺寸准确的一个关键措施。塑件双浇口成型后翘曲变形的路径探测图如图 6a 所示。由图 6a 可以发现,在两个长侧边(点 1~5,点 29~32 所在边为一边;点 11~22 所在边为一边)翘曲变形量相对较小,而在两个短边(点 6~点 10 所在边为一边;点 23~点 28 所在边为一边)翘曲变形量相对较大。通过对图 6b 中纤维平均取向及图 6c 中心部纤维取向观察可以判定,沿着 Y 方向的收缩率较大,而沿着 X 方向的收缩率较小,因而在设置模腔的成型收缩率时,应针对模具坐标系中的模腔进行差异化尺寸放缩,由于材料的收缩率为 $0.1\%\sim 0.3\%$,平均收缩率为 0.2% ,因而结合图 6 中分析,尺寸放缩时 X 向取最大材料收缩率 0.3% ,Y 向取最小材料收缩率 0.1% ,Z 向则取材料收缩率均值 0.2% 。

3.6 注塑工艺参数优化设计

最终在双潜伏式浇口浇注下,经 CAE 分析可获

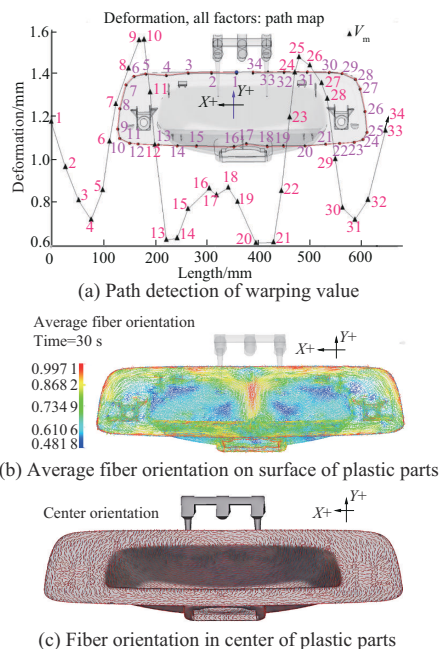


图 6 模腔成型收缩率设置分析
X+—Positive direction for mould coordinates horizontally orientation;
Y+—Positive direction for mould coordinate perpendicular orientation;
 V_m —Path detection point

图 6 Analysis of cavity molding shrinkage rate setting

得最高成型质量指数为 0.9235 ,对应的优化注塑工艺参数为:模温 89.4°C ,料温 292.4°C ,注射时间 1.12 s ,注射压力 92 MPa ,保压时间 8.4 s ($75\text{ MPa}\cdot 3\text{ s}$, $55\text{ MPa}\cdot 3\text{ s}$, $30\text{ MPa}\cdot 2.4\text{ s}$),冷却水温度 25°C ,冷却时间 23.5 s ,注塑周期 38 s 。

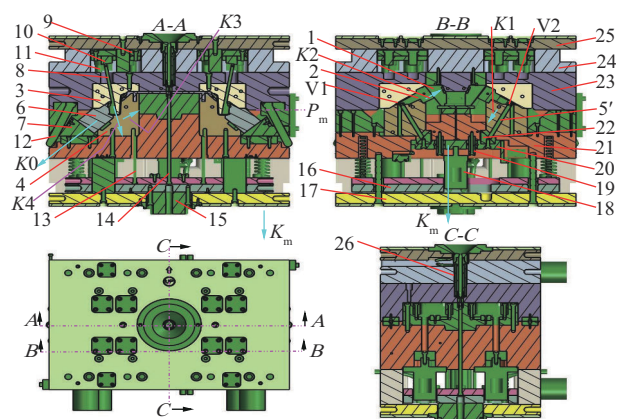
4 模具结构及工作原理

4.1 模具结构设计

如图 7 所示,模具为一种 1 模 2 腔热流道两板模具。两腔在模具中的布局采用对称式布局以利于简化模具中的机构设计和模具的整体结构设计。在此对称式模腔布局下,在模具的整体脱模机构中,将多个成型件集成为一个驱动机构件进行驱动。同时为减少机构驱动力来源于机械式驱动而造成的复杂性,部分成型件的驱动采用液压油缸驱动,这样能有效降低模具整体结构的复杂性,利于模具零部件的制造加工及安装。图 4 为模具的单腔成型件,对应为图 7 中模具的 V1 腔,两腔为 V1 腔和 V2 腔。模具的开模面为 P_m 面,开模方向为 K_m 。

为实现图 4 单腔中件 2/2'、件 5/5'、件 6、件 8 的自动抽芯功能,以 V1 腔的机构设计为例,设计方案如下。

(1)如图 7 的 A-A 视图所示,设计了定模推板斜顶机构(该机构只有 1 个)用于驱动上斜顶 8 按 K_4 向



1/2/3/4/5/6/7/8/K0/K1/K2/K3/K_m/P_m—The same as Fig.4; 9—Upper ejector plate; 10—Lifter seat; 11—Upper push rod; 12—Angle pin; 13—Ejector; 14—Pulling rod; 15—Ejector plate flange; 16—Lower ejector plate; 17—Back plate; 18—Oil cylinder; 19—Trailer guide pillar; 20—Drag plate; 21—Moving mould plate; 22—Slotted drive block; 23—Fixed mould plate; 24—Hot runner cushion plate; 25—Clamping plate; 26—Hot nozzle; V1/V2—Cavity number

图7 模具结构

Fig. 7 Mould structure

顶出,从而实现上斜顶8按K3向的侧斜抽芯,机构在模具开模面P_m打开时,由弹簧推动上推板9按K_m向向下顶出,从而上推板9上的斜顶座10推动上斜顶8按K4向顶出,塑件同步从型腔镶件3中脱出而留于型芯镶件4上。复位时由动模板21通过上推杆11将上推板9推回复位。

(2)设计了一种动模水平转向滑块机构(该机构只有1个)用于驱动下斜滑块6按K0向抽芯^[17-20],在P_m打开时,斜导柱12驱动下驱动滑块7沿水平方向向左抽芯,下驱动滑块7通过其上的T型槽驱动下斜滑块6按K0向抽芯。

(3)如图7的B-B视图所示,设计了另一种动模水平转向滑块机构(该机构有2个)用于上斜滑块2按K2向抽芯,P_m面打开时,斜导柱驱动上驱动滑块1按水平方向向右抽芯,上驱动滑块1通过T型槽驱动上斜滑块2按K2向抽芯,上驱动滑块1'的情况与此相同。

(4)设计油缸推板型斜抽芯机构用于下斜杆滑块5按K1向抽芯^[21-23](此处为便于标识,借用V2腔中的下斜杆滑块5'进行说明),P_m面打开完成后,油缸18动作,拉动拖板20按K_m向下行,拖板20带动其上的斜槽驱动块22同步下行,从而斜槽驱动块22通过其上的T型槽驱动下斜杆滑块5'按K1向抽芯;机构由1个油缸18同步推动V1腔的下斜杆滑块5

和V2腔的下斜杆滑块5'同步抽芯。模具中针对模腔V1/V2设计有2个这样的机构,另一个油缸18同步推动V1腔的下斜杆滑块5和V2腔的下斜杆滑块5'同步抽芯。复位时,2个油缸18各自独立将V1/V2腔的2个下斜杆滑块5和下斜杆滑块5'同步按K1向的反向推回复位。

4.2 浇注系统及排气

模具中,浇注系统采用热流道+冷流道组合的复合浇注系统,即由热嘴26同时给V1腔和V2腔供料,以V1腔为例,结合图5a所示,热嘴26通过冷流道R1/R2/R3/R3'分别给潜伏式浇口G1/G2供料。依据CAE分析中流动路径形式,在流动末端开设排气槽,排气槽深度0.02 mm,宽度8 mm。

4.3 模具工作原理

结合图7,模具工作原理如下。

(1)模具闭合。模具闭合前,机械手将嵌件I1植入模具中,而后模具闭合并完成注塑,等待开模。

(2)开模(P_m面打开)。开模时注塑机动模板带动模具P_m面以下动模部分按K_m向下行,P_m打开,打开时,模具中2个上斜顶8,2个下斜滑块6,2个上驱动滑块1和2个上驱动滑块1'同步完成各自的抽芯。塑件留于型芯镶件4上。

(3)下斜杆滑块抽芯。针对单腔V1而言,2个油缸18/18'驱动V1腔的下斜杆滑块5/5'同步抽芯,针对两腔而言,2个油缸18/18'同步动作,驱动V1/V2腔的2个下斜杆滑块5和2个下斜杆滑块5'共4个下斜杆滑块同步完成抽芯。

(4)顶出。注塑机顶杆通过推板法兰15推动下推板16顶出,从而推动多根顶针13和拉料杆14分别将塑件和冷流道废料从模具动模上顶出,机械手完成取件和取流道废料动作,实现塑件和流道废料的自动脱模。

(5)复位。复位过程与开模过程相反。

5 塑件成型后处理措施及检测

塑件材料具有吸湿性强且又容易氧化等特点,而且由于塑件中设置有金属镶件I1,其使用温度范围-40~60℃,尺寸精度要求相对较高及壁厚较大,故需要对成型后的塑件进行调湿处理,这样除了在加热和保温条件下消除残余应力以外还能促进塑件在加热介质中达到吸湿平衡,以防它们在使用过程中发生尺寸变化。调湿处理采用沸水/醋酸钾溶液,加热温度为100℃,依据塑件的壁厚,保湿时间

不少于 10 h。塑件的成品抽样检测采用模拟门板+探针测试,如图 8 所示。抽样测试结果见表 1。

抽样检测结果表明,塑件的前述注塑工艺参数优化结果和模具结构能满足塑件的批量生产要求。

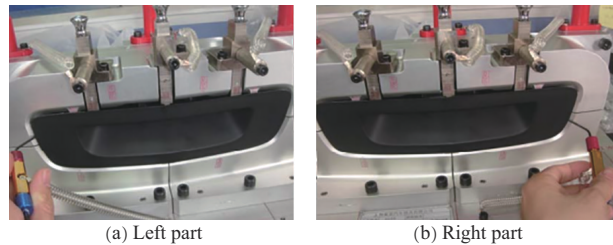


图 8 塑件模拟门板+探针测试

Fig. 8 Plastic part simulation door panel + probe testing

表 1 塑件抽样测试结果

Tab. 1 Sampling test results of plastic part

Item	Dimension specification	Specification limits/mm	Data measurement times	Data of organization measurement results/mm						Up to standard
				Cavity V1			Cavity V2			
1	Warping	±1.05 (MT5A)	3	1.02	1.01	0.99	1.04	1.02	1.04	Pass
2	Dimension1.2	0.2/0	3	1.21	1.2	1.17	1.1	1.1	1.1	Pass
3	Warping	0.5 (MT5A)	3	0.37	0.36	0.38	0.45	0.41	0.39	Pass
4	M6×2	M6	3	Qualification	Qualification	Qualification	Qualification	Qualification	Qualification	Pass
5	Position	1	3	1.02	0.98	0.92	0.95	0.99	1.02	Pass
6	Warping	1	3	0.84	0.87	0.91	1.01	0.97	0.93	Pass
7	Warping	2	3	2.01	1.94	2.02	1.96	1.89	1.72	Pass
8	Warping	0.5	3	0.31	0.45	0.44	0.32	0.35	0.35	Pass
9	Warping	0.5	3	0.39	0.38	0.49	0.51	0.47	0.41	Pass

(2)运用 CAE 优化分析获得单腔模腔的浇注系统由 2 个潜伏式浇口构成,浇口进胶口直径为 1.0 mm,流道由三级冷流道和一级热流道组成。通过优化后的浇注系统获得的浇注效果为:模温差小于 38 ℃,低于产生浮纤问题的标准模温差值(50 ℃);主要外观面盖面 A1 的纤维取向张量范围为 0.737 3~0.998 6,盖面 A1 的结构强度好;最大翘曲变形量为 1.024 mm,能保证塑件关键尺寸的成型精度满足 MT3 级公差值为 A 类尺寸的要求;模腔成型收缩率采用差异化设置,分别为 X 向取 0.3%,Y 向取 0.1%,Z 向取 0.2%。优化后对应的注塑工艺参数为:模温 89.4 ℃,料温 292.4 ℃,注射压力 92 MPa,冷却水温度 25 ℃,注塑周期 38 s。

(3)模具结构为一模两腔热流道两板模具,单次开模。模具中设计的定模推板斜顶机构和油缸推板型斜抽芯机构有较好的机构设计创新设计参考作用。

参考文献

[1] 黄惠龙.长玻纤增强尼龙 66 复合材料的研究[D].广州:华南理工大学,2013.

6 结论

针对车门拉手座塑件采用 GFPA66+43% 进行注塑生产的难点进行了分析,在运用 CAE 分析的基础上,采取了以下几项解决措施用于实现塑件的模具结构设计。

(1)采用脱模方向集成设计法将塑件的自动化脱模方向集成为 5 个方向,分别为开模方向 K_m ,抽芯方向 $K0/K1/K2/K3$ 。并在对应单腔中设计了 6 个抽芯机构用于塑件局部特征的脱模。6 个机构分别为 3 个动模水平转向滑块机构,1 个定模推板斜顶机构和 2 个油缸推板型斜抽芯机构。

HUANG Huilong. Research on long glass fiber reinforced nylon 66 composite materials[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2013.

[2] 孙红玲,牛景新,刘文涛,等.长玻纤增强尼龙 66 复合材料性能的研究[J].塑料工业,2012,40(5):81-84,99.

SUN Hongling, NIU Jingxin, LIU Wentao, et al. Study on properties of long glass fiber reinforced pa66 composites[J]. China Plastics Industry, 2012, 40(5):81-84, 99.

[3] 姚挺,田璐.注塑工艺对连续玻纤增强 PA66 材料外观质量的影响[J].化工设计通讯,2016,42(5):89.

YAO Ting, TIAN Lu. Effect of injection molding process on the appearance quality of continuous glass fiber reinforced pa66 material[J]. Chemical Engineering Design Communications, 2016, 42(5):89.

[4] 符亮,蒋炳炎,吴旺青,等.玻纤增强聚丙烯与尼龙 66 模内混合加工成型实验研究[J].中南大学学报(自然科学版),2019,50(5):1 075-1 081.

FU Liang, JIANG Bingyan, WU Wangqing, et al. Experimental research on in-mold hybrid molding of glass fiber reinforced polypropylene and nylon66[J]. Journal of Central South University (Science and Technology), 2019, 50(5):1 075-1 081.

[5] 王进,王永宽.基于计算机辅助工程的控制阀阀芯注塑成型圆柱度优化[J].塑料科技,2023,51(1):105-109.

- WANG Jin, WANG Yongkuan. Cylindricity optimization of an injection molded control valve spool based on computer aided engineering[J]. *Plastics Science and Technology*, 2023, 51(1):105-109.
- [6] 苏似鑫,马航飞,叶素娟,等. GF增强PA66复合材料注塑制品熔接痕强度改善研究[J]. *工程塑料应用*, 2023, 51(1):59-63.
- SU Sixin, MA Hangfei, YE Sujuan, et al. Study on improvement of weld mark strength of glass fiber reinforced pa66 composites injection molding products[J]. *Engineering Plastics Application*, 2023, 51(1):59-63.
- [7] 代元祥. 玻纤增强PA66气门室盖注塑工艺及力学性能优化研究[D]. 昆明:昆明理工大学, 2022.
- DAI Yuanxiang. Research on injection molding process and mechanical performance optimization of fiberglass reinforced pa66 valve cover[D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology, 2022.
- [8] 梁直,么伟伟. 基于计算机辅助技术的玻纤增强PA66止回阀阀体尺寸精度控制[J]. *塑料科技*, 2021, 49(9):81-86.
- LIANG Zhi, MO Weiwei. Dimensional precision control of glass fiber reinforced PA66 check valve body based on computer aided technology[J]. *Plastics Science and Technology*, 2021, 49(9):81-86.
- [9] 孙莎莎. 基于计算机辅助技术的油污传感器注塑成型工艺优化[J]. *塑料科技*, 2021, 49(11):90-94.
- SUN Shasha. Injection molding process optimization of oil pollution sensor based on computer aided technology[J]. *Plastics Science and Technology*, 2021, 49(11):90-94.
- [10] 殷文英. 红磷阻燃玻纤增强尼龙66中压开关固定板注塑工艺优化及性能研究[D]. 青岛:山东科技大学, 2020.
- YIN Wenying. Optimization of injection molding process and performance research on red phosphorus flame retardant glass fiber reinforced nylon 66 medium voltage switch fixing plate[D]. Qingdao: Shandong University of Science and Technology, 2020.
- [11] 汪东升. 汽车用涡轮增压器塑料储气管成型工艺优化研究[D]. 上海:上海工程技术大学, 2020.
- WANG Dongsheng. Research on optimization of plastic gas storage tube forming process for automotive turbochargers[D]. Shanghai: Shanghai University of Engineering Science, 2020.
- [12] 黄达勇,丁智平,荣继刚,等. 短玻纤增强工程塑料纤维取向张量影响因素研究[J]. *湖南工业大学学报*, 2016, 30(3):12-18.
- HUANG Dayong, DING Zhiping, RONG Jigang, et al. Research on influential factors of fiber orientation tensor of short-glass fiber reinforced engineering plastics[J]. *Journal of Hunan University of Technology*, 2016, 30(3):12-18.
- [13] 张会可. 玻纤增强PA66密封异型材挤出成型数值模拟及实验研究[D]. 武汉:武汉工程大学, 2014.
- ZHANG Huikue. Numerical simulation and experimental study on extrusion molding of fiberglass reinforced PA66 sealing profiles [D]. Wuhan: Wuhan Institute of Technology, 2014.
- [14] 孙国栋,刘长华. 基于Moldflow软件的开关盒上盖浇口优化设计[J]. *塑料*, 2011, 40(4):103-105.
- SUN Guodong, LIU Changhua. Optimization of gate location for switch box top head based on Moldflow software[J]. *Plastics*, 2011, 40(4):103-105.
- [15] 闵志宇,沈俊芳,盛腾飞,等. 基于Moldflow的复杂塑件模具优化设计[J]. *塑料工业*, 2015, 43(6):39-43.
- MIN Zhiyu, SHEN Junfang, SHENG Tengfei, et al. Optimum design of injection molding of complex mould based on Moldflow [J]. *China Plastics Industry*, 2015, 43(6):39-43.
- [16] 韩以伦,李志恒,梁彦高. 基于Moldflow的家用电器薄壁外壳翘曲优化分析[J]. *塑料工业*, 2017, 45(5):48-51.
- HAN Yilun, LI Zhiheng, LIANG Yangao. Analysis of warpage optimization of thin wall shell for household appliance based on Moldflow[J]. *China Plastics Industry*, 2017, 45(5):48-51.
- [17] 杨安,董扬德,胡宏伟,等. 法兰盖滑块脱模机构及注塑模具设计[J]. *工程塑料应用*, 2017, 45(10):82-86.
- YANG An, DONG Yangde, HU Hongwei, et al. Design of slider demoulding mechanism and injection mold for flange cover[J]. *Engineering Plastics Applications*, 2017, 45(10):82-86.
- [18] 温瑞,路英华. 净化器骨架模具带顶针滑块机构结构设计[J]. *中国塑料*, 2019, 33(9):109-115.
- WEN Rui, LU Yinghua. Structural design of slider mechanism with side ejector for injection mold of purifier framework[J]. *China Plastics*, 2019, 33(9):109-115.
- [19] 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.
- [20] 刘少华,能建武,徐文庆,等. 安全座椅五次复合抽芯机构模具设计[J]. *塑料*, 2021, 50(1):88-93.
- LIU Shaohua, XIONG Jianwu, XU Wenqing, et al. Mold design with five times compound core pulling mechanism for safety-seat [J]. *Plastics*, 2021, 50(1):88-93.
- [21] 傅莹龙,邵明朝. 儿童安全座椅头枕的双滑块二次抽芯注塑模具设计[J]. *中国塑料*, 2020, 34(7):92-96.
- FU Yinglong, SHAO Mingchao. Injection mold design for child safety seat headrest with double slider secondary core-pulling mechanism[J]. *China Plastics*, 2020, 34(7):92-96.
- [22] 冯文健,黄镇谨,王华金. 数据线插头盖二次顶出斜顶脱模机构及注塑模具设计[J]. *工程塑料应用* 2019, 47(7):93-99.
- FENG Wenjian, HUANG Zhenjing, WANG Huajin. Design of injection mould and inclined top ejecting mechanism with secondary ejection of data line plug cover[J]. *Engineering Plastics Application*, 2019, 47(7):93-99.
- [23] 路英华,肖国华,应欣臻,等. 侧边滑块两边内收抽芯脱模机构与注塑模具设计[J]. *模具技术*, 2017(1):8-13.
- LU Yinghua, XIAO Guohua, YING Xinzheng, et al. The design of ejection mechanism with both sides of the slider and the injection mould[J]. *Die and Mould Technology*, 2017(1):8-13.