

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2024.03.018

基于模压注塑一体工艺的麻纤维零件 结构及模具设计

施凯文, 沈亮涵, 唐高中, 何叶春, 莫兴漫

(上汽通用五菱汽车股份有限公司, 广西柳州 545007)

摘要: 麻纤维复合材料的应用是实现汽车轻量化、汽车行业绿色、可持续发展的重要途径之一。针对麻纤维复合材料应用于汽车复杂零部件难以成型及模具成本高昂的问题,提出一种基于模压注塑一体成型的解决方案。首先将麻纤维/聚丙烯复合材料纤维板加热软化后放入模压注塑一体模具中进行模压成型,模具分型面采用插穿结构替代碰穿结构设计,模压过程通过分型面冲切零件轮廓,对于无法通过模压成型的产品背面定位安装结构和主体参数化特征采用注塑麻纤维/聚丙烯成型。模具采用倒装结构设计,模具定模侧设计热流道浇注系统及顶出机构,型腔设计可替换镶件用于冲裁和注塑主体的参数化特征。零件设计导流道连接产品背部独立的安装结构和主体参数化特征,模压结束后通过定模热流道点浇口填充导流道以成型产品背部独立的安装结构和主体参数化特征,待塑料结构冷却固化后,定模侧由油缸驱动的顶出机构将零件顶出脱离型腔。基于该成型工艺设计了一套模压注塑一体模具并运用于实际生产,通过实践证明,该模具结构稳定可靠,零件质量满足设计要求。

关键词: 麻纤维复合材料;模压注塑;成型工艺;导流道;倒装模具

中图分类号: TQ315 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2024)03-0112-07

Structure and mould design of hemp fiber parts based on integrated molding and injection molding process

SHI Kaiwen, SHEN Lianghan, TANG Gaozhong, HE Yechun, MO Xingman

(SAIC GM Wuling Automobile Co., Ltd., Liuzhou 545007, China)

Abstract : The application of hemp fiber composites is one of the important ways to achieve automotive lightweighting, green and sustainable development of the automotive industry. A solution based on integrated molding and injection molding was proposed to address the difficulties in forming complex automotive components using hemp fiber composite materials and the high cost of moulds. Firstly, the hemp fiber/polypropylene (PP) composite fiber board was heated and softened, and then placed into a molding and injection molding integrated mould for molding. The mould parting surface adopted an insertion structure instead of a collision structure design. The molding process cut the contour of the parts through the parting surface. For products that could not be molded, the back positioning installation structure and main parameterized features were molded using injection molding hemp fiber/PP. The mould adopted an inverted structure design, with a hot runner pouring system and ejection mechanism designed on the fixed mould side, and a cavity design that could be replaced inserts for parameterized features of punching and injection molding. The part design guide connected the independent installation structure and main parameterized features on the back of the product. After molding, the guide was filled with a fixed mould hot runner point gate to form the independent installation structure and main parameterized features on the back of the product. After the plastic structure cools and solidifies, the ejection mechanism driven by the oil cylinder on the fixed mould side pushes the part out of the mould cavity. A set of integrated injection molding mould was designed based on this molding process and applied in actual production. It has been proven through practice that the structure of the mould was stable and reliable, and the quality of the parts met the design requirements.

Keywords : hemp fiber composite materials ; moulded injection molding ; molding process ; diversion channel ; inverted mould

通信作者: 施凯文, 本科, 主要研究方向为模具CAD/CAE, 模具的开发及管理

收稿日期: 2024-02-05

引用格式: 施凯文, 沈亮涵, 唐高中, 等. 基于模压注塑一体工艺的麻纤维零件结构及模具设计[J]. 工程塑料应用, 2024, 52(3): 112-118.

SHI Kaiwen, SHEN Lianghan, TANG Gaozhong, et al. Structure and mold design of hemp fiber parts based on integrated molding and injection molding process[J]. Engineering Plastics Application, 2024, 52(3): 112-118.

目前,发展新能源汽车是我国应对国家能源战略需求,实现2060年碳中和目标的重大战略选择,世界各国的汽车正逐渐朝着轻量化、环保化的方向发展^[1-2],在此趋势下,透气性好、质轻价廉、隔热吸声、可回收的麻纤维复合材料^[3-4]正逐渐取代传统的汽车塑料件,它的开发与应用已成为当今国内外的研究热点。根据麻纤维复合材料的特性,其常用的成型方法包括模压成型工艺、注射成型工艺、结构反应成型工艺等^[5-7],张安定等^[8]将改性后的黄麻和聚丙烯(PP)混合放入塑炼机中共混,再经冷却造粒后注射成型制得黄麻纤维/PP复合材料试样标准件,并讨论了麻纤维增强复合材料的力学性能;王国杰等^[9]采用结构反应成型工艺制备麻纤维增强聚氨酯试样,应用正交试验法分析了黄麻含量、纤维长度和纤维改性处理方法三因素对材料拉伸性能的影响;杜兆芳等^[10]通过模压成型工艺制备了黄麻/聚丙烯复合板材,研究了热压温度、热压时间、热压压力等工艺参数对复合板材性能的影响;长期以来,国内外学者在麻纤维复合材料的制备方法、界面改性、材料结构及性能等方面取得了丰富的研究成果,然而对麻增强复合材料应用于结构复杂、尺寸精度要求高的汽车零部件的工业化量产成型并未进行过多的研究。郝燕飞^[11]研究了汉麻纤维/PP

复合材料在汽车内饰方面的应用,介绍了德国、美国、日本、韩国的汽车品牌使用低压成型工艺技术制备汉麻纤维/PP复合材料汽车内饰件,该工艺投入生产成本昂贵,生产的零件属高科技产品,附加值高,通常应用于高端车型中。鉴于此,一种低成本适用于麻纤维/PP复合材料成型的模压注塑一体工艺应运而生。

笔者以某车型仪表板装饰盖包覆件为研究对象,详细地介绍模压注塑一体的工艺,并根据工艺需求,对产品结构及模具设计要点进行细致地说明。

1 模压注塑一体工艺介绍

模压注塑一体工艺加工流程图如图1所示,麻纤维复合材料由改性后的麻纤维丝与PP丝按照一定的比例配比编织成厚度为10~13 mm的麻纤维毡,为了运输方便,将麻纤维毡热压成3~5 mm厚度的麻纤维板并初步裁切使其能够完全填充模具,在进行模压成型前,将裁切好的板材放入热烘箱中加热升温以除去水分,为了避免模压过程中产生气泡,影响制件的外观和性能^[12]。将烘热处理的麻纤维板放入模具进行模压成型,模压结束后更换模具镶件通过注塑成型制件背面结构及模压无法成型的区域。

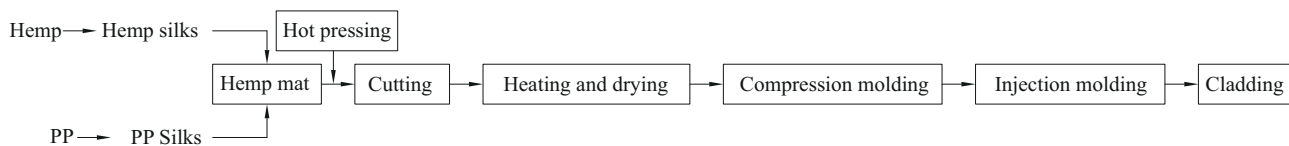


图1 麻纤维/PP复合材料模压注塑一体成型工艺加工流程图

Fig. 1 Hemp fiber/PP composite material compression molding and injection molding process flow chart

2 模压注塑一体工艺产品结构

2.1 仪表板装饰盖产品介绍

仪表板装饰盖产品结构如图2所示。仪表板装饰盖的材质由麻纤维复合材料与PP构成,按结构拆分成造型面主体与背面安装结构,造型面主体通过麻纤维复合材料模压成型,无法模压成型的背面安

装结构通过PP注塑成型。导流道连接产品背面独立安装结构如图3所示,由于背面安装结构为独立分布,在注塑压力满足要求、填充无短射的情况下,为降低零件质量和热流道成本,设计导流道将独立分布的背面安装结构连接起来,导流道同时起到产品加强筋的作用,模具设计导流道表面针阀点浇口

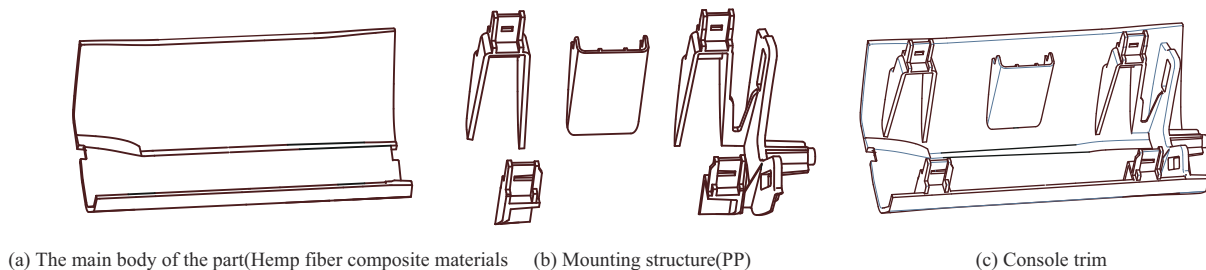


图2 仪表板装饰盖产品结构

Fig. 2 Structure of console trim

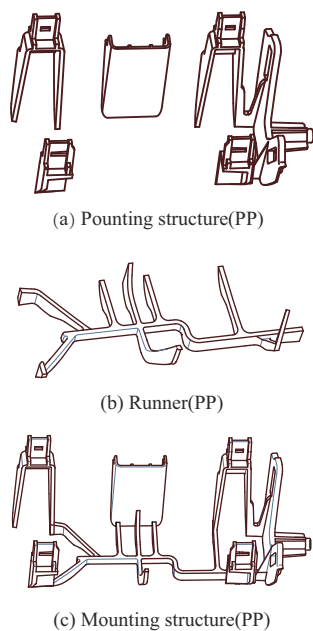


图3 导流道连接产品背面独立安装结构

Fig. 3 Independent mounting structure on the back of the product connected to the runner

填充背面结构。

导流道尺寸及热流道数量通过模流仿真分析确定,经过多次迭代分析,仪表板装饰盖导流道设计尺寸为 $3.5\text{ mm}\times 2\text{ mm}$,背面结构通过一点热流道针阀点浇注,产品无短射,注射压力约为 21 MPa ,满足注塑需求,仿真分析结果见图4。生产中使用的麻纤维复合材料由质量分数为50%的麻纤维和质量分数为50%的PP构成,背面结构成型材料为填充20%滑石粉的PP。

2.2 产品特殊结构解决方案

当产品造型面主体存在参数化特征、安装通孔等特殊结构时,例如门板主体表面的喇叭网罩和装饰圈的安装定位孔,其示意图如图5所示,该结构无法通过模压一次成型,目前可通过以下方案成型:

(1)注塑二次成型。模具动模可替换镶件示意图如图6所示。模具在喇叭网罩区域设计可替换镶件,在进行模压工序时,模具动模安装喇叭网罩冲切镶件,模压结束后动定模分开,门板裁切出喇叭网罩通孔,此时更换动模喇叭网罩冲切镶件为喇叭网罩成型镶件,模具再次闭合,喇叭网罩通过导流道注塑二次成型。图7为某款车型仪表板上盖的喇叭网罩和门板安装点通过可替换镶件二次注塑成型的实物图。

(2)拆件二次装配。将造型面主体上的喇叭网罩单独拆件通过注塑成型,造型面主体背面设计安

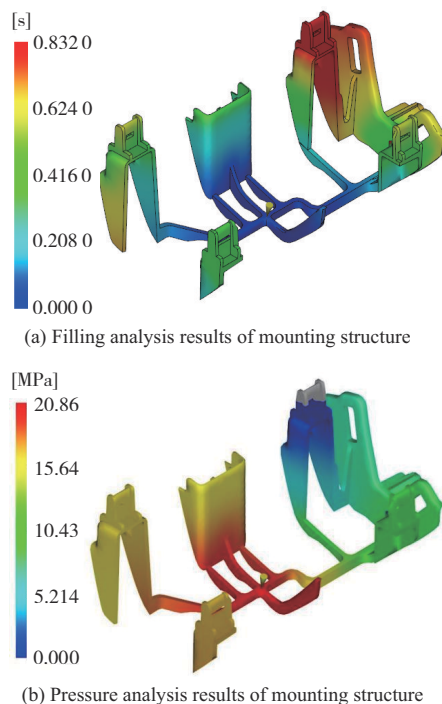


图4 产品背面独立结构模流仿真分析

Fig. 4 Model flow simulation analysis of the mounting structure on the back of the product

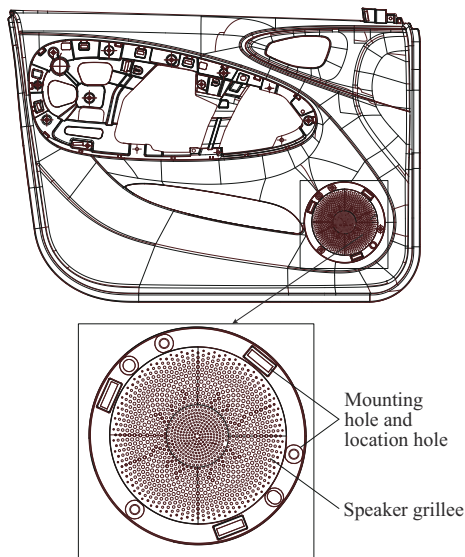


图5 门板主体及喇叭网罩结构示意图

Fig. 5 Structure diagram of the main body of the door panel and the horn mesh cover

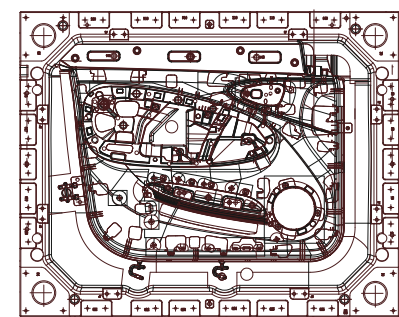
装螺钉柱。模具在进行模压工序时冲切喇叭网罩通孔,合模二次注塑背面结构和安装螺钉柱,造型面主体与喇叭网罩拆件通过后续装配为总成。

3 模压注塑一体工艺模具结构设计

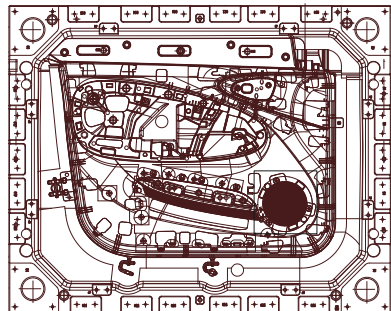
3.1 模具整体方案设计

3.1.1 成型顺序

设计一套模具同时完成模压成型及注塑成型



(a) Die-cutting inserts of plastics speaker grille



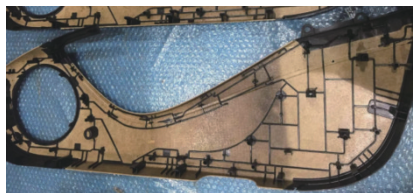
(b) Injection molded inserts of plastics speaker grille

图6 模具动模可替换镶件示意图

Fig. 6 Schematic diagram of replaceable inserts in the cavity



(a) Upper cover of the console



(b) Lower trim panel of the door panel

图7 造型主体局部通过可替换镶件注塑成型实物图

Fig. 7 Physical image of injection molding through replaceable inserts

需求,首先需要确定模具的成型顺序。若先注塑成型背面结构,塑料冷却后无法与模压造型面主体黏接,且根据注塑模具的设计要求,背面结构注塑成型需硬度较高的材料参与封胶,结合仪表盘装饰盖产品的设计特点及模压注塑一体成型工艺的需求,先模压成型造型面主体后注塑背面结构,注塑过程中高温塑料熔体熔融麻纤维复合材料里的PP并通过分子间作用力重新黏接,模压成型后硬度较高的麻纤维复合材料也可起到封胶的作用。

3.1.2 倒装模结构

由于目前大多数注塑机设计为定模侧浇注,若采用正装模结构,背部结构只能通过侧浇口进行填充,这对于大型制品,塑料熔体流长较长,且导流道为厚度较薄的筋条,增大了大型制品中部结构的填充难度。为解决以上的问题,模具采用倒装结构,背部结构可通过设计热流道针阀点浇口于导流道表面进行注射成型^[13-14]。图8为倒装模背部结构浇注系统。

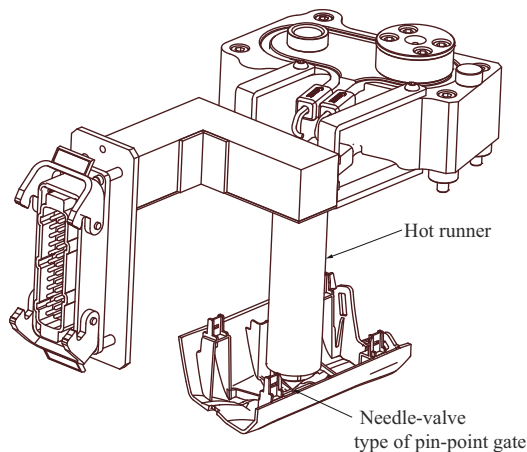


图8 倒装模背部结构浇注系统

Fig. 8 Gating system for inverted mould forming back structure

3.2 模压结构设计

3.2.1 麻纤维板定位导向结构设计

麻纤维板热烘去除水分软化后通过人工或机械手送入模具进行模压成型,由于使用卧式注塑机进行注塑,麻纤维板送入模具需考虑定位及模压过程的导向问题。图9为模具设计的麻纤维板定位导向机构,通过在模具定模的上端设计直径为10 mm,脱模斜度为1.5°的两根导柱与麻纤维板的两个孔进行匹配,防止麻纤维板掉落。在模具闭合过程中,麻纤维板在两根导柱导向的作用下与动模一同向定模移动,直至模具闭合。

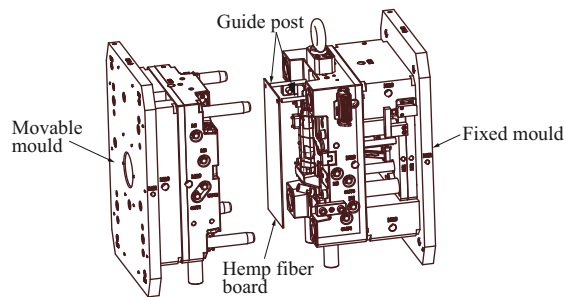


图9 麻纤维板定位导向结构

Fig. 9 Positioning and guiding structure for hemp fiber board

3.2.2 轮廓冲切结构设计

模具的冲切面是动定模相互咬合的部分。在模压过程中,动定模通过剪切作用将方形麻纤维板裁剪成零件所需轮廓,图10为动定模冲切剪切面的设计。动定模剪切面的插穿角度 T 设计 $1^{\circ} \sim 2^{\circ}$,剪

切面间隙 L 和高度 H 按照模具适用的注塑机吨位 x 进行选择,具体情况见表1。当剪切面间隙设计过大,模压过程易造成跑料及卸压,间隙设计过小,成型过程无法进行排气,王其远等^[15]提出可通过调整剪切面的高度来解决剪切面间隙产生的问题,表1为其根据经验统计的剪切面参数选用表。

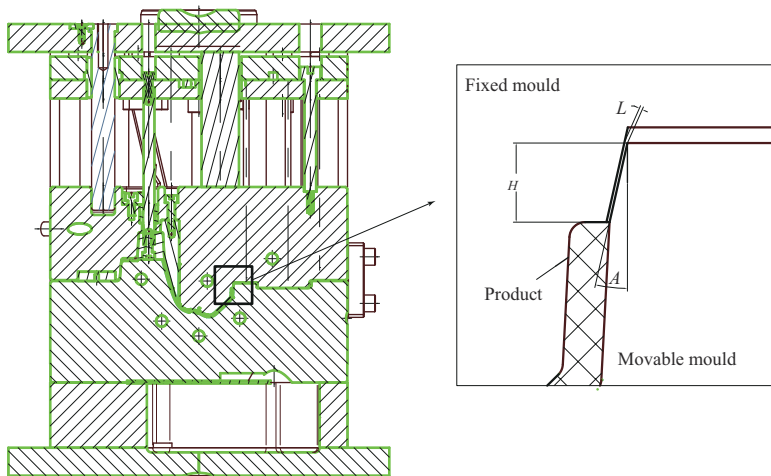


图10 动定模冲切剪切面结构

Fig. 10 Structure of the shear plane

表1 剪切面参数选用表

Tab. 1 Parameter selection table for cutting surface

Parameter	Molding machine size(x)		
	$x \geq 1\ 200T$	$600T \leq x < 1\ 200T$	$x < 600T$
Distance of shearing surface/mm	0.2~0.3	0.1~0.2	0.05~0.1
Height of shearing surface/mm	25~40	15~25	10~15

3.3 注塑结构设计

3.3.1 顶出系统设计

在模具注塑完成背面结构后,开始进行顶出取件工作。由于模具采用倒装模结构,模具的顶出系统设计于定模侧,注塑机固定模具定模侧无顶出驱动系统,模具顶出系统需额外设计油缸提供驱动力。模具的顶出机构示意图如图11所示,该顶出机构由斜顶、顶针、油缸、顶针板及顶针固定板组成,其中斜顶及顶针固定在顶针板和顶针固定板之间,通过油缸驱动顶针板进行顶出运动。斜顶在顶出产品的同时还起到侧抽芯结构的作用,主要用于成型背面结构的卡扣安装座。

3.3.2 冷却系统设计

冷却系统设计原则之一是水路各处距型腔壁面的距离大致相等,以达到型腔各处温度大致均衡^[16]。图12为模具的冷却水路,为避免背面结构冷

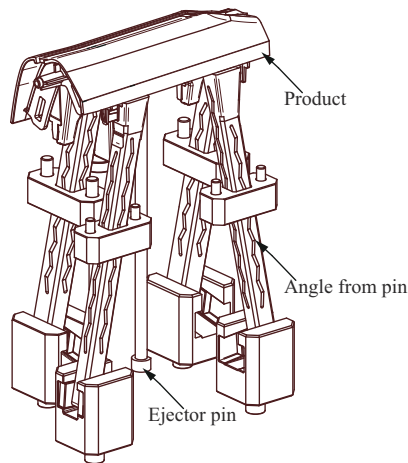


图11 模具顶出系统示意图

Fig. 11 Schematic diagram of mould ejection system

却不足导致成型周期偏长和模具受热膨胀导致咬死,模具的冷却系统采用了“直通式水管+倾斜式水管+水井”的组合形式,该冷却系统整体沿制件形状设计随形水路,局部冷却不均的区域设计水井冷却,水路距离制件表面距离为 $20 \sim 25\text{ mm}$,以保证制件的冷却均匀并且带走模具的热量。热流道喷嘴处单独设置冷却水路,不与其他水路串联,有利于热喷嘴区域散热。所有冷却水路直径设计 11.5 mm ,水井直径为 18 mm ,水路之间的距离为 $45 \sim 50\text{ mm}$ 。

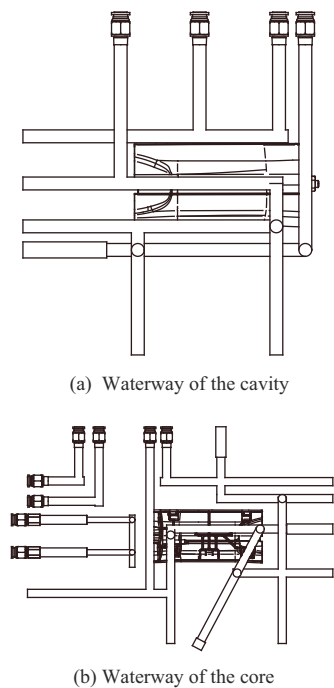


图 12 模具冷却系统示意图

Fig. 12 Schematic diagram of mould cooling system

4 模压注塑一体模具工作原理

模压注塑一体模具的工作原理如图 13 所示,模具吊装固定在卧式注塑机上,注塑工艺参数确定及各接口匹配完毕后模具打开,将裁切好的麻纤维板加热到一定温度后(图 13a),由机械手或人工拾取

装载于定模的两根导柱上(图 13b),在模具闭合过程中,麻纤维板在两根导柱的导向作用下与动模一同向定模移动,模具合模压制成型(图 13c)。若无需更换造型面可替换的镶件可以直接注塑背面结构,塑化塑料通过定模热流道填充成型背部结构,待冷却固化后可通过定模顶出机构顶出产品(图 13d),此时一个成型周期结束。

5 结论

在汽车轻量化、环保化的大背景下,提出麻纤维/PP 复合材料在汽车内饰件的应用,着重介绍了模压注塑一体成型的工艺流程及产品、模具设计难点,产品及模具结构方案经批量生产验证后,工艺流程可实现麻纤维/PP 复合材料的工业化应用,模具结构稳定,产品质量满足造车需求。根据模压注塑一体工艺的开发过程,得到如下结论:

(1)模具采用倒装结构,产品背部设计导流道连接各个独立的背部结构,实现了一套模具同时完成模压和注塑工序,降低了模具开发成本;

(2)在产品导流道的设计过程中,较难确定导流道的尺寸及浇口位置,采用 CAD/CAE 技术是确定导流道尺寸和浇口方案最快捷有效的方法;

(3)采用可替换镶件的方法能有效解决造型面主体部分特征无法模压成型的问题,同时,更换镶

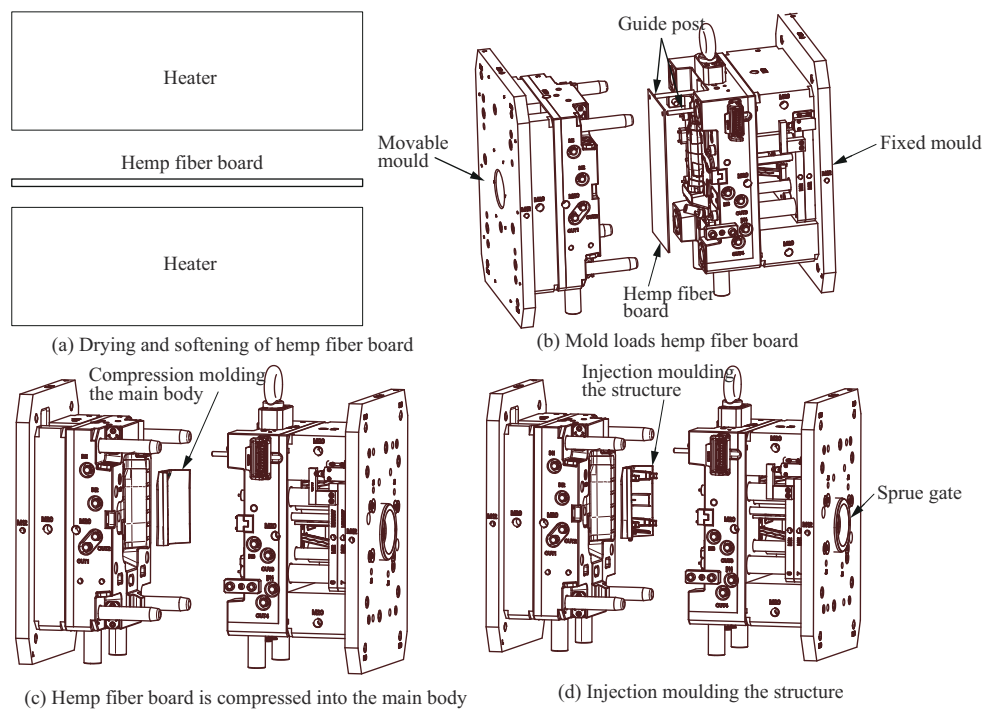


图 13 模压注塑一体模具工作流程示意图

Fig. 13 Molding injection molding integrated mould workflow diagram

件目前无法通过自动化及模具结构实现,需要增加人力成本;

(4)模具定模增加导柱实现了装载纤维板的定位、导向控制;

(5)基于经验的产品轮廓剪切面设计有效地解决了轮廓裁切的毛边问题;

(6)采用随型水路的设计方案保证了模具的冷却效率及塑件成型质量。

目前应用模压注塑一体工艺成型的麻纤维/PP复合材料主要应用在骨架及需要包覆等二次加工的内饰件,成型制品以纤维板本身外观展现,无法满足人们的外观感知需求。随着汽车零件表面加工工艺和复合材料的不断创新,对于天然植物纤维复合材料的成型还有待进一步研究和探索。

参考文献

- [1] 刘俊辉. 汽车内饰用汉麻纤维增强聚丙烯复合材料的制备及性能研究[D]. 长春:吉林大学, 2019.
LIU Junhui. Study on the preparation and properties of hemp fiber reinforced polypropylene composites for automotive interiors[D]. Changchun:Jilin University, 2019.
- [2] 王翠翠,李明鹏,王戈,等. 植物纤维/热塑性聚合物预浸料在汽车轻量化领域的应用进展[J]. 林业科学, 2021, 57(9):168-180.
WANG Cuicui, LI Mingpeng, WANG Ge, et al. Application progress of plant fiber/thermoplastic polymer prepreg in automotive lightweight field[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2021, 57(9):168-180.
- [3] SEPE R, BOLLINO F, BOCCARUSSO L, et al. Influence of chemical treatments on mechanical properties of hemp fiber reinforced composites[J]. Composites Part B: Engineering, 2018, 133: 210-217.
- [4] LU N, OZA S. A comparative study of the mechanical properties of hemp fiber with virgin and recycled high density polyethylene matrix[J]. Composites Part B: Engineering, 2013, 45(1): 1 651-1 656.
- [5] 赵帆,张建伟,张莹,等. 黄麻纤维增强树脂基复合材料的研究进展[J]. 成都纺织高等专科学校学报, 2017, 34(1):220-223.
ZHAO Fan, ZHANG Jianwei, ZHANG Ying, et al. Research progress in jute fiber reinforced resin matrix composites[J]. Journal of Chengdu Textile College, 2017, 34(1):220-223.
- [6] 张萌,冯冰涛,王晓珂,等. 天然纤维增强热塑性复合材料制备与应用研究进展[J]. 工程塑料应用, 2023, 51(10):179-185.
ZHANG Meng, FENG Bingtao, WANG Xiaoke, et al. Research progress in preparation and application of natural fiber reinforced thermoplastic composites[J]. Engineering Plastics Application, 2023, 51(10):179-185.
- [7] 郑科,段盛文,成莉凤,等. 麻纤维增强热塑性复合材料的研究与应用[J]. 中国麻业科学, 2017, 39(6):312-320.
ZHENG Ke, DUAN Shengwen, CHENG Lifeng, et al. Development and applications of fibrilia reinforced thermoplastic composites[J]. Plant Fiber Sciences in China, 2017, 39(6):312-320.
- [8] 张安定,马胜,丁辛,等. 黄麻纤维增强聚丙烯的力学性能[J]. 玻璃钢/复合材料, 2004(2):3-5.
ZHANG Anding, MA Sheng, DING Xin, et al. Mechanical behaviors of jute fiber reinforced polypropylene composite[J]. Fiber Reinforced Plastics/Composites, 2004(2):3-5.
- [9] 王国杰,孙宇,曹春平,等. 黄麻纤维增强聚氨酯复合材料的拉伸性能研究[J]. 塑料工业, 2012, 40(8):81-84.
WANG Guojie, SUN Yu, CAO Chunping, et al. Research on tensile performance of jute fiber reinforced composites[J]. China Plastics Industry, 2012, 40(8):81-84.
- [10] 杜兆芳,张元明,黄晨,等. 热压工艺对黄麻/聚丙烯复合板材性能的影响[J]. 苏州大学学报(工科版), 2006, 26(6):19-21.
DU Zhaofang, ZHANG Yuanming, HUANG Chen, et al. Influence of hot-press technology on performance of jute/polypropylene composite material[J]. Journal of Soochow University Engineering Science Edition (Bimonthly), 2006, 26(6):19-21.
- [11] 郝燕飞. 用于汽车内饰件的汉麻纤维复合材料的成型工艺与性能的研究[D]. 长春:吉林大学, 2015.
HAO Yanfei. Research on the molding process and properties of hemp fiber reinforced composites used in automobile's inner parts [D]. Changchun:Jilin University, 2015.
- [12] 赖文,刘伟,赵勇,等. 植物纤维汽车零部件的成型技术研究进展[J]. 上海塑料, 2019, 47(1):6-9.
LAI Wen, LIU Wei, ZHAO Yong, et al. Research progress on molding technologies of plant fiber composite materials for automobile[J]. Shanghai Plastics, 2019, 47(1):6-9.
- [13] 石波,郝加杰. 汽车雾灯装饰盖倒装双色注塑模设计[J]. 工程塑料应用, 2022, 50(2):112-116, 122.
SHI Bo, HAO Jiajie. Design of inverted double color injection mold for automobile fog lamp decoration cover[J]. Engineering Plastics Application, 2022, 50(2):112-116, 122.
- [14] 郝加杰,石波,铁盛武,等. 汽车前大灯灯罩倒装双色注塑模具设计[J]. 工程塑料应用, 2022, 50(7):91-98.
HAO Jiajie, SHI Bo, TIE Shengwu, et al. Design of inverted double color injection mold for automobile headlamp lampshade [J]. Engineering Plastics Application, 2022, 50(7):91-98.
- [15] 王其远,李远志. SMC模压模具设计中的几个问题[J]. 纤维复合材料, 2000, 17(3):32-33.
WANG Qiyuan, LI Yuanzhi. Several issues in SMC mold design [J]. Fiber Composites, 2000, 17(3):32-33.
- [16] 石世铤. 注塑模具设计与制造教程[M]. 北京:化学工业出版社, 2017:68-76.
SHI Shiyao. A tutorial on injection mold design and manufacturing[M]. Beijing:Chemical Industry Press, 2017:68-76.