

# 大型一体化压铸后地板铸件结构设计优化及应用

廖仲杰<sup>1</sup> 陈振宇<sup>1</sup> 梁峻瑜<sup>1</sup> 林 韵<sup>1</sup> 陈诗明<sup>2</sup> 钟宇毅<sup>2</sup> 万 里<sup>1,2</sup> 陈家海<sup>1</sup>

(1. 广东鸿图科技股份有限公司, 肇庆 526108; 2. 广东鸿图汽车零部件有限公司, 广州 510700)

**摘 要** 随着压铸设备、压铸技术和免热处理压铸铝合金性能不断改善,传统白车身钣金拼焊的零件正逐步朝一体化集成压铸的工艺转变,已经涌现了一体化前舱、一体化后地板、一体化电池托盘等大型一体化零件的应用。对某款乘用车后地板改款成一体化集成铸件进行了设计与优化,针对技术要求,提出一体化后地板铸件的结构设计要点,根据压铸成形特性和连接安装要求,对壁厚进行合理的分区设计,同时考虑原始模型的连接关系,设计合理的结构满足连接要求。为满足良好的铸造成形和有效的承载,后纵梁采用侧抽芯成形,通过仿真分析和拓扑优化工具对筋条进行合理的布置。经过优化设计的一体化压铸后地板的性能满足使用要求。

**关键词** 一体化压铸;后地板;结构设计。

中图分类号 TG249.2

文献标志码 A

DOI:10.15980/j.tzzz.T20240378

## Optimization and Application of Structural Design for Large Integrated Rear Floor Castings

LIAO Zhongjie<sup>1</sup>, CHEN Zhenyu<sup>1</sup>, LIANG Junyu<sup>1</sup>, LIN Yun<sup>1</sup>, CHEN Shiming<sup>2</sup>, ZHONG Yuyi<sup>2</sup>, WAN Li<sup>1,2</sup>, CHEN Jiahai<sup>1</sup>

(1. Guangdong Hongtu Technology Co., Ltd., Zhaoqing 526108; 2. Guangdong Hongtu Automotive Parts Co., Ltd., Guangzhou 510700)

**Abstract:** With the continuous improvement of die-casting equipment and technology as well as performance of heat-free treatment aluminum alloy, the traditional white body sheet metal welding parts are gradually shifting towards integrated die-casting technology, and the application of large integrated parts such as integrated front cabin, integrated rear floor, and integrated battery tray comes forth. The transformation of rear floor of a passenger car into an integrated casting was designed and optimized, and the structural design points of integrated rear floor castings were proposed based on technical requirements. According to the characteristics of die casting and requirements of connection and installation, the wall thickness was rationally partitioned. Meanwhile, a reasonable structure was designed to meet the connection requirements considering the connection relationship of original model. In order to satisfy well casting and effective bearing capacity, the rear longitudinal beam was formed by side core-pulling, and the bar was rationally arranged by simulation analysis and topology optimization tools. The performance of integrated die-cast floor after optimized design meets the requirements of use.

**Key Words:** Integrated Die-casting, Rear floor, Structural Design

得益于大锁模力压铸设备与技术发展,可量产的零部件尺寸规格和合格率逐步提升,一体化压铸技术备受青睐。压铸铝合金汽车零部件逐步向大尺寸、高度集成、高性能、复杂化、薄壁轻量化方向发展进化<sup>[1]</sup>。目前,铝合金车身结构件的应用已不再局限于挤压件和冲压件,压铸铝合金越来越多地用作车身结构件<sup>[2-3]</sup>。相较于钢制车身结构,采用铝合金进行高真空压铸形

成的车身结构展现出了显著的轻量化特性,灵活的模块化设计、高刚性、高强韧性能、高精度以及更自由的结构设计优势<sup>[4-5]</sup>。在当今汽车制造业中,轻量化设计已成为提升车辆性能、降低能耗及减少排放的关键技术之一,而一体化压铸后地板设计作为轻量化技术的前沿探索,正逐步展现出其在成本控制与生产效率方面的显著优势。越来越多的车身钣金拼接件、铝合金

收稿日期:2024-09-19;修订日期:2024-11-11

基金项目:国家重点研发计划资助项目(2023YFB2504602)

第一作者简介:廖仲杰,男,1980年出生,高级工程师,E-mail:Lzj@ght-china.com

通信作者:万里,男,1970年出生,教授级高工,E-mail:wanli@ght-china.com

引用格式:廖仲杰,陈振宇,梁峻瑜,等.大型一体化压铸后地板铸件结构设计优化及应用[J].特种铸造及有色合金,2025,45(5):662-667.

LIAO Z J, CHEN Z Y, LIANG J Y, et al. Optimization and application of structural design for large integrated rear floor castings[J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 2025, 45(5): 662-667.

型材拼接电池托盘等大型结构,都有改成一体化压铸成形的需求,这需要一体化集成件能方便地跟周边零件进行连接,因而受到约束的边界条件较多,因此一体化压铸零件的设计难度较大,产品的性能要求和精度要求较高。由于材料、设备、模具、压铸工艺的技术壁垒限制,目前大型一体化铸件设计的零件相对较少,大型一体化压铸的应用还处于起步阶段,很多设计和工艺都处在探索阶段。本研究围绕某一体化压铸后地板铸件的设计和优化进行探讨,以期为其应用提供参考。

1 后地板功能与要求

1.1 后地板结构功能分析

车身后地板区域主要集成了车身后纵梁前段、轮罩、地板、座椅安装横梁,见图1。后地板处于后缓冲吸能区和乘员安全区之间,见图2<sup>[6]</sup>。后地板前后两端分别连接门槛和后纵梁后段,轮罩上方与上车体C柱相连。这些异种材料的结构连接一般采用铆接工艺,对零件的强度和延展性均有较高要求。车身后纵梁是汽车受到后端撞击时的主要承载和吸能部件,如果在后撞工况中纵梁出现严重变形,会导致燃油车油箱的破坏,造成燃油泄漏,电动车会发生电池包挤压变形,电池包损坏<sup>[7]</sup>。因此,后地板对汽车的安全性能十分重要。

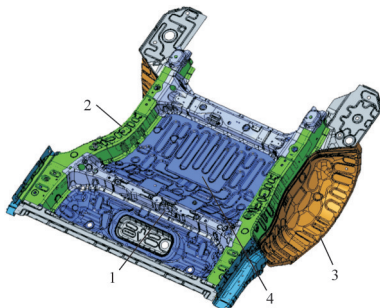


图1 钣金件后地板

Fig.1 Rear floor of sheet metal parts

1.横梁 2.后纵梁 3.轮罩 4.地板

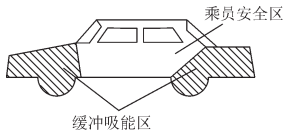


图2 车身结构的乘员安全区和缓冲吸能区

Fig.2 Safety zone and buffering energy absorption zone of vehicle body

1.2 后地板集成要求

后地板集成设计方案需要对各个零部件进行深入的研究和分析,深入了解每个零部件的材质特性、结构强度、装配要求及相互间的接口设计,结合压铸成形的生产工艺和性能要求,将零部件无缝融合为一个协调统一的

整体。根据目前压铸机锁模力极限,一体化后地板集成范围可包含左、右后纵梁,前、后横梁、后地板覆盖区域以及左右轮罩4个主要部位。连接安装部位应与原钣金上相应的安装固定点位置保持一致。

1.3 后地板技术要求

后地板位于车身的重要部位,为确保满足设计要求和使用寿命,需要进行全面的性能测试,包括强度测试、刚度测试、碰撞测试等。另外,后地板需要与周边零部件进行可靠的连接,一般采用自冲铆接(Self-piercing riveting, SPR)和流钻螺钉(Flow drill screw, FDS)连接技术,因此对后地板的力学性能和材料伸长率要求较高。同时,后地板四周有很多连接部件和安装接口,需要后地板有较高的精度才能保证可靠的装配连接。大型一体化压铸零件各个部位性能和精度差异性较大。后地板一般会根据功能进行分区管理,本体性能和尺寸精度要求分别见表1和表2。

表1 后地板本体性能要求

Tab.1 Performance requirements for rear floor body

| 位置  | 屈服强度/MPa | 抗拉强度/MPa | 伸长率/% |
|-----|----------|----------|-------|
| 近浇口 | ≥105     | ≥215     | ≥10   |
| 轮罩  | ≥100     | ≥200     | ≥5    |
| 纵梁  | ≥105     | ≥220     | ≥8    |
| 远浇口 | ≥105     | ≥220     | ≥6    |

表2 后地板尺寸精度要求

Tab.2 Dimensional accuracy requirements for rear floor

| 类型  | 面与孔分类  | 公差要求 |     |   |     |
|-----|--------|------|-----|---|-----|
| 面公差 | 未注公差面  |      | 3   | X | Y Z |
|     | 匹配面    |      | 2   | X | Y Z |
|     | 门槛梁匹配面 |      | 1.4 | X | Y Z |
| 孔公差 | 预铸孔    |      | 2   | X | Y Z |
|     | 关键加工孔  |      | 2   | X | Y Z |
|     | 非关键加工孔 |      | 3   | X | Y Z |

2 一体化后地板铸件结构设计

2.1 一体化后地板铸件设计流程

一体化后地板铸件设计流程见图3。根据客户车辆的整体设计要求和性能指标,明确一体化后地板铸件需满足的功能、强度、刚度、轻量化等要求。结合压铸的工艺能力,进行设计范围的初步界定,并参考原来钣金件的包络边界范围,进行关键截面的形状结构分析与确定。随后,在深入参考原钣金模型的基础上,进行铸件结构的细化设计,以形成初版模型。对初版模型进行受力CAE分析和铸件模流分析,以评估其性能

并识别潜在问题。根据分析结果进行修改并迭代优化,同时结合模具设计和机加工设计的输入要求,最终形成终版模型,以供产品的开发生产使用。

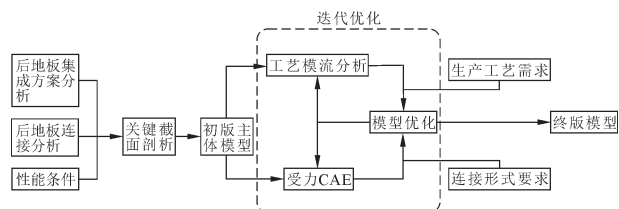


图3 一体化后地板铸件设计流程

Fig.3 Design process for integrated floor casting

## 2.2 后地板铸件的结构设计要点

### 2.2.1 壁厚设计

压铸件的壁厚设计一般应均匀,否则易产生缩孔和裂纹,容易引起零件变形<sup>[8]</sup>。壁厚较大的铸件内部易产生缩孔,影响材料的力学性能,同时影响模具的使用寿命。不同部位的壁厚变化应尽量平缓,避免出现急剧变化。壁厚不均匀可能导致熔化金属的流动性不良。对于大型铝合金,其壁厚不宜超过6 mm,因壁厚增加,材料的力学性能将明显下降<sup>[9]</sup>。一体化后地板集成后投影尺寸为1 530 mm×1 430 mm,填充流程长,为改善压铸填充的效果,一体化后地板壁厚分成3段式设计,进浇段采用5 mm,两个横梁间采用4 mm,末端壁厚取3 mm,整个流程的过流截面形成阶梯递减的趋势,有利于压铸成形和压力的传递。壁厚设计见图4。

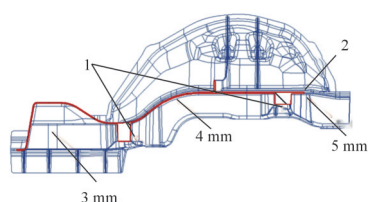


图4 壁厚设计

Fig.4 Design of wall thickness

1. 横梁 2. 进浇端

### 2.2.2 后纵梁部位结构设计

根据连接关系,后纵梁前段与门槛梁连接,中间段承载后地板座椅和底盘悬挂系统,末端与吸能组件相连。门槛梁普遍为中空结构的型材挤压成形,与中空结构的连接方式一般采用FDS(Flow Drill Screwing)和螺纹连接固定,FDS是一种单边机械连接工艺,可以应用于双边工艺无法达到的区域,如压铸铝结构件与型材等管状封闭结构的连接<sup>[10]</sup>。门槛梁连接部位设计为两个互相垂直的端面接触连接,见图5。需要注意避让非关键区域的特征,可以提高安装精度。

后纵梁后段与吸能组件连接,碰撞产生的力流方

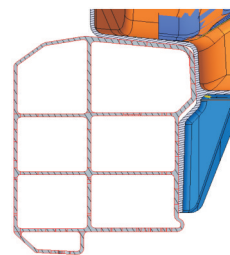


图5 门槛梁连接部位截面

Fig.5 Cross section of connection part of threshold beam

向和变形位置见图6<sup>[6]</sup>。后撞中,撞击力向车前方传递的路径主要为:①由后保险杠,经后纵梁,传递给门槛梁;②由轮胎后部结构,经轮胎,传递给门槛梁。通常后纵梁是后部结构的主要吸能元件,纵向载荷较大。为保障安全性,设计为全轮廓匹配的结构,最大程度提高连接强度,增强抵抗变形能力,连接部位设计见图7。

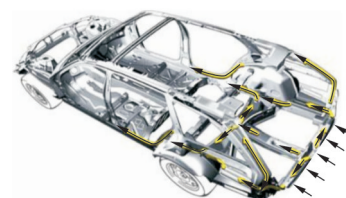


图6 碰撞时车身力流方向与变形位置

Fig.6 Direction of body force flow and deformation position during collision

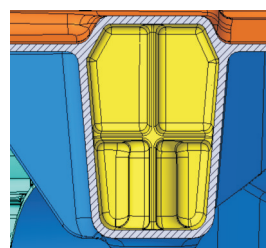


图7 吸能连接部位截面

Fig.7 Cross section of energy absorbing connection part

后纵梁中间部位自身的刚度和强度较高,修改成一体化压铸后,要满足出模要求,截面形状会由矩形变成U形结构。U形截面的开口方向不同会对受力方向的截面系数产生影响,因而对整体车身的影响较大。从出模角度考虑,后纵梁部位可以有动模和侧抽芯2个方向推出。如果从动模侧成形,后纵梁内部的加强筋会是填充的末端,加强筋成形困难且成形质量欠佳,而从侧抽芯成形,加强筋则是填充的过渡区,铝液填充过程会经过加强筋后再填充侧壁,更有利于加强筋的成形,保证零件的性能。另外,根据成形方向,会形成两种方向的U型截面结构。对两种截面形心主惯性矩进行分析对比,发现U型开口向左/右的截面,在Y向即重力方向的承载更加有利,截面惯性矩对比见表3。因此确定后纵梁截面由侧抽芯成形,有利于保证铸件品质,且

提高整体车身的抗弯和抗扭性能。最终后纵梁的结构设计见图8。

表3 后纵梁截面形心主惯性矩对比

| Tab.3 Comparison of centroid principal moments of inertia of rear longitudinal beam section |        |                                         |        |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|--------|-----------------------------------------|--------|
| 成形方向                                                                                        | 截面受力方向 | 形心主惯性矩 $I_x/(\times 10^6 \text{ mm}^4)$ | 承载性能评价 |
| 动模                                                                                          |        | 1.23                                    | 稍差     |
| 左、右侧抽芯                                                                                      |        | 2.58                                    | 较好     |

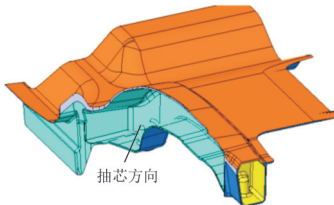


图8 后纵梁出模结构

Fig.8 Mold structure of rear longitudinal beam

2.2.3 轮罩部位拓扑优化

拓扑优化设计是指在预设的三维几何设计域内，对设计师所规定的参数进行优化，以获得最优材料分布与结构配置的过程。拓扑优化多应用在结构的概念设计阶段，是在给定的设计空间内找出最优的材料分布，同时可分析不同工况要求下的载荷路径<sup>[11]</sup>。通过对设计域内的外力作用、载荷状况、边界约束条件、限制因素以及材料特性等进行数学模型的构建与优化，借助先进的数字化计算手段，将这些数学模型与计算机有限元分析技术相融合，通过反复迭代计算，寻求最优解决方案，最终实现材料使用的最小化，同时最大限度地提升零部件的强度与刚度性能<sup>[12]</sup>。作为钣金件改款，设计的边界条件一般不会超出原有钣金模型的边界范围，因此设计空间范围有限。为了提高轮罩部位的刚度，可以利用拓扑优化方法，寻找最优的受力路径，为筋条的布置和结构优化提供参考。本案例采用

optistruct求解器进行拓扑优化分析。在初始模型的基础上，对轮罩部位进行了局部的优化分析，基于轮罩3个方向的静态刚度最大化原则，设置轮罩范围为设计空间，原焊接连接点为非设计区域，以设计空间单元密度为设计变量，轮罩分别以X、Y、Z方向刚度最大化为设计目标，拓扑优化体积分数 $<0.3$ 为约束条件进行3个方向的优化分析，结果见图9和图10。可以看出，轮罩部位中2个底盘安装孔、C柱安装部位、轮罩与后纵梁连接等材料分布较多，后纵梁内腔较多纵向材料的分布。进行拓扑优化后的模型应力分布更加均匀且合理。

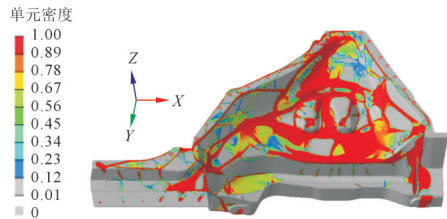


图9 轮罩部位拓扑优化结果

Fig.9 Topology optimization results of wheel cover parts

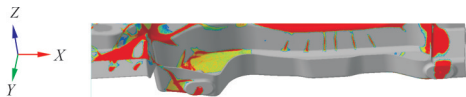


图10 后纵梁部位拓扑优化

Fig.10 Topology optimization of rear longitudinal beam section

2.2.4 加强筋布置

对于压铸件随着壁厚的增加，铸件内部气孔、缩孔、缩松等缺陷会增加，加强设计应尽量避免通过加厚来提升强度和刚度等，因此在进行铸件结构增强时优先考虑增设加强筋。后纵梁铸件加强筋设计主要依据以下原则：根据拓扑优化结果，在纵梁空腔区域布置横向加强筋，以传递载荷，随后布置纵向加强筋，以提高纵梁刚度。同时加强筋整体做成内凹弧形，以最大限度减少不必要的材料使用，加强筋布置见图11。

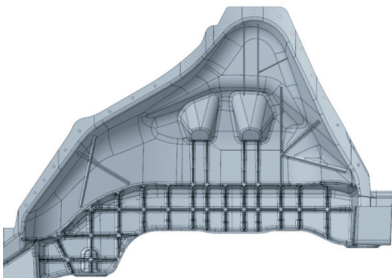


图11 加强筋布置

Fig.11 Arrangement of reinforcing rib

3 一体化铸件CAE分析

3.1 受力分析

为了验证一体化压铸件的刚度、强度性能，取承载

方向(Z向)作为强度和刚度验证的受力方向。采用Abaqus进行受力仿真分析,把左、右纵梁的前后端固定约束,横梁分布加载10 kN载荷,边界条件和载荷设置见图12,分析结果见图13,最大应力约为46 MPa,远小于材料的屈服强度,零件强度满足使用要求。

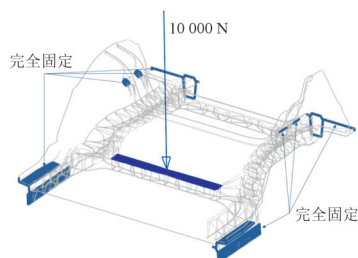


图12 一体化后地板边界与载荷设置

Fig.12 Boundary and load setting of integrated rear floor

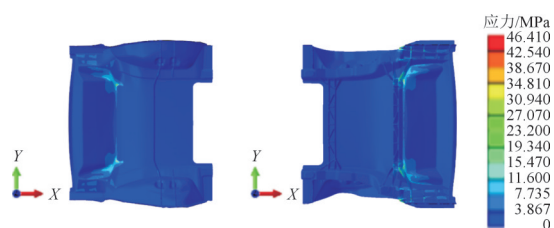


图13 一体化后地板受力分析

Fig.13 Force analysis of integrated rear floor

### 3.2 模态分析

车身模态分析是评估汽车NVH(噪声、振动与声振粗糙度)性能开发的关键环节。在车辆行驶过程中,车身会受到外界因素的激励而产生振动。如果这些外部激励的频率与车身系统的固有频率相匹配或相近,就会触发共振现象。共振不仅会导致车身产生剧烈振动,还会引发结构噪声,进而对车辆部件的耐久性和可靠性构成严重威胁<sup>[13]</sup>。汽车行驶中,国内一般公路上路面激励1~3 Hz,车轮不平衡激励低于11 Hz,传动轴激励高于40 Hz,发动机总速二阶不平衡激励为 $(26.7 \pm 1.67)$

Hz<sup>[14]</sup>。利用Abaqus软件对一体化后地板的模态分析,结果见图14,1阶模态为184 Hz,而白车身整车的模态一般为40~50 Hz,组装后不会对整体有增幅趋势影响。

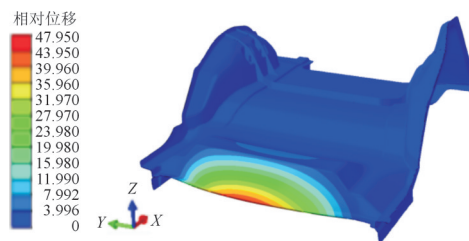


图14 一体化后地板模态分析

Fig.14 Modal analysis of integrated rear floor

### 3.3 应用案例介绍

某车型一体化后地板铸件尺寸为1 600 mm×1 450 mm×670 mm,质量为50 kg,采用70 000 kN压铸机成形的铸件见图15。铸件外观要求无裂纹,铆接区域无贯穿性的冷隔和浇不足。根据产品的结构特点和功能区域要求,铸件浇注系统进料端设计在后防撞梁连接端,保证该区域的性能最优,在各填充末端开设真空排气口,末端窗口交汇处设置溢流槽与集渣包。

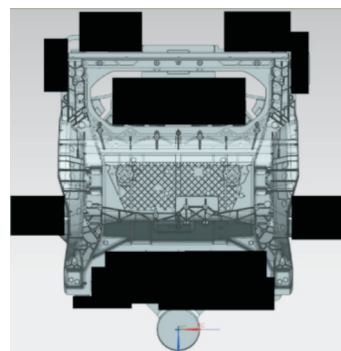


图15 一体化后地板铸件

Fig.15 Integrated rear floor casting

后地板压铸初始设定工艺参数见表4,压铸材料使用免热处理压铸铝合金材料,材料成分见表5。

表4 后地板压铸工艺参数

Tab.4 Die casting process parameters for rear floor

| 铸造压力/<br>MPa | 压力保持时间/<br>s | 模温机温度/<br>℃ | 固化时间/<br>s | 初始铝液温度/<br>℃ | 低速速度/<br>(m·s <sup>-1</sup> ) | 高速速度/<br>(m·s <sup>-1</sup> ) | 真空压力/<br>MPa | 喷涂剂与自来<br>水体积比 |
|--------------|--------------|-------------|------------|--------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------|----------------|
| 20±2         | 20+5         | 200±20      | 30±5       | 700±10       | 0.2±0.05                      | 6.5±0.3                       | ≤0.008       | 1:60~1:80      |

表5 后地板压铸免热处理铝合金的化学成分

Tab.5 Chemical composition of heat-free aluminum alloy for rear floor

| $w_B$   |           |           |       |       |           |           |           |           |        | Al |
|---------|-----------|-----------|-------|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------|----|
| Si      | Mn        | Mg        | Fe    | Cu    | Ti        | Sr        | V         | Zr        | 其他微量元素 |    |
| 8.0~9.5 | 0.40~0.80 | 0.20~0.35 | ≤0.15 | ≤0.05 | 0.05~0.10 | 0.01~0.03 | 0.01~0.10 | 0.01~0.10 | ≤0.2   | 余量 |

基于以上压铸工艺条件,产品本体取样力学性能测试,每个区域平均取5个试样进行测试,取平均值,伸长率分布见图16。由于填充流程过远,远浇口端的伸

长率(黄色区域,基于原图为彩色描述)相对较小,后地板铸件全区域平均屈服强度≥130 MPa,伸长率≥6%;轮罩区域采用SPR连接,其优点是可连接多种材料多

层板材零件,具有较高的综合连接强度,无需预先打孔,能够实现一次成形,从而提高了生产效率,当与结构胶结合使用时,产品具有良好的防水性和气密性。然而,当前该技术面临一定的局限性:针对不同强度和厚度的材料,铆钉及其铆接模具的型号均需专门适配,增加了生产过程的复杂性和成本<sup>[15]</sup>,经实际测试,铆接区域的伸长率大于8%,铆接工艺得以保证。SPR铆接效果见图17,铆接连接性能满足技术要求。

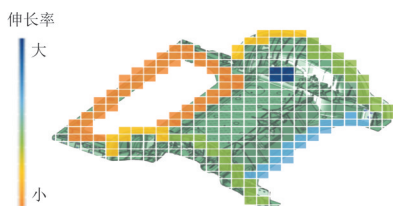


图16 力学性能测试

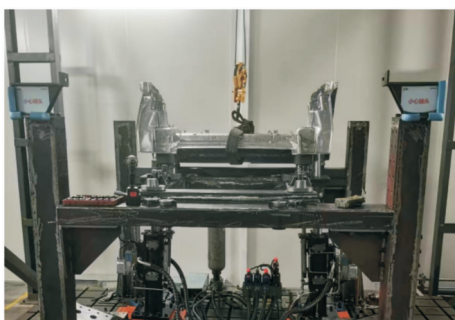
Fig.16 Mechanical performance test



图17 SPR铆接形貌

Fig.17 Morphology of SPR riveting

为了验证后地板整体性能,对后地板进行了台架测试,分别进行了Z向和X向的压溃试验和耐久测试,见图18。技术要求为:左、右两边在规定压力下变形量要求小于3 mm。实际测试结果变形量小于0.1 mm,Z向压溃力最大为110 kN,X向压溃力最大为220 kN,性



(a) 耐久测试



(b) 压溃测试

图18 压溃测试和耐久测试台架试验

Fig.18 Collapse test for bench test and durability test

能均满足技术要求。耐久测试要求Z向受力为6~13 kN,6 Hz循环20万次,经测试发现,左、右两边均无裂纹产生,满足要求。

## 4 结 语

通过一款一体化后地板铸件的设计与应用案例,验证了一体化压铸后地板的可行性。从集成方案分析、壁厚设计、型面设计、拓扑优化的应用、加强筋布置等方面进行了一体化压铸后地板铸件设计与优化的介绍。根据压铸成形的特点和结构性能要求,后纵梁截面部位由侧抽芯成形,有利于保证铸件品质和铸件的抗弯和抗扭性能。在设计过程中采用拓扑优化分析得出受力路径,根据分析结果指导加强筋布置,从而使得应力分布更均匀更合理。设计过程充分利用受力分析和模态分析,可以优化产品的结构,使产品结构强度在实际应用过程中满足使用的要求。

## 参 考 文 献

- [1] 汪学阳,黄志恒,廖仲杰,等.高真空压铸铝合金减震塔工艺开发及应用[J].特种铸造及有色合金,2018,38(8):860-863.
- [2] 赵震,阙洪贵,鲁后国.基于静刚度的压铸铝合金减震器塔结构优化及验证[J].汽车实用技术,2021,46(22):63-67.
- [3] 鲁后国,张炳力.铝合金压铸减震器塔结构设计研究[J].汽车实用技术,2019(5):135-137.
- [4] 唐程光,唐淳,阙洪贵.铝合金高真空压铸减震器塔成型工艺方案设计研究[J].汽车实用技术,2020,45(24):163-167.
- [5] 张顺,鲁后国,阙洪贵.高真空压铸铝合金车身应用部位推荐研究[J].汽车实用技术,2021,46(1):161-163.
- [6] 黄金陵.汽车车身设计[M].北京:机械工业出版社,2021.
- [7] 林佳武,李玄霜,陈宗明,等.真空高压铸造铝合金车身后纵梁轻量化设计[J].汽车工程,2020,42(3):383-389,400.
- [8] 吴春苗.压铸技术手册[M].广州:广东科技出版社,2007.
- [9] 周杰.铸件结构设计注意事项及其影响[A]//第27届重庆市铸造年会暨第十一届全国铸件挽救工程技术交流会论文集[C].重庆,2017.
- [10] 张华,刘博洋,张林阳,等.乘用车车身压铸铝结构件应用现状及连接技术开发应对[J].汽车工艺与材料,2024(7):9-13.
- [11] OU H G, TANG X D, XLAO J P, et al. Lightweight body-in-white design driven by optimization technology [J]. Automotive Innovation, 2018, 1(3): 255-262.
- [12] 曹元波,单小鹏.发动机悬置支架拓扑优化设计探究[J].汽车实用技术,2024,49(13):56-59, 78.
- [13] 仇涛,张代胜,张林涛.轿车白车身的有限元模态与试验模态分析研究[J].农业装备与车辆工程,2008(1):23-25.
- [14] 于翰林,毛洪海.基于HyperMesh的某商用车白车身模态研究[J].汽车实用技术,2023,48(10):66-69.
- [15] 李永兵,马运五,楼铭,等.轻量化多材料汽车车身连接技术进展[J].机械工程学报,2016,52(24):1-23.

(编辑:彭瑾)