

轿车翼子板成形工艺分析与模具设计

万志远

(山东华宇工学院 机械工程学院, 山东 德州 253034)

摘要: 翼子板是轿车重要的外覆盖件之一, 具有结构复杂、外形尺寸大、成形不易控制、表面质量要求高、材料厚度小、易产生回弹缺陷等特点。首先, 分别选取翼子板零件工艺补充前后相同位置的 15 个典型截面进行结构分析, 得到了零件典型位置的截面曲线变化情况, 分析了与机舱总成、发动机盖总成、前门总成、侧围总成、前轮罩等重要位置搭接处的工艺补充面, 为后续全工序设计奠定了基础。其次, 根据结构分析, 利用 AutoForm 等软件对轿车翼子板进行了工艺补充设计, 确定了落料、拉延、修边-冲孔-侧修边、翻边-整形-侧翻边、侧翻边-侧冲孔-冲孔和侧翻边-侧成形 6 道全工序工艺过程。采用有限元模拟手段, 对工艺补充后的零件进行了模拟计算, 结果表明, 翼子板零件的成形质量好, 主体部位未出现开裂和起皱缺陷, 材料的最大减薄率为 24.3%, 验证了工艺补充的合理性。最后根据工艺设计, 重点设计了翼子板落料连续模具和拉延模具。

关键词: 翼子板; 工艺补充面; 落料连续模具; 拉延模具; AutoForm

DOI: 10.13330/j.issn.1000-3940.2023.08.028

中图分类号: TG386

文献标志码: A

文章编号: 1000-3940 (2023) 08-0202-08

Forming process analysis and die design on automobile fender

Wan Zhiyuan

(The Academy of Mechanical Engineering, Shandong Huayu University of Technology, Dezhou 253034, China)

Abstract: Fender is one of the important outer covers for a car, and it has the characteristics of complex structure, large size, difficulty in forming control, high surface quality requirement and small material thickness, which is easy to produce springback defects. Therefore, firstly, fifteen typical cross-sections at the same position before and after process supplement of fender part were selected for structural analysis, the change of cross-section curve for the typical positions of part was obtained, and the process supplementary surfaces at the important positions overlapping with engine room assembly, engine cover assembly, front door assembly, side panel assembly, front wheel cover etc. were analyzed, laying the foundation for the subsequent design of the whole process. Secondly, according to the structural analysis, the process supplement for automobile fender was designed by AutoForm and other softwares, and the whole process with six processes of blanking, drawing, trimming-punching-side trimming, flanging-shaping-side flanging, side flanging-side punching-punching and side flanging-side forming were determined. Furthermore, the finite element simulation method was used to simulate the parts after process supplement. The results show that the forming quality of fender part is good, there is no cracking or wrinkling defects in the main positions, and the maximum thinning rate of material is 24.3%, which verifies the rationality of the process supplement. Finally, according to the process design, the blanking continuous die and drawing die of fender are mainly designed.

Key words: fender; process supplement surface; blanking continuous die; drawing die; AutoForm

随着我国经济生产的持续增长和国民生活质量的逐步提高, 人们对轿车的要求大幅度提升^[1]。轿车外覆盖件对于整体车身的外观、性能和美感具有重要的影响, 而车身的外观、性能和美感离不开轿车外覆盖件的冲压成形工艺^[2]。

轿车翼子板是重要的外覆盖件之一, 对车身整

体外观、性能和美感起着不可替代的作用, 和普通冲压件不同, 轿车翼子板具有结构复杂、外形尺寸大、成形不易控制、表面质量要求高、材料厚度小、易产生回弹缺陷等特点, 因此, 在工艺设计和制造上, 翼子板一般和普通冲压件分开, 作为特殊零件进行工艺分析^[3]。

近 3 年, 业内专家对翼子板冲压工艺进行了研究, 唐妍等^[4]建立了翼子板冲压成形分析模型, 并对零件拉延成形进行了数值分析, 得到了回弹补偿基准和回弹补偿区域。蒋磊等^[5]对翼子板成形工艺方案进行了数值模拟, 从滑移、回弹和开裂等多方

收稿日期: 2023-04-04; **修订日期:** 2023-07-06

基金项目: 山东华宇工学院校级协同创新中心“智能装备技术研发协同创新中心”资助项目

作者简介: 万志远 (1988-), 男, 硕士, 副教授, 工程师

E-mail: 815223128@qq.com

面进行了分析。孙庆东等^[6]针对某汽车后备箱,采用Dynaform软件构建仿真模型进行成形仿真,以最大减薄率作为评价指标,利用Minitab软件进行试验数据处理,获得了最优的冲压工艺参数组合。林金海等^[7]研究了翼子板的拉延工艺,得到了翼子板拉延的主要工艺参数。翼子板作为轿车白车身关键的外覆盖件,其质量的核心在于零件成形工艺设计和模具设计^[8]。近几年,业内专家主要从成形缺陷、成形模拟等方面进行了研究分析,而针对工艺分析和关键模具设计方面的研究较少。

本文以某轿车翼子板为研究对象,首先,对翼子板零件结构进行重点分析;其次,利用Dynaform、UG和CAD等软件,根据零件结构特点、分析结果以及冲压成形要求对轿车翼子板进行成形工艺设计并进行模拟计算验证;最后,根据结构分析、工艺设计和实际经验,重点对轿车翼子板落料连续模具和拉延模具进行设计。

1 轿车翼子板工艺分析

轿车翼子板与机舱总成、发动机盖总成、前门总成、侧围总成、A柱、前轮罩等多个覆盖件和结构件零件有配合关系,对成形精度要求严格^[9-10]。

翼子板零件的尺寸较大,拉延较深,多处位置需要侧向修边、侧向翻边等,工艺设计难度较大,模具结构比较复杂。翼子板在轿车车身前两侧各1件,现取左翼子板的进行研究分析,零件模型如图1所示。翼子板的外形尺寸约为1150 mm×800 mm×210 mm,净重为2.2 kg,厚度为 (0.7 ± 0.07) mm,材料为H180BD+ZF40/40,为一种高强度镀锌铁冲压用钢^[11]。

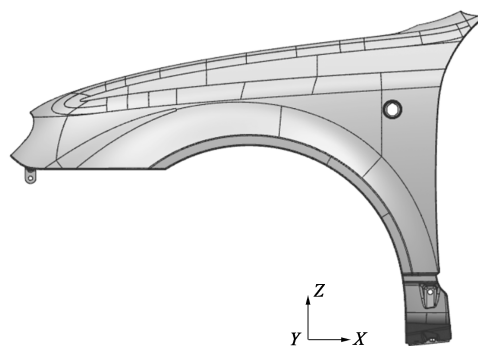


图1 轿车翼子板模型

Fig. 1 Model of automobile fender

为详细分析轿车翼子板的冲压成形特征,掌握零件的结构特点,为后续工艺设计打下良好基础,分别选取翼子板零件工艺补充前后相同位置的15个典型截面进行分析,各截面位置如图2所示,对应的截面线分别如图3和图4所示。

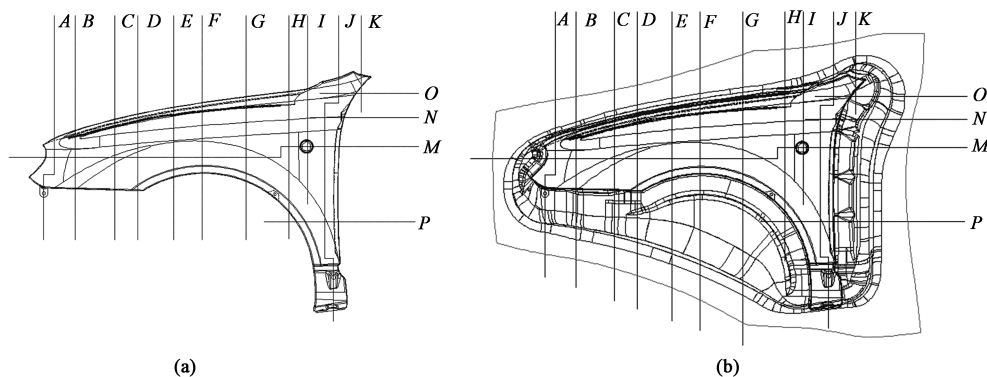


图2 轿车翼子板截面位置

(a) 工艺补充前 (b) 工艺补充后

Fig. 2 Cross-section positions of automobile fender

(a) Before process supplement (b) After process supplement

如图3所示,截面A至截面K的上侧位置区域主要与发动机盖总成搭接,该部分结构均出现不同角度的负角,考虑采用侧修边和侧成形工艺解决该位置负角问题。侧成形法线方向与冲压方向存在一定角度,在修边完成后,侧成形工艺设计时增加斜楔,采用侧成形工艺解决结构负角度问题,具体工

艺补充截面线形状如图4所示。截面A至截面D的下侧位置区域与机舱总成搭接,该部分结构无负角出现,但存在与冲压方向成90°的孔,可增加斜楔,采用拉延-修边-侧向冲孔的工艺设计,具体工艺补充截面线形状如图4所示。截面E至截面H的下侧位置区域与前轮罩搭接,该部分结构无负角出现,

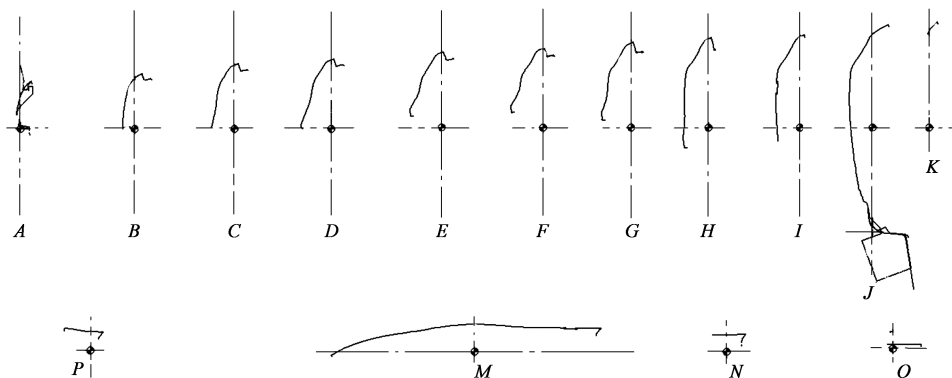


图 3 工艺补充前翼子板零件截面线

Fig. 3 Cross-section lines of fender part before process supplement

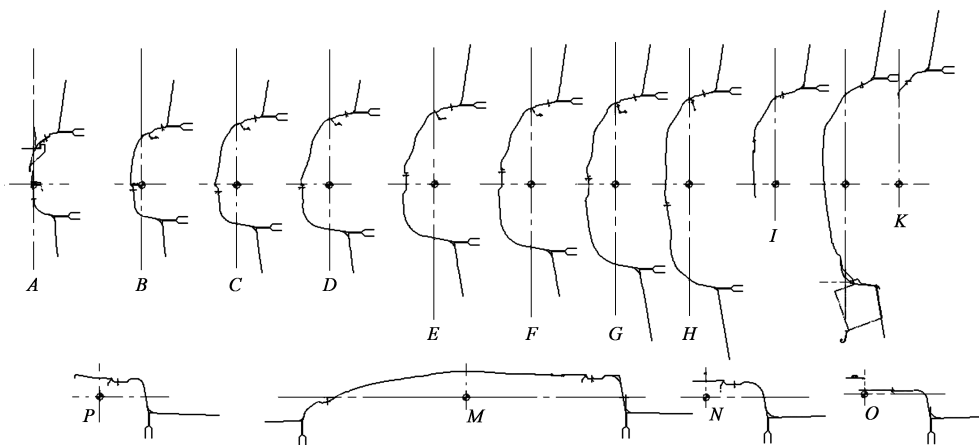


图 4 工艺补充后翼子板零件截面线

Fig. 4 Cross-section lines of fender part after process supplement

截面 *G* 和截面 *H* 的中间位置需增加侧向翻边工艺设计, 具体工艺补充截面线形状如图 4 所示。截面 *I* 至截面 *K* 的上侧位置区域为与发动机盖总成配合的关键区域, 精度要求极高, 截面 *J* 下侧区域变形特别复杂, 与侧围总成配合, 需要整形和侧向冲孔, 具体工艺补充截面线形状如图 4 所示。截面 *O* 至截面 *P* 的右侧区域均与前门总成搭接配合, 均出现不同程度的负角变形, 考虑采用侧向翻边、侧向修边的工艺解决, 具体工艺补充截面线形状如图 4 所示。

2 轿车翼子板工艺设计

根据轿车翼子板结构分析, 采用 AutoForm 软件, 对翼子板进行工艺补充设计。将 prt 格式的翼子板零件三维数学模型导入至 AutoForm 中, 材料为 H180BD+ZF40/40 钢, 在 AutoForm 仿真软件中选取冲压材料, 因为未找到 H180BD+ZF40/40, 故选材

料 DC06 钢代替, 材料厚度为 0.7 mm, 该材料与翼子板的实际材料性能等同^[10]。

轿车翼子板的工序为:

(1) OP10: 拉伸成形, 翼子板与前轮罩和发动机罩总成搭接区域, 工艺补充面积大, 材料流动速率不易控制, 变形复杂, 采用了双拉伸筋结构, 更好地控制成形精度和表面质量, 如图 5a 所示。

(2) OP20: 修边-冲孔-侧修边, 翼子板全周废料被划分为 13 处区域, 其中, 修边 7 处, 为解决负角问题其余 6 处均采用侧向修边工艺, 为保证废料顺利脱模, 增加 12 处切断刀块, 直接将完整的修边区域根据冲压距离的不同, 间断式切断, 减小修边力, 如图 5b 所示。

(3) OP30: 翻边-整形-侧翻边, 翼子板与发动机罩总成搭接区域增加侧成形和侧翻边工艺, 保证零件边缘的表面质量和尺寸精度, 与侧围总成搭接位置增加二次整形工艺, 保证成形质量, 如图 5c 所示。

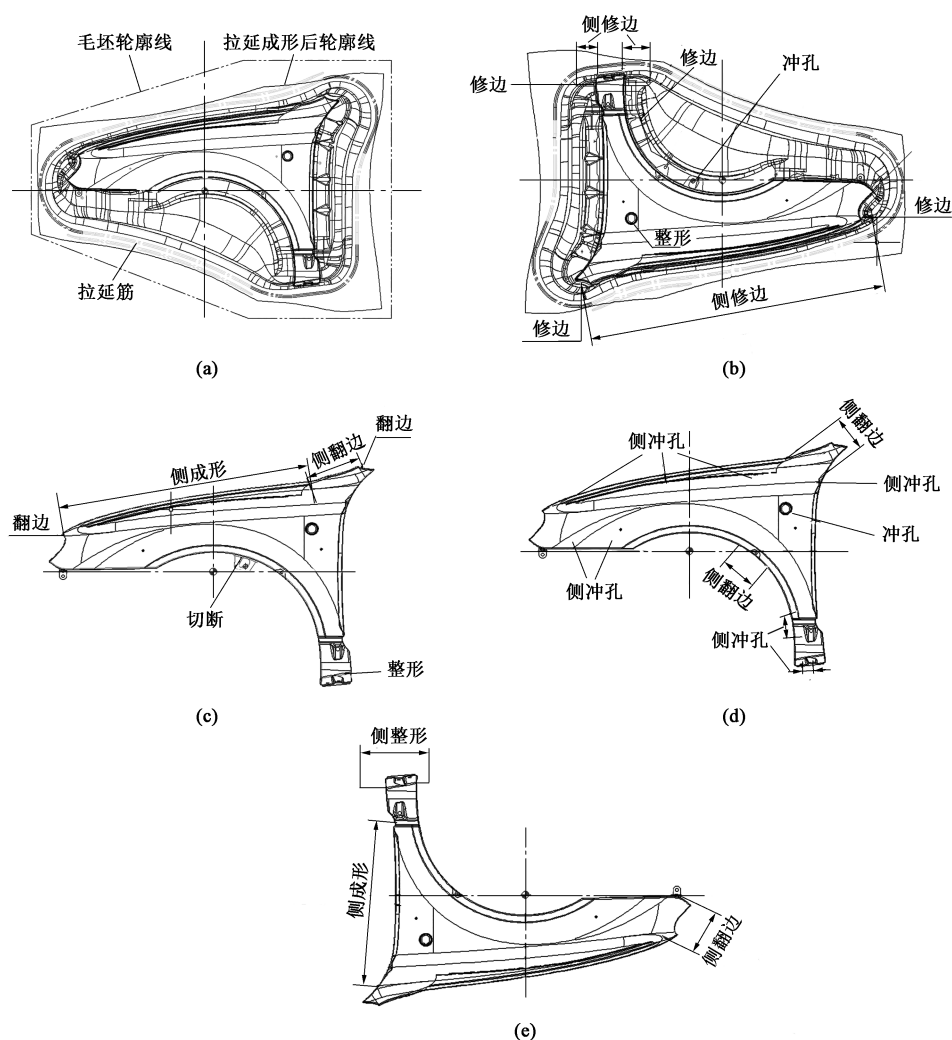


图5 轿车翼子板全工序图

(a) OP10 (b) OP20 (c) OP30 (d) OP40 (e) OP50

Fig. 5 Whole process diagrams of automobile fender

(4) OP40: 侧翻边-侧冲孔-冲孔, 本工序完成翼子板剩余所有孔的冲制, 与机舱总成、侧围总成和发动机盖均有搭接的位置增加二次翻边, 提高尺寸精度, 保证后续装配精度, 如图 5d 所示。

(5) OP50: 侧翻边-侧成形, 本工序完成剩余局部位置的翻边, 翼子板与前门总成搭接的位置增加二次成形, 以提高尺寸精度和表面质量, 减小后续的装配误差, 如图 5e 所示。

采用数值模拟手段对工艺补充进行验证计算, 结果如图 6 所示。工艺补充后的轿车翼子板零件中约 95.16% 在安全成形范围内; 在零件工艺补充边缘部位有 3.28% 的轻微起皱区域, 该区域从工程模拟角度对最终翼子板零件质量无影响, 在后续试模中, 可以在局部位置涂抹拉伸油; 严重起皱区域占 1.56%, 该区域在后续修边工艺中被修剪掉, 不影

响零件的质量。从厚度减薄率看, 整体零件的最大增厚率不高于 15%, 边缘增厚部分会在修边工序中去掉, 整体零件减薄率控制在 25% 以内, 符合工程要求。

3 翼子板落料连续模具设计

翼子板冲压成形是轿车覆盖件中最难成形的零件^[11], 多处的侧向修边、侧向翻边和侧向成形给拉伸设计带来了极大困难, 拉伸毛坯的好坏直接影响零件的总体成形质量^[12], 根据工艺设计, 设计制作翼子板自动落料连续模具, 翼子板落料连续模具总体结构如图 7 所示。

上模部分落料刀具分布如图 8 所示, 为保证毛坯边缘质量, 各刀块之间的间隙控制在 0.02 mm 以

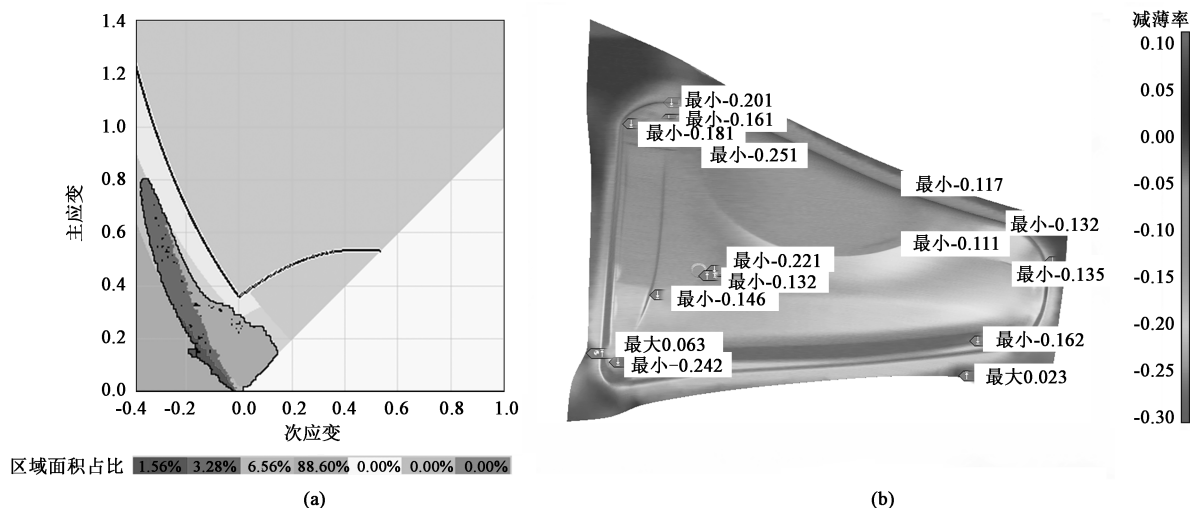


图6 翼子板成形极限图 (a) 和厚度减薄图 (b)

Fig. 6 Forming limit diagram (a) and thickness thinning diagram (b) of fender

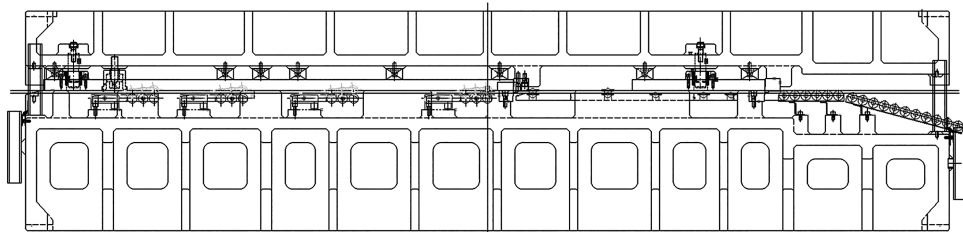


图7 翼子板落料连续模具总体结构

Fig. 7 Overall structure of blanking continuous die for fender

设计尺寸长度不大于 300 mm, 镶块材料选用 Cr12MoV 钢, 上模座材料为铸铁。

下模部分落料刀具分布如图 9 所示, 为保证毛坯尺寸精度, 下模镶块与上模镶块单独加工, 各刀块之间的间隙控制在 0.02 mm 以内, 刀具镶块采用螺钉固定于下模座上, 镶块材料选用 Cr12MoV 钢, 下模座材料为铸铁。

4 翼子板拉伸模具设计

拉延成形是翼子板零件最重要的成形工艺,采用 Dynaform 软件对零件进行工艺补充设计,得到拉延成形后的形状^[13]。将工艺补充的零件数模导入到三维设计软件中,翼子板拉延模具的整体设计如图 10 所示。

根据零件工艺补充设计, 确定压料面形状, 其形状大小与落料毛坯吻合, 压边圈整体结构可由零件数模得到^[14], 通过 8 处导滑块与下模接触, 保证了与凸模型芯的间隙均匀, 其上下运动由压边圈正下方的顶杆控制。压边圈承受压力较大, 本体由

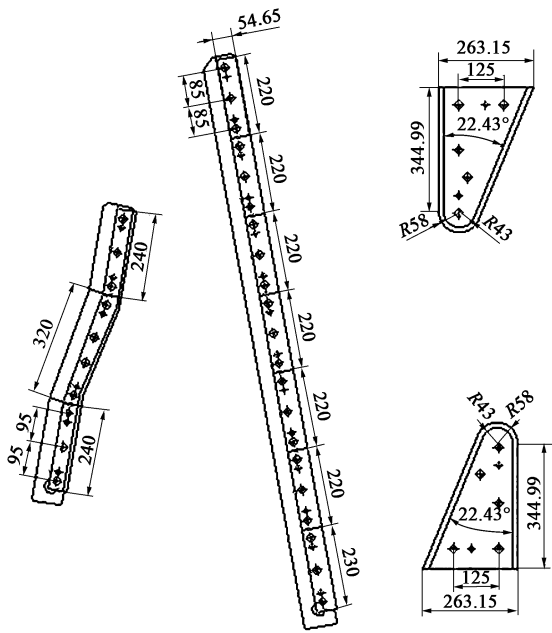


图 8 翼子板落料上模镶块分布图

Fig. 8 Distribution diagrams of blanking upper die inserts for fender

内，刀具镶块采用螺钉固定与上模座上，每块刀具

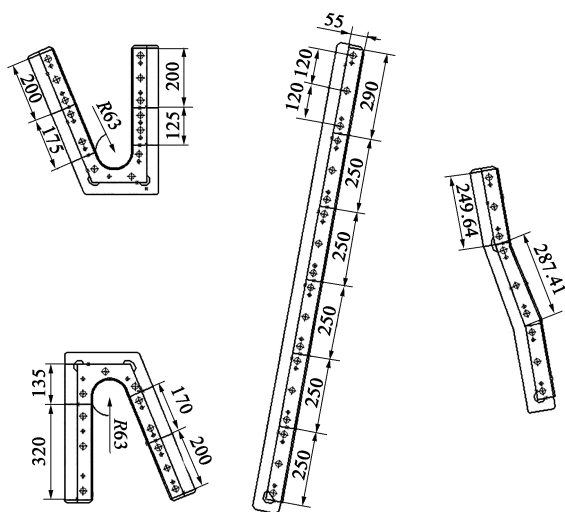


图 9 翼子板落料下模镶块分布图

Fig. 9 Distribution diagrams of blanking lower die inserts for fender

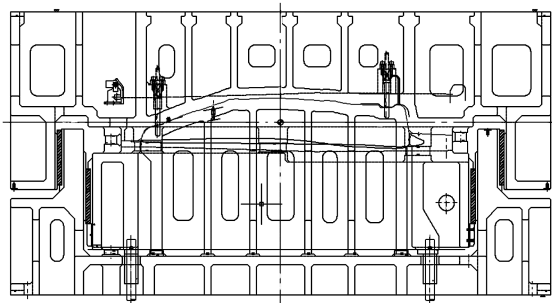


图 10 翼子板拉伸模具总体结构

Fig. 10 Overall structure of drawing die for fender

HT300 灰铸铁铸造, 然后整体加工, 与毛坯接触的压料面为 MoCr 铸铁材质, 铸造完成后分体加工, 然后拼接组成, 镶块间隙控制在 0.02 mm 以内, 压紧块、起吊耳、限位块等按实际需要合理均匀分布。压边圈的整体结构如图 11 所示。

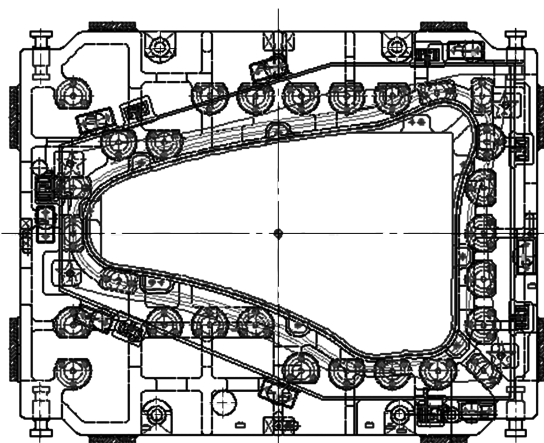


图 11 压边圈整体结构

Fig. 11 Overall structure of blank holder

上模部分由模座本体、成形凹模、导滑板、平衡块等组成, 成形凹模型腔根据工艺补充数模确定, 材质为 Cr12MoV 钢, 镶块分体加工然后采用螺钉安装于模座本体上, 模座本体采用整体铸造, 为 HT300 灰铸铁材质, 结构如图 12 所示。下模部分包括模座本体、成形凸模、导滑板等, 成形凸模直接由导入的数模生成, 根据零件最大成形深度, 确定凸模高度。为保证成形凸模的冲压强度, 凸模与模座本体分别加工, 成形凸模材料选为 Cr12MoV 钢, 模座本体材料选为 HT300 灰铸铁, 结构如图 13 所示。

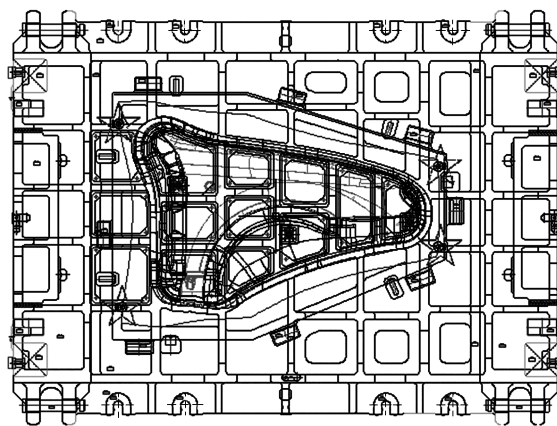


图 12 上模整体结构

Fig. 12 Overall structure of upper die

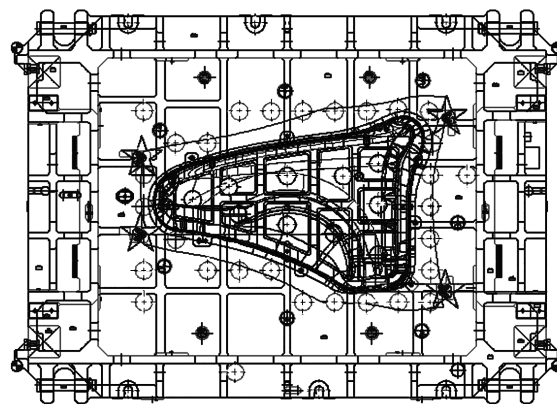


图 13 下模整体结构

Fig. 13 Overall structure of lower die

5 生产应用

拉伸模具是翼子板零件的第 1 工序成形模具, 也是最关键的成形工序, 其模具设计和制造质量直接影响零件的成形质量^[15]。按照上述零件确定的冲压工艺和模具设计进行模座铸造、关键零件加工、标准件选取、模具组装和调试, 参考模拟成形工艺

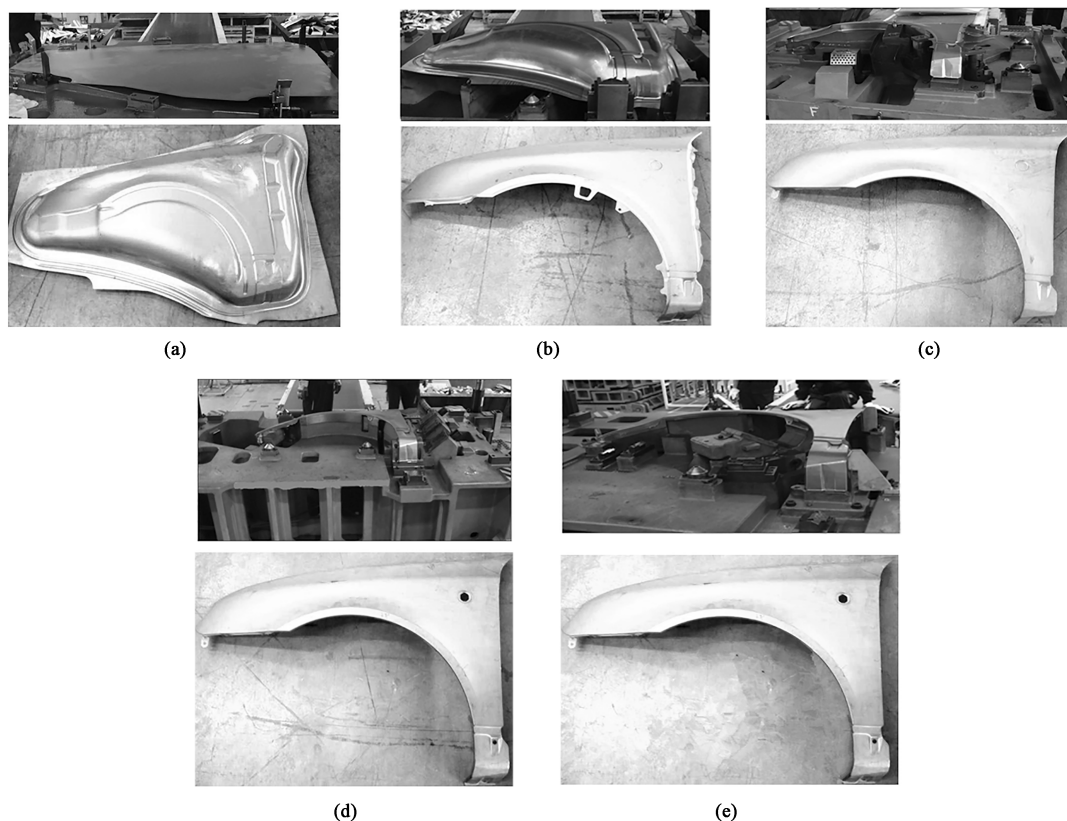


图 14 翼子板各工序实物和产品图

(a) OP10 (b) OP20 (c) OP30 (d) OP40 (e) OP50

Fig. 14 Physical and product pictures of each process for fender

参数进行试压试验, 最终得到合格的零件产品, 如图 14 所示。根据企业冲压零件检测文件, 最终零件必须进行检测, 确认无尺寸问题, 未发现拉裂、起皱、表面拉伤等缺陷。

6 结论

(1) 对轿车翼子板工艺补充前后典型位置截面进行结构分析, 发现零件全周大部分区域出现负角度, 同时分析了与机舱总成、发动机盖总成、前门总成、侧围总成、前轮罩等重要位置搭接处的工艺补充截面, 最后提出通过增加斜楔, 采用侧向修边、侧向翻边和侧向成形等工艺解决负角度问题。

(2) 采用 AutoForm 等软件对轿车翼子板进行工艺补充设计, 确定了落料、拉延、修边-冲孔-侧修边、翻边-整形-侧翻边、侧翻边-侧冲孔-冲孔和侧翻边-侧成形 6 道全工序工艺过程。采用有限元模拟手段, 对工艺补充后的零件进行模拟计算。结果表明, 翼子板零件成形质量好, 主体部位未出现开裂和起皱缺陷, 材料的最大减薄率为 24.3%, 验证了工艺补充的合理性。最后基于成形工艺, 重点设计

了翼子板落料连续模具和拉延模具并进行生产运用。

参考文献:

- [1] 张昆明. 汽车前翼子板及其冲压模具分析研究 [D]. 淮南: 安徽理工大学, 2019.
Zhang K M. Analysis and Research on Automobile Front Fender and Its Stamping Die [D]. Huainan: Anhui University of Science and Technology, 2019.
- [2] 翁怀鹏. 基于 DYNAFORM 的车身翼子板冲压成形仿真模拟及工艺优化 [D]. 芜湖: 安徽工程大学, 2016.
Weng H P. Based on DYNAFORM Car Fender Stamping Simulation and Process Optimization [D]. Wuhu: Anhui Polytechnic of Technology, 2016.
- [3] 鲍月峰. 汽车前翼子板冲压成形的实验及数值仿真研究 [D]. 长春: 吉林大学, 2017.
Bao Y F. Research on Experimental and Numerical Simulation of Stamping Forming for Automobile Front Fender [D]. Changchun: Jilin University, 2017.
- [4] 唐妍, 蒋松. 翼子板内板冲压工艺数值模拟及回弹补偿 [J]. 锻压技术, 2021, 46 (12): 105-111.
Tang Y, Jiang S. Numerical simulation and springback compensation on stamping process for fender inner plate [J]. Forging & Stamping Technology, 2021, 46 (12): 105-111.
- [5] 蒋磊, 马培兵, 王龙, 等. 翼子板成形数值模拟与工艺优化 [J]. 锻压技术, 2021, 46 (11): 113-123.

- Jiang L, Ma P B, Wang L, et al. Numerical simulation and process optimization on fender forming [J]. Forging & Stamping Technology, 2021, 46 (11): 113-123.
- [6] 孙庆东, 张翔, 张军, 等. 基于 Dynaform 和正交试验的汽车后备箱拉延工艺优化 [J]. 现代制造工程, 2022, 503 (8): 60-64.
- Sun Q D, Zhang X, Zhang J, et al. Optimization of drawing process of automobile trunk based on Dynaform and orthogonal test [J]. Modern Manufacturing Engineering, 2022, 503 (8): 60-64.
- [7] 林金海, 孙层层. 某汽车翼子板的拉延工艺分析 [J]. 锻压技术, 2021, 46 (7): 96-99.
- Lin J H, Sun C C. Analysis on drawing process for a certain automobile fender [J]. Forging & Stamping Technology, 2021, 46 (7): 96-99.
- [8] 陶威, 刘钊, 许灿, 等. 三维正交机织复合材料翼子板多尺度可靠性优化设计 [J]. 上海交通大学学报, 2021, 55 (5): 615-623.
- Tao W, Liu Z, Xu C, et al. Multi-scale reliability-based design optimization of three-dimensional orthogonal woven composite fender [J]. Journal of Shanghai Jiaotong University, 2021, 55 (5): 615-623.
- [9] 蒋磊, 李十全, 王龙, 等. 基于 CAD 模面的翼子板全工序成形模拟与优化 [J]. 制造技术与机床, 2021, (4): 115-121.
- Jiang L, Li S Q, Wang L, et al. Simulation and optimization of complete stamping process for fender based on CAD die face [J]. Manufacturing Technology & Machine Tool, 2021, (4): 115-121.
- [10] 高鹏翔. 车身覆盖件冲压成形工艺参数设计专家系统 [D]. 长沙: 湖南大学, 2021.
- Gao P X. Expert System for Designing Process Parameters of Auto-body Panels Stamping Forming [D]. Changsha: Hunan University, 2021.
- [11] 王兴, 吴明明, 王江龙. 基于有限元法和田口方法的翼子板成形工艺参数优化 [J]. 河南工学院学报, 2020, 28 (6): 13-18.
- Wang X, Wu M M, Wang J L. Optimization of fender forming process parameters based on finite element method and Taguchi method [J]. Journal of Henan Institute of Technology, 2020, 28 (6): 13-18.
- [12] 赵锋, 孟炬, 杨月, 等. 轿车翼子板前保险杠搭接尺寸调整方法研究 [J]. 汽车工业研究, 2021, 307 (4): 59-62.
- Zhao F, Meng J, Yang Y, et al. Research on the lap size adjustment method of the front bumper of passenger car fender [J]. Automotive Industry Research, 2021, 307 (4): 59-62.
- [13] 唐士东, 王昌, 戴长征. 基于翼子板常见缺陷的调试与分析研究 [J]. 锻造与冲压, 2022, 537 (16): 49-51.
- Tang S D, Wang C, Dai C Z. Debugging and analysis upon the common defects of fenders [J]. Forging & Metalforming, 2022, 537 (16): 49-51.
- [14] 刘香川. A 公司整车外观匹配质量的提升研究 [D]. 济南: 山东大学, 2022.
- Liu X C. Research on the Improvement of Vehicle Appearance Matching Quality of a Company [D]. Jinan: Shandong University, 2022.
- [15] 闫巍, 张健, 王刚, 等. 翼子板冲压回弹优化方法及应用 [J]. 模具工业, 2021, 47 (1): 33-39.
- Yan W, Zhang J, Wang G, et al. Optimization method and application of stamping springback or automobile fender [J]. Die & Mould Industry, 2021, 47 (1): 33-39.

(上接第 82 页)

- [12] Du Z H, Wang C X, Liu Q, et al. The superplastic forming/diffusion bonding of TA7 titanium alloy for manufacturing hollow structure with stiffeners [J]. Journal of Manufacturing Processes, 2022, 73 (1): 385-394.
- [13] 李晓华, 韩秀全, 王飞, 等. 钛合金两层整体构件超塑成形/焊接组合工艺与质量控制 [J]. 航空制造技术, 2013, (16): 28-31.
- Li X H, Han X Q, Wang F, et al. Superplastic forming/welding combination technology and quality control of titanium alloy two-layer integrated component [J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2013, (16): 28-31.
- [14] 王会东, 付和国, 韩颖杰, 等. 大型双曲率非等厚 TC4 钛合金壁板整体 SPF/DB 成形工艺及优化 [J]. 锻压技术, 2022, 47 (1): 75-80.
- Wang H D, Fu H G, Han Y J, et al. Integral SPF /DB forming process and its optimization for TC4 titanium alloy panel with large size, dual curvature and non-uniform thickness [J]. Forging & Stamping Technology, 2022, 47 (1): 75-80.
- [15] Hefti L D. Fine-grain Ti-6Al-4V for superplastic forming and diffusion bonding of aerospace products [J]. JOM, 2010, 62 (5): 42-45.
- [16] 张凌云, 祁桂根. 铝锂合金在航空业的应用及 SPF/DB 工艺进展 [J]. 金属成形工艺, 2001, 19 (3): 1-3.
- Zhang L Y, Qi G G. Application of Al-Li alloys in aeronautical industry and advances on SPF/DB [J]. Metal Forming Technology, 2001, 19 (3): 1-3.
- [17] 陈国庆, 尹乾兴, 司晓庆, 等. 铝锂合金焊接技术的研究现状分析 [J]. 焊接学报, 2019, 40 (8): 155-160, 168.
- Chen G Q, Yin Q X, Si X Q, et al. Research status analysis of aluminum-lithium alloy welding [J]. Transactions of The China Welding Institution, 2019, 40 (8): 155-160, 168.
- [18] 高云鹏, 王颖, 王东坡, 等. TC11 钛合金扩散连接接头组织及力学性能研究 [J]. 稀有金属材料与工程, 2023, 52 (2): 770-776.
- Gao Y P, Wang Y, Wang D P, et al. Microstructure and mechanical properties of diffusion bonded TC11 alloy joint [J]. Rare Metal Materials and Engineering, 2023, 52 (2): 770-776.
- [19] 杜立华, 张兴振, 韩晓宁, 等. 几何参数对 SPF/DB 三层结构表面质量的影响研究 [J]. 航空制造技术, 2018, 61 (10): 100-103.
- Du L H, Zhang X Z, Han X N, et al. Influence of geometric parameters on surface quality of SPF/DB hollow structure [J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2018, 61 (10): 100-103.