

轿车前围挡板成形工艺分析及模具设计

万志远

(山东华宇工学院 机械工程学院, 山东 德州 253034)

摘要: 针对轿车前围挡板零件成形复杂、变形不易控制、拉延起皱和开裂等问题。首先, 分析了轿车前围挡板零件的结构特点, 基于零件特点和冲压要求确定了拉延成形、修边、侧修边-侧冲孔、冲孔-修边-翻边和侧翻边-翻孔 5 道冲压工序的成形工艺。其次, 采用数值模拟方法对第 1 工序拉延成形进行模拟计算, 探究了不同压边力对零件成形质量的影响规律, 得到压边力应控制在 550 kN 以内, 最大减薄率为 30.222%, 位置在零件两侧小圆角区域, 最大增厚率为 11.969%, 位置在修边线以外, 满足设计要求。最后, 基于工艺设计和模具设计要求, 设计了零件成形模具并进行了实验验证。结果表明: 理论工艺设计、工艺分析和模具设计合理, 可为车身覆盖件开发提供经验。

关键词: 前围挡板; 拉延; 模具设计; 压边力; 最大减薄率; 最大增厚率

DOI: 10.13330/j.issn.1000-3940.2024.04.010

中图分类号: TG386

文献标志码: A

文章编号: 1000-3940 (2024) 04-0076-06

Forming process analysis and die design on car front wall panel

Wan Zhiyuan

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

Abstract: Aiming at the problems of complex forming, difficult deformation control, drawing wrinkling and cracking of car front wall panel parts, firstly, the structural characteristics of car front wall panel parts were analyzed, and based on the features of parts and the requirements of stamping, the stamping process with five passes of drawing, trimming, side trimming-side punching, punching-trimming-flanging and side flanging-flanging hole was determined. Then, the simulated calculation of the first process of drawing was conducted by numerical simulation method, and the influence law of different blank holder forces on the forming quality of parts was explored. Furthermore, the blank holder force was controlled within 550 kN, the maximum thinning rate was 30.222% in the small fillet areas on both sides of the part, and the maximum thickening rate was 11.969% outside the trimming line, which met the design requirements. Finally, based on the requirements of process design and die design, a forming die of part was designed and verified by experiment. The results show that the theoretical process design, process analysis and die design are reasonable, which can provide experience for the development of car body panel.

Key words: front wall panel; drawing; die design; blank holder force; maximum thinning rate; maximum thickening rate

前围挡板是轿车内覆盖件中成形工序多、拉延复杂的典型代表之一^[1]。该零件位于汽车仪表盘位置的内部, 连接着驾驶室和发动机室, 下方与地板总成搭接, 上方与前围总成连接, 两侧和侧围总成等连接^[2-3]。零件形状复杂, 各类孔较多, 材料偏薄但强度要求较高, 成形质量要求高, 不能出现麻点、坑包等缺陷, 因此, 第 1 工序拉延成形非常重要^[4]。

近几年, 相关专家学者对轿车前围挡板进行了多方面的研究。陈青山等^[5]采用二阶多项式响应面

结合遗传算法对汽车前围板进行优化设计, 最后得到了工艺参数的最优组合并进行实际应用, 最终测得零件的最薄厚度为 0.64 mm, 成形质量好。商英等^[6]采用理论计算法对汽车前围板冲压工艺进行分析和计算, 设计了拉深模具。吴群彪等^[7]采用灰色关联分析法对汽车前围板前部拉延成形的工艺参数进行了研究, 得到了压边力、凹模圆角、拉延筋系数等最佳工艺参数组合, 缩短了研发周期。梁发周等^[8]模拟了 B 柱加强板热冲压成形过程, 通过增加拉延筋和优化压料间隙, 解决了零件起皱和侧壁局部减薄的问题, 确定了零件成形的最优工艺参数组合。

作为轿车零件中工序多、成形复杂的关键零件之一, 针对前围挡板冲压工艺设计和成形模拟分析

收稿日期: 2023-12-29; 修订日期: 2024-03-01

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

以及成形模具设计方面的文献相对较少。本文针对轿车前围挡板零件成形复杂、变形不易控制、拉延起皱和开裂等问题进行研究。首先,对前围挡板零件的结构特点进行分析,基于零件特点和冲压要求确定了拉延成形、修边、侧修边-侧冲孔、冲孔-修边-翻边和侧翻边-翻孔5道冲压工序的成形工艺;其次,对零件进行工艺补充,采用仿真软件对拉延成形进行模拟计算,探究了不同压边力对零件成形质量的影响规律,预测零件起皱和开裂的位置和程度;最后,根据工艺设计和模具设计要求对前围挡板的拉延成形模具进行设计,并进行实验验证,将拉延成形压制的零件与理论成形工艺进行比较,结果表明,成形工艺和模具设计合理,能够压制出合格的零件,符合工程要求。

1 轿车前围挡板工艺设计

某车型前围挡板零件模型如图1所示,其外形尺寸约为 $1472\text{ mm} \times 634\text{ mm} \times 183\text{ mm}$,厚度为 $(0.9 \pm 0.07)\text{ mm}$,净重约为 4.3 kg ,材质为DC05钢,为一种用于汽车零部件深冲压的冷轧低碳钢材料,屈服强度为 $120 \sim 180\text{ MPa}$,抗拉强度大于 270 MPa ,伸长率大于 38% 。

前围挡板尺寸较大且非对称,拉延距离深,中间前部为类似“凹陷”的结构,其两侧需要进行工艺补充,以保证零件复杂变形的准确度,后半部分零件的边缘线复杂多变且存在多处翻边,工艺设计难度较大。前围挡板零件需要冲18个孔,其中圆形孔12个,最大圆孔直径为 $\Phi 65\text{ mm}$,最小圆孔直径为 $\Phi 9\text{ mm}$,左中部区域存在形状不规则的特大异形孔,其余非圆孔的最大尺寸为 $110\text{ mm} \times 65\text{ mm}$ 。

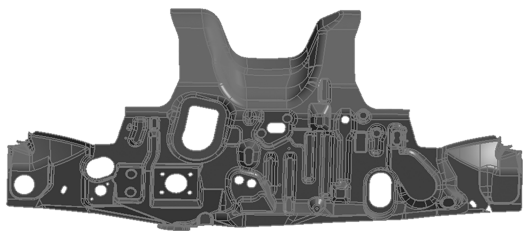


图1 前围挡板零件模型

Fig. 1 Model of front wall panel part

前围挡板零件的修边线很长,后续焊接工序搭接零件多,冲压成形精度要求高。为更好地控制边缘材料的流入量,成形毛坯采用方形板料,尺寸为 $1720\text{ mm} \times 860\text{ mm}$,单件消耗定额约为 10.5 kg ,利

用率约为 40.95% ,因其特殊形状,工艺补充面积大,材料利用率偏低。

依据零件结构特点分析,结合工艺设计要求,确定轿车前围挡板的冲压成形方案为:拉延成形、修边、侧修边-侧冲孔、冲孔-修边-翻边和侧翻边-翻孔,如图2所示。

如图2a所示,此工序为拉延成形,成形毛坯为长方形板料,采用6块对称的定位块进行冲压定位,根据成形后的零件边界线可知,零件中间前部“凹陷”位置的材料流入量最大,其次为零件两侧区域。

如图2b所示,此工序为修边冲裁工序,拉延成形后采用形状定位,沿周围一圈分8块区域进行修边,其中7块修边废料相连,修边废料两两之间安装废料刀具6块,且基本呈对称分布,保证修边力的平衡。为减小修边力,将修边刀具的高度设置为不同距离,使修边不同时进行,保护刀具刃口,提高使用寿命。

如图2c所示,此工序为侧修边-侧冲孔工序,采用形状定位,因与冲压方向不一致,此工序增加斜楔,改变修边和冲孔方向,完成侧修边2处和侧冲孔5个。

如图2d所示,此工序为冲孔-修边-翻边工序,采用形状定位。本工序需要完成11个孔的冲制,2处修边冲裁和2处翻边成形。为减小冲孔力,防止崩刃,冲孔凸模采用间断式冲裁。

如图2e所示,此工序为侧翻边-翻孔工序,采用形状定位。本工序需要完成5处翻边成形,1处翻孔成形。

2 轿车前围挡板成形模拟

前围挡板工艺补充面较大,尤其中间前部“凹陷”区域两侧,补充后零件的复杂程度进一步增加,变形不易掌握。在实际成形过程中,压边力对零件成形起到关键作用,为保证工艺设计的合理性,对拉延成形工序中不同压边力的情况进行数值模拟计算,确保成形质量符合工程要求^[9]。

运用三维造型软件,进行零件工艺补充,然后将零件模型导入仿真软件中,计算模型如图3所示。材料选择DC56钢,与实际使用材料性能基本相同,板料形状为方形板料,厚度为 0.9 mm ,网格采用系统默认网格划分,拉深方式为单动拉深,理论压边力分别设置为 450 、 500 、 550 和 600 kN ,拉深行程为 180 mm ,摩擦因数为 0.125 ,冲压速度为

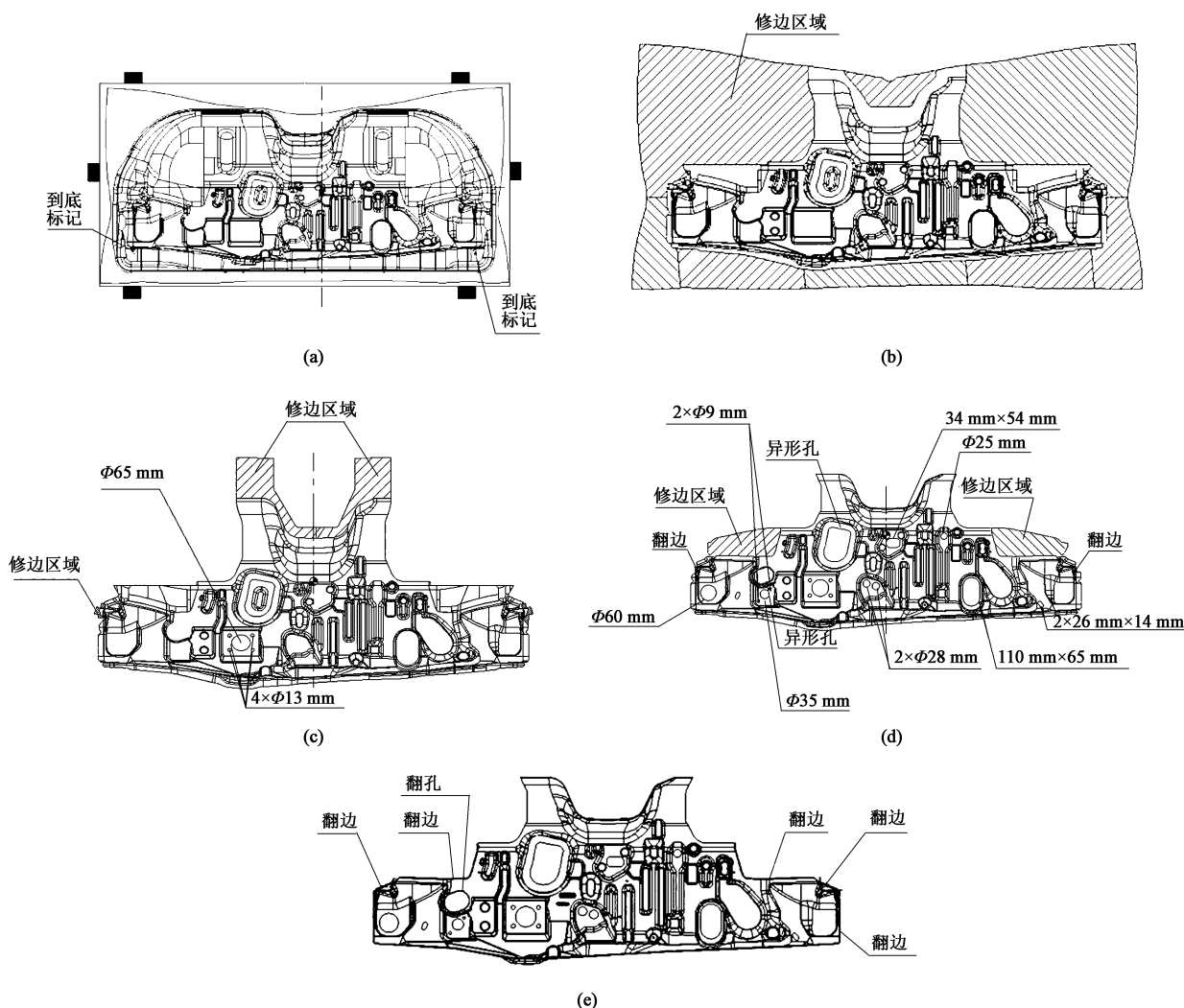


图 2 轿车前围挡板冲压工艺简图

(a) 拉延成形 (b) 修边 (c) 侧修边-侧冲孔 (d) 冲孔-修边-翻边 (e) 侧翻边-翻孔

Fig. 2 Schematic diagrams of stamping process for car front wall panel

(a) Drawing (b) Trimming (c) Side trimming-side punching (d) Punching-trimming-flanging (e) Side flanging-flanging hole



图 3 计算模型

Fig. 3 Calculation model

 $2000 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1[10]}$ 。

如图 4 所示, 从不同压边力下的成形极限图可以得到, 零件形状不对称但因两侧形状差异不大, 起伏变化较小, 加之方形板料对称的缘故, 零件成形过程中板料基本对称式流入, 零件整体成形较好, 成形轮廓清晰。随着压边力的增加, 前围挡板零件主体部位的起皱趋势减弱, 起皱区域向外扩散于修

边区域, 对零件的影响减小, 最边缘区域出现轻微起皱缺陷, 后续修边工序将该区域全部冲裁掉, 不影响最终零件质量。压边力增加, 关键的中间前部“凹陷”区域两侧未出现开裂, 处于安全范围内, 开裂趋势点在两侧局部复杂圆角区, 有一定开裂危险, 下面将结合材料减薄率进一步分析。

如图 5 所示, 压边力为 450 kN 时, 最大厚度减薄率为 28.995%, 出现在出零件两侧小圆角区域, 最大增厚率为 12.816%, 在两侧最边缘区域, 处于修边区域; 压边力为 500 kN 时, 最大厚度减薄率为 29.609%, 最大增厚率为 12.882%; 压边力为 550 kN 时, 成形零件最大厚度减薄率达到了 30.222%, 最大增厚率降低至 11.969%; 压边力为 600 kN 时, 成形零件最大厚度减薄率进一步增加, 达到了

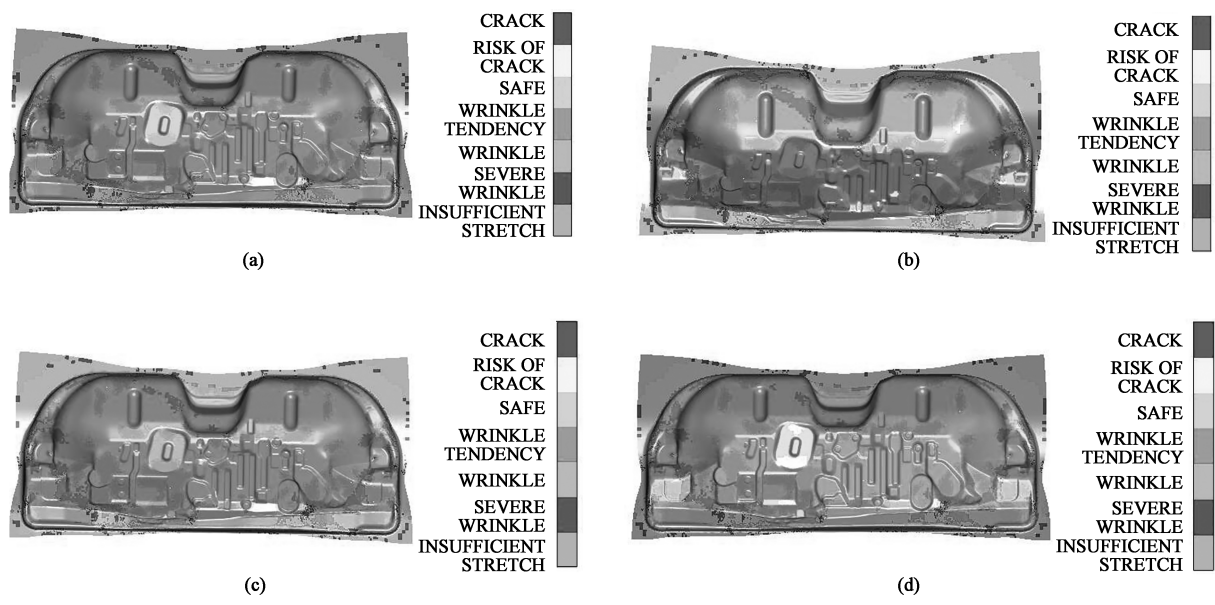


图 4 不同压边力下前围挡板成形极限图

(a) 450 kN (b) 500 kN (c) 550 kN (d) 600 kN

Fig.4 Forming limit diagrams of front wall panel under different blank holder forces

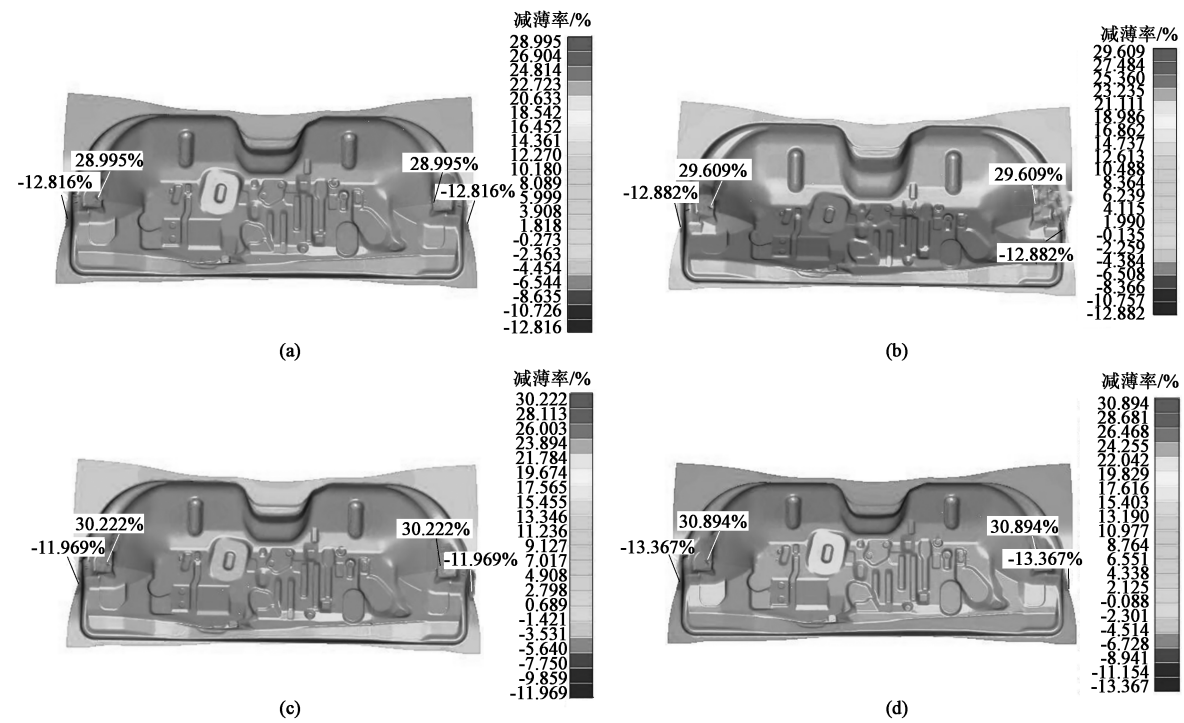


图 5 不同压边力下前围挡板的减薄率分布云图

(a) 450 kN (b) 500 kN (c) 550 kN (d) 600 kN

Fig.5 Thinning rate distribution colud diagrams of front wall panel under different blank holder forces

30.894%，最大增厚率为 13.367%。随着压边力的增加，减薄率增加，最大增厚率均在 15% 以内，且均处于修边线以外，对零件最终质量基本无影响。因此，为保证最大减薄率不超过 30%，压边力控制在 550 kN 以内较为合理。

3 轿车前围挡板成形模具设计

零件的第 1 道成形工序是后续工序的基础，其成形质量的好坏直接影响后续修边、冲孔、翻边等

工序能否正常进行,因此,成形工序模具设计尤为重要^[11-12]。基于工艺设计和模具设计要求,采用三维软件对成形模具进行总体设计,包括上模、下模座、凸模和压边圈。

如图 6 所示,前围挡板的上模结构由上模和起吊棒、导滑块等标准件组成,上模为凹模型腔,和模座一起为整体铸造,然后进行型腔区域的精细加工。上模材料选为 MoCr 钢,热处理为退火,硬度为 55~58 HRC,因为是整体铸造加工,凹模型腔强度高,表面质量高,能有效防止成形表面产生麻点、凸凹包等缺陷。上模与压机采用 8 套 T 型螺栓连接,与压边圈采用 4 块导板导向,凹模型腔周围对称分布 14 处限位墩死块,实际工作时可人工增加垫片调整压边间隙。

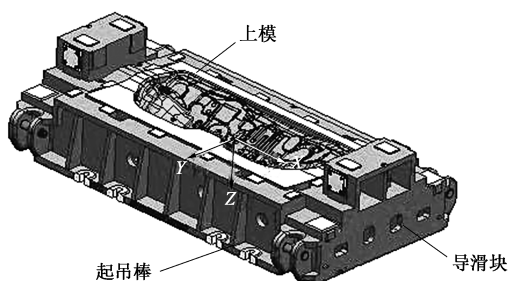


图 6 前围挡板的上模结构图

Fig. 6 Upper die structure diagram of front wall panel

如图 7 所示,前围挡板的下模结构由下模座、凸模和限位杆等标准件组成。下模座材料为 HT300 钢,热处理为退火处理,采用整体铸造成形。两侧对称分布 4 个方形导柱,与安装在凸模上的 8 处导板共同实现对压边圈的精准导向,凸模安装区域外侧分布多个安装液压杆的孔,通过液压机和液压杆实现压边圈的工作行程。凸模材料选为 MoCr 钢,热处理为退火,硬度为 55~58 HRC,采用整体铸造加工,与下模座通过对称分布的 6 套螺钉

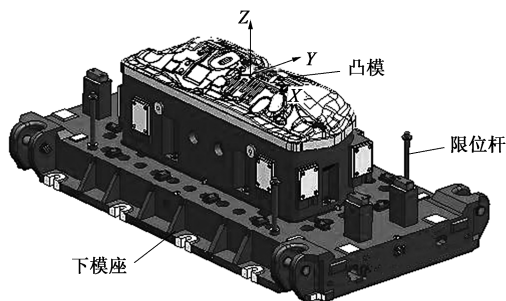


图 7 前围挡板的下模结构图

Fig. 7 Lower die structure diagram of front wall panel

连接固定。

如图 8 所示,前围挡板的压边圈结构为整体式,整体铸造然后整体加工,材料选为 MoCr 钢,热处理为退火,硬度为 55~58 HRC。压边圈的工作面是与毛坯板料最先接触的面,因此,表面质量要求极高,下方与液压杆接触,通过液压杆的移动实现压边圈的工作,工作尺寸精度依靠压边圈内部导板与凸模侧面导板、两侧导柱孔与导柱保证,行程限位由安装在下模座的限位螺钉控制。毛坯板料的定位采用定位块,前后均安装导料装置,实现毛坯和零件的快速移动。

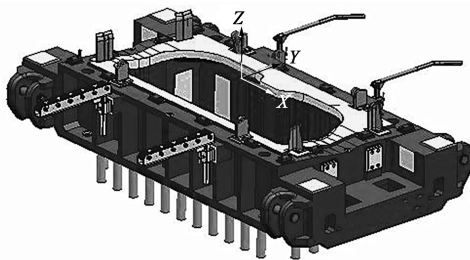


图 8 前围挡板的压边圈结构图

Fig. 8 Structure diagram of blank holder for front wall panel

如图 9 所示,实验压制零件无开裂、表面坑包麻点等缺陷,零件轮廓清晰,边缘起皱区域均在修边线以外,拉伸零件合格,符合工程要求。这也验证了工艺设计、工艺分析和拉伸模具设计的合理性,为类似覆盖件零件的开发提供了思路和经验。

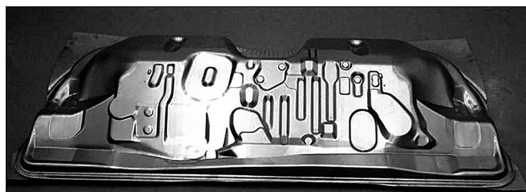


图 9 前围挡板拉伸成形实物

Fig. 9 Physical part of drawing for front wall panel

4 结论

(1) 分析了轿车前围挡板零件的结构特点,基于零件特点和冲压要求确定了拉伸成形、修边、侧修边-侧冲孔、冲孔-修边-翻边和侧翻边-翻孔 5 道冲压工序的成形工艺。

(2) 采用仿真软件对第 1 工序拉伸成形进行模拟计算,探究了不同压边力对零件成形质量的影响

规律,预测了零件起皱和开裂的位置和程度。得到零件在 550 kN 压边力下的最大厚度减薄率为 30.222%,位置在零件两侧小圆角区域,最大增厚率为 11.969%,位置在修边线以外,从工程角度看,压边力控制在 550 kN 以内较为合理。

(3) 基于工艺设计和模具设计要求,设计了前围挡板的拉延成形模具并进行了实验验证。结果表明,成形零件合格,符合工程要求,验证了工艺设计、工艺分析和模具设计的合理性,为车身覆盖件的开发提供了经验。

参考文献:

- [1] 赵忠全. 基于 Autoform 的轿车前围板下部冲压成形数值模拟 [D]. 长春: 吉林大学, 2015.
Zhao Z Q. Numerical Simulation of Car Front Coaming Bottom Stamping Based on Autoform [D]. Changchun: Jilin University, 2015.
- [2] 池也. 某型乘用车铝合金前围板拉延成形数值模拟分析 [D]. 济南: 山东大学, 2019.
Chi Y. Numerical Simulation Analysis of Drawing Forming of Aluminum Alloy Front Cob of a Passenger Car [D]. Jinan: Shandong University, 2019.
- [3] 王大鹏, 李晓峰. 某汽车内板冲压成形工艺优化及回弹补偿 [J]. 塑性工程学报, 2022, 29 (9): 40-46.
Wang D P, Li X F. Forming process optimization and springback compensation of an automobile inner plate [J]. Journal of Plasticity Engineering, 2022, 29 (9): 40-46.
- [4] 王天武. 汽车后背门空气弹簧加强板冲压成形工艺及参数优化研究 [D]. 吉林: 东北电力大学, 2023.
Wang T W. Research on Stamping Forming Process and Parameter Optimization of Air Spring Reinforced Plate for Automobile Rear Door [D]. Jilin: Northeast Dianli University, 2023.
- [5] 陈青山, 潘书华, 黄瑶, 等. 基于响应面与遗传算法的汽车前围板拉延工艺参数优化 [J]. 锻压技术, 2023, 48 (8): 72-77.
Chen Q S, Pan S H, Huang Y, et al. Optimization of drawing process parameters of automotive front coaming based on response surface and genetic algorithm [J]. Forging & Stamping Technology, 2023, 48 (8): 72-77.
- [6] 商英, 汤映月, 肖潇, 等. 某商用车前围板冲压工艺及模具设计 [J]. 模具工业, 2022, 48 (6): 27-29.
Shang Y, Tang Y Y, Xiao X, et al. Stamping process and die design of a commercial vehicle front coaming [J]. Die & Mould Industry, 2022, 48 (6): 27-29.
- [7] 吴群彪, 曹阳, 蔡李花, 等. 汽车前围板前部拉延成形模拟及组合参数优化 [J]. 江苏科技大学学报: 自然科学版, 2020, 34 (1): 34-40.
- Wu Q B, Cao Y, Cai L H, et al. Simulation and combination parameter optimization of front drawing of automobile front coaming [J]. Journal of Jiangsu University of Science and Technology: Natural Science Edition, 2020, 34 (1): 34-40.
- [8] 梁发周, 钟圣滔. 基于 AutoForm 模拟的汽车 B 柱加强板热冲压工艺分析与优化设计 [J]. 锻压技术, 2022, 47 (12): 75-80.
Liang F Z, Zhong S T. Analysis and optimization design on hot stamping process for automobile B-pillar reinforcement plate based on AutoForm simulation [J]. Forging & Stamping Technology, 2022, 47 (12): 75-80.
- [9] 万志远. 轿车翼子板成形工艺分析与模具设计 [J]. 锻压技术, 2023, 48 (8): 202-209.
Wan Z Y. Car fender forming process analysis and die design [J]. Forging & Stamping Technology, 2023, 48 (8): 202-209.
- [10] 杨大伟. 汽车前围横梁冲压工艺开发及模具设计 [D]. 吉林: 东北电力大学, 2021.
Yang D W. Stamping Process Development and Die Design of Automobile Front Wall Beam [D]. Jilin: Northeast Dianli University, 2021.
- [11] 张日红, 李小敏, 白振伟, 等. LED 射灯灯座冲压工艺分析与复合模具设计 [J]. 锻压技术, 2022, 47 (2): 172-175, 206.
Zhang R H, Li X M, Bai Z W, et al. Stamping process analysis and composite die design for LED spotlight holder [J]. Forging & Stamping Technology, 2022, 47 (2): 172-175, 206.
- [12] 刘斐然, 纵荣荣, 李乐乐, 等. 汽车后风挡横梁冲压工艺仿真分析与优化设计 [J]. 河北工业大学学报, 2020, 49 (3): 55-62.
Liu F R, Zong R R, Li L L, et al. Simulation analysis and optimization design of automobile rear windshield beam stamping process [J]. Journal of Hebei University of Technology, 2020, 49 (3): 55-62.

《锻压技术》郑重声明

为充分尊重作者权益,坚决抵制学术不端行为,积极倡导优良学风,努力为学术创新营造良好氛围,本刊郑重声明:对一稿多投,重复发表,存在署名有争议,引用他人著述未注明出处,抄袭、剽窃、弄虚作假,或以上情况的变相形式等学术不端行为的文章,坚决拒绝刊登。一经发现,立即撤稿,并由本刊视情节轻重给予书面警告、拒绝刊登有其署名的稿件、通知其所在单位等处理。轻者给予 3~5 年不允许刊发其论文的处罚,情节严重者,将以适当方式予以公布,该作者的论文永久不得刊用。

《锻压技术》编辑部