

基于 Autoform 的发动机罩铰链安装板多工位级进模设计

张留伟^{1,2}, 洪 维¹, 符立华¹, 袁 博³, 吕志超¹, 徐慧西⁴, 揭 晓¹

(1. 台州科技职业学院 装备制造研究所, 浙江 台州 318020; 2. 台州模具智能制造重点实验室, 浙江 台州 318020;
3. 武汉城市职业学院 机电工程学院, 湖北 武汉 430064; 4. 浙江黄岩冲模有限公司, 浙江 台州 318020)

摘要: 根据发动机罩铰链安装板零件的结构特点和生产要求, 确定采用多工位级进模进行生产, 并利用 Autoform 仿真软件对零件进行数值分析, 根据模拟分析结果确定了框架式直对排的排样设计, 材料利用率可达 69.47%。采用“抬料板+抬料支架+氮气弹簧”的组合抬料机构, 解决了料带中间下垂送料不顺的问题, 提高了冲裁精度; 设计了模座防侧向力结构, 解决了模具生产中侧向力大的问题; 采用外导柱、内导柱及导向块相结合的导向方式, 提高了整体导向精度。生产结果表明, 模具工作平稳, 成形零件的质量符合客户要求, 说明模具结构设计合理可靠。

关键词: 多工位级进模; 排样设计; 发动机铰链安装板; 抬料机构; 导向定位机构

DOI: 10.13330/j.issn.1000-3940.2025.04.027

中图分类号: TG386

文献标志码: A

文章编号: 1000-3940 (2025) 04-0222-07

Design of multi-station progressive die for engine hood hinge mounting plate based on Autoform

Zhang Liuwei^{1,2}, Hong Wei¹, Fu Lihua¹, Yuan Bo³, Lyu Zhichao¹, Xu Huixi⁴, Jie Xiao¹

(1. Institute of Intelligent Manufacturing Equipment, Taizhou Vocational College of Science & Technology, Taizhou 318020, China;
2. Key Laboratory of Mold Intelligent Manufacturing of Taizhou, Taizhou 318020, China;
3. School of Mechanical and Electrical Engineering, Wuhan City Polytechnic, Wuhan 430064, China;
4. Zhejiang Huangyan Die Co., Ltd., Taizhou 318020, China)

Abstract: Based on the structural characteristics and production requirements of engine hood hinge mounting plate, it was determined that a multi-station progressive die was used for production, and the parts were numerically analyzed by simulation software Autoform. Then, according to the simulation results, the frame-type straight-to-row layout design was determined, and the material utilization rate could reach 69.47%. Furthermore, the problems of middle sagging of strip and the uneven feeding were solved by the combined lifting mechanism of “lifting plate+lifting bracket+nitrogen spring”, and the blanking accuracy was improved. In addition, the problem of large lateral force in die production was solved by the design of die base anti-lateral force structure, and a guiding method combining outer guide pins, inner guide pins and guide blocks was adopted to improve the overall guiding accuracy. The production results indicate that the die works smoothly and the quality of formed parts meets the requirements, demonstrating that the die structure design is reasonable and reliable.

Key words: multi-station progressive die; layout design; engine hood hinge mounting plate; lifting mechanism; guiding positioning mechanism

发动机罩铰链是发动机罩（也称为引擎盖）和车身之间的重要连接部件，而安装板的作用是将铰链安全地固定于车身上，以支撑发动机罩的重量，并使发动机罩能在一定范围和角度内打开和关闭。铰链安装板也有一定的吸能特性，在车辆发生碰撞时可以吸收能量，从而减小对乘员的伤害。

Autoform 仿真软件可以在模具设计与制造之前评估、优化和验证工艺方案的可行性，对可能出现的成形缺陷及时进行修改和优化，缩短模具开发周期，降低生产成本，提高零件质量和可靠性，在汽车覆盖件领域应用较广泛。苏达权等^[1]运用 Autoform 仿真软件对汽车吸能盒零件的回弹进行分析和

收稿日期: 2024-03-06; 修订日期: 2024-06-18

基金项目: 2023 年浙江省一般科研项目 (Y202352555); 2023 年湖北省自然科学基金面上项目 (2023AFB974); 2023 年台州市科技计划项目 (23gzb32); 2023 年校级青年专项项目 (23QNZ05); 2022 年度台州市五个一批精密制造产教融合工程项目 (22cjr09); 2021 年度浙江省协同育人项目五轴数控人才联合培养基地建设项目 (21exy254)

作者简介: 张留伟 (1986-), 男, 硕士, 副教授

E-mail: 81908173@qq.com

优化, 解决了回弹超差问题, 设计出了合格的多工位级进模; 靳阳等^[2]运用 Autoform 软件模拟了前大梁零件的成形过程, 研究了不同变量对焊缝开裂的影响规律; 赵德世等^[3]运用仿真软件进行工艺分析, 确定了汽车加强板中心区域可一次成形, 无起皱或开裂等成形不良的产生; 李兵等^[4]把超高强度汽车 B 柱导入 Autoform 中进行模拟分析, 确定了最佳成形工艺参数, 与实际冲压生产结果较为吻合。许多学者或企业技术人员均利用 Autoform 仿真软件对汽车覆盖件进行成形性分析, 预判了可能产生的成形缺陷, 优化了成形工艺, 提高了模具的设计效率^[5-15]。本文以发动机罩铰链安装板为研究对象, 运用仿真软件进行数值分析, 预判可能产生的成形缺陷, 最后设计了安装板多工位级进模具。该模具投产后, 各机构运行稳定, 成形的零件符合质量要求, 可为同类模具的设计提供借鉴。

1 零件工艺分析

图 1 为汽车发动机罩铰链安装板的零件图, 制件外形尺寸为 306 mm×240 mm×65 mm, 所用材料为 5180 铝合金, 状态为 O 态, 厚度为 2 mm。零件外形不规则, 中部 4 个异形孔和 2 个翻孔有位置度要求, 需要在一个工位同时冲出。此零件为大批量生产, 若采用单工序模具则生产成本低, 因此, 最终选用一出二的多工位级进模进行生产。

该零件成形难点主要有: (1) 零件为左右件, 为节省成本, 要求在一副模具中成形, 断面无毛刺, 型面公差要求为 ± 0.5 mm; (2) 零件中间区域一次拉延成形能否达到精度要求; (3) 零件上存在 3 个边的弯曲, 这些能否在同一个工位成形, 需要设计前的大量仿真分析。

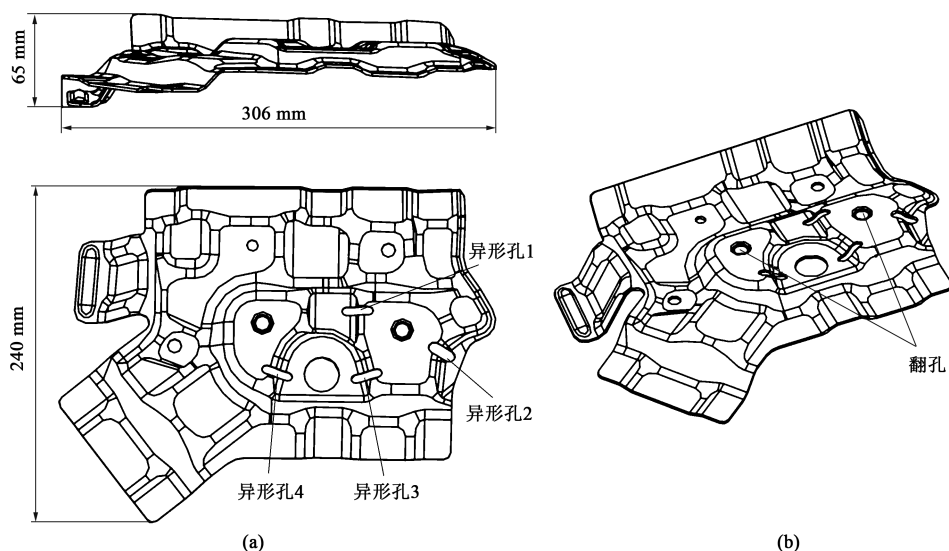


图 1 发动机罩铰链安装板零件图

(a) 二维零件图 (b) 三维模型图

Fig. 1 Part drawing of engine hood hinge mounting plate

(a) 2D part drawing (b) 3D model drawing

2 排样设计及零件成形性模拟分析

2.1 排样设计

排样设计是实现高效、经济、优质冲压生产的关键环节, 是冲压模具结构设计的主要依据。为保证冲压过程中的稳定性和材料利用率达到最大, 发动机罩铰链安装板毛坯排样设计采用框架式的直对排形式, 发动机罩左/右铰链安装板分列两边; 此外, 这种排样方式还可以在中间和两边的搭边载体

上设计导正销, 以提高生产中料带的送进精度。综合凸模强度、搭边强度、定位零件安放位置等各要素, 确定料带宽度为 730 mm, 送料步距为 228 mm; 经计算, 此排样方式的材料利用率为 69.47%, 符合客户对经济性的要求。

综上分析, 该零件采用了 8 工位的级进模工序排样方式, 如图 2 所示。为节省成本、提高生产效率, 零件的上翻边和下翻边在同一工位成形; 为提高料带生产过程中的定位精度和稳定性, 采用侧刃和导正销组合定距方式, 导正销定位是在中

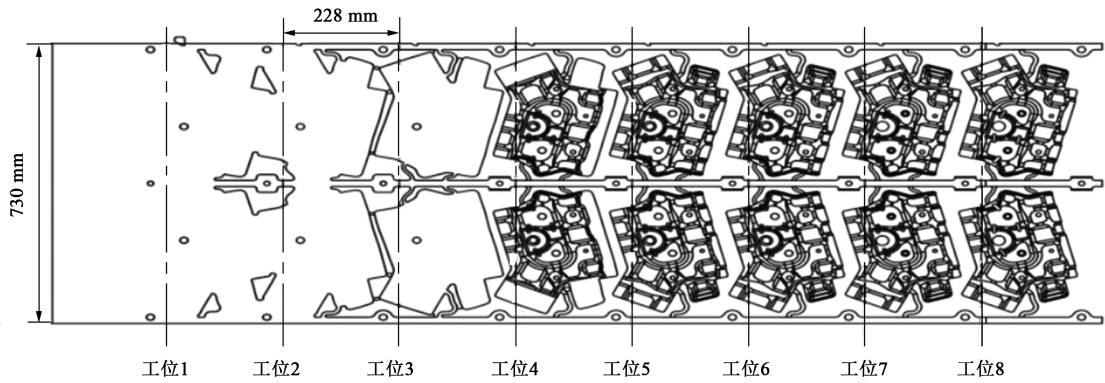


图 2 级进模排样图

Fig. 2 Layout diagram of progressive die

间载体和两边载体上均设计导正销孔导正料带。工位 1 冲裁 3 个定位孔、零件顶部直径为 $\Phi 25$ mm 的预冲孔、定距侧刃及感应缺口；工位 2 和工位 3 冲裁出产品的外形，为保证凸模、凹模的强度及满足客户的要求，冲裁的最大废料尺寸不允许超过 200 mm，在设计时注意测量废料的长度须为最大的对角线长度下的废料长度，并且还要保证废料尺寸小于冲床废料坑尺寸；工位 4 为拉延成形，上下设置仿形刀块，同时在模具结构设计时采用氮气弹簧+浮料块的形式，防止料带粘在下模；工位 5 为翻边工序，一个上翻边和两个下翻边在此工位完成；工位 6 和工位 7 为冲孔、整形工序，零件上直径为 $\Phi 8$ 和 $\Phi 10$ mm 的孔及 4 个异形孔均在工位 7 一次冲出，可保证孔与孔之间的相对位置精度，

其中冲裁的 $\Phi 10$ mm 的孔为零件上翻边孔的底孔；工位 8 为翻孔和分离，此工位完成翻孔及产品与料带的分离。

2.2 零件成形性模拟分析

零件排样设计和成形性模拟分析两个步骤是相辅相成的，零件的排样需要成形性模拟来验证其是否合理。通过数值模拟，可以预测成形中材料的流动、应力应变及成形缺陷等，帮助设计师评估不同模具设计方案，选择出最佳模具结构。此外，还可以减少试模次数、降低试模成本、缩短模具和产品的开发周期。

采用 Autoform R8 成形性模拟软件，将 UG 中导出的 IGS 格式的工艺数模导入模拟分析软件，设置相关参数后进行模拟分析。图 3 为零件数值模拟过

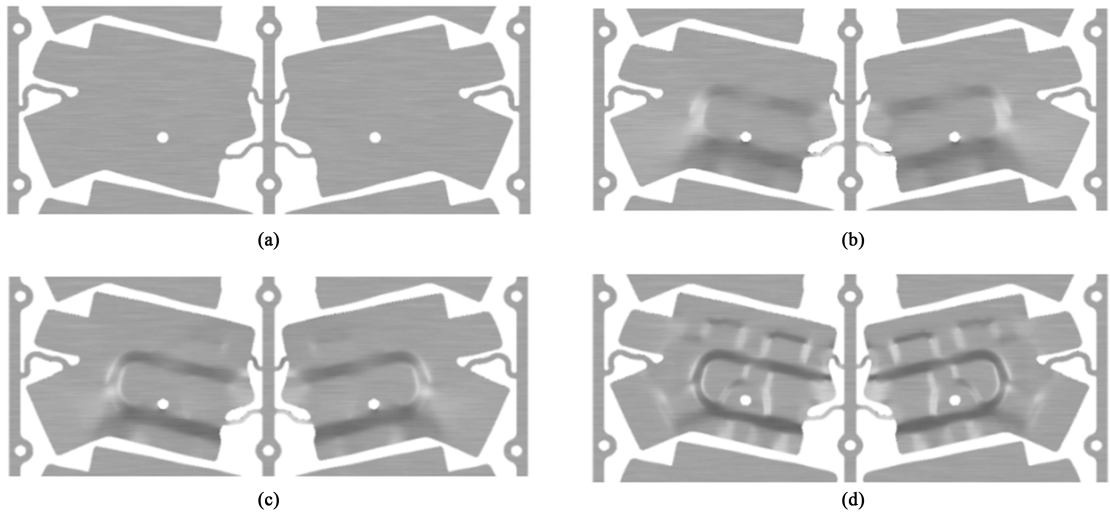


图 3 模拟的零件成形过程

(a) 压边圈闭合 (b) 到底前 10 mm (c) 到底前 5 mm (d) 到底前 3 mm (e) 到底前 1 mm (f) 成形完成

Fig. 3 Part forming process in simulation

(a) Blank holder closing (b) 10 mm to bottom (c) 5 mm to bottom (d) 3 mm to bottom (e) 1 mm to bottom (f) Forming finished

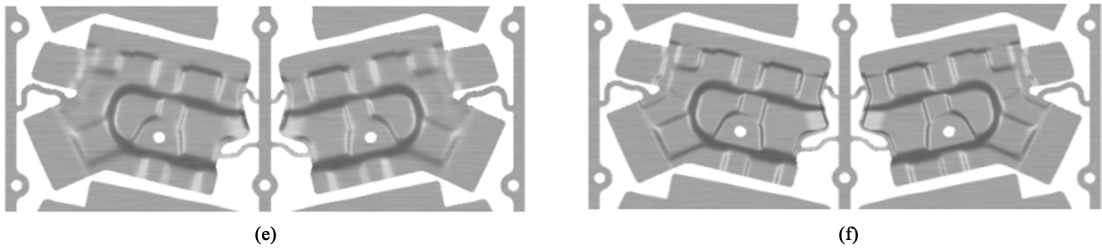


图 3 （续）
Fig. 3 （Continued）

程。由图 3 可知，整个过程形变较充分，未发现明显起皱现象，表明模拟过程收敛。从图 4a 成形极限图可知，零件拉延安全裕度达到设计要求，各部分应变值均在安全范围，无开裂的风险。从图 4b 零件减薄率分布图可知，最大减薄率为 12.1%，位于零件的边缘，满足 5182 铝合金减薄率不能超过 17% 的要求。图 4c 为零件起皱模拟分析结果，可以看出，

最大起皱因子为 0.044，符合汽车覆盖件起皱因子不超过 0.05 的评判要求，说明零件产生起皱风险较小。图 4d 为零件回弹数值模拟结果，可知最大正向回弹量为 1.266 mm，负向回弹量为 0.960 mm，均分布在边缘的折弯部位，达到了零件尺寸精度要求。综上所述，排样设计较为合理，可进行后续的多工位级进模结构设计。

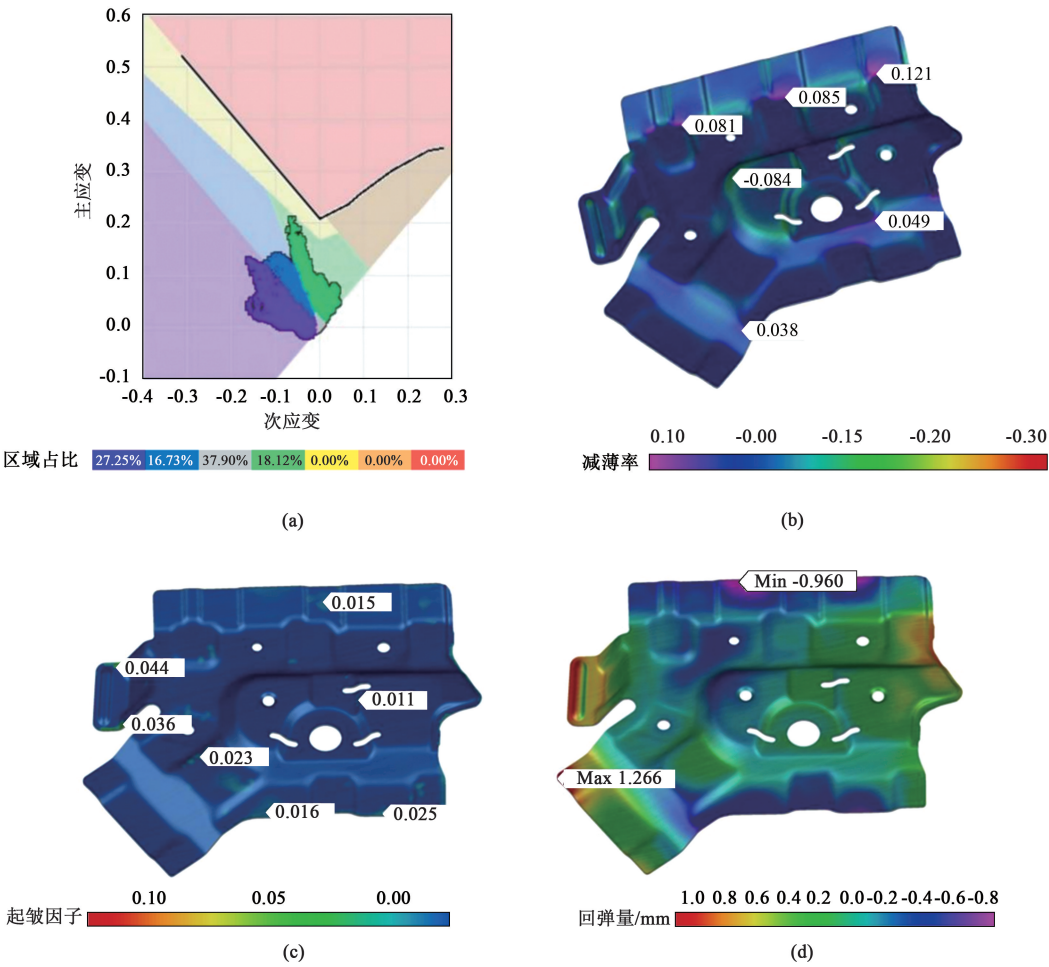


图 4 数值模拟分析结果

(a) 成形极限图 (b) 减薄率分布图 (c) 起皱因子分布图 (d) 回弹量分布图

Fig. 4 Numerical simulation analysis results

(a) Forming limit diagram (b) Distribution diagram of thinning rate (c) Distribution diagram of wrinkle factor
(d) Distribution diagram of springback amount

3 级进模主要结构设计

3.1 导向定位机构设计

此模具属于大型精密多工位级进模, 导向定位精度直接影响零件质量和模具寿命。故本模具采用 $\Phi 70\text{ mm} \times 230\text{ mm}$ 的滚珠导柱作为外导向, 用 30 个滑动导柱导套作为内导向。为解决生产中模具侧向力过大问题, 设计了模座防侧向力结构, 即前后各用一个 $400\text{ mm} \times 150\text{ mm} \times 50\text{ mm}$ 的方形导向块导向来防止侧向力, 如图 5 所示, 模具工作时方形导向块比滚珠导柱提前 20 mm 左右导入。另外, 方形导向块安放的位置至关重要, 其安放原则为靠近产生侧向力的位置, 本模具侧向力主要集中在工位 4 和工位 5, 因此, 导向块设计在成形与翻边工位之间。

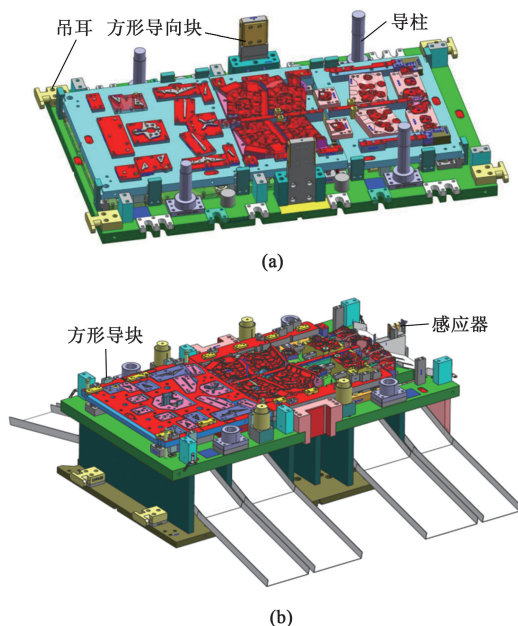


图 5 模具导向定位系统

(a) 上模 (b) 下模

Fig. 5 Die guidance positioning system

(a) Upper die (b) Lower die

3.2 抬料机构设计

抬料机构的设计是级进模中极为关键的环节, 关系到模具能否顺利生产, 并且对模具寿命也具有较大影响。图 6 为模具抬料机构关键部件, 主要由抬料板、抬料支架和氮气弹簧组成。工位 1~工位 3 为冲裁切边工序, 此处设计有 4 个氮气弹簧驱动的整体抬料板, 切边后料带能够及时浮起; 由于空间限制, 工位 4~工位 6 采用两边抬料及中间设计抬料支架, 有 5 个氮气弹簧驱动, 使料带受力均匀, 送

料平稳; 工位 7 和工位 8 采用两边抬料板、中间区域做抬料支架并架桥的结构形式, 有 7 个氮气弹簧驱动, 确保产品不会下垂且送料较稳定。

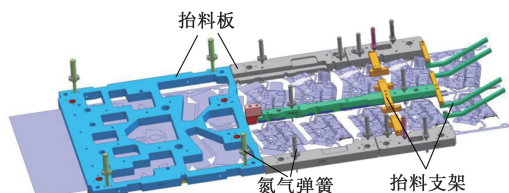


图 6 模具抬料机构

Fig. 6 Die lifting mechanism

4 模具总体设计及试模

根据前述零件排样设计及成形性分析, 设计了如图 7 所示的多工位级进模具结构。该模具整体尺寸为 $2170\text{ mm} \times 1280\text{ mm}$, 模具闭合高度为 850 mm , 送料高度为 600 mm 。整套模具可分为上模和下模两部分。上模主要包括上模座、上垫板、上夹板、脱料板、压料板、凸模和仿形冲头等零件; 下模主要有下模板、下模座、抬料板、抬料支架、下垫板和凹模镶块等零件。

将装配调试好的模具安装在 1000 t 机械式压力机上进行试模生产。图 8 为试制生产出的零件, 其表面无起皱, 经专用检具检测, 型面公差在 $\pm 0.5\text{ mm}$ 以内, 周边边线公差在 $\pm 0.3\text{ mm}$ 以内, 表明模具上各个机构运行平稳, 冲压的零件符合质量要求, 能满足大批量生产要求。

5 结论

(1) 根据发动机罩铰链安装板的结构特点, 确定了 8 工位的框架式排样多工位级进模, 料带宽度为 730 mm , 送料步距为 228 mm , 材料利用率达 69.47% ,

(2) 通过 Autoform 数值模拟软件, 分析了零件的开裂、起皱、减薄率和回弹, 提高了模具的设计效率。

(3) 设计了组合式的抬料机构和导向定位机构, 使料带和模具运行更加平稳, 提高了零件成形质量。

(4) 通过批量生产证明, 模具运行稳定, 零件质量符合要求, 良品率较高, 说明模具结构设计先进可靠, 对同类模具的设计有一定的借鉴意义。

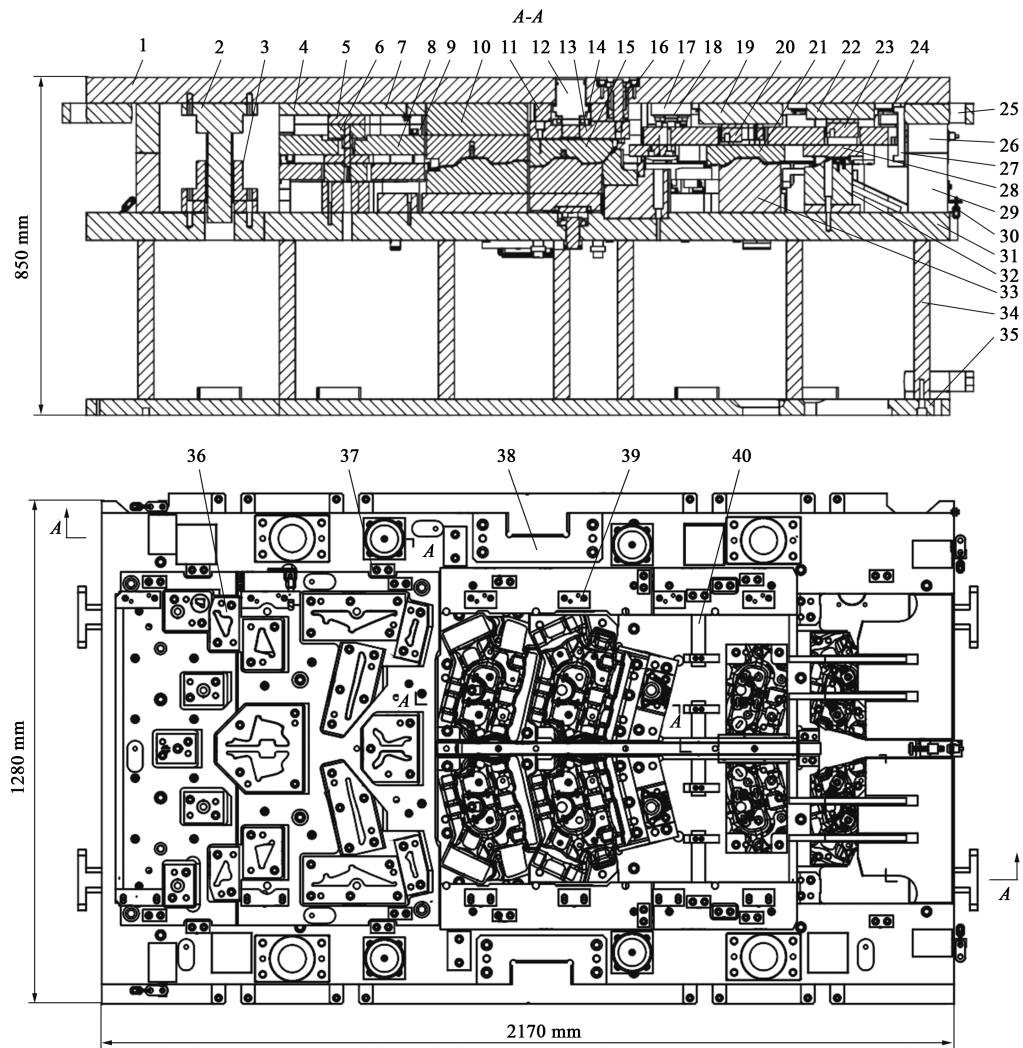


图 7 模具装配图

1. 上模座 2. 滚珠外导柱 3. 滚珠外导套 4. 上垫板 5、19、22. 凸模压板 6、20、23. 凸模固定块 7、28. 凸模 8. 脱料板 9、37. 防侧向力块 10. 成形压板 11. 成形凸模 12、17. 固定块 13. 氮气弹簧 14. 翻边压板 15. 翻边凸模 16. 滑动外导柱 18、24. 内导柱 21. 冲异形孔凸模 25. 吊耳 26、29. 限位柱 27. 脱料板挂钩 30. 运输锁扣 31. 下模座 32、33、36. 凹模 34. 垫脚 35. 下底板 38. 方形导向块 39. 导料板 40. 拾料支架

Fig. 7 Die assembly drawing

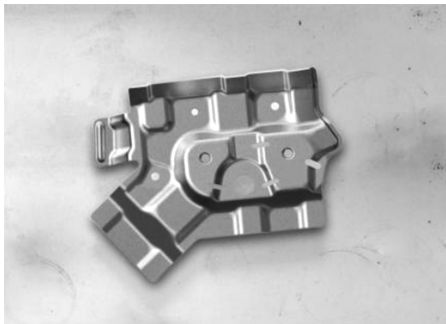


图 8 冲压零件
Fig. 8 Stamping part

参考文献：

[1] 苏达权, 黄珍媛, 伍宇安, 等. 汽车吸能盒零件多工位级进

[4] 李兵, 徐飞越, 张鹏, 等. QP1180 超高强度复杂构件冷冲压

模设计 [J]. 锻压技术, 2024, 49 (1): 196-201.

Su D Q, Huang Z Y, Wu Y A, et al. Design on multi-station progressive die of automotive energy absorbing box parts [J]. Forging & Stamping Technology, 2024, 49 (1): 196-201.

[2] 靳阳, 尹晶晶, 毛永刚, 等. 激光拼焊板典型零件冲压缺陷分析及改进 [J]. 锻压技术, 2024, 49 (1): 67-74.

Jin Y, Yin J J, Mao Y G, et al. Analysis and improvement on stamping defects for typical parts of tailor welded blanks [J]. Forging & Stamping Technology, 2024, 49 (1): 67-74.

[3] 赵德世, 杜坡, 刘杰. 汽车加强板多工位级进模设计 [J]. 锻压技术, 2023, 48 (8): 219-223.

Zhao D S, Du P, Liu J. Design on multi-station progressive die for automobile reinforcement plate [J]. Forging & Stamping Technology, 2023, 48 (8): 219-223.

- 成形性能 [J]. 锻压技术, 2024, 49 (5): 45-52.
- Li B, Xu F Y, Zhang P, et al. Cold stamping performance for complex components of ultra-high strength steel QP1180 [J]. Forging & Stamping Technology, 2024, 49 (5): 45-52.
- [5] 张留伟, 沈仙兵, 洪维, 等. 基于 CAD/CAE 的前翼板支架拉伸模设计 [J]. 塑性工程学报, 2023, 30 (3): 82-90.
- Zhang L W, Shen X B, Hong W, et al. Draw die design of front wing support based on CAD/CAE [J]. Journal of Plasticity Engineering, 2023, 30 (3): 82-90.
- [6] 蒋磊, 谢晖, 李乐平, 等. 铝合金翼子板锐棱成形模具磨损仿真研究 [J]. 锻压技术, 2023, 48 (8): 210-218.
- Jiang L, Xie H, Li L P, et al. Simulation study on forming die wear for aluminum alloy fender with sharp edge [J]. Forging & Stamping Technology, 2023, 48 (8): 210-218.
- [7] 甘国强, 李萍, 薛克敏. 汽车件高强铝合金板件热冲压工艺研究进展 [J]. 稀有金属, 2024, 48 (4): 564-574.
- Gan G Q, Li P, Xue K M. Research progress on hot stamping process of high strength aluminum alloy plates for automotive parts [J]. Chinese Journal of Rare Metals, 2024, 48 (4): 564-574.
- [8] 蒋磊, 龚熙, 陈一哲, 等. 铝合金双锐棱翼子板成形工艺优化 [J]. 塑性工程学报, 2023, 30 (12): 69-78.
- Jiang L, Gong X, Chen Y Z, et al. Optimization of forming process for double-sharp-edged aluminum alloy fender [J]. Journal of Plasticity Engineering, 2023, 30 (12): 69-78.
- [9] 项凯, 岳峰丽, 孙红运, 等. TP2 铜管坯水平连铸工艺一次水冷数值模拟 [J]. 铜业工程, 2024 (6): 54-65.
- Xiang K, Yue F L, Sun H Y, et al. Numerical simulation of primary water cooling for horizontal continuous casting process of TP2 copper pipe billet [J]. Copper Engineering, 2024 (6): 54-65.
- [10] 韩文峰, 揭招财, Handiso S Y, 等. 汽车后地板拉延件成形裕度提升及参数优化研究 [J]. 精密成形工程, 2023, 15 (12): 157-164.
- Han W F, Jie Z C, Handiso S Y, et al. Influence of process parameters on formability of door inner panel based on orthogonal test [J]. Journal of Plasticity Engineering, 2020, 27 (12): 73-81.
- [11] 任维泽, 段绪星, 林益文, 等. 汽车座椅对称件冲压成形仿真设计及优化 [J]. 锻压技术, 2024, 49 (1): 75-80, 181.
- Ren W Z, Duan X X, Lin Y W, et al. Simulation design and optimization on stamping of symmetrical parts for automobile seats [J]. Forging & Stamping Technology, 2024, 49 (1): 75-80, 181.
- [12] 乐起, 王玮珉, 胡志力, 等. 某高强钢汽车控制臂冲压成形工艺研究 [J]. 塑性工程学报, 2023, 30 (12): 47-54.
- Le Q, Wang W M, Hu Z L, et al. Research on stamping process of a high strength steel automobile spring arm [J]. Journal of Plasticity Engineering, 2023, 30 (12): 47-54.
- [13] 宁水根, 曹炳鑫, 卢泓坤, 等. 电动汽车电池包铝合金顶盖拉延成形分析及工艺参数优化 [J]. 精密成形工程, 2023, 15 (6): 70-75.
- Ning S G, Cao B X, Lu H K, et al. Drawing forming analysis and process parameter optimization of aluminum alloy top cover of battery pack for electric vehicle [J]. Journal of Plasticity Engineering, 2023, 15 (6): 70-75.
- [14] 陈鹏, 段磊, 马舟, 等. 汽车左右侧边梁加强板冲压工艺优化及回弹控制研究 [J]. 锻压技术, 2023, 48 (12): 72-80.
- Chen P, Duan L, Ma Z, et al. Research on stamping process optimization and springback control for automobile left and right side beam reinforcement plates [J]. Forging & Stamping Technology, 2023, 48 (12): 72-80.
- [15] 万志远. 基于 CAD/CAE 的 A 柱内板成形工艺优化及模具设计 [J]. 锻压技术, 2024, 49 (6): 96-101, 238.
- Wan Z Y. Forming process optimization and die design of A-pillar inner panel based on CAD/CAE [J]. Forging & Stamping Technology, 2024, 49 (6): 96-101, 238.

欢迎关注“锻压技术杂志”微信公众号

@杂志动态 @行业信息 @企业宣传



• 锻造 • 冲压 • 钣金 • 模具 • 加热 • 标准化 •