

汽车连接片多工位级进模设计

徐超辉, 郑悦, 韩翠红, 曲周德
(天津职业技术师范大学 机械工程学院, 天津 300222)

摘要: 为解决产品搭边、料带排样、工艺顺序等难点问题, 介绍了汽车连接片多工位级进模的设计过程, 并在分析产品结构特征的基础上, 根据多工位级进模的设计要求, 给出了解决方案。设计过程中运用 Dynaform 软件对弯曲、拉深等重点工艺过程进行了板料成形数值模拟, 预测了不同成形方案下产品的成形质量, 最终确定了一套 10 工位的级进模结构。该套模具包含冲裁、弯曲、局部拉深等冲压工艺, 料带采用单斜排的排样方式, 由自动送料机构送入模具本体, 经多组弹性托料块承载向前输送。成形过程中兼顾了产品性能, 且提高了材料利用率, 材料利用率最高可达 51.5%。经过实际生产验证, 该套模具使用过程中运行平稳, 所得冲压产品质量满足设计要求, 级进模设计合理。

关键词: 汽车连接片; 多工位级进模; 料带排样; 板料成形; 单斜排

DOI: 10.13330/j.issn.1000-3940.2022.11.028

中图分类号: TG386 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3940 (2022) 11-0201-06

Multi-position progressive die design for automobile connecting piece

Xu Chaohui, Zheng Yue, Han Cuihong, Qu Zhoude

(School of Mechanical Engineering, Tianjin University of Technology and Education, Tianjin 300222)

Abstract: In order to solve the difficult problems of product edging, strip layout and process sequence, the design process of the multi-position progressive die for automobile connecting piece was introduced, and based on the analysis of product structure characteristics, the solution schemes were provided according to the design requirements of the multi-position progressive die. Then, during the design process, the key processes of bending and drawing for sheet metal forming were numerical simulated by Dynaform software, and the forming quality of products under different forming schemes was predicted. Finally, the ten-position progressive die structure was confirmed, which including blanking, bending, local drawing and other stamping processes. Furthermore, the layout mode of single oblique arrangement for strip was adopted, which was sent to the die by automatic feeding mechanism and transported forward through the multi-group elastic support blocks. The forming process not only ensured the product performance, but also improved the utilization rate of materials, and the material utilization rate reached up to 51.5%. Actual production verification shows that the die performance is stable during the use process, the quality of stamping products obtained meet the design requirement, and the progressive die design is reasonable.

Key words: automobile connecting piece; multi-position progressive die; strip layout; sheet metal forming; single oblique arrangement

1 产品初步分析

本文研究的汽车连接片产品是一款车身零部件, 主要用于车架的连接, 如图 1 所示。产品尺寸约为 168.1 mm×126.5 mm×51.2 mm, 材料选用冷轧碳素钢带 SPC440, 厚度为 1 mm, 该产品属于中小型金属冲压件。由产品外形结构可知, 主要成形工艺包含冲孔、落料、整体拉深等, 在使用多工位级进模

生产制造时, 还需考虑弯曲、局部整形等其他辅助成形工艺。经初步分析, 该产品的主要工艺难点^[1-2]: (1) 各种工艺类型较多, 如何保证成形过程中各工艺的尺寸精度和产品外形, 需要合理安排各工艺的先后顺序; (2) 在多工位级进模设计中, 产品外形对送料料带的影响较大, 本产品的原始外形缺少平直的边或面来设计搭边, 因此需要单独设计。

2 成形工艺难点分析及解决方案

2.1 产品搭边设计

产品整体拉深成形前, 拉深坯料需要完成外形轮廓的冲裁制备^[3], 通过对产品的展开得到如图 2 所示

收稿日期: 2021-11-03; 修订日期: 2022-02-06

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (51875409)

作者简介: 徐超辉 (1982-), 男, 硕士, 高级实验师

E-mail: xu-chao-hui@163.com

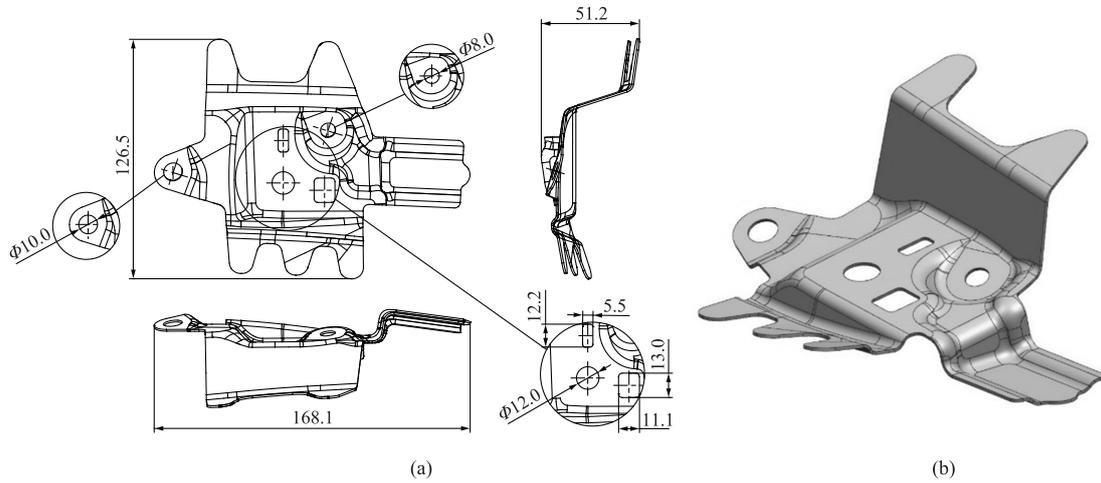


图 1 汽车连接片的产品二维图 (a) 和三维图 (b)

Fig. 1 2D diagram (a) and 3D diagram (b) of automobile connecting piece product

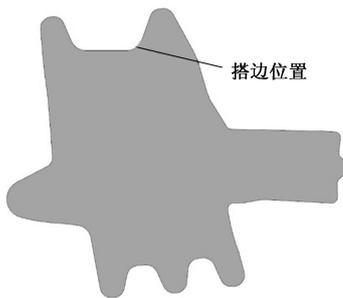


图 2 毛坯展开图

Fig. 2 Unfolding drawing of blank

的毛坯外形,展平后尺寸为 $178.9\text{ mm} \times 152.8\text{ mm}$ 。产品上仅有 U 形结构处可以设置搭边载体,该外形在拉深前后基本保持不变,其余位置均会在拉深后发生翘曲变形。但此处直边尺寸较小,约为 22 mm ,仅依靠产品已有外形设计条料搭边,将导致料带刚性不足而出现单侧悬垂现象,从而影响料带在级进模中的进给运动。因此,在多工位级进模设计时需要合理增加半成品成形的中间过程。

2.2 料带排样设计

由上述毛坯尺寸及搭边分析可得,该模具的料带排样计划采用单排、单侧载体的结构形式,产品可在料带上沿进给方向横排或者与进给方向呈一定

角度斜排,两种排列方式各有优劣,排样效果如图 3 所示。产品横排时,料带可取宽度尺寸的最小值,模具整体的宽度也将达到最小,但模具的长度则因料带的步距尺寸增加而增大。又由于产品外形轮廓的原因,横排时会产生较多的结构废料,导致材料利用率不高。相较于横排,产品斜排时情况正好相反,虽然增加了料带和模具的宽度,但相邻产品的外形可以形成有效互补,在降低产品间距的同时提高了材料利用率^[4],材料利用率最高可达 51.5% 。更为重要的是,结合初步的工艺分析可知,产品有不同方向的弯曲和拉深成形,料带的纤维方向将影响此类变形的工艺质量,纤维方向应避免与弯曲线平行,否则会降低弯曲变形区的强度。综合考虑以上各项影响因素,本产品选择单斜排的排样方式。

2.3 冲压成形工艺分析

在初步工艺分析的基础上,利用板料成形仿真软件对产品的冲压过程进行数值模拟,可以准确地预测零件可能存在的成形缺陷^[5],本设计选用 Dynaform 软件对成形工艺过程进行仿真计算。根据材料基础性能与冲压参数设置,可以得到一次拉深成形完整型面的仿真结果,得到的成形极限图如图 4 所示,产品上有两处拉深位置起皱趋势明显,虽

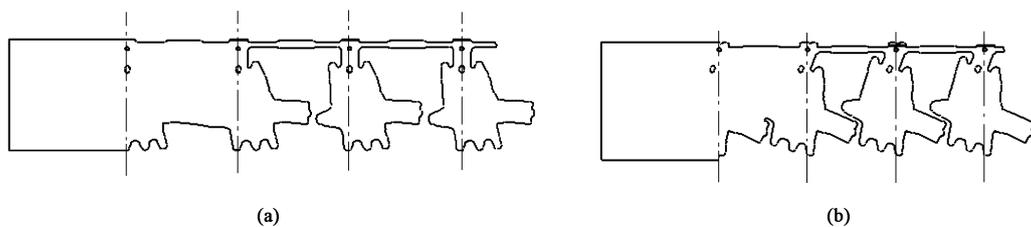


图 3 产品横排 (a) 与斜排 (b) 时的排样效果对比图

Fig. 3 Comparison diagrams of layout effects between transversal arrangement (a) and oblique arrangement (b) for product

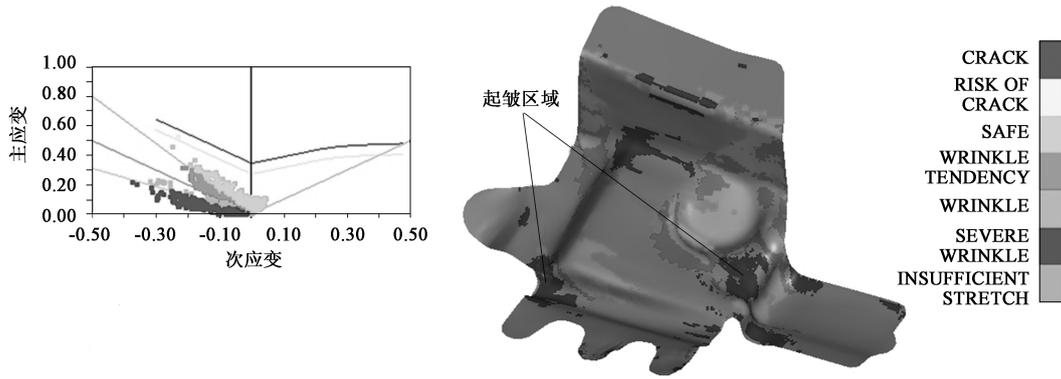


图 4 一次拉深成形的仿真结果

Fig. 4 Simulation results of one-pass drawing

然最终通过调节压边力和摩擦因数等工艺参数得到完整的产品外形，但成形质量仍然不高，使用过程中无法达到设计寿命。此外，该产品在起皱区域附近有明显的材料减薄，减薄率达到 20%，分析结果如图 5 所示。因此，本套多工位级进模设计了弯曲、拉深两道成形工艺。首道弯曲成形的半成品为 Z 字形弯曲，二道拉深工艺完成半成品周围部分的局部拉深，经分析可以得到如图 6 所示的仿真结果。对比一次拉深工艺可以发现，弯曲、拉深成形工艺方案中的起皱趋势得到了明显缓解，产品质量得到了明显改善。

2.4 冲压辅助工艺设计

当产品主要成形工艺设计完成后，还需解决一些其他辅助工艺内容，如料带定位、孔的冲裁等。通常情况下级进模料带的定位有两种设计思路：(1) 利用产品已有孔作为料带的定位孔，具体设计时，先在已有孔的位置上加工出较小尺寸的孔用作定位，经一系列成形工艺后，再增加精冲工艺确保孔的尺寸精度和位置精度^[6]；(2) 在产品轮廓以外的工艺或结构废料部分，设计工艺孔、工艺槽等，并在完成所有工艺内容后将产品从进给料带上完全分离。由图 1 可知，本产品上有 5 个特征孔，其中直径为 $\Phi 8$ 和 $\Phi 10$ mm 的孔在同一平面上，直径为 $\Phi 12$ mm 的孔及两个圆角矩形孔在另一平面上，两组平面均为弯曲、拉深后的成形面，且与料带初始平面成一定夹角，因此，本产品上的孔不能安排在料带加工的首个工位，无法起到整个料带的定位作用，故本套级进模只能选择第 2 种定位设计方案。与此同时，两组孔所在平面本身也存在一定夹角，在冲裁加工时必须分批次进行，排列在弯曲、拉深工艺之后^[7]。

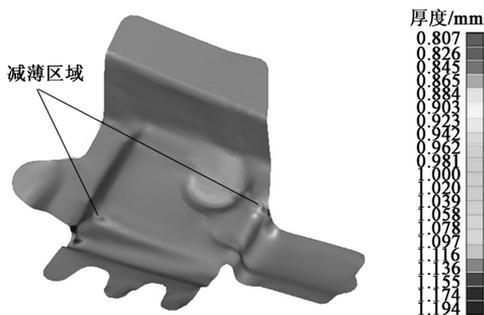


图 5 一次拉深成形的板料厚度

Fig. 5 Sheet thickness of one-pass drawing

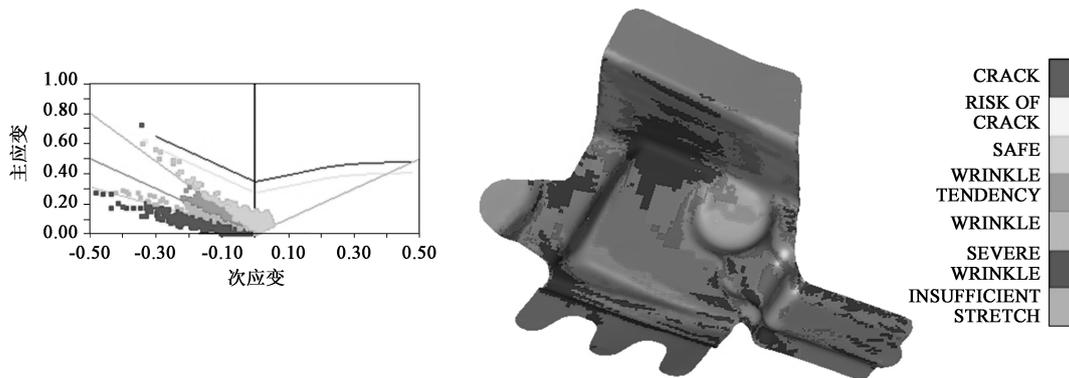


图 6 弯曲、拉深成形的仿真结果

Fig. 6 Simulation results of bending and drawing

3 多工位级进模排样及模具结构设计

经过上文详细的工艺分析,本次设计最终确定了如图 7 所示的 10 工位级进模排样方案,各工位的具体内容分别为^[8]:工位 1,定位孔、定距侧刃 1 及外形 1 冲裁;工位 2,定距侧刃 2 及外形 2 冲裁;工位 3,外形 3 冲裁;工位 4,载体部分弯曲;工位

5,Z 字形弯曲;工位 6,空工位;工位 7,局部整形拉深;工位 8,直径为 $\Phi 12$ mm 的孔及圆角矩形孔冲裁;工位 9,弯曲及直径为 $\Phi 8$ 和 $\Phi 10$ mm 的孔冲裁;工位 10,产品落料及载体切断,料带宽度为 200 mm,步进距离为 150 mm。根据排样图进一步设计模具结构,本套汽车连接片多工位级进模整体外形尺寸为 1580 mm \times 700 mm,闭合高度为 470 mm,模具工作部分由导柱导套导向,设计的模具结构如图 8 所示^[9]。

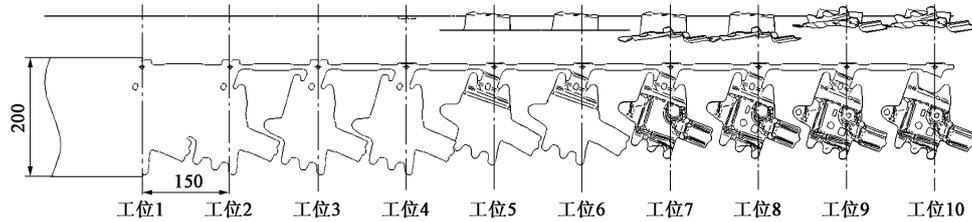


图 7 排样图

Fig. 7 Layout drawing

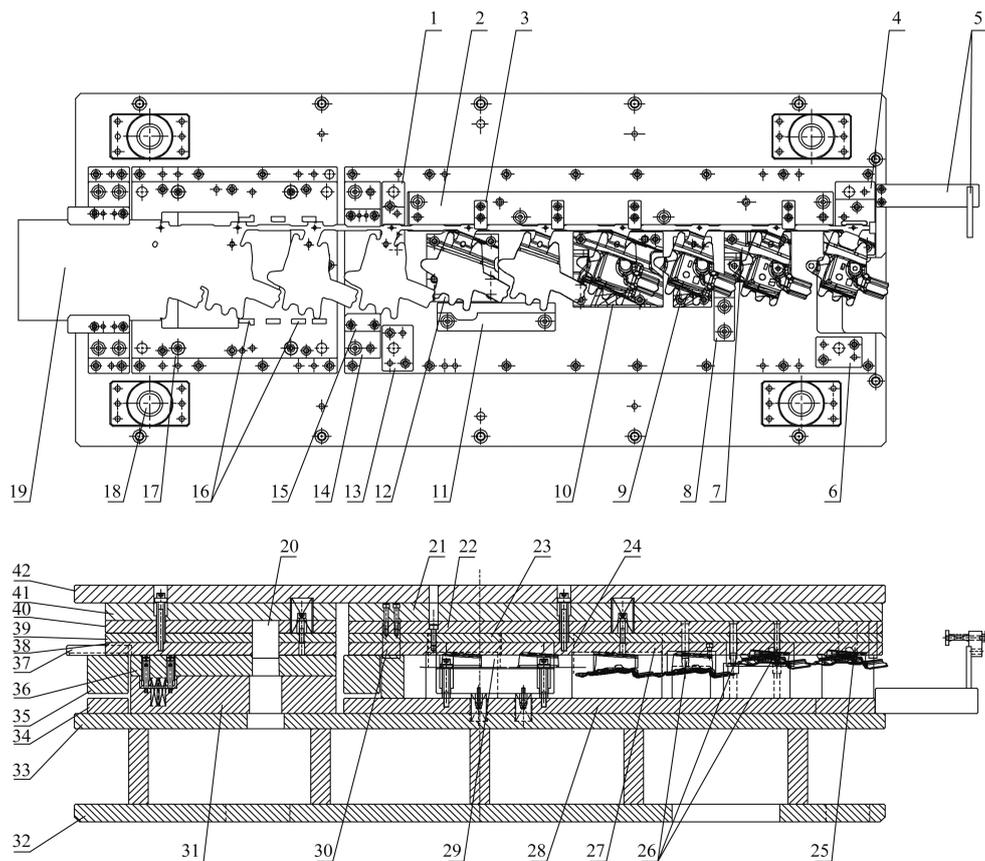


图 8 汽车连接片多工位级进模结构图

1. 折弯凹模 2. 弹性托料块 1 3. 弹性托料块 1 导板 4. 切断凹模 5. 检测固定板 6. 导柱下模 1 7. 冲孔凹模 1 8. 弹性托料块 2
9. 冲孔凹模 2 10. 拉深凹模 11. 弹性托料块 3 12. 弯曲凹模 13. 导柱下模 2 14. 弹性托料块 4 15. 弹性托料块 4 导板 16. 挡块
17. 平衡块 18. 导柱 19. 料带 20. 外形冲裁凸模 21. 后段上垫板 22. 后段上夹板 23. 后段上打板垫板 24. 后段上打板 25. 切断凸模
26. 冲孔凸模 27. 拉深凸模 28. 后段下垫板 29. 弯曲凸模 30. 折弯凸模 31. 前段下垫板 32. 下模座 33. 中模板 34. 前托下垫板
35. 前托板 36. 前托下模板 37. 前托板导板 38. 前段上打板 39. 前段上打板垫板 40. 前段上夹板 41. 前段上垫板 42. 上模座

Fig. 8 Multi-position progressive die structure diagram of automobile connecting piece

(1) 定位孔、定距侧刃及毛坯外形冲裁。在工位 1 上, 级进模设计了两个临时定位孔, 一个位于料带的单侧载体部分, 一个位于载体和产品连接的搭边部分, 如图 9 所示。料带首先由两个导板导正进入模具, 在完成工位 1 加工后, 料带由导正钉定位进行准确的步进运动^[10-11]。工位 1 还同时带有定距侧刃和产品部分外形的冲裁, 再经过后续工位 2 和工位 3 的加工, 料带上即可得到完整的产品展开外形。

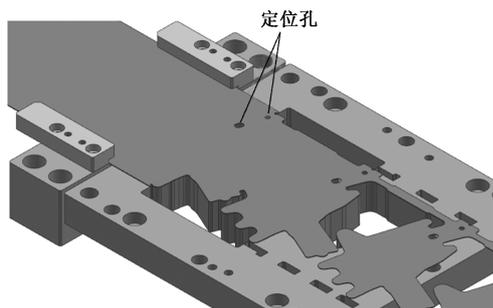


图 9 定位孔
Fig. 9 Locating holes

(2) 载体部分弯曲。工位 4 是级进模分离工艺和成形工艺的过渡, 料带在侧刃冲裁的作用下留出一个凸字形结构, 经此工位完成 90° 折弯, 该结构可将料带更加紧密地贴合在弹性托料块上, 配合导正钉保证料带的进给更加平稳。

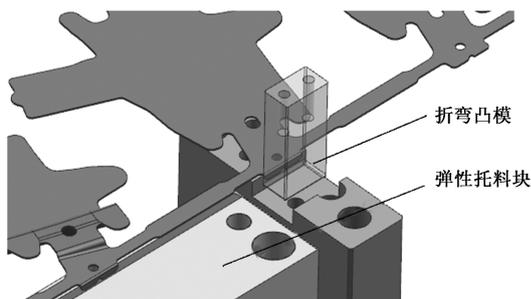


图 10 载体部分弯曲
Fig. 10 Bending of carrier

(3) Z 字形弯曲。工位 5 是产品的主要成形工位, 料带从平面板料弯曲为具有一定高度的半成品零件。弯曲凹模设计采用了单体结构形式, 既简化了模具的设计加工难度, 又方便了模具的装配和调试。弯曲完成后, 料带由专门的托料块托举至合适的高度, 使料带顺利的进给。

(4) 空工位。在弯曲和拉深工序之间设计了一

个空工位, 目的是确保两套工艺的凸、凹模有充足的安装空间, 还可以在试模的过程中合理地调节工艺顺序。

(5) 局部整形拉深。工位 7 是在 Z 字形弯曲的基础上实现产品的整形拉深, 为避免成形部件与相邻产品发生干涉, 拉深凸模、凹模外形在相应的位置设计了合理的避让, 如图 11 所示。

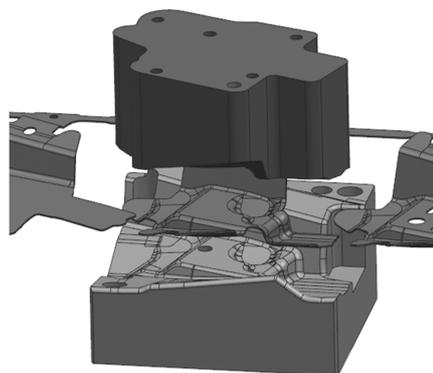


图 11 拉深模具
Fig. 11 Drawing die

(6) 产品上孔的冲裁。工位 8 和工位 9 是产品上 5 个特征孔的冲裁: 第 1 组直径为 $\Phi 12$ mm 的孔和两个圆角矩形孔, 其冲裁方向与级进模合模方向相同, 故先进行冲裁; 第 2 组直径为 $\Phi 8$ 和 $\Phi 10$ mm 的孔, 经折弯搭边的方法调整至竖直的冲裁方向, 完成二次冲裁, 效果如图 12 所示。在两次冲裁工位之间, 设计了一个独立的托料块托料。

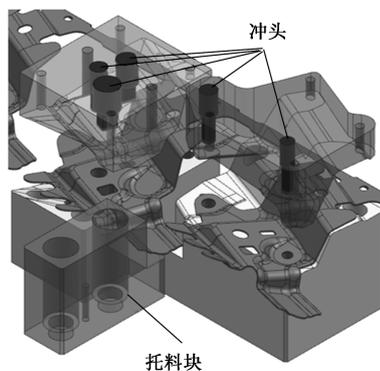


图 12 冲孔模具
Fig. 12 Punching die

(7) 产品落料及载体切断。工位 10 是产品与料带载体的分离工序, 产品、搭边废料、载体废料通过两套冲裁凸模完全分离, 经导料板、自然漏料等方式落入不同收集区域。经过实际生产得到的最

终产品实物如图 13 所示, 该套模具投入使用后, 工作过程稳定、产品力学性能良好^[12]。

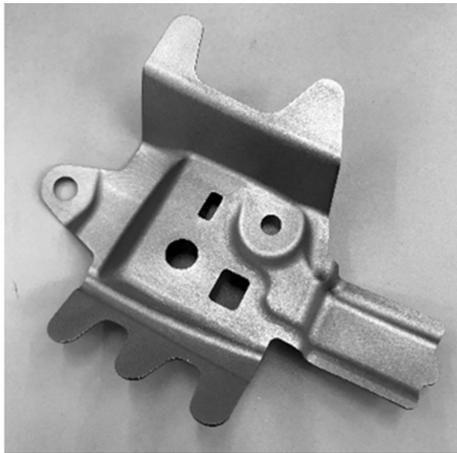


图 13 汽车连接的产品实物图

Fig. 13 Physical picture of automobile connecting piece product

4 结论

(1) 该套模具根据产品外形设计了独立的搭边结构, 由此来保证料带的刚性。

(2) 产品料带排样对比分析了横排、斜排两种排样方案, 最终采用材料利用率更高、产品成形性能更好的单斜排方式。

(3) 根据产品特征将成形工艺分解排序, 再利用 Dynaform 软件对成形工艺进行模拟仿真, 确定了本套 10 工位级进模的模具结构, 其中, 主要的成形过程由弯曲、拉深两工艺完成。

(4) 经实际生产验证, 该套模具在使用过程中性能稳定, 所得冲压产品质量满足设计要求, 多工位级进模设计合理。

参考文献:

[1] 袁博, 陈淑花, 于来宝, 等. 空调蒸发器边板零件多工位级进模设计 [J]. 锻压技术, 2021, 46 (8): 138-142.
Yuan B, Chen S H, Yu L B, et al. Design on multi-station progressive mold for side plate parts of air conditioning evaporator [J]. Forging & Stamping Technology, 2021, 46 (8): 138-142.

[2] 赵杰. 汽车零件复合模具及其冲压工艺 [J]. 内燃机与配件, 2020, (23): 110-111.
Zhao J. Composite mould for automobile parts and stamping process thereof [J]. Internal Combustion Engine & Parts, 2020, (23): 110-111.

[3] 黄智. 电压力锅内胆冲压模具结构 [J]. 锻压技术, 2020, 45 (7): 172-177.
Huang Z. Stamping die structure for electric pressure cooker liner [J]. Forging & Stamping Technology, 2020, 45 (7): 172-177.

[4] 万俊, 王祖华, 郭银芳, 等. 安全带插片级进模设计 [J]. 模具工业, 2015, 41 (12): 15-16, 21.
Wan J, Wang Z H, Guo Y F, et al. Design of progressive die for safety belt blade [J]. Die & Mould Industry, 2015, 41 (12): 15-16, 21.

[5] 王康康, 陈泽中, 江楠森, 等. 基于 GA-BP 的汽车行李箱盖内板冲压成形工艺优化 [J]. 塑性工程学报, 2021, 28 (9): 28-34.
Wang K K, Chen Z Z, Jiang N S, et al. Process optimization of stamping forming for inner panel of car trunk lid based on GA-BP [J]. Journal of Plasticity Engineering, 2021, 28 (9): 28-34.

[6] 徐文东. TO-252 8R 引线框架精密级进模设计 [J]. 模具工业, 2021, 47 (6): 41-44.
Xu W D. Design of precision progressive die for TO-252 8R lead frame [J]. Die & Mould Industry, 2021, 47 (6): 41-44.

[7] 丁艺闻, 王俊. 带双浮动机构的汽车外板冲切、弯曲一体模具设计 [J]. 锻压技术, 2020, 45 (6): 146-151.
Ding Y W, Wang J. Design on integrated die of blanking and bending with double floating mechanism for automobile outer plate [J]. Forging & Stamping Technology, 2020, 45 (6): 146-151.

[8] 邵振江, 胡鹏飞, 周峰, 等. 汽车用固定架级进模冲压工艺研究 [J]. 机械设计, 2018, 35 (S1): 318-319.
Shao Z J, Hu P F, Zhou F, et al. Study on stamping process of automotive progressive dies [J]. Journal of Machine Design, 2018, 35 (S1): 318-319.

[9] 孟玉喜, 张平, 王斌, 等. 圆柱式插头端子多工位级进模设计 [J]. 模具制造, 2021, 21 (2): 1-6.
Meng Y X, Zhang P, Wang B, et al. Design of multi-position progressive die for cylindrical plug terminal [J]. Die & Mould Manufacture, 2021, 21 (2): 1-6.

[10] 毛丹丹. 车载 CD 支架多工位级进模的设计 [J]. 热加工工艺, 2018, 47 (7): 129-131, 140.
Mao D D. Design of multi-position progressive die for vehicle CD support [J]. Hot Working Technology, 2018, 47 (7): 129-131, 140.

[11] 冯晓杰. 天花灯金属外罩模具设计 [J]. 锻压技术, 2021, 46 (8): 142-147.
Feng X J. Mold design on metal cover of ceiling lamp [J]. Forging & Stamping Technology, 2021, 46 (8): 142-147.

[12] 葛云尧, 王蕾. 插件端子多工位级进模设计 [J]. 锻压装备与制造技术, 2016, 41 (7): 78-81.
Ge Y Y, Wang L. Design of a multi-position progressive die for connector terminals [J]. China Metalforming Equipment & Manufacturing Technology, 2016, 41 (7): 78-81.