

模具

支架零件的冲孔落料级进模设计

张 岩^{1,2}, 倪博宇², 黄有柳²

(1. 天津大学 机械与电气工程学院, 天津 300072; 2. 绍兴文理学院 机械与电气工程学院, 浙江 绍兴 312000)

摘要: 针对支架零件的冲孔落料级进模, 优化了模具设计方法, 通过工艺分析确定了合理的设计方案, 基于工艺计算完成了模具主要零件的设计, 最终设计出一种集冲压、落料、折弯一体化的级进模具, 可用于加工小型支架零件, 并利用 AutoCAD 绘图软件绘制出模具零件图和装配图。模具采用导板、导销和止动销定位, 并将弯曲工序置于冲裁工序前, 使得弯曲工序完成后工件的形状可以保证工件沿弯曲冲头移动, 实现了更精确的引导且不需要顶部零件装置, 降低了模具制造的难度。此外, 利用 ANSYS 软件对设计的模具零件进行了有限元分析, 发现弯曲时零件中凸部分形状变量较大, 可采用 YG15 模具钢制成的 U 形套筒覆盖并用螺钉固定后中凸部分几乎无凹痕。

关键词: 支架零件; 级进模; YG15 模具钢; 冲孔; 落料

DOI: 10.13330/j.issn.1000-3940.2024.10.023

中图分类号: TG733

文献标志码: A

文章编号: 1000-3940 (2024) 10-0173-05

Design on punching and blanking progressive die for bracket parts

Zhang Yan^{1,2}, Ni Boyu², Huang Youliu²

(1. School of Mechanical and Electrical Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China;

2. School of Mechanical and Electrical Engineering, Shaoxing University, Shaoxing 312000, China)

Abstract: For the punching and blanking progressive die for bracket parts, the die design method was optimized. The reasonable design scheme was determined through process analysis, and the design on the main parts of die was completed based on the process calculation. Finally, a integrated punching-blanking-bending progressive die was designed to process small bracket parts, and the part drawing and assembly drawing of the die were drawn by drawing software AutoCAD. The design results indicate that the die adopts the guide plate, guide pin and stop pin for positioning, and the bending step is placed before the blanking step. After the bending step is completed, the shape of workpiece just makes the workpiece move along the bending punch, realizing more accurate guidance without the need for top part device, which reduces the difficulty of die manufacturing. In addition, the finite element analysis of the designed die parts is conducted by software ANSYS, and the results show that the shape variable of the middle convex part in the part is large during bending. Thus, after the U-shaped sleeve produced by YG15 die steel is covered and fixed with screws, the middle convex part is almost without dents.

Key words: bracket parts; progressive die; YG15 die steel; punching; blanking

在现代制造业中, 冲压技术以其高效率和高精度的优势, 成为金属零部件大批量生产的核心工艺之一。特别是对于形状复杂、尺寸精密的支架类零件, 级进模设计更加展现出其独特的优越性, 能够在一个连续的加工过程中使用一个模具完成冲孔、落料和其他成形工序, 实现了产品的连续生产。

王海平等^[1]在对半圆支架加工的级进模研究中, 对半圆支架零件的形状结构进行了详细的工艺

分析, 设计出合理的加工方案, 并指出了成形过程中的难点。模具采用 4 个工位级进加工, 较好地解决了制件上多处起伏成形的难度问题。武晓红^[2]在左支架级进模的研究中, 采用了预成形、预冲孔、再成形、最后整形的多次成形方法, 模具的局部成形能力好, 成形高度可达原材料厚度的 8 倍, 能够保持产品的高效产出且质量稳定, 不存在产品开裂等现象。王晗等^[3]在前支架级进模设计中, 对小孔冲裁、折弯回弹等常见问题给出了解决方案, 由于冲裁小孔凸模较小, 且凸模边缘比较薄弱, 为避免凸模折断需要提高凸模强度、提高模具使用寿命、降低模具返修的概率, 故采用二阶段凸模, 并使用快换结构, 保证了模具的高效率生

收稿日期: 2024-05-24; 修订日期: 2024-08-25

基金项目: 绍兴市科技计划重点项目 (2023A11005)

作者简介: 张 岩 (1993-), 女, 博士, 讲师

E-mail: 935308551@qq.com

产。Esmeray Üstünyagiz 等^[4]使用实验取得的经验数据并与有限元法 (Finite Element Method, FEM) 相结合, 以减少时间和成本, 研究发现, 级进模成形的润滑剂和冷却剂的性能受界面压力以及温度的影响。

综上所述, 分阶段级进模能够更好地适应形状和材料更加复杂的冲压需求, 通过逐步变形来实现高精度的零件成形。而且对于模具结构的优化研究也在不断地深入, 很大程度上提高了模具的整体性能和稳定性^[5-6]。因此, 本文将弯曲工艺放在冲孔落料工艺前, 实现更加精准的导向而且不需要顶件装置, 大大减少了模具制造的难度, 并对设计好的模具凹模部分运用 ANSYS 软件进行有限元分析, 分析模具受力后的形变情况及其可能变形的部位, 以便于加强受力严重部位的支撑, 提高模具寿命。本文设计能够在一个模具上集成加工, 不仅可以减少工人的操作步骤, 显著提高生

产效率, 而且还可以减少单工序模具每一次加工前由于安装板料所带来的误差, 确保了产品的一致性与精确度^[7-8]。

1 工艺分析

1.1 工艺方案的确定

支架零件图如图 1 所示, 由图 1 可知, 圆角矩形宽度为 9 mm、长度为 27 mm, 可由落料工序获得; 支架凸起平面的弯曲宽度为 6 mm、弯曲高度为 8 mm、凸起两孔中心线的弯曲宽度为 (16.5 ± 0.05) mm, 可由弯曲工序获得; 支架上两个直径为 $\Phi 4.5$ mm 的孔可由冲孔工序获得。图纸上的未注尺寸公差按 IT13 级公差检验^[9]。根据 GB/T 1804—2000^[10]的规定, 线性尺寸未注公差的极限偏差一般采用对称偏差, 对于未注尺寸公差的孔和轴, 孔的公差取 H13, 轴的公差取 h13。

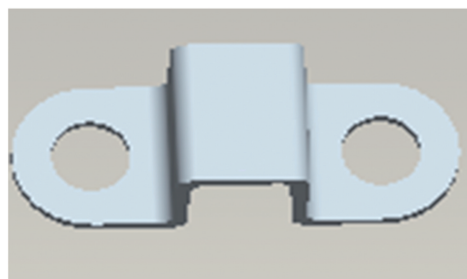
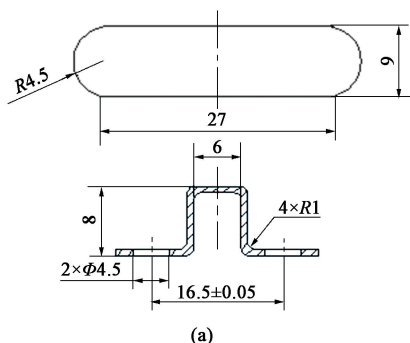


图 1 支架零件图

(a) 尺寸图 (b) 三维图

Fig. 1 Bracket part drawings

(a) Size drawing (b) 3D drawing

由零件图 (图 1) 可知, 该零件可由冲孔、弯曲、落料工序加工得到, 均属于基本成形工序, 弯曲工序可采用一次成形或者多次成形。该零件生产目标为大批量生产, 且无公差要求, 较易获得加工精度, 所以采用带料连续冲压。零件两侧的 2 个直径为 $\Phi 4.5$ mm 的孔的边缘距离弯曲中心 2 mm, 恰好等于板料厚度 t , 为了确保工件形状正确且能够正常使用, 故将冲孔工序放在弯曲工序后。由于设计精度要求不高, 且所用板件材料为 10 钢, 其塑性、韧性均很好, 也易冷热加工成形和挤压成形, 所以, 为了提高加工效率, 使用凹凸模直接一次弯曲成形, 两次弯曲集中在一个工位, 一次压弯 4 个角, 后续工位冲两个直径为 $\Phi 4.5$ mm 的孔, 在最终工位上进行落料, 得到成品。冲孔、弯曲、落料全部集中于

一套模具, 以便于大批量生产, 零件成形过程示意图如图 2 所示。

1.2 排样方式

根据零件结构, 该零件两端为半圆形圆角矩形, 采用有废料排样, 排样形式为直排, 由于零件较小、步距较近, 装配比较困难, 所以本模具将引用空工位。圆角矩形的圆角半径 $R = 4.5$ mm, 板料厚度 $t = 2$ mm, $R > 2t$, 所以, 根据文献 [11] 查得, 工件间的距离 $a = 1.5$ mm, 工作时工件与侧面边界的距离 (搭边值) $a_1 = 1.8$ mm, 如图 3 所示。

步距为送料方向上工件的长度加上工件间的距离值^[12], 如式 (1) 所示。

$$h = C + a \quad (1)$$

式中: h 为步距, mm; C 为沿送料方向上工件的长

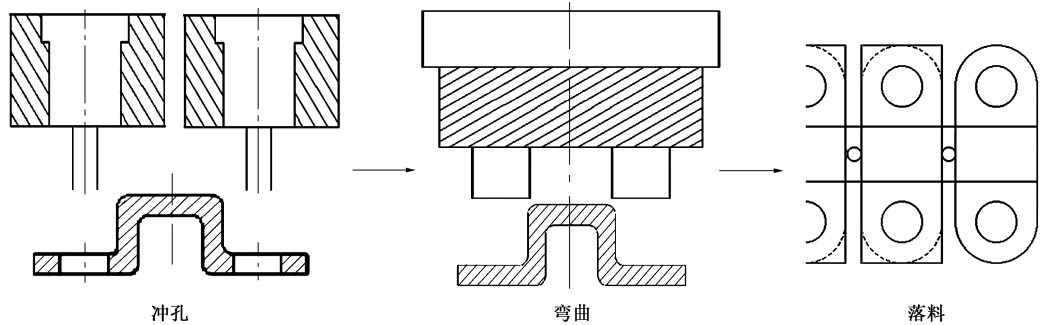


图 2 支架零件成形过程示意图
Fig. 2 Schematic diagram of forming process for bracket part

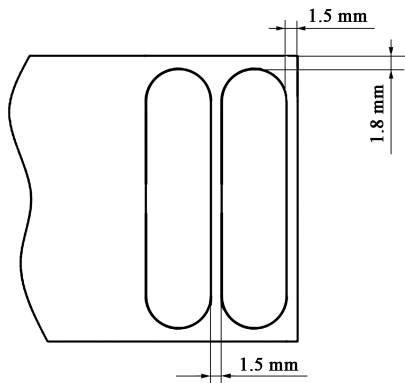


图 3 工件间的距离值和搭边值
Fig. 3 Distance value between workpieces and edge value

度, mm; a 为工件间的距离值, mm。
根据式 (1) 求得本模具步距 $h = 10.5\text{ mm}$ 。
加工时, 首先冲一个半径为 1.5 mm 的小孔预留后面导正销定位, 随后冲裁两组矩形孔, 再进行弯曲工序, 然后冲 2 个半径为 4.5 mm 的孔, 最后落料圆角矩形得到支架零件。由于要加工的工件较小, 步距也比较近, 所以, 在冲矩形孔、弯曲、冲直径为 $\Phi 4.5\text{ mm}$ 的孔以及最后的落料工位之间设置空工位, 其排样图如图 4 所示。

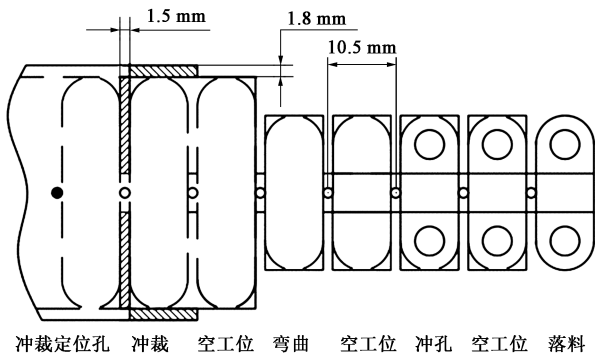


图 4 排样图
Fig. 4 Layout diagram

材料利用率计算公式如式 (2) 所示。

$$\eta = \frac{nA}{Bh} \times 100\% \tag{2}$$

式中: η 为材料利用率; n 为一个步距内的冲裁件数; A 为冲裁件面积; B 为条料宽度。
已知冲裁件面积 A 为 274.79 mm^2 , 根据式 (2) 求得材料利用率 $\eta = 66.14\%$ 。

1.3 模具总装配图

经过模具各零部件的设计选型, 上模座、垫板和凸模固定板由 2 个销钉准确定位和 4 个螺钉拧紧固定。下模座和一体式凹模由 4 个销钉准确定位和 6 个螺钉拧紧固定。由 AutoCAD 绘制本模具的装配图, 如图 5 所示。

在加工过程中, 模具由于频繁重复地执行同一个动作, 难免会发生损坏变形, 所以有必要进行受力分析。有限元分析能够在模具投入生产前进行各类分析, 能够提供有效的参考, 下文将运用 ANSYS 软件对本模具的凹模受力进行分析并提出解决方法。

2 模具的有限元分析

2.1 原凹模形变分析

设计凹模时, 采用 T10A 钢材料制造, 其弹性模量为 206 GPa , 泊松比为 0.3 , 硬度为 $58 \sim 62\text{ HRC}$, 根据所受到的冲裁力和弯曲力运用 ANSYS 对一体式凹模各工位刚接触凸模时的情况进行有限元静应力分析, 观察其受力位移分布情况, 如图 6 所示。

由图 6 中不难看出: 冲裁定位孔时, 由于冲裁力较小, 凹模形变量不大; 冲裁矩形孔时, 越靠近孔附近形变量就越大, 而且形变涉及面积较广。由图 6 中还可看出, 弯曲时有 3 个地方发生不同程度的变形, 其中中间凸起部分形变量较大。冲两个直

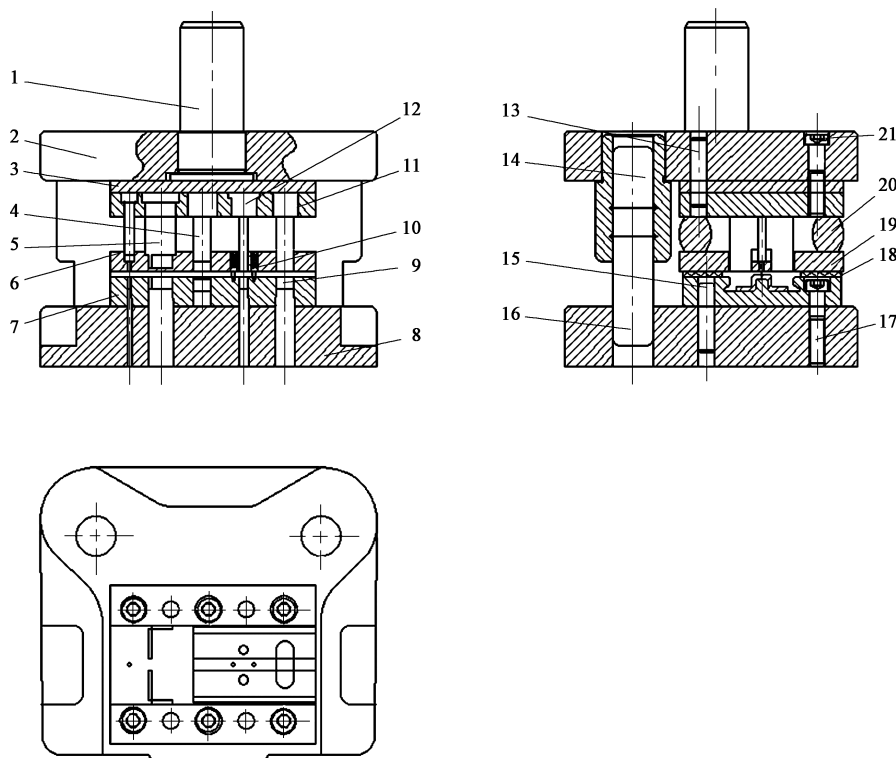


图 5 模具装配图

1. 模柄 2. 上模座 3. 垫板 4. 弯曲凸模 5. 冲矩形孔凸模 6. 冲定位孔凸模 7. 凹模 8. 下模座 9. 落料凸模 10. 导正销 11. 凸模固定板
12. 冲孔凸模 13、15. 定位销 14. 导套 16. 导柱 17. 内六角螺钉 18. 导料板 19. 卸料板 20. 橡胶块 21. 内六角螺钉

Fig. 5 Die assembly diagram

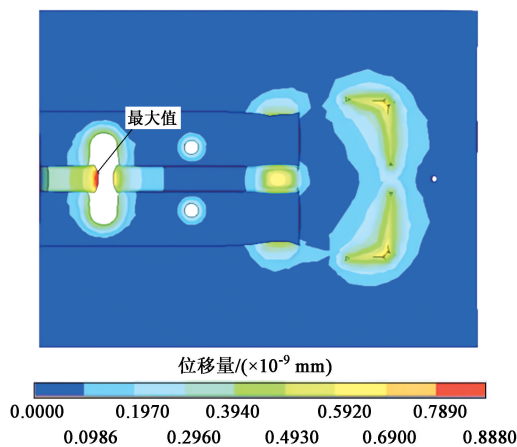


图 6 原一体式凹模受力位移图

Fig. 6 Displacement diagram after force of original integrated die

径为 $\Phi 4.5$ mm 的孔时, 形变量不大。最终落料后可看出有不同程度的变形, 其中中间凸起部分变形尤为严重。

2.2 解决方法

为了能够减少凹模的变形, 需要重新选材制造凹模。冲裁定位孔时形变不大, 所以无需改进。冲裁矩形孔时, 由于孔比较小, 而且形变面积比较大, 所以, 可以采用硬度更大的 YG15 模具钢, 将其加

工为方形垫片, 在矩形孔附近预留沉孔并用螺钉固定。弯曲时, 中间凸起部分变形严重, 使用 YG15 模具钢加工的 U 形套覆盖并用螺钉固定。落料工位的中间凸起部分也是可能变形的发生点, 可采用 YG15 模具钢垫片用螺钉固定于内壁进行加固。

2.3 改进后的受力变形情况

对改进后凹模进行受力分析, 得到受力后的形变图, 如图 7 所示。由图 7 中可看出, 冲裁矩形孔工位处改进后, 孔周围处无大规模变形, 孔周围区域变形比较均匀。弯曲处中间凸起部分变形明显减小, 基本解决了下凹变形; 两侧无明显向中间侵入变形。落料工序几乎未发生变形, 中间凸起部分也无凹陷变形。

3 验证

级进模是一种利用板材变形原理, 利用模具在压力下对板料进行连续冲裁, 从而高效获得制件的一种冲压设备^[13-14]。由赵德世等^[8]研究的汽车加强板工位级进模具设计可看出, 其每个边均具有弯曲成形特征, 为了保证良品率及冲裁质量, 采用框架

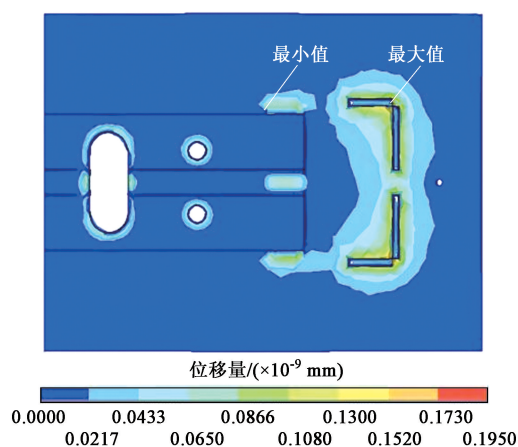


图7 改进后凹模受力位移图

Fig.7 Displacement diagram after force of die after improvement

式排样的级进模设计方案。排样设置的工位包含多次弯曲、空工位、冲裁冲孔、切断余料等,其采用CAE数值模拟软件来确定模具的设计效率。本文则是采用ANSYS软件对零部件的受损情况进行分析并加以改进,进一步提高了设计效率。因此,在赵德世等^[8]的研究基础上进行仿真模拟,可验证本文的级进模具设计与加工,得到的仿真结果为:弯曲的平均回弹量为 2° ,外形尺寸的最大公差平均为0.12 mm,制造良品率达到99.5%以上,与文献^[8]结果比发现误差均在可控范围内,故满足实际生产要求。

4 结语

本文就当前支架零件的冲孔落料级进模设计,给出了合适的连续加工方案,该方案能够很好地执行,且模具结构简单,不需要顶件装置。对模具的各种凸模、凹模、模架、卸料板等主要零部件进行了合理设计并运用AutoCAD绘制出模具总装配图。分析模具凹模部分形变情况,在凸模刚接触工件时对凹模进行静应力分析,根据凹模受力位移图发现其受力后中间凸起部分的形变量较大,对其进行局部位置的加固改造后,再次进行静应力分析发现形变情况得以缓解。

参考文献:

- [1] 王海平, 李林刚, 王跃. 半圆形支架多工位级进模设计[J]. 模具制造, 2023, 23(2): 9-12.
Wang H P, Li L G, Wang Y. Design of multi-position progressive die for the semicircle bracket[J]. Die & Mould Manufacture, 2023, 23(2): 9-12.
- [2] 武晓红. 左支架多工位级进模的设计[J]. 锻压技术, 2022, 47(12): 189-192.
- [3] 王哈, 唐齐, 刘利, 等. 前支架多工位级进模设计[J]. 模具制造, 2022, 22(4): 4-7.
Wang H, Tang Q, Liu L, et al. Design of multi-position progressive die for the front bracket[J]. Die & Mould Manufacture, 2022, 22(4): 4-7.
- [4] Esmeray Üstünyagiz, Taylan Altan. Design of progressive die sequence by considering the effect of friction, temperature and contact pressure[J]. Key Engineering Materials, 2018, 767(4): 232-239.
- [5] Ahmad Razlee bin Ab Kadir, Nurul Na'imy Wan, Baizura Zubir, et al. Design and analysis of progressive die for chain link plate[J]. International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE), 2019, 8(4): 820-826.
- [6] Wu M Q, Cui Y. A plate stamping mold design[J]. Advanced Materials Research, 2014, 912-914: 1580-1583.
- [7] 樊磊, 邱德方, 张健聪, 等. 联接附板多工位级进模排样设计[J]. 模具制造, 2023, 23(4): 4-6.
Fan L, Qiu D F, Zhang J C, et al. Design of multi-position progressive die layout for silent chain plate[J]. Die & Mould Manufacture, 2023, 23(4): 4-6.
- [8] 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.
Zhang 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.
- [9] 陈云龙. 冲压件的未注公差尺寸[J]. 模具技术, 1984(1): 82-84.
Chen Y L. Unnoted tolerance dimension of the punch piece[J]. Die and Mould Technology, 1984(1): 82-84.
- [10] GB/T 1804—2000, 一般公差 未注公差的线性角度尺寸的公差[S].
GB/T 1804—2000, General tolerances—Tolerances for linear and angular dimensions without individual tolerance indications[S].
- [11] Kim H S, Kim S H, Huh H. Finite element inverse analysis for the design of intermediate dies in multi-stage deep-drawing processes with large aspect ratio[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2001, 113(1-3): 779-785.
- [12] 陈炎嗣. 多工位级进模设计手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2011.
Chen Y S. Design Manual of Multi-position Progressive Die[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2011.
- [13] 王天宝, 袁博, 刘立明. 步进电机外壳零件多工位级进模设计[J]. 锻压技术, 2022, 47(3): 174-177.
Wang T B, Yuan B, Liu L M. Design on multi-station progressive die for stepper motor shell parts[J]. Forging & Stamping Technology, 2022, 47(3): 174-177.
- [14] 宗学文, 张健, 卢秉恒. Ti6Al4V在不同成形工艺下的数值分析及组织性能[J]. 稀有金属, 2021, 45(7): 786-795.
Zong X W, Zhang J, Lu B H. Numerical analysis and microstructure and properties of Ti6Al4V under different forming processes[J]. Chinese Journal of Rare Metals, 2021, 45(7): 786-795.