

## 电池连接件多工位级进模设计

孙 文, 田文春, 纪小虎, 薛克敏

(合肥工业大学 材料科学与工程学院, 安徽 合肥 230000)

**摘要:** 为了满足电池连接件高精度、大批量的生产需求, 确定了采用多工位级进模的方式进行生产。根据制件的结构特点及尺寸要求, 设计了多工位级进模的工艺排样, 包含冲孔、切外边、拉延成形、空位、落料、切断废料等 14 个工步, 并对模具的整个设计过程及生产要点进行了详细阐述。以 Solidworks 软件为计算机辅助设计建模工具, 绘制出电池连接件模具零件的模型, 进行装配后得到本套模具的三维几何模型。模具采用送料机进行送料, 采用导料板导料, 采用导正销对料带进行精准定位, 以保证送料的准确性与稳定性。为提高导向精度, 本套模具采用内导柱和外导柱相结合的方式进行导向。同时, 设置限位装置及误送检知机构, 对模具进行保护。生产结果表明, 多工位级进模试制的电池连接件的尺寸与精度能够满足产品的要求。

**关键词:** 级进模; 排样; 模具设计; 导向; 限位装置; 电池连接件

**DOI:** 10.13330/j.issn.1000-3940.2023.01.027

**中图分类号:** TG386

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1000-3940 (2023) 01-0196-06

## Design on multi-station progressive die for battery connector

Sun Wen, Tian Wenchun, Ji Xiaohu, Xue Kemin

(School of Materials Science and Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230000, China)

**Abstract:** To meet the production requirements of high-precision and mass for battery connectors, it was determined to use the multi-station progressive die method for production. Then, according to the structural characteristics and size requirements of part, the process layout of the multi-station progressive die was designed, which included fourteen steps such as punching, trimming, drawing, vacancy, blanking, cutting waste, etc., and the whole design process and production points of the die were elaborated in detail. Furthermore, using software Solidworks as a computer-aided design modeling tool, the model of die parts for battery connector was drawn, and the three-dimensional geometric model of the die was obtained after assembling. The die was fed by the feeder, the guide plate guided the material, and the guide pin positioned the material strip precisely to ensure the accuracy and stability of the material feeding. In order to improve the guiding accuracy, this set of die was guided by the combination method of inner guide column and outer guide column. At the same time, a limit device and a false delivery detection device were set to protect the die. The production results show that the size and precision of the battery connector made by the multi-position progressive die can meet the requirements of the product.

**Key words:** progressive die; layout; die design; guiding; limit device; battery connector

近年来, 随着工业的高速发展, 环境污染与石油短缺问题日益加剧, 促使新能源汽车市场迅速崛起, 保有量快速增长, 电机电池等各冲压配件的需求量随之增长。冲压件一般具有一致性优、互换性好、单价低、效率高、易于实现机械化与自动化等优点<sup>[1-4]</sup>。冲压模具中的级进模由于生产效率、

操作简单, 是制件大批量生产的首选模具形式, 受到各制造企业的重视<sup>[5-7]</sup>。本文研究的电池连接件是电芯内部的关键零件, 属于典型的冲压件, 用量需求大, 需要大批量生产。根据电池连接件的特点确定生产工艺, 并进行多工位级进模的设计。

### 1 制件工艺分析

电池连接件的结构如图 1 所示, 图 1 中仅标注了部分外形尺寸。该制件原材料为 Al1060 铝合金, 状态为 O 态, 厚度为 0.4 mm, 需要大批量生产。主要的技术要求为: 断面无毛刺, 厚度及外形方向尺寸公差要求为  $\pm 0.05$  mm, 其中厚度尺寸与凹槽宽度

收稿日期: 2022-04-11; 修订日期: 2022-07-19

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目 (JZ2021HGQB0273)

作者简介: 孙 文 (1992-), 男, 硕士研究生

E-mail: 15556429190@163.com

通信作者: 薛克敏 (1963-), 男, 博士, 教授

E-mail: xuekm0721@sina.com

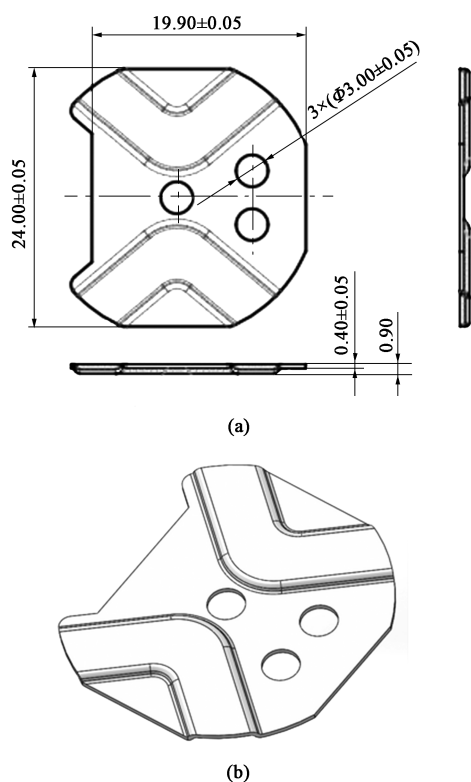


图1 电池连接件零件图

(a) 二维零件图 (b) 三维模型图

Fig. 1 Part diagrams of battery connector

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

尺寸为制程重点管控尺寸, 要求  $CPK \geq 1.33$  (其中  $CPK$  为过程能力指数, 表示过程能力满足产品质量标准的程度)。

从单个制件来看, 该零件为对称件, 产品的外形轮廓不规则。产品中间位置有3个直径为  $\Phi 3.0$  mm 的圆孔, 且3个圆孔有相对位置要求, 两侧成形凹槽关于中心圆孔对称。确定采用先切零件外边, 再同时冲裁3个圆孔, 接着拉伸成形, 然后产品落

料, 最后切断废料的工序进行排样。采用一出二多工位级进模的方案冲压产品, 一方面可提高材料利用率, 另一方面也能满足零件大批量的生产需求。

根据制件结构的技术要求可知, 该制件的成形难点主要有: (1) 较难确定拉伸前的坯料展开尺寸; (2) 切外边冲头需要进行圆弧过切接刀设计, 确保产品尖角处无毛刺; (3) 两凹槽宽度为重点管控尺寸, 需要解决产品在冲压送料过程中的精确定位问题<sup>[8-10]</sup>。

## 2 排样设计及材料利用率

### 2.1 排样设计

首先需确定产品的坯料外形尺寸, 本文根据坯料展开计算并通过 CAE 软件的一步逆成形算法进行验证<sup>[11]</sup>, 确定产品的坯料尺寸为在拉伸缩料方向单边+0.15 mm (图2), 其他方向的尺寸无变化、无需预留切边余量。

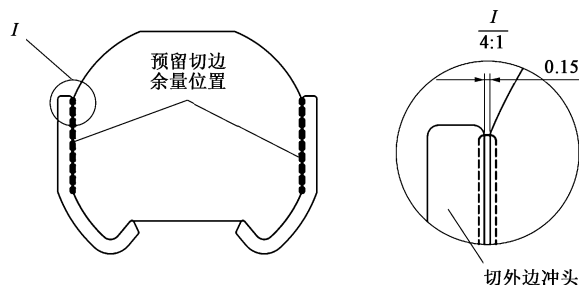


图2 制件坯料的拉伸余量

Fig. 2 Drawing allowance of blank for part

确定产品外形的坯料尺寸后, 根据搭边强度、冲头强度、导正销位置安放、材料利用率等因素, 确定料宽为 55 mm, 步距为 29 mm, 排样图如图3所示。

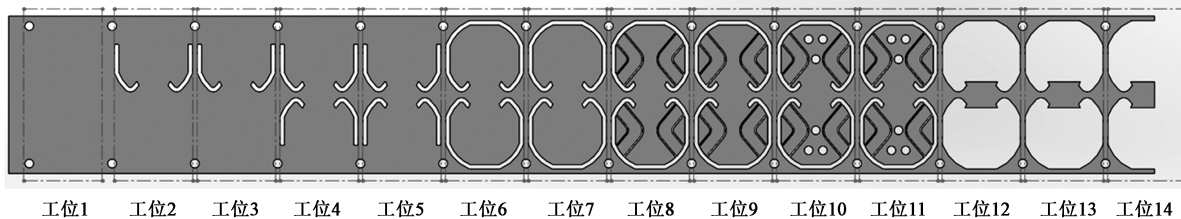


图3 多工位级进模排样图

Fig. 3 Layout diagram of multi-station progressive die

该零件采用多工位级进模具进行生产, 为了增大材料利用率选择对称双排结构, 整体料带的强度及稳定性比较好。冲压过程中使用浮升销进行浮料导料, 通过导正销及送料器精确控制送料步距。考虑到成形工序中不易脱料, 在成形工序中增加弹顶

镶件进行脱料。

综上, 该零件采用 14 个工位来完成, 如图3所示。工位1冲裁两定位孔; 工位2、工位4和工位6冲切产品外形, 这些工位冲切产品周围一圈, 同时预留拉伸余量, 将外形刀分为3把刀, 分别设置在

这 3 个工位中, 以此确保冲头的强度, 切除外形后, 保留产品尖角处的直线部分, 以此进行连料, 同时为成形工序作准备; 工位 3、工位 5、工位 7、工位 9、工位 11 和工位 13 为空工位, 整个排样中的空工位较多, 多工位级进模中设置空工位的主要作用是提高模具强度, 保证模具寿命和产品质量, 为应对客户端的产品变更, 预留空工位有改模的余地, 不会使得整套模具报废; 工位 8 拉延成形, 该工序是对产品的凹槽部分进行成形, 上下设置仿形冲头, 同时在下模设置弹顶镶件便于脱料; 工位 10 冲孔, 冲裁产品中间区域的 3 个圆孔, 为保证 3 个圆孔的相对位置度, 选择同时冲裁 3 孔; 工位 12 为落料工位, 经过前面各工位, 产品已经完全成形, 直接落产品; 工位 14 切断废料, 产品已经从料带中分离, 废料在该工位被切断并收集。

## 2.2 材料利用率

材料利用率  $\eta$  表示冲压工件在坯料上排样的合理程度, 即材料利用的经济程度<sup>[12]</sup>。材料利用率  $\eta$  采用式 (1) 进行计算。

$$\eta = \frac{S_1}{S_2} \times 100\% \quad (1)$$

式中:  $S_1$  为实用材料面积;  $S_2$  为消耗材料面积。

实用材料面积即为冲压工件的有效面积, 它与消耗材料面积的差值即为废料。废料一般可分为设计废料和工艺废料两个部分。设计废料通常是指由于零件结构形状的特点所形成的废料, 比如零件上的孔、槽以及边缘处的缺口等, 设计废料是不可避免的。工艺废料是指工件之间和工件与条料之间的搭边材料, 以及冲压过程中的料头和料尾<sup>[12]</sup>。合理的排样方法可以降低工艺废料的比。根据排样图最终确定制件的材料利用率为 57.1%, 公式如式 (2) 所示。

$$\eta_{\text{总}} = \frac{n_{\text{总}} A}{LB} \times 100\% = \frac{2 \times 455.3}{55 \times 29} \times 100\% = 57.1\% \quad (2)$$

式中:  $\eta_{\text{总}}$  为材料总利用率;  $A$  为零件冲裁面积;  $n_{\text{总}}$  为板料中所冲裁的零件数目;  $L$ 、 $B$  为板料的长度、宽度。

## 3 模具总体结构设计

### 3.1 模具设计要点

#### 3.1.1 凸、凹模冲裁间隙的确定

在模具设计之前需要根据材料及厚度等因素确

定凸、凹模的冲裁间隙。

根据冲压设计手册<sup>[12-13]</sup>, 对于铝 (软) 材料, 取单边间隙  $z$  为板料厚度  $t$  的 4%~6% 左右, 即  $z = t \times 4\% = 0.016 \text{ mm}$ , 本次设计取单边间隙  $z = 0.015 \text{ mm}$ 。在模具设计中, 对冲孔而言, 一般以凸模为设计基准, 然后按凸、凹模冲裁间隙对凸模尺寸进行放大得到凹模尺寸。对落料而言, 则以凹模为设计基准, 然后对凹模尺寸按凸、凹模冲裁间隙进行缩小得到凸模尺寸。其中对于冲圆孔, 可直接选用标准件冲头, 凹模刃口直身位设定为 2 mm, 下部分落料的锥度单边为 2°, 以便于排去废料。对于冲裁外形的异形冲头, 厚度仅为 1.5 mm, 为了保证冲头的强度及使用寿命, 对冲头进行补强, 如图 4 所示。成形冲头制成镶件的结构, 便于调整高度。

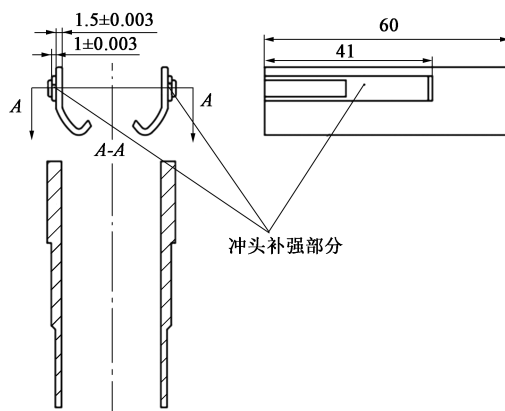


图 4 冲裁外形的异形冲头补强结构示意图

Fig. 4 Schematic diagram of reinforcement structure of special-shaped punch for punching shape

#### 3.1.2 导料、浮料及卸料装置

本文中, 采用送料器进行送料, 同时将外导料板设置在导料入口处, 固定于凹模板上, 用于工序前的送料粗导向。为了顺利导料送料, 模具内部通过浮升销进行导向及浮起。浮升销底部装有弹簧, 开模时, 在弹簧力的作用力下, 将料带浮起, 送料器连续送料; 合模时, 在卸料板的作用下, 浮升销被压入下模内。同时, 模具内部使用导正销对料带进行精定位, 导正销固定于卸料板上。本文中卸料装置采用的是弹性卸料方式, 咖啡色矩形弹簧与卸料板顶杆组合, 利用止付螺丝固定。在送料器及导正销的作用下, 精准送料, 废料被切断后从模具后方排出。

#### 3.1.3 精密导向设计

由于模板较大, 本文中使用了 8 套导柱, 包括 4 套内导柱和 4 套外导柱。模具内导柱采用十字卸料板导柱。内导套采用滚珠导套, 选用米思米标准



件, 型号为 SGPWH 25-80-60-B25, 导套与固定板及凹模板之间通过 680 厌氧胶粘结。外导套、导柱采用滚珠导套、滚珠导柱, 也使用米思米标准件, 型号为 QMSH32-140-L80-100, 外导柱固定于下模, 外导套通过粘胶固定于上模座。导柱与卸料板之间采用过盈的配合方式进行装配, 过盈量一般控制在  $0.010 \sim 0.015 \text{ mm}$ 。滚珠导柱的特点是无间隙导向, 导向精度高且使用寿命长, 通常应用于精密冲裁模、硬质合金模以及其他精密模具<sup>[12]</sup>。

### 3.1.4 模具保护装置

级进模在生产中容易因一些内部或外部的因素, 如送料机的步距设置有误、冲床气压不足、送料机的滚筒内有异物等造成送料未到位, 而冲床及送料器的运行速度很快, 若发现不及时会导致冲压产品不合格, 模具也会因此被损坏, 增加了维护成本。因此, 有必要在模具内加装误送检知装置, 当送料器送料步距有误时, 冲床会自动停止冲制, 避免损坏模具。同时, 为了防止合模过头及材料被压薄, 在凹模板与卸料板之间安装限位柱, 固定于凹模板上。

图 5 为误送检知装置原理图, 误送检知装置是在导正销的基础上发展起来的。其工作原理为: 微动开关与关联销装配, 与误送检知销进行物理联动。当料带正常工作时, 误送检测销穿过料带的导正孔, 进入到凹模板中, 不触发关联销的物理运动。一旦料带出现误送或者送料错位时, 误送检知销被料带顶起, 向上运动, 引起关联销向右运动, 从而触发微动开关, 进而将电信号传递至冲床, 冲床停止工作。

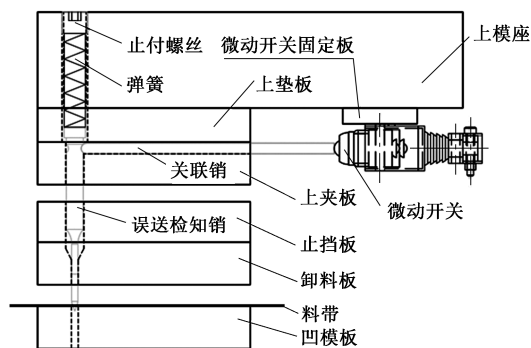


图 5 误送检知装置工作原理示意图

Fig. 5 Schematic diagram of working principle for false delivery detection device

### 3.1.5 模座设计

对排样料带外形尺寸向外延伸  $50 \sim 80 \text{ mm}$ , 并进行取整可得到各内模板的外形尺寸。再根据各内模板的外形尺寸, 考虑所设计的总步距和外导柱的规格尺寸, 再由内模板的外形尺寸向外延伸  $60 \sim$

$100 \text{ mm}$ , 即为上、下模座的长宽尺寸。依照该原则取上、下模座的长度 $\times$ 宽度为  $490 \text{ mm} \times 380 \text{ mm}$ 。上、下模座的厚度均取为  $50 \text{ mm}$ 。

### 3.1.6 模具材料选用

模具材料一般采用高硬度材料, 一方面可以降低磨损量, 另一方面可以减少塑性变形, 保证模具寿命及产品质量。模具具有高精度的特点, 所以, 模板及其零件要保证良好的表面粗糙度, 同时型腔、凹模刃口及冲头的精度通常保证在  $\pm 0.005 \text{ mm}$  以内。

本套模具的冲头及凹模刃口的材料主要为 SKH-9 高速钢, 热处理硬度为  $60 \sim 62 \text{ HRC}$ ; SKH-9 高速钢的特点为碳化物组织细密整齐, 且分布均匀, 耐磨性和韧性较好, 被广泛应用于模具中<sup>[12]</sup>。

凹模板、卸料板、固定板的材料为 Cr12MoV 钢, 热处理硬度为  $58 \sim 60 \text{ HRC}$ ; 上垫板、止挡板、下垫板的板材料为 Cr12 钢, 热处理硬度为  $58 \sim 60 \text{ HRC}$ ; Cr12 和 Cr12MoV 为高碳高铬钢, 耐磨性很好, 淬火时变形量很小, 淬透性好, 常用于大批量生产的级进模具中。但该类钢种的碳化物不均匀性, 冲裁时容易出现刃口崩裂。其中, Cr12 钢相对 Cr12MoV 钢的含碳量更高, 碳化物分布不均的程度比 Cr12MoV 钢更严重, 脆性更大<sup>[12]</sup>。

上模座、下模座的材料为 45 钢, 不需热处理, 硬度为  $14 \sim 16 \text{ HRC}$ 。模座一般选用软料, 其抗震性能较好。

## 3.2 模具总装及试模

### 3.2.1 模具装配图

图 6 为多工位级进模总装示意图, 整副模具采用了快拆结构, 包括冲头和凹模刃口, 采用模板套镶件的形式固定于模板内。卸料板与固定板之间采用挂钩连接的快拆形式, 这种结构是比较实用方便的快拆结构, 不需要将整副模具拆取下来, 在冲床上即可快速取出卸料板、冲头及凹模刃口等镶件, 大大降低了修模、调模的工作量, 更利于修模师傅拆模、修模、调模, 告别了需将整副模具拆开才能取出零件修模的传统方式。

### 3.2.2 试模结果及问题分析

试验模具装配完成后, 在 APA-60 冲床上进行调试。通过自动送料机将铝卷校直后送进模具。

试模过程中, 产品边缘有压印, 检查模具, 确定是成形过程中浮顶镶件压伤所致, 因此, 将浮顶镶件与产品接触位置研磨避位。解决压印问题后冲压出的料带如图 7 所示, 冲压出的产品的其他尺寸符合图纸尺寸, 其冲压零件如图 8 所示。

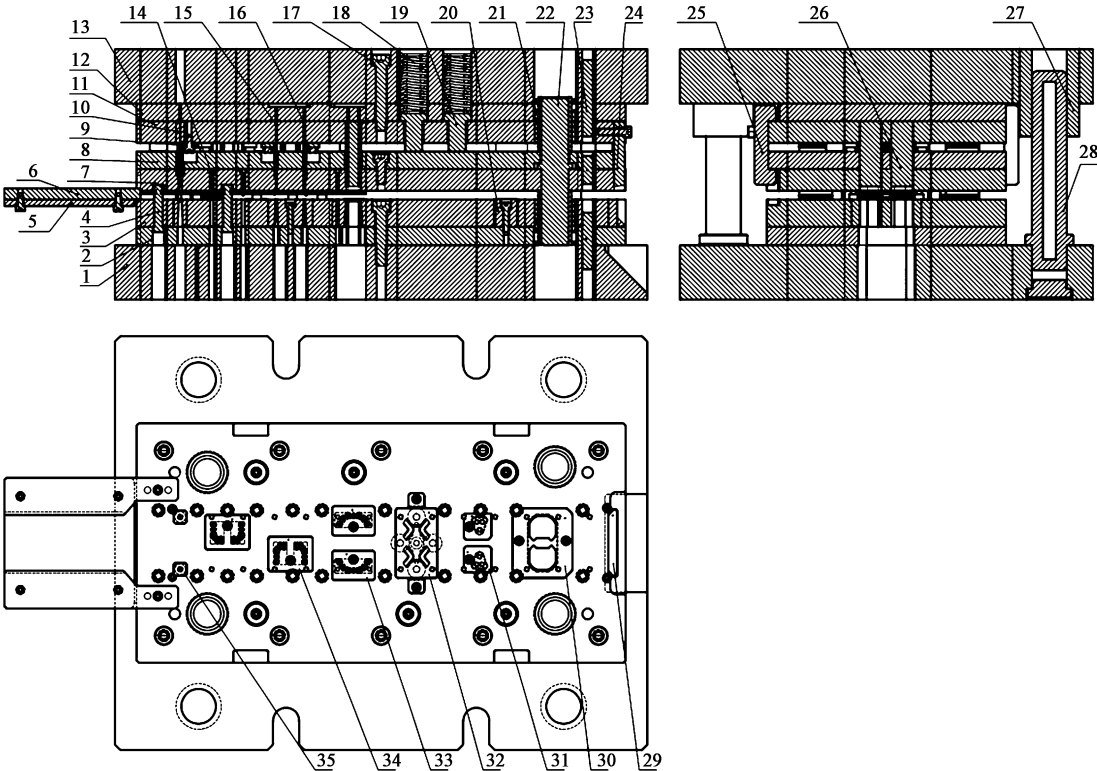


图 6 模具总装示意图

1. 下模座 2. 下垫板 3. 凹模板 4. 浮升销 5. 导料托板 6. 导料板 7. 卸料板 8. 止挡板 9. 冲头压板 10. 定位孔冲头 11. 固定板  
12. 上垫板 13. 上模座 14. 导正销 15. 侧切外形冲头 A 16. 侧切外形冲头 B 17. 锁模螺丝 18. 卸料弹簧 19. 卸料板顶杆 20. 限位柱  
21. 内导套 22. 内导柱 23. 销钉 24. 切废料冲头 25. 挂钩 26. 落料冲头 27. 外导套 28. 外导柱 29. 切废料凹模镶件  
30. 落料凹模镶件 31. 冲孔凹模镶件 32. 成形凹模镶件 33. 切外形凹模镶件 A 34. 切外形凹模镶件 B 35. 定位孔凹模镶件

Fig. 6 Schematic diagram of die assembly



图 7 冲压料带图

Fig. 7 Stamping strip diagram

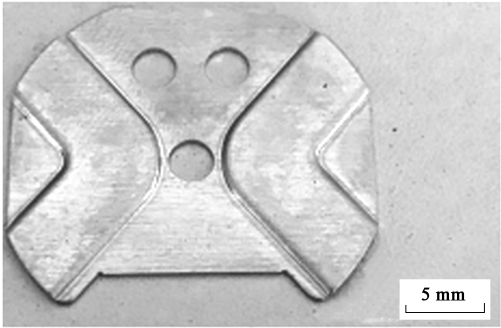


图 8 冲压产品图

Fig. 8 Stamping product map

#### 4 结论

(1) 根据零件的形状及尺寸特点，确定采用一出二的生产方式，通过对零件的排样进行分析，确定零件的冲压工序主要有冲孔、冲裁外形、成形、落料及废料切断等工序，设计了多工位级进模具，材料利用率高，生产效率高，降低了生产成本，满足生产需求。

(2) 本文以传统的模具设计为基础，从零件的排样、凸凹模冲裁间隙、导料卸料装置、导向

定位设计, 到模具保护的误送检知装置, 详细地描述了模具设计过程。此外, 本文的模具设计采用的是模具快拆结构, 能够在冲床上快速更换冲头或者拆卸其他零件, 大大降低了修模或者试模的时间成本。

(3) 最后通过试验证明, 模具结构合理, 试制零件符合生产要求。

#### 参考文献:

- [1] 张正修. 多工位连续冲压技术及应用 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2010.
- Zhang Z X. Multi-position Progressive Stamping Technique and Application [M]. Beijing: China Machine Press, 2010.
- [2] 乔女. 异形压板级进模具设计 [J]. 模具技术, 2020, (3): 21-24.
- Qiao N. Design of progressive die for heterotypic pressure plate [J]. Die and Mould Technology, 2020, (3): 21-24.
- [3] 申晨彤, 龚红英, 尤晋, 等. 基于 Dynaform 及响应面法的封头零件冲压成形及优化 [J]. 塑性工程学报, 2022, 29 (1): 54-59.
- Shen C T, Gong H Y, You J, et al. Stamping and optimization of head parts based on Dynaform and response surface method [J]. Journal of Plasticity Engineering, 2022, 29 (1): 54-59.
- [4] 程一峰, 朱英霞, 程华, 等. 5754 铝合金阶梯形圆筒件多工序冲压模拟 [J]. 塑性工程学报, 2022, 29 (6): 58-66.
- Cheng Y F, Zhu Y X, Cheng H. Multi-process stamping simulation of 5754 aluminum alloy stepped by cylinder part [J]. Journal of Plasticity Engineering, 2022, 29 (6): 58-66.
- [5] 郑晖, 栾景旺, 孙凌威. 挡板件多工位级进模设计 [J]. 锻压技术, 2021, 46 (5): 169-173.
- Zheng H, Luan J W, Sun L W. Design on multi-station progressive die for stop plate part [J]. Forging & Stamping Technology, 2021, 46 (5): 169-173.
- [6] 文根保, 熊利军, 袁开波. 轿车发动机缸盖挡尘片级进模设计 [J]. 模具工业, 2021, 47 (12): 28-33.
- Wen G B, Xiong L J, Yuan K B. Design of progressive die for dust shield of car engine cylinder head [J]. Die & Mould Industry, 2021, 47 (12): 28-33.
- [7] 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]. Mould Manufacturing, 2021, 21 (2): 1-6.
- [8] 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): 129-140.
- Mao D D. Design of multi-position progressive die for vehicle CD support [J]. Hot Working Technology, 2018, 47 (7): 129-140.
- [9] 朱乐平, 冯赞, 王成, 等. 板线材异形弹片复合成形模具设计 [J]. 锻压技术, 2021, 46 (5): 201-206.
- Zhu L P, Feng Z, Wang C, et al. Design on compound forming die for special shaped shrapnel of plate and wire materials [J]. Forging & Stamping Technology, 2021, 46 (5): 201-206.
- [10] 王希亮, 滕斌, 庄严. 弹簧片精密级进模设计 [J]. 模具工业, 2022, 48 (5): 26-28.
- Wang X L, Teng B, Zhuang Y. Design of progressive die for leaf spring [J]. Die & Mould Industry, 2022, 48 (5): 26-28.
- [11] 齐秉钧, 张天微. 滚针轴承冲压外圈连续拉伸级进模设计 [J]. 模具制造, 2021, (1): 1-5.
- Qi B J, Zhang T W. Design of drawing progressive die for the drawn cup of needle bearing [J]. Die & Mould Manufacture, 2021, (1): 1-5.
- [12] 罗益旋. 最新冲压新工艺新技术及模具设计实用手册 [M]. 长春: 银声音像出版社, 2004.
- Luo Y X. The Latest Stamping Process, New Technology and Mold Design Practical Manual [M]. Changchun: Silver Audio and Video Publishing House, 2004.
- [13] 郑家贤. 冲压模具设计使用手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2007.
- Zheng J X. Stamping Die Design Manual [M]. Beijing: Machinery Machine Press, 2007.
- [14] 李昂. 7AXX 铝合金在热压缩状态下的流变行为 [J]. 原子能科学技术, 2019, 53 (3): 504-510.
- Li A. Rheological behavior of 7AXX aluminum alloy under hot compression [J]. Atomic Energy Science and Technology, 2019, 53 (3): 504-510.
- [15] 罗仁平, 陶匡衡, 吴广新, 等. AZ31B 镁合金板材温冲压用润滑介质研究 [J]. 上海金属, 2016, 38 (3): 62-67.
- Luo R P, Tao K H, Wu G X, et al. Study on lubricating medium for AZ31B magnesium alloy plate for temperature stamping [J]. Shanghai Metal, 2016, 38 (3): 62-67.

(上接第 83 页)

- [12] 朱永博, 杨湘杰, 桂云鹏. 热挤压与热处理对半固态方法制备 7075 铝合金显微组织与拉伸性能的影响 [J]. 机械工程材料, 2018, 42 (1): 39-43.
- Zhu Y B, Yang X J, Gui Y P. Effect of hot extrusion and heat treatment on microstructure and tensile properties of 7075 aluminum alloy prepared by semi-solid method [J]. Mechanical Engineering Materials, 2018, 42 (1): 39-43.
- [13] Milkereit B, Österreich M, Schuster P, et al. Dissolution and precipitation behavior for hot forming of 7021 and 7075 aluminum alloys [J]. Metals, 2018, 8 (7): 531-531.