

板线材铍铜弹片复合成形模具设计

胡安¹, 袁全港¹, 王成^{1,2,3}, 芮延年², 王伟伟⁴

(1. 苏州经贸职业技术学院 工业互联网学院, 江苏 苏州 215009; 2. 苏州大学 机电工程学院, 江苏 苏州 215006;
3. 江苏省光伏风电控制工程技术研究中心, 江苏 苏州 215009; 4. 苏州兆能精密弹簧五金有限公司, 江苏 苏州 215009)

摘要: 针对铍铜 C17200 型优质材料在冲裁成形时的材料利用率低、制造成本高、模具结构复杂等问题, 对铍铜弹片的产品材料、结构尺寸、成形工艺等展开研究。首先, 对铍铜弹片进行了冲压排样和折弯排样工艺设计, 选取自动间歇送料、连续模冲裁和多角度数控折弯的成形工艺。其次, 对铍铜弹片成形的工艺特点和成形设备进行研究, 采用连续模冲裁方式实现了连续自动生产, 通过冲裁切断和多角度折弯的复合成形工艺保证了折弯精度, 设计了铍铜弹片冲裁机构+折弯机构复合成形的模具结构。生产试验结果显示, 该板线材铍铜弹片复合成形工艺不仅提高了产品的生产精度和原材料的使用率, 还降低了生产成本, 证明了板线材铍铜异形弹片复合成形工艺的先进性、可行性和实用性, 为该技术的应用推广奠定了基础。

关键词: 铍铜异形弹片; 连续模; 板线材; 冲裁; 折弯

DOI: 10.13330/j.issn.1000-3940.2024.05.026

中图分类号: TG386

文献标志码: A

文章编号: 1000-3940 (2024) 05-0205-07

Design on compound forming die for beryllium copper shrapnel of plate and wire

Hu An¹, Yuan Quan'gang¹, Wang Cheng^{1,2,3}, Rui Yannian², Wang Weiwei⁴

(1. Industrial Internet College, Suzhou Institute of Trade & Commerce, Suzhou 215009, China;

2. School of Mechanical and Electrical Engineering, Suzhou University, Suzhou 215006, China;

3. Jiangsu PV Wind Power Control Engineering Research and Development Center, Suzhou 215009, China;

4. Suzhou Zhaoneng Precision Spring Hardware Co., Ltd., Suzhou 215009, China)

Abstract: Aiming at the problems of low material utilization rate, high manufacturing cost and complex die structure in the stamping for high-quality material beryllium copper C17200, the product material, structural dimensions and forming process of beryllium copper shrapnel were researched. Firstly, stamping and bending layout processes of beryllium copper shrapnel were designed, and the forming processes including automatic intermittent feeding, continuous die punching and multi-angle CNC bending were selected. Secondly, the process characteristics and forming equipment of beryllium copper shrapnel forming were researched. Then, the continuous automatic production was achieved by continuous die, and a compound forming process of punching-cutting and multi-angle bending was adopted to ensure the bending accuracy. Furthermore, a die structure of compound forming of punching mechanism and bending mechanism for beryllium copper shrapnel was designed. The production test results show that the compound forming process of plate and wire beryllium copper shrapnel not only improves the production accuracy of product and the utilization rate of raw materials, but also reduces the production costs, which provides the progressiveness, feasibility and practicability of the compound forming process for plate and wire beryllium copper shaped shrapnel, and lays a practical foundation for the application and popularization of this technology.

Key words: beryllium copper shaped shrapnel; continuous die; plate and wire; punching; bending

连续模是指压力设备在一次冲压行程中, 在同

一副模具上用几个不同的工位同时完成多道冲压工序的冷冲压冲模。连续模的特点是在压力机的一次冲压行程中, 利用带状冲压原材料和几个不同的工位, 同时完成多道冲压工序。在每次冲压完成后, 模具和冲压材料 (料带) 会按照特定的距离移动, 从而实现产品的逐步成形。其可在一副模具上连续完成多种工序, 包括但不限于冲裁、成形和装配等。连续模相比传统的冲压模具, 具有生产效率高和安全性高等特点, 在薄板材料类产品生产中得到广泛应用^[1]。但连续模结构较为复杂、精度要求较高、

收稿日期: 2023-12-24; 修订日期: 2024-03-15

基金项目: 国家高技术研究发展计划 (2012AA063506); 苏州市重点产业技术创新项目 (SGC2021111); 苏州经贸职业技术学院企业横向课题 (JMHX202206); 江苏省职业院校学生创新创业培育计划项目 (G-2023-1536)

作者简介: 胡安 (2003-), 男, 专科生

E-mail: 56719123@qq.com

通信作者: 王成 (1982-), 男, 学士, 高级工程师, 副教授

E-mail: szjm4118@163.com

模具的开发周期较长,含有工艺废料,所以材料利用率较低、加工制造成本较高,是制约板线材相关产品生产制造的主要因素^[2]。

如图 1 所示,板线材数控成形设备是在冲压技术的基础上演变而来的,通过数字控制的板线材成形设备进行自动化加工,其原理是先通过送料装置将板线材料间歇性地送至成形机上并规律地移动,再经过连续模进行冲压剪裁(形成半成品),最后通过多角度的折弯机构进行多角度折弯,最终成形产品。该加工方法具有制造速度快、无工艺废料、成形精度高的特性,广泛应用于各类板线材异形复杂结构的生產。本文以电气设备中的铍铜弹片为例,详细地介绍铍铜异形弹片在连续模冲压和多角度折弯成形中的工艺设计及生产制造。

1 产品工艺性分析

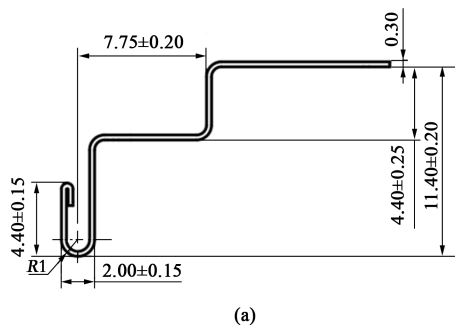
产品材质为铍铜 C17200 型高硬度、高耐腐蚀、高耐磨的变形合金,产品厚度为 0.3 mm,大批量生产,主要技术要求为:产品外形呈铍铜异形,其宽



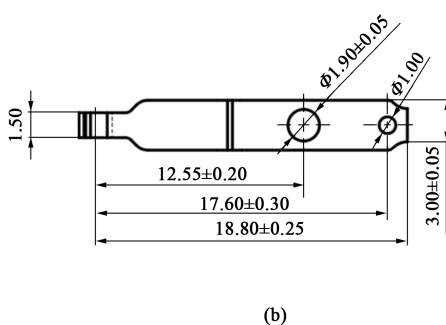
图 1 板线材数控成形设备

Fig. 1 CNC forming equipment for plate and wire

度为 3.0 mm、高度为 11.7 mm、长度为 19.8 mm, U 形头部尺寸为 2 mm,其公差为 ± 0.15 mm,大孔距尺寸为 17.6 mm,公差为 ± 0.3 mm,小孔距尺寸为 12.55 mm,公差为 ± 0.2 mm,折弯角度均为 90° 或平行角度,表面无划痕、无压伤、不可变形等,折弯部不可有压痕^[3-4]。图 2 为铍铜异形弹片 2D 平面图,图 3 为铍铜异形弹片 3D 模型图。



(a)



(b)

图 2 铍铜异形弹片 2D 平面图

(a) 侧视图 (b) 正视图

Fig. 2 2D plan views of beryllium copper shaped shrapnel

(a) Side view (b) Front view

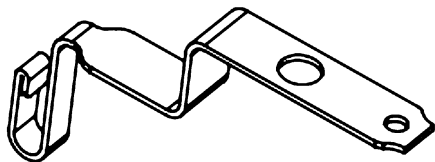


图 3 铍铜弹片的 3D 模型

Fig. 3 3D model of beryllium copper shrapnel

从图 2 中可知,该铍铜弹片产品的外观呈现蛇形,左侧 U 形、右侧 Z 形,折弯处均为圆角,相互平行或垂直,在板材正面的右侧设有 2 个小圆孔。该弹片除了两端剪裁外,还须冲切、数控折弯等多种成形工艺复合,还要保证每件产品尺寸的一致性,

成形产品的尺寸和形状精度要求比较高,生产制造的难点主要有以下 5 点:

(1) 材料较贵,工艺设计要考虑节约材料,结构设计要合理,降低损耗;

(2) 产品厚度为 0.3 mm,加工中易变形,需控制变量;

(3) 产品成形后平行度误差要小于 0.2 mm,产品宽度尺寸为 (3.0 ± 0.05) mm,尺寸精度较高;

(4) 该产品成形后的平行度和垂直度有较高要求,精度难保证^[5-6];

(5) 产品成形后有 2 处孔距定位尺寸,分别为

(12.55 ± 0.2) mm 和 (17.6 ± 0.3) mm，由于该尺寸是成形后左侧 U 形处的中心至 2 个孔中心的尺寸，同时还有 U 形中心到侧边的尺寸 (7.75 ± 0.2) mm 和 (18.8 ± 0.25) mm，4 处尺寸为关联尺寸，给产品成形后的尺寸精度带来了较大的困难^[6]。

根据铍铜弹片的外观形状、尺寸要求和板线材数控成形设备的使用要求，采用连续模冲裁、冲裁切断和多角度折弯的复合成形工艺，在确保产品交付要求的基础上可实现连续自动化生产，同时还可以节约材料、降低生产成本^[6-7]。

2 成形工艺设计

铍铜弹片整体形态呈现条状蛇形，展开长度较长，宽度窄、立体形态曲折、尺寸要求较高，需进行连续冲切、切断和折弯的复合成形以及后道热处理等多道工序^[7]。该产品为 C17200 型高硬度、高耐腐蚀、高耐磨性变形合金，价格较贵，整体工艺上先采用连续模冲裁，再进行冲裁切断，最后多角度折弯的复合成形工艺。

如图 4 所示，连续模冲裁部分的排样为单排，间歇冲裁，其步距为 38 mm，材料宽度为 3 mm，冲裁部分为单一工位：直接将 2 个小孔和两边多余的材料去除^[7-8]。

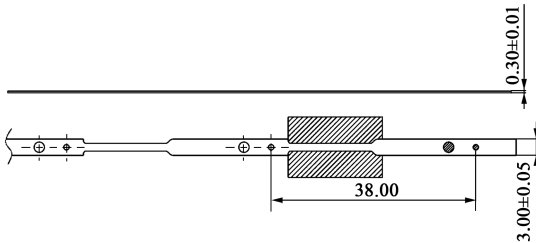


图 4 冲裁排样图
Fig. 4 Drawing of stamping layout

如图 5 所示，切断工位位于前期多余材料冲裁后和数控折弯之前，此处的精度尤为重要，是前一个产品的尾部和后一个产品的前端。切断后，左边产品立即进入折弯步骤，其顺序如图 6 所示。

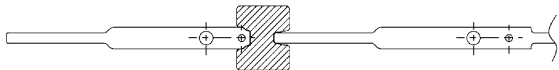


图 5 切断排样图
Fig. 5 Drawing of cutting layout

3 模具结构设计

如图 7 所示，铍铜弹片生产制造采用板线材数

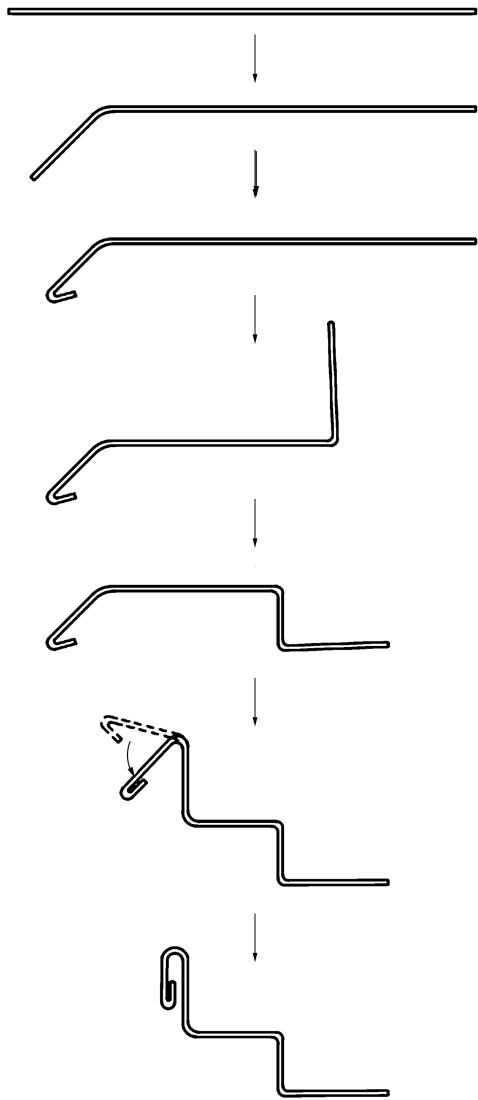


图 6 折弯排样图
Fig. 6 Drawing of bending layout

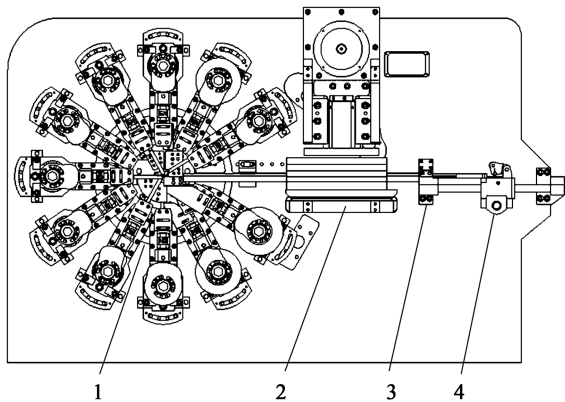


图 7 铍铜弹片成形设备结构示意图
1. 切断和多角度折弯机构 2. 模具冲裁机构 3. 平整机构
4. 送料机构

Fig. 7 Structural schematic diagram of forming equipment for beryllium copper shrapnel

控成形设备,将采购回来的板线卷材依次经送料机构—平整机构—模具冲裁机构—切断和多角度折弯机构^[8]。模具冲裁机构采用连续模冲裁方式,即送料机构将板线材每移动 1 个固定的距离,即冲裁 1 次,确保产品连续自动生产;切断和多角度折弯机构采用先切断后数控多角度折弯的复合成形加工方

式,确保产品在生产制造中的要求和效率。

3.1 冲裁机构设计

如图 8 所示。本产品需要冲裁的整体结构相对简单,可在单工位上完成,通过切边镶件 4 和冲孔镶件 5 将铍铜线材 1 上的边和 2 个圆孔进行了冲切,冲裁之后产生的废料由凹模镶件 6 落下。

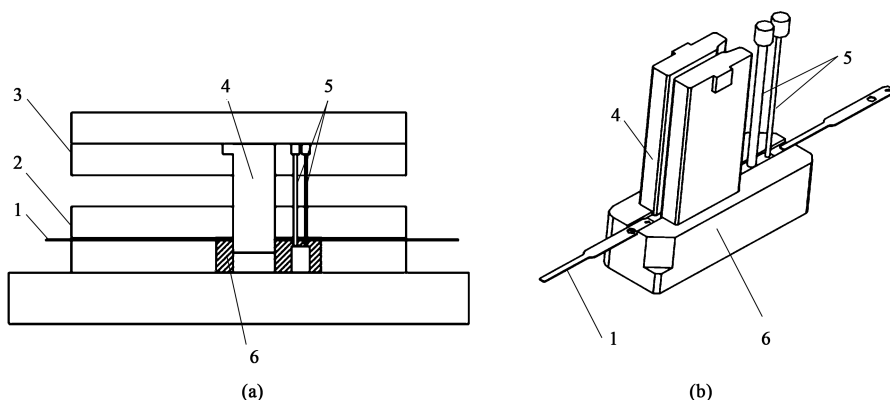


图 8 铍铜弹片连续冲裁模具结构图

(a) 模具整体结构图 (b) 模具内部镶件结构图

1. 铍铜线材 2. 冲压下模 3. 冲压上模 4. 切边镶件 5. 冲孔镶件 6. 凹模镶件

Fig. 8 Structural diagrams of continuous punching die for beryllium copper shrapnel

(a) Overall structure diagram of die (b) Structural diagram of internal inserts in die

由图 7 和图 8 可知,原材料由送料机构送进,将板线材向左送 1 次料即停留 1 下(即间歇送料),通过平整机构将卷状原材料进行平整,再送入冲裁机构。间歇送料时,铍铜线材 1 在凹模镶件 6 中向左移动,利用凹模镶件凹槽进行定位,确保冲裁时的位置精度。

3.2 折弯机构设计

如图 9 所示,产品经模具冲裁机构加工后的半成品被送入切断和多角度折弯机构,在此过程中进行切断和折弯,以及成形后的顶出。根据铍铜弹片的形状尺寸和角度要求,沿产品圆周方向布置了 1 个切断机构和 6 把折弯成形刀具,每个折弯成形刀具均配备了独立的驱动机构,根据数控程序依次进行产品的折弯,该结构整体便于加工^[8-9]。

切断是产品加工制造中不可缺少的步骤,是产品两端的形状和尺寸形成的重要步骤。对于铍铜弹片来说,是形成上 1 个铍铜弹片尾部形状和下 1 个铍铜弹片头部倒角的重要步骤,如图 10 所示。

4 工作过程

如图 9、图 11 和图 12 所示,铍铜弹片成形工艺及模具设计制造后,生产制造中的步骤如下:

(1) 将购买回来的成形线材 41 接入,经前期

调整后,送料机构间歇送料,平整机构将卷材捋直,将板线材间歇送入模具冲裁机构中;

(2) 冲裁机构依次成形排样设计图(图 4)中的 2 个圆孔及两侧边的冲裁;

(3) 部分已成形的成形线材 41 通过定位导向块 G31,进入定位导向块 F25 上方;

(4) 伺服电机 B5 正转,驱动移动组件 B6 移动,带动成形刀 B7 沿定位导向块 C22 和定位导向块 D23 之间向右下方移动,直至将成形线材 41 折弯在成形块 B40 上,保持当前位置;

(5) 伺服电机 F17 正转,驱动移动组件 F18 移动,带动成形刀 F19 沿定位导向块 A20 与定位导向块 B21 之间向右上方移动,直至将成形线材 41 折弯在成形块 B40 上,保持当前位置;

(6) 电磁阀 2YA 和 3YA 同时得电,液压泵驱使液体进入各自液压缸内,活塞杆 A27 驱动冲切固定板 A28、冲切固定板 B30 向下运动,同时,活塞杆 B34 驱动冲切凹模 33 向上运动,冲切定位杆 37 对已成形的孔进行定位,冲切镶件 36 与冲切凹模 33 进行冲切剪裁工作,在中间指定位置将成形线材 41 切断^[10];

(7) 电磁阀 2YA 和 3YA 同时失电,电磁阀 2YB 和 3YB 同时得电,液体流入各自液压缸的另一

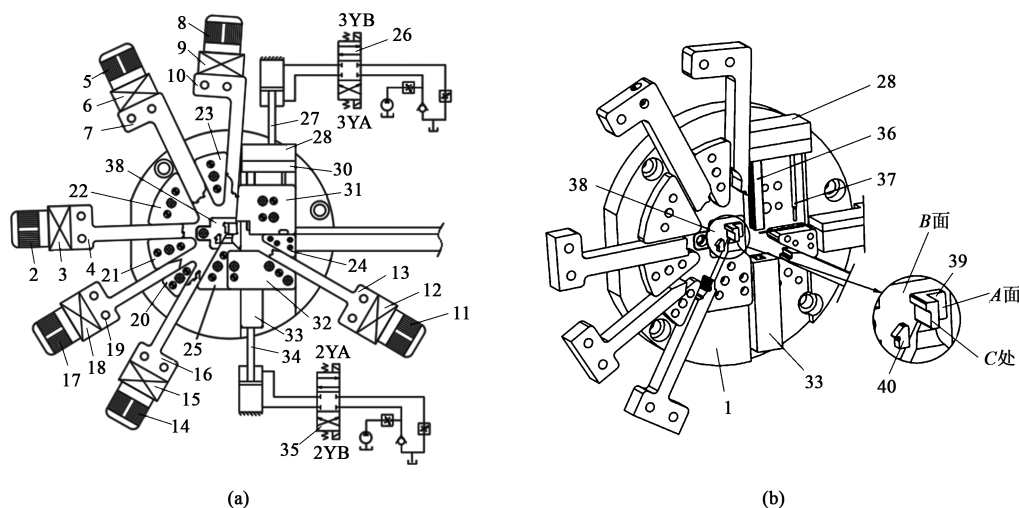


图9 多工位复合折弯结构图

(a) 折弯结构平面图 (b) 折弯结构立体图

1. 圆盘底座 2. 伺服电机 A 3. 移动组件 A 4. 成形刀 A 5. 伺服电机 B 6. 移动组件 B 7. 成形刀 B 8. 伺服电机 C 9. 移动组件 C 10. 成形刀 C 11. 伺服电机 D 12. 移动组件 D 13. 成形刀 D 14. 伺服电机 E 15. 移动组件 E 16. 切割导向块 E 17. 伺服电机 F 18. 移动组件 F 19. 成形刀 F 20. 定位导向块 A 21. 定位导向块 B 22. 定位导向块 C 23. 定位导向块 D 24. 定位导向块 E 25. 定位导向块 F 26. 换向阀 A 27. 活塞杆 A 28. 冲切固定板 A 30. 冲切固定板 B 31. 定位导向块 G 32. 定位导向块 H 33. 冲切凹模 34. 活塞杆 B 35. 换向阀 B 36. 冲切镶件 37. 冲切定位杆 38. 成形镶块 39. 成形块 A 40. 成形块 B

Fig. 9 Structure diagram of multi-station compound bending

(a) Plan view of bending structure (b) 3D diagram of bending structure

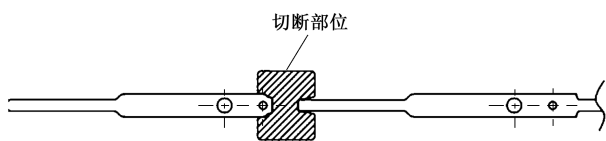


图10 铍铜弹片切断部位图

Fig. 10 Diagram of cutting parts for beryllium copper shrapnel

侧,将冲切凹模 33 向下运动复位,冲切固定板 A 28、冲切固定板 B 30 向上运动,复位;到达位置后,换向阀 A 26、换向阀 B 35 切换到中位功能;

(8) 伺服电机 D 11 正转,驱动移动组件 D 12 移动,带动成形刀 D 13 沿定位导向块 E 24 和定位导向块 H 32 之间向左上方移动,直至将成形线材 41 折弯在成形块 A 39 上;折弯后,伺服电机 D 11 反转,成形刀 D 13 复位^[11];

(9) 伸缩伺服电机 A 42 反转,驱动伸缩杆 A 43 向左移动,带动成形块 A 39 向左移动一定距离(A 面低于 B 面即可,与成形刀 C 10 无运动干涉,C 处须继续后续的成形工作);

(10) 伺服电机 C 8 正转,驱动移动组件 C 9 移动,带动成形刀 C 10 沿定位导向块 D 23 和定位导向块 G 31 之间向下方移动,将已成形的成形线材 41 再次折弯在定位导向块 F 25 上端,并保持当前夹紧

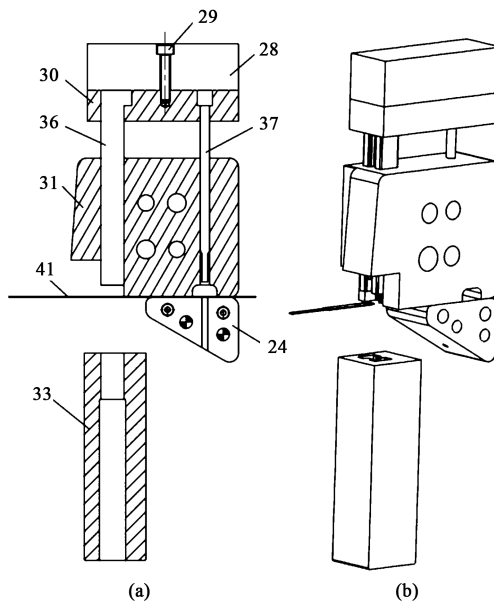


图11 铍铜弹片切断剖面图(a)和结构图(b)

28. 冲切固定板 A 29. 冲切螺钉 30. 冲切固定板 B 31. 定位导向块 G 33. 冲切凹模 36. 冲切镶件 37. 冲切定位杆 41. 成形线材

Fig. 11 Section view (a) and structural diagram (b) of beryllium copper shrapnel cutting

位置;

(11) 伺服电机 B 5、伺服电机 F 17 同时反转,带动成形刀 B 7、成形刀 F 19 后退复位;

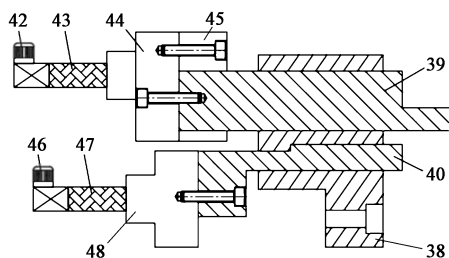


图 12 成形产品脱模结构图

38. 成形镶块 39. 成形块 A 40. 成形块 B 42. 伸缩伺服电机 A
43. 伸缩杆 A 44. 伸缩定位块 45. 伸缩过渡块 A
46. 伸缩伺服电机 B 47. 伸缩杆 B 48. 伸缩过渡块 B

Fig. 12 Structure diagram of formed product demolding

(12) 伸缩伺服电机 B46 反转, 驱动伸缩杆 B47 向左移动, 带动成形块 B40 向左移动一定距离;

(13) 伺服电机 E14 正转, 驱动移动组件 E15 移动, 带切割导向块 E16 沿定位导向块 A20 和定位导向块 F25 之间向右上方移动, 将成形线材 41 折弯在成形块 A39 左边的凹平面上 (C 处), 保持当前位置;

(14) 伺服电机 A2 正转, 驱动移动组件 A3 移动, 带动成形刀 A4 沿定位导向块 B21 和定位导向块 C22 之间向右移动, 将成形线材 41 折弯在成形块 A39 左边;

(15) 伺服电机 E14 反转、伺服电机 A2 反转,

带动切割导向块 E16、成形刀 A4 分别复位; 产品成形脱落;

(16) 再将成形后的每个产品平铺, 经过热处理后, 最终形成产品。

以上是铍铜异形弹片实际生产制造过程, 重复以上步骤, 即可实现无人化生产。

铍铜弹片成形设备实物图、多角度成形过程实物图以及成品分别如图 13、图 14 和图 15 所示。该产品经仪器检测和疲劳寿命试验, 各项尺寸、外观、硬度、弹性和产品寿命均达到了客户要求, 经客户确认, 符合要求, 同意供货^[12]。

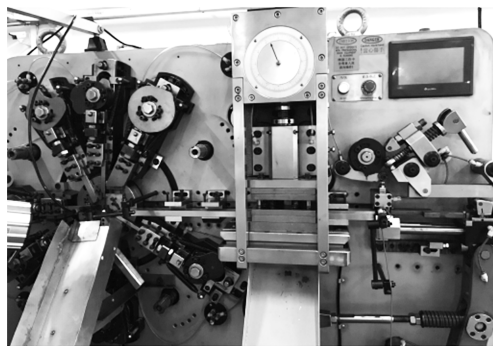
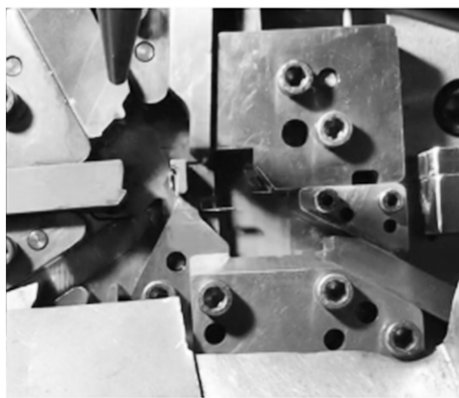


图 13 铍铜弹片成形设备实物图

Fig. 13 Physical diagram of beryllium copper shrapnel forming equipment



(a)



(b)

图 14 铍铜弹片多工位数控折弯成形过程实物图

(a) 折弯状态 1 (b) 折弯状态 2

Fig. 14 Physical diagrams of multi-station CNC bending process for beryllium copper shrapnel

(a) Bending state 1 (b) Bending state 2

5 结论

(1) 采用间歇送料、连续模冲裁和多角度数控折弯的复合成形方式, 工序合理、结构紧凑, 使该

铍铜产品极大地减少了材料开支, 节约了成本。

(2) 冲裁机构采用间歇性连续冲裁, 利用凹模镶件凹槽两侧进行定位, 确保冲裁时的位置精度, 提高了自动化程度。

(3) 多角度数控折弯采用了孔定位、平面压

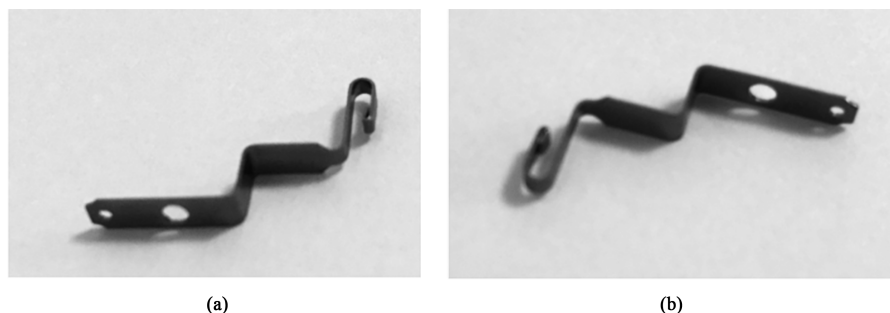


图15 铍铜弹片成品图

(a) 成品1 (b) 成品2

Fig. 15 Finished product drawings of beryllium copper shrapnel

(a) Finished product 1 (b) Finished product 2

紧、冲裁切断、挤压折弯成形和顶出脱模的顺序折弯工艺,提高了加工效率,简化了模具结构,降低了生产成本。

(4) 经实际生产实践证明,该产品采用连续模冲裁方式和多工位数控折弯复合成形工艺,形状和位置精度公差 ≤ 0.2 mm,有效保证了产品的成形精度,相比纯冲压方式,材料费节约了1/3、模具成本降低了1/2,降低了生产制造的成本,缩短了研发周期,单台设备每分钟成形30件,提高了生产效率,证实了该板线材铍铜异形弹片复合成形工艺复合成形工艺的可行性和实用性。

参考文献:

- [1] 张正修. 冲模结构设计方法、要点及实例 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2007.
Zhang Z X. Method, Points and Examples of Die Design [M]. Beijing: China Machine Press, 2007.
- [2] 陈琰嗣. 多工位连续模设计与制造 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.
Chen Y S. Design and Manufacturing of Multi-position Progressive Die [M]. Beijing: China Machine Press, 2006.
- [3] 冯赞, 王超, 王成, 等. 板线材金属弹簧双向弹片复合成形设备设计 [J]. 锻压技术, 2022, 47 (6): 224-230.
Feng Z, Wang C, Wang C, et al. Design of bidirectional spring composite forming equipment for sheet metal wire [J]. Forging & Stamping Technology, 2022, 47 (6): 224-230.
- [4] 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.
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.
- [5] 毛丹丹. 车载CD支架多工位连续模的设计 [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.
- [6] 王端义. 基于DEFORM的5052铝合金板料防水铆接成形研究 [J]. 锻压技术, 2023, 48 (12): 81-86.
Wang D Y. Research on waterproof riveting forming of 5052 aluminum alloy sheet based on DEFORM [J]. Forging & Stamping Technology, 2023, 48 (12): 81-86.
- [7] 杨荣祥, 金龙建. 窗帘支架扣件多工位连续模设计 [J]. 制造技术与机床, 2016, (9): 137-140.
Yang R X, Jin L J. Design of multi position progressive die for curtain bracket fastener [J]. Manufacturing Technology & Machine Tool, 2016, (9): 137-140.
- [8] 刘宁, 冯竞慧, 李欢, 等. 某车型内高压成形结构后副车架产品与工艺开发 [J]. 锻压技术, 2023, 48 (9): 81-88.
Liu N, Feng J H, Li H, et al. Development of sub frame products and processes for high-pressure formed structures in a certain vehicle model [J]. Forging & Stamping Technology, 2023, 48 (9): 81-88.
- [9] 陈建伟, 周志明, 桑卓越, 等. 新能源汽车空心电机轴复合成形工艺数值模拟及优化 [J]. 锻压技术, 2023, 48 (4): 8-15.
Chen J W, Zhou Z M, Sang Z Y, et al. Numerical simulation and optimization on composite forming process for hollow motor shaft of new energy vehicle [J]. Forging & Stamping Technology, 2023, 48 (4): 8-15.
- [10] 高盛沅, 姜开宇, 白景方. 铝型材生产过程的自动化改造 [J]. 锻压技术, 2023, 48 (9): 149-155.
Gao S Y, Jiang K Y, Bai J F. Automation transformation of aluminum profile production process [J]. Forging & Stamping Technology, 2023, 48 (9): 149-155.
- [11] 汪永明, 董书豪, 李偲. 冲裁间隙对弯链板冲孔断面质量及凸模磨损的影响 [J]. 锻压技术, 2023, 7 (3): 68-74, 115.
Wang Y M, Dong S H, Li N. Influence of blanking clearance on punching section quality and punch wear for bend chain plate [J]. Forging & Stamping Technology, 2023, 47 (3): 68-74, 115.
- [12] 王成, 朱乐平, 钟永春, 等. 一种弹片成形设备及其成型方法 [P]. 中国: CN202010421477.2, 2020.
Wang C, Zhu L P, Zhong Y C, et al. A fragment forming equipment and its forming method [P]. China: CN202010421477.2, 2020.