

平顶链链板自动冲压成形系统设计

刘述庆^{1,2,3,4}, 孙 建^{1,2,3}, 汪小敏⁴, 汪永明⁴

(1. 铜陵学院 机械工程学院, 安徽 铜陵 244061; 2. 工程液压机器人安徽普通高校重点实验室, 安徽 铜陵 244061;
3. 安徽省铜基新材料共性技术研究中心, 安徽 铜陵 244061; 4. 安徽工业大学 机械工程学院, 安徽 马鞍山 243002)

摘要: 为提高平顶链链板精度和生产效率, 根据平顶链链板冲压成形工艺, 以及生产效率要求, 设计了一套多工位自动冲压成形系统, 其中包括冲压模具结构设计以及送料系统设计。冲压模具结构设计包括预弯模具、折弯模具以及卷圆模具的结构设计, 并利用 ABAQUS 有限元分析软件进行冲压模拟仿真, 改进模具尺寸, 提高链板成形精度。送料系统设计包括储料装置、自动送料装置结构设计及相关设备选型。为了实现自动化冲压生产, 自动送料装置采用的是三自由度横杆式结构。最后, 完成了样机制作和实验, 试生产出的平顶链链板合格率达到 97.83%, 生产效率达每分钟 9 件, 结果表明, 所设计的平顶链链板自动冲压成形系统达到了链板的生产精度和生产效率要求。

关键词: 平顶链链板; 多工位; 自动冲压; 冲压模具; 送料系统

DOI: 10.13330/j.issn.1000-3940.2023.09.021

中图分类号: TP386 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3940 (2023) 09-0168-09

Design on automatic stamping system for flat top chain plate

Liu Shuqing^{1,2,3,4}, Sun Jian^{1,2,3}, Wang Xiaomin⁴, Wang Yongming⁴

(1. College of Mechanical Engineering, Tongling University, Tongling 244061, China;
2. Key Laboratory of Construction Hydraulic Robots of Anhui Higher Education Institutes, Tongling 244061, China;
3. New Copperbased Material Industry Generic Technology Research Center of Anhui Province, Tongling 244061, China;
4. School of Mechanical Engineering, Anhui University of Technology, Ma'anshan 243002, China)

Abstract: In order to improve the accuracy and production efficiency of flat top chain plate, according to the stamping process and production efficiency requirements of flat top chain plate, a multi-station automatic stamping system was designed, including the design of stamping die structure and feeding system, and the design of stamping die structure included the structural design of pre-bending die, bending die and rolling die. Then, the stamping simulation was carried out by finite element analysis software ABAQUS to improve the die size and the forming accuracy of chain plate, and the design of feeding system included the structural design of storage device, automatic feeding device and selection of related equipment. In order to realize the automatic stamping production, the automatic feeding device adopted a three-degree-of-freedom cross-bar structure. Furthermore, the prototype production and experiments were completed, the qualified rate of the trial produced flat top chain plate reached 97.83%, and the production efficiency reached nine pieces per minute. The result shows that the designed automatic stamping system for flat top chain plate meets the production accuracy and production efficiency requirements of chain plate.

Key words: flat top chain plate; multi-station; automatic stamping; stamping die; feeding system

近年来, 随着汽车、家电、航空等制造业的不断发展, 对板料冲压工艺技术的要求也越来越高^[1]。冲压自动化、冲压方法、冲压设备均在不断

的发展和更新^[2-6]。瑞士 GUDEL 公司研发的高速自动化冲压生产线由线首、线间和线尾 3 大部分组成, 整个自动化冲压生产过程需要人工参与的环节很少, 大大节约了人力资源, 且生产规模大、生产效率高^[7]。日本小松公司于 1988 年研发了世界上首台伺服多工位压力机, 随着二十多年来的不断发展, 小松公司已经拥有了生产汽车全部零部件的全规格伺服压力机自动化生产线^[8]。相比于国外, 国内对自动化冲压生产线的研究较晚, 济南二机床集团有限公司是国内汽车冲压生产线装备的领军者, 凭借着

收稿日期: 2023-01-31; 修订日期: 2023-05-02

基金项目: 安徽省高等学校自然科学基金项目 (2022AH051760);
安徽高校科学研究重大项目 (2022AH040247)

作者简介: 刘述庆 (1995-), 男, 硕士, 助教

E-mail: shuqing7617@163.com

通信作者: 孙 建 (1988-), 男, 博士研究生, 讲师

E-mail: sjxa0913@163.com

先进的冲压自动化生产线技术曾多次与美国福特公司合作。无锡市苏普尔自动化设备有限公司研发的双臂式多工位自动冲压生产线^[9]，依托于具有三自由度的自动送料装置，实现不同工位同时冲压，达到了一次多件的冲压效果，大大提高了生产效率。

为提高平顶链链板的生产效率和加工精度，实现不同工位同时冲压。分析链板冲压成形工艺，基于 Solid Works 软件进行多工位模具、储料装置以及自动送料装置的三维设计，并进行平顶链链板冲压成形仿真，对模具尺寸进行修正，最后完成样机制作与实验，以验证所设计的平顶链链板自动冲压成形系统生产出的工件精度以及生产效率是否达到生产要求。

1 平顶链链板冲压工艺分析

平顶链种类较多，常应用于啤酒、饮料等罐装

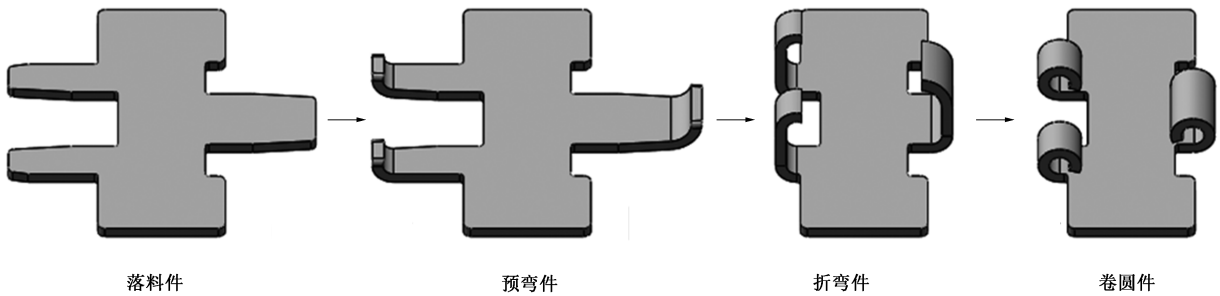


图 1 平顶链链板生产制造工艺流程
Fig. 1 Manufacturing process flow of flat top chain plate

(2) 如图 2b 所示，预弯件经折弯工序后，要求折弯角度为 $(90^{\circ}\pm1^{\circ})$ 。

(3) 如图 2c 所示，折弯件经卷圆工序后，形成卷圆件，即成品平顶链链板，多个平顶链链板通过销两两相连组成平顶链链条。要求成形卷圆件的固定销孔直径为 $\Phi 6.16^{+0.06}_{-0.10}$ mm、活动铰孔直径为 $\Phi 6.56^{+0.06}_{-0.10}$ mm、中心距为 $38.10^{0}_{-0.12}$ mm。

(4) 整体要求生产效率每分钟不低于 8 件。

2 多工位模具结构设计

2.1 预弯模具结构设计

依据预弯件工艺尺寸进行预弯模具结构设计，图 3 为预弯模具结构图。快速液压机启动冲压时，预弯上模随冲床向下运动，抵住放置在预弯浮动定位块凹槽中的落料件，并继续随冲床向下运动，在向下运动的过程中，落料件的左右两端会与布置在

物品输送线，以 C13S 平顶链为例，进行平顶链链板自动冲压成形系统设计。链号为 C13S 的平顶链链板的主要材料参数如表 1 所示^[10-11]。

表 1 C13S 平顶链链板材料参数
Table 1 Material parameters of C13S flat top chain plate

链号	材料	弹性模量/ GPa	泊松比	屈服极限/ MPa	强度极限/ MPa	质量/ kg
C13S	马氏体 铬不锈钢	206	0.34	440	675	2.62

如图 1 所示，平顶链链板的生产需要 4 道基本工序来完成：落料→预弯→折弯→卷圆。

各工序的工件结构虽然较为简单，但是却有着严格的工艺要求，每道工序成形工件的主要工艺要求如下：

(1) 如图 2a 所示，落料件经预弯工序后，要求预弯件两侧的预弯高度分别为 $7.50^{+0.20}_{-0.20}$ mm 和 $8.90^{+0.20}_{-0.20}$ mm。

预弯下模里的预弯左右滚轮接触，在滚轮的作用下，将落料件两端滚弯，制成预弯件，冲床回程时，安装在预弯下垫板里的弹簧通过预弯浮动顶销将预弯浮动定位块顶起，将冲压形成的预弯件顶出，待送料装置拾取转运。为将落料件两侧卷起圆弧高度分别为 $7.50^{+0.20}_{-0.20}$ mm 和 $8.90^{+0.20}_{-0.20}$ mm，初定预弯左侧双滚轮直径为 $\Phi 26.6$ mm，预弯右侧单滚轮直径为 $\Phi 26.3$ mm。

2.2 折弯模具结构设计

折弯模具和预弯模具的作用、结构相似，图 4 为折弯模具结构图。快速液压机启动冲压时，折弯上模随冲床向下运动，当向下运动接触到折弯浮动定位块时，抵住放置在折弯浮动定位块上的预弯件继续向下运动。在向下运动的过程中预弯件的左右两端会与布置在折弯下模里的折弯左右滚轮接触，在滚轮滚动作用下，将预弯件制成折弯件。冲床回程时，安装在折弯下垫板里的弹簧通过折弯浮动顶销将折弯浮动定位块顶起，将冲压形成的折弯件顶

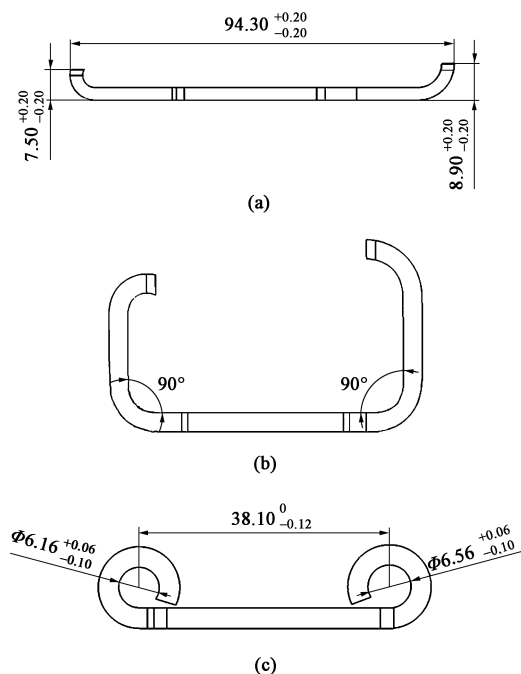


图 2 冲压成形工件尺寸要求
(a) 预弯件关键尺寸图 (b) 折弯件关键尺寸图
(c) 卷圆件关键尺寸图

Fig. 2 Size requirements for stamping workpiece

- (a) Key dimensional drawing of pre-bent part
(b) Key dimensional drawing of bent part
(c) Key dimensional drawing of rolled part

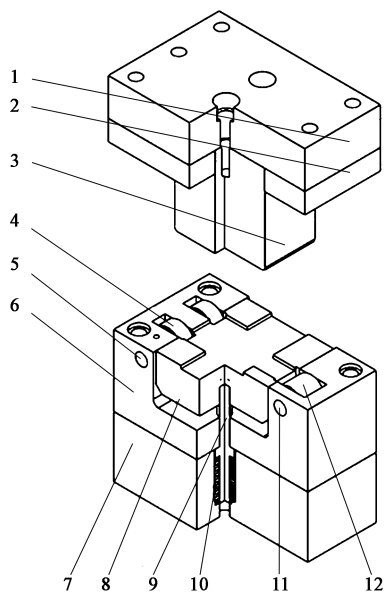


图 3 预弯模具结构图

1. 预弯上垫板 2. 预弯上模座 3. 预弯上模 4. 预弯左侧双滚轮
5. 销轴 (左) 6. 预弯下模 7. 预弯下垫板 8. 预弯浮动定位块
9. 预弯浮动顶销 10. 弹簧 11. 销轴 (右) 12. 预弯右侧单滚轮

Fig. 3 Structure diagram of pre-bending die

出,待送料装置拾取转运。依据折弯件关键尺寸要求,初定折弯左侧双滚轮直径为 $\Phi 25.20$ mm,折弯

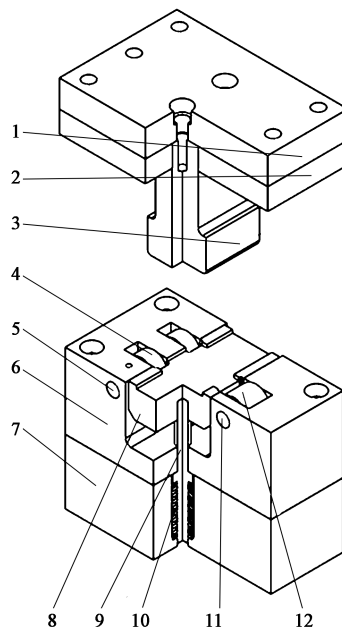


图 4 折弯模具结构图

1. 折弯上垫板 2. 折弯上模座 3. 折弯上模 4. 折弯左侧双滚轮
5. 销轴 (左) 6. 折弯下模 7. 折弯下垫板 8. 折弯浮动定位块
9. 折弯浮动顶销 10. 弹簧 11. 销轴 (右) 12. 折弯右侧单滚轮

Fig. 4 Structural diagram of bending die

右侧单滚轮直径为 $\Phi 27.00$ mm。

2.3 卷圆模具结构设计

依据卷圆件工艺尺寸进行卷圆模具结构设计,卷圆模具的整体结构如图 5 所示。为了便于模具加工和维修,卷圆模具的上、下模均采用拼接式结构。卷圆铰孔上模和卷圆销孔上模拼接组成卷圆上模,卷圆销孔下模和卷圆铰孔下模拼接组成卷圆下模。卷圆模具的工作原理为:冲床冲压启动时,安装在气缸导杆上的校孔棒在气缸作用下伸出并与卷圆下模前定位块接触,随后冲床带动卷圆上模向下运动,与卷圆下模共同作用,将折弯件冲压制成卷圆件,冲压完成后,校孔棒在气缸的拉力作用下退至原位。

卷圆模具的重点结构包括卷圆上模(卷圆销孔上模、卷圆铰孔上模)、卷圆下模(卷圆销孔下模、卷圆铰孔下模)以及校孔棒(销孔用校孔棒、铰孔用校孔棒)。初定卷圆销孔上模的圆弧半径为 6.15 mm,卷圆铰孔上模的圆弧半径为 6.35 mm,两卷圆模的圆弧中心距为 38.2 mm,铰孔用校孔棒的直径为 $\Phi 6.50$ mm,销孔用校孔棒的直径为 $\Phi 6.10$ mm^[12]。

卷圆销孔下模圆角半径的计算公式如式(1)所示^[13]:

$$R_1 = \frac{r_1}{1 + \frac{3R_{el}}{E} \cdot \frac{r_1}{t}} \quad (1)$$

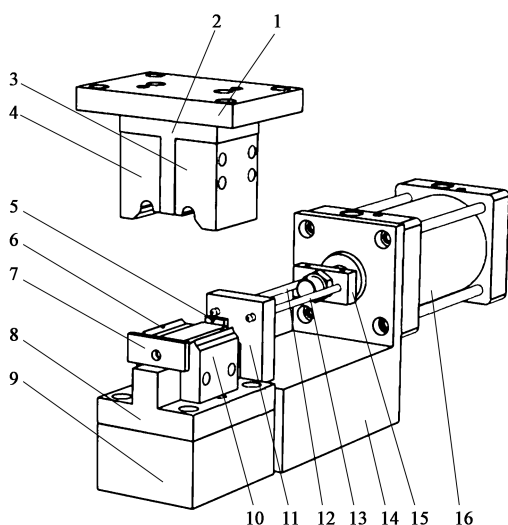


图5 卷圆模具结构图

1. 卷圆上垫板 2. 卷圆上模座 3. 卷圆铰孔上模 4. 卷圆销孔上模
5. 卷圆下模后定位块 6. 卷圆销孔下模 7. 卷圆下模前定位块
8. 卷圆下模座 9. 卷圆下垫板 10. 卷圆铰孔下模
11. 校孔棒导向块 12. 销孔用校孔棒 13. 铰孔用校孔棒 14. 支座
15. 校孔棒固定块 16. 气缸

Fig. 5 Structure diagram of rolling die

式中： R_1 为卷圆销孔下模圆角半径，mm； r_1 为卷圆件的销孔外径，mm； R_{eL} 为工件材料的屈服强度，MPa； E 为工件材料的弹性模量，MPa； t 为工件厚度，mm。

其中卷圆件的销孔外径为 $\Phi 6.20$ mm，根据表 1 将相关数值带入至式 (1)，计算可得卷圆销孔下模圆角半径 $R_1 = 6.14$ mm。

卷圆铰孔下模圆角半径的计算公式如式 (2) 所示：

$$R_2 = \frac{r_2}{1 + \frac{3R_{eL}}{E} \cdot \frac{r_2}{t}} \quad (2)$$

式中： R_2 为卷圆铰孔下模圆角半径，mm； r_2 为卷圆件的铰孔外径，mm。

其中卷圆件的铰孔外径为 $\Phi 6.35$ mm，根据表 1 将相关数值带入至式 (2)，计算可得卷圆铰孔下模圆角半径 $R_2 = 6.29$ mm。

对卷圆销孔上模与卷圆铰孔上模设计大小相同的圆角，保证卷圆工作的顺利进行以及卷圆时不产生偏移，下面进行卷圆销孔上模与卷圆铰孔上模圆角半径的计算：

$$R_d = kt \quad (3)$$

式中： R_d 为卷圆销孔上模与卷圆铰孔上模圆角半径，mm； k 为系数，根据板料厚度取 $k=2.5$ 。

根据式 (3)，带入相关数据，计算可得卷圆销

孔上模与卷圆铰孔上模的圆角半径 $R_d = 7.75$ mm。

2.4 平顶链链板多工位冲压成形仿真

为提高链板冲压成形精度，在完成预弯、折弯、卷圆模具结构设计之后，利用有限元分析软件进行冲压成形仿真^[14-15]，根据仿真结果对模具关键尺寸加以修正，修正后的预弯左侧双滚轮直径为 $\Phi 28.6$ mm，预弯右侧单滚轮直径为 $\Phi 29.8$ mm，折弯左侧双滚轮直径为 $\Phi 25.10$ mm，折弯右侧单滚轮直径为 $\Phi 25.50$ mm，卷圆销孔上模半径为 6.12 mm，卷圆铰孔上模半径为 6.35 mm，卷圆销孔下模半径为 6.14 mm，卷圆铰孔下模半径为 6.28 mm。

如图 6~图 11 所示，在模具修正后的预弯成形仿真实验中，预弯件的最大等效应力为 550.5 MPa，预弯件左右两侧卷起高度分别为 7.55 和 8.81 mm，折弯件的最大等效应力为 498.7 MPa，折弯角度分别为 90.36° 和 90.12° ，卷圆件的最大等效应力为 600 MPa，成形仿真的固定销孔直径为 $\Phi 6.14$ mm，活动铰孔直径为 $\Phi 6.54$ mm，中心距为 38.08 mm，各工位成形仿真的工件尺寸达到要求，最大等效应力小于工件所能承受的最大等效应力。

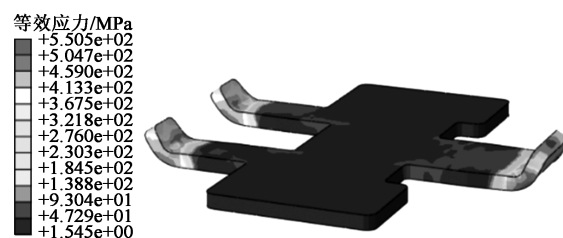


图6 预弯件等效应力分布图

Fig. 6 Equivalent stress distribution diagram of pre-bent part

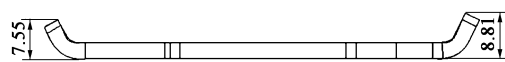


图7 预弯成形仿真后预弯件关键尺寸

Fig. 7 Key dimensions of pre-bent part after pre-bending simulation

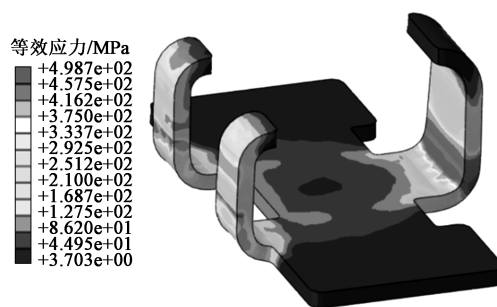


图8 折弯件等效应力分布图

Fig. 8 Equivalent stress distribution diagram of bent part

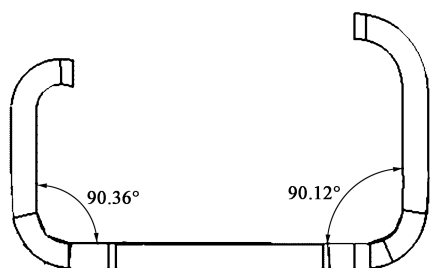


图 9 折弯成形仿真后的折弯件关键尺寸

Fig. 9 Key dimensions of bent part after bending simulation

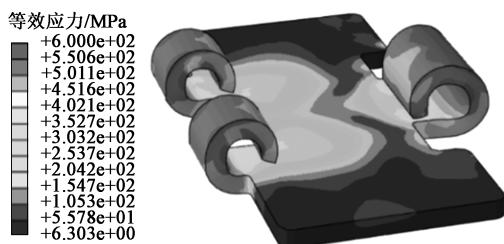


图 10 卷圆件等效应力分布图

Fig. 10 Equivalent stress distribution diagram of rolled part

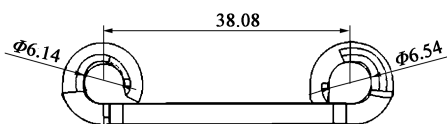


图 11 卷圆成形仿真后的卷圆件关键尺寸

Fig. 11 Key dimensions of rolled part after rolling simulation

最后,完成整体平顶链链板多工位冲压模具结构设计,如图 12 所示。

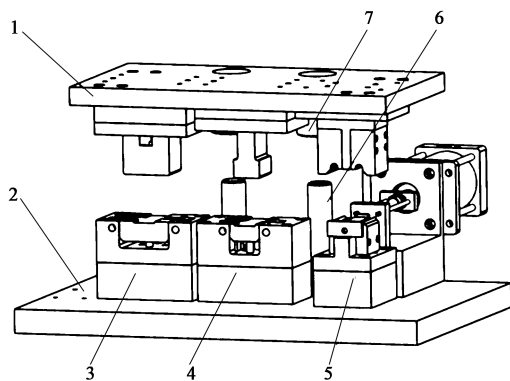


图 12 多工位冲压模具整体结构图

1. 上模板 2. 下模板 3. 预弯模 4. 折弯模 5. 卷圆模
6. 导柱 7. 导套

Fig. 12 Overall structure diagram of multi-station stamping die

3 储料装置结构设计

储料装置主要负责储存落料件,并将落料件运送至指定待取位置,配合自动送料装置完成取料工

作。图 13 为储料装置结构图,先由人工将大量落料件整齐摆放在储料装置中,当储料装置开始工作时,循环往复地将落料件送至待取位置,再由自动送料装置完成后续转运工作。

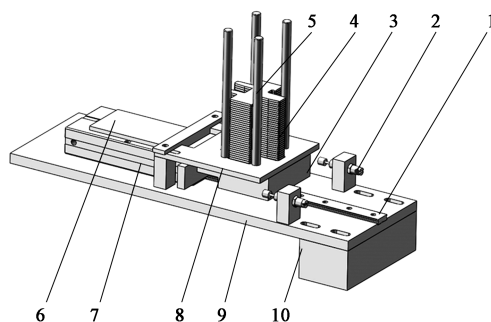


图 13 储料装置结构图

1. 导轨 2. 缓冲器 3. 气缸连接块 4. 工件 5. 储料杆 6. 推板
7. 气缸 8. 储料盘 9. 储料底板 10. 支撑块

Fig. 13 Structural diagram of storage device

其中 4 根储料杆固定安装在储料盘上,对存放在储料盘上的工件起到定位作用,在储料杆定位作用下,储料盘上最多可存放 120 个工件。气缸连接块的左侧与气缸导杆相连,气缸连接块底部通过滑块安装在导轨上。推板固定安装在气缸连接块前端的上表面。储料盘上有定位工件的通槽,工作时气缸推杆推动气缸连接块和推板向右运动,落在气缸连接块里的工件被送出,此时推板位于储料盘下方,抵住工件无法下落,当气缸复位时,气缸连接块回至原位,此时储料盘里的工件自动落在气缸连接块的凹槽里。储料装置工作时,根据冲压节奏重复上述动作,不断将工件送出。

4 自动送料装置设计

4.1 执行机构设计与相关设备选型

在自动化生产中,执行机构是实现自动送料预期功能的首要环节,执行机构包括真空吸盘和送料横杆。

4.1.1 真空吸盘选型

真空吸盘的作用是吸取工件,为后续转运工作做好准备。初步选取 ZPT 系列平型真空吸盘,吸盘所能吸取的负载重量必须大于单个工件的重量,吸盘负载与理论提升力满足以下关系:

$$W \geq \frac{S \times F_G}{Z} \quad (4)$$

$$F_G = m_s g \quad (5)$$

式中: W 为理论提升力, N; F_G 为吸盘负载力, N; S 为安全系数,对于水平吸附时,一般取 4; Z 为吸

取单个工件的吸盘数目, 本文取 $Z=2$; m_s 为单个工件的质量, kg; g 为重力加速度, ($\text{N} \cdot \text{kg}^{-1}$)。

根据式 (4) 和式 (5), 可得 $W \geq 1.86 \text{ N}$, 因此, 选用吸盘的吸附力至少要大于 1.86 N , 考虑实际工况, 通过查阅 SMC 品牌 ZPT 系列吸盘选型说明书, 最终确定吸盘型号为 ZPT16U-J30-A10。

4.1.2 真空发生器选型

选用真空吸盘 SMC-ZPT16U-J30-A10 的直径为 $\Phi 16 \text{ mm}$, 为了保证工件吸取稳定, 需要选用合适的真空发生器, 确保真空吸盘能够顺利将工件吸起并转运。初步选用 CHELIC 气立可真空发生器 EV 系列。以下进行具体选型计算:

$$P = \frac{4GS}{\pi D^2 Z} \quad (6)$$

式中: P 为吸盘真空度, MPa; G 为工件所受重力, N; D 为真空吸盘直径, mm。

根据式 (6) 计算可得, 真空吸盘内所需达到的真空度为 9.2 kPa 。选用送气管内径为 $\Phi 3.5 \text{ mm}$, 从真空发生器到吸盘的管长为 1.2 m 。下面进行真空发生器的最大吸入流量计算:

$$Q = \frac{60V}{T} \quad (7)$$

$$V = \frac{\pi d^2 l}{4000} \quad (8)$$

$$Q_M = \frac{Q}{\lambda} \quad (9)$$

式中: Q 为平均吸入流量, ($\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$); V 为送气管容积, L; T 为水平吸附时间, 对于水平吸附时, 取 1 s ; d 为送气管内径, mm; l 为送气管管长, m; Q_M 为最大吸入流量, ($\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$); λ 为系数, 取 0.3 。

根据式 (7) 和式 (8) 可知, 真空发生器的平均吸入流量 Q 为 $0.6923 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$, 带入式 (9), 计算可得最大吸入流量 Q_M 为 $2.3 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ 。考虑到真空发生器在自动送料装置中需要控制 4 根管以及 8 个真空吸盘。为了保证自动送料装置工作正常, 参考 EV 系列真空发生器选型说明, 最终选用 EV-25 真空发生器。

4.1.3 送料横杆的结构设计

送料横杆末端用来安装真空吸盘, 前端通过位置安装板安装在传动运输机构上, 在传输机构驱动下, 可在 X 、 Y 、 Z 这 3 个方向完成工件转运工作。考虑实际生产工况、模具工位、快速敏捷、轻量化以及强度和刚度等多种因素的影响, 送料横杆由铝

合金材质制成, 整体重量仅为 1.1 kg , 其结构如图 14 所示。

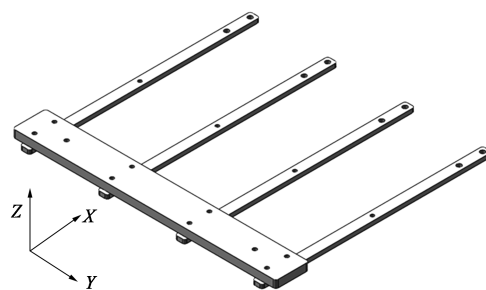


图 14 送料横杆结构图

Fig. 14 Structural diagram of feeding cross bar

4.2 传输机构设计与相关设备选型

传输机构作为自动送料装置的关键部分, 主要完成送料横杆在 X 、 Y 、 Z 这 3 个方向的运输工作, 对传动设备以及整体结构的稳定性有着较高的要求。现采用滚珠丝杠线性模组完成送料横杆在 X 和 Y 轴方向的运动, 采用气缸完成送料横杆在 Z 轴方向的运动。

表 2 为滚珠丝杠线性模组所要驱动的主要零部件的重量。根据平顶链链板多工位自动冲压成形实际工况, 结合表 2, 采用两台滚珠丝杠线性模组完成送料横杆在 X 和 Y 方向的传动需求。

表 2 待驱动主要零部件重量

Table 2 Weight of main components to be driven

名称	送料横杆	位置安装板	丝杠连接板	气缸	吸盘等
数量/件	4	1	1	2	8
总重量/kg	1.1	5.9	6.7	1.2	0.3

4.2.1 Y 轴滚珠丝杠线性模组选型设计

如图 15 所示, 滚珠丝杠线性模组所受扭矩有 3 种^[7]: 滚动扭矩 M_R 、俯仰扭矩 M_p 以及偏摆扭矩 M_Y 。Y 轴滚珠丝杠线性模组在 Y 方向往复运动的过程中主要受俯仰扭矩 M_p 作用。

(1) 额定载荷 F_{e1}

$$F_{e1} = K_A F_{a1} \quad (10)$$

式中: K_A 为工况系数, 一般取 2; F_{a1} 为 Y 轴滚珠丝杠线性模组载荷, N。

将相关数据带入式 (10), 计算可得 $F_{e1} = 204 \text{ N}$ 。

(2) 俯仰扭矩 M_p

$$M_p = F_{a1} d_1 \quad (11)$$

式中: d_1 为载荷质心到 Y 轴滚珠丝杠线性模组的距离, $d_1 = 200 \text{ mm}$ 。

将相关数据带入式 (11), 计算可得俯仰扭矩

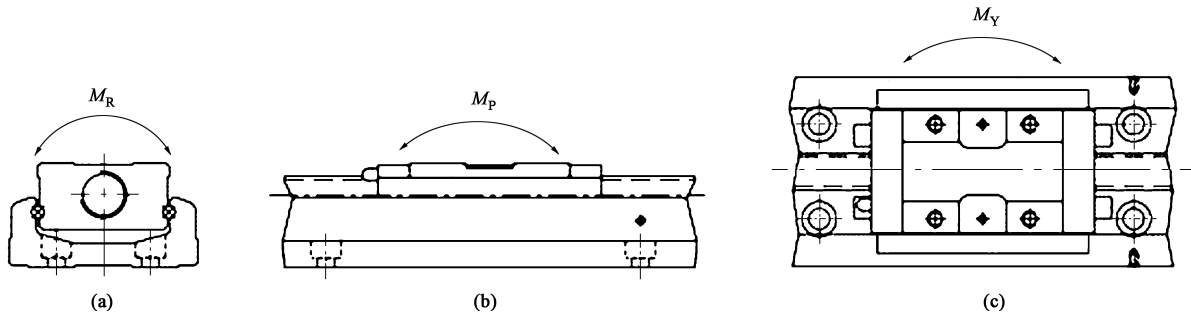


图 15 滚珠丝杠线性模组负载情况

(a) M_R (b) M_P (c) M_Y

Fig. 15 Load situations of ball screw linear module

$M_P = 76 \text{ N} \cdot \text{m}$ 。

通过以上选型计算,参考滚珠丝杠线性模组选型手册,最终选择上银 HK60-200A1F0 型号滚珠丝杠线性模组,其导轨长度为 200 mm,重量为 0.87 kg,额定动载荷为 4484 N,额定静载荷为 5760 N,俯仰扭矩 M_P 为 $84 \text{ N} \cdot \text{m}$ 。

4.2.2 X 轴滚珠丝杠线性模组选型设计

X 轴滚珠丝杠线性模组在 X 方向往复运动的过程中主要受滚动扭矩 M_R 作用。

(1) 额定载荷 F_{e2}

$$F_{e2} = K_A F_{a2} \quad (12)$$

式中: F_{a2} 为 X 轴滚珠丝杠线性模组载荷, N。

将相关数据带入式 (12), 计算可得 $F_{e2} = 504 \text{ N}$ 。

(2) 滚动扭矩 M_R

$$M_R = F_{a2} d_2 \quad (13)$$

式中: d_2 为载荷质心到 X 轴滚珠丝杠模组的距离, $d_2 = 200 \text{ mm}$ 。

将相关数据带入式 (13), 计算可得滚动扭矩 $M_R = 100.8 \text{ N} \cdot \text{m}$ 。

通过以上选型计算,参考滚珠丝杠线性模组选型手册,考虑到实际工况,最终选择上银 HK86-740A1F0 型号滚珠丝杠线性模组,其导轨长度为 740 mm,重量为 4.6 kg,额定动载荷为 10760 N,额定静载荷为 16072 N,滚动扭矩 M_R 为 $523 \text{ N} \cdot \text{m}$ 。

4.3 自动送料装置整体结构

通过对重点结构的设计以及相关设备选型,完成自动送料装置的三维模型设计,如图 16 所示。

4.4 平顶链链板自动冲压成形系统总体结构

通过以上对平顶链链板多工位自动冲压模具、储料装置以及自动送料装置结构设计,采用 Solid Works 建模软件对总体机构进行建模,建模完成后的总体结构图如图 17 所示。

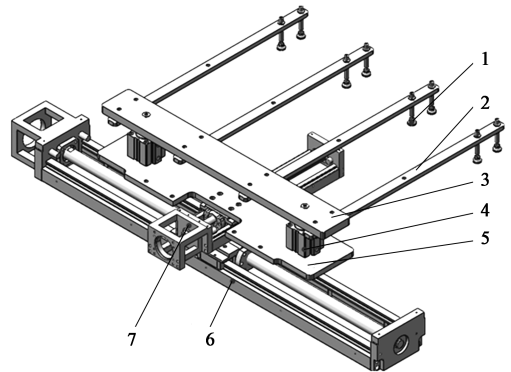


图 16 自动送料装置结构图

1. 吸盘 2. 送料横杆 3. 位置安装板 4. Z 轴气缸 5. 丝杠连接板
6. Y 轴滚珠丝杠线性模组 7. X 轴滚珠丝杠线性模组

Fig. 16 Structural diagram of automatic feeding device

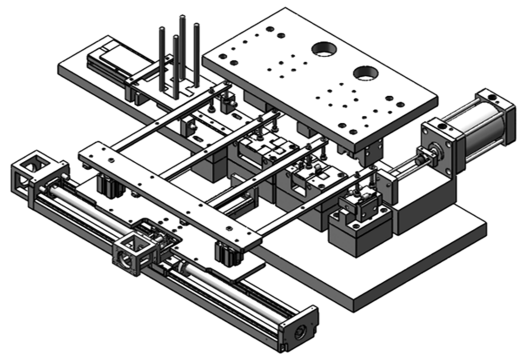


图 17 平顶链链板自动冲压成形系统总体结构图

Fig. 17 Overall structure diagram of automatic stamping system for flat top chain plate

5 样机制作与实验

根据平顶链链板自动冲压成形系统设计,进行样机制作和样机实验。如图 18 所示,在液压机工作平台上完成平顶链链板自动冲压成形系统装配,在

完成电气检查和运动部件性能检测后进行负载试生产。

各工位生产的平顶链链板如图 19 所示。在稳定试生产 10 min 内共生产的 92 件工件中，按图 2c 中卷圆件的关键尺寸要求进行合格率检测，检测发现仅有 2 件成形卷圆件不合格。从检测结果来看，链板成形合格率达到 97.83%，生产效率达每分钟 9 件。平顶链链板多工位自动冲压成形系统冲压制成的工件满足生产要求，生产效率达到指定要求。

6 结论

(1) 分析了平顶链链板多工位自动冲压成形工艺，对预弯模具、折弯模具、卷圆模具分别进行了结构设计。其中预弯模具和折弯模具采用滚轮滚弯的形式来达到工件弯曲效果；卷圆模具的上下模采用拼接式结构，同时为了提高卷圆成形精度，设置了校孔装置。完成了三自由度横杆式自动送料装置结构设计以及自动储料装置结构设计，实现了多工位同步冲压。

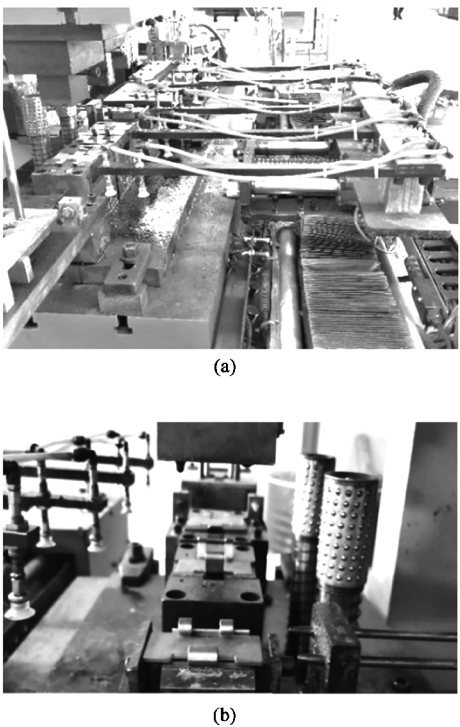


图 18 平顶链链板试生产
(a) 自动送料装置 (b) 多工位冲压模具
Fig. 18 Trial production of flat top chain plate
(a) Automatic feeding device (b) Multi-station stamping die

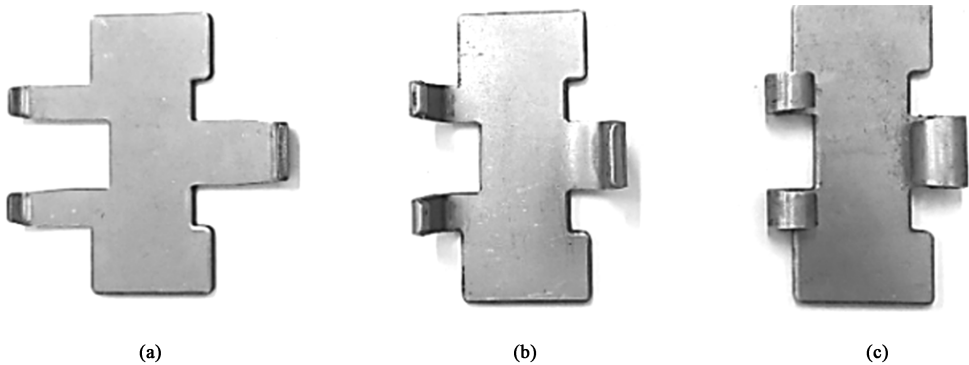


图 19 自动化生产中各工位的平顶链链板
(a) 预弯件 (b) 折弯件 (c) 卷圆件
Fig. 19 Flat top chain plate at each station during automatic production
(a) Pre-bent part (b) Bent part (c) Rolled part

(2) 完成了样机制作和实验。从试生产结果来看，成形工件合格率达到 97.83%，生产效率达每分钟 9 件，冲压生产出的平顶链链板满足设计尺寸要求，生产效率高。

参考文献：

[1] 李光耀, 王琥, 杨旭静, 等. 板料冲压成形工艺与模具设计制造中的若干前沿技术 [J]. 机械工程学报, 2010, 46 (10): 31-39.
Li G Y, Wang H, Yang X J, et al. Some frontier technologies in sheet metal stamping forming process and mold design and manu-

facturing [J]. Journal of Mechanical Engineering, 2010, 46 (10): 31-39.
[2] Azamirad G, Arezoo B. Structural design of stamping die components using bi-directional evolutionary structural optimization method [J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2016, 87 (1): 969-979.
[3] Ai S, Lu B, Chen J, et al. Evaluation of deformation stability and fracture mechanism in incremental sheet forming [J]. International Journal of Mechanical Sciences, 2017, 124-125: 174-184.
[4] Gmyrek Z, Cavagnino A, Ferraris L. Estimation of the magnetic properties of the damaged area resulting from the punching process;

- Experimental research and fem modeling [J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 2013, 49 (5): 2069-2077.
- [5] Shanbhag V V, Rolfe B F, Arunachalam N, et al. Investigating galling wear behaviour in sheet metal stamping using acoustic emissions [J]. Wear, 2018, 414: 31-42.
- [6] 徐超辉, 郑悦, 韩翠红, 等. 汽车连接片多工位级进模设计 [J]. 锻压技术, 2022, 47 (11): 201-206.
- Xu C H, Zheng Y, Han C H, et al. Multi-station progressive die design of automotive connecting piece [J]. Forging & Stamping Technology, 2022, 47 (11): 201-206.
- [7] 胡继涛. 销合链链板多工位冲压自动送料系统的设计与研究 [D]. 马鞍山: 安徽工业大学, 2020.
- Hu J T. Design and Research of Multi-station Stamping Automatic Feeding System for Pin Chain [D]. Ma'anshan: Anhui University of Technology, 2020.
- [8] 鹿竞超. 多工位压力机伺服送料机构优化设计与分析 [D]. 秦皇岛: 燕山大学, 2019.
- Lu J C. Optimal Design and Analysis of Servo Feeding Mechanism of Transfer Press [D]. Qinhuangdao: Yanshan University, 2019.
- [9] 周玉明. 冲压生产线自动送料装置设计与仿真分析 [D]. 重庆: 重庆大学, 2016.
- Zhou Y M. Design and Simulation Analysis of Automatic Feeding Device for Stamping Production Line [D]. Chongqing: Chongqing University, 2016.
- [10] 李存利. 热处理工艺对 2Cr13 不锈钢组织影响及性能研究 [D]. 西安: 长安大学, 2019.
- Li C L. Study on Microstructure and Properties of 2Cr13 Stainless Steel by Heat Treatment Process [D]. Xi'an: Changan University, 2019.
- [11] 谭淞年, 李全超, 张洪伟, 等. 某航空光电稳定平台方位框架设计和分析 [J]. 应用光学, 2016, 37 (3): 327-331.
- Tan S N, Li Q C, Zhang H W, et al. Design and analysis of azimuth frame of an aviation optoelectronic stability platform [J]. Journal of Applied Optics, 2016, 37 (3): 327-331.
- [12] 方建国, 方长梅. 采用有支承孔代替钻头扩孔加工平顶链铰卷 [J]. 机械传动, 2012, 36 (1): 69-70.
- Fang J G, Fang C M. Flat top chain hinge reaming using supported calibres instead of drill bit reaming [J]. Mechanical Transmission, 2012, 36 (1): 69-70.
- [13] 翁齐星, 段保山. 链板冲压工艺及模具设计 [J]. 模具工业, 1996, (6): 16-18.
- Weng Q X, Duan B S. Chain stamping process and mold design [J]. Mold & Mold Industry, 1996, (6): 16-18.
- [14] 汪永明, 唐成涛, 刘述庆, 等. 平顶链链板卷圆冲压成形模具的设计与仿真 [J]. 锻压技术, 2022, 47 (12): 175-181.
- Wang Y M, Tang C T, Liu S Q, et al. Design and simulation of flat top chain plate coiling stamping forming die [J]. Forging & Stamping Technology, 2022, 47 (12): 175-181.
- [15] 吴斌, 唐鼎承, 贺小帆, 等. 激光金属沉积 TA15 钛合金工字梁疲劳性能研究 [J]. 稀有金属, 2022, 46 (5): 545-553.
- Wu B, Tang D C, He X F, et al. Fatigue behavior of laser metal deposition TA15 titanium alloy universal beam [J]. Chinese Journal of Rare Metals, 2022, 46 (5): 545-553.

《锻压技术》杂志敬告新老广告客户

2023 年广告征集工作火热进行中。本刊主要承接锻造、冲压、旋压、辊锻、摆辗、斜轧、横轧和楔横轧设备及锻压辅助设备, 仪器、仪表、模具工业、工业加热设备、热处理设备、加热技术、摩擦与润滑、工艺材料和锻件、冲压件、管件及其特种成形件 (旋压、辊锻、摆辗、斜轧、横轧和楔横轧) 等广告; 各科研院所科技成果转让、企业介绍等与本行业相关的广告。您选择《锻压技术》进行广告宣传的理由:

(1) 平台大, 宣传效果好:

- 全国中文核心期刊, 全国锻压行业会刊, 是锻压领域知名、精品期刊;
- 与中国机械总院集团北京机电研究所有限公司、中国机械工程学会塑性工程分会、全国锻压标准化技术委员会密切合作;
- 报道内容全, 发行量大。

(2) 服务全, 广告费用低:

立体式全方位宣传, 杂志、网站和微信等纸媒和数字媒体宣传渠道。

请登录本刊网站, 点击“广告合作”查询具体广告价目。

为了使您的产品能够保持畅销的势头, 不断占领国内外市场, 请您抓紧时间安排贵公司在本刊刊登的广告计划。欢迎广大新老客户踊跃咨询、积极预定。需刊登广告者, 敬请与本刊联系。愿我们真诚的服务能为您创造良好的效益。

地址: 北京市海淀区学清路 18 号《锻压技术》编辑部 广告部 邮编: 100083

联系人: 林玉彤 手机: 18811346037 E-mail: fst_linyutong@163.com

电话: 010-62920652 Http: //www.fstjournal.net

