

离合器外圈钻孔专用机床的设计与研究

刘晨^{1,2}, 袁嫣红^{1,2}, 张银龙^{1,2}, 甄小军³, 陈天杰¹

¹浙江理工大学机械工程学院, 浙江 杭州

²浙江理工大学新昌技术创新研究院, 浙江 绍兴

³浙江勇峰智能科技有限公司, 浙江 绍兴

收稿日期: 2023年7月24日; 录用日期: 2023年9月7日; 发布日期: 2023年9月14日

摘要

针对目前离合器外圈钻孔领域存在的钻孔效率低、自动化水平不高等问题, 结合实际生产工艺设计, 研制了一种多工位离合器外圈自动钻孔装备。该自动钻孔机由自动上料装置、多工位转盘装置、自动下料装置, PLC以及人机交互控制系统等组成, 能够实现产品的上料、钻孔、倒角以及下料等功能。经生产实践证明, 该装备操作简单、安全可靠, 生产效率及自动化水平高, 使用维护方便, 能够满足企业的实际生产需求。

关键词

离合器外圈, 多工位, 自动化, PLC, 人机交互系统

Design and Research of a Special Machine Tool for Drilling the Outer Ring of a Clutch

Chen Liu^{1,2}, Yanhong Yuan^{1,2}, Yinlong Zhang^{1,2}, Xiaojun Zhen³, Tianjie Chen¹

¹Faculty of Mechanical Engineering, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou Zhejiang

²Xinchang Zhejiang Sci-Tech University Technology Innovation Research Institute Co. LTD., Shaoxing Zhejiang

³Zhejiang Yongfeng Intelligent Technology Co., Ltd., Shaoxing Zhejiang

Received: Jul. 24th, 2023; accepted: Sep. 7th, 2023; published: Sep. 14th, 2023

Abstract

In response to the current problems of low drilling efficiency and low automation level in the field of clutch outer ring drilling, a multi-station automatic drilling equipment for clutch outer ring has been designed and developed based on actual production processes. The automatic Hole punch is

composed of an automatic feeding device, a multi station rotary table device, an automatic blanking device, a PLC and a human-computer interactive control system, which can realize the functions of feeding, punching, chamfering and blanking of products. Through production practice, it has been proven that the equipment is easy to operate, safe and reliable, with high production efficiency and automation level, convenient to use and maintain, and can meet the actual production needs of enterprises.

Keywords

Clutch Outer Ring, Multi Station, Automation, PLC, Human-Computer Interaction System

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

机床工业是关系国民经济发展的支柱产业，是装备制造业的加工母机，几乎所有金属切削、成形过程均需借助机床实现[1]，专用机床是一种适用于某一工件和工件某一加工工序类型的机床，并且常常是自动化生产线和生产制造系统中必不可少的组成部分[2]。由于专用机床是根据特定需求“量身定制”的产品，具有针对性强和自动化程度高的优点，是特定工件大批量生产的理想装备[3]。Heeyoung Maeng 等[4]针对平面多孔零件加工，设计了具有多主轴头的主传动系统及立柱导向进给机构，提高了专用机床的适应性和加工精度。Wenqin Xu 等[5]提出一种针对压缩机活塞加工的专用机床设计方法，有效提高了加工质量和加工效率。Yun Zhang 等[6]研究设计了四种机床的控制系统，实现了专用机床相同传动机构控制的自由切换。

离合器是传动系统里重要的元部件，在工作机的启停、换向及变速等方面起着重要的作用[7]。它广泛应用于航空航天、汽车、机床、包装、印刷、纺织、轻工及家用设备等领域[8] [9] [10]。离合器外圈是离合器的重要零部件，它通过螺栓固定在离合器中。随着“中国制造 2025”的提出，离合器外圈的需求量也在不断上升，因此，迫切的需要提高离合器外圈的钻孔效率[11]。通过调研发现，国内大多数企业对于离合器外圈的钻孔都采用人工操作机械设备进行实现，这种生产方式比较依赖操作工人的生产经验，生产效率低下，而且质量也难以得到有效的保证，难以满足各领域日益增长的需求[12]。

为了提高离合器外圈的钻孔效率和生产品质，本文利用 Solidworks 设计了一款多工位的离合器外圈自动钻孔装备。该装备以九工位的转盘组件为核心机械结构，利用减速电机带动凸轮分割器进行间歇运动，并通过传感器控制间歇时间，从而实现多工位的同时工作，通过 PLC 控制气动系统及电机系统完成离合器外圈的上料、钻孔及倒角等工序。各工位可以通过替换不同规格的零部件并调整相关参数，能够实现不同规格产品的切换。经实验验证，该装备生产效率高，使用维护方便，能够满足企业的实际生产需求。

2. 多工位离合器外圈钻孔装备的总体方案设计

2.1. 离合器外圈钻孔工艺分析

在对离合器外圈进行钻孔时，共计需要进行六个孔的加工。需要加工的三个 $\phi 6$ 孔均匀分布在与产品同心的 $\phi 67.88$ 的圆上，另外三个 $\phi 3.2$ 孔均匀分布在与产品同心的 $\phi 51$ 的圆上，相邻的两孔之间的角度为 60° ，如图 1 所示。

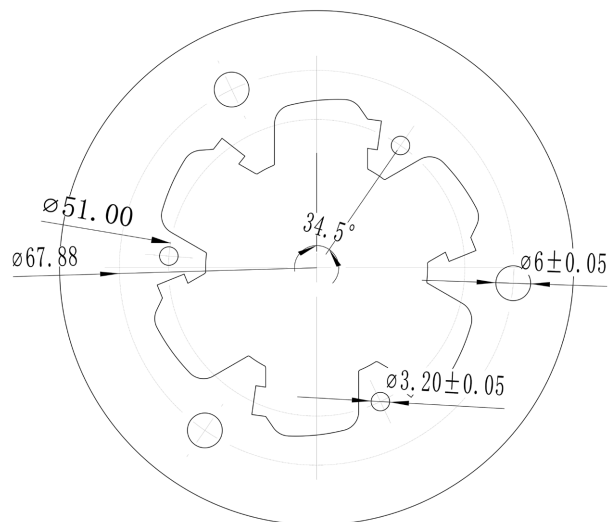


Figure 1. Punching process diagram of clutch outer ring
图 1. 离合器外圈钻孔工艺图

2.2. 多工位离合器外圈钻孔装备的总体方案

为了提高离合器外圈的钻孔效率和自动化水平，多工位离合器外圈钻孔装备通过自动上料装置、转盘组件和自动下料装置来解决离合器外圈钻孔的主要问题，该装备的总体方案如图 2 所示。

离合器外圈钻孔装备在工作时，首先由气缸带动推杆将料仓内的产品推至自动上料传送带并将其传至上料工位，然后由上料机械手将产品夹抓至转盘上，并依次进入钻孔工位，待六个孔加工完成后，进入两个倒角工位，完成上倒角和下倒角之后，由下料机械手将产品夹抓至下料传送带上传送离开。自动钻孔装备上的各个工位同时独立工作，互不干扰。

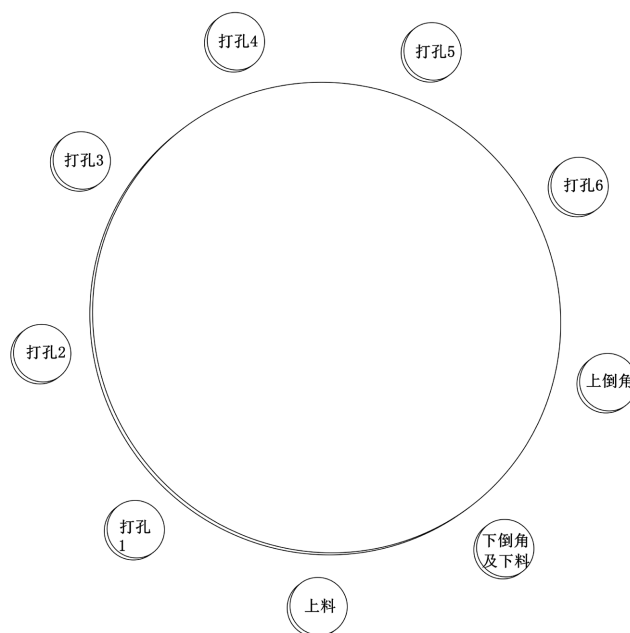


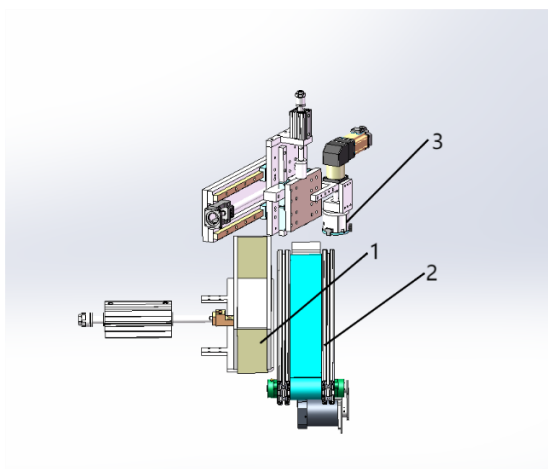
Figure 2. General drawing of clutch outer ring drilling equipment
图 2. 离合器外圈钻孔装备总体图

3. 多工位离合器外圈钻孔装备的机械结构设计

多工位离合器外圈钻孔装备由自动上料装置、转盘组件以及自动下料装置组成。

3.1. 自动上料装置

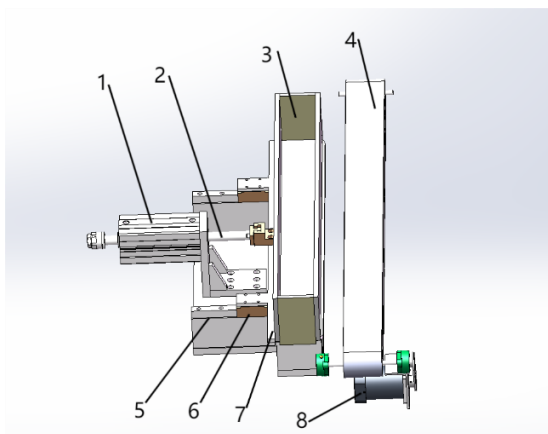
在设计中,自动上料装置主要由料仓、传送带以及上料机械手组成,该模块动作流程如下:推料气缸安装在气缸安装板上,气缸的推杆通过螺栓与推板连接,推板通过螺栓与滑块相连,滑块安装在导轨上,气缸通过推杆带动推板进而带动滑块,然后将推料箱内的产品推至传送带上,然后由传送带电机带动传送带将产品运送至待抓取区。上料机械手进行抓取时,电机通过转动带动横向丝杠转动从而带动横向滑块的移动,从而实现上料机械手在水平方向的运动,通过纵向气缸带动推杆的伸缩,可以实现上料机械手在垂直方向的运动,通过三爪气缸的气动控制,可以实现产品的抓取,通过伺服电机的控制,可以实现三爪气缸的旋转,从而将产品抓取加工工位上。各机械机构如图 3~6 所示。



1-料仓; 2-传送带; 3-上料机械手。

Figure 3. Structure diagram of automatic feeding device

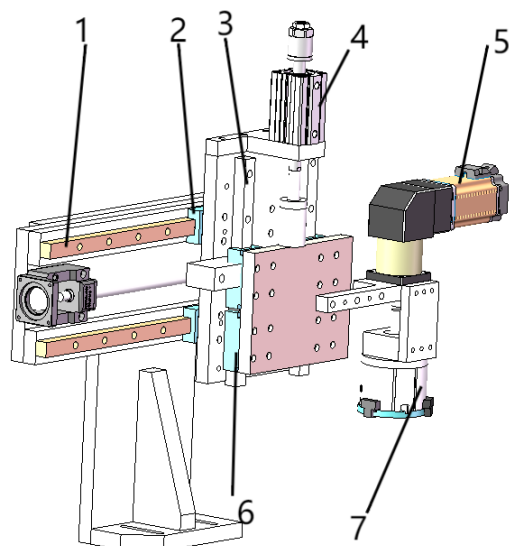
图 3. 自动上料装置结构图



1-推料气缸; 2-推杆; 3-推料箱; 4-传送带; 5-滑块安装板; 6-滑块; 7-推料板; 8-传送带电机。

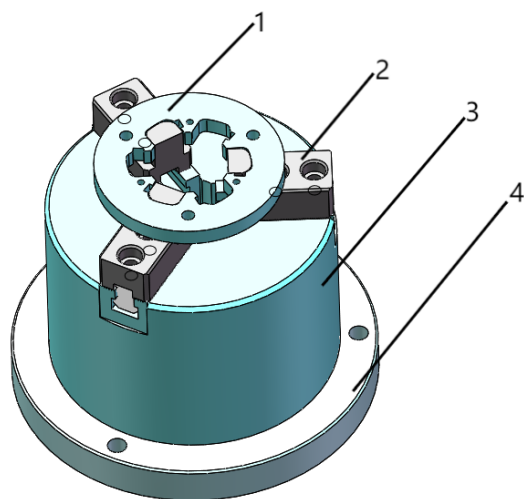
Figure 4. Structure diagram of silo and conveyor belt

图 4. 料仓及传送带结构图



1-横向导轨；2-横向滑块；3-纵向导轨；4-纵向气缸；
5-伺服电机；6-纵向滑块；7-三爪气缸。

Figure 5. Structural drawing of loading manipulator
图 5. 上料机械手结构图



1-产品；2-三爪；3-气动卡盘；4-三爪安装块。

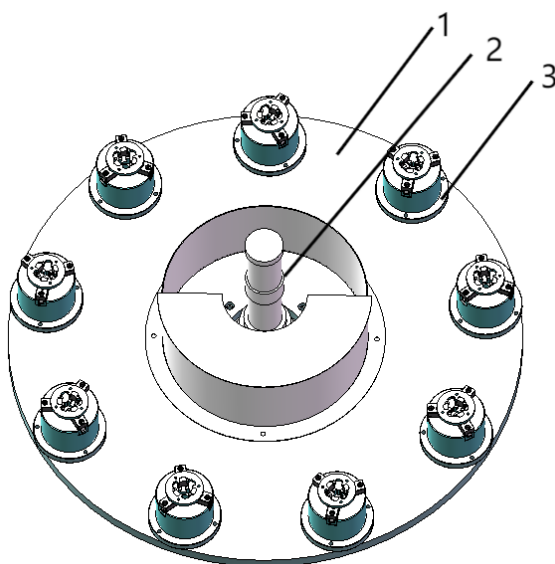
Figure 6. Processing station diagram
图 6. 加工工位图

3.2. 转盘组件

完成上料后，机械手将产品抓取至加工工位上，加工工位通过螺栓固定在转盘上，转盘主要由圆盘、各加工工位以及气度分管组成，PLC 通过控制气压阀从而控制气度分管将气体输送至各个加工工位，从而实现产品的夹紧。转盘如图 7 所示。

转盘安装在以凸轮分割器为核心的转盘组件上，转盘组件主要由减速电机、凸轮分割器以及传感器组成，在转盘组件中，PLC 通过控制减速电机转动从而带动凸轮分割器进行间歇运动，实现转盘及各个

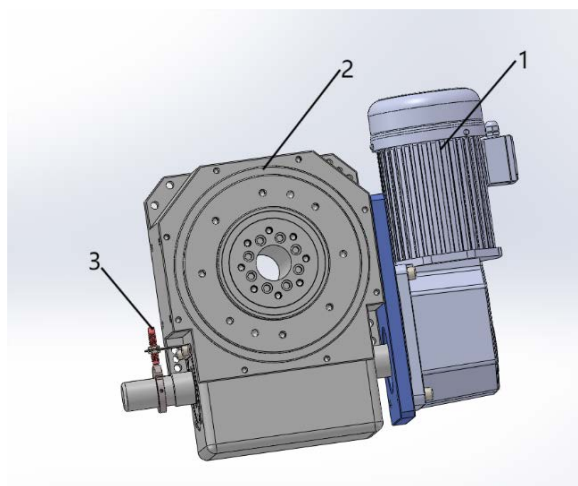
工位的转动，PLC 通过检测传感器的通断信号，再利用 PLC 内部的定时器从而实现凸轮分割器的间歇时间，从而确定加工工位的加工时间。转盘组件如图 8 所示。



1-转盘；2-气度分管；3-加工工位。

Figure 7. Turntable diagram

图 7. 转盘图



1-减速电机；2-凸轮分割器；3-传感器。

Figure 8. Rotary table assembly drawing

图 8. 转盘组件图

3.3. 钻孔工位

在本产品中共计需要打六个孔，如图 9 所示，其中孔 1、2、3 为孔径 6 mm 的大孔，孔 4、5、6 为孔径 3.2 mm 的小孔。

钻孔装备分为大孔钻孔装备和小孔钻孔装备，两者在结构上相同，仅在钻头尺寸上有所差异，钻孔装备如图 10 所示。

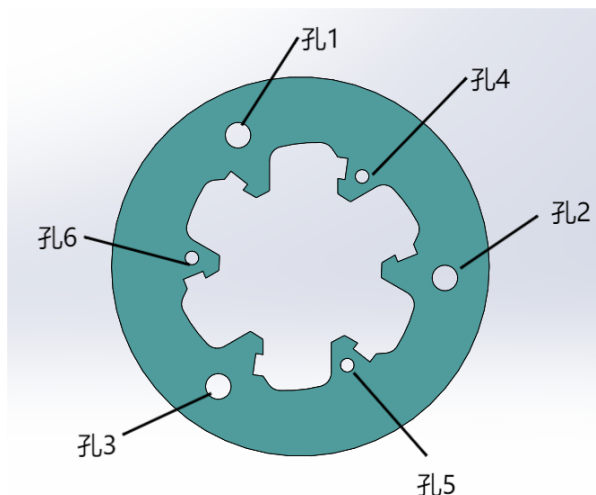
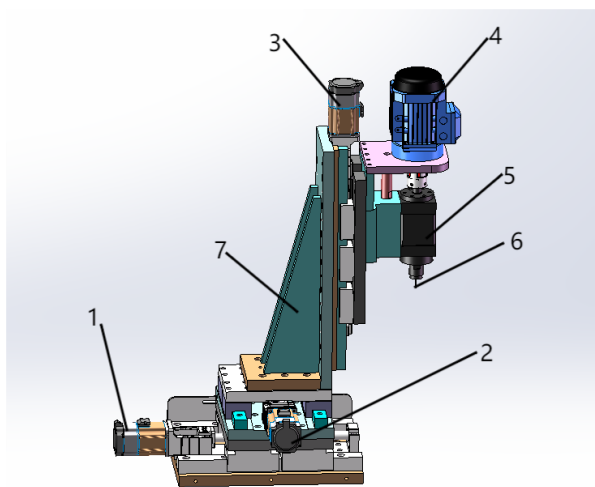


Figure 9. Schematic diagram of six holes
图 9. 六孔位示意图



1-X 轴伺服电机；2-Y 轴伺服电机；3-Z 轴伺服电机；4-三相异步电机；5-钻孔动力头；6-钻头；7-加强筋。

Figure 10. Punching equipment drawing
图 10. 钻孔装备图

钻孔装备主要由电机、动力头及钻头组成，其中 X、Y、Z 三轴的伺服电机可以带动三轴的丝杠运动，从而控制钻孔装备在三维空间内的移动，从而确定产品六孔的孔心位置，三相异步电机的转动可以控制钻孔动力头的高速转动进而控制钻头进行高速转动，最终实现钻孔的目的。

在实际加工过程中所需夹紧力的计算如下：在生产加工过程中，主轴匀速进给，进给量 f 为 0.03 mm/r ，加工孔径 $d_1 = 6 \text{ mm}$ ， $d_2 = 3.2 \text{ mm}$ ， $\sigma_b = 500 \text{ Mpa}$ 。计算得到钻削力 $F_{f1} = 258 \text{ N}$ ， $F_{f2} = 138 \text{ N}$ ，钻削力矩 $M_1 = 0.6 \text{ N/m}$ ， $M_2 = 0.2 \text{ N/m}$ ，故取钻削力 $F_f = 258 \text{ N}$ 。取安全系数 $K = 3$ ，静摩擦系数 $\mu = 0.16$ ，计算得出实际夹紧力 $W_k = 2420 \text{ N}$ ，计算公式如下[13]：

$$F_f = 667df^{0.7}K_p$$

$$K_p = \left(\frac{\sigma_b}{736} \right)^{0.75}$$

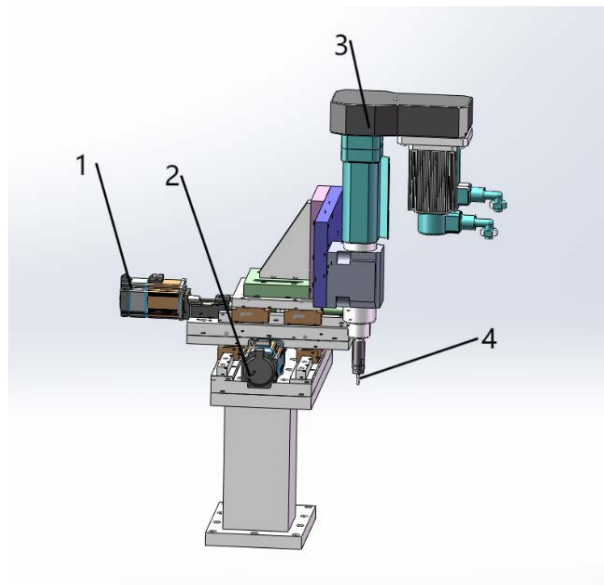
$$M = 0.34d^2 f^{0.8} K_p$$

$$W_k = \frac{KF_f}{2\mu}$$

3.4. 倒角工位

在完成六个孔的钻孔工序之后，PLC 控制减速电机驱动转盘组件进入倒角工位，倒角工序包括上倒角和下倒角两个工位，即对产品的六孔进行正面和反面的倒角，倒角能够有效去除因钻孔产生的毛刺，也有利于离合器外圈与离合器整体的装配。上倒角装备的结构与钻孔装备的结构类似，而下倒角装备如图 11 所示。

下倒角装备主要由电机、双轴动力头以及钻头组成，其中 X、Y 轴的伺服电机可以带动相应的丝杠运动，从而控制下倒角装备在平面内移动，PLC 控制双轴动力头中的电机转动，从而带动双轴动力头的主轴转动以达到钻头转动的目的，最终实现下倒角工序。



1-X 轴伺服电机；2-Y 轴伺服电机；3-双轴动力头；4-钻头。

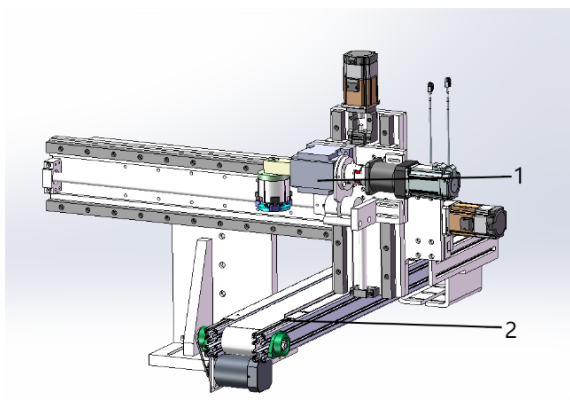
Figure 11. Lower chamfer equipment drawing

图 11. 下倒角装备图

3.5. 下料工位

在完成上述的所有工序后，便会进入下料工序，下料装备包括下料机械手装备和传送带装备两个部分，下料装备如图 12，图 13 所示。

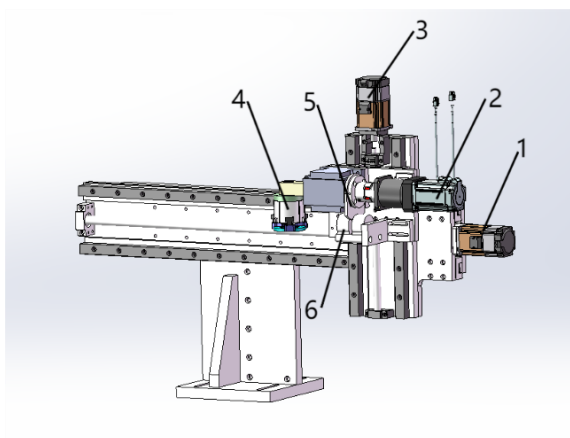
下料机械手主要由电机、三爪气缸以及刹车气缸组成，其中 Y、Z 轴的伺服电机可以带动相应的丝杠运动，从而控制下料机械手在平面内移动，旋转电机配合刹车气缸以及刹车片可以使三爪气缸沿着主轴旋转 180°，使得产品翻面以便下倒角装备对产品进行倒角，待下倒角完成后，三爪气缸再次旋转 180°并松开产品，使其落至传送带上并由传送带将其运送离开，至此所有工序完成。



1-下料机械手；2-传送带。

Figure 12. Blanking equipment drawing

图 12. 下料装备图



1-Y 轴伺服电机；2-旋转轴伺服电机；3-Z 轴伺服电机；
4-三爪气缸；5-刹车片；6-刹车气缸。

Figure 13. Drawing of blanking manipulator

图 13. 下料机械手图

4. 多工位离合器外圈钻孔装备的控制系统设计

4.1. 主控制器选择

控制系统在自动化装备的组成中承担着重要的作用，可以说，离合器外圈自动钻孔装备工作性能的好坏很大程度上取决于控制系统的设计[14]。PLC 是专门为工业控制系统而设计的数字电子设备，以 PLC 为核心的 PLC 控制系统可以实现各种复杂的控制功能，只需要更改写入的程序便可更改系统控制的功能，PLC 使用和维护方便，能够很好的适应复杂的工业环境，具有较高的可靠性，抗干扰的能力极强[15][16]。操作者可通过人机交互界面面向 PLC 发送指令，PLC 控制相关元器件完成相应动作。依据产品的动作需求以及企业的实际情况，PLC 选用信捷公司的 XDH-60T4-E，人机交互界面选用信捷公司的 TGA63。

4.2. 程序设计

该装备的钻孔模块由四台电机驱动，其中三台伺服电机控制钻孔机构在空间内自由移动，另外一台三相异步电机控制主轴的进给从而实现钻孔。钻孔模块在工作前，需要对各个电机的转速、最大扭矩等

参数进行预先设定，电机转矩过大会导致过载进而损坏电机，所以当电机转矩超出设定值时，会进行报警提示。如图 14 为钻孔程序，图 15 为电机转矩比较程序。

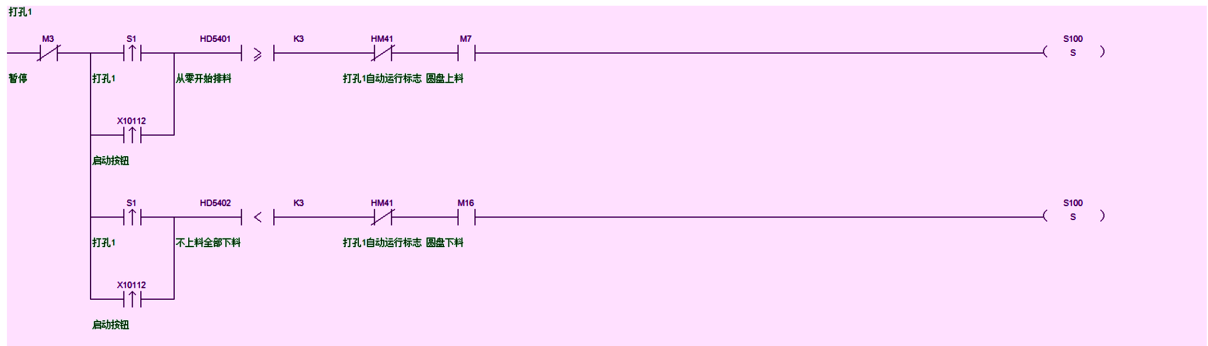


Figure 14. Drilling program
图 14. 钻孔程序

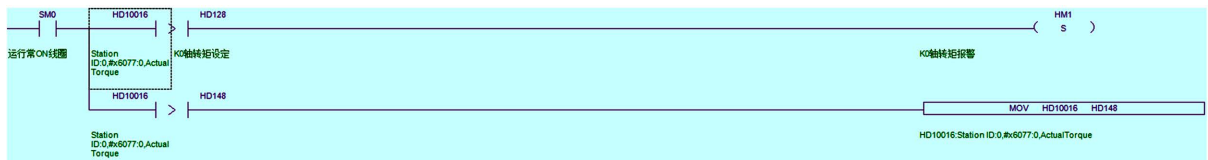


Figure 15. Motor torque comparison program
图 15. 电机转矩比较程序

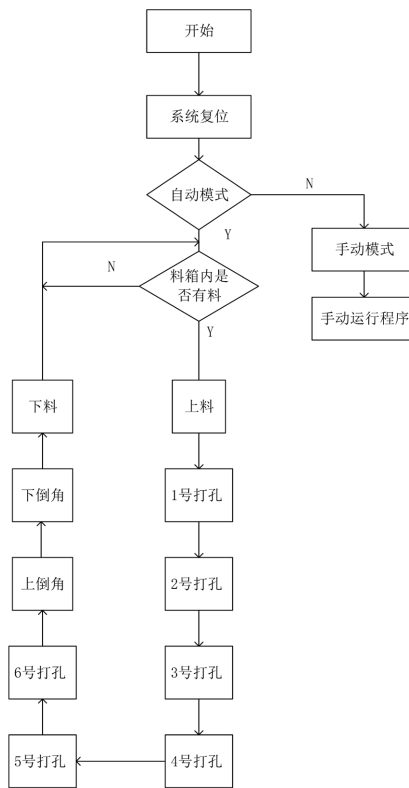


Figure 16. Control system flow chart
图 16. 控制系统流程图

离合器外圈自动钻孔设备的 PLC 程序具有自动和手动两种模式，在手动模式下，操作者每按一次按钮，相应的执行元件动作一次，并在动作完成后停止，主要用于设备的调试和维护；当启用自动控制时，设备的各个执行机构按照预先设定的动作顺序循环执行，主要用于生产实践中。自动模式能够实现设备生产过程中的自动运行，极大提高了设备的生产运行效率[17]。程序还设置有报警保护功能，包括上料报警、伺服驱动器报警、钻孔报警等等，控制系统的流程图如图 16 所示。

5. 设备调试

根据设备的设计方案，制作出多工位离合器外圈自动钻孔装备并投入生产使用，经现场试验证明，多工位离合器外圈自动钻孔装备能够满足离合器外圈钻孔的功能要求，能够实现离合器外圈的自动上料、并由转盘组件依次完成各孔位钻孔、倒角及下料的功能。将加工完成的产品使用 EV4030 影像测量仪进行测量，得到大孔孔径均在 5.95~6.05 mm 范围内，小孔孔径均在 3.15~3.25 mm 范围内，测量如图 17 所示。以 PLC 为核心的控制系统控制动作准确无误，能够高效的实现产品的自动化生产，生产效率可达每分钟 12 个，加工的孔精度可达 0.05 mm，成品率 $\geq 99.0\%$ 。

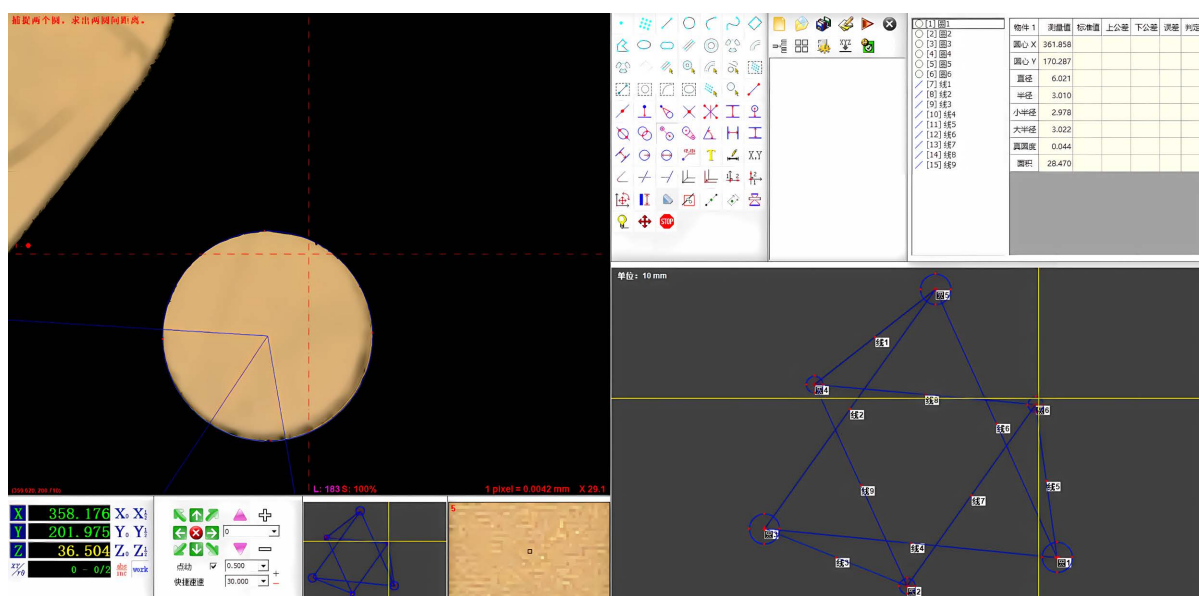


Figure 17. Measurement result

图 17. 测量结果

6. 结束语

为解决某企业离合器外圈钻孔效率低、自动化水平不高的问题，本文制定了多工位离合器外圈自动钻孔装备的总体方案，详细设计了多工位离合器外圈自动钻孔装备的自动上料装置、装盘组件及九工位和自动下料装置，使用 PLC 作为设备的控制系统，能够适应工业现场的复杂环境，经生产验证，该设备极大地提高了离合器外圈钻孔的自动化水平和生产效率，能够满足企业现代化生产的需求。

参考文献

- [1] 冯勇通. 双立柱立卧两用机床结构设计与控制系统开发[D]: [硕士学位论文]. 长春: 吉林大学, 2019.
- [2] 张海燕, 侯力, 罗岚, 等. 变双曲圆弧齿线圆柱齿轮专用机床的模块化设计[J]. 机械工程学报, 2021, 57(3): 77-86.

-
- [3] 程瑞, 吕海霆. 转向架轴箱专用机床及夹具设计[J]. 机床与液压, 2018, 46(22): 21-23.
- [4] Maeng, H., Park, J. and Park, H. (2015) Design of Special-Purpose Machine Tool Based on a Multi-Spindle Head. *Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers*, **24**, 675-681.
- [5] Xu, W.Q., Zhou, B.Q. and Sun, Y.D. (2012) Research and Development of Special Machine for Drilling and Milling Compressor Piston. *Advanced Materials Research*, **1897**, 1277-1280.
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.538-541.1277>
- [6] Zhang, Y., Lin, H., Zeng, Y. and Fei, Y. (2020) A Design of Machine Tool for Switchable Multi-NC Systems Test. *Journal of Physics: Conference Series*, **1650**, Article ID: 032153. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1650/3/032153>
- [7] 王书友. 磁流变离合器传动特性建模与控制技术研究[D]: [博士学位论文]. 徐州: 中国矿业大学, 2022.
- [8] 林建军, 林子程, 杨景文, 袁永锋, 林永汉, 李书其, 叶伟军. 电磁离合器的发展[J]. 时代汽车, 2022(3): 158-159.
- [9] 马小峰. 离合器选型校核与应用[J]. 现代车用动力, 2012(3): 23-26.
- [10] 徐云展. 离合器主要零件几何参数对性能影响的研究[D]: [硕士学位论文]. 桂林: 桂林电子科技大学, 2022.
- [11] 王春荣, 高浩, 夏尔冬, 陈稼易, 刘栋, 孟超. 基于 Pro/E 的气缸套多工位离心铸造机设计[J]. 内燃机与配件, 2023(2): 60-62. <https://doi.org/10.19475/j.cnki.issn1674-957x.2023.02.026>
- [12] 郑卓韬, 张健, 林秋宇, 郑相立, 王双喜. 多工位平底自立袋自动成型机的研制[J]. 轻工机械, 2019, 37(5): 19-24.
- [13] 吴拓. 机床夹具设计使用手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2014.
- [14] 魏志豪. 基于 PLC 的摆臂型水泥袋自动套袋机控制系统设计[D]: [硕士学位论文]. 昆明: 昆明理工大学, 2021.
- [15] Mudriievskiy, S. (2014) Power Line Communications: State of the Art in Research, Development and Application. *AEUE-International Journal of Electronics and Communications*, **68**, 575-577.
<https://doi.org/10.1016/j.aeue.2014.04.003>
- [16] 唐国兰. 基于 PLC 的高速全自动包装机控制系统的应用研究[D]: [硕士学位论文]. 广州: 广东工业大学, 2004.
- [17] 黄景. 包装自动化输送线智能控制系统研制[D]: [硕士学位论文]. 广州: 广东工业大学, 2016.