

基于PLC的自动化柔性夹具设计

揭 晓

台州科技职业学院, 浙江 台州
Email: jiexiao88@126.com

收稿日期: 2021年1月8日; 录用日期: 2021年2月1日; 发布日期: 2021年2月22日

摘 要

针对薄壁件高速铣削加工的装夹的变形问题, 设计出基于PLC的自动化水平较高、夹紧力可调的夹具, 制定了工艺方案、设计了程序流程图以及PLC程序, 最后运用有限元对加工件进行受力分析; 与传统夹紧方式相比, 工件变形量明显减少, 提高了夹具的自动化、柔性化程度; 经实践证明, 该夹具设计合理、运行可靠, 值得推广。

关键词

薄壁件, PLC, 自动化, 柔性, 夹具

Design of Automatic Flexible Fixture Based on PLC

Xiao Jie

Taizhou Vocational College of Science and Technology, Taizhou Zhejiang
Email: jiexiao88@126.com

Received: Jan. 8th, 2021; accepted: Feb. 1st, 2021; published: Feb. 22nd, 2021

Abstract

Aiming at the problem of clamping deformation in high-speed milling of thin-walled parts, a fixture with high automation level and adjustable clamping force based on PLC is designed. The process plan, program flow chart and PLC program are designed. Finally, the force analysis of the workpiece is carried out by using finite element method. Compared with the traditional clamping method, the deformation of the workpiece is significantly reduced, and the degree of automation and flexibility of the fixture is improved. The practice proves that the fixture is reasonable in design, reliable in operation and worthy of popularization.

Keywords

Thin-Walled Parts, PLC, Automation, Flexible, Fixture

Copyright © 2021 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. 前言

工艺装备的柔性化一直是现代工业需要解决的难题, 夹具的柔性化就是指同一类型的夹具能够更大范围地适应各种形状的零件, 随着现代制造业的发展, 零件加工越来越向多品种、小批量、精密化发展, 工装也存在更换频繁的问题, 这样会严重影响机床的有效切削时间, 很多时间都浪费在工件的手动安装上, 据统计, 有些机床的有效切削时间比例还不到 50%, 因此, 机床夹具的柔性化和自动化越来越引起制造行业的重视。国内外很多学者针对柔性夹具开展了研究和应用, 董辉跃等[1]针对精密零件结构件装夹难点, 提出了基于特征的精密结构件装夹方案设计方法。林勇等[2]通过对加载顺序以及加载方式等各种装夹方案的夹紧力位置、进行模拟分析, 确定了最佳方案。Wu 等[3]提出了确定夹具的自动定位方案。范玉青等[4]提出夹具元件选择方法。王细洋等[5]利用规则推理方法, 来确定定位点布局和定位基准和方案。陈忠伟等[6]合理运用过定位技术提高工件刚度, 采用并联油缸及旋转油缸实现工件的装夹。叶寒等人[7]采用“三柱为面、自定心机构为圆柱销、弹性伸缩机构为菱形销”的“一面两销”定位机构, 通过液压系统对工件进行定位、夹紧的顺序动作, 实现了工件装夹。以上自动夹具设计方案对工艺装备设计人员提供了一定的技术支持, 但在自动化技术方面还存在不足。

气动柔性夹具是集机械、电气、气动和控制技术、信号处理技术等方面的交叉学科相结合的一门新兴技术, 将电控、气动随行固持加工等技术相结合, 刘伟[8]提出随行夹具对柔性自动化生产线适应技术, 实现对被加工件的快速定位、装夹以及加工过程对零件压紧件的随行功能, 并对随行夹具关键零件的变形提出了控制要求, 提出了随行夹具的装配方案, 赵冬梅等[9]提出了可转位零件夹具的设计方法, 但对夹紧力控制的调节机构的介绍还不足。

2. 薄壁压铸件工艺分析

如图 1 为一个薄壁压铸件, 需要对轮廓和孔进行精加工, 零件外观比较规则, 适合采用自动化夹具, 由于刚性不是很好, 夹紧力不能过大, 需要自动调节夹紧力大小。由于材料是铝合金的, 强度和硬度都较低, 导热性能好, 适合高速加工, 定位采用完全定位, 夹紧方式采用气动夹紧方式, 控制方式采用 PLC 程序对夹紧力进行适时控制、调节, 防止零件受力过大变形的问題。

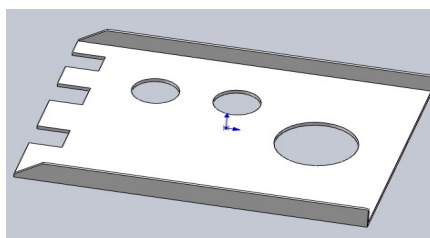


Figure 1. Die casting
图 1. 压铸件

3. 夹具系统的建立

3.1. 夹紧力控制方式

夹具系统工作方式：通过 PLC 软件设计控制程序，下载到 PLC 程序控制器中，PLC 运算各类传感器检测提供的电信号，控制空气电磁阀动作顺序进而控制气缸动作顺序，使气缸对工件实现自动定位和夹紧。

夹紧力大小影响结构件的加工稳定性和质量。如果夹紧力过小，会导致工件整体装夹刚性不足，产生工件让刀和刀具颤动现象；反之，夹紧力满足夹紧要求，但超过工件结构刚性时，易产生工件变形。因此需要确定目标夹紧力值和控制夹紧力始终趋于目标夹紧力变化。

具体操作过程是：先在触摸屏中设置上述的夹紧力，通过传感器对夹具夹紧力的大小检测，通过模拟量模块接受信号输入到数控系统内置 PLC 中，由于接收到的信号是模拟量的，应该选择合适的变送器将信号变成标准信号(0~10 V 电压信号)，通过 PLC 中的 A/D 模块转换，利用 PID 控制模块将与目标换算值相比较后，产生 PWM 反馈信号经放大器放大后与设定值进行比较，而对气路压力进行控制，这样避免夹紧力不足或者过紧控制图如图 2。

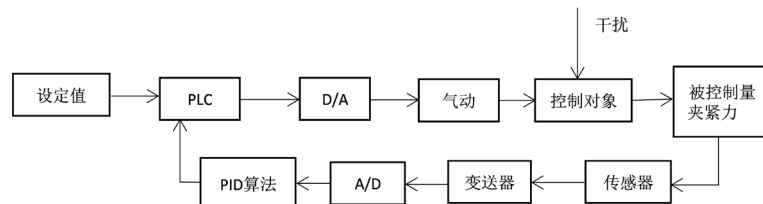


Figure 2. Control block diagram
图 2. 控制框图

夹紧力控制图如图 3 所示，当气缸夹紧工件后，压力传感器检测夹紧端的压力值，将其转化为标准量程的电压或者电流，经放大器放大，通过三菱 FX-3U 内部 A/D 转换模块能够将模拟量转换为数字量。利用 PID 控制模块将与目标夹紧力的换算值相比较后，产生 PWM 反馈信号经放大器放大后传递至高速空气开关，如图 4 中的 Y6 和 Y7，通过高频率地控制进气和放气，使夹紧力接近目标夹紧力值。

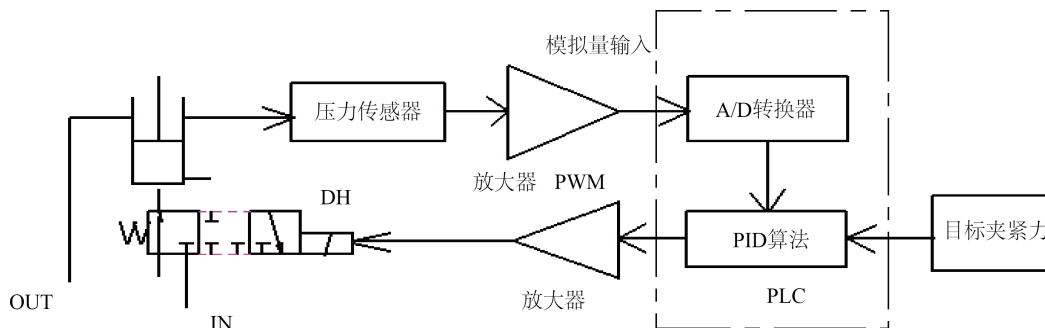


Figure 3. Clamping force control diagram
图 3. 夹紧力控制图

3.2. 夹具系统气动回路设计原理图

根据夹具的运行，设计了气动原理图，如图 5 所示，根据夹具的运行，设计了气动原理图，如图 5

所示。气源装置提供足够的气压，五个气缸的摆放位置为气动夹具安装工件的位置，两位五通电磁阀 YV 通断实现气缸的夹紧和放松，高速空气开关 SP1 通过高速通断来完成气缸的高频率地进气与放气，这样可以动态地控制夹紧力。

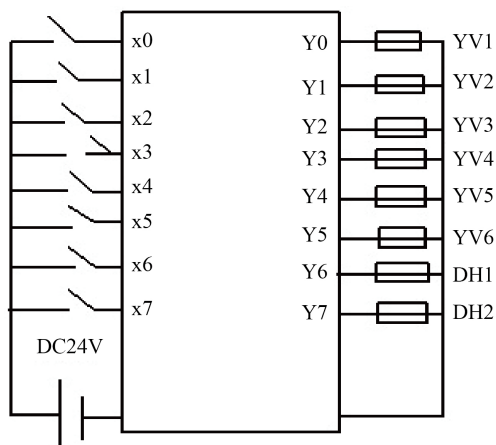


Figure 4. Wiring diagram
图 4. 接线图

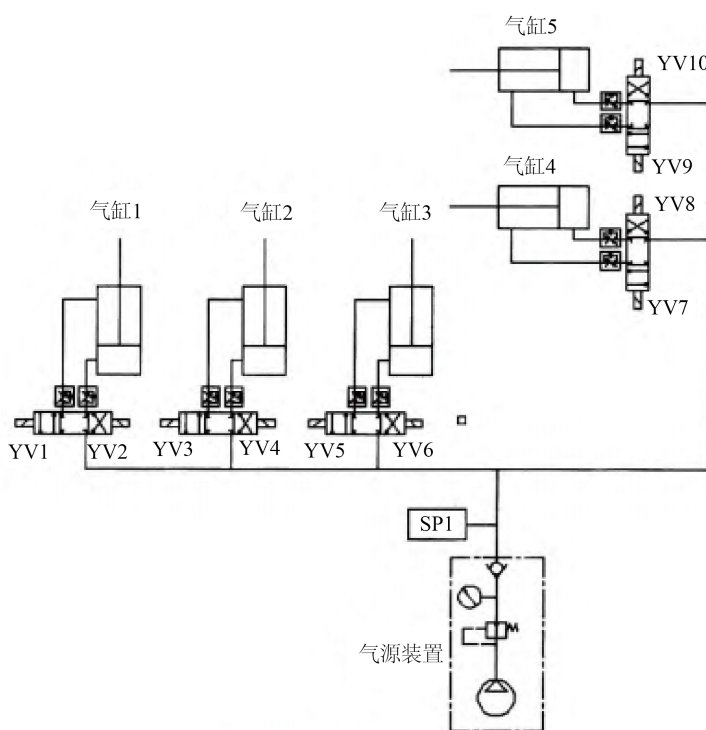


Figure 5. Gas path diagram
图 5. 气路图

4. PLC 控制系统设计

4.1. 控制要求与控制流程图

控制过程按照顺序程序进行，控制流程图如图 6 所示。

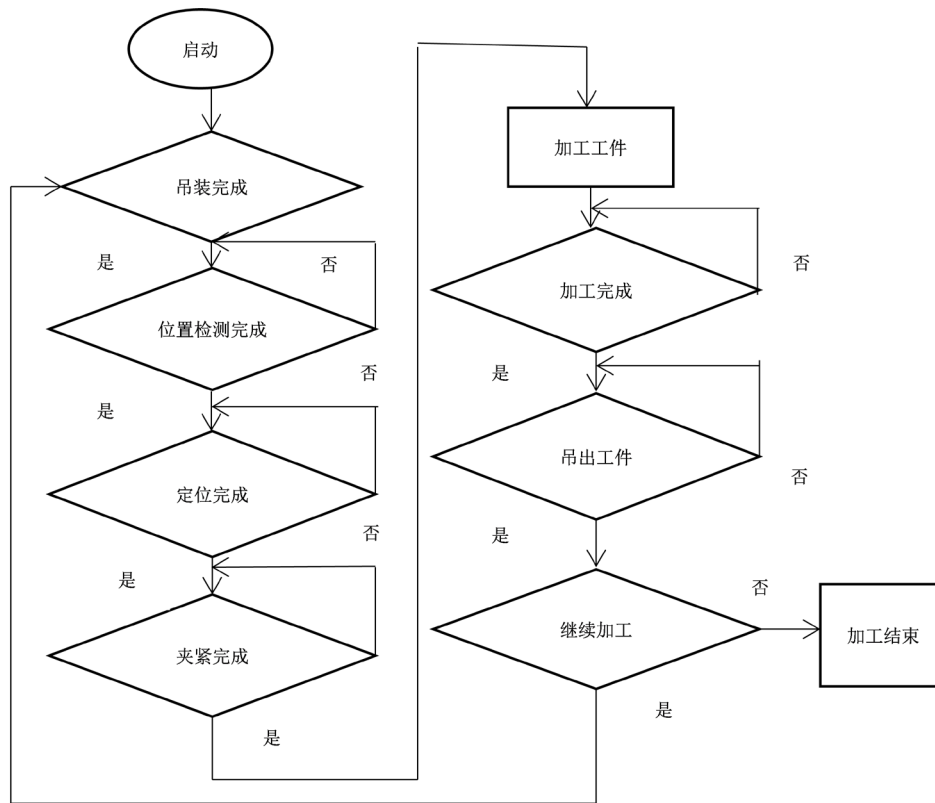


Figure 6. Process flow chart
图 6. 工艺流程图

4.2. PLC 地址分配及接线

根据该 PLC 控制系统系统要求，输入输出点数，以及需要模拟量输入信号(压力传感器)，以及高速开关，PLC 选型采用三菱 FX3U-32MR，具体分配如表 1 所示。并且给出了 PLC 接口的接线图以及分配 I/O 接口，如图 4 所示：

控制程序梯形图(略)，实现以下过程：

- (1) 启动，将工件安装到工作台上，通过限位开关对工件实现定位。
- (2) 定位完成后，启动气缸动作，夹紧零件，压力传感器测力，与设定值进行比较，当达到设定值后，停止夹紧。
- (3) 数控加工，工件完成后，启动气缸动作，释放工件，为下一次加工做准备。

4.3. 有限元分析验证

本文中所选用的材料是 7075-T7351 航空铝合金，材料性能如下表 2 所示

该结构件在加工时的铣削力明显大于精加工，因此在计算目标夹紧力时只考虑粗加工时的工艺参数，计算不同方向气缸所需要的夹紧力大小。铣削力经验公式如下：

$$F_Z = \frac{a_p^{XF} \cdot f_z^{yF} \cdot a_w^{VF} \cdot Z}{d_0^{qF} \cdot n^{wF}} \cdot k_{FZ}$$

式中： a_p 为铣削深度，mm； f_z 为每齿进给量，mm/齿； a_w 为铣削宽度，mm， Z 为铣刀齿数； d_0 为铣刀直径，mm； n 为主轴转速，r/min； k_{FZ} 为铣削力修正系数。

Table 1. Input, output and address assignment table
表 1. 输入输出及地址分配表

序号	设备	地址	设备名称	输出信号
1	输入设备	X0	启动按钮	启动信号
2		X1	停止按钮	停止信号
3		X2	位置传感器	检测信号
4		X3	红外传感器 1	检测信号
5		X4	红外传感器 2	检测信号
6		X5	复位按钮	复位信号
7		X6	压力传感器信号	压力检测
8		X7	压力传感器信号	压力检测
9	输出设备	Y0	电磁阀 1	气缸 1
10		Y1	电磁阀 2	气缸 2
11		Y2	电磁阀 3	气缸 3
12		Y3	电磁阀 4	气缸 4
13		Y4	电磁阀 5	气缸 5
14		Y5	电磁阀 6	气缸 6
15		Y6	高速开关 1	夹紧控制
16		Y7	高速开关 2	夹紧控制

Table 2. Performance values of aviation aluminum alloy 7075-T7351
表 2. 7075-T7351 航空铝合金材料性能值

弹性模量/MPa	泊松比	密度/(kg/m ³)	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa
7.2 × 10 ⁴	0.33	2830	435	495

依据铣削用量参数手册查阅到所需要的参数,其中 $c_F = 1670$, $XF = 1.0$, $wF = 0.2$, $yF = 0.75$, $VF = 1.1$, $qF = 1.3$, $k_{FZ} = 1.6$ 。计算结果如下:

$$F_Z = \frac{c_F \cdot a_p^{XF} \cdot f_z^{yF} \cdot a_w^{VF} \cdot Z}{d_0^{qF} \cdot n^{wF}} \cdot k_{FZ}$$

$$= \frac{1670 \times 4^1 \times \left(\frac{1500}{6000 \times 2}\right)^{0.75} \times 15^{1.1} \times 2}{30^{1.3} \times 6000^{0.2}} \times 1.6$$

$$= 186.39 \text{ N}$$

根据本文中的夹具方案,夹紧力 F 平衡于最大夹紧力 F_{\max} 。为了安全起见,采取安全系数,则夹紧力 $F = 1.2F_{\max} = 1.2 \times 186.39 = 223.67 \text{ N}$,取整为 240 N 。

从图 7(a)和图 7(b)看出,位移 0.126 mm 圆孔周边位移为 0.0325 mm ,应力 64.5 mpa 圆孔周边最大应力 8.55 mpa 。

位移为 0.116 mm 圆孔周边位移为 0.022 mm ,应力为 51.6 mpa 周边最大应力 6.6 mpa ,最大从图 8(a)和图 8(b)看出应力 6.6 mpa 。

将结构件模型导入到有限元分析软件 Midas NFX 中，根据航空合金的材料性能数据，以定位面为边界条件，划分网格，得到优化前后的应力应变云图。数据对比如下表 3。

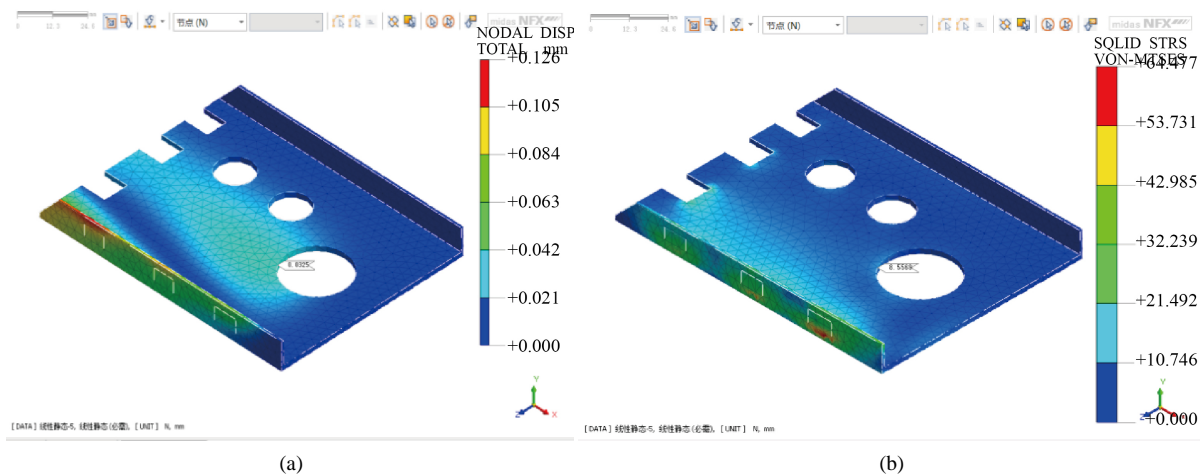


Figure 7. (a) Displacement diagram; (b) Stress diagram
图 7. (a) 位移图; (b) 应力图

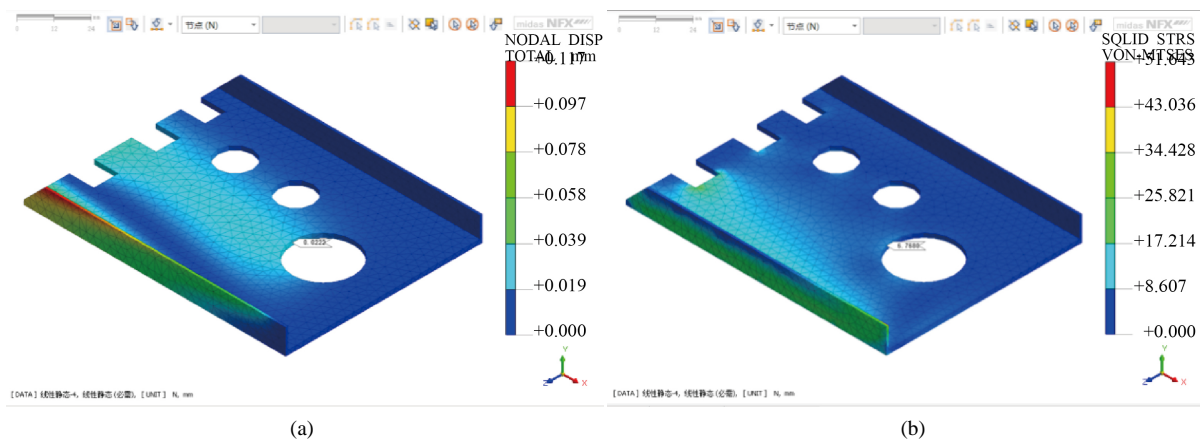


Figure 8. (a) Displacement diagram; (b) Stress diagram
图 8. (a) 位移图; (b) 应力图

Table 3. Comparison of data before and after optimization of structural parts
表 3. 结构件优化前后数据对比

工况	优化前	优化后	最大值位置	优化前后圆孔边缘最大值	降低幅度%
位移(mm)	0.126	0.116	结构件侧面边缘处	0.325/0.022	32.2%
应力(MPa)	64.5	51.6	结构件侧面边缘处	8.55 /6.6	22%

数据分析表明，该航空铝合金结构件在铣削加工圆孔时，通过对比优化前后圆孔边缘极值，可以得出圆孔边缘处的位移和应力数值均能达到一定幅度的降低，降低幅度为 32.2%和 22%。因此，对于薄壁合金类零件，采用合适的夹具夹紧方案和工艺，能大大改善加工性能。

5. 结论

本文研究了基于 PLC 的自动化夹具的设计，通过薄壁压铸零件的工艺分析，由 PLC 程序控制零件的

夹紧力, 避免零件受力不足或过大, 并运用有限元对零件进行受力分析, 得出零件的应力应变图, 为选择合理的夹紧力提供了依据, 文章综合了机械、电气、气动、传感器知识, 并且能够有效减少夹具组装时间和工件装夹时间, 减轻了劳动强度, 提高了生产率, 提高了工件的加工质量。

基金项目

2020年台州市科技局科研项目, 编号: 2003gy38。

参考文献

- [1] 董辉跃, 柯应林. 铣削加工中薄壁件装夹方案优选的有限元模拟[J]. 浙江大学学报: 工学版, 2004, 38(1): 17-21.
- [2] 林勇, 汤立民, 李迎光, 等. 基于特征的飞机结构件装夹方案设计方法[J]. 航空制造技术, 2014(11): 80-83.
- [3] Wu, T.J., Lou, P.H. and Man, Z.G. (2011) A New Approach for Automation of Locating Planning of Workpiece. *Key Engineering Materials*, 458, 48-54. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.458.48>
- [4] 范玉青. 现代飞机制造技术[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2011.
- [5] 王细洋. 飞机结构件的高速铣削工艺[J]. 航空制造技术, 2013(14): 64-69.
- [6] 陈忠伟, 杨宇强, 岳伟平. 数控加工中心一次多件液压自动夹具设计[J]. 机床与液压, 2017, 45(16): 46-48.
- [7] 叶寒, 郭映芝, 刘华, 等. 自动器箱体零件液压自动夹具的设计[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2016(5): 147-150.
- [8] 刘伟, 曹永辉. 随行夹具针对柔性自动加工线适应性技术[J]. 机电元件, 2019(4): 59-62.
- [9] 赵冬梅, 金应贵. 可转位连杆加工夹具设计[J]. 西南科技大学学报, 2009, 24(3): 79-81.