

机器人打磨工作站关键技术及其应用

高 狄, 舒赞辉

(长沙长泰机器人有限公司, 湖南长沙 431000)

摘要: 铸件毛坯表面存在大量的飞边、毛刺, 不仅影响铸件外形美观, 而且严重影响铸件的产品性能和使用寿命。针对发动机缸体、缸盖等大型、内腔复杂的铸件, 设计了一种发动机铸件智能打磨工作站, 开发了具有自主知识产权的机器视觉技术、信息化技术等, 并进行了应用验证。通过机器人作业与铸造工艺、工装夹具有效融合, 产品生产效率提升了20%以上, 生产合格率达到97%以上, 用工成本降低了20%以上, 显著改善了清理打磨现场的粉尘和噪音污染等, 满足了打磨机器人在铸件清理打磨环节日益增多的应用需求。

关键词: 铸件; 铸件打磨; 机器人打磨; 机器人清理打磨

我国是个铸造业大国, 铸铁件产量占铸件总产量的70%以上, 2020年我国铸件总产量达到5 195 万t, 同比增长6.6%, 铸件的清理是铸造生产中不可缺少的一道关键工序。在大型发动机缸体等复杂毛坯铸件行业中, 清理工序仍处于手持砂轮、风镐、扁铲等工具进行作业的水准^[1]。目前的铸件清理以人工为主但生产现场的“脏、乱、差”的现状严重影响工人的身体健康, 铸件清理打磨的机器换人的趋势迫在眉睫^[2]。为了更好地解决铸件清理打磨机械化与自动化程度低的问题, 基于自动打磨自动化技术进行研究, 针对现有的铸造技术加以优化, 一定程度上提升了铸钢件的清理技术, 改善铸件打磨作业情况, 提升企业的生产效率^[3]。目前, 在各类铸件生产中, 砂处理、造型、制芯等工艺过程已逐步实现自动化及智能化, 然而铸件后处理技术大多仍停留在人工操作阶段^[4]。同时, 企业对铸件表面质量追求精益求精的态度, 使得各种行之有效的铸件打磨技术及相关设备成为促进铸造行业发展的刚需^[5]。国外基于劳动力的缺乏和工业化的发达, 借鉴机械加工设备的经验开发出了一些铸件清理设备, 投入使用后取得了很好的效果, 既提高了生产效率, 又减轻了作业者的劳动强度, 改善了作业环境, 但设备价格十分昂贵, 难以普及并广泛应用^[6]。

本文在研究铸件打磨机理、机器人智能打磨工作站、柔性工装夹具设计、机器人姿态偏差视觉补偿系统等铸件智能打磨关键技术的基础上, 研发了一种发动机铸件智能打磨工作站, 整体外观如图1所示。

机器人打磨工作站基本实现了技术壁垒的突破, 开发了具有自主知识产权的EDRC技术、敏捷保护技术、3D视觉技术、信息化技术等先进技术, 并针对柴油发动机机体、缸盖铸件披缝、浇冒口及残根的自动磨削和打磨, 构建了智能自动生产线, 验证了所开发的打磨工作站可以满足打磨机器人在铸件清理打磨环节高精度、高效率的要求, 满足了复杂曲面中大型铸件清理自动化、集约化、连续化、智能化高效生产的作业要求。

1 机器人打磨工作站组成

机器人打磨工作站是采用机床的高刚性、高效率 and 密闭防护的设计理念和技术, 结合机器人高柔性特征, 融入数据的可视化和信息集成化技术形成全新的打磨单元。机器人打磨工作站由工件定位系统、安全房和安全锁等组成的安全防护系统、电主轴、刀柄刀具和三维激光扫描仪等组成的清理加工系统、地基地座、打磨

作者简介:

高狄(1987-), 男, 高级工程师, 主要研究方向为工业机器人在铸造行业的应用。E-mail: gaodi@zeqp.net
通讯作者:
舒赞辉, 男, 工程师, 博士。
电话: 18511891178, E-mail: shuzanhui2006@163.com

中图分类号: TG234.4;
TP273

文献标识码: A
文章编号: 1001-4977(2022)
11-1427-04

基金项目:

国家重点研发计划项目
(2018YFB1308200)。
收稿日期:
2022-04-18 收到初稿,
2022-06-15 收到修订稿。

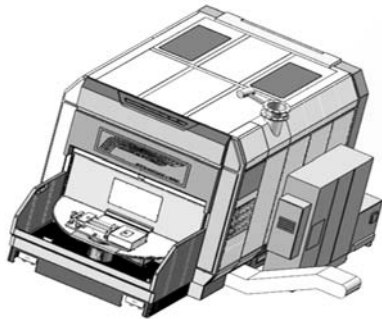
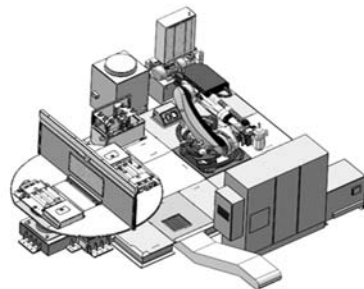
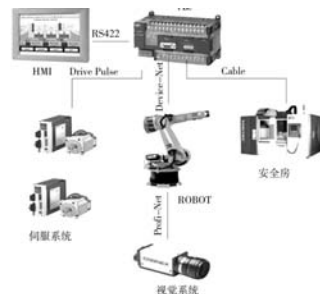


图1 机器人打磨工作站整体外观
Fig. 1 The overall appearance of robot grinding workstation



(a) 打磨工作站整体布局



(b) 打磨工作站组成示意

图2 机器人打磨工作站主要组成

Fig. 2 The major components of robot grinding workstation

表1 机器人打磨工作站关键性能指标

Table 1 Key performance indexes of robot grinding workstation

系统纠偏 误差/mm	系统在线检测 节拍/s	自动换刀 节拍/s	安全环保指标 (噪音)/dB	变位机	工装	自动刀库	电主轴
≤0.5 (±0.25)	≤12	≤15	<80 (距离整体隔 音室1 m)	允许最大回转半径: 1 500 mm; 功率: 4 kW	适应多种工件 的自动装夹	六工位刀库	功率: 30 kW; 转 速: 17 000 r/min

器等组成，辅助机器人完成链板线上单体缸盖的定位抓取和缓存托盘装置上工件的定位抓取，其图像采集效果如图3。

视觉定位系统实现流程如图4所示，相机安装在链板线上方支架上，当机器人和控制器收到工件到位信号后，引导相机进行拍照，在视觉控制器中对采集图片进行图像处理和计算，并将计算结果发送给机器人，机器人根据定位结果抓取工具，并放到输送装置上去，一个工作流程便算完成。当机器人和视觉控制器收到下料信号后，机器人携带各自的相机走到相机

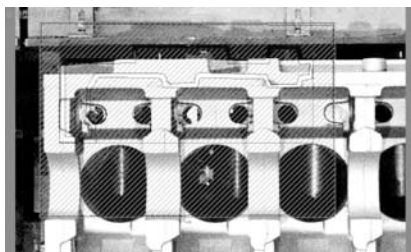


图3 机器视觉铸件表面图像采集
Fig. 3 The casting surface image acquisition by machine vision

机器人系统、冷却系统、刀库系统、液压系统、气路系统、软件控制系统和排屑系统构成。标准化机器人打磨单元如图2所示。

该机器人打磨工作站可以满足披缝、残根、毛刺、飞边等清理打磨的需求，清理打磨后的残根小于±0.2 mm，其关键性能指标如表1所示。

2 视觉定位系统

视觉定位系统主要由机器人、装在机器人末端的相机、装在链板线上方相机支架上的相机、视觉控制

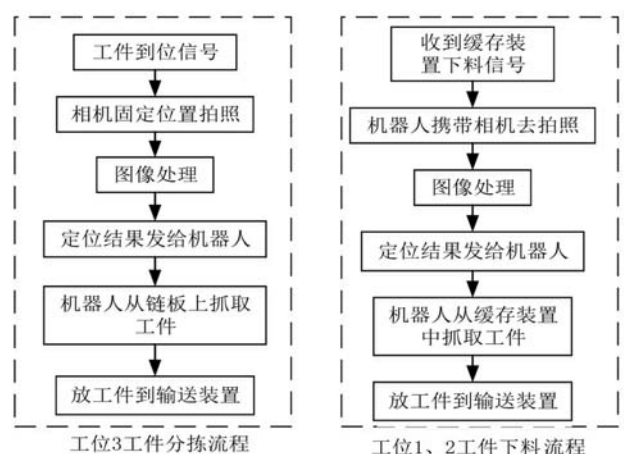


图4 视觉定位流程图

Fig. 4 The flow chart of visual positioning

拍照点，视觉控制器通知相机采集托盘中的工件图片。

设机器人坐标系为 Q ，线激光传感器坐标系为 P ， P 到 Q 的旋转矩阵和偏移矩阵分别为 R 和 T ，设空间某一点 B 在 Q 和 P 坐标系下的齐次坐标分别为 $Q_b (X, Y, 1)$ ， $P_b (x, y, 1)$ ， P_b 和 Q_b 之间转换关系如公式

(1) 所示:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R & t \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \text{StoBMat2D} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中: R 代表线激光传感器坐标系到机器人坐标系的旋转矩阵, t 代表偏移量, StoBMat2D 为标定圆圆心在线激光传感器中的坐标和机器人坐标系中的坐标的变换关系。

3 数据采集系统

打磨工作站控制系统如图5所示, 主体由机器人、电主轴、干燥机、水冷系统、液压系统、刀具库和一套工控机组成。系统通过PROFINET构成分层网络结构, 同时配置激光矫正功能, 对铸件定位和尺寸进行检查, 对打磨机器人打磨轨迹进行调整优化, 提高打磨精度。

除了基础的数据监控, 平台还支持更多的展示, 如图6所示, 这是发动机铸件打磨生产线的相关映射,

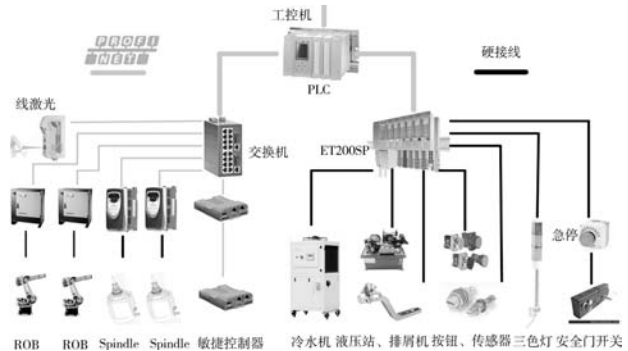


图5 打磨站控制系统图

Fig. 5 The control system diagram of grinding station

包括现场实时运行的视频内容、基于数字孪生架构的建模仿真和基础的机器人状态监测。在总体页面内, 还有当前现场实时状况与数据, 查看页面如图6a所示, 可以查看当前生产线具体的实时状况, 包括生产线状态、完成情况、设备状态等。同样的, 机器人运行状态也有监控, 如图6b所示, 可以查看机器人主轴详情, 状态、能耗、产量等。



(a) 2.5.78 查看界面图

(b) 2.5.79 监控界面

图6 数据监控平台

Fig. 6 Data monitoring platform

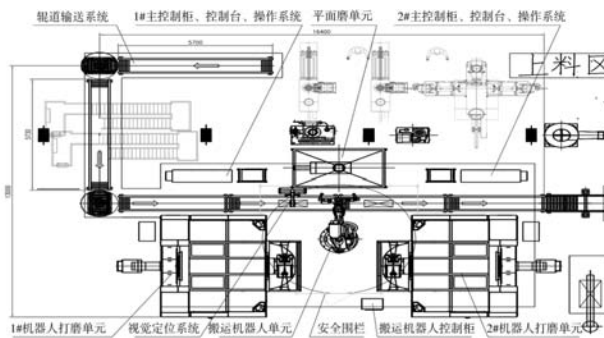


图7 生产线布局图

Fig. 7 Production line layout

4 应用验证

采用机床的高刚性、高效率 and 密闭防护的设计理念和设计技术, 结合机器人高柔性特征, 融入数据的可视化、信息集成化和自动输送技术形成自动化的打磨生产线布局如图7所示。

系统主要由机器人打磨工作站、平面磨单元、搬运机器人单元、视觉定位系统、辊道输送系统、安全防护系统、电气控制系统等部分组成, 打磨系统现场应用效果如图8所示。配备密封室体实现粉尘和噪声的治理, 每个打磨单元均配备自动排屑机和废料收集



(a) 自动化生产线现场整体效果

(b) 自动上料

图8 打磨工作站现场应用效果

Fig. 8 The application effect of grinding workstation in the production site

小车。采用整体机加工底座，刚性好，相对位置精度高，极大地缩短现场安装调试周期。各打磨单元具有打磨过程自动监控系统，并预留有信息化管理数据接口。

通过打磨工作站的打磨，能够有效去除缸体缸盖铸件的毛刺、突起等缺陷，有效提高了铸件表面质量，如图9所示。该生产线主要用于发动机铸件内外表面毛刺和浇冒口残余的清理打磨，采用三维激光视觉定位技术，实现了铸件打磨的智能定位、机器人自动精准抓取，解决了过去人工打磨效率低、劳动强度大、安全隐患高等问题，提升了产品质量和效益。生产线建设完成并投入正式生产后，生产线上的设备一



(a) 缸盖打磨前 (b) 缸盖打磨后

图9 打磨前后效果对比

Fig. 9 The application effect comparison before and after grinding

参考文献:

- [1] 王辉, 王季叶, 汪继革. 柔性打磨系统在大型发动机铸件清理作业的应用 [J]. 铸造设备与工艺, 2021 (5): 34-37.
- [2] 周颖, 李洋, 张凯. 铸钢件清理打磨自动化技术应用研究 [J]. 内燃机与配件, 2021 (8): 211-212.
- [3] 高狄, 梁宪峰, 孔拓, 等. 工业机器人在铸件清理工序的应用介绍 [J]. 现代铸铁, 2021 (3): 60-64.
- [4] 高狄, 王擎天, 舒赞辉. 发动机缸体智能清理打磨生产线的设计及应用 [J]. 铸造工程, 2021 (1): 26-29.
- [5] 金磊, 胡泽启, 刘华明, 等. 机器人在零件清理打磨中的应用及发展趋势 [J]. 机床与液压, 2017, 45 (15): 4-9.
- [6] 陈跃程, 刘伟. 铸件清理打磨自动化技术及其应用 [J]. 铸造设备与工艺, 2015 (5): 1-6.

Key Technology and Its Application of Robot Cleaning and Grinding

GAO Di, SHU Zan-hui

(Changsha Changtai Robot Co., Ltd., Changsha 431000, Hunan, China)

Abstract:

There are a lot of flash and burr on the surface of the casting, which not only affects the appearance, but also seriously affects the product performance and service life of the casting. For large castings with complex inner cavities such as engine cylinder block and cylinder head, an intelligent grinding workstation for engine castings is designed in this paper. Machine vision technology and information technology with independent intellectual property rights are developed and verified. Through the integration of the robot operation, casting process and tooling fixture effectively, the production efficiency has been increased by more than 20%, the production qualification rate has reached more than 97%, and the labor cost has been reduced by more than 20%. The working environment is improved significantly, and the dust and noise pollution at the cleaning and grinding site are reduced, which meets the increasing application needs of grinding robot in the cleaning and grinding of castings.

Key words: casting; casting grinding; robot grinding; robot cleaning and grinding

直正常运行、无故障，产品生产效率提升了20%以上，生产合格率达到97%以上，用工成本降低了20%以上。

5 结束语

集成机器视觉、信息化的发动机铸件智能打磨工作站，通过实际项目应用验证，表明机器人作业与铸造工艺、工装夹具的可行性与可靠性。机器人打磨工艺采用机器人抓取打磨刀具或抓取工件完成打磨，机器人运动的重复定位精度高，减少因铸件定位面打磨不一致造成的机加工装夹时间和成本浪费，产品生产效率提升了20%以上，生产合格率达到97%以上。机器人打磨可完全代替工人实现自动化生产，操作人员只需吊装工件、操作控制面板即可实现打磨，相对于人工打磨，工人的劳动强度大大减轻，用工成本降低了20%以上。机器人打磨大大减少噪音和粉尘对操作人员身体的危害，彻底改变传统打磨的“脏、乱、差”形象，显著改善了清理打磨现场的粉尘和噪音污染等，满足了打磨机器人在铸件清理打磨环节日益增多的应用需求。对于打磨铁屑和粉尘的处理也可达到环保要求。