

# 汽车水冷机壳铸件机器人打磨工作站设计

段海峰<sup>1</sup>, 韩伟<sup>1</sup>, 陈晓斌<sup>1</sup>, 杨安<sup>2</sup>

(1. 广州城市理工学院机械工程学院, 广东广州 510800; 2. 贵州蓝辉新材料有限公司, 贵州遵义 563000)

**摘要:** 汽车电机水冷机壳完成低压铸造后, 人工打磨铸件时劳动强度大、打磨工艺成本高、精度差且效率低。设计了一套机器人打磨工作站系统, 包含水冷机壳旋转台夹具、IRB2600机器人、双浮动电主轴、护栏4大部件。利用机器人离线仿真软件RobotStudio进行了机器人打磨工作站的布局、动作模拟、打磨路径以及周期节拍的仿真。在实际构建机器人系统之前, 先进行了水冷机壳打磨工艺过程中机壳的姿态位置、旋转角度、停顿时间和双浮动主轴的粗、精打磨工艺换刀的设计和试运行, 并进一步优化打磨路径及细节来获得更高的打磨质量, 为水冷机壳铸件机器人打磨提供真实的验证。该打磨工作站不但可提高去铸造毛刺的效率, 也可以实现机器人打磨工作站的连贯性, 进而提高电机水冷机壳行业机壳打磨的自动化水平。

**关键词:** 水冷机壳机器人工作站; 机器人打磨; RobotStudio; 夹具

## 作者简介:

段海峰(1984-), 男, 高级实验师, 工程硕士, 研究方向为自动化设备及机器人技术及应用。电话: 15102081318, E-mail: 290033313@qq.com

## 通讯作者:

韩伟, 男, 高级实验师(正高)。电话: 13632201698, E-mail: 1786891960@qq.com

中图分类号: TG246

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977(2023)05-0607-05

## 基金项目:

2018年广东省普通高校特色创新项目(自然科学 2018KTSCX325); 2019年广东省普通高校特色创新项目(自然科学 2019KTSCX231)。

## 收稿日期:

2022-06-22 收到初稿,  
2022-08-30 收到修订稿。

新能源汽车电机水冷机壳是采用铝合金低压铸造而成, 其铸造成形后会在机壳外表面产生很多铸造模具分型面毛刺; 这些毛刺直接影响到电机水冷机壳的使用, 故水冷机壳在低压铸造完成后需要对这些毛刺进行打磨。目前在低压铸造工厂里, 这些毛刺基本上还是采用手工打磨, 由于汽车电机水冷机壳大且重, 工人打磨起来劳动强度大、精度差、效率低且容易造成受伤事件, 因此亟待应用机器人自动化技术解决分型面毛刺打磨问题。

## 1 打磨工作站打磨方案

图1左侧为一种新能源汽车电机低压铸造水冷机壳铸件, 图中标注部分为铸件铸造完成后需要打磨的部位, 分别为水冷机壳铸件的主分型线、侧面抽芯分型线和芯头端面分型线处的铸造毛刺。从图中可以看出, 主分型线有两条, 芯头端面分型线有2部分4条, 侧面抽芯分型线有2条, 且主分型线、芯头端面分型线在水冷机壳铸件上成90°分布<sup>[1-2]</sup>。

根据新能源汽车电机低压铸造水冷机壳铸件打磨工艺需求, 设计机器人打磨方

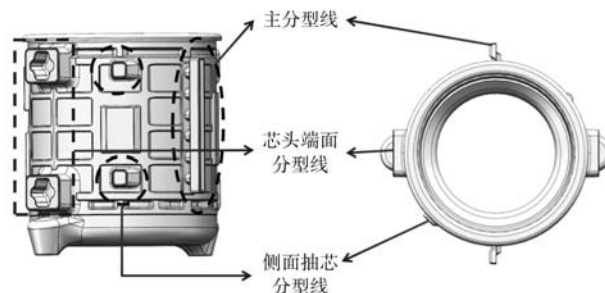


图1 低压铸造水冷机壳铸件打磨分型线

Fig. 1 Grinding parting line of the low-pressure casting water-cooled casing casting

案如图2所示。相对于小零件可以采用机器人装夹直接在打磨机上打磨，由机器人的动作姿态来控制打磨零件的打磨位置，新能源汽车水冷机壳这种大型铸件只能采用大型夹具固定，由机器人携带打磨工具进行打磨的方法；故水冷机壳铸件打磨需要设计专门的大型夹具，该夹具需要满足铸件的装夹固定，还需保证铸件沿着轴向自动旋转（水冷机壳多处需要打磨），并按照需要自动旋转到特定位置，方便机器人对铸件各位置进行毛刺打磨<sup>[3]</sup>。

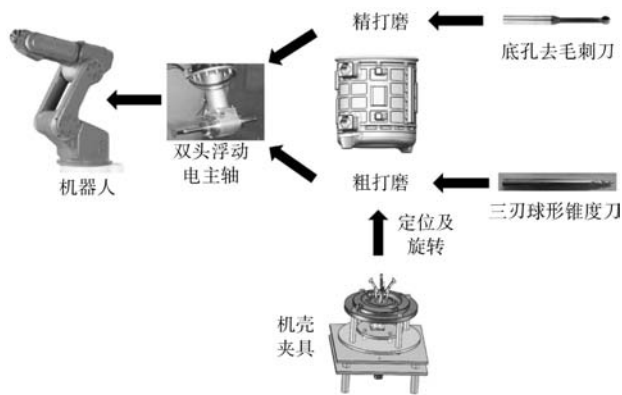


图2 铸件机器人打磨方案

Fig. 2 Robot grinding solution of the casting

为了保证打磨精度，该打磨方案需要进行粗打磨和精打磨两个工艺；安装在机器人末端的打磨主轴选用双浮动电主轴，该主轴可以同时安装双刀具（分别选用底孔去毛刺刀和三刃球形锥度刀），分别对应粗打磨和精打磨，打磨过程中浮动主轴可在轴向自动换刀，实现粗打磨和精打磨工艺之间的连贯性，可以极大地降低机器人示教及编程难度，也能较大地提高打磨效率。

## 2 打磨工作站结构及打磨工艺设计

### 2.1 打磨工作站机壳夹具结构设计

机器人打磨工作站机壳夹具设计如图3左图所示，机壳铸件通过固定盘放置在整套打磨夹具上，固定盘

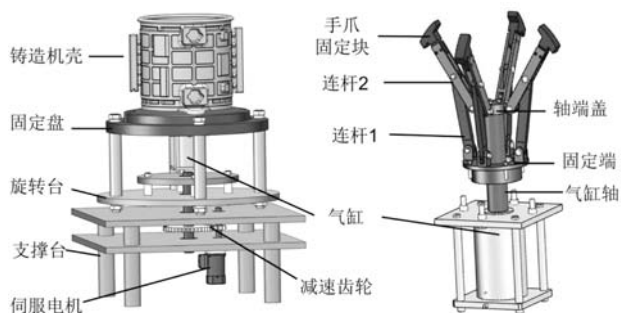


图3 水冷机壳铸件机器人打磨设备及手爪结构图

Fig. 3 Structure diagram of the water-cooled casing casting robot grinding equipment and gripper

上端面部分和铸件下部分成型配对，可以保证铸件平稳地放在固定盘上，并确定铸件在整套设备上的起始位置；固定盘安装在旋转台上，旋转台在伺服电机驱动下可以带动固定盘自动旋转，旋转台的旋转速度和旋转角度以及旋转时机由伺服电机和减速齿轮控制。

整套打磨夹具都安装在支撑台上，由于打磨会给铸件造成一定的打磨压力，故铸件机壳需要进行装夹固定；本设备采用了气动卡爪内腔固定的方法进行二次固定，气动卡爪的结构如图3右图所示，该气动卡爪由固定在固定盘下端面的气缸通过气缸轴驱动；当铸件在固定盘上放置好以后，气缸轴通过固定轴中间的孔向上推动，安装在气缸轴上端的轴端盖带动均匀分布的4根连杆2沿着轴端盖连接处的销轴旋转展开，4根连杆1同步旋转支撑，当安装于连杆2末端的手爪固定块顶住铸件的內腔壁时，便可以从铸件內腔对铸件进行装夹固定；当气缸轴向下推动后，气动手爪回缩，松开铸件內腔，进而更换新的水冷机壳铸件。

### 2.2 打磨工作站打磨工艺流程设计

机器人打磨工作站的装夹工作台是通用的，不仅可以对如图1的低压铸造水冷机壳铸件进行打磨，更可以针对不同直径大小形状的同类型水冷机壳进行打磨，只需更换装夹工作台的固定盘既可，然后根据每一款水冷机壳表面分型面形状的不同，设计相应的机器人打磨路径即可。

以图1所示的水冷机壳为例，该低压铸造水冷机壳铸件需要打磨的部位有主分型线、侧面抽芯分型线和芯头端面分型线三种铸造毛刺，打磨工艺流程设计如图4所示。

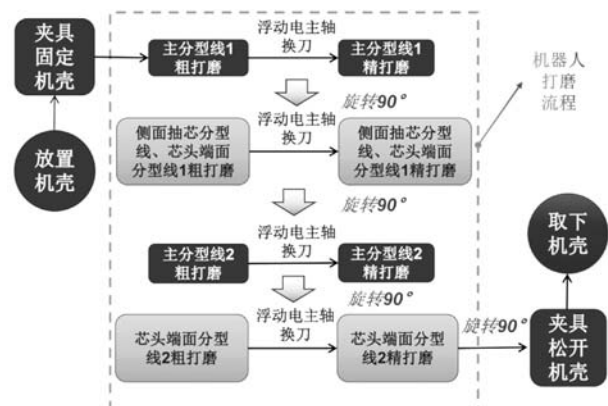


图4 水冷机壳铸件机器人工作站打磨工艺流程

Fig. 4 Grinding process of robot workstation of the water-cooled casing

首先将水冷机壳铸件放到打磨工作站对应的固定盘上，再启动气动卡爪夹具固定好水冷机壳铸件，固定好以后，打磨机器人便开始工作；由于水冷机壳铸件需要打磨的位置分布在机壳四周，侧面抽芯分型线

和芯头端面分型线位置较近,故将整个打磨过程分为4个阶段,依次为主分型线1打磨、侧面抽芯分型线和芯头端面分型线1打磨、主分型线2打磨、芯头端面分型线2打磨;每完成一个阶段的打磨,水冷机壳都要在旋转台作用下旋转90°,直至完成4个阶段的打磨回到原始位置;每一个打磨阶段,打磨机器人都需要旋转浮动电主轴换刀,对每一个打磨位置进行粗打磨和精打磨两次打磨。完成打磨后便可以松开气动卡爪夹具,取下机壳,这样就完成了一个循环,然后再装上新的水冷机壳铸件,开始下一次打磨<sup>[4-5]</sup>。

### 3 建立打磨工作站仿真环境设计

利用机器人离线仿真软件robotstudio建立机器人打磨工作站仿真环境,创建工具、旋转台机械装置以及I/O信号连接,根据整个机器人工作站的打磨工艺流程,规划水冷机壳夹具的安装位置、旋转角度、旋转时机、工作节拍及机器人打磨的路径,编辑机器人打磨程序。

#### 3.1 建立机器人打磨工作站仿真环境并创建工具

首先,将SolidWorks软件设计好的水冷机壳机器人打磨工作站,包括机器人打磨工作站机壳夹具和已经安装好的水冷机壳,导入软件RobotStudio,选用IRB2600机器人(含控制柜)作为打磨机器人,如图5所示,为了防止机器人打磨过程中毛刺飞出工作区域以及无关人员靠近打磨工作站造成安全隐患,机器人打磨工作站四周安装了专门的护栏<sup>[6]</sup>。

从布局建立机器人工作系统damo,导入双浮动电主轴双刀具工具MyNewtool(如图5中机器人末端位置所示)进入机器人打磨工作站中,设定该工具的本地坐标系与机器人法兰坐标系重合,建立打磨工具末端的坐标系框架,设定机器人的工具坐标分别为fudongzhuzhoutool和fudongzhuzhoutool2,并将该工具安装在机器人末端的法兰上,为实现机器人打磨过程

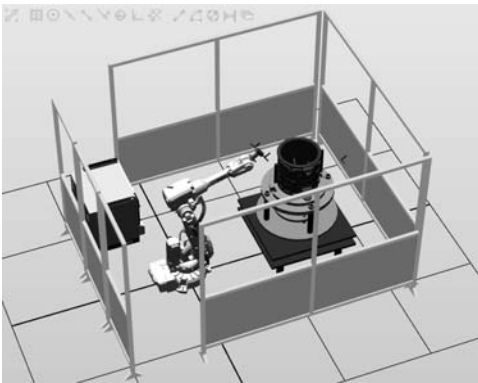


图5 机器人打磨工作站仿真环境

Fig. 5 Simulation environment of the robot grinding workstation

做好准备。

#### 3.2 创建机械装置及I/O信号连接

新能源汽车水冷机壳打磨设备夹具旋转台机械装置如图6区域1所示,以打磨机器人浮动电主轴最容易到达的工作区域为机器人打磨区域。根据水冷机壳打磨设备夹具工作原理设定机械装置链接、接点、旋转关节以及水冷机壳打磨位置姿态,如图6区域2所示。

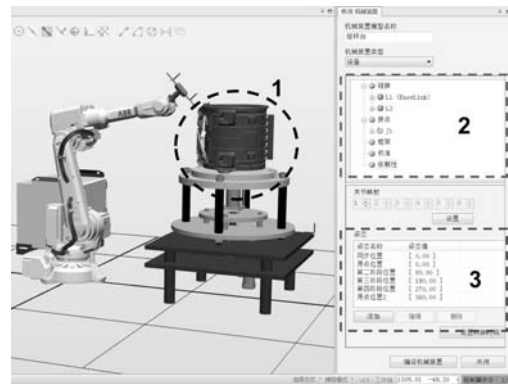


图6 机械装置旋转台设置

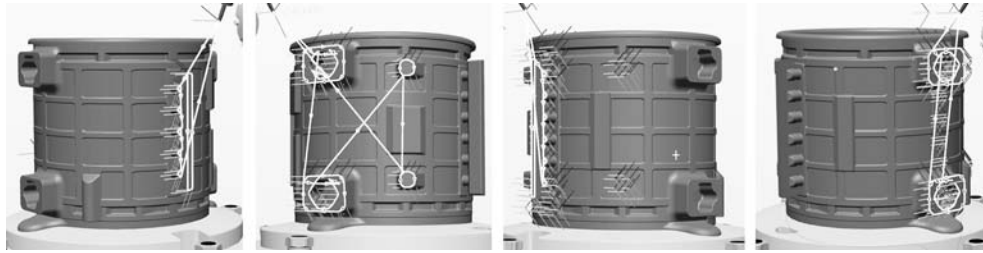
Fig. 6 Setup of the mechanism rotary table

水冷机壳打磨时需要分别在4个位置进行打磨,旋转台需要旋转4次(每次90°),故设定水冷机壳旋转台4个位置姿态(如图6区域3所示),分别为:原点位置、第二阶段位置、第三阶段位置和第四阶段位置,即每个水冷机壳打磨都有4个姿态位置,然后回到原点位置,等待下一个水冷机壳打磨,构成循环。

根据水冷机壳的机器人打磨工作站的4个打磨位置姿态,建立Smart组件SmartComponent-1,在组件中设定4个旋转姿态位置,设定数字信号signal1、signal2、signal3、signal4和针对4个位置姿态的I/O连接,设定打磨机器人工作站的I/O信号分别为Do1、Do2、Do3、Do4,对应SmartComponent-1的设置,实现机器人打磨过程中水冷机壳打磨设备夹具旋转台机械装置的通信及动作控制<sup>[7]</sup>。

#### 3.3 水冷机壳机器人打磨路径规划

根据经验所得,设定机器人打磨动作速度为100 mm/s,根据4个打磨阶段的位置姿态,选择2个浮动电主轴工具坐标系位置fudongzhuzhoutool和fudongzhuzhoutool2;设定安全高度位置(原点位置)为pHome点,保证打磨过程中浮动电主轴工具换刀时不会与水冷机壳等设备发生碰撞,进而配置好打磨参数,分别在4个打磨阶段的打磨位置进行示教编程,形成4条打磨路径,如图7所示,需要说明的是,每个阶段的打磨路径都要进行2次,分别对应粗打磨和精打磨



(a) 第一阶段打磨路径 (b) 第二阶段打磨路径 (c) 第三阶段打磨路径 (d) 第四阶段打磨路径

图7 机器人打磨工作站4个阶段打磨路径

Fig. 7 4-stage grinding paths of the robot grinding station

两个工艺过程<sup>[8-9]</sup>。

### 3.4 机器人打磨工作站机器人工作程序

根据机器人打磨工作站设定,生成铸件的打磨过程的主程序,根据打磨工艺要求,进行了路径优化、程序修改以及仿真验证,得到机器人打磨工作站完成一个铸件的打磨过程的主程序如下:

```

MODULE Module1
CONST robtarget…… …… ……/各目标点坐标值显示;
PROC Path_10 ( )/程序进入点;
MoveJ Target_pHome, v200, z5, fudongzhuzhoutool\WObj: =damo;/打磨工作站机器人处于工作原点位置,机器人运动速度200mm/s,选择工具坐标fudongzhuzhoutool,以damo (WObj)为工件坐标数据;
MoveL Target_10, v100, z5, fudongzhuzhoutool\WObj: =damo;/开始沿着第一阶段打磨路径进行粗打磨;
MoveL Target_20, v100, z5, fudongzhuzhoutool\WObj: =damo;
…… …… ……
MoveL Target_240, v100, z5, fudongzhuzhoutool\WObj: =damo;
MoveJ Target_pHome, v200, z5, fudongzhuzhoutool\WObj: =damo;/沿着打磨路径完成第一阶段粗打磨,并回到机器人工作原点位置;
MovJ Target_250, v200, z5, fudongzhuzhoutool2\WObj: =damo;/更换工具坐标为fudongzhuzhoutool2,更换为精打磨刀具;
…… …… ……
MoveL Target_470, v100, z5, fudongzhuzhoutool2\WObj: =damo;
MoveL Target_480, v100, z5, fudongzhuzhoutool2\WObj: =damo;
MoveJ Target_pHome, v200, z5,

```

fudongzhuzhoutool\WObj: =damo;/沿着打磨路径完成第一阶段精打磨,并回到机器人工作原点位置;

Set doc1; waitTime 5; /暂停5秒,旋转台旋转90°到第2个姿态位置;

MoveJ Target\_490, v200, z5, fudongzhuzhoutool\WObj: =damo;/更换工具坐标为fudongzhuzhoutool1,换为粗打磨刀具;

…… …… ……/沿着第二阶段打磨路径完成粗、精打磨,并及时更换打磨刀具;

Set doc2; waitTime 5; /暂停5秒,旋转台旋转90°到第3个姿态位置;

…… …… ……/沿着第三阶段打磨路径完成粗、精打磨,并及时更换打磨刀具;

Set doc3; waitTime 5; /暂停5秒,旋转台旋转90°到第4个姿态位置;

…… …… ……

MoveL Target\_pHome, v200, z5, fudongzhuzhoutool2\WObj: =damo;/沿着打磨路径完成第四阶段粗、精打磨,并回到机器人工作原点位置;

MoveL Target\_4980, v200, z5, fudongzhuzhoutool\WObj: =damo;/更换工具坐标为fudongzhuzhoutool,更换为粗打磨刀具;

Set doc4; waitTime 5; /暂停5秒,旋转台旋转90°回到原点位置;

ENDPROC

ENDMODULE

该程序共分为4个打磨阶段,每个打磨阶段的中间都给了5 s的暂停时间,用以旋转台完成90°的旋转。由于篇幅所限,该程序只列出了程序中比较重要的语句,其中省略号为省去的程序语句,程序后面为程序说明<sup>[10]</sup>;为了提高打磨效率,该程序进行了适当的优化,除了打磨路径的优化以外,在机器人回原点位置以及更换刀具时,打磨刀具离铸件比较远,不容易碰撞,故机器人选用了较快的200 mm/s的运动速度。

## 4 结语

针对一款新能源汽车电机水冷机壳搭建了一套机器人打磨工作站,该工作站包含了水冷机壳旋转台夹具、IRB2600机器人、双浮动电主轴和护栏四个部分。全文设定了水冷机壳的打磨姿态位置、旋转角度和停顿时间,利用机器人离线仿真软件RobotStudio完成了机器人的动作节拍、双浮动主轴双打磨刀具自动换刀、打磨路径以及打磨程序的仿真和验证,更是保

证了机器人打磨工作站的连贯性,相对于手工打磨,机器人打磨工作站既可以提高去铸造毛刺的质量和效率,更是可以实现整个打磨过程的连续性和自动化。需要说明的是,该机器人打磨工作站可以针对不同直径大小形状的同类型水冷机壳进行打磨,有较大的适应性,并对提高电机水冷机壳打磨行业的进步起到较大的作用。

### 参考文献:

- [1] 刘金城. 英国谢菲尔德铸锻公司使用人机协作机器人改进打磨作业 [Z]. 铸造, 2021, 70 (9): 1129.
- [2] 韩伟, 陈宇珊, 刘建光, 等. 电动汽车机壳低压铸造机器人下芯设计与编程 [J]. 铸造, 2020, 69 (4): 402-406.
- [3] 尹保亮, 任科生. 机器人自动打磨系统在机车大型构件的应用 [J]. 工业设计, 2017 (5): 155-157.
- [4] 郑学海. 复合材料管件打磨机器人工作站控制系统设计 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨理工大学, 2019.
- [5] 祝世兴, 高哲晟. 基于RobotStudio的机器人在线打磨工作站设计研究 [J]. 制造技术与机床, 2021 (8): 97-102.
- [6] 李慧. 基于RobotStudio的工业机器人打磨应用设计与仿真 [J]. 机械工程与自动化, 2020 (2): 42-44.
- [7] 李国栋, 梁宇飞, 陈振亚, 等. 针对铸铁管件毛刺的机器人打磨技术研究 [J]. 铸造, 2022, 71 (1): 94-98.
- [8] 徐光, 肖小亭. 基于RobotStudio的水槽机器人抛光路径研究 [J]. 机电工程技术, 2015, 44 (9): 5-8.
- [9] 雷旭昌, 陈江魁, 王茜菊, 等. 工业机器人Robotstudio仿真训练教程 [M]. 重庆: 重庆大学出版社, 2019.
- [10] 邓三鹏, 周旺发, 祁宇明, 等. ABB工业机器人编程与操作 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2018.

---

# Design of Grinding Robot Workstation for Automotive Water-Cooled Casing Castings

DUAN Hai-feng<sup>1</sup>, HAN Wei<sup>1</sup>, CHEN Xiao-bin<sup>1</sup>, YANG An<sup>2</sup>

(1. College of Mechanical Engineering, Guangzhou City University of Technology, Guangzhou 510800, Guangdong, China; 2. Guizhou Lanhui New Material Co., Ltd., Zunyi 563000, Guizhou, China)

### Abstract:

After the low-pressure casting of the water-cooled casing of the automobile motor is completed, the manual grinding of the casting has high labor intensity, high grinding process cost, poor accuracy and low efficiency. A set of robot grinding workstation system was designed, including four major components: water-cooled cabinet rotary table fixture, IRB2600 robot, double floating electric spindle and guardrail. The layout, motion simulation, grinding path and cycle beat of the robot grinding workstation were simulated by using the robot offline simulation software RobotStudio. Before the actual construction of the robot system, the posture position, rotation angle, dwell time of the water-cooled casing and the tool change of the coarse and fine grinding process of the double floating spindle were designed and trial run, and the grinding path and details were further optimized to obtain higher grinding quality, which provided real verification for the robot grinding of the water-cooled casing castings. This grinding workstation can not only improve the efficiency of deburring, but also realize the consistency of the robot grinding workstation, so as to improve the automation level of the casing grinding in the motor water-cooled casing industry.

### Key words:

water-cooled enclosure robot workstation; robot grinding; RobotStudio; fixture