

机器人压铸件下料与去毛边一体化系统研究

朱鸿巍, 陈英雄, 席文明
(厦门大学机电工程系, 福建 厦门 361005)

摘要:建立了工业机器人自动化下料与去毛边加工一体化系统,减少压铸件使用设备的种类,降低压铸件制造成本。在工业机器人下料时,其末端夹具对压铸件形成负压吸附和压板的立体空间定位,精确定位压铸件与夹具的位姿关系,保证毛边的加工精度。利用软件仿真系统编制工业机器人加工压铸件毛边的轨迹,在压铸件毛边加工轨迹编制前,首先对软件仿真系统和工业机器人加工系统进行标定,建立软件环境与实际工业机器人加工系统的一致性,确保软件中编制的轨迹点映射到实际工业机器人加工系统中的精度。实验结果表明,软件环境和实际工业机器人加工系统标定后,其毛边加工精度可以达到 0.28 mm。

关键词:压铸件;工业机器人;毛边加工;软件仿真

中图分类号: TP24

文献标识码: A

文章编号: 1672-545X(2013)12-0006-04

工业机器人主要应用于工业生产中的焊接、喷涂、上下料、码垛等作业中^[1-4],由于工业机器人主要采用示教编程,该编程方法不能满足工业机器人铣削、磨削零件的精度^[5-6]。在制造业中,压铸件广泛应用于产品成型中,压铸环境高温、高湿、粉尘污染严重,需要自动化作业完成产品压铸后的下料和去毛边工序。工业机器人可以完成压铸后产品的下料,但需要将下料后的压铸件定位到加工中心中,由加工中心完成压铸件去毛边加工。这样,压铸件下料和去毛边加工由两个装备完成,不能形成工业机器人下料和去毛边加工的一体化系统,增加了压铸件后处理的成本。

利用工业机器人加工产品的前提是保证其加工精度,现有工业机器人普遍采用示教编程,即利用操作者的观察定位工业机器人的轨迹点,该方法的位置误差在 0.5 mm 左右,不能满足大部分的零件加工精度要求,特别是产品去毛边加工。软件编程是将工业机器人模型、加工刀具模型、被加工零件模型等导入到一个图形仿真环境,该仿真环境利用三维实体模型模拟实际的工业机器人加工环境,直接在仿真环境中的被加工零件模型上选取工业机器人加工轨迹点,具有高的编程精度,但该方法需要建立仿真环境与实际加工环境的一致性,否则,当仿真环境中的加工轨迹点映射到实际加工环境时将产生误差,该误差就是仿真环境和实际加工环境之间的映射误差^[7-12]。

本文以密胺树脂压铸产品为对象,利用工业机

器人完成压铸后产品下料和去除产品毛边,建立工业机器人下料和加工一体化系统,降低产品成本。

1 工业机器人末端夹具设计与制造

密胺树脂为固体颗粒状材料,受热后形成流动的液体,冷却后凝固,是制作餐具、卫浴产品的材料。密胺树脂产品在热压机中成型,具体见图 1 所示。首先将密胺树脂颗粒均匀放到热压机中的模具下模内,见图 1(a);上下模具合模,然后对模具中的密胺树脂加热、加压,见图 1(b);保温一段时间后,开模取出已成型的碗形产品,见图 1(c);最后,对成型产品去毛边,形成最终产品,见图 1(d)。

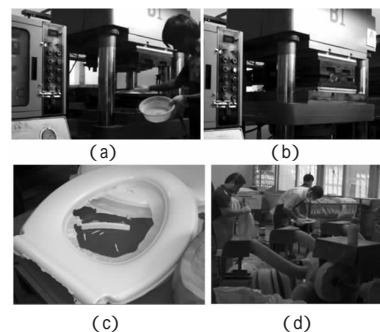


图 1 密胺树脂成型过程

本文下料和去毛边对象是碗形密胺树脂产品,该产品只有碗底处可以采用负压吸附定位,毛边在碗口处。当夹具中的负压吸盘吸附住碗底后,利用铣

收稿日期: 2013-09-07

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(编号: 61172046)

作者简介: 朱鸿巍(1988—),男,福建南平人,在读硕士研究生,研究方向为机器人技术;通讯作者: 席文明(1965—),男,教授,研究方向: 工业机器人应用。

刀或砂带去除碗口毛边时,碗口会绕负压吸盘旋转一个微小的角度,从而在铣削或磨削毛边时产生位置误差,不能精确地去除碗口的毛边。另外,压铸产品的模具在压铸一定数量产品后需要进行修整,修整后的模具型腔和碗形产品的 Pro-E 模型不一致。而产品的碗口去毛边加工轨迹是按 Pro-E 模型编制,这样在实际加工时会带来加工误差。

图 2 是工业机器人末端夹持碗形产品的夹具,图 2(a)是原理图,图 2(b)是实物图。从图 2(a)可以看出,在负压吸盘定位的基础上,在碗口处增加了一个圆形压板定位。当负压吸盘吸附到碗底后,圆形压板在弹簧力作用下压紧在碗口处,利用汽缸的推杆以及卡爪将与圆形压板相连的套筒锁紧,使夹具与碗形成立体定位。圆形压板尺寸由碗的 Pro-E 尺寸确定,当实际的碗和 Pro-E 模型有差异时,在压板上的弹簧力作用下,实际碗的碗口处形状发生改变,使其和 Pro-E 模型的形状一致,这样就校正了由于修整模具时产生的实际碗的误差。

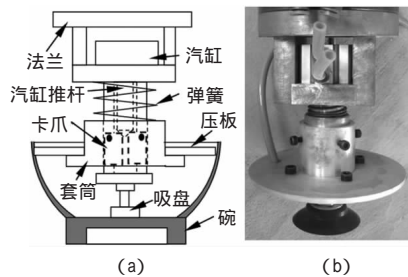


图 2 夹具原理图和实物图

2 仿真环境与实际环境一致性建立

在图 3 中,软件环境的 为工业机器人模型,为夹具模型,为铣刀模型;它们的坐标系分别为 $\Sigma_{x_0 y_0 z_0}$ 、 $\Sigma_{x_n y_n z_n}$ 和 $\Sigma_{x_T y_T z_T}$;在实际环境中,1 为工业机器人,2 为夹具,3 为铣刀;它们的坐标系分别为 $\Sigma_{X_0 Y_0 Z_0}$ 、 $\Sigma_{X_n Y_n Z_n}$ 和 $\Sigma_{X_T Y_T Z_T}$ 。工业机器人与夹具间的转换矩阵为 J_1 、工业机器人与铣刀间的转换矩阵为 J_2 、铣刀与夹具间的转换矩阵为 J_3 。为了建立软件环境与实际环境的一致性,需要标定上述三个转换矩阵中的两个。 M 是实际环境与软件环境之间的比例映射矩阵, J_{T1} 是软件环境中工业机器人模型与夹具模型之间的转换矩阵, J_{T2} 是软件环境中工业机器人模型与铣刀模型之间的转换矩阵, J_{T3} 是软件环境中铣刀模型与夹具模型之间的转换矩阵。软件环境与实际环境的一致性由公式(1)建立

$$\begin{cases} J_{T1} = mI J_1 \\ J_{T2} = mI J_2 \\ J_{T3} = mI J_3 \end{cases} \quad (1)$$

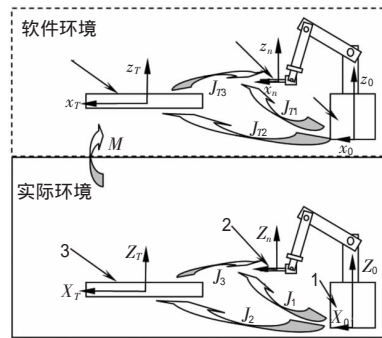


图 3 软件环境与实际环境一致性建立

式(1)中的 J_1 、 J_2 、 J_3 、 J_{T1} 、 J_{T2} 、 J_{T3} 为 4×4 的齐次坐标矩阵, m 是比例系数, $M = mI$, I 是 4×4 单位矩阵。假设开始标定前,软件环境与实际环境的位置、姿态是一致的,则

$$J_0 = \frac{1}{m} J_{T0} \quad (2)$$

式中,

J_{T0} 是开始标定时,软件环境中工业机器人模型到铣刀模型的初始转换矩阵;

J_0 是开始标定时,实际环境中与 J_{T0} 对应的工业机器人到铣刀的初始转换矩阵。

由于存在工业机器人、铣刀的制造和安装误差, J_0 和 J_2 不相等。假设 J_0 和 J_2 之间的姿态误差为 $ROT(x, \alpha)$ 、 $ROT(y, \beta)$ 、 $ROT(z, \gamma)$; J_0 和 J_2 之间的位置误差为 $Tran(x, p_x)$ 、 $Tran(y, p_y)$ 、 $Tran(z, p_z)$,由(2)式得

$$\begin{aligned} J_2 &= J_0 \cdot ROT(x, \alpha) \cdot ROT(y, \beta) \cdot ROT(z, \gamma) \\ &\quad \cdot Tran(x, p_x) \cdot Tran(y, p_y) \cdot Tran(z, p_z) \\ &= \frac{1}{m} J_{T0} \cdot ROT(x, \alpha) \cdot ROT(y, \beta) \cdot ROT(z, \gamma) \\ &\quad \cdot Tran(x, p_x) \cdot Tran(y, p_y) \cdot Tran(z, p_z) \end{aligned} \quad (3)$$

式中,

$ROT(x, \alpha)$ 、 $ROT(y, \beta)$ 、 $ROT(z, \gamma)$ 为绕铣刀上坐标系 $\Sigma_{X_T Y_T Z_T}$ 的 X_T 、 Y_T 、 Z_T 轴旋转 α 、 β 、 γ 角形成的 4×4 齐次坐标矩阵。

$Tran(x, p_x)$ 、 $Tran(y, p_y)$ 、 $Tran(z, p_z)$ 为沿铣刀上坐标系 $\Sigma_{X_T Y_T Z_T}$ 的 X_T 、 Y_T 、 Z_T 轴平移 p_x 、 p_y 、 p_z 距离形成的 4×4 齐次坐标矩阵。

将(3)式代入到(1)式得,

$$\begin{aligned} J_{T2} &= J_{T0} \cdot ROT(x, \alpha) \cdot ROT(y, \beta) \cdot ROT(z, \gamma) \\ &\quad \cdot Tran(x, p_x) \cdot Tran(y, p_y) \cdot Tran(z, p_z) \end{aligned} \quad (4)$$

在公式(3)中 α 、 β 、 γ 和 p_x 、 p_y 、 p_z 可通过标定工具和工业机器人正运动学得到。利用公式(4)对软件环境中的铣刀模型进行调整,使其与实际环境中的铣刀位置、姿态一致。

利用同样方法可以对 J_3 进行标定,利用方形和尖顶标定工具对两个环境标定的精度为位置 0.18 mm,

姿态 0.1° 。

当软件环境和实际环境标定后, 利用仿真软件编制去毛边的加工轨迹, 轨迹点取在碗的 Pro-E 模型的碗口处, 共取 720 个点, 其轨迹点的 Z 向坐标指向碗底, Y 坐标与圆形碗口的法向量一致, X 坐标与圆形碗口的切向量一致。图 4 是轨迹点编制完成后, 利用仿真软件对工业机器人的加工轨迹进行动态仿真。图 4(a)是工业机器人下料仿真, 图 4(b)是工业机器人在铣刀上进行去毛边加工仿真, 图 4(c)是工业机器人在磨削机床的砂带上进行去毛边仿真, 图 4(d)是工业机器人完成去毛边加工仿真。

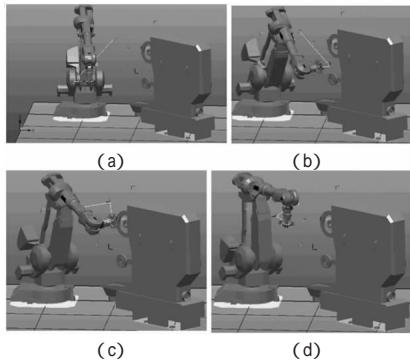


图 4 工业机器人下料与去毛边加工仿真

3 实验结果

图 5 是工业机器人下料和去毛边加工一体化系统以及工业机器人下料和去毛边加工过程, 该加工程序在图 4 的仿真过程中产生, 即在仿真软件中完成加工轨迹仿真后, 将仿真产生的程序直接下载到工业机器人控制器中, 完成图 5(b)~图 5(e)的加工过程。系统由 ABB 工业机器人(IRB4400, 45 公斤)、产品夹具(自行研制)、铣刀夹具(自行研制)、气动铣刀头(外购)、铣刀(外购)和磨削机床(自行研制)组成, 见图 5(a)。当气动铣刀头接入压缩空气时, 安装在上面的铣刀产生旋转运动(4 000 转 / 分钟), 从而对产品进行加工, 磨削机床由电机驱动砂带运动, 砂带支撑在圆柱轮上。

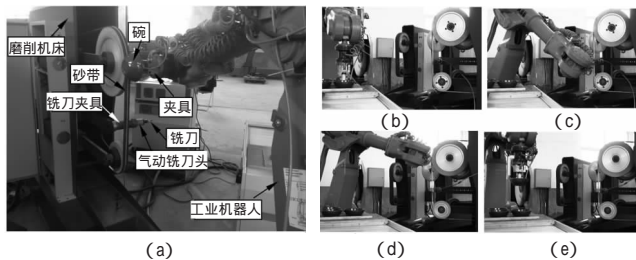


图 5 工业机器人下料与去毛边加工一体化系统

当毛边加工完成后, 利用游标卡尺测量实际碗口直径, 将多个碗口直径的端点连接后拟合成一个

圆, 将该圆与 Pro-E 模型中的碗口圆进行比较, 确定去毛边的加工精度。实验中分别用铣刀去毛边和用砂带去毛边, 通过比较, 发现两种去毛边方法在精度上没有本质差别, 下面只对铣刀去除碗的毛边精度进行分析。图 6 是利用铣刀去除毛边后的产品外形以及实际碗口尺寸与 Pro-E 模型中碗口尺寸的比较。从图 6(a)可以看出, 产品毛边去除完整, 没有产生过切和少切。从图 6(b)中可以看出, 毛边加工的最大误差为 0.28 mm。

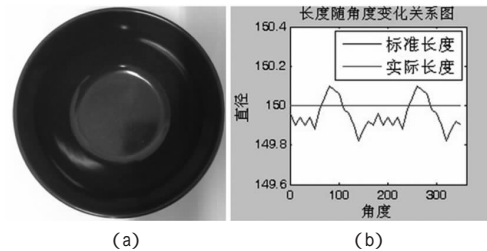


图 6 去除毛边后产品外形以及毛边加工误差

4 结束语

本文利用工业机器人组成压铸件下料与去毛边加工一体化系统, 有效降低产品的加工成本。在夹持产品时, 利用空间定位方法设计夹具, 该夹具不仅可以和产品产生精确的定位关系, 而且可以利用圆形压板的压力补偿产品的制造误差, 保证实际的碗口形状与 Pro-E 模型的碗口形状一致。为了提高工业机器人铣削和磨削精度, 建立了仿真环境与实际环境一致性的方法, 利用该方法可提高仿真环境中的轨迹点映射到实际环境中的精度, 从而精确加工产品的毛边, 该方法可以应用于加工不同零件的工业机器人铣削和磨削系统中。本文的下料和去毛边加工虽然针对密胺树脂产品, 但该方法可以应用于其他材料的压铸件的下料和去毛边加工。

参考文献:

- [1] 张铁, 欧阳帆. 双机器人协调焊接任务规划及仿真[J]. 焊接学报, 2012, 33(12): 9-12.
- [2] 张良安, 梅江平, 黄田. 基于遗传算法的机器人自动化生产线缓冲区容量分配方法[J]. 机械工程学报, 2010, 46(11): 101-106.
- [3] 杜宏旺, 王宗义, 刘少刚, 等. 接管焊接机器人运动学及轨迹修正[J]. 焊接学报, 2009, 30(7): 45-48.
- [4] 马宏波, 陈善本. 焊接机器人运动过程混合逻辑动态建模方法[J]. 上海交通大学学报, 2010, 44(增刊): 107-109.
- [5] 刘楚辉, 姚宝国, 柯映林. 工业机器人切削加工离线编程研究[J]. 浙江大学学报, 2010, 44(3): 426-431.

- [6] 韩光超,孙明. 基于轨迹控制的机器人抛光工艺[J]. 华中科技大学学报, 2009, 37(2): 75-77.
- [7] C. Reinl, M. Friedmann, J. Bauer, et al. Model-based Off-line Compensation of Path Deviation for Industrial Robots in Milling Applications[C]. 2011 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM2011). Budapest, Hungary: IEEE, 2011: 367-372.
- [8] 朴永杰,邱涛,陈善本. 弧焊机器人 TCF 参数的标定[J]. 机器人, 2001, 23(2): 109-112.
- [9] 齐立哲,汤青,杨书评,等. 基于离线编程的机器人曲轴去毛刺系统[J]. 制造业自动化, 2012, 34(1):13-15.
- [10] 吕鹏,孟正大. 弧焊机器人离线编程的实用化技术[J]. 华中科技大学学报:自然科学版, 2008(增刊): 273-276.
- [11] MOORING B W, ROTH Z S, DRIELS M R. Fundamentals of manipulator calibration [M]. New York: John Wiley & Sons, 1991.
- [12] Xuguang Wang, Edward Red. Robotic TCF and rigid-body calibration methods[J]. Robotica, 1997, 15(6):633-644.

The Research of the Mechatronic Systems on Pressure Casting Blanking and Burring Achieved by the Application of Robot

ZHU Hong-wei, CHEN Ying-xiong, XI Wen-ming

(Department of Mechanical Engineering, Xiamen University, Xiamen Fujian 361005, China)

Abstract: In this paper we build the system to achieve pressure casting blanking and burring by the application of robot. Using this method we can reduce the kinds of equipments and decrease the cost of casting manufacturing. When industrial robot blanks, end clamps for casting generates negative pressure adsorption and three-dimensional spatial positioning, which can pinpoint casting pose relationship with fixture and ensure the machining precision of overlap. We use the preparation of industrial robot simulation system software processing casting burrs track. Casting flash processing path in the preparation before the first software simulation system and calibrate industrial robot machining system. Then we build the consistency between software system and the actual machining system. By this way, we can ensure that the software is mapped to the preparation of the track point actual industrial robot precision machining systems. The experimental results show that after Calibrate the software system and the actual machining system, the machining precision of burring could be 0.28mm.

Key words: pressure casting; industrial robot; burring; software simulation

(上接第5页)

- [2] 苏万华,余皎,赵昌普. 一种研究现代柴油机喷雾混合过程的试验装置[C]. 武汉:中国工程热物理学会燃烧学学术会议论文集, 2000.
- [3] 向继红. 内燃机带燃油喷雾燃烧过程的三维数值模拟与应用研究——RES3D-II 程序的开发与应用[D]. 北京:北京理工大学, 1999.
- [4] 王军锋. 燃油静电喷雾及荷电两相湍流射流的研究[D]. 镇江:江苏大学, 2002.
- [5] 金晗辉,王军锋,王泽,等. 静电喷雾研究与应用综述[J]. 江苏理工大学学报, 1999, 20(3):16-19.
- [6] 李世武. 燃油带电荷辅助雾化的机理与试验研究[D]. 吉林:吉林工业大学博士学位论文, 2000.
- [7] 胡迎锋. 高压静电场中几种液体介质的雾化机理探讨与试验研究[D]. 武汉:武汉科技大学硕士学位论文, 2006.
- [8] 鲍重光. 静电技术原理[M]. 北京:北京理工大学出版社, 1993.
- [9] 高全杰,田中捷. 梁板电极电场中油液荷电雾化的实验研究[J]. 武汉科技大学学报, 2002, 25(3):259-260.

Composite Atomization Analysis for High Pressure Charge-assisted of Diesel

ZHONG Dong-jie

(College of Machinery and Automation, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430081, China)

Abstract: This paper theoretically analyzes the mechanism of diesel pressure atomization and the high-voltage electrostatic assisted atomization, experimental device was designed, and the use of advanced digital camera to take photos about atomization of diesel under different pressure before and after the charge. Through analyzed the process of Electrostatic assist composite atomization, Came to the conclusion: diesel under pressure through the gasification disturbance of fumaroles and droplets charge before and after the charge mutually exclusive formed a complex composite atomization process, making the diesel droplets rapidly broken into smaller particles and better atomization.

Key words: diesel; static; composite atomization