

基于再制造的机器人电弧喷涂柔性快速成型技术初探

曹勇^{1,2}, 朱胜¹, 孟凡军¹, 郭迎春¹

(1. 装甲兵工程学院装备再制造技术国防科技重点实验室, 北京 100072; 2. 66345 部队理论教研室, 山西潞城 047500)

摘要: 论述了机器人电弧喷涂柔性快速成型技术在再制造工程中的地位和作用, 介绍了系统基本组成, 阐述了其技术特点, 研究了系统的工作过程, 着重探讨了其路径规划的 2 种方法, 最后展望了该技术今后的发展前景。

关键词: 再制造; 机器人; 电弧喷涂; 快速成型

中图分类号: TG434

文献标识码: A

文章编号: 1007-9289(2006)05⁺-0271-03

Study on RP by Arc -spraying based on Robot for Remanufacture

CAO Yong^{1,2}, ZHU Sheng¹, MENG Fan-jun¹, GUO Yang-chun¹

(1. National Key Laboratory for Remanufacturing, Academy of Armored Force Engineering, Beijing 100072; 2. Section of theory, Unit 66345 of PLA, Shanxi Lucheng 047500)

Abstract: The status and effect of RP by arc-spraying based on robot for remanufacture were related. The composition of the system was introduced, its characteristics were narrated and the process of this technique was studied. Two ways of path planning were discussed specially. In the end, its development was prospected.

Key words: Remanufacture; Robot; Arc -spraying; RP

0 引言

装备再制造工程是节约资源, 保护环境, 旧装备升级改造和为新装备积累经验的有效途径, 是维修工程、表面工程的继承、发展和深化, 也是其理论化和系统化, 是创建节约型社会、建设循环经济、坚持可持续发展战略的重要技术途径^[1-3]。

由于现代战争空前残酷, 装备毁伤日益严重, 精确保障迫在眉睫, 同时, 由于现代武器装备的复杂性、高质量、多品种、小批量、周期要求短、修复难度大, 传统的批量生产技术在再制造产品的质量、效率、精度以及在降低劳动强度, 减少环境污染等方面已无法满足现代战争需要, 因此, 发展自动化、柔性化与智能化的快速制造技术已成为摆在各国军方面前的重要课题。采用自动化、柔性化与智能化的快速生产技术还可以减少库存积压, 降低保障开支, 提高保障水平, 对于航海, 陆、空、天等远距离以及高温、剧毒等恶劣环境下的零件快速修复和精确保障也具有重要的战略意义和军事意义。同时, 现代经济社会中, 市场竞争激烈, 采用该技术可以大幅提高企业制造小批量、多品种产品

的灵活性, 增强企业竞争力和市场应变力, 因此发展自动化、柔性化与智能化快速生产技术在国防和国民经济中都具有广阔的研究、开发、应用前景, 基于再制造的机器人电弧喷涂柔性快速成型技术就是其中内容之一。

基于再制造的机器人电弧喷涂柔性快速成型技术是指在机器人操作控制下, 由 CAD 模型直接驱动, 采用电弧喷涂的方法快速制造任意形状的装备零件实体 (主要指薄壁零件) 的技术, 是机械工程、CAD、自动控制、电弧喷涂、材料能多学科相互渗透与交叉的产物。它是自动、快速、准确的将设计思想化为具有一定功能的原型或直接制造出零件的技术。

本文初步探讨了机器人电弧喷涂柔性快速成型技术的组成、特点、工作过程以及路径规划方法, 并对该技术今后的发展作了展望。

1 系统组成

机器人电弧喷涂柔性系统主要由机器人本体及控制器、电弧喷涂设备、变位机、周边装置和控制系统组成。

用于喷涂成型的工业机器人基本上都属于六轴式关节机器人, 有效载荷一般为 6kg 或 16kg, 其中下面 3 个轴 (手臂) 的运动是把喷枪送到不同的

空间位置,上面 3 个轴(手腕)是解决喷枪的姿态问题,各关节的运动由交流伺服电机驱动,动态特性好,负载能力强,故障率低,各轴运动的加(减)速度也很快,机器人控制器是整个系统的中枢,它有计算机硬件、软件和一些专用电路组成,软件包括控制器系统软件,机器人语言、机器人运动学和动力学软件,机器人控制软件,机器人仿真软件,机器人自诊断和子保护软件,控制器负责机器人工作过程中的全部信息和控制机器人的全部动作。

电弧喷涂设备一般包括喷枪、喷涂电源、送丝机构以及附属机构组成。为保证机器人控制器能够对喷涂参数进行控制和编程,机器人与喷涂设备之间接口协议必须一致。

变位机主要是在喷涂过程中与机器人协调运动,处于适当位置,以便获得成型质量较好的零件。

周边装置主要包括工件夹具和安全防碰撞装置等。

控制系统采用以系列可编程控制器为核心的 I/O 高速总线控制,主要有控制箱、示教器等组成,示教器装有可编程终端(触摸屏),能完成所有操作、提供各种指示以及参数的输入,特别是调整夹具或操作程序时,不需更换硬件,通过可编程触摸终端即可方便的实现。

2 技术特点

(1) 高速度、高柔性和技术高密集,实现了设计制造一体化;

(2) 自由成型制造,不受零件复杂程度的限制,实现喷涂零件的柔性化生产;

(3) 无需传统刀具、夹具及模具,保持了喷涂参数的稳定性,提高了零件成型的一致性;

(4) 生产周期短,市场响应快,生产效率高,产品竞争力强;

(5) 生产成本低,零件质量高,成本仅为传统加工的 1/3~1/5,经济效益突出,节材,节能,环保,符合绿色生产理念;

(6) 可实现武器装备零部件的备品零库存和战场的快速精确保障,军事意义显著。

3 工作过程

机器人电弧喷涂柔性快速成型制造技术与传统的受迫成形(如锻造成形)和去除成形(如切削加工)不同,是一种基于离散-堆积的成形过程^[4]。首先,借助三维 CAD 或用反求工程采集得到有关零件的

几何形状、结构和材料的组合信息,从而获得目标原型概念,并以此建立数字化描述模型。之后,将这些信息输出到计算机控制的机电集成制造系统,经过逐点、逐面进行材料的“三维堆砌”成型,再经过必要的处理,使其在外观、强度和性能等方面达到设计要求。其一般工作过程是:1) 建立三维 CAD 数据模型;2) 离散化处理;3) 层面信息处理;4) 确定粉体材料,采用电弧喷涂工艺,层面加工;5) 原型或零件的喷涂堆砌制造;6) 原型或零件的后处理。

4 路径规划方法^[5,6]

机器人轨迹规划是使机器人在规定时间内,按一定的速度及加速度,从初始状态移动到某个规定的目标状态。其路径规划方法主要有直角坐标空间法和关节空间法两种^[1]。关节空间法优点是计算量小,效率高,仅受关节速度及加速度的限制,不会发生机构的奇异性问题,特别适合机器人末端执行器离开物体不要求规定路径的、进入空行程大范围内快速移动的轨迹段,该方法的缺点是机器人在未执行末端执行指令实现运动前,难以形象末端执行器在空间的真实轨迹,特别是在机器人工作空间内有障碍的情况下,容易发生危险。直角坐标空间轨迹规划的优点是分段点之间的运动能很好的确定,非常适合已定义的函数轨迹,缺点是不仅要进行空间插补,又要转换到关节,且难以估计运动时间、关节速度以及加速度达到的极限。

4.1 直角坐标空间法

在电弧喷涂快速成形过程中,不仅要求机器人在运动终点准确定位,而且要求运动轨迹具有一定的精度即要求对手臂进行连续轨迹(Continuous Path)控制。为保证可靠的抓取与卸除喷枪,要求有一准备动作,因此需要增加逼近与脱离两个位姿。同时为避免多余的抖动与停顿,常常也要求执行器在经过这些空间点时运动是连续的。

CP 运动方式有空间直线运动、空间圆弧运动及空间椭圆运动等运动方式。

(1) 空间直线运动 此时机器人只需在运动中完成一条空间直线轨迹,其轨迹控制采用在直角坐标空间里的直线插补方式。只要给出直角坐标空间内轨迹起点和终点的位姿信息,即可计算出由两点所确定的直线段上的一系列点的位姿信息。这一系

列点的位姿经过运动学反解,即可求得各个关节对应点所需要的关节角度。

(2) 空间圆弧运动 三维空间轨迹除了简单的直线、圆弧、椭圆,还包括抛物线、双曲线、螺旋线等复杂的曲线。设机器人由起始点位姿 T_0^0 经过中间某一点 T_1^1 后到达终止点 T_2^2 在固定坐标系 X 、 Y 、 Z 方向上,起始点位置为 $p^0=(p_x^0, p_y^0, p_z^0)^T$, 姿态角为 α_0 、 β_0 、 γ_0 , 中间点的位置为 $p^1=(p_x^1, p_y^1, p_z^1)^T$, 姿态角为 α_1 、 β_1 、 γ_1 , 终止点的位置为 $p^2=(p_x^2, p_y^2, p_z^2)^T$, 姿态角为 α_2 、 β_2 、 γ_2 。

如果根据空间圆方程: $(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2 + (z-z_0)^2 = r^2$

对上式进行轨迹规划,编写轨迹的参数方程十分困难,对上述方程进行插补也是非常复杂的。为了便于计算圆的轨迹方程,必须先将圆的轨迹方程由固定坐标系进行变换,然后在新坐标系中引入轨迹规划插值后,再反变换到基准坐标系中。

(3) 空间椭圆运动 焊接机器人的椭圆运动方式与圆弧运动方式相似,不同之处在于是以椭圆进行规划的。根据轨迹上的任意三个点,并给出长短轴比例 $k=a/b$,即可进行椭圆的轨迹规划。当 $a=b$ 时,椭圆的轨迹规划即为圆的轨迹规划。

4.2 关节空间法

首先用逆运动学将路径点转换成关节矢量角度值,然后对每个关节拟合一光滑函数,从初始点依次通过所有路径点到达目标点,并使每一路径各关节运动时间均相同。关节轨迹同时要满足一组约束条件,如位姿、速度、加速度与连续性等。在满足约束条件下,可选取不同类型的关节插值函数。常用的插值函数有:三次多项式插值、高阶多项式插值及用抛物线过渡的线性插值等。各关节函数之间是相互独立的,且不会发生机构的奇异性问题。

(1) 无中间点的PTP运动 无中间点的PTP运动指机器人的手部运动时,由机器人起点某位姿运动到终点另一位姿时,手部不经过任何中间位姿点的运动。设机器人的起始位姿为 T_0^0 ,此时位姿的几个关节角度为 $q_i^0(i=1, 2, \dots, 6)$ 。经过时间 t_f 后,机器人手部不经任何其它的中间点直接到达目标位姿 T_1^1 ,相应的关节位置为 $q_i^1(i=1, 2, \dots, 6)$ 。为了使机器人的运动快速协调,须找出光滑函数 $q_i(t)$ 。三次多项式插值: $q_i(t)=a_0+a_1t+a_2t^2+a_3t^3$ 关节运动从静止起点开始运动到终点静止结束,4个系数可由起始点和终止点的约束条件求得。

(2) 带中间点的PTP运动 一般情况下,机器人的运动要经过一些中间点,并希望机器人能够平

稳地通过中间点,以便机器人迅速到达目标位置。

设机器人由起始位姿 T_0^0 ,经过中间点 $T_1^1, T_2^2, \dots, T_{m-1}^{m-1}$,最后到达终止点 T_m^m ,其各位姿点的关节角度为 $q_0^i, q_1^i, q_2^i, \dots, q_m^i(i=1, 2, \dots, 6)$,每一段运动的时间间隔为 $t_1, t_2, \dots, t_m$ 。如果每一段都用一个三次多项式表示,则:

$$q_i^j(t)=a_{i0}^j+a_{i1}^jt+a_{i2}^jt^2+a_{i3}^jt^3 \quad (i=1, 2, \dots, 6; j=1, 2, \dots, m; 0<t<t_j)$$

为了方便,每一段时间从零开始计算,上述共 $4m$ 个方程,每个方程有4个系数,共计 $4m$ 个系数,系数可由中间点的速度、加速度、连续性及起始点和终止点的约束条件求得。

5 结 语

同其它制造技术相比,机器人电弧喷涂柔性快速成型技术在制造小批量薄壁零件方面具有特殊的优势,能显著降低成本,缩短时间,可实现武器装备的备品零库存和战场的快速精确,并能大幅提高企业竞争力,因此该技术在军事和民用方面具有较大的研究、开发和应用潜力,发展前景十分广阔。尤其是近年来信息智能技术的兴起更是为该技术的发展提供了新的机遇。但该技术的研究还刚刚起步,在如何提高快速成型产品的控制精度和生产效率、降低零部件的内聚强度、以及如何积极将其最新研究成果应用于军事和国民经济中等方面尚待进一步深入系统的研究,相信在相关科技人员的共同努力下,该技术一定会逐步发展完善,并在国防和国民经济中发挥作用。

参考文献:

- [1] 徐滨士,马世宁,刘世参,等. 21 世纪的再制造工程 [J]. 中国机械工程, 2000,11(1):36-39.
- [2] 徐滨士,马世宁,刘世参,等.表面工程的进展与再制造工程 [J]. 同济大学学报,2001, 29(9):1085-1091.
- [3] 徐滨士,梁秀兵,李仁涵. 绿色再制造工程的进展 [J]. 中国表面工程, 2001,(2):1-4.
- [4] 李绪业,王荣吉,王立人,等. RP 技术形成过程及精度分析 [J]. 湖南大学学报,2002,29(2):41-45.
- [5] 张凯,刘成良,付庄,等. 6R 机器人轨迹规划及其在焊接中的应用 [J]. 机械设计,2002,10:20-23.
- [6] 刘成良,张凯,付庄,等. RV12L-6R 机器人轨迹规划及其应用研究 [J]. 机械设计与研究, 2002,18(1):60-63.

作者地址:北京市长辛店杜家坎 21 号 100072

装备再制造工程系

Tel:010-87020392

E-mail:cr0001@126.com

