

再制造成形系统中的焊接路径规划

梁媛媛, 朱 胜

(装备再制造技术国防科技重点实验室, 北京 100072)

摘 要: 在实现系统标定、零件扫描建模的基础上, 对焊接机器人的路径规划进行了研究: 阐述了规划原理, 得出一系列的规划参数; 进行了焊道重叠量的计算, 分析比较不同重叠量的焊接效果; 进行了软件实现, 指导零件的堆焊修复, 效果良好。

关键词: 再制造成形系统; MIG 焊接; 路径规划

中图分类号: TH17; TG441

文献标识码: A

文章编号: 1007-9289(2006)05⁺-0274-03

Path Planning for MIG Surfacing of Remanufacturing System

LIANG Yuan-yuan, ZHU Sheng

(National Key Laboratory for Remanufacturing, Beijing 100072, China)

Abstract: This paper investigates the welding path planning of the robot after calibrating, scanning and model rebuilding. The following issues are contained: introducing the planning principle, selecting the suitable welding process based on welding parameters, calculating the amount of bead-lap, and analyzing the resort of different amount. All the parameters have been verified in theory and the result meets the welding request.

Keywords: remanufacturing system; MIG surfacing; path planning

0 引 言

焊接是机械制造业的主要加工手段之一, 提高焊接质量的稳定性和可靠性是至关重要的, 为此, 引入了基于机器人的再制造快速熔敷成形系统。该系统包括机器人系统、三维激光扫描仪反求系统^[1-3]和软件系统, 并具有下列功能:

- (1) 使用一个 3D 扫描仪在计算机里产生一个 3D CAD 模板;
- (2) 计算焊接的位置和数量;
- (3) 自动机械编程、产生路径;
- (4) 再加工过程的参数输入, 通过机器人一系列动作来执行程序;
- (5) 在 3D 扫描仪和 CAD 模板里产生工件最终尺寸。

在实现标定、扫描和建模的基础上, 根据缺损量, 结合焊接工艺, 对焊接路径进行了规划。

1 路径规划

修复模型确定之后, 必须针对其修复过程进行一些合理、高效的规划, 即修复路径的规划。为了得到最好的修复质量和外观平滑、美观的修复效果, 力求使堆焊路径处于水平或稍微下坡状态。

由于进行再制造的零件种类各异, 其堆焊路径的规划算法也大不相同, 因此 Trv3DEdit 软件添加了与机器人的接口, 可以实现离线编程进行路径规划, 产生 Robot 路径和程序。对规划生成的焊接路径进行坐标变换, 并在每条路径中增加开始点和终止点, 然后根据机器人程序结构输出到文件中, 就生成了机器人程序。该程序可为机器人所用, 实现后续的仿真和实际生产。该设计充分体现了柔性再制造的特点, 能极大的提高系统的工作效率^[4-6]。

1.1 规划原理

对于空间某指定焊缝, 综合考虑缺损模型与标准模型对比得出的缺损量及优化的熔敷成形工艺之间的问题, 在焊接作业空间中寻找一条最优的机器人焊接运动轨迹及其相应的焊接姿态, 这就是焊

收稿日期: 2006-08-03 修回日期: 2006-09-09

作者简介: 梁媛媛(1983-), 女(汉), 吉林人, 硕士研究生。

接机器人路径规划。焊接熔敷成形路径规划示意图如图 1 所示。

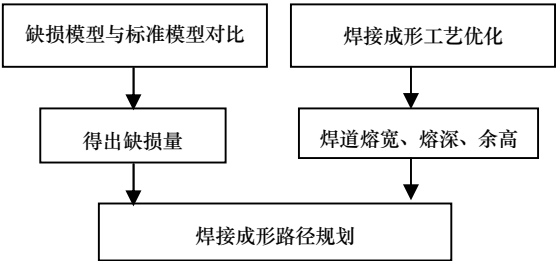


图 1 焊接成形路径规划
Fig.1 Flow chart of planning

第一步：选择用来计算缺损量的柱体模型和需要在其中产生焊接路径的点云，计算每一点的 Error 值也就是缺损值，将选中点的坐标变换到以拟合柱体轴心为 Z 轴、拟合柱体轴心上的一点为原点的平面直角坐标系下，再从平面直角坐标系转换为柱坐标系(r, α , z),其中柱坐标系的 Z 轴就是拟合柱体的轴心。以下讨论就是在这个柱坐标系中进行。

第二步：计算选中点云中 Error 小于 0 的点(也就是缺损面上的点)的 Z 最大值 $Z_{\max}$ 和 Z 最小值 $Z_{\min}$ ，这样计算焊接路径时就只考虑 Z 值大于 $Z_{\min}$ 并且小于 $Z_{\max}$ 的点。

第三步：计算某一截面的焊接路径：给定 Δz , $Z_{\min} + \Delta z$ 表示垂直于柱坐标系轴心的一个平面，用这个平面去切点云，可以得到一圈点，将这一圈点根据其 α 值进行排序并且去掉 Error 大于 0 的点（也就是说只考虑缺损面上的点）我们就可以得到一条由 α 从小到大的缺损面上的点组成的有序路径。我们再把这条路径经过的点及其附近点的坐标的 r 值加上焊缝厚度 depth, 同时将 Error 值减去焊缝厚度 depth, 就表示这条焊接路径经过的缺损面得到了一定程度的修补。这样我们就得到了一条焊接路径，接下来我们再用 $Z_{\min} + \Delta z$ 这个面去切经过修补的点云，重复第三步直到平面切点云得到的 Error 小于 0 的点数为 0 为止。

第四步：将 Δz 加上焊接路径的间距（可以根据焊缝宽度得到），重复第三步直到 $Z_{\min} + \Delta z \geq Z_{\max}$ 为止。这样就遍历了点云中所有的缺损面，得到了若干焊接路径。

第五步：将焊接路径中每一点变换到机器人 Base 坐标系下。计算路径中每一点的位置和方向。

每个点的 Z 方向垂直于拟合柱面指向拟合柱体轴心，Y 方向与拟合柱体轴心平行。产生路径的示意图如图 2 所示。

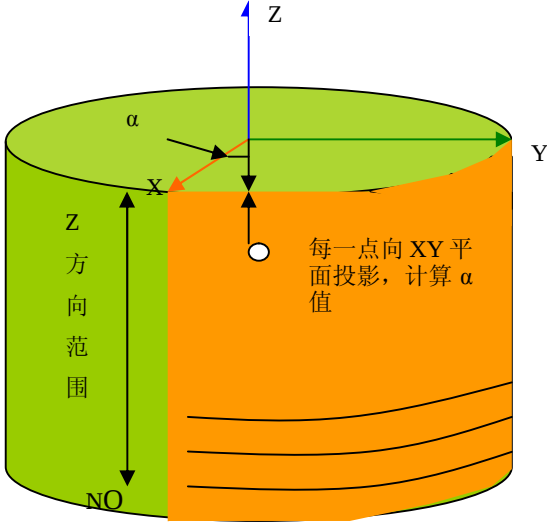


图 2 产生路径的示意图
Fig.2 Schematic diagram of planning

1.2 焊接工艺及其规划

焊接质量的优劣，焊接工艺参数起着至关重要的作用。人们在解决各种焊接工艺问题时，首先想到的都是如何合理地选择焊接工艺参数，而对于熔化极气体保护焊来说，合理地选择焊接工艺参数尤为重要^[7-9]。

针对再制造零件磨损量厚度比较小的特征，在选择焊接工艺时有以下原则：

- (1) 焊接电流的选择原则：在保证焊接质量的前提下，尽量选择小的焊接电流。
- (2) 焊接速度的选择原则：在保证焊接质量的前提下，采用大的焊接速度。
- (3) 在(1)和(2)的前提下，尽量选择焊道余高变化平缓且余高最大量较小、焊道宽度较大的焊接工艺。

通过实验对 45CrNiMoVA 材料进行了堆焊熔敷工艺优化，优化的熔敷成形工艺为：焊接电流 108 A，焊接速度 12 mm/s。

2 焊道重叠量的计算

在焊接路径规划时需要给出焊道的重叠量，以确定焊道间的叠放方式，选择合适的重叠量会使缺损面经焊接修复后，表面形貌美观且用料经济合理。

对实验采集到的焊道成形图中焊接电流 $I=108$

A、 $V=12\text{ mm/s}$ 的数据进行分析,即用 Matlab 进行拟合得到曲线方程,并采集数据如下: $[a\ b\ c\ x_1\ x_2\ x_3\ x_4\ t\ w_1\ w_2\ h_{\max}]$,其中 a 、 b 、 c 为曲线的二次方程的系数; x_1 、 x_2 为第一道焊缝的起始点与终止点; x_3 、 x_4 为后一道焊缝的起始点与终止点; t 为后一道焊缝在第一道焊缝的基础上平移的距离; w_1 为前一道焊缝的起始点与终止点之间的距离; w_2 为前一道焊缝的起始点与后一道焊缝终止点之间的距离; $h_{\max}$ 为两道焊缝叠加后在叠加区域内产生的最高高度。跟踪不同比例叠加平移情况结果,以确定最佳重叠量,如图 4 所示。

分析图 4 焊缝数据分布情况,可以看出,图(a)平移 $1/2$ 后的两道焊缝拟合,叠加后的区域高出焊缝余高很多;而图(b)平移 $3/4$ 后的两道焊缝拟合,叠加后的区域又低出焊缝余高很多,形成凹陷;图

(c)平移 $11/16$ 后的两道焊缝拟合,叠加后的区域与焊缝余高基本等高,焊缝成形效果较好,叠加区域基本能与余高等平,符合试验要求,所以从理论计算上在采用焊接电流为 108 A 、焊接速度为 12 mm/s 的焊接工艺参数时,焊接路径的规划是在第一道焊缝的基础上平移 $11/16$,焊道效果比较平滑、美观。

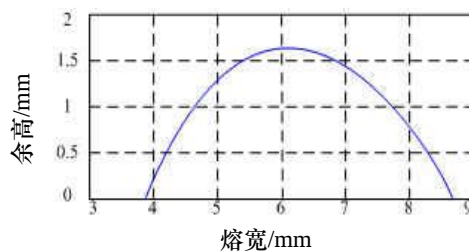


图3 一道焊缝拟合图

Fig.3 Fitted curve for 1 pass

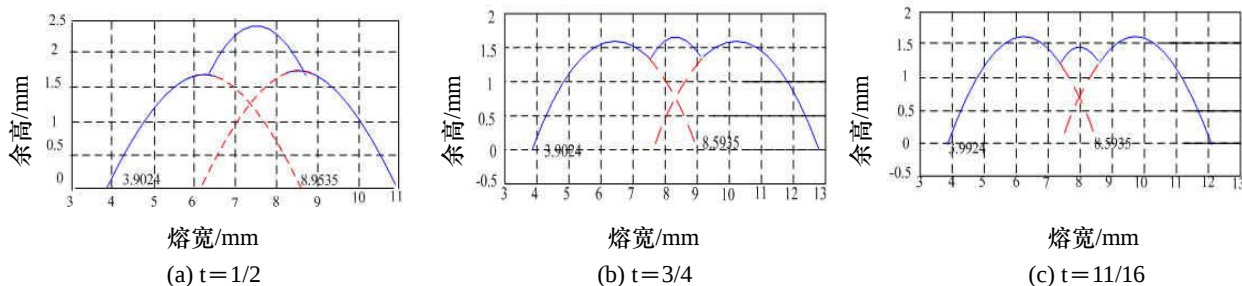


图4 两道焊缝拟合图形

Fig.4 Fitted curve for 2 pass (a) $t=1/2$; (b) $t=3/4$; (c) $t=11/16$

3 结 论

文中提出了叠加法求解焊道重叠量的数值计算方法,即采用数值计算方法模拟路径规划的后一道焊缝相对前一道焊缝的重叠量。通过相关试验证明了选择合适的重叠量会使缺损面经焊接修复后,表面形貌美观且用料经济合理。在实际执行熔敷焊接过程中,同时需要考虑各系统间的同步问题,这需要在日后进行进一步的研究。

参考文献:

- [1] 田晓东,史桂蓉,阮雪榆. 复杂曲面实物的逆向工程及其关键技术 [J]. 机械设计与制造工程, 2000,29(4): 1-4.
- [2] 栾贻国,李海峰,唐炳涛,等. 反求工程及其相关技术 [J]. 山东大学学报, 2003,33(2):114-118
- [3] 杜永平,滕启. 反求工程技术 [J]. 起重运输机械, 2003,(1):1-4.

- [4] 居琰,汪同庆,罗晓晖,等. 三维轮廓光切法测量的图像获取及处理 [J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2003,15(1): 43-47.
- [5] 姜亚军. 基于熔池图像传感的脉冲 GTAW 动态过程智能控制[D]. 哈尔滨工业大学博士学位论文, 1998.
- [6] 项辉宇,钟约先,吴伯杰. 基于风格试验法的汽车覆盖件冲压成形分析 [J]. 清华大学学报(自然科学版), 2004,44(5):601-604.
- [7] 郝福江,王玉松,李亚群. 弧焊机器人高速焊接工艺改进 [J]. 电焊机, 2003,11:52-53.
- [8] Douglas Steyer. 焊接用保护气体的最新进展和应用技术 [J]. 机械工人(热加工), 2004,5:44-46.
- [9] 李庆贵. 浅谈熔化极气体保护焊 [J]. 化工施工技术, 1999,21(3):18-19.

作者地址: 北京市丰台区杜家坎 21 号 100072
E-mail:liangyuanyuan_830413@sina.com