

机器人焊接大型接头多道焊填充策略^{*}

李 慨, 戴士杰, 孙立新, 岳 宏
(河北工业大学 机器人及自动化研究所, 天津 300130)

摘 要: 提出了一种可用于机器人焊接大型 V 形焊接接头多道焊填充策略。通过分析各种焊道截面形状, 给出 V 形接头第一层敷设一道焊道, 由第二层开始每增加一层也相应的增加一道焊道的敷设方法; 在采用等截面焊道的条件下, 推导出从第二层开始以后有近似相等的层高, 从而提出了设定多道焊焊接层数以及每层焊道数的规划方法。该填充策略具有各焊道截面相等、所有焊道的焊接参数均相同、规划简单及适应性强的优点, 克服了以往填充策略中焊接参数频繁变化、焊接质量不易保证的不足。试验表明, 应用这种填充策略可保证大型焊接接头的焊接质量。

关键词: 填充策略; 多道焊; 机器人焊接; 焊接工艺

中图分类号: TG441.4 文献标识码: A 文章编号: 0253-360X(2001)02-46-03



李 慨

0 序 言

近年来, 机器人在制造业中的应用有了飞速发展, 其中弧焊机器人的应用是一个蓬勃发展的领域。但是, 目前的弧焊机器人主要用于薄板焊接, 还很少用于厚板结构件的焊接生产, 这是因为厚板结构件焊接一般要采用多道焊, 需要事先规划填充策略; 由厚板组成的大型结构件具有不同的形状、体积和重量大, 不易翻转, 可能有平焊、横焊和立焊等各种不同的焊接位置, 而且多为中小批量生产。对于采用示教方式的弧焊机器人, 为了简化示教工作, 有必要事先对多道焊的填充策略进行规划, 以设置各焊道的填充次序和每道或每层焊道的焊接参数。应用传感器实时跟踪焊缝的第二代弧焊机器人也需要根据当前的焊接接头形式和尺寸规划填充策略, 避免出现不规则的焊道^[1, 2]。现有文献对多道焊填充策略的研究报道还较少, 而且均较为复杂, 给实际应用带来一定的困难。本文给出的多道焊填充策略, 在同一个焊接接头中, 每道焊道的截面积相等、焊接参数不用频繁变动, 应用于弧焊机器人厚板焊接取得较好效果。

1 多道焊填充策略的发展现状

文献[3]提出了一种预测厚壁件多道焊焊接条

件的模型。这个模型模拟厚壁件焊接接头的形式, 可计算每个焊道的大小, 也可用于计算接头的填充条件。例如, 填充一个典型的 V 形坡口的程序是按平均条件焊一层根部焊道, 用一角焊道焊第二层。然后计算每层的敷设高度以及完成该层所需填充的焊道数, 焊道数必须圆整并为整数; 而且为确保接头的表面质量, 要预留出 1 mm 左右的高度以完成盖面焊。因此, 最后两层要通过增减总的热输入量来改变焊道的角度及截面尺寸, 以获合适的层高。

文献[4]针对横焊位置的角焊接接头提出了一种填充策略规划方法。如图 1 所示, 以等焊脚焊道构成角焊接接头。第一层用一道, 第二层用两道, 对于第二层和以后的每层, 如果焊脚长度的增量恒为 Δl_2 , 那么每层的横截面积比前一层增加 $(\Delta l_2)^2$ 。将这个增量作为一个中间焊道, 任何焊接层数的接头可以用四种焊道来完成。A 焊道为第一层, B 焊道和 C 焊道分别为以后每层的首、末焊道, D 焊道为中间焊道。每种焊道具有不同的截面积, 根据各焊

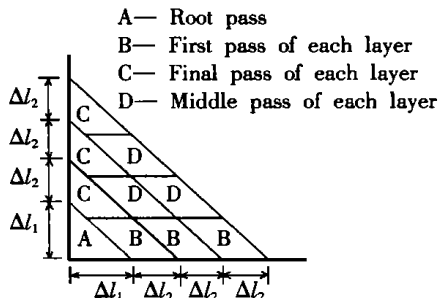


图 1 角焊缝横焊焊道的敷设顺序

Fig. 1 Build-up and welding sequence for horizontal fillet welding

道截面积计算每种焊道所需的焊接参数, 因此焊接过程中, 焊接参数频繁变化。

以上两种大焊缝焊接策略规划方法比较繁琐, 而且在一个接头中至少有三至四种焊道, 使焊接参数频繁变化, 不易控制每个焊道的几何形状和尺寸, 直接影响整个接头的焊接质量。

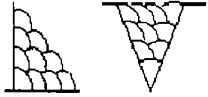


2 多道焊等截面积焊道填充策略

2.1 基本思想

厚板大型结构件一般具有相对简单的接头形式, 但需要不同形式的多道焊。在多道焊中要敷设大量的金属, 应在尽可能大的电流和尽可能少的焊道数目的条件下实施焊接。由于工件重量和体积大, 不易翻转, 因此, 焊接位置不仅有平焊, 还有立焊、横焊和仰焊。针对以前多道焊填充策略规划方法中存在的问题, 本文提出一种新的规划方法, 其基本思想是, 在每个接头中, 保持每道焊道的截面积相等。根据每个接头的截面积和每道焊道的最大横截面积计算所需焊道数, 保证敷设的金属充满整个焊缝, 并具有良好的焊接质量和表面质量。

根据现有所应用的自动和半自动焊接的经验, 要完成焊接接头可选择三种方法: ①应用直线焊道进行一层多道焊(类型一); ②应用摆动法进行一层一道焊(类型二); ③类型一和类型二的组合(类型三)。具体详见表 1。其中 V 形接头最为典型而且常用。下面, 以 V 形接头为例, 说明多道焊填充策略的规划方法。

表 1 完成焊接接头焊道敷设顺序的分类
Table 1 Types of build-up and sequence for various joints

Build-up method of joints	
Type I	 Multi-pass one layer (straight bead)
Type II	 One pass one layer (wave weld)
Type III	 (Type I + Type II)

2.2 V 形焊缝多道焊焊接参数的设定

图 2 是一个 V 形焊缝填充过程的示意图, 图中 A 焊道为第一层; B 焊道为除第一层外每层的起始焊道, 同时也是每层的中间焊道; C 焊道为除第一层外每层的末焊道。下面讨论这种敷设的可能性。

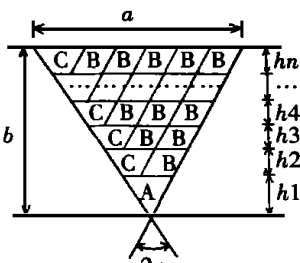


图 2 V 形焊缝填充过程示意图
Fig. 2 Build up and welding sequence for V groove

2.2.1 各种焊道的截面形状

A 焊道截面可以近似为一个三角形; 参考文献 [5] 对角焊缝横焊焊道的截面形状的分析, 如图 3 所示, 可以认为 B 焊道的截面形状近似为平行四边形; C 焊道截面就可以认为是梯形。总之, 可以做如图 2 的近似。

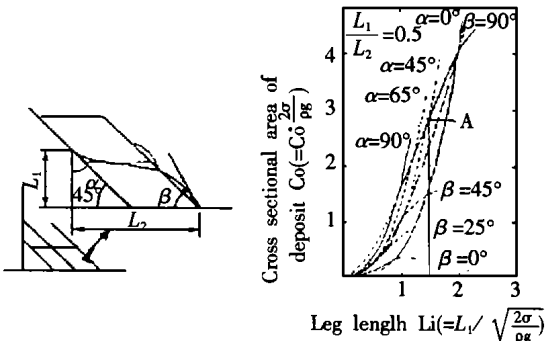


图 3 角焊缝横焊截面形状的二维分析
Fig. 3 Surface profiles in horizontal fillet weld obtained from the two-dimensional analysis

(Co—Dimensionless quantity of Co; Co—Cross sectional area of deposit; σ—Surface tension; ρ—Density; g—Gravitational acceleration)

在保证每个焊道截面面积相等、每层具有所在层数的焊道数的条件下, 完成整个焊缝所需的焊道数为数列 $\{a_n\}$ 中的一个数

$$a_n = \frac{1}{2} n(n+1); n=1, 2, \dots, N. \tag{1}$$

如图 2 所示, 若已知 V 形焊缝上面的宽度 a 以及焊缝的深度 b , 就可以算出其半顶角 α 。设 S_n 和 $h_n (n=1, 2, \dots, N)$ 分别为每层的面积和层高, 则每层的面积依次为

$$S_1 = h_1^2 \tan \alpha. \tag{2}$$

$$S_2 = (2h_1 + h_2) h_2 \tan \alpha = 2S_1. \tag{3}$$

$$S_3 = (2h_1 + 3h_3) h_3 \tan \alpha = 3S_1. \tag{4}$$

$$\dots\dots S_n = [2h_1 + (2n-3)h_n] h_n \tan \alpha = nS_1. \tag{5}$$

由式(5)与式(2)可解得

$$h_n = \frac{\sqrt{n(2n-3)+1}-1}{2n-3} h_1; (n \geq 2). \tag{6}$$

可得
$$h_2 = 0.732h_1; h_3 = 0.720h_1; h_4 = 0.716h_1; \dots$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} h_n = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\sqrt{n(2n-3)+1}-1}{2n-3} h_1 = \frac{\sqrt{2}}{2} h_1 \approx 0.707 h_1.$$

(7)

这样, 可以看出数列 $\{h_n\}$ 是收敛的, 而且 h_2 与 h_n 相差小于 5%, 因此, 在工程上可以认为 $h_n(n=2, 3, \dots, N)$ 是相等的, 约为 h_1 的 0.71 倍。

2.2.2 完成焊缝所需焊道数和层数的确定

由于多道焊需要熔敷大量的金属, 为提高生产率应采用尽量大的电流和尽量少的焊道数。为此首先应确定不同条件下单道焊道所能敷设的最大截面积, 然后根据整个焊缝总的截面积计算所需的焊道数, 称之为理论焊道数; 取数列 $\{a_n\}$ 中大于等于理论焊道数并与之最接近的项为实际焊道数; 而该项的序号即为焊道的层数。焊接参数规划的流程图如图 4 所示。

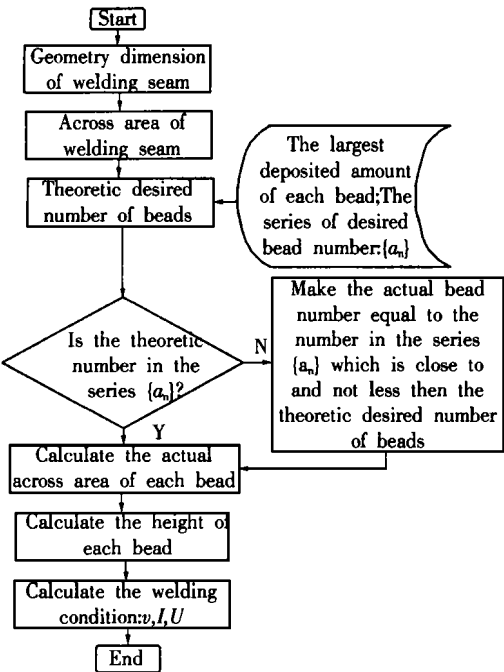


图 4 焊接参数规划的流程图

Fig. 4 Flow chart of the program for multi-pass welding

所需实际焊道数确定后, 就可以根据整个焊缝的截面积求出每道焊道的截面积。考虑到第二层及以后的焊道都是建立在以前的焊道表面上, 并且在焊接过程中存在大量飞溅, 还可能出现咬边, 而一般焊接接头要求有一定的上凸度, 因此, 实际焊接时, 每道焊道的截面积应比计算的截面积大 10% 为宜。

3 试 验

试验采用三自由度直角坐标机器人与 CO₂ 半自动焊机组成的焊接系统。利用结构光视觉传感器跟踪焊缝的轨迹并检测焊缝的几何尺寸, 由计算机

计算出焊缝的面积, 根据每道焊道的面积, 应用本文给出的焊接策略规划方法计算焊缝所需的焊道数以及层数, 焊接机器人按照焊接策略施行焊接。

本试验所用焊机为 YM—500SV₂₁ 的 S 系列 CO₂ 半自动焊机。焊接试件为一块刨有 V 形槽的低碳钢板, 其上口宽 28 mm, 深 14 mm, 顶角 2α=90°。根据上述焊接策略可算出填满该焊缝需要 4 层, 共 10 道焊道。各道的焊接参数均为: 焊接电流 I=200 A, 电弧电压 U=27 V, 焊接速度 v=8 mm/s。完成的焊接接头照片如图 5 所示。

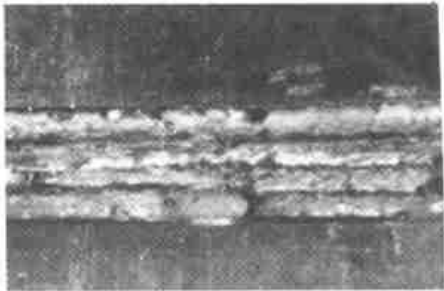


图 5 完成的焊接接头照片

Fig. 5 Photo of a welded joint

4 结 论

本文在分析前人对大型接头多道焊填充策略研究基础上, 提出了一种新的填充策略。该方法克服了焊接参数频繁变化、焊接质量不易保证的缺点, 使组成焊接接头的焊道截面积均相等, 具有规划简单、焊接参数不用频繁变化、适应性强等特点。试验表明, 该填充策略可以保证较高的焊接质量。

参考文献:

[1] Wu J, Smith J S, Lucas J. Weld bead placement system for multi-pass welding[J]. IEE Proc. Sci. Meas. Technol. 1996, 143 (2): 85 ~ 90.

[2] 石运伟. 焊接工艺在线规划专家系统[J]. 机器人, 1998, 20(1): 51 ~ 54.

[3] Smati Z, et al. Laser guidance system for robots[C]. Robotic Welding. IFS(Pub) Ltd. UK. 1987. 91 ~ 103.

[4] Masaharu M, et al. Development of a multi-pass welding program for arc welding robots and its application to heavy electrical section pieces[J]. Transaction of the Japan Welding Society, 1993, 24 (1): 16 ~ 21.

[5] Iso M, et al. A program for setting CO₂ horizontal fillet welding parameters with given leg lengths and welding speed[J]. Journal of the Japan Welding Society, 1979, 48(7): 94 ~ 98.

作者简介: 李 慨, 男, 1969 年 8 月出生, 工学硕士, 讲师。主要研究方向为机器人视觉、触觉, 机器人焊接。已发表论文 4 篇。

(编辑: 闫秀荣)