中厚板T形接头拐角焊缝机器人焊接工艺的研究

杨启杰　李波　肖勇　黄斌　戴建树

【摘要】本文以选用弧焊机器人焊接T形接头90°拐角焊缝为例，针对中厚板T形接头90°拐角焊缝处易产生堆积凸起、未熔合、脱节、咬边等缺陷，通过分析焊接轨迹点的设置、选用的焊接参数、焊枪角度等对焊缝质量的影响，进行了机器人焊接工艺的试验，优化了焊接轨迹点的设置、焊接参数、焊枪角度等。结果表明，正确设置焊接轨迹点、合理选用焊枪摆动功能及焊接参数等，提高了焊缝质量和效率，降低成本。

关键词：机器人焊；拐角；工艺

1. 概述

随着产业转型升级不断深入，工业机器人应用范围越来越广，已经进入战略发展期。“机器换人”是焊接行业转型升级的必然。近年来，国内弧焊机器人得到了广泛的应用，逐步取代手工焊接是焊接技术发展的必然趋势，其优势不仅是体现在能够提高企业焊接生产效率，降低企业的管理成本，最重要的是根本上提高企业整体的产品质量。

目前生产应用的弧焊机器人，是完全建立在手工操作的基础上的机器人焊接，就是模拟人工操作的动作执行已编辑好的运作程序，并按照设定的焊接参数来完成焊接。为了保证中厚板组合件的焊接质量，必须根据机器人的运行特点，针对性地合理设置机器人行走路径，调试合适的焊接参数等，特别是针对特殊位置，如企业应用弧焊机器人焊接T形接头90°拐角焊缝处，易产生堆积凸起、未熔合、脱节、咬边等缺陷，普遍影响焊接质量。因此，针对T形接头90°拐角焊缝处的焊接质量进行深入的研究具有重要的现实意义。

2. T形接头90°拐角焊缝试件组成

以试件底板与立板拐角处焊缝为研究对象（见图1，该图为中国焊接协会焊接机器人培训基地比赛试件），重点研究T形接头角焊缝与90°拐角区域焊接轨迹点的设置，选取焊接参数、焊枪摆动在振幅点的停留时间等对焊接质量的影响。试件的材料牌号、厚度、尺寸及焊接要求：①试件材料为Q235。②底板尺寸：200mm（长）×200mm（宽）×10mm（厚）；立板尺寸为120mm（长）×80mm（宽）×10mm（厚）。③装配要求：底板和立板采用立装，无间隙。④焊接要求：焊缝表面平整光滑无气孔、咬边、未熔合、裂纹，焊脚10mm。⑤焊材及直径：AWS ER70－6，ϕ1.2mm。⑥保护气体为80%Ar+20%CO_2。⑦焊接设备：松下TM1400弧焊机器人+ 350GS4弧焊电源。

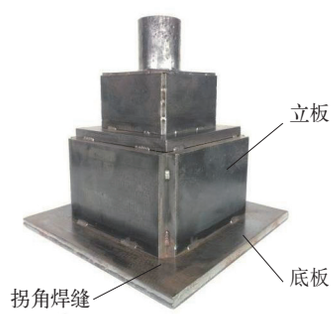


图1　试件拐角焊缝示意

3. 程序点的设置影响

试件板厚10mm的T形接头角焊缝与90°拐角焊缝程序点设置，采用直线摆动插补结束点与圆弧摆动插补起始点的衔接轨迹点，选用以下两种试验方式（见图2）。①直线摆动插补结束点与圆弧摆动插补起始点的衔接轨迹点，重叠区长度为0。②圆弧摆动插补路径向直线摆动插补后退，摆动路径重叠区长度为2~3mm。

T形接头角焊缝焊接参数采用表1中①，90°拐角区采用②，分别改变直线摆动轨迹结束点与圆弧摆动轨迹起始点重叠区的尺寸L大小，工艺参数（见表1），编程路径（见图2），试验结果（见图3、图4）。

从图3可知，衔接程序点按①方式编程，T形接头角焊缝与90°拐角焊缝处出现脱节现象，焊缝成形不良，影响焊缝质量。对其编程位置取点分析（见图2a）可知，T形接头角焊缝与90°拐角焊缝圆弧节点处，焊接点未移动，焊枪摆动幅度大，螺距增大（L_1<L_2），焊缝出现局部脱节现象，结果表明焊枪摆动幅度越大焊缝脱节越大。从图4焊缝形貌可知，衔接程序点按②方式编程，即直线摆动结束点与圆弧摆动起始点重叠区长度2~3mm，保证了焊枪摆动幅度一致，直线摆动螺距与圆弧摆动螺距一致，焊缝成形美观，鱼鳞纹均匀细密，高低宽窄比较一致。

4. 摆动停留的时间与摆动频率影响

T形接头角焊缝与90°拐角焊缝采用单层单道方式进行焊接过程编程（见图5）。焊接时，T形接头焊缝的铁液冷却凝固时间和铁液本身重力的作用，焊缝断面存在如下两种成形（见图6）。

分别对振幅点停留时间进行试验，试验参数（见表2）。根据热量传输和流动原理，焊接时若选取上下振幅点停留时间相

表1 10mm立板与底板拐角端接焊接参数与程序点选取参数

序号	电弧电压/V	焊接电流/A	焊接速度/ m·min^{-1}	焊枪角度（°）	频率/Hz	上振幅宽度/mm	下振幅宽度/mm	上振幅停留时间/s	下振幅停留时间/s	直线摆动与圆弧重叠区尺寸/mm
①	16.4	160	0.1	45	0.6	5	5	0.1	0.1	0/2~3
②	18.0	145	0.1	45	0.6	5	5	0.1	0.1	

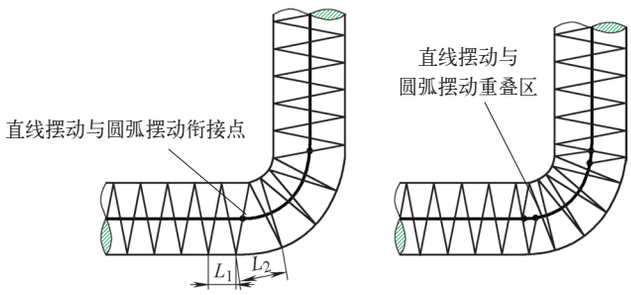


图2 直线摆动与圆弧摆动衔接程序点

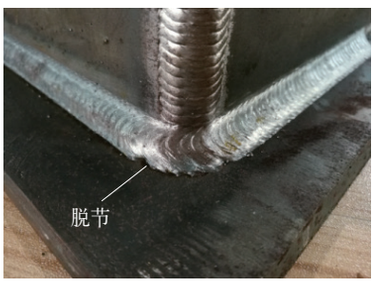


图3 衔接程序点重叠区长度为0的焊缝外观形貌

图4 衔接程序点重叠区长度为2~3mm的焊缝形貌

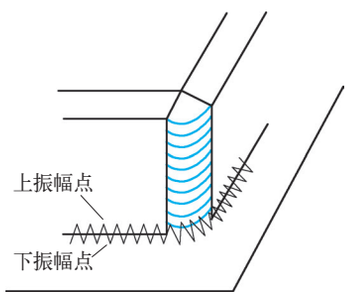


图5 T形接头焊缝编程示意

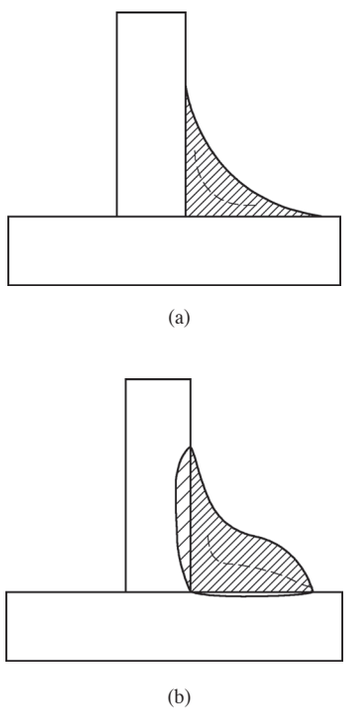


图6 T形接头焊缝两种成形示意

同，由于铁液重力作用，不断往下流动，则出现图6b焊缝成形，上振幅点适当增加停留时间，避免上位置出现咬边（见图7）；下振幅点适当减少停留时间，下位置的铁液量相对减少，有效控制焊缝凸起，达到焊缝成形良好的目的（见图8）。

5. 焊接参数的影响

T形接头角焊缝在与90°拐角焊缝焊接时，由于焊枪角度旋转，但焊枪焊丝端部焊接点（即焊接机器人TCP点）并未移动，热输入瞬时增大，熔敷金属增多出现堆积和外流，易出现焊瘤，焊脚产生未熔合现象。针对这一问题，分别采用不同焊接参数对T形接头角焊缝进行摆动和不摆动焊接试验。

（1）不摆动焊拐角焊缝，焊接参数如表3所示，试验结果如图9所示。

（2）摆动焊接90°拐角焊缝，焊接参数如表4所示，试验结果如图10所示。

由图9和图10可知，当T形接头角焊缝与90°拐角焊缝选用同一焊接参数时焊后角焊缝较凸，90°拐角焊缝易产生堆积凸起、未熔合等缺陷，未能满足质量要求。即T形接头角焊缝和90°拐角焊缝都采用①参数，90°拐角焊缝存在比较明显的凸起缺陷，成形质量差（见图9a和图10a）。造成焊缝凸起的关键是电流过大，90°拐角区域热输入过大，熔敷金属增多，因此，适当减小拐角焊缝的热输入后，即T形接头角焊缝采用①参数，90°拐角焊缝采用②的参数组

表2　10mm立板与底板直线摆动焊接参数

序号	电弧电压/V	焊接电流/A	焊接速度/m·min^{-1}	焊枪角度（°）	频率/Hz	上振幅宽度/mm	下振幅宽度/mm	上振幅点停时间/s	下振幅点停时间/s
①	16.4	160	0.1	45	0.6	5	5	0.5	0.5/0.1
②	18.0	145	0.1	45	0.6	5	5	0.5	0.5/0.1

图7　T形接头焊缝上位置出现咬边

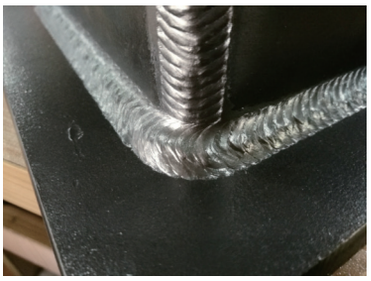


图8　焊缝成形良好

表3　10mm厚T形接头拐角焊缝工艺参数（不摆动）

序号	电弧电压/V	焊接电流/A	焊接速度/ m·min^{-1}	焊枪角度（与底板和立板夹角）（°）
①	32.1	300	0.35	45
②	30.2	275	0.35	45

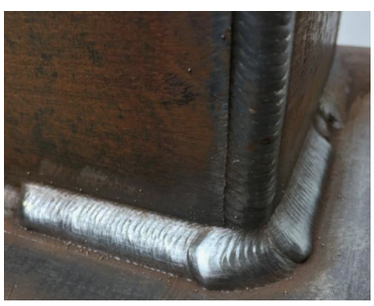
(a)

(b)

图9　不摆动焊接90°拐角焊缝形貌

表4　10mm厚T形接头拐角焊缝工艺参数（摆动）

序号	电弧电压/V	焊接电流/A	焊接速度/ m·min^{-1}	焊枪角度（°）	摆动频率/Hz	上振幅宽度/mm	下振幅宽度/mm	上振幅停留时间/s	下振幅停留时间/s
①	16.4	160	0.1	45	0.6	5	5	0.5	0.1
②	18.0	145	0.1	45	0.6	5	5	0.5	0.1



(a)

(b)

图10　摆动焊接90°拐角焊缝形貌

合，90°拐角焊缝凸起缺陷有明显改善（见图9b和图10b）。

根据试验结果对比可知，随着焊接过程的进行，T形接头的底板、立板、熔池温度均升高，热输入在拐角区域汇集，温度梯度减小，在铁液重力和表面张力作用下，铁液堆积和下趟速度加快，造成成形不良。因此，在采用两组参数组合焊接，即在拐角区域采用小电流焊接，减小热输入，可有效避免拐角区熔池温度过高，提高拐角焊缝熔池温度与直线熔池温度匹配程度，可有效避免拐角区焊缝铁液堆积和凸起，整体成形质量良好。

6. 结语

本文分析探讨了T形接头90°拐角焊缝常见的成形不良的原因，提出合理的应对措施，试验证明措施是有效的。

（1）T形接头90°拐角焊缝，直线编程轨迹结束点与拐角处圆弧编程轨迹起始点重叠，重叠区宽度1~3mm，可有效避免出现脱节。

（2）T形接头90°拐角焊缝摆动焊时，适当增加上振幅点停留时间，避免出现咬边；适当减小下振幅点停留时间，避免出现铁液堆积和凸起。

（3）针对直线焊缝和拐角焊缝，采用组合焊接参数，即拐角区域减少热输入，避免出现铁液堆积，造成焊缝凸起。

参考文献：

[1] 林尚扬，陈善本，李成桐. 焊接机器人及其应用[M]. 北京：机械工业出版社，2000.

[2] 张随丹.影响弧焊机器人焊接质量的关键因素[J].上海交通大学学报，2016（7）：47-50.

The research of the welding process of welding robot in the corner of the thick plate T - Shaped Weld Seam

Abstract：Based on the selection of arc welding robot welding tee joint seam as an example, the 90 ° corner for medium thickness plate 90 ° corner weld tee joint, easy to build up a raised, incomplete fusion, disconnect, bite edge, through the analysis of the set of welding track points, selection of welding parameters, welding torch Angle on the quality of the weld, the robot welding process test, optimize the Settings of the welding trajectory point, welding parameters, welding gun angles and so on. The results show that the welding trajectory point, the reasonable selection of the welding gun swing function and the welding parameters, improve the quality and efficiency of the weld and reduce the cost.

Key words: robot weld, corner, forming process

作者简介：杨启杰、肖勇、黄斌、戴建树，广西机电职业技术学院，李波，中国焊接协会。

MW 20170521

2017年中国国际技能大赛焊接项目 选手把每个试件当成工艺品

2017年6月6日，中国国际技能大赛在上海开幕，来自包括中国在内的35个国家和地区的227名选手将参加21个项目的比拼。第一天的比赛中，在上一届世界技能大赛我国获得金牌突破的焊接项目受到格外关注。我国有三名选手参赛，现场将按照图纸要求完成组合件、铝合金结构、不锈钢结构三个模块的竞赛。

（央视网）

扫描二维码，观看焊接项目现场比赛视频！