

本文参考文献引用格式 周鸿翔 熊承恺 李晓东 等.焊接吊耳锯切质量评定指标及影响因素[J].电焊机,2017,47(10):112-115.

焊接吊耳锯切质量评定指标及影响因素

周鸿翔¹,熊承恺²,李晓东³,吴兴祥³

(1.兰州理工大学 材料科学与工程学院,甘肃 兰州 730050 2.江苏科技大学,江苏 镇江 212003 3.上海沪临重工有限公司,上海 201306)

摘要 焊接吊耳是钢结构制造过程中用于吊装的重要零件。结合传统的锯切原理,从结构上分析焊接吊耳的锯切,为减小留根量,在利用带锯条锯切焊接吊耳时需要采用水平锯切方式,同时不能使用传统的带锯条扭转装置,而应该增大张紧力保证锯切质量。并将切口表面粗糙度 R_a 和留根斜度的正切值 ρ 作为锯切焊接吊耳质量的评定指标。采用正交实验法研究张紧力、锯切速度以及进给速度对焊接吊耳锯切质量的影响。研究表明 张紧力和进给速度对 R_a 和 ρ 的影响最大 锯切速度对粗糙度影响较小 张紧力越大 进给速度越小,则锯切质量越好。

关键词 吊耳,锯切,质量控制,正交实验,锯切工艺

中图分类号 TG457 文献标志码 A 文章编号 1001-2303(2017)10-0112-04

DOI 10.7512/j.issn.1001-2303.2017.10.24

Sawing quality's evaluation indices and influence factors of the welded lifting lug

ZHOU Hongxiang¹, XIONG Chengkai², LI Xiaodong³, WU Xingxiang³

(1.Lanzhou University of Technology School of Material Science and Engineering Lanzhou 730050 China 2.Jiangsu University of Science and Technology Zhenjiang 212003 China 3.Shanghai Hulin Heavy Industry Co. Ltd. Shanghai 201306 ,China)

Abstract During the manufacture of the huge steel structure, the welded lifting lugs used for lifting are important parts. The article combines the traditional sawing theory to analyze the sawing of the welded lifting lugs on the structure. In order to reduce the root cutting, the article proposes that welded lifting lug needs to adopt horizontal sawing when using band saw blade to saw the welded lifting lug, meanwhile it can't use the traditional band saw blade twisting device. Uses surface roughness of the cuts R_a and tangent value of the root cutting gradient as quality evaluation index of the sawing welded lifting lug. Uses the orthogonal test to analyze the sawing quality efforts of welded lifting lug from tension force, sawing speed and feeding speed. The researches show that tension force and feeding speed have the most important influence on R_a and sawing speed has less influence on roughness. As the larger tension force and the smaller feeding speed, the sawing quality will be better.

Key words lifting lug, saw and cutting, quality control, orthogonal experimental, sawing process

0 前言

在大型钢结构的制造过程中,为了便于钢结构的吊装,一般需要使用焊接吊耳,吊装完成后将焊

接吊耳切除^[1]。目前普遍采用火焰切割吊耳,由于火焰切割对周围母材有较大的热影响,并且割口留根量大、不平整,通常需要对割口进行打磨处理,不仅降低了切割工作效率、劳动强度大,而且还因割口不平整使得吊耳只能一次使用,造成材料浪费^[2-3]。

近年来市场上开发了焊接吊耳的铣削技术和带锯切割技术^[4-6]。相较于火焰切割,带锯切割具有加工精度高、割口表面质量好、粗糙度小等优点。但

收稿日期:2017-04-06;修回日期:2017-09-18

基金项目:产学研合作计划项目(沪经信法(2013)353号);
研究生科研创新计划资助项目(SJLX-0489)

作者简介:周鸿翔(1992—),男,在读硕士,主要从事焊接方法与工艺的研究。E-mail:593035526@qq.com。

是传统的带锯切割多为锯床式,灵活性不高,并不适用于焊接吊耳的切割^[7]。特别是目前缺少针对焊接吊耳锯切质量评价的系统研究^[8]。

基于此,本研究分析锯条锯切焊接吊耳时所遇到的质量问题,并根据切割留根是否需要打磨,提出焊接吊耳切割质量控制参数,研究相关工艺参数对锯切质量的影响。

1 焊接吊耳锯切质量评定

1.1 焊接吊耳特性

为保证吊耳与工件连接的可靠性,通常采用焊接连接。以 CO₂ 气保焊焊接厚 50 mm 的吊耳为例,其坡口形式和焊道布置如图 1 所示。由图 1 可知,焊缝高度为 25 mm,当切割该吊耳时,切割面位于焊缝上,如图 2 所示。即在切割焊接吊耳时,实际上是沿着焊缝纵向切割。

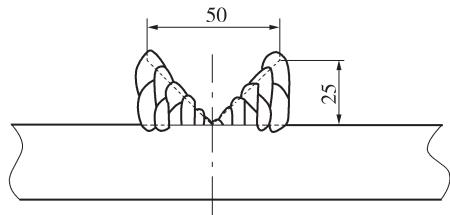


图 1 焊接吊耳示意

Fig.1 Welding lifting lug

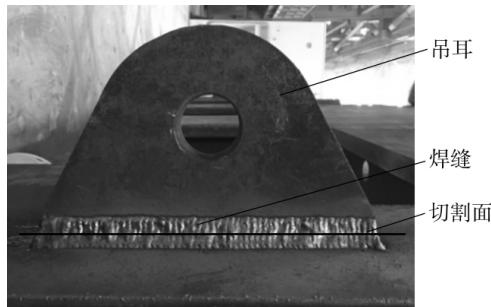


图 2 焊接吊耳切割

Fig.2 Cutting Welding lifting lug

与传统的板材或型材切割不同,焊缝切割是将刀具作用在焊缝填充金属上,而焊缝填充金属和母材主要有以下方面的差异^[9]。

(1)切割焊缝的材料大部分是焊缝填充金属,其中包含有少量熔化的母材金属。焊接时按照焊缝材料和母材的强度匹配情况,可以将其分为高强匹配、等强匹配以及低强匹配^[6]。在研究中为了简化分析,得到一般化结论,均采用等强匹配焊接吊耳。

(2)由于采用的是熔化焊工艺,焊缝受到复杂的热循环影响,必然导致焊缝中存在残余应力,该

应力一般以拉应力形式存在,且平均拉应力值约等于母材的屈服强度^[7]。在切割焊缝时,这些应力将会以形变的形式释放,使锯条受力情况变得更为复杂。

(3)由于焊接冶金反应的不稳定性,焊接接头中不可避免会出现组织不均匀、微小缺欠如气孔、夹渣、微裂纹等^[8],这些不均匀组织和缺欠的强度各不相同,使带锯条在切割过程中受力情况变得复杂。

1.2 焊接吊耳锯切原理

焊接吊耳锯切时需要采用水平锯切方式,如图 3a 所示。传统的带锯床为了降低带锯条的振动,增加带锯条锯切部分的刚度,将带锯条锯切部分夹持并扭转一定角度,显然夹持部分会影响水平锯切时的留根量。所以,传统的带锯床通常只能进行横向锯切和竖直锯切^[9],如图 3b、3c 所示,并不适用于焊接吊耳的锯切。为了实现焊接吊耳的锯切工作,需要特定的横向锯切工装,且不能夹持带锯条锯切部分。

由于不能有效地夹持和扭转锯条,导致锯切段刚度较低,振动较大,使切口表面粗糙度大,且会发生锯斜的现象。

1.3 质量评定方法

锯切留根如图 4 所示。在实际生产加工中,一般要求锯切吊耳后的平均留根量越小越好,但是由于锯斜现象的存在,使得平均留根量出现瓶颈值,即锯切结束时留根量为零的情况下,锯切中部的留根高度。若平均留根量大,则需要进一步的打磨处理;在平均留根余量满足加工要求的情况下,切口的表面粗糙度 Ra 决定是否需要进行后续打磨工作。

水平锯切的锯斜角度 ω 和切口表面粗糙度 Ra 是影响焊接吊耳锯切的关键问题。将留根斜度的正切值 ρ 和切口表面粗糙度值 Ra 作为焊接吊耳锯切质量的评定参考因素 ρ 的表达式为

$$\rho = \tan \omega = \frac{h_2 - h_1}{z} \quad (1)$$

2 锯切质量影响因素工艺实验

2.1 实验原理

张紧力 F、锯切速度 v_s 以及进给速度 v_a 是影响 ω 和 Ra 的关键因素。张紧力可由应变法测量。根据带锯条张紧时的受力分析,如图 5 所示,可知 F 与应力的关系见式(2),再由胡克定律公式(3)可得应变量和张紧力的关系式(4)

$$F = 2\sigma \quad (2)$$

$$\sigma = \zeta \cdot E \quad (3)$$

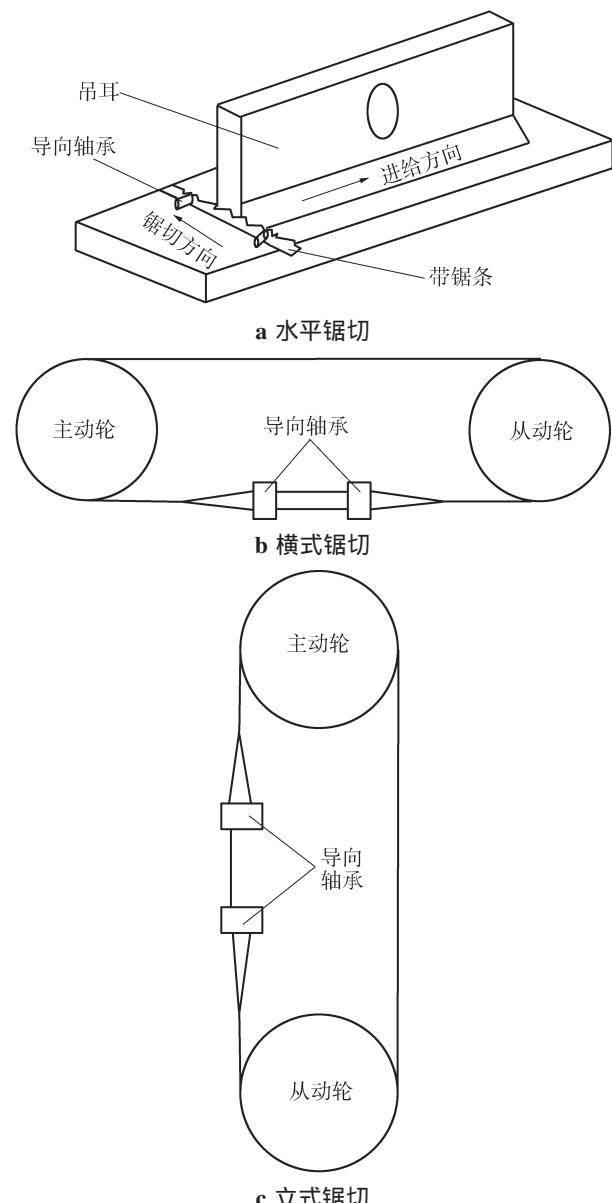


图 3 锯切方式
Fig.3 Way of Cutting

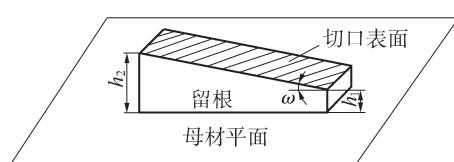


图 4 锯切留根
Fig.4 Root of cutting

$$F=2\zeta \cdot E \quad (4)$$

式中 E 为本实验使用的双金属带锯条的弹性模量 $E=2 \times 10^5 \text{ MPa}$ 。

实验采用自制焊接吊耳锯切装置, 带锯条选用

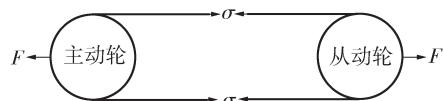


图 5 带锯条受力分析
Fig.5 Force analysis of the saw

德国贝尔双金属带锯条, 其参数见表 1。吊耳材料为 Q235B, T型接头方式, 其焊接工艺见表 2。锯切完成后利用游标卡尺测量留根高度, 并建立几何模型, 根据式(1)计算出留根斜度的正切值 ρ 。利用激光扫描共聚焦显微镜, 绘制切口表面三维图, 并依此测量 R_a 。

表 1 带锯条参数

Table 1 Parameters of saw

| 长度/mm | 宽度/mm | 厚度/mm | 齿形 | 齿距 |
|-------|-------|-------|-----|-----|
| 1 085 | 19 | 0.65 | 标准齿 | 4/6 |

表 2 吊耳焊接工艺

Table 2 Lifting lug welding process

| 坡口角度 /(^{\circ}) | 吊耳厚度 /mm | 焊接方法 | 电流 I/A | 电压 U/V | 焊接速度 v/mm·min^{-1} |
|------------------|----------|---------------------|---------|--------|--------------------|
| 45 | 50 | CO ₂ 气保焊 | 220~250 | 32~36 | 300~320 |

2.2 实验设计

实验采用正交试验法^[10], 研究张紧力 A、锯切速度 B、进给速度 C 三因素对 R_a 和 ρ 的影响。采用 $L_9(3^4)$ 表设计三因素三水平正交试验, 见表 3、表 4。

表 3 因子水平编码表

Table 3 Factor table

| 水平 | 因素 | | |
|----|-------------------|---|--|
| | A 张紧力 F/MPa | B 锯切速度 $v_s/\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$ | C 进给速度 $v_a/\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$ |
| | | 1 | 2 |
| 1 | 58.80 | 30.75 | 10.75 |
| 2 | 37.20 | 21.35 | 6.13 |
| 3 | 18.80 | 15.50 | 2.28 |

3 实验结果分析

计算各影响因素的极差 R 可以直观地分析出各因素的主次影响顺序。 R 越大表示该因素的水平变化对试验指标的影响越大, 因素越重要。极差分析如表 5 所示, 因素影响主次顺序为 张紧力—进给速度—锯切速度, 即张紧力因素 A 影响最大, 为主要因素, 锯切速度 B 为不重要因素。本试验结果说明吊耳

表 4 实验方案及结果

Table 4 Test scheme and results

| 试验 编号 | 因素 | | | 实验 方案 | 结果 | |
|----------|------|-------|-------|----------|--------|--------|
| | A | B | C | | Ra | ρ |
| 1 | 58.8 | 30.75 | 10.75 | A1B1C1 | 10.893 | 0.106 |
| 2 | 58.8 | 21.35 | 6.13 | A1B2C2 | 6.334 | 0.023 |
| 3 | 58.8 | 15.50 | 2.28 | A1B3C3 | 4.716 | 0.008 |
| 4 | 37.2 | 30.75 | 6.13 | A2B1C2 | 9.565 | 0.060 |
| 5 | 37.2 | 21.35 | 2.28 | A2B2C3 | 7.859 | 0.045 |
| 6 | 37.2 | 15.50 | 10.75 | A2B3C1 | 11.678 | 0.132 |
| 7 | 18.8 | 30.75 | 2.28 | A3B2C3 | 11.434 | 0.124 |
| 8 | 18.8 | 21.35 | 10.75 | A3B2C1 | 12.563 | 0.198 |
| 9 | 18.8 | 15.50 | 6.13 | A3B3C2 | 12.488 | 0.157 |

表 5 极差分析

Table 5 Range analysis

| 极差 | 张紧力 F/MPa | 锯切速度 $v_s/\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ | 进给速度 $v_a/\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$ |
|----------|-----------------------|--|---|
| k_{11} | 7.314 | 10.712 | 11.711 |
| k_{12} | 9.701 | 8.919 | 9.462 |
| k_{13} | 12.282 | 9.747 | 8.003 |
| R_1 | 4.968 | 1.793 | 3.708 |
| k_{21} | 0.046 | 0.097 | 0.145 |
| k_{22} | 0.079 | 0.089 | 0.080 |
| k_{23} | 0.160 | 0.099 | 0.059 |
| R_2 | 0.114 | 0.002 | 0.086 |

注 $k_{1i}, k_{2i}(i=1, 2, 3)$ 为以 Ra 和 ρ 为评价指标时各水平的平均值;

$R_{1i}, R_{2i}(i=1, 2)$ 为分别以 Ra 和 ρ 为评价指标时各因素的极差值。

切割机锯条张紧力决定着切口的切斜角度和粗糙度。

因素与指标趋势图如图 6 所示, 图 6a, 6b 分别为 Ra 和 ρ 的正交因素示意图, 能直观分析出指标与各因素水平波动的关系。由图可知, 张紧力 A 和进给速度 C 对 Ra 和 ρ 的影响最大, 锯切速度对 Ra 影响较小。粗糙度随着张紧力的增大不断减小, 随着进给速度增大而增大。其次, 锯切速度在水平 1~2 之间粗糙度减小, 在水平 2~4 之间增大。

4 结论

分析焊接吊耳的锯切原理, 指出锯切焊接吊耳时需要采用水平锯切法, 同时不能使用传统的带锯条扭转装置, 而应增大张紧力来保证锯切质量。

根据留根是否需要打磨处理, 将切口表面粗糙度 Ra 和留根斜度的正切值 ρ 作为锯切焊接吊耳质量的评定指标, Ra 和 ρ 越小, 说明锯切质量越好。

采用正交实验法研究张紧力、锯切速度以及进

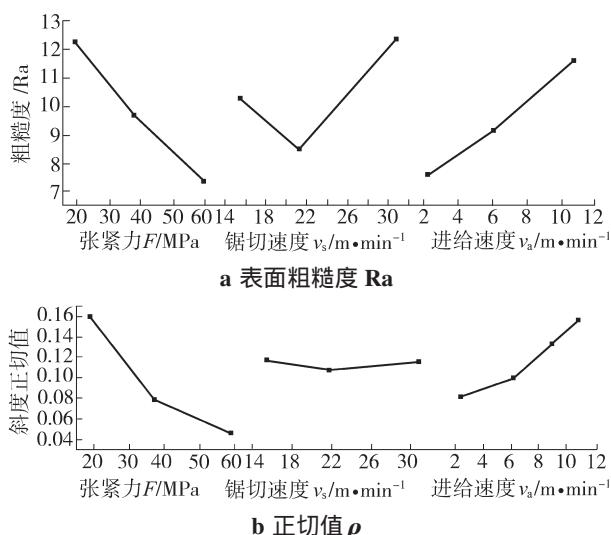


图 6 正交因素趋势图

Fig.6 Orthogonal test coefficient factor

给速度对焊接吊耳锯切质量的影响。研究表明, 张紧力和进给速度这两个因素对 Ra 和 ρ 的影响最大, 锯切速度对粗糙度影响较小。

参考文献:

- [1] 褚家俊, 蒋吉, 党飞龙, 等. 船体分段吊耳设计[J]. 科技致富向导, 2012(11): 162.
- [2] Raphael Thiébaud, Jean-Marie Drezet, Jean-Paul Lebet. Experimental and numerical characterisation of heat flow during flame cutting of thick steel plates[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2014(214): 304–310.
- [3] 韩永馗, 王智新, 闫家树, 等. 大厚度钢锭氧-丙烷火焰切割热影响区组织及性能[J]. 焊接学报, 2013(3): 25–28.
- [4] Mohammadjafar Hadad, Mohammadjavad Ramezani. Modeling and analysis of a novel approach in machining and structuring of flat surfaces using face milling process[J]. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 2016(105): 32–44.
- [5] 韩斌. 金属切削带锯床设计的若干问题研究[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2012.
- [6] 刘洪斌. 锯割尺寸精确控制的分析和操作[J]. 吉林农业, 2010(11): 200.
- [7] 潘柏松, 梁利华, 张元祥, 等. 金属切削带锯床设计理论与方法[M]. 北京: 清华大学出版社, 2013.
- [8] 郭秋实. 南钢齿轮钢铸坯及棒材质量控制研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2012.
- [9] 宋占勋, 方少轩, 谢基龙. T 形焊接接头根部裂纹应力强度因子研究[J]. 机械工程学报, 2013, 49(2): 87–94.
- [10] 周方明, 王伟健, 吴兴祥, 等. 中厚板双面脉冲埋弧焊工艺分析及优化[J]. 江苏科技大学学报(自然科学版), 2015, 29(6): 521–524.