

轮式起重机吊臂筒体焊接变形分析及控制

周鲜平

(中联重科股份有限公司, 长沙 410082)

摘要: **目的** 分析影响吊臂筒体焊接变形的因素及影响规律, 从而找到吊臂筒体焊接变形的控制方法。**方法** 通过理论分析、数值计算、试验研究等手段, 探讨吊臂经过摆搭、打底焊、焊接 3 道工序后, 发生焊接变形的原因, 得出焊接变形的控制方法。**结果** 轮式起重机吊臂的焊接, 通过优化焊接工艺参数、焊接顺序及刚性固定, 可以有效控制吊臂焊接变形。**结论** 对轮式起重机吊臂筒体摆搭、打底焊、盖面焊引起的焊接变形进行实物测量分析和有限元分析, 然后根据分析结果得出, 控制焊接变形的措施是有效的。

关键词: 轮式起重机; 吊臂; 焊接变形; 分析; 控制

DOI: 10.3969/j.issn.1674-6457.2017.05.032

中图分类号: TG44 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-6457(2017)05-0203-05

Welding Deformation Analysis and Control of Boom of Wheeled Crane

ZHOU Xian-ping

(Zoomlion Heavy Industry Science & Technology Co., Ltd., Changsha 410082, China)

ABSTRACT: The paper aims to analyze the factors and rules affecting the welding deformation of the boom barrel to find out the control method for the welding deformation of the boom. Through theoretical analysis, numerical calculation, experimental research, etc., the reasons for welding deformation of the boom from swing, backing welding and welding were discussed, and the control method of welding deformation was obtained. The welding deformation of the boom of wheeled crane could be effectively controlled by optimizing welding process parameters, welding sequence and rigid fixation. Physical measurement and finite element analysis on welding deformation of the cylinder boom of wheeled crane in backing welding and cover welding and analysis on this basis show that the measures for controlling welding deformation are effective.

KEY WORDS: wheeled crane; lifting arm; welding deformation; analysis; controlling

近年来,随着用户需求的不断提高和制造技术的不断发展,轮式起重机逐渐向大吨位和大起升高度方向发展。吊臂作为汽车起重机 3 大件之一,是承载受力主体,其截面从之前的四边形、八边形逐步发展为十边形、十二边形,并最终演变为椭圆形^[1]。

为了提高大吨位轮式起重机的起重性能,国内外吊臂均采用屈服强度为 960 MPa 及以上的材料。高强度钢强度高、综合性能良好,可满足吊臂的轻量化设计需求,但该类材料的 C 含量及合金元素含量高,焊接工艺性差,对焊接热输入极其敏感,并且由于材料本身强度高、刚性大,如何控制焊接变形也是一个重要

的课题。文中主要针对大吨位轮式起重机椭圆形吊臂筒体的焊接变形进行分析并讨论如何控制。

1 吊臂筒体焊接变形分析

国内大吨位轮式起重机吊臂筒体的焊接工艺流程为:筒体摆搭→筒体打底焊→筒体盖面焊。焊接方法一般采用富氩气体保护焊(即气体中含有体积分数为 80% 的 Ar 和 20% 的 CO₂),富氩气体保护焊除了生产率高、成本低、焊接质量好等优点外,还有一重要特点是电弧加热集中、焊件受热面积小,同时保护气

收稿日期: 2017-06-29

作者简介: 周鲜平(1969—),女,讲师,主要研究方向为吊臂折弯成形及焊接工艺。

流具有较强的冷却作用,因此焊接变形小^[2],在工程机械行业被广泛应用,但吊臂筒体的焊接属于焊接热过程的不均匀加热过程^[3],吊臂筒体各区域不均匀的体积膨胀和收缩,导致吊臂筒体在焊接过程中会出现焊接变形。文中将从生产实测和有限元 2 种方法来分析大吨位轮式起重机的吊臂筒体焊接变形情况。

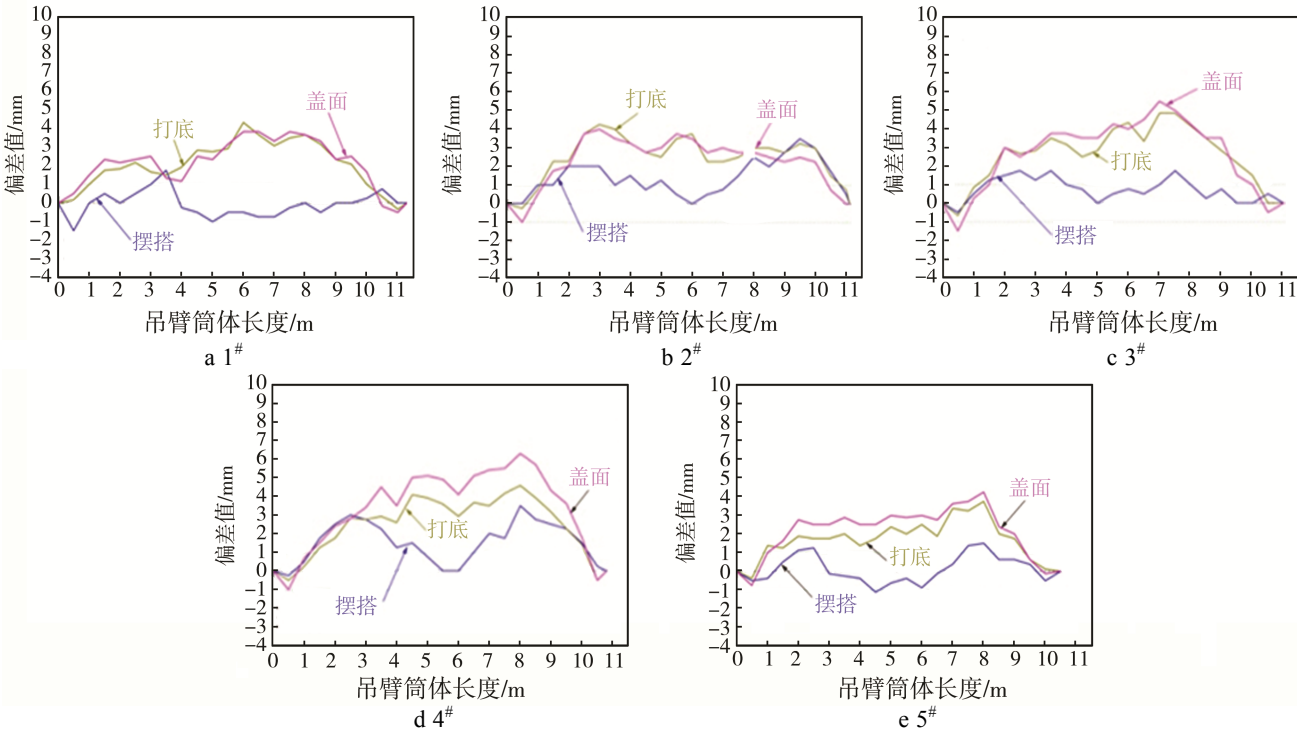


图 1 吊臂筒体变形情况
Fig.1 Deformation of boom cylinder

由图 1 可知,焊后筒体中部明显外凸,这不仅是由焊接应力所导致,还与筒体的结构形式有关。其中吊臂筒体盖面焊后变形情况与打底焊后变形基本一致,两者都受到制件变形情况的影响。焊接后吊臂筒体变形的程度及幅度,同摆搭后相比有明显增加,但变化的趋势基本与摆搭后一致。这表明,焊后的变形情况与筒体制件的变形有关。根据图 1 进一步分析,可得吊臂筒体变形数据见表 1。从表 1 中的数据分析得出,摆搭、打底焊和盖面焊 3 个工序产生的变形量分别占最终变形量的 11.38%, 65.24%, 23.39%,这意味着吊臂筒体变形主要产生在打底焊工序上。

1.2 吊臂筒体焊接变形有限元分析

考虑到吊臂筒体在摆搭时可能存在缺陷,为了保证仿真结果与实际相符,建模时在筒体焊缝区域及上、下盖板的顶端应加 5 mm 的变形缺陷,图纸建立 1/2 几何模型,在 hypemesh10.0 里面进行网格划分,然后将处理好的网格模型导入到 MARC 中进行有限元计算, MARC 中有限元模型及计算结果见图 2,臂架焊后 x 方向和 y 方向的变形曲线见图 3。

1.1 吊臂筒体焊接变形生产实测分析

为摸索吊臂筒体的焊接变形规律,对 5 组吊臂筒体焊接各工序(摆搭、打底、盖面)的变形情况进行了实地测量,以确定筒体变形出现的具体工序。5 组吊臂筒体在各工序的焊接变形量见图 1。

表 1 吊臂筒体变形数据
Tab.1 Measurement results of the deformation of the boom

吊臂筒体序号	平均变形量/mm			最大变形量/mm		
	摆搭	打底	自动焊	摆搭	打底焊	自动焊
1 [#]	-0.08	2.15	2.25	+1.75/-1.5	+4.33/-0.33	+3.83/-0.5
2 [#]	1.49	2.68	2.49	+3.5/0	+4.25/-0.25	+4/-1
3 [#]	0.77	2.75	2.82	+1.75/-0.5	+4.83/-0.67	+5.5/-1.5
4 [#]	1.6	2.6	3.53	+3.5/-0.25	+4.58/-0.5	+6.3/-1
5 [#]	0.13	1.82	2.28	+1.5/-1.13	+3.75/-0.38	+4.25/-0.75

注:宽度公差±2 mm,单侧±1 mm;最大变形量为筒体单侧最大外凸量,负值为筒体单侧最大内凹量;表中数据为各吊臂测量数据平均值

根据有限元计算结果,残余应力指向筒体外部,使焊接的变形向外侧释放,筒体外凸。筒体直缝焊接后整体呈现焊缝区向外凸的趋势,这与表 1 中生产测量数据分析结果是相吻合的。在吊臂筒体打底焊时,除焊接变形外,焊接热量使焊接区域附近的折弯残余应力释放,增加了失稳变形,使该工序产生的变形量较大;盖面焊时,焊接区域的折弯残余应力已释放殆

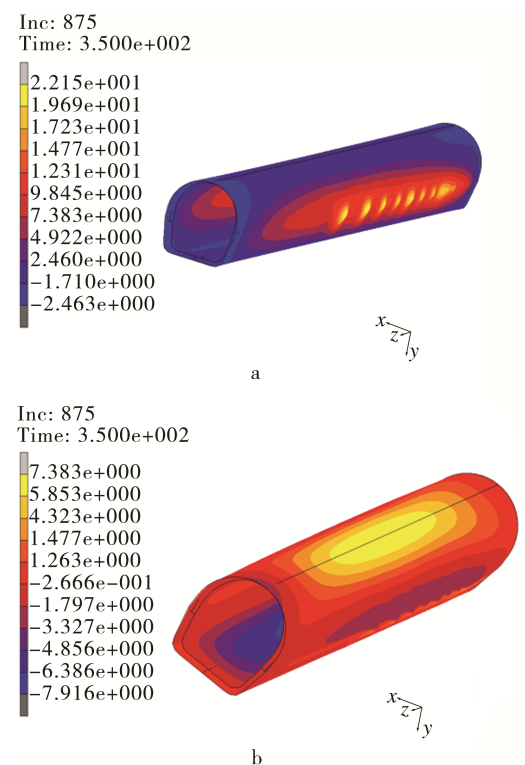


图 2 臂架焊后不同方向的变形
Fig.2 Deformation nephogram of different directions after welding of the boom

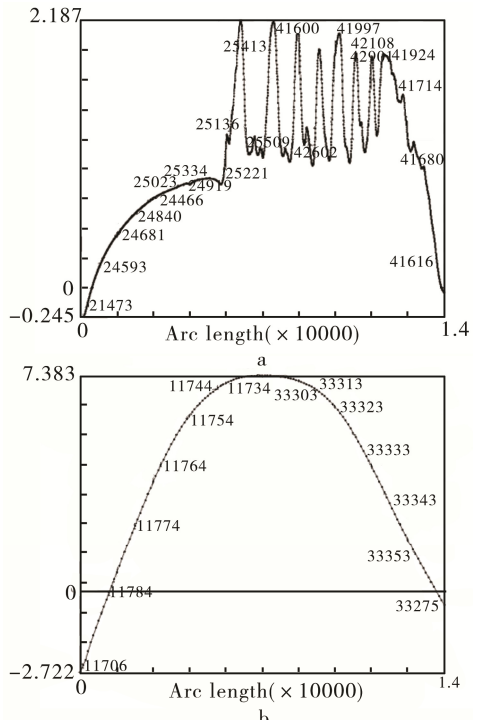


图 3 臂架焊后不同方向的变形曲线
Fig.3 Curve of different directions after welding of the boom
尽,失稳变形不再进一步增大,主要表现是焊接变形,因此该工序产生的变形相对较小。概括来说,焊后筒体产生的变形,是焊接应力与焊接加热导致的失稳变形共同作用的结果。

从上述分析可知,吊臂筒体焊接变形由焊接应力所导致;焊接变形情况导致吊臂外凸;且吊臂筒体变形主要产生在打底焊工序,摆搭与盖面 2 个工序变形量不大。

2 吊臂筒体焊接变形控制

焊接变形的控制方法很多,如选择合理的装焊顺序、采用不同的焊接方向和顺序、反变形法^[4]等。文中主要针对上述焊接变形特点,对优化焊接工艺参数、优化焊接顺序、刚性固定和反变形 4 种控制吊臂筒体焊接变形的方法进行探讨。

2.1 优化焊接工艺参数

优化焊接工艺参数主要是从焊接热输入入手。根据焊接变形的原理,焊接时热输入大,则产生的焊接变形也大,而焊接时的焊接电流、电压和焊接速度与热输入之间的数量关系见式(1)^[4]。

$$Q = \frac{60kUI}{1000v} \tag{1}$$

式中: Q 为焊接热输入; k 为电弧有效功率系数; U 为焊接电压; I 为焊接电流; v 为焊接速度。

从式(1)可以看出,焊接热输入主要与焊接电压、焊接电流和焊接速度有关。当焊接电流 I 、电压 U 增加时,焊接热输入 Q 增大,而当焊接速度增加时,热输入减少,但在影响焊接热输入的 3 个因素中哪个因素起主要作用,不得而知。为此文中以变形量为研究目标,以焊接电流、焊接电压及焊接速度 3 个因素为影响因素,设计了 3 因素 3 水平的正交试验。根据吊臂材料的屈服强度为 960 MPa,因素的波动范围分别为,电流 I 为 210 ~ 280 A,电压 U 为 20 ~ 25 V,焊接速度 v 为 450 ~ 630 mm/min,确定的因素水平见表 2,正交试验表及测量结果见表 3。

试验结果分析得出的水平与指标关系见图 4。由表 3 测量结果分析可知,焊接电流的变化对焊接变形的影响最大,焊接速度的影响次之,电压的影响最小。根据正交试验结果,当焊接电流为 220 A,电压为 22 V,焊接速度为 540 mm/min 时,具有最小的焊接变形量,且优化的焊接变形仅为平均焊接变形水平的 29.5%,因此,降低焊接电流可以显著减少筒体焊接变形量。

表 2 因素水平的确定
Tab.2 Determination of factor level

水平	因素		
	电流/A	电压/V	焊接速度/(mm·min ⁻¹)
1	210	20	450
2	245	22	540
3	280	25	630

表 3 因素水平表及测量结果
Tab.3 Factor level table and measurement results

序号	电流/A	电压/V	焊接速度/ (mm·min ⁻¹)	变形量/mm
1	210	20	450	3
2	210	22	540	1
3	210	25	630	1.5
4	245	20	540	2.5
5	245	22	630	2
6	245	25	450	5.5
7	280	20	630	3
8	280	22	450	7
9	280	25	540	5
k_1	4	9	16	—
k_2	10	8	6.5	—
k_3	15	12	6.5	—
$\overline{k_1}$	1.333333	3	5.333333	—
$\overline{k_2}$	3.333333	2.666667	2.166667	—
$\overline{k_3}$	5	4	2.166667	—
R	3.666667	1.333333	3.166667	—

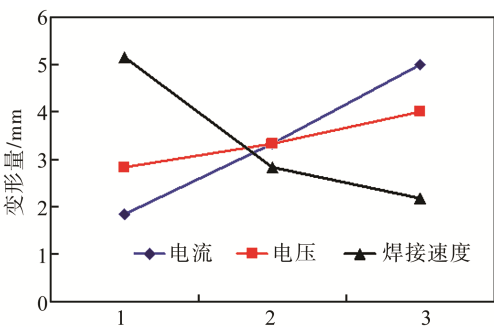


图 4 水平与指标关系
Fig.4 Horizontal and index diagram

2.2 优化焊接顺序

轮式起重机的吊臂长度一般情况下都超过 8 m，打底焊如果采取连续的整段焊接，由于对焊缝加热时间过长，将会造成较大的变形，因此在可能的情况下，应适当改变焊接方向，以使局部焊接造成的变形适当减小或相互抵消，从而达到减小总体变形的目的。打底焊采用分段退焊方法，吊臂筒体焊接变形相对较小。

2.3 刚性固定

装配摆搭能引起吊臂在不同装配阶段刚性的变化和重心位置的改变，对控制吊臂的焊接变形有很大的影响。一般来说，焊接吊臂在拘束小的条件下，焊接变形大，反之则变形小；而吊臂抵抗扭曲变形除了取决于吊臂的尺寸大小外，最主要的是吊臂截面形状，结构截面如果是封闭式的，则抗扭曲变形的能力

就强；结构截面如果是不封闭的，则抗扭曲能力弱^[5]。摆搭有加强工艺板的 3 组吊臂筒体焊接变形情况见图 5，可以看出，在吊臂筒体内部固定加强工艺板，可以增加吊臂筒体的刚性、减小吊臂摆搭焊接时的焊接变形。

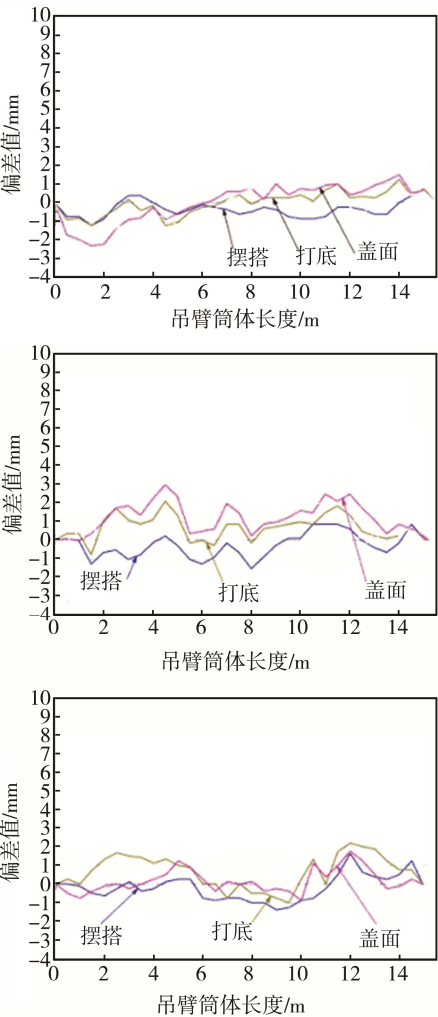


图 5 筒体变形情况
Fig.5 Deformation of cylinder

3 结论

在吊臂的焊接过程中，焊接变形是不可避免的，焊后吊臂普遍出现外凸现象，通过分析各影响因素，焊接电流是影响焊接变形的关键因素。为控制筒体的焊接变形，在打底焊时用分段退焊，从中间向 2 边对称退焊法进行焊接；再在打底焊时采用的焊接电流为 140~170 A，焊接电压为 18~19 V，焊接速度为 20~22 cm/min；盖面焊采用的焊接电流为 210~230 A，焊接电压为 21~23 V，焊接速度为 40~50 cm/min 的工艺参数，便可有效控制焊接变形，并将焊接变形控制在公差要求范围内，从而满足轮式起重机使用性能。

参考文献:

- [1] 王战锋. 一组椭圆形截面吊臂折弯间隙、步进及折弯刀数计算公式[J]. 精密成形工程, 2016, 8(7):43—48.
WANG Zhan-feng. A Set of Calculation Formulas of the Bending gaps, Steppers and Bending Numbers in Elliptical Cross-section Crane Boom Bending [J]. Journal of Netshape Forming Engineering, 2016, 8(7):43—48.
- [2] 郑应国. 焊工工艺学[M]. 北京: 劳动人事出版社, 1987.
ZHENG Ying-guo. Welding Technology[M]. Beijing: Labor and Personnel Press, 1987.
- [3] 田锡唐. 焊接结构[M]. 北京: 机械工业出版社, 1982.
TIAN Xi-tang. Welding Structure[M]. Beijing: China Machine Press, 1982.
- [4] 俞尚知. 焊接工艺人员手册[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1999.
YU Shang-zhi. Handbook of Welding Technology[M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1999.
- [5] 贺文雄. 焊接生产[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1979.
HE Wen-xiong. Welding Research Institute[M]. Harbin: Harbin Institute of Technology Press, 1979.