

电站锅炉保温钩钉螺柱焊工艺研究

公鑫

山东电力工程咨询院有限公司, 山东 济南 250013

[摘要] 常规火力发电厂建设过程中, 电站锅炉较多采用膜式受热面, 为降低锅炉设备的散热量, 提高锅炉热效率, 减少锅炉点炉停炉时本体设备的急剧热胀冷缩, 保护电器设备元件, 需要在水冷壁、包墙等外部焊接保温钩钉, 将保温棉挂到上面进行保温。一台 60 万千瓦机组锅炉保温钩钉的数量在 13 万左右, 焊接工作量大, 焊接质量要求高, 通常采用的手工电弧焊方式施工效率低, 质量效果差。经过充分调研和分析以往多个总承包项目锅炉保温钩钉焊接工艺, 并对多个工艺方法优缺点进行了对比分析, 确定了采用螺柱焊焊接工艺对锅炉保温钩钉进行焊接施工。

[关键词] 锅炉保温钩钉; 螺柱焊; 焊接工艺

DOI: 10.33142/ec.v5i3.5509

中图分类号: TG453.3

文献标识码: A

Study on Stud Welding Technology of Thermal Insulation Hook of Utility Boiler

GONG Xin

Shandong Electric Power Engineering Consulting Institute Co., Ltd., Ji'nan, Shandong, 250013, China

Abstract: During the construction of conventional thermal power plants, membrane heating surfaces are often used for utility boilers. In order to reduce the heat dissipation of boiler equipment, improve the thermal efficiency of boiler, reduce the rapid thermal expansion and cold contraction of main equipment when boiler is started and shut down, and protect electrical equipment components. It is necessary to weld insulation hooks and nails on the outside of water-cooled wall, cladding wall and other walls to hang insulation cotton on them for insulation. The number of thermal insulation hooks and nails of a 600,000 kW unit boiler is about 130,000, with large welding workload and high welding quality requirements. The commonly used manual arc welding method has low construction efficiency and poor quality effect. After full investigation and analysis of the welding processes of boiler insulation hooks and nails in previous general contracting projects, the advantages and disadvantages of several process methods are compared and analyzed, and the stud welding process is determined to weld the boiler insulation hooks and nails.

Keywords: boiler insulation hook nail; stud welding; welding technology

引言

通过对螺柱焊焊材焊机的选择、焊机操作人员培训、螺柱焊焊接工艺参数选择, 螺柱焊焊接工艺评定实施、现场锅炉保温钩钉螺柱焊焊接施工进行研究, 收集相关参数和数据, 分析焊接一次合格率, 作业生产效率分析, 确定了螺柱焊在锅炉保温钩钉焊接过程中的可实施性。螺柱焊工艺在鲁西电厂项目锅炉保温钩钉焊接施工中的应用, 实现了提高锅炉保温钩钉焊接工艺质量和焊接效率的目的, 对总承包项目保温钩钉焊接作业具有借鉴意义, 具有明显的经济与社会效益。

1 研究背景

1.1 现状背景分析

传统的保温钩钉焊接方法多为手工电弧焊, 通常由一人焊接一人辅助完成保温钩钉焊接工作, 也有些项目仅安排焊工独立完成焊接作业, 焊工采用一只手固定保温钩, 另一只手手持焊钳进行焊接, 上述两种方式作业效率低, 作业人员视野受限, 影响施焊过程中熔池观察, 会出现焊缝质量差导致保温钩钉受力脱落, 焊接伤及母材, 焊接弧光伤害等情况, 影响施工质量和工人身体健康。同时, 近年来, 焊工人工成本持续提高, 尤其是高压焊工涨幅更高,

为此, 急需寻求其它焊接施工工艺方法来提高施工效率、降低施工成本, 保证施工质量和工人健康。

螺柱焊是利用电流通过螺柱和钢板, 在焊剂层下产生电弧, 形成熔池, 将螺柱插入熔池, 熔池冷却后形成焊接接头, 螺柱焊焊接一次成型, 无需控制层间温度, 焊接速度快, 单个钩钉的焊接时间短, 焊接效率高, 焊接质量好, 焊接过程不产生弧光、烟尘。螺柱焊焊接效率高, 易于实现自动化控制, 具有快速、可靠、简化, 操作简便、降低成本等优点^[1]。

1.2 研究的意义及必要性

1.2.1 必要性

目前电站锅炉保温钩钉焊接通常采用手工电弧焊工艺, 手工电弧焊一般需要多层焊接, 焊接过程需严格控制层间温度, 焊接速度较慢, 焊接效率低, 焊接一次合格率较低, 焊接过程产生烟尘、弧光, 对人体有害。

1.2.2 可行性

螺柱焊的应用始于 1939 年, 经过几十年的发展, 焊接技术已形成相对固定的焊接模式, 焊接工艺也较成熟, 目前在高层钢结构、轻钢办公楼、轻钢厂房桥梁等工程建筑上有着广泛的应用。因此, 锅炉保温钩钉螺柱焊具备可行性^[2]。

2 主要研究内容及成果

2.1 多种焊接工艺对比分析

通过对已实施的多个总承包项目进行调研和数据收集,以往多个总承包项目锅炉保温钩钉焊接采用手工电弧焊方式,一个项目采用二氧化碳气体保护焊工艺,本研究对手工电弧焊、二氧化碳气体保护焊、螺柱焊工艺方法进行了对比分析,具体如下。

2.1.1 二氧化碳气体保护焊

使用熔化电极,以外加气体作为电弧介质,并保护金属熔滴、焊接熔池和焊接区高温金属的电弧焊方法。

2.1.2 手工电弧焊

手工电弧焊是利用焊条与焊件之间的电弧热,使焊条金属与母材熔化形成缝的一种焊接方法。焊接时,母材为一电极,焊条为另一电极。电弧是在焊条—母之间的空隙内通过外加电压引燃^[3]。

2.1.3 螺柱焊

螺柱焊:利用电流通过螺柱和钢板,在焊剂层下产生电弧,形成熔池,将螺柱插入熔池,熔池冷却后形成焊接接头。

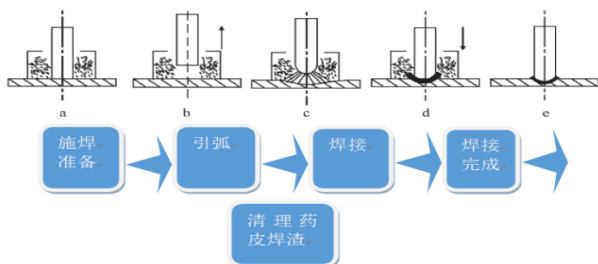


图1 螺柱焊焊接流程

2.2 螺柱焊焊接工艺

本项目研究通过对保温钩钉螺柱焊焊接全过程所有流程进行分析,明确了研究的技术路线,完成了对焊机、焊剂及焊接工艺参数的分析研究。

2.2.1 螺柱焊机

为了保证本次研究的顺利开展和应用,成员通过调研,一致通过选择成都斯达特焊接研究所研制和生产的埋弧螺柱焊机。

成都斯达特焊接研究所是国内历史最悠久的螺柱焊机研制和生产企业,也是相关标准的主要编制单位,在锅炉保温钩钉螺柱焊研究方面能够给予一定的技术支持。目前,斯达特焊接研究所生产的螺柱焊机主要有三种型号,见表1。

通过对焊接参数方面进行分析 RSM-2500-2、RSM-3150-2 两种型号均适合于锅炉保温钩钉螺柱焊焊接施工。但焊接效率方面 RSM-3150-2 效率要比其他两种型号高。综合以上分析,采用 RSM-3150-2 型螺柱焊机进行焊接参数的研究。

通过对焊接参数方面进行分析 RSM-2500-2、RSM-3150-2 两种型号均适合于锅炉保温钩钉螺柱焊焊接施工。但焊接效率方面 RSM-3150-2 效率要比其他两种型

号高。综合以上分析,采用 RSM-3150-2 型螺柱焊机进行焊接参数的研究。

表1 螺柱焊机的选择

焊机型号	RSM-1600-2	RSM-2500-2	RSM-3150-2
最大焊接电流	1600A	2500A	3150A
埋弧螺柱焊电流调节范围	80A-1600A	100A-2500A	150A-3150A
焊接时间调节范围	100-16500ms		
焊接范围	8-20mm	10-28mm	14-36mm

2.2.2 螺柱焊焊剂

螺柱焊自身的焊接特点:利用焊接电流在焊剂层下产生的电弧燃烧,使螺柱和钢板之间相邻部位熔化,然后将螺柱插入熔池形成焊接接头。焊剂的主要作用如下:

①改善电弧的导电性,使起弧容易,稳定电弧;

②形成熔渣,保护过渡的熔滴,保护形成的熔池,覆盖在焊道上表面,避免焊缝的过快冷却;

③对熔池产生冶金影响,在金属与渣之间,通过锰铁和硅铁反应脱氧。

通过与中国电建集团能源装备有限公司(原上海电力修造厂)的技术人员沟通,推荐三款焊剂型号为:HJ250、HJ350、SJ101。

表2 焊剂对比表

焊剂型号	HJ250	HJ350	SJ101
种类	熔炼型低锰中硅中氟焊剂	熔炼型中锰中硅中氟焊剂	氟碱型烧结焊剂
特点	采用直流电源,焊丝接正极,焊接工艺性能良好,在较窄深坡口内多层焊时其脱渣性良好	可交直流两用,直流时焊丝接正极,焊接工艺性能优良,细粒度焊剂,可用于细丝埋弧焊,焊接薄板结构	具有优良的焊接工艺性能,电弧燃烧稳定,焊缝成型美观,脱渣容易,焊缝具有较高的低温冲击韧性,可交直流两用,直流焊接时焊丝接正极
目数	10-60	8-40 及 14-40	10-60

通过对三款焊剂进行对比分析,决定以 HJ350 作为保温钩钉螺柱焊焊接焊剂。

2.2.3 焊剂盒

焊剂盒是螺柱焊焊接过程中重要的辅助工具,考虑到保温钩钉布置位置固定,因连体式焊剂盒焊接过程中钩钉不易错位,焊接效率比单体式焊剂盒高,经过认真的分析和讨论,确定采用连体式焊剂盒^[4]。

2.2.4 焊接工艺参数

埋弧螺柱焊的焊接参数主要包括焊接电流、焊接时间、伸出长度、提升高度四个参数,要试验出最佳的焊接参数组合,可以采用列举筛选试验法、正交试验法+补充试验

法。对两种试验方案进行对比，见表 3。

表 3 试验方法的选择

方案一：列举筛选试验法	方案二：正交试验法+补充试验
将焊接参数的所有组合列举出来，通过试验筛选出最优的焊接参数组合。	利用正交表来安排试验，通过补充试验对正交试验最优参数组合、计算最优参数组合进行试验，选择最终焊接参数组合。
优点：所有焊接参数组合均进行试验，试验比较全面	优点：正交试验法是一种高效、快速、经济的试验方法。
缺点：焊接参数试验组合多，试验成本高，试验效率低	缺点：焊接参数试验组合不全面。

通过对比，采用正交试验法+补充试验来试验工艺参数。

2.3 焊接工艺评定

根据“5W1H”原则制定工艺试验实施对策。

2.3.1 准备

工艺试验前，完成对埋弧螺柱焊机、焊材的采购及验收工作，并委外进行焊剂盒加工工作。

2.3.2 工艺参数选择

通过参考焊机厂家对埋弧螺柱焊焊接参数数据，采用正交试验法对焊接电流、焊接时间、伸出长度、提升高度参数进行选择（见表 4），根据选择的焊接参数进行试验，每个参数焊接 5 只焊缝，并对试验结果（见表 5）进行分析。

表 4 焊接参数正交试验位级表

因素	焊接电流 A(格)	焊接时间 B(格)	提升高度 C (mm)	伸出长度 D (mm)
1	5.0(约 1100A)	5.0 (约 8s)	9	8
2	5.5(约 1200A)	5.5 (约 9s)	10	9
3	6.0(约 1300A)	6.0 (约 10s)	11	10

表 5 焊接参数正交试验表 L9(34)

因素	试验计划				焊接合格率 (%)
	焊接电流 (格)	焊接时间 (格)	提升高度 (mm)	伸出长度 (mm)	
	A	B	C	D	
1	1	1	3	2	60
2	2	1	1	1	80
3	3	1	2	3	100
4	1	2	2	1	60
5	2	2	3	3	80
6	3	2	1	2	60
7	1	3	1	3	80
8	2	3	2	2	60
9	3	3	3	1	40
I	200	240	220	180	I + II + III = 620
II	220	200	220	180	
III	200	180	180	260	

由试验结果看出：采用第 3 组（A3、B1、C2、D3）的焊接参数焊接合格率高于其他组焊接参数；经过计算，A2、B1、C1、D3 以及 A2、B1、C2、D3 两组焊接参数较为理想。

对策目标检查：经正交试验法，确定了三种焊接参数组合，见表 6。

表 6 正交试验法确定的焊接参数组合

焊接参数组合	焊接电流	焊接时间	提升高度 (mm)	伸出长度 (mm)
A3、B1、C2、D3	6.0	5.0	10	10
A2、B1、C1、D3	5.5	5.0	9	10
A2、B1、C2、D3	5.5	5.0	10	10

2.3.3 补充试验

根据正交试验法得到的三种参数进行补充试验，确定最终焊接参数组合。采用三种参数组合分别焊接 20 只焊缝，并对焊缝质量进行统计和分析，见表 7。

表 7 补充试验数据

焊接参数组合	焊接参数				合格数 (条)	焊接总数 (条)	合格率 (%)
	焊接电流 (格)	焊接时间 (格)	提升高度 (mm)	伸出长度 (mm)			
A3、B1、C2、D3	6.0	5.0	10	10	17	20	85
A2、B1、C1、D3	5.5	5.0	9	10	18	20	90
A2、B1、C2、D3	5.5	5.0	10	10	20	20	100

经过补充试验，最终确定保温钩钉焊接参数组合，焊接电流为 4.5A，焊接时间 3.5min，提升高度 9.0mm，伸出长度 8.0mm。

2.4 现场实施

在鲁西电厂项目锅炉水冷壁受热面采用螺柱焊完成全部保温钩钉焊接工作。

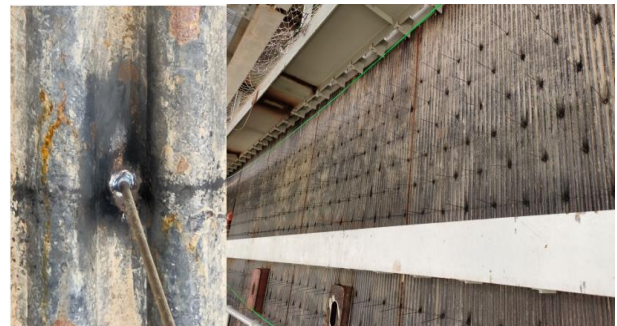


图 2 鲁西电厂项目施工图

2.4.1 质量验收

通过对鲁西电厂项目#1 锅炉保温钩钉焊接质量检查验收，并对焊缝质量情况进行了调查和统计，见表 8。

表 8 锅炉保温钩钉焊接质量情况统计表

部位	总焊缝数	合格数	焊接验收合格率
前墙水冷壁	6912	6858	99.2%
后墙水冷壁	96	96	100%
左墙水冷壁	288	279	96.8%
右墙水冷壁	128	126	98.4%
包墙水冷壁	128	128	100%
一次合格率			99.1%

采用螺柱焊焊接工艺焊接保温钩钉，合格率为 99.1%，保证了焊接施工质量。实现了研究的质量目标。

3 经济效益和社会效益

3.1 经济效益

通过对以往总承包项目保温钩钉焊接效率进行调查：1 名熟练的焊工（1 名辅助工）采用手工电弧焊平均每 1 分钟焊接 1 个保温钩钉，而保温钩钉采用埋弧螺柱焊焊接，1 名熟练的焊接操作人员（1 名辅助工）每 20 秒可完成一个，相比手工电弧焊，焊接效率提升了 3 倍。对锅炉保温钩钉螺柱焊焊接成本进行统计，并与手工电弧焊进行对比分析，见表 9。

表 9 费用统计及对比表

	埋弧螺柱焊	手工电弧焊
人工成本	焊接操作人员 2 人，按每天 8 小时计，能焊接保温钩钉 2880 个，焊接 13 万个保温钩钉需焊接 45 天。人工成本=2(人)×450(元/天)×45(天)=40500 元	达到与埋弧螺柱焊同等效力需要焊工 4 人，辅助工 2 人，2 人对焊件进行矫形，矫形需用 10 天。人工成本=6(人)×400(元/天)×52(天)+2(人)×400(元/天)×10(天)=132800 元
机械成本	埋弧螺柱焊机，单机价格 35000 元，折旧 10 年。机械成本=35000(元)÷10(年)÷365(天/年)×52 天=499 元	手工电弧焊机 4 台，单台价格 4000 元，折旧 10 年。机械成本=4000(元)×4(台)÷10(年)÷365(天/年)×52 天=228 元
材料成本	焊接一根保温钩钉需要焊剂 5g 左右，焊剂单价 18.6 元/kg，消耗焊丝 6g，单价为 10 元/kg，每根保温钩钉焊接的材料成本=0.005(kg/条)×18.6(元/kg)+0.006(kg/条)×10(元/kg)=0.153(元) 1 台锅炉保温钩钉约 13 万根保温钩钉。	每 5 根保温钩钉焊缝平均需要(Φ3.2)焊条 1 根，焊条每公斤 25 根，焊条每公斤 28 元。 单根保温钩钉焊接的材料成本=28(元/kg)×0.2(根)÷25(根/kg)=0.224 元 1 台锅炉保温钩钉约 13 万根保温钩钉。总材料成本

	埋弧螺柱焊	手工电弧焊
	总材料成本=130000(条)×0.153(元/条)=19890 元	=130000(条)×0.224(元/条)=29120 元
其他费用	焊机计量费用=300 元/台×1 台=300 元 焊接操作人员培训及考试费用=300 元/人×2 人=600 元	焊机计量费用=300 元/台×4 台=1200 元，焊接操作人员培训及考试费用=300 元/人×4 人=1200 元
合计	61489 元	163348 元

锅炉保温钩钉采用螺柱焊焊接，相比传统手工电弧焊焊接，1 台锅炉节约焊接成本 101859 元，鲁西电厂项目 2 台锅炉共计节约成本 203718 元。

3.2 社会效益

锅炉保温钩钉螺柱焊焊接工艺的运用，填补了总承包项目该焊接工艺领域的空白。螺柱焊施工效率高，焊缝外观成型美观，各项参数符合图纸、标准规范的要求，焊接过程无弧光烟尘，保障了焊工的身体健康，得到了上游单位的一致好评，锅炉保温钩钉螺柱焊焊接工艺研究成功也为今后项目保温钩钉焊接积累了宝贵的经验^[5]。

4 结束语

该课题经过对锅炉保温钩钉焊接方法对比，螺柱焊机选择、焊剂焊材选择，工艺参数组合，工艺评定验证，现场保温钩钉焊接实施，质量效果检查等研究，完成了预期目标，达到了国内先进水平，下一步课题组将持续关注行业动态，关注最新焊接工艺方法，持续做好自动化程度高的工艺在电厂安装过程中的应用探索，为满足下一步高自动化施工管理，为总承包项目管理处于行业领先地位打下良好基础。

[参考文献]

- [1] 张瑞昌, 黄贤聪. 螺柱焊机及其焊接工艺的研究(上)[J]. 机械工人: 热加工, 2004(11): 3.
 - [2] 刘嵘根. 螺柱焊在车身焊接工艺中的应用研究[J]. 山东工业技术, 2017(22): 1.
 - [3] 姜友荣. 电弧螺柱焊接技术[J]. 四川建筑, 2006(9): 165-168.
 - [4] 刘双奎. 保温钩钉焊接工艺研究[J]. 电力设备, 2018(17): 32-33.
 - [5] 张文钺. 焊接冶金学(基本原理)[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.
- 作者简介: 公鑫(1986.8-), 山东济南人, 汉族, 大学本科学历, 山东电力工程咨询院有限公司主管工程师, 从事电力工程总承包管理工作。