

关于钢厂转炉设备悬挂系统焊接工艺研究

邱银富
(首钢京唐钢铁联合有限责任公司 河北 唐山 063200)

摘要: 有些钢厂使用下悬挂连接的方式连接转炉与托圈, 这种连接方式构成一种三组垂直支托、两组水平支托支撑。这种连接方式可以达到更加理想的载荷承受效果, 可以使装置的运行稳定性得到大幅度提升。不过因为垂直支托、水平支托焊接空间狭小, 无法将焊接的效果发挥到极致, 从而无法从根本上保证实际的焊接的质量与效果。为了解决这一问题, 本文提出一种悬挂支托的焊接工艺, 并选择合适的材料, 可以进一步提升转炉设备悬挂焊接质量。

关键词: 转炉; 悬挂; 支撑; 焊接

0 引言

现阶段钢厂使用的转炉、托圈连接方式为下悬挂链接, 虽说这种方式构成的支托结构具备更加理想的载荷承受效果, 提升装置运行稳定性, 但是预留出的作业空间却十分狭小, 影响焊接的实际作业效率。为了实现有效焊接, 需要在转炉与托圈实现连接以后预留出足够的焊接作业空间, 充分发挥出焊接的功效。悬挂支托焊接工艺是一种非常有效的方式, 不仅像下悬挂连接一样可以达到理想的载荷效果, 还可以预留出足够的焊接作业空间, 在确定合适的材料与工艺以后, 悬挂支托焊接工艺可以代替下悬挂连接实现转炉与托圈的有效连接。

1 下悬挂连接

1.1 焊接难点

成功安装水平支托、垂直支托以后, 下一步需要将水平、垂直支托通过焊接的方式实现与转炉的连接, 不过因为下悬挂连接方式的特点, 导致了作业空间不足, 因此焊接质量无法得到有效保障。

1.2 连接系统

下悬挂连接系统主要采用三组垂直支托、两组水平支托, 通过关节轴承实现有效连接, 属于一种静定连接机构。这种连接方式具备较为出众的载荷承受能力, 因此可以承受起转炉工作过程中存在种种载荷变化状况, 由此确保托圈、炉体保持相对静止连接, 由此可以更好地满足转炉外壳、托圈出现大幅度变形的情况, 并且下悬挂连接夹持机构可以实现无死角炉体防坠落, 使装置运行安全性得到本质性提升。

2 悬挂支托焊接

2.1 材料选择

初步选择托圈的材料为 16Mo3 钢材。16Mo3 钢材, 全称 16Mo3 含钼珠光体耐热钢, 是现阶段国际上普遍使用的托圈制造材料, 因此本次研究中也使用 16Mo3 钢材制造托圈。

使用 16Mo3 制造托圈的过程中需要进行冶炼、轧制, 一切工序遵循 EN10028 - 2 技术标准。表 1 所示为 16Mo3 钢材化学成分分析结果, 表 2 所示为力学性能测试

表 1 16Mo3 钢材化学成分 (质量分数 %)

钢材牌号	C	Mn	Si	S	P	Mo	Cr	Ni	Cu
16Mo3 (标准型)	0.12-0.21	0.41-0.92	≤ 0.35	≤ 0.011	≤ 0.025	0.26-0.35	≤ 0.33	≤ 0.32	≤ 0.30
16Mo3 (试验型)	0.18	0.74	0.28	0.03	0.013	0.28	0.071	0.061	0.052

表 2 16Mo3 钢材力学性能

钢材牌号	条件	厚度	屈服强度	500℃ 屈服强度	抗拉强度	断后伸长率	冲击吸收能量
16Mo3 (标准型)	+N	60	≥ 260	≥ 123	440-590	≥ 22	≥ 31
16Mo3 (试验型)	+N	60	327	254	512	31	125, 126, 139

结果。

通过表 1、表 2 不难看出, 对于 16Mo3 中 C、S、P 等有害因素已经实现了有效控制。16Mo3 无论是强度还是韧性都很强, 极其适用于制造托圈。

2.2 焊接性分析

因为 16Mo3 是国际上公认的托圈制造材料, 因此具备相对理想的焊接性能。并且在 16Mo3 钢材当中含有高熔点、扩散性强的元素, 这样一来就使得托圈的临界冷却速度下降, 使托圈稳定性得到有效提升。但是 16Mo3 当中以化合物 (硫化铁) 的形式存在, 并且在晶界表现为网状分布, 从而使钢材的韧性显著下降。无论是铁还是硫化铁形成的共晶物的熔点都极低, 并且主要分布于晶界, 在

实际的焊接冷却时，极容易出现热裂纹。传统的下悬挂连接方式无法避免这一问题，因此在使用悬挂支托焊接工艺时需要注意解决这一问题。

3 焊具性能分析

托圈具有很大的自重，是一种大型厚板焊接结构件，所以需要接受全位置焊接，并且面临着庞大的焊接工作量。转炉焊接对质量存在很高的要求，因此需要选择合适的焊具来保证焊接质量。实际工作表明，富氩混合气体保护焊具有抗裂性好、焊接质量优、效率高及适应性强等一系列优点，使用这种焊接技术可以使焊接的质量与效率得到保障。

焊丝的选择需要综合考虑焊接接头综合性能和安全使用性，转炉焊接常用 ER55—B 2（ ϕ 1.2mm）实芯焊丝。ER55—B2 是一种 1.25%Cr ~ 0.5%Mo 系珠光体耐热钢用气体保护焊丝。因为焊丝中 C、S、P 的杂质含量并不高，所以使用这种焊丝可以达到理想的焊接效果。结合 GB/T8110-2008 标准，开始对焊丝的化学成分、熔敷金属力学性能进行分析，结果详见表 3、表 4。

表 3 焊丝化学成分（质量分数）%

钢材牌号	C	Mn	Si	S	P	Mo	Cr	Ni	Cu
ER55—B2 (标准型)	0.07	0.41	0.4	≤ 0.025	≤ 0.025	0.41	1.21	≤ 0.21	≤ 0.35
	-0.12	-0.71	-0.71			-0.66	-1.51		
ER55—B2 (试验型)	0.085	0.53	0.52	0.011	0.017	0.62	1.32	0.051	0.26

表 4 焊丝力学性能

钢材牌号	屈服强度	抗拉强度	断后伸长率	冲击吸收能量
ER55—B2 (标准型)	≥ 440	≥ 550	≥ 20	≥ 27
ER55—B2 (试验型)	455	560	28	42

4 悬挂支托的焊接工艺

4.1 强化刚性固定

在正式焊接之前，为水平支托增加工艺拉筋，拉筋的实际位置需要在水平支托焊接完毕以后不会对连杆二次安装造成影响，所有安装工序完成以后，开始切割再清除，确保安装的顺利性。

在正式焊接之前，为垂直支托增加工艺拉筋，拉筋的实际位置需要在水平支托焊接完毕以后不会对连杆二次安装造成影响，所有安装工序完成以后，开始切割再清除，确保安装的顺利性。

4.2 热输入控制

在焊缝位置使用多层多道焊接，同时对焊缝表面进行适度敲击从而消除焊接应力。敲击时需要注意的是，不能敲击首层焊缝、盖面焊缝。并且在焊接时需要注意，大面坡口需要优先焊接，直至坡口深度至一半位置结束，小面坡口深度至多 1/2 后完成焊接以后，还需要继续加大焊接面坡口，直至最终焊接完成。表 5、表 6 分别所示为焊接参数与接头力学性能。

5 实施方案

5.1 施工工艺流程

(1) 炉壳下段（含炉底）吊装到焊接作业现场，在吊装过程中需要注重炉壳出钢口的方向需要与使用方向保持一致，预装工作时的腰线作为基准条件，将水平控制在合理范围。

(2) 将炉壳内部段吊装到炉壳下段上方位置，明确标记以后，对水平、错边、焊缝间隙进行调整，借助卡板实现有效固定，随后即可开始焊接。正式焊接之前展开预热工作，结合实际需求，选择合适的火焰与电加热器混合加热，将温度控制在 100 ~ 150℃。将预热范围控制在距焊

道 3 倍板厚左右，同时厚度 $\geq 75\text{mm}$ ，对层间温度进行有效控制，使层间温度 $\geq$ 预热温度。

(3) 在焊前需要对焊道、焊道两侧 30mm 范围打磨，打磨过程中需要去掉油漆、氧化皮、污水、油污等一系列杂质，并且在焊接过程中需要严格对焊接层间进行清理，将焊渣、飞溅、裂纹、咬边、未熔合、成型差的焊道有效去除，任何焊缝内都存在影响质量的缺陷。实际焊接工艺参数需要参照《焊接工艺指导书》。

(4) 将炉壳中下段焊缝焊接完成以后，需要开展保温缓冷工作，标准为冷却到环境温度后，此时可以开展无损检测，检测结果合格后开展进一步的局部热处理，热处理完成还需要进行一次无损检测。

(5) 对于炉壳中下段，焊接、热处理、探伤合格后，可以交付给现场施工单位开展组装工作。

(6) 施工单位推入炉壳上段到位后，随后再开展炉

表 5 焊接参数

焊接电流	电弧电压	焊接速度	热输入	预热温度	道间温度
极性 /A	30-32/V	25-40/cm/min	10-20KJ/cm	150℃	150-250℃
直流反接 /240-260					

表 6 接头力学性能

抗拉强度	屈服强度	弯曲试验	冲击吸收能量	
		(弯轴直径 D =40mm) (弯曲角度 $\alpha =180^\circ$)	热影响区	焊缝
518, 496, 505, 511	218	全部合格	164, 168, 210	68, 106, 112

壳上段与炉壳中下段的精准调节, 主要对水平、错边、焊缝间隙后进行调整, 借助卡板实现有效固定, 完成后即可开始准备施焊。焊接前充分预热, 结合实际工作要求, 选择合适的火焰和电加热器混合加热, 将温度控制在 $100 \sim 150^{\circ}\text{C}$ 。将预热范围控制在距焊道 3 倍板厚左右, 同时厚度 $\geq 75\text{mm}$, 对层间温度进行有效控制, 使层间温度 $\geq$ 预热温度。

(7) 上段和中下段的焊接、热处理、探伤工作需要重复 3 ~ 4 次。

(8) 剩余的托圈挡座、下吊挂座部件需要由现场施工单位完成安装定位以后再展开焊接、热处理、探伤工作。

现场作业施工工艺需要结合施工作业图纸、结合施工现场实际情况、工期等一系列需求, 从本单位实际施工能力、工艺分段方案水平等一系列具体情况出发, 编撰现场组焊施工工艺:

(1) 主要的控制项目与质量目标 a) 炉体直径 $8160+0-10\text{b}$) 焊缝错边量 $\leq 5\text{mm}$ c) 焊缝间隙 $2 \sim 5\text{mm}$ d) 炉体高度 $\pm 10\text{mm}$ e) 全熔透焊缝进行 100% 超声波探伤, 满足 NB/T47013.3-2015 II 级。f) 针对一切焊缝都需要开展 100% 磁粉探伤, 并且结果需要符合 NB/T 47013.4-2015 I 级。g) 所有焊缝的外观均需要符合 GB/T19418-2003 C 级。

(2) 焊接工艺 a) 焊工资格: 接受焊接的焊工, 需要具备焊工资格证, 作业时持证上岗。b) 焊接材料: CO_2 气体保护焊使用 ER50-6 焊丝, 手工电弧焊使用 E5015 焊条。c) 为了保证焊条的质量, 需要在保管焊条焊前对焊条进行烘烤, 烘烤温度严格控制在 350°C , 保温 2 小时, 烘烤完成焊条需要移至 $80 \sim 150^{\circ}\text{C}$ 恒温箱当中储存, 使用焊条最好随用随取, 避免焊条在外界受潮。由专人负责焊条的烘烤、储存、发放工作, 焊工在每次领用焊条时, 应该将备用焊条放在随身的保温筒内, 保温筒内焊条的持续存放时间需要在 4 小时以内, 如果超过 4 小时的焊条就需要接受重新烘烤, 焊条的重复烘烤次数不可以超过二次, 烘烤超过两次以后的焊条将直接作废。d) 焊前准备: 施焊前对坡口尺寸、错边量、坡口打磨情况、预热温度等进行全面检查, 所有参数满足图纸及技术文件后才可以开展焊接工作。e) 焊接: 使用多层多道焊, 直线运条, 避免不摆动, 摆动幅度 $< 10\text{mm}$ 。优先焊大坡口侧焊缝, 焊后小坡口清根, 随后再焊小坡口侧焊缝。f) 下吊挂座焊接 2 名焊工同时焊接, 大坡口焊缝焊接到一半时停止焊接作业, 小坡口清根完成后再开展小坡口焊接, 焊接过程中需要仔细观察下吊挂座的变形情况, 对焊缝顺序进行调整, 以才来最大

限度上确保杠杆座垂直度、同轴度。g) 实际需要的预热温度、焊接电流电压、焊接速度等焊接工艺参数依然需要以《焊接工艺指导书》作为参照标准。

(3) 焊接完成后需要开展热处理作业, 电加热片进行加热, 热处理温度 $\geq 580 \pm 20^{\circ}\text{C}$, 使用保温棉进行保温, 持续保温 4 小时后缓冷, 通过这种方式消除内应力。

(4) 无损检测热处理完成并冷却以后, 需要对焊缝开展无损检测: 全熔透焊缝使用 100% 超声波探伤, 符合 NB/T47013.3-2015 II 级; 焊接完成后对于所有的焊缝都需要使用 100% 磁粉进行探伤, 符合 NB/T 47013.4-2015 I 级。探伤完成后, 要求焊缝外观均符合 GB/T19418-2003 C 级。

5.2 实际应用

托圈焊接工艺流程托圈的整体几何尺寸外径为 7030mm 、内径 5830mm 、高度 1800mm , 质量 80000kg 。在实际生产中, 由于受起吊重量和退火热处理设备的限制, 需将整体圆形工件分为几段, 形成扇形段和圆弧段, 分别对每段进行装配焊接。焊缝经超声波探伤检查合格后, 再进行 $(580 \sim 600)^{\circ}\text{C} \times 5\text{h}$ 整体退火热处理, 焊缝经表面磁粉探伤检查, 进行总装焊接。对总装焊缝做超声波探伤检查, 采用电脑程控远红外加热技术, 对总装焊缝进行局部退火热处理, 焊缝经磁粉探伤检查合格后, 按相关涂装标准技术要求, 做部件的表面后处理。

6 结语

本次研究中提出的悬挂支托焊接工艺在具备下悬挂连接效果的同时, 也能够留出更多的焊接空间, 发挥焊接的最大效用。托圈的钢材严格遵照国际标准, 随后结合实际的焊接工作情况对焊具进行选择, 最后对悬挂支托焊接工艺进行评价, 结果显示可以在实际生产中推广应用。

参考文献:

- [1] 陈水良. 大型转炉悬挂装置现场焊接实践 [J]. 中国设备工程, 2020(11):149-151.
- [2] 王连山, 王亮. 钢厂转炉设备悬挂系统焊接工艺研究 [J]. 金属加工 (热加工), 2020(06):41-42.
- [3] 周依颂, 王国振, 刘洋, 王亮. 焊接转炉的同轴度控制方法 [J]. 金属加工 (热加工), 2017(22):67-68.
- [4] 朱立国, 马才, 谭立新. 梅钢 150t 转炉炉壳钢板焊接工艺研究 [A]. 中国金属学会. 2005 中国钢铁年会论文集 (第 4 卷) [C]. 中国金属学会: 中国金属学会, 2005:4.

作者简介: 邱银富 (1967.11-), 男, 汉族, 北京石景山人, 硕士研究生, 高级工程师, 研究方向: 冶金机械设备管理及维护。