

热风炉炉体横环缝的埋弧自动焊工艺探讨

王明铭

中国市政工程中南设计研究总院有限公司, 湖北 武汉 430010

[摘要]文中通过对大型热风炉炉体所采用的 WSM—50C 钢板的焊接性进行了分析, 确定了采用埋弧自动焊焊接工艺施工的方法, 降低了焊接缺陷发生概率, 获得优良的焊缝质量。实践证明, 该焊接工艺是可行的。

[关键词]热风炉; WSM—50C 钢板中厚板; 埋弧自动焊; 焊接工艺评定

DOI: 10.33142/ec.v6i12.10382

中图分类号: TG4

文献标识码: A

Discussion on the Submerged Arc Automatic Welding Process for the Transverse Circumferential Seam of the Hot Air Furnace Body

WANG Mingming

Central & Southern China Municipal Engineering Design and Research Institute Co., Ltd., Wuhan, Hubei, 430010, China

Abstract: In the article, the weldability of WSM-50C steel plate used in the large hot blast furnace body was analyzed, and the method of using submerged arc automatic welding technology for construction was determined, which reduced the probability of welding defects and achieved excellent weld quality. Practice has proven that this welding process is feasible.

Keywords: hot blast furnace; WSM-50C steel plate medium thick plate; submerged arc automatic welding; welding procedure qualification

引言

随着我国经济快速发展, 钢铁需求量越来越大, 已经成为世界钢铁生产大国。高炉建设的规模已经越来越大, 炉体的钢板也越来越厚, 焊接的工作量越来越大。武钢 8 号高炉有效容积 3800m³, 热风炉炉壳平均板厚 25cm 以上。其热风炉炉壳焊接过程中, 由于处于露天室外作业, 一般传统采用手工焊条电弧焊焊接或 CO₂ 气体保护半自动焊焊接施工, 劳动强度大, 同时受风力影响较大, 施工速度慢, 焊接成型后焊缝质量缺陷率较高, 远远满足不了施工进度和焊接质量的要求, 所以在武钢 8 号高炉热风炉的施工过程中, 考虑到炉体材料的焊接特点和产品的设计要求, 首次在武钢热风炉的建设中引入了埋弧自动化焊机。

埋弧焊(含埋弧堆焊及电渣堆焊等)是一种电弧在焊剂层下燃烧进行焊接的方法。该工艺需要连续喂入可消耗的固态或管状(金属芯)电极。通过“浸没”在由石灰、二氧化硅、氧化锰、氟化钙组成的颗粒状可熔焊剂覆盖层下, 可保护熔融焊缝和电弧区免受大气污染以及其他化合物。当熔化时, 焊剂变成导电的, 并在电极和工件之间提供电流路径。这种厚的助焊剂层完全覆盖了熔融金属, 从而防止了飞溅和火花, 并抑制了强烈的紫外线辐射和烟气, 这是屏蔽金属电弧焊(SMAW)工艺的一部分。本文主要讲述的是埋弧自动焊工艺在这方面的应用。

1 焊接性分析

1.1 材料成分分析

热风炉采用武钢研制 WSM—50C 新钢种(化学成分见表 1)。WSM—50C 属于微合金化控轧制钢, 是热轧及正火钢中的一类钢种。

表 1 WSM—50C 的化学成分(%)

	C	Mn	Si	S	P	Cu	Nb	Ti	Als
WSM—50C	0.15	1.37	0.34	0.005	0.012	0.05	0.029	0.01	0.04

由表 1 分析可知, WSM50C 钢的基础成分应该是低碳高锰, 而锰元素的作用是降低奥氏体转变温度, 细化铁素体晶粒, 提高钢的强度和韧性, 还可以消除硫对钢材的影响; 而其他微合金元素铌和钛等的添加, 可以减小奥氏体晶粒长大倾向, 即在高温时阻碍原始奥氏体晶粒长大, 在低温时起到析出强化作用。钢材的焊接性通常表现为焊接引起的各类缺陷, 对 WSM—50C 这类钢来说是各类裂纹问题。

1.2 碳当量(CEN%)计算

$$CEN=C+A(C) >$$

$$[Si/24+Mn/6+Cu/15+Ni/20+(Cr+Mo+V+Nb)/5+5B] \dots \dots \text{式}(2-1)$$

$$A(C)=0.75+0.25+anh[20(c-0.12)] \text{取 } 0.96 \text{ 计算 WSM-50C 钢 } CEN\%=0.38\%$$

由于碳当量<0.4%, 钢材淬硬倾向小, 钢材焊接性能良好, 所以焊接前不需要预热。

1.3 裂纹敏感指数(Pcm)计算

$$Pcm=C+(Mn+Cu+Cr)/20+Si/30+V/10+Mn/15+Ni/60+5B(5) \dots \dots \text{式}(2-2)$$

$$\text{WSM—50C 钢 } Pcm=0.232$$

由于冷裂纹敏感指数 Pcm<0.25, 故 WSM-50C 钢不具备冷裂纹的倾向。

综合分析, 从 WSM50C 钢的化学成分、碳当量及裂纹敏感指数来看, WSM50C 钢由于不具备冷裂纹倾向, 因此

施工时应注意防止热裂纹倾向,严格控制焊接线能量保证焊接变形量的控制,对 WSM—50C 钢板的焊接必须采取合理的焊接工艺,严格按照规范施焊,以保证其焊接质量。

2 焊接工艺的确定

2.1 焊接方法

热风炉炉壳设备壁厚较大,对接焊缝较多。因此,根据施工现场生产流程、焊接设备、作业环境等实际情况,决定采用埋弧自动焊对热风炉的横缝进行焊接。

埋弧自动焊横缝焊接坡口形式与 CO₂半自动焊横缝焊接有所不同(见下图 2 所示)。其比 CO₂气体保护半自动焊坡口小,减少了焊缝的金属填充量,最终降低了综合成本,并且焊接变形量也小,获得了良好的焊缝质量。

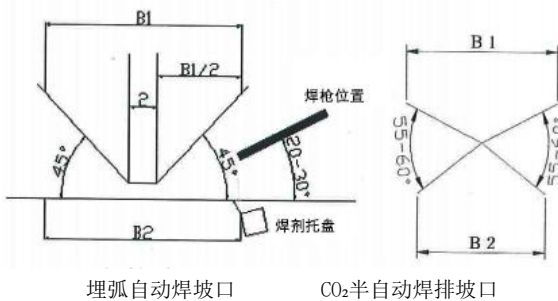


图 1 焊接坡口形式比较

2.2 焊接材料

根据制造锅炉、压力容器的标准,按照 JB4708—2000《钢制压力容器焊接工艺评定》,并参照 JB4709—2000《钢制压力容器焊接工艺规程》,来选择热风炉的焊接材料,埋弧自动焊焊材采用 H10Mn2+SJ101,其化学成分和力学性能分别见表 2、表 3 和表 4。

表 2 H10Mn2 化学成分 (%)

试验项目	C	Mn	Si	Cr	Ni	S	P
保证值	≤ 0.12	1.50~1.90	≤0.07	≤0.20	≤0.30	≤ 0.040	≤ 0.040

表 3 SJ101 化学成分 (%)

试验项目	SiO ₂ +TiO ₂	CaOMgO	Al ₂ O ₃ +MnO	CaF ₂	S	P
一般值	20~30	20~30	15~30	15~25	≤0.060	≤0.080

表 4 熔敷金属力学性能

试验项目	配用焊丝	Rm(MaPa)	ReL (MaPa)	A (%)	Akv (J)			
					20℃	0℃	-20℃	-40℃
保证值	H10Mn2	500~600	≥400	≥24	≥150	≥110	≥80	≥34

2.3 焊接工艺

横向环缝焊接由于焊缝位置与传统的埋弧自动焊平焊有明显的不同,主要区别于焊接溶池形成是铁水的流动的状态,由于横缝埋弧焊采用多道多层焊接工艺,其焊接坡口、焊缝层次等规范参数,都要按其特定的条件作相应的变动,以适应焊接过程的需要。

I 坡口形式:一般其坡口形式见图 1 所示。横向焊缝埋弧自动焊热风炉炉壳上的坡口要根据现场板厚情况加工成 45±5° 的 K 形坡口,顿边 2mm 左右,间隙为 2mm。

II 坡口的加工:为了保证热风炉炉皮坡口加工的一致性及方便性,建议采用火焰切割法加工,但要求保证坡口的形状和尺寸的准确。

III 焊缝焊接的顺序:先焊打底层,然后是填充层,最后焊盖面层,具体焊接顺序是先焊热风炉壳外部焊缝 1~4 层,后焊热风炉壳外部焊缝 5~8 层,焊接顺序详见图 2。

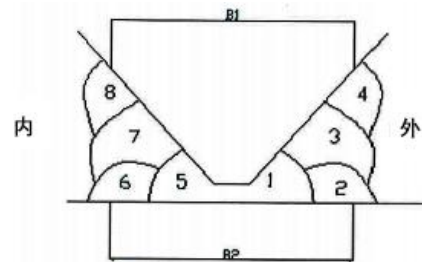


图 2 焊接顺序

(1) 焊接参数的确定。埋弧焊焊渣在绝缘空气中的保护效果良好,焊接参数可自动设定,保持稳定。对焊工的技术水平要求不高,焊缝成分稳定,力学性能相对较好。埋弧焊的焊接参数主要包括:焊接电流、电弧电压、焊接速度、焊丝直径和延伸长度等。

(2) 焊接电流。如果其他参数保持不变,焊接电流对焊缝形状和尺寸的影响如图 3 所示。在一般焊接条件下,焊透深度与焊接电流成正比。随着焊接电流的增加,熔深和焊接补强都显著增加,而焊缝宽度变化不大。同时,焊丝的熔化量相应增加,这增加了焊缝的多余高度,随着焊接电流的减小,熔深和余高都减小。

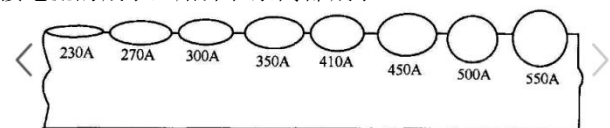


图 3 电流对焊缝的影响

(3) 电弧电压。电弧电压的增加显著增加了焊接宽度,而熔深和焊接补强减小。然而,如果电弧电压过高,这不仅会降低熔深并导致不完全熔透,还会导致焊接成形不良、除渣困难,甚至出现咬边等缺陷。因此,在电弧电压增加的同时,焊接电流也应该相应地增加。

(4) 焊接速度。如果其他焊接参数保持不变,并且焊接速度增加,则焊接热输入相应减少,从而导致焊缝熔深减少。焊接速度过快会导致未焊透等缺陷。为了保证焊接质量,必须保证一定量的焊接热输入。为了提高生产率和焊接速度,应相应地增加焊接电流和电弧电压。

(5) 焊丝直径和伸出长度。细焊丝焊接时,焊丝的延伸长度通常会影响焊缝的形状和熔深。这是因为从导电

喷嘴伸出的焊丝具有一定的电阻,并且电弧焊的焊接电流大。在焊丝的这一部分上产生的电阻热很大,并且焊丝被电阻热预热,导致熔化速率增加。如果焊丝直径小于3mm,则必须严格控制焊丝的伸出长度。如果焊丝的直径较厚,延伸长度的影响相对较小,如采用直径 ϕ 5mm焊丝进行焊接时,将焊丝的延伸长度从60mm增加到150mm几乎不会影响焊缝的形状,但也应控制在合理的范围内。

如果导电喷嘴的材料是铜,焊缝会溶解成铜并产生裂纹,因此延伸长度不应太短。埋弧焊焊丝的延伸长度一般为焊丝直径的6-10倍和20-60mm。对于不锈钢焊丝等高电阻材料,延长长度应较小,以避免焊丝过热。

考虑埋弧自动焊焊接电流、电弧电压、焊接速度、焊丝直径和伸出长度等因素的影响,经焊接WSM-50C钢板的试件,最终确定焊接工艺参数参见表5所示。

表5 焊接工艺参数

焊接方法	层数	焊材直径 (mm)	焊接电流 (A)	焊接电压 (V)	焊接速度 (mm/min)	焊丝伸出长度 (mm)
埋弧焊	外1	ϕ 3.2	375	25	50	35~45
埋弧焊	外2~4	ϕ 3.2	450	26~27	80~100	35~45
埋弧焊	内5	ϕ 3.2	480	28	50	35~45
埋弧焊	内6~8	ϕ 3.2	460	26~27	60~100	35~45

3 焊接施工及防止缺陷的措施

(1)焊接前对坡口及焊缝两侧20mm内的一切表面铁锈、氧化皮、油污等用酮溶剂进行打磨处理,直到表面有金属光泽为止。

(2)将埋弧焊焊剂在300~400℃下烘干2h,使用时不得接触潮湿环境。

(3)手工电弧定位焊的焊条(牌号为E5016)应在350~450℃下烘干2h,焊接时放在焊条保温桶内,随用随取,且烘干不超过两次。

(4)在焊接材料上采用低碳焊丝和含SiO₂较低的焊剂,以此降低焊缝中的含碳量和提高焊缝中的含锰量,解决了热裂纹的问题。

(5)焊接前,要重点对坡口质量、对口间隙、错边量、纵横焊缝的位置进行检查。坡口表面应整齐、光洁,不得有裂纹、锈皮、熔渣和其他影响焊接质量的杂物。

(6)焊接中,外打底焊缝焊前用 ϕ 150mm磨光机打磨清根,焊道间清渣应采用气动风铲铲净,以防止气孔夹渣,并应进行外观检查,清除缺陷后,再进行下一层的焊接。

(7)由于打底焊道是最关键的一条焊缝,所以焊接时先用较低的焊接电流,较低的速度及与其相匹配的焊接电压进行焊接。

(8)每焊完一道焊缝后要让焊缝冷却,一般采用自

然冷却,直到焊缝及焊接热影响区小于或等于60℃时,再进行下一道焊缝的焊接。

(9)焊缝的高度不得超过母材3mm,焊缝反面要用磨光砂轮机磨平使焊缝与热风炉壳体基本处于同一平面。

(10)焊完后,用超声波应力消除仪器对焊缝及其接头的残余应力进行消除。

4 实施效果

(1)热风炉炉壳环焊缝焊后经过无损检测,焊缝主体尺寸符合要求,焊缝成型良好,完全符合质量要求,从而证明了上述焊接工艺的正确性。

(2)热风炉炉壳环焊缝焊后变形量较小,焊缝区域变形量 \leq 2mm。

(3)焊缝和热影响区表面没有裂纹、夹渣、气孔、弧坑、咬边等缺陷。

(4)密封性的致密性实验一次合格。

(5)埋弧焊焊接时效率有了很大的提高,极大地减轻了工人的劳动强度,较手工电弧焊和CO₂半自动气体保护焊,生产效率分别提高了10倍和5倍,降低了综合成本。

(6)在武钢8号高炉热风炉焊接中采用横缝埋弧自动焊工艺,相比较CO₂半自动气体保护焊,提高了露天室外施工时的抗风能力,大大降低了焊接缺陷发生概率,获得优良的焊缝质量。

5 结语

热风炉炉壳环焊缝焊后无损探伤和气密性试验均100%合格,说明热风炉炉壳环焊缝焊接质量完全满足要求,解决了WSM-50C钢材作为热风炉炉壳厚板焊接时容易产生变形、气孔及夹渣等缺陷导致密封性不好的问题。在武钢8号高炉热风炉焊接中采用横缝埋弧自动焊工艺,对制定合理的中厚板材横环缝焊接工艺、避免焊接缺陷、获得优良的焊缝质量具有普遍的借鉴意义,同时具有较高的适用性和可推广性。

[参考文献]

[1]游泰.CO₂气体保护焊在宝钢三号高炉HS燃烧室炉壳焊接上的应用[J].焊接技术,2001,02(47):39-40.
[2]崔帆,刘勇等.2~#高炉热风炉烟囱加固改造[J].莱钢科技,2017,03(189):26-27.
[3]徐广春.韶钢6号高炉热风炉改造施工技术[J].山西冶金,2017,40(4):131-133.
[4]顾文彪.高炉炼铁厂热风炉顶燃式改造施工及焊接工艺[J].建筑知识学术刊,2013(2):318-319.

作者简介:王明铭(1984.11—),男,毕业院校:太原科技大学,学历:本科,所学专业:材料成型及控制工程,目前就职单位:中国市政工程中南设计研究总院有限公司,职务:机电项目经理,专业职务:年限15年,目前职称:高级工程师(机械专业)。