

超级马氏体不锈钢 04Cr13Ni5Mo 焊接性能研究

曹 阳

(中国水利水电第十工程局有限公司 机电安装分局,四川 都江堰 611830)

摘 要:超级马氏体不锈钢 04Cr13Ni5Mo 材料不仅具有较好的耐腐蚀性、耐磨性、可焊接性,而且具有强度高和低温韧性好的特点。老挝东萨宏水电站尾水闸门的门槽主轮轨道即采用了厚度分别为 32 mm、24 mm 的该种钢板。阐述了针对 04Cr13Ni5Mo 钢板开展的焊接性能研究,验证了该焊条电弧焊接工艺规程是否适合于 04Cr13Ni5Mo 板材的焊接,获得了优良的焊接接头。
关键词:超级马氏体不锈钢;04Cr13Ni5Mo;焊条电弧焊;焊接性能;研究
中图分类号:TV7;TV52;TV48 **文献标识码:** B **文章编号:**1001-2184(2021)04-0059-03

Study on the Welding Performance of Super Martensite Stainless Steel 0 4 C R 1 3 N i 5 M O CAO Yang

(E&M Installation Branch of Sinohydro Bureau 10 Co. , LTD,Dujiangyan,Sichuan,611830)

Abstract: Besides better corrosion resistance, abrasion resistance and weldability, Super Martensite Stainless Steel 0 4 C R 1 3 N i 5 M O material also has high strength and low temperature toughness. The main wheel track of the gate groove of the tail gate of the Dongsahong Hydropower Station in Laos is made of steel plates of this type with thickness of 32mm and 24mm respectively. This paper describes the study on the welding performance of 0 4 C r 1 3 N i 5 M o steel plate, verifies whether the welding procedure specification for welding electrode arc is suitable for the welding of 0 4 C r 1 3 N i 5 M o plate and excellent welding joints are obtained.
Key words: Super Martensite Stainless Steel; 0 4 C R 1 3 N i 5 M O; electrode arc welding; welding performance; study

1 概 述

目前,国内水电站闸门金属结构的门槽导轨材料大多采用奥氏体不锈钢。奥氏体不锈钢无磁性且具有高韧性和塑性,但其强度较低,而且不可能通过相变使其强化,仅能通过冷加工进行强化。但是,随着工程质量标准的提升,对材料的强度要求也越来越高,奥氏体不锈钢在一些工程项目中已经不能满足使用要求。越来越多的水电站项目多采用超级马氏体不锈钢 04Cr13Ni5Mo 代替奥氏体不锈钢作为闸门门槽导轨的材料。马氏体不锈钢是一种通过热处理即可以调整其力学性能的不锈钢,是一类可硬化的不锈钢,其硬度、耐磨性均优于奥氏体不锈钢。但由于其焊接性能大大低于奥氏体不锈钢,极易出现焊接裂纹,因此,其在工程实际应用中受到限制^[1]。超级马氏体不锈钢是指通过各项控制技术降低 C、N 含量、将碳含量控制在 0.02%以下的马氏体不锈钢,其具有良好的强度、韧性、可焊性及耐磨耐腐蚀性能^[2]。因

此,对超级马氏体不锈钢 04Cr13Ni5Mo 的焊接性能进行研究具有非常重要的现实意义。阐述了对超级马氏体不锈钢 04Cr13Ni5Mo 焊接性能进行的研究。

2 钢板性能、焊接材料与焊接方法

2.1 04Cr13Ni5Mo 钢板的组织性能

04Cr13Ni5Mo 钢板的生产制造工艺为 EAF+AOD 两步法冶炼及后续连铸+热轧工艺,最终的热处理状态为正火加回火,正火温度为(1 000±20)℃,回火温度为(600±20)℃。材料显微组织为回火马氏体加少量逆变奥氏体。

04Cr13Ni5Mo 是一种在常规马氏体不锈钢基础上降低了 C、N、S 含量且同时加入了一定量 Ni、Mo 合金元素的一种超级马氏体不锈钢。常规马氏体不锈钢可焊性很差,而当 04Cr13Ni5Mo 中 C、N、S 含量的降低,显著改善了母材的塑形与韧性,限制了焊接热影响区的淬硬倾向,进而提高了材料的焊接性;所加入的 Ni 主要补偿了材料因 C 含量降低导致的力学性能缺陷,保证了热影响

收稿日期:2021-05-25

区具有足够的韧性,降低了因扩散氢引起的焊接冷裂倾向,对于阻碍碳化物的形成起到了一定的作用,缩小了扩散层;组织内析出的逆变奥氏体在很大程度上加强了该材料的耐蚀性和耐磨性^[3]。04Cr13Ni5Mo 材料化学成分及力学性能列于表 1、2^[4]。

2.2 焊接材料与设备

表 1 04Cr13Ni5Mo 化学成分表

牌号	化学成分(质量分数)/%							
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
04Cr13Ni5Mo	0.05	0.6	0.5~1	0.03	0.03	3.5~5.5	11.5~14	0.5~1

表 2 04Cr13Ni5Mo 钢板力学性能表

牌号	规定塑性 延伸强度 $R_{p0.2}$ /MPa	抗拉强度 R_m /MPa	断后伸长率 A /%	硬度值		
				HBW	HRB	HV
04Cr13Ni5Mo	≥620	≥795	≥15	≤302	≤32b	≤308

表 3 熔敷金属化学成分表

C	Cr	Ni	Mo	Si	P	S	Cu
≤0.06	11~12.5	4~5	0.4~0.7	≤1	≤0.04	≤0.03	≤0.75

表 4 熔敷金属力学性能表

抗拉强度 R_m /MPa	伸长率/%
≥760	≥15

注:试样在 595℃~620℃中保温 1 h,然后空冷。

(2)母材。母材选用板厚为 24 mm 的 04Cr13Ni5Mo 钢板,规格为 24 mm×300 mm×300 mm,采用机械加工的方式开设双面对称坡口,坡口角度为 60°,接头形式、焊层数和焊道的顺序见图 1。试板焊接方式为平焊,正面三道完成后翻身,采用碳弧气刨清根后焊接背面。

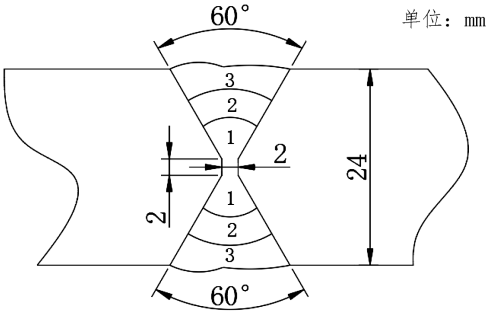


图 1 母材坡口示意图

(3)焊接设备。采用 NB-500 星逆变半自动焊机施焊,输入电源三相 380 V,额定输入功率为 25 kVA,额定输入电流为 38 A,额定输出电流/电压为 500 A/40 V,焊接时采取直流反接。

(1)焊材。按照材质要求,最终选用自贡大西洋公司生产的 E410NiMo-16 焊条,焊条规格为 $\varphi 4$ mm。其熔敷金属典型化学成分和力学性能见表 3、4。焊条在使用前应进行外观检查并严格按照使用说明 250℃烘焙 1 h。烘干后的焊条应保存在 100℃~150℃的恒温箱内,随取随用,焊工焊接时应将焊条保存在保温桶内。

2.3 焊接方法

(1)焊接的前准备工作。焊接期间,应做好施工现场焊接环境的监测工作,控制焊接现场的风速小于 8 m/s、相对湿度大于 90%。不得在环境温度低于-10℃时进行焊接。

焊接电源必须具有参数稳定、调节灵活和安全可靠的性能,并能满足焊接规范要求。焊接设备上的电流表、电压表及规范参数调节装置应计量准确,放置于干燥通风的地方,绝缘良好。

(2)焊接工艺。焊前对坡口面及坡口两侧各 10~20 mm 范围内的毛刺锈蚀物、油污、水渍等必须清理干净。正式焊前必须彻底清除定位焊点,施焊时严禁在坡口区外试焊、引弧等。

多层(多道)焊时应将每道的熔渣、飞溅物清理干净,自检合格后再进行下道焊接。层间接头应错开 300 mm 以上并严格控制层间温度,层间温度不能超过 150℃。采用碳弧气刨清根,清根前,非清根侧焊缝的焊接量不宜少于 3 层,碳弧气刨清根后应修磨刨槽,除去渗碳层。焊缝一经正式施焊应连续焊接完成,不允许中途长时间停顿。焊接过程中必须控制焊道的宽度,尽量以窄焊道操作。焊接完成后,将焊缝的药皮及附近飞溅的残渣等清理干净。

焊工应对焊接电流与速度进行严格控制,根

据焊条推荐的焊接参数以及对焊接过程中的能量控制制定焊接工艺参数(表 5)。

表 5 焊接采用的工艺参数表

焊层	焊接方法	填充金属		焊接电流		电压范围 /V	焊接速度 /cm·min ⁻¹
		型号	规格	极性	电流范围 /A		
正面第 1 道	SMAW	E410NiMo-16	Φ4 mm	DCEP	115~120	22~24	16~20
正面第 2 道	SMAW	E410NiMo-16	Φ4 mm	DCEP	120~150	22~24	16~20
正面第 3 道	SMAW	E410NiMo-16	Φ4 mm	DCEP	120~150	22~24	16~20
反面第 1 道	SMAW	E410NiMo-16	Φ4 mm	DCEP	120~150	22~24	16~20
反面第 2 道	SMAW	E410NiMo-16	Φ4 mm	DCEP	120~150	22~24	16~20
反面第 3 道	SMAW	E410NiMo-16	Φ4 mm	DCEP	120~150	22~24	16~20

(3)焊接线能量控制。
2000A),游标卡尺(125 型),显微硬度计(MH-5L)

线能量输入公式: $Q=\frac{U\times I}{V}$

式中 Q 为焊接线能量,kJ/cm;U 为电弧电压,V;I 为焊接电流,A;V 为焊接速度,cm/min。

根据上述公式,焊接线能量为 7.6~13.8 kJ/cm,处于控制范围内。

3 焊接接头性能检测及结果

焊接完成后,对焊缝进行了外观检查,检查结果表明:无咬边、气孔、裂纹等外观缺陷。为防止延迟裂纹的出现,焊接完成 24 h 后再对焊缝进行 UT 无损检测,无损检测的结果表明焊缝无未熔合、未焊透等内部缺陷。无损检测合格后,将试板送检测机构对接头进行各项力学性能的检测。

检测环境:温度 28 ℃,相对湿度 65%。
检测设备:液压式万能试验机(型号 WE-

3.1 弯曲试验

利用液压式万能试验机对试样进行弯曲试验,取得的试验数据见表 6。

表 6 弯曲试验结果表

试样号	型式和标准	结果
2-3	弯心直径:55 mm,弯曲角度:180°	无裂纹
2-4	弯心直径:55 mm,弯曲角度:180°	无裂纹
2-5	弯心直径:55 mm,弯曲角度:180°	无裂纹
2-6	弯心直径:55 mm,弯曲角度:180°	无裂纹

弯曲试验结果为合格,无裂纹。

3.2 拉伸试验

利用液压式万能试验机对试样进行拉伸试验,取得的试验数据见表 7。

表 7 拉伸试验结果表

试样号	宽度 a /mm	厚度 b /mm	面积 /mm ²	极限总载荷 /kN	抗拉强度 /MPa	断裂性质与位置
1-1	20.2	25.75	520.15	453	871	塑性断裂/焊缝
1-2	20.5	25.5	522.75	452	865	塑性断裂/焊缝

拉伸试验结果为合格。

3.3 硬度试验

利用显微硬度计对试样进行硬度试验,取得的试验结果见表 8。

表 8 硬度试验结果表

试样号	母材(HV)	焊缝(HV)	热影响区(HV)	标准(HV)	检测结果
1-7 近表面	277/265/259	303/283/312	298/301/295/278/299	≤350	合格
1-7 根部焊道	237/226/265	280/334/337	261/255/282/270/261	≤350	合格

硬度试验结果为合格。

以上各项检测结果表明:所获得的 04Cr13Ni5Mo 焊接接头性能优良,能够满足使用要求。

4 结 语

超级马氏体不锈钢 04Cr13Ni5Mo 材料具有良好的焊接性能,其板材在不进行焊后热处理的情况下采取文中所述的焊接工艺条件下可获得性能优良的焊接接头,所取得的经验可供其他同类工程项目参考。

(下转第 65 页)

= 00°03′06.34″

(注释:已知边 KSS15B→KSS151 平面坐标方位角为 230°12′09.34″)。

(2)子午线收敛角。

KS9-2→KS9-3:△r=206 265/6 371 000
×(496 450.398 9-496 335.407)×tan45°=
3.72″

(注释:KSS15B 坐标为 5 000 470.707 8,496 450.398 9;KS9-2 坐标为 5 000 032.384 9,496 335.407)。

KS9-3→KS9-2:△r=206 265/6371 000
×(496 450.398 9-496 349.131)×tan45°=
3.10″

(注释:KSS15B 坐标为 5 000 470.707 8,496 450.398 9;KS9-3 坐标为 5 000 004.255 1,496 349.131)。

(3)地下坐标方位角计算:

KS9-2→KS9-3:α=α_下+仪器常数+△r
=153°58′19.6″+00°03′06.34″+3.72″
=154°01′29.7″

KS9-3→KS9-2:α=α_下+仪器常数+△r
=333°58′22.4″+00°03′06.34″+3.1″
=334°01′31.8″

KS9-2→KS9-3 平均坐标方位角
=(154°01′29.7″+334°01′31.8″-180)/2
=154°01′30.75″

4.4 小 结

从本次定向测量成果数据分析中得出了以下结论:

(1)鉴于井下定向测量待定边的边长较短且观测环境较差,因此,为提高定向精度,建议采用往返观测。

(2)对计算得到的成果进行分析发现:往返观测的坐标方位角差为 2.1″,充分证明了 TBJ-5

全自动陀螺全站仪具有较好的可靠性。

(3)本次陀螺定向测定的方位角属于完全独立的观测值,不受任何系统误差的传递影响,其一次性定向中误差精度优于估算的 5.2″,充分证明了 TBJ-5 全自动陀螺全站仪具有较高的精度。

5 结 语

在中国工程建设大发展的近几十年中,中国自主研发的定向测量设备也在不断发展、创新,TBJ-5 全自动陀螺全站仪就是其中的代表之一。运用中国自主研发的全自动陀螺全站仪进行井下方位定向,能够有效地控制测角误差的传递,特别是在长距离井下导线测量时,测角误差肯定会不断累积,可采用加测陀螺方位角的方式来减小横向贯通误差^[5],极大程度地提高了导线的精度和可靠性,防止了误差累积,不仅为地下工程建设提供了高精度的平面基准,而且提高了地下工程贯通测量的精度,从而为地下工程建设提供了最基本的保障。

参考文献:

[1] 赵士恒,陀螺全站仪定向精度分析及可靠性检验[J]. 居业, 2017,35(8):31-32.
[2] 王涛,杨志强.新型陀螺全站仪方位定向误差分析及工程应用[J]. 煤炭科学技术,2014,42(11):90-92,96.
[3] 母清中. BTJ-3 全自动陀螺寻北仪在城市地铁建设中的应用[J]. 引文版:工程技术, 2016,7(4):91-92.
[4] 郭熙娟,子午线收敛角计算公式及计算精度分析[J]. 现代测绘,2005,28(6):22-25.
[5] 孙鹏. 陀螺全站仪在隧道测量中的应用研究[J]. 测绘与空间地理信息,2019,42(4):188-190.

作者简介:

张际泽(1973-),男,四川资阳人,高级工程师,学士,从事建设工程施工技术与管理工
刘 礼(1977-),女,四川仁寿人,工程师,从事建设工程施工技术与管理工

(责任编辑:李燕辉)

(上接第 61 页)

参考文献:

[1] 潘蛟亮. 马氏体不锈钢焊接分析[J]. 科技创新导报,2015, 12(13):88.
[2] 王金生. 超级马氏体不锈钢焊接工艺[J]. 金属加工(热加工),2016,66(14):66-68.
[3] 王斌,栗卓新,李国栋. 超级马氏体不锈钢焊接的研究进展[J]. 新技术新工艺,2008,28(5):57-61.

[4] 不锈钢热轧钢板和钢带,GB/T4237-2015[S].
[5] 郭宏侠,陆善平. 0Cr13Ni5Mo 类低碳马氏体不锈钢焊接技术[J]. 焊接技术,2010,38(11):22-24.

作者简介:

曹 阳(1986-),男,四川彭州人,工程师,学士,从事水电站金属结构制造与安装工作。

(责任编辑:李燕辉)