

试验研究

高强度桥梁钢 Q500qE 角焊缝焊接工艺研究

侯东华¹, 周兰聚², 陈福山², 胡淑娥^{1,3}

(1 山东钢铁集团日照有限公司, 山东 日照 276826; 2 济钢集团有限公司, 山东 济南 250101; 3 东北大学, 辽宁 沈阳 110004)

摘要:采用CO₂气体保护焊和埋弧自动焊进行高性能桥梁钢Q500qE熔透及T型角焊缝的焊接工艺试验,结果表明,焊接接头成形良好、机械性能达到要求,焊缝组织以针状铁素体为主,热影响区组织以贝氏体为主,保证了接头良好的强韧性。利用本试验焊接工艺焊接的角焊缝各项检验均合格,本试验焊接工艺及钢板、焊材可用于大跨度桥梁角焊缝的焊接施工。

关键词:高性能桥梁钢; Q500qE 钢; 角焊缝; 焊接工艺

中图分类号: TG406

文献标识码: A

文章编号: 1004-4620(2017)02-0035-03

1 前言

近几年来,我国高速铁路钢桥建设取得了飞速发展,不断向高速、大跨度、高承载量发展,我国铁路钢桥无论数量还是质量已处于世界先进水平^[1-3]。其中代表桥梁有武汉天兴洲长江大桥、京沪高速铁路南京大胜关长江大桥、京沪高速铁路济南黄河大桥、郑州黄河大桥等^[4]。高速铁路大跨度钢桥技术的飞速发展离不开高等级桥梁钢的支撑。在低合金钢细晶及超细晶技术、合金中纳米析出物的控制技术强化机制及多尺度、多相以及亚稳相(M3)微观组织控制等理论不断发展的背景下,中国钢铁行业不断加大高强度低合金钢(HSLA)的研发、生产和应用步伐。以第3代高强钢为代表的HSLA钢的研发与生产处于国际领先水平^[5-6],大量先进高强钢和高强、高性能新钢种的持续研发,使大批高等级桥梁用钢研发成功。目前研发的最高级别已达到Q500qE,但出于安全考虑以及一些焊接技术限制,该材料未得到实际应用^[7-11]。鉴于此,本研究对Q500qE的角焊缝焊接工艺进行探讨。

2 试验材料及试验方法

试验材料选用济钢集团有限公司试制生产的Q500qE钢板,厚度32 mm,主要化学成分:

C 0.04%, Si 0.34%, Mn 1.53%, P 0.010%, S 0.002%,并添加了Cr、Mo、Cu、Ni以及少量微合金元素Nb、Ti、Al等。

该钢板的碳当量较低,CEV为0.44%、 P_{cm} 为0.18,值得一提的是该钢板耐大气腐蚀指数 $I=6.4$,具有良好的耐腐蚀性。钢板采用TMCP+回火工艺生产,物性指标如下:屈服强度 $R_{p0.2}=543$ MPa,抗拉

收稿日期:2016-07-11

作者简介:侯东华,男,1977年生,2005年毕业于太原科技大学材料加工工程专业,工学硕士。现为山东钢铁集团日照有限公司轧钢高级工程师,从事中厚板产品开发及焊接工艺工作。

强度 $R_m=696$ MPa,断后伸长率 $A=25\%$, -40 °C纵向冲击吸收功 KV_2 平均值在300 J以上,钢板具有良好的综合性能,屈强比低、塑韧性好。焊接材料方面选用了等强度匹配的焊丝,气体保护焊选用直径1.2 mm的YCJ601Ni-QL焊丝,保护气体为纯度 $>99.9\%$ 的CO₂;埋弧焊选用直径5 mm的H08Mn2E焊丝,配以SJ105q焊剂。

采用32 mm+32 mm Q500qE厚板组合进行熔透角接和非熔透T形角接焊接试验,选用CO₂气体保护焊和埋弧自动焊。熔透角接试验采用K型坡口,坡口形式见图1a,T形角接接头形式见图1b。

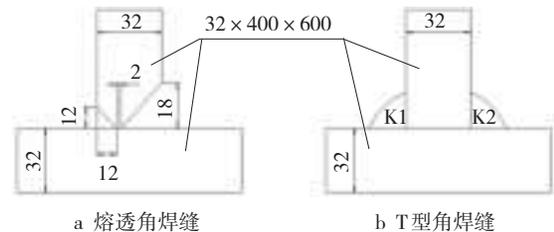


图1 32 mm厚Q500qE钢板焊接坡口型式

表1为试验方案及其工艺参数。1#熔透角焊缝平位埋弧焊采用气体保护焊打底、埋弧焊填充;3#T型角焊缝采用船位埋弧焊;2#和4#角焊缝直接采用气体保护焊,气体流量控制在20~25 L/min。焊接道次间的温度均为80~150 °C。T型角焊缝焊角尺寸为12 mm。

表1 试验方案及具体工艺参数

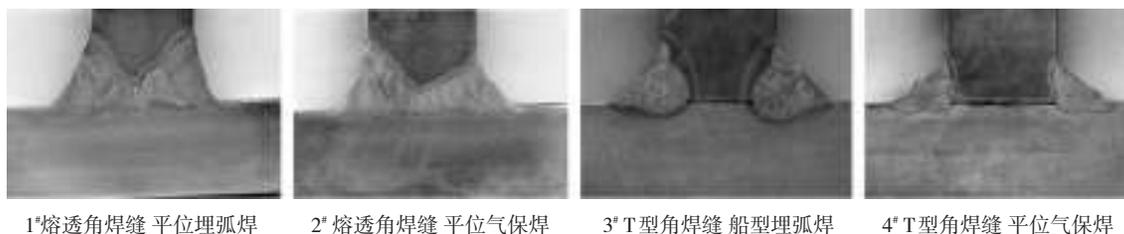
编号	焊缝类型	焊接方法	电流/A	电压/V	热输入量/(kJ·cm ⁻¹)
1	熔透角	平位埋弧焊	630	30	29
2	熔透角	平位气保焊	300	32	15
3	T形角	船位埋弧焊	720	30	48
4	T形角	平位气保焊	260	30	12

3 试验结果及分析

焊接后的试样放置48 h,超声波探伤检验合格后将试板解剖。对于熔透角焊缝试板检验接头的拉伸、冲击、硬度等性能;对于非熔透T型角焊缝检

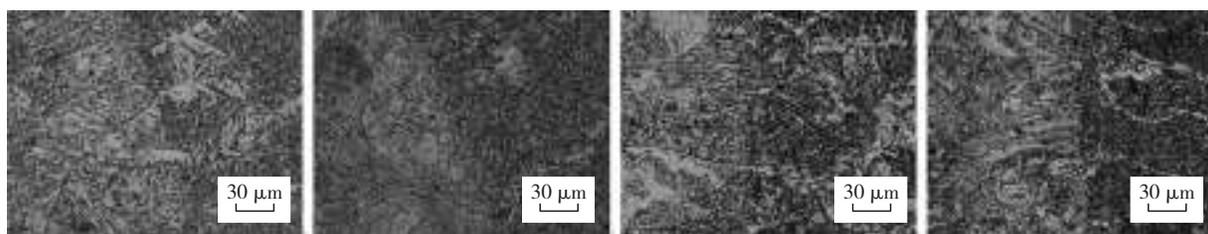
验硬度及焊接接头各区域组织。不同试验方案焊接试样焊接接头宏观形貌见图2,焊接接头熔合线

附近微观组织见图3,接头硬度见图4。熔透角焊接接头性能见表2。



1[#]熔透角焊缝 平位埋弧焊 2[#]熔透角焊缝 平位气保焊 3[#]T型角焊缝 船型埋弧焊 4[#]T型角焊缝 平位气保焊

图2 不同方案焊接试样接头的宏观形貌



a 1[#]焊件热影响区

b 2[#]焊件焊缝

c 3[#]焊件热影响区

d 4[#]焊件焊缝

图3 不同方案焊接接头熔合线附近微观组织

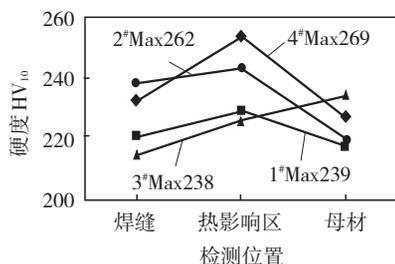


图4 不同方案焊接试样接头硬度

表2 熔透角焊接接头的机械性能

编号	R_m /MPa	$R_{m0.2}$ /MPa	A/%	-30 °C KV_2 /J		-40 °C KV_2 /J	
				焊缝	热影响区	焊缝	热影响区
1	595	690	27	76, 86, 87	258, 205, 212	80, 68, 76	112, 138, 160
2	640	730	25	82, 91, 96	290, 320, 300	78, 82, 91	180, 165, 220

从图2焊接接头宏观组织来看,焊接质量达到预定要求。熔透角焊缝焊接质量良好,完全熔透,未见未熔合、裂纹等缺陷,由于焊接热输入量大,采用埋弧焊焊接的1[#]试样熔深大于采用气保焊焊接的2[#]试样;3[#]、4[#]T型角焊缝焊角尺寸达到要求,3[#]试样的热影响区相对4[#]试样宽。

从表2来看,无论采用埋弧焊还是气体保护焊,熔透角接接头的机械性能良好,焊缝的拉伸强度达到690 MPa、730 MPa,断后伸长率达到25%以上,完全满足桥梁结构强度要求且具有较高的塑性;1[#]试样采用较大焊接热输入埋弧焊熔透角接接头焊缝 KV_2 (-40 °C)平均冲击功达到75 J,热影响区 KV_2 (-40 °C)平均冲击功达到137 J;2[#]试样采用气体保护焊熔透角接接头焊缝 KV_2 (-40 °C)平均冲击功达到88 J,热影响区 KV_2 (-40 °C)平均冲击功达到188 J。大跨度桥梁接头 KV_2 (-40 °C)一般要求不低于47 J,本次试验两种焊接方法接头的冲击韧性均高于焊接标准技术要求,接头具有优良的低温冲击韧性。

从焊接接头硬度检测结果来看(见图3),4组试样焊接接头的平均硬度均在260 HV₁₀以下,硬度单值最高值出现在4[#]样热影响区,硬度值为269 HV₁₀,低于大跨度桥梁接头硬度 < 350 HV₁₀焊接标准要求,表现出良好的可焊性。

焊接接头热影响区冲击性能与其组织类型、晶粒尺寸有较大的关系。图4a、图4c为粗晶区组织,图4b、图4d为焊缝组织,可以看出,从1[#]至4[#]试样粗晶区组织均以未过分长大的贝氏体组织为主,保证了热影响区良好的韧性,而焊缝金属主要为细小的针状铁素体组织,先共析铁素体组织较少从而使焊缝具有优良的低温冲击韧性。由于焊接热输入量不同,采用埋弧焊的1[#]、3[#]焊件与采用气体保护焊的2[#]、4[#]焊件组织和晶粒尺寸有一定差距,1[#]、3[#]焊件比2[#]、4[#]焊件热影响区组织更为粗化,焊缝区域先共析铁素体含量更高,表现为硬度、强度和冲击韧性相比稍低。

4 结论

4.1 针对济钢集团有限公司试制生产的Q500qE钢板,采用YCJ601Ni-QL焊丝进行CO₂气体保护焊、采用H08Mn2E焊丝(Φ5)+SJ105q焊剂进行埋护自动焊熔透和T型角焊缝的焊接,焊接接头强度、塑形、韧性、硬度等指标均满足技术要求,且富余量大,安全可靠。

4.2 济钢集团有限公司试制生产的Q500qE钢板碳含量低、碳当量低,焊接接头最高硬度低,在较宽泛的焊接热输入范围内,焊接热影响区粗晶区组织以较细密贝氏体为主,组织不明显粗化,强韧性良好,钢板的焊接性优良。

4.3 采用本试验焊接工艺焊接的熔透及T型角焊缝,外观检验、超声波探伤检验、宏观断面检验及接头力学性能试验等检验均合格,证明本试验焊接工艺可用于大跨度桥梁用高性能钢板的焊接。

参考文献:

- [1] 邓彬.我国桥梁钢结构的应用情况及发展趋势[J].中国建筑金属结构,2013(6):78.
- [2] 黄维,张志勤,高真凤,等.国外高性能桥梁用钢的研发[J].世界桥梁,2011(2):18.
- [3] Koji Homma. Development of Application Technologies for Bridge High Performance Steel, BHS[J].Nippon Steel Technical Report,2008(97):51.
- [4] 徐向军,魏云祥.高速铁路大跨度钢桥焊接技术[J].焊接技术,2011,40(9):1.
- [5] 张晓刚.近年来低合金高强钢度的进展[J].钢铁,2011,46(11):1.
- [6] Weng Yuqing, Yang Caifu, Shang Chengjia. The State of Art and Development Trends of HSLA Steels in China[C]// The Chinese Society for Metals. HSLA Steels,2011. Beijing: 2011.
- [7] 张显辉,孙维峰,张静,等.松花江斜拉大桥Q420E钢对接接头埋弧焊焊接工艺[J].焊接,2003(11):21.
- [8] 吴伟才.Q420qE钢的焊接性能及其热矫温度范围的研究[J].科技信息,2013(19):105.
- [9] 朱庆菊,徐向军,魏云祥.超低碳贝氏体高强度桥梁钢焊接试验研究[J].钢结构,2007,22(5):55.
- [10] 龙莉,杨云清,刘玲月,等.高速及重载铁路桥梁用钢板的生产实践[J].宽厚板,2011,17(2):8.
- [11] 缪凯,黄治军,牟文广,等.高性能WNQ570桥梁钢厚板熔透角接试验研究[J].钢铁研究,2010,38(2):15.

Research of Fillet Weld Welding Procedure of High Performance Bridge Steel Q500qE

HOU Donghua¹, ZHOU Lanju², CHEN Fushan², HU Shue^{1,3}

(1 Shandong Iron and Steel Group Co., Ltd., Rizhao 276826, China; 2 Jinan Iron and Steel Group Corporation, Jinan 250101, China; 3 Northeastern University, Shenyang 110004, China)

Abstract: The fillet weld welding procedure of high performance bridge steel Q500qE by CO₂ gas shield arc-welding and submerged arc welding were tested. The results show that, the weld appearance are well and the welded joint mechanical properties are qualified. Due to the bainite microstructure of HAZ and the acicular ferrite microstructure of welded seam, the strength and toughness of welded joint are affluent. All results are qualified, the welding procedure, steel plate and welding material can fully satisfy the welding technology requirements of long span bridge.

Key words: high performance bridge steel; Q500qE steel; fillet weld; welding process

(上接第34页)

- [3] 程新德,孙江龙,周家健,等.KR法铁水脱硫的流动数值模拟分析[J].武汉科技大学学报,2015,38(5):330-335.
- [4] 李志杰,张召,杨小光,等.KR法脱硫搅拌转速对流场影响的数值分析[J].山东冶金,2016,38(1):27-30.
- [5] Launder B.E, Spalding D.B.. Lectures in Mathematical Models of Turbulence[M].Oxford, London: Academic Press, 1972.
- [6] 欧阳德刚,邹继新,蒋扬虎,等.改善KR搅拌脱硫混合特性的理论分析与实践[J].武钢技术,2011,49(5):14-18.

Numerical Simulation of Effects of Impeller Immersion Depth and Diameter on Flow Fields and Particle Dispersion in KR Stirring Desulfurization in Qingdao Steel

JIN Wenchao¹, YANG Shishan¹, LIU Siwen¹, ZHU Min², LU Wei², ZHANG Haitao²

(1 School of Metallurgical and Ecological Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China; 2 The Steelmaking Plant of Qingdao Special Steel Co., Ltd., Qingdao 260043, China)

Abstract: Based on Fluent software, numerical simulation on desulfurization with KR stirring was carried out to analyze the effect of impeller immersion depth and diameter on flow field and particle dispersion. The results showed that the immersion of the impeller should be not too deep nor too shallow, otherwise it will have a bad influence on the global velocity of the flow and particle dispersion. It is suitable to maintain the immersion depth at 750-900 mm. An excessively small diameter of the impeller will make low-velocity flow or incomplete particle dispersion. An excessively big diameter of the impeller will make a limited improvement of mixing, uneven particle dispersion, and increasing consumption of refractory and power. It is suitable for the impeller to keep the top diameter at 1 180-1 280 mm.

Key words: KR stirring desulfurization; immersion depth; impeller diameter; flow field; particle dispersion; numerical simulation

带有中心值的量值的公差表示

对于量值的公差,当上、下公差相同时,无歧义的表达方式,可以使用带有公差的中心值,例如:100 kPa±5 kPa或(100±5)kPa,50.2 mm±0.2 mm或(50.2±0.2)mm,1 150 °C±10 °C或(1 150±10)°C。但对于带有中心值的

百分数的公差,唯一正确的表示形式是“(n±m)%”,例如“(80±5)%”,任何时候都不得写作80±5%,也不应写作80%±5%。前者已不是百分数的公差,后者则会产生歧义,有可能误将“±5%”理解成“80%的5%”。(燕明宇)