

Q355B钢与Q345B钢MAG焊焊接接头 力学性能对比研究

赵小康¹, 张海燕¹, 屈海东¹, 廖国锋², 李慧琼²

1. 甘肃钢铁职业技术学院 甘肃酒泉 735100

2. 广西柳工机械股份有限公司 广西柳州 545001

摘要: 利用MAG焊, 选用合适的焊接参数对其LGQ355B钢与LGQ345B钢进行焊接工艺试验, 对比两种钢材在相同焊接条件下焊接接头的力学性能。结果表明: 二者母材相比较, LGQ355B钢比LGQ345B钢具有较高的抗拉强度、屈服强度, 平均高出30MPa, 而LGQ345B钢具有较好的塑性和冲击韧性, 并且二者母材纵向冲击性能明显要优于横向冲击性能。二者焊接接头相比较, 其接头力学性能均满足标准要求, 主要与母材本身及所选用焊丝的特性有关系, 由于LGQ345B钢本身强度比LGQ355B钢低, 其焊接接头表现出高强匹配, 并且焊缝中心冲击韧性优于LGQ355B钢, 因此二者钢材整体焊接接头焊缝中心冲击韧性要优于母材。通过研究, 在日常结构件的制造过程中采用新标准下的Q355B钢与旧标准下的Q345B钢相比较, 二者焊接工艺、焊接接头性能差异不是十分明显, 焊接过程无需区别对待, 可进行正常替代, 同时为新标准下Q355B钢的焊接提供理论指导。

关键词: MAG焊; Q355B钢; Q345B钢; 焊接工艺试验; 力学性能

Comparative study on mechanical properties of Q355B steel and Q345B steel MAG welded joints

ZHAO Xiaokang¹, ZHANG Haiyan¹, QU Haidong¹, LIAO Guofeng², LI Huiqiong²

1. Gansu Steel Vocational and Technical College, Jiuquan 735100, Gansu, China

2. Guangxi LiuGong Machinery Co., Ltd., Liuzhou 545001, Guangxi, China

Abstract: Using MAG welding, select appropriate welding process parameters to conduct welding process tests on LGQ355B steel and LGQ345B steels, and compare the mechanical properties of the welded joints of the two steels under the same welding conditions. The results indicate that: Compared with LGQ345B steel, LGQ355B steel has higher tensile strength and yield strength, with an average increase of 30MPa, while LGQ345B steel has better plasticity and impact toughness, and the longitudinal impact performance of the two base materials is significantly better than the transverse impact performance. The mechanical properties of the two types of steel welded joints meet the standard requirements, mainly related to the characteristics of the base material itself and the selected welding wire. Due to the lower strength of the LGQ345B steel base material compared to LGQ355B steel, its welded joints exhibit high-strength matching, and the center impact toughness of the weld seam is better than that of LGQ355B steel. The overall impact toughness of the weld seam center of the two types of steel welded joints is better than that of the base material. Through research, it has been found that in the manufacturing process of daily structural

基金项目: 甘肃省高校教师创新基金项目(2023B-488)。

第一作者: 赵小康, 工程师, 硕士, 研究方向为金属材料焊接工艺、焊接结构仿真、焊接结构失效分析, E-mail: 1559453752@qq.com。

components, the difference in welding process and joint performance between Q355B steel under the new standard and Q345B steel under the old standard is not very significant. The welding process does not need to be treated differently and can be replaced normally. At the same time, it provides theoretical guidance for the welding of Q355B steel under the new standard.

Keywords: MAG welding; Q355B steel; Q345B steel; welding process test; mechanical property

1 序言

在GB/T 1591—2018《低合金高强度结构钢》(以下简称新标准)中以Q355钢级替代GB/T 1591—2008《低合金高强度结构钢》(以下简称旧标准)中的Q345钢级,同时新标准中规定将下屈服强度修改为上屈服强度,其指标相应提高了10~15MPa,并且修改了试验方法和检测规则。旧标准中的Q345钢及新标准中的Q355钢,因其综合力学性能优良而被广泛应用于工程领域^[1]。为了更深入研究二者之间的差别,本文选用Q355B钢与Q345B钢,对照新旧标准分析二者母材及焊接接头性能上的差别,以便更好地指导实际生产应用^[2]。

2 试验材料及工艺方法

(1) 试验材料 选取某钢厂(以LG表示某钢厂)LGQ345B钢、LGQ355B钢展开研究,对比二者母材及焊接接头的性能。通过光谱直读化学成分分析得到LGQ345B、LGQ355B钢化学成分,见表1。由表1可知,二者均符合标准要求,LGQ355B钢C含量略高于LGQ345B钢。

表1 母材化学成分(质量分数) (%)

项目		C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Cu
旧标准	Q345B	≤0.20	≤0.55	≤1.70	≤0.035	≤0.035	≤0.30	≤0.50	≤0.30
新标准	Q355B	≤0.24	≤0.55	≤1.60	≤0.035	≤0.035	≤0.30	≤0.30	≤0.30
实测值	LGQ345B	0.164	0.317	1.459	0.0086	0.0087	0.015	0.017	0.085
	LGQ355B	0.18	0.238	1.333	0.013	0.005	0.035	0.016	0.124

(2) 工艺方法 试验所用母材为LGQ355B、LGQ345B 钢板,尺寸为550mm×160mm×14mm,开V形坡口,焊接接头形式如图1所示。采用钱江6轴机器人QJRH4-1A、奥太MAG-500RPL逆变式MIG/MAG 焊接电源进行相同焊接条件下的三层三道MAG焊工艺试验。焊前清理板材表面杂质、氧化皮,背面加垫板。保护气体为80%Ar+20%CO₂,焊

丝选用金桥φ1.2mm的ER50-6实心焊丝,焊接时无需预热。焊接位置为PA(水平),焊接方向为左(后倾)焊,电流接法为直流反接DC(+),焊接参数见表2。对比分析研究二者焊接接头力学性能^[3],焊接试板如图2所示。

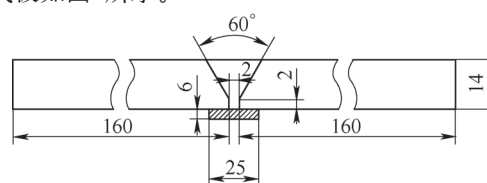


图1 焊接接头形式

表2 MAG焊焊接参数

焊道/焊层	焊接电流 /A	电弧电压 /V	焊接速度 / (cm/min)	气体流量 / (L/min)	干伸长 /mm	喷嘴直径 /mm
打底	300	29	8~7.8	20	22	20
填充	310	30	6.5~6.3	20		
盖面	300	29	6.5~6.3	20		

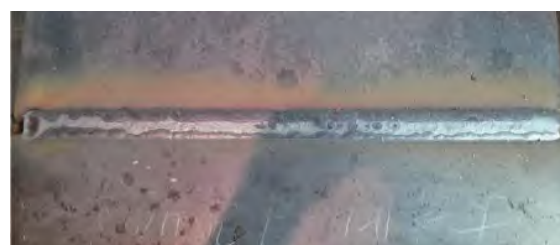


图2 焊接试板

3 工艺试验结果分析

(1) Q355B钢与Q345B钢母材性能对比 新旧标准中Q345B钢与Q355B钢的力学性能(拉伸、弯曲、冲击)见表3~表5。各取3个试样,对母材力学性能进行实际检测,结果见表6。

表3 拉伸性能评判标准

牌号		公称厚度 /mm	上屈服强度 /MPa	下屈服强度 /MPa	抗拉强度 /MPa	断后伸长率 (%)	
钢级	质量等级					横向	纵向
Q355	B	≤16	≥355	—	470~630	≥20	≥22
Q345	B		—	≥345	470~630	≥20	

表4 弯曲性能评判标准

180° 弯曲试验		评判标准
公称厚度/mm	弯曲压头直径D	外侧面不得有肉眼可见的裂纹
≤16	$D=2a$ (a为试样厚度)	

表5 冲击性能评判标准 (J)

牌号		20℃ 冲击吸收能量	
钢级	质量等级	横向	纵向
Q355	B	≥27	≥34
Q345	B	≥34	

表6 LGQ355B钢与LGQ345B钢母材力学性能

钢材	平均抗拉强度/MPa		平均屈服强度/MPa		平均断后伸长 (%)		冷弯 (纵向/横向, $\alpha=180^\circ$)	平均冲击吸收能量/J	
	纵向	横向	纵向	横向	纵向	横向		纵向	横向
LGQ355B	544	547	395	404	30.7	29.8	完好	96	53.7
LGQ345B	518	516.7	363.3	364.3	32.7	29.5	完好	118	86.6

注: LGQ355B钢平均屈服强度为试验所得上屈服强度平均值, LGQ345B钢平均屈服强度为试验所得下屈服强度平均值。

LGQ355B钢板材试样抗拉强度、屈服强度均要高于LGQ345B钢, 但是LGQ345B钢的纵向断后伸长率要略高于LGQ355B钢, 横向断后伸长率二者相当, LGQ345B钢纵向、横向冲击性能均要优于LGQ355B钢, 分别高出22J、32.9J, 但是LGQ345B钢和LGQ355B钢纵向冲击性能明显要优于横向冲击性能。

(2) Q355B钢与Q345B钢焊接接头无损检测及微观组织 对LGQ345B钢和LGQ355B钢焊接试件焊缝进行 X 射线检测, 焊缝均成形良好, 不存在裂纹、未熔合、未焊透及咬边、气孔等现象, 根据NB/T 47013.2—2015《承压设备无损检测 第2部分: 射线检测》要求, 满足Ⅱ级焊接接头。焊接接头金相试样如图3所示。通过光学显微镜观察焊接接头的微观组织 (放大500倍), 得知其焊缝组织均为铁素体+珠光体^[4]。



图3 焊接接头金相试样

(3) Q355B钢与Q345B钢焊接接头力学性能对比 焊接接头力学性能参照GB/T 19869.1—2005《钢、镍及镍合金的焊接工艺评定试验》, 对在相同焊接条件下焊接得到的LGQ355B钢、LGQ345B钢焊接试件进行焊接接头力学性能 (拉伸、弯曲、冲击) 检测。拉伸性能检测均取3个试样 (垂直于焊缝取样) 进行评定, 冲击性能检测均取4个试样 (缺口开在焊缝中心处) 进行评定, 弯曲性能的正弯、背弯试验均取3个试样^[5]。

焊接接头评判标准如下。

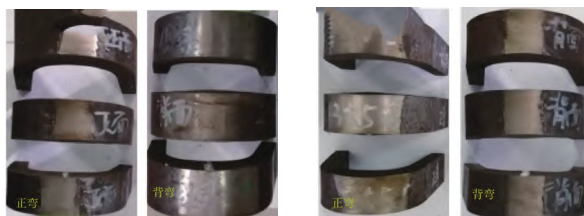
- 1) 拉伸性能评定: 试样的抗拉强度一般不得低于母材的下限值。
- 2) 弯曲性能评定: 试验过程中, 试样不应在任何方向出现>3mm的缺欠, 评估时在试样边角出现的缺欠可以忽略 (弯头的直径为60mm)
- 3) 冲击性能评定: 一般应符合对应的母材标准, 每组2个试样的平均值应满足规定的要求, 单个值可以低于规定的最低平均值, 但不得低于该数值的70%。

LGQ355B钢与LGQ345B钢焊接接头力学性能见表7。LGQ355B钢 与LGQ345B钢焊接接头进行力学性能测试后的拉伸试样、冲击试样及弯曲试样如图4~图6所示。通过试验结果分析, LGQ355B钢焊接接头抗拉强度、屈服强度表现出与母材相当的水平, 伸长率低于母材, 抵抗塑性变形的能力降低, 这主要与焊缝组织的不均性有关, 并且根据焊缝的强韧性匹配原则, 此焊接接头属于等强匹配, 试样均断裂在焊缝中心处, 大致可判断采用的ER50-6焊丝的熔敷强度接近545MPa, 但LGQ355B钢焊接接头焊缝中心处冲击吸收能量明显高于母材, 其焊缝具有较好的韧性。二者相比较, LGQ345B钢采用与LGQ355B钢一样的焊接条件, LGQ345B钢焊接接头焊缝处的断裂强度基本趋于545MPa, 明显高于LGQ345B钢母材抗拉强度 (516.7~518MPa), 故LGQ345B钢焊接接头做拉伸试验时试样断裂在母材位置, 焊接接头表现出高强匹配, 并且接头屈服强度略高于母材, 伸长率可达到母材横向断后水平。同样, LGQ345B钢焊接接头焊缝中心处冲击吸收能量明显高于母材, 其焊缝具有较好的韧性。经与

表7 LGQ355B 钢与LGQ345B钢焊接接头力学性能

母材	平均抗拉强度 /MPa	平均屈服强度 /MPa	平均断后伸长率 (%)	拉伸试样断裂位置			冷弯 (纵向/横向) $\alpha = 180^\circ$	平均冲击吸收能量 /J
				试样1	试样2	试样3		
LGQ355B	545	407.7	20.8	焊缝	焊缝	焊缝	完好	122
LGQ345B	518.7	374	27.8	母材	母材	母材	完好	137.8

标准对照,两种钢材的焊接接头性能均满足要求。LGQ355B钢与LGQ345B钢焊接接头的拉伸性能主要取决于母材本身,以及所选用焊丝本身的熔敷金属强度,焊缝中心冲击韧性与母材化学成分、焊缝组织和所选用焊丝有关,因此LGQ345B钢焊接接头焊缝冲击韧性要优于LGQ355B钢。



a) LGQ345钢

b) LGQ355钢

图6 焊接接头弯曲试样

4 结束语

1) 由于C及合金元素略高,所以LGQ355B钢抗拉强度、屈服强度比LGQ345B钢高出30MPa。

2) 选用 $\phi 1.2\text{mm}$ 的ER50-6焊丝,采用MAG焊接LGQ355B钢与LGQ345B钢,所得焊接接头力学性能均满足标准要求, LGQ355B钢焊接接头表现出等强匹配, LGQ345B钢焊接接头表现出高强匹配,并且LGQ355B钢焊接接头的屈服强度和抗拉强度高出LGQ345B钢30MPa,其抵抗静载变形和断裂的能力增强,与两种钢材的化学成分略有差别有关。

3) LGQ345B钢焊接接头的塑性及韧性要优于LGQ355B钢焊接接头。

参考文献:

- [1] 张博炜, 关博文, 孙楠, 等. Q355钢的焊接接头质量控制研究[J]. 辽宁工业大学学报(自然科学版), 2022, 42 (2): 94-97.
- [2] 陈浩, 张晓, 朱瑞芳. Q355钢焊接性及其与Q345钢焊接技术的关键比较[J]. 电焊机, 2022, 52 (2): 109-113.
- [3] 张君, 陈云, 刘庆华, 等. Q355D与Q345E钢焊接工艺评定[J]. 煤矿机械, 2022, 43 (1): 99-100.
- [4] 杨永建, 张绪平, 祁晓乾, 等. Q345钢的MAG焊接接头组织及力学性能分析[J]. 焊接技术, 2011, 40 (12): 6-8.
- [5] 陈尹泽, 李娜, 温斌, 等. 细晶Q345低合金高强钢焊接接头组织性能研究[J]. 河南冶金, 2015, 23 (2): 5-7.



a) LGQ345钢



b) LGQ355钢

图4 焊接接头拉伸试样



a) LGQ345钢



b) LGQ355钢

图5 焊接接头冲击试样

MW 20240806