

S355 钢焊接接头的组织与力学性能

许鸿吉¹, 金光¹, 宋冰昕¹, 赵雯雯¹, 李 华²

(1. 大连交通大学 材料科学与工程学院, 大连 116028; 2. 东芝水电设备(杭州)有限公司, 杭州 311504)

摘要: 通过拉伸、冲击和金相检验等试验方法对 S355 钢半自动气体保护焊焊接接头的力学性能与显微组织进行了研究。结果表明: 采用 JM-56 焊丝对 S355 钢进行焊接时, 接头具有较好的抗剪强度和低温冲击韧性; 焊缝组织主要为先共析铁素体、针状铁素体、少量珠光体和粒状贝氏体。熔合区、过热区主要为先共析铁素体及较多的珠光体和一定量的粒状贝氏体。

关键词: 转向架构架; S355 钢; 焊接接头; 显微组织; 力学性能

中图分类号: TB113. 12, TG113. 25 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4012(2008)11-0600-04

MICROSTRUCTURES AND MECHANICAL PROPERTIES OF THE WELDED JOINTS OF S355 STEEL

XU Hong-ji¹, JIN Guang¹, SONG Bing-xi¹, ZHAO Wen-wen¹, LI Hua²

(1. School of Materials and Engineering, Dalian Jiaotong University, Dalian 116028, China;

2. Toshiba Hydro power (Hangzhou) Co. Ltd., Hangzhou 311504, China)

Abstract: Mechanical properties and microstructures of S355 steel welded joints which were gotten from Ar + CO₂ gas shielded arc welding were studied via tensile, impact and metallographic test etc. The results showed that the joints of S355 steel welded with wire JM-56 had fine shear strength and mechanical properties. Microstructure in the welded seam mainly contains pro-eutectoid ferrite, acicular ferrite and a little pearlite as well as granular bainite. The fusion area and overheated zone of heat-affected zone mainly contains pro-eutectoid ferrite, some pearlite and definite quantity granular bainite.

Keywords: bogie frame; S355 steel; welded joint; microstructure; mechanical property

S355 钢是按照欧洲标准 EN 10025 生产的一种低合金高强度结构钢^[1]。它对化学成分、强度、塑性和低温韧性都有十分严格的要求, 广泛应用于电力、建筑、桥梁和压力容器焊接结构, 在铁路车辆制造中也得到应用。

当前我国正在实施铁路客运高速化战略, 列车运行速度大幅度提高, 转向架构架将承受更大的动载荷, 因而对焊接构架的各项力学性能指标提出了更高的要求, 构架焊接接头性能直接影响着高速铁路客车行车的安全与可靠。笔者针对高速客车转向架焊接构架材料 S355 钢^[2-4]的焊接接头进行了显微组织与力学性能的试验研究, 为转向架构架选

材^[5]和焊接工艺参数的优化提供理论依据。

1 试验材料和试验方法

1.1 试验材料

试验所用材料是 S355 低合金高强度钢板, 正火态供货, 钢板厚度为 12 mm (拉伸试件板厚有 12 和 16 mm 两种), 其化学成分(质量分数)见表 1, 力学性能见表 2。采用半自动气体保护焊接方法, 保护气体为 80% Ar + 20% CO₂ 混合气体。焊丝选用 $\phi 1.2$ mm 的 JM-56 实芯焊丝, 焊丝化学成分和熔敷金属力学性能分别见表 1 和表 2。

1.2 试验方法

1.2.1 拉伸试验

拉伸试验按 GB/T 15747—1995《正角焊缝接头拉伸试验方法》在 WE-30 液压式万能材料试验

收稿日期: 2008-01-07

作者简介: 许鸿吉(1959—), 男, 教授, 工学博士。

表 1 试验材料的化学成分

Tab. 1 Chemical composition of the experimental materials

材料名称	C	Si	Mn	P	S	Al	Ni	Cu	Nb	Cr	V	Mo	Ti	C _{eq} (IIW)
S355	0.14	0.399	1.30	0.013	0.004	0.036	0.03	0.026	0.03	0.039	0.001	0.002	0.001	0.37
JM-56	0.07	0.910	1.49	0.010	0.015	0.100	0.01	—	—	0.017	—	—	—	—

表 2 试验材料的力学性能

Tab. 2 Mechanical properties of the experimental materials

材料名称	R _{eL} /MPa	R _m /MPa	δ ₅ /%	试验温度 /℃	冲击功 A _{KV} /J	
					测试值	平均值
S355	447	575	27	-20	210,210,228,216	216
JM-56	445	550	28	-29	88,94,74	85

机上进行。拉伸试验试件分为开 45°K 型坡口无间隙十字接头(编号为 X1,X2 和 X3)和不开坡口无间隙十字接头(编号为 F1,F2 和 F3)两种。

1.2.2 冲击试验

冲击试验按 GB/T 2650—1989《焊接接头冲击试验法》在 JB30B 冲击试验机上进行,按照 GB/T 2649—1989《焊接接头机械性能试验取样方法》取样,V 型缺口分别开在焊缝、热影响区(距熔合线 1.5 mm处)和母材上,试验温度为-20℃和-40℃。

1.2.3 硬度试验

硬度试验按照 GB/T 4340—1999《金属维氏硬度试验方法》在 HVA-10A 小维氏硬度试验机上进行,加载载荷 98 N,加载时间 15 s。

1.2.4 焊接工艺

试验中所有试件焊接时均采用多层多道焊方法,焊接工艺参数见表 3。

表 3 焊接工艺参数

Tab. 3 Welding parameters of specimens

焊缝层数	电弧电压 U/V	焊接电流 I/A	焊接速度 v/mm·min ⁻¹	气体流量 /L·min ⁻¹
1	18~20	90~110	120	22
2	20~22	140~160	300	22
3	24~26	240~260	300	22

2 试验结果及分析

2.1 拉伸试验结果

S355 钢正面角焊缝十字接头拉伸试验结果见表 4。可以看出不开坡口且无间隙的十字接头和开

45°K 型坡口且无间隙的十字接头拉伸后均是在离焊缝位置较远的母材上断裂,这说明在该试验条件下,S355 钢焊接接头的室温抗剪强度远高于母材金属,在静载条件下,焊接接头在不开坡口的情况下也能满足技术要求。但同时应注意到这两种形式接头的焊缝根部均已产生开裂现象,通过观察经侵蚀过的焊缝端面发现,开 45°K 型坡口的十字接头焊缝根部开裂(裂纹很短),主要是由于接头焊缝根部未焊透从而成为现成的裂纹源,在拉伸载荷作用下最终在焊缝根部发生开裂。焊接接头采用开坡口的形式且留有一定装配间隙是避免未焊透的有效措施。建议其焊接接头应在开坡口并且留间隙的情况下进行焊接,以避免未焊透,从而获得足够的强度。

表 4 S355 钢十字接头室温拉伸试验结果

Tab. 4 Tensile results of cruciform joint of S355 steel at room temperature

编号	板厚 /mm	σ _{tb} /MPa	σ _{tb} 平均值 /MPa	断裂位置
F1	12	485.1	487	母材断,焊根裂
F2	12	485.2		母材断,焊根裂
F3	12	490.7		母材断,焊根裂
X1	16	538.0	549	母材断,焊根裂
X2	16	551.5		母材断,焊根裂
X3	16	557.4		母材断,焊根裂

2.2 冲击试验结果

S355 钢焊接接头冲击试验结果见表 5,可见当试验温度为-20℃时,焊缝、热影响区(距熔合线 1.5 mm)和母材的平均冲击功值分别是 61,151 和 185 J,均高于转向架焊接构架的冲击功标准值 47 J。在-40℃时,焊缝、热影响区(距熔合线 1.5 mm)和

表 5 焊接接头低温冲击功 A_{KV}

Tab. 5 Impact value of welded joint

缺口位置	-20℃		-40℃	
	测量值	平均值	测量值	平均值
焊缝	60,68,56	61	50,68,52	57
热影响区	164,126,164	151	80,74,36	63
母材	168,226,160	185	152,174,140	157

母材平均冲击功值分别为 57,63 和 157 J,也都满足转向架焊接构架对冲击功的技术要求。同时看到,当试验温度从 -20°C 降低到 -40°C 时对焊缝金属的冲击功影响不大。以上结果说明,采用 JM-56 焊丝在该试验工艺条件下,S355 钢焊接接头冲击韧性能够满足转向架的有关标准要求。

通过扫描电镜观察 S355 钢焊接接头试样的低

温冲击断口形貌如图 1 所示。可以看出,不论是 -20°C 还是 -40°C ,焊缝断口均为解理与准解理;热影响区断口 -20°C 时为准解理,而在 -40°C 时主要为解理,同时伴有少量准解理(图略);母材金属在 -20°C 时断口为韧窝,而在 -40°C 时断口为韧窝与准解理(图略)。接头各区的冲击功大小与表现出来的断口形貌是相对应的。

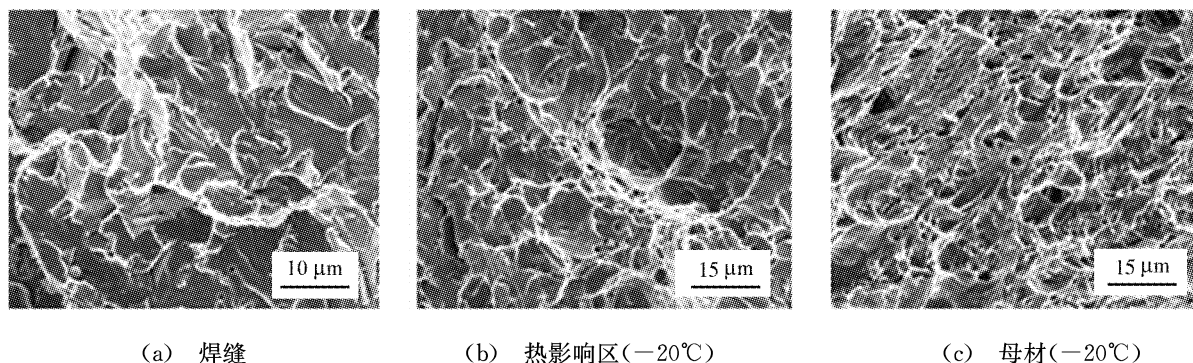


图 1 焊接接头冲击断口扫描形貌

Fig. 1 Impact fracture appearance of welded joint

2.3 焊接接头的硬度分布

S355 钢焊接接头硬度分布情况如图 2 所示。可见焊缝的硬度在 170~190 HV,热影响区的硬度在 190~200 HV,母材硬度在 170~190 HV,总体来看,接头各特征区的硬度沿着整个接头的分布比较均匀,最大硬度低于有关标准值 250 HV。

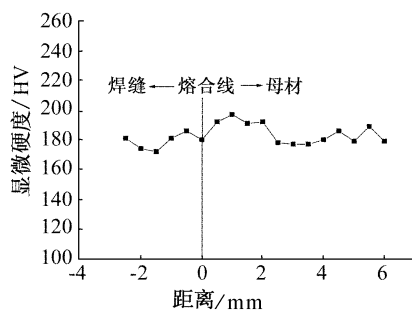


图 2 焊接接头硬度分布

Fig. 2 Microhardness distribution of welded joint

2.4 显微组织

图 3 为 S355 钢焊接接头的显微组织。如图 3(a)所示,焊缝组织主要为大量沿原奥氏体柱状晶界析出的粗大块状和条状先共析铁素体,紧靠着先共析铁素体附近有少量的珠光体组织(较小的黑色区域),晶内为较多针状铁素体,且其尺寸较大,局部有一定的粒状贝氏体;热影响区熔合区和过热

区组织如图 3(b)所示(左侧为焊缝金属,右侧为过热区组织),可见熔合区和过热区晶粒大小不一,主要为沿原奥氏体晶界分布的块状先共析铁素体,较多的珠光体组织(紧靠先共析铁素体的黑色区域)和一定量的粒状贝氏体;热影响区组织是均匀的块状铁素体和珠光体,晶粒非常细小,如图 3(c)所示;母材组织为均匀的小块状铁素体和珠光体(正火组织),如图 3(d)所示。

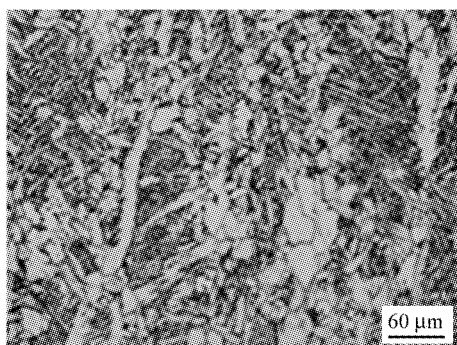
焊缝的显微组织取决于焊接材料和焊接工艺规范。在该试验工艺条件下,S355 钢焊缝中的先共析铁素体数量较多、尺寸较大,并且针状铁素体也较为粗大,必将影响焊缝韧性。因此,在工程实际中,应严格控制焊接热输入,以获得更为理想的力学性能。

3 结论

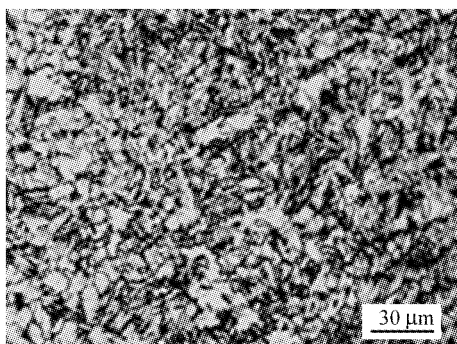
(1) 采用 JM-56 焊丝焊接 S355 钢时,开坡口和不开坡口的焊接接头其抗剪强度均高于母材金属。

(2) 采用 JM-56 焊丝焊接 S355 钢时,焊接接头具有较好的低温冲击韧性,能够满足转向架构架的标准规定;焊接接头最高硬度 ≤ 250 HV。

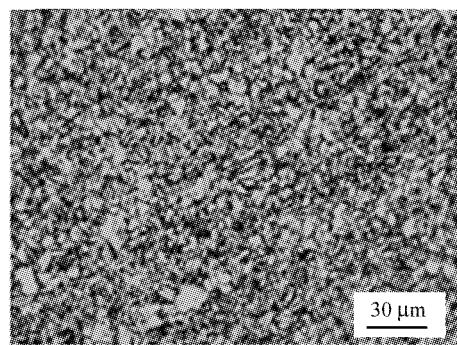
(3) S355 钢焊缝组织为先共析铁素体、针状铁素体、少量珠光体和粒状贝氏体;热影响区熔合区和过热区组织主要为先共析铁素体、较多的珠光体和一定量的粒状贝氏体。



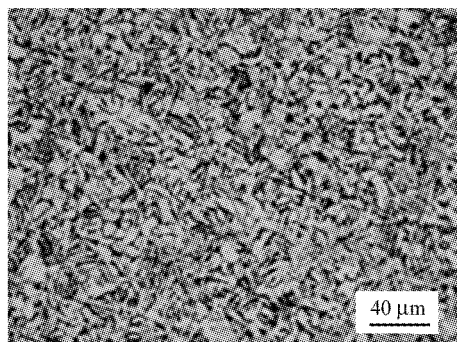
(a) 焊缝



(b) 热影响区(熔合区、过热区)



(c) 热影响区(正火区)



(d) 母材

图 3 S355 钢焊接接头显微组织

Fig. 3 Microstructure of welded joint of S355 steel

参考文献:

- [1] 东涛,刘嘉禾. 我国低合金钢及微合金钢的发展、问题和方向[J]. 钢铁,2000,35(11):71-75.
- [2] 臧传宝. 热变形工艺对 S355 钢板相变行为的影响[J]. 物理测试,2005,23(3):38-40.
- [3] 王爱云,李玉奇. S355J2G3 钢板低温冲击韧性不合格原因分析[J]. 理化检验-物理分册,2001,37(1):35-36.
- [4] 王克鲁. S355 电站风塔用钢板控轧控冷工艺研究[D]. 北京:北京科技大学,2000.
- [5] 张鑫鑫. 对高速列车转向架焊接构架选材的探讨[J]. 机车车辆工艺,1994,1:96-97.

(上接第 599 页)

- the quartz-oscillator industry[J]. The Rigaku Journal, 1997, 14(1): 12-20.
- [4] Morys B, Bradaczek H, Hildebrandt G. Improved Ω -scan for separate measurement of the true AT-cutting angles and X-miscutting angles for round quartz blanks [C]// Proceedings of IEEE International Frequency Control Symposium. Boston, Massachusetts, U. S. A; [s. n] 1994:237-240.
- [5] Berger H, Bradaczek H, Hildebrandt G. Complete X-ray orientation determination of quartz bars using a small scanning range[C]// Proceedings of Joint Meeting EFTF-IEEE IFCS. Besancon, France;[s. n] 1999: 851-854.
- [6] Berger H, Bradaczek H-A, Pinaowski H, *et al.* A new quartz-blank sorting machine including optical and extended X-ray inspection[C]// Proceedings of IEEE/EIA International Frequency Control Symposium and Exhibition. Kansas City, U. S. A;[s. n] 2000: 247-249.
- [7] Bradaczek H. Automated X-ray sorting machine for round quartz blanks[C]// Proceedings of Forty-fifth Annual Symposium on Frequency Control. Los Angeles, U. S. A;[s. n] 1991:114-116.