

马氏体耐热钢 P91 $\Phi 336$ mm \times 31 mm 管材焊接接头的组织和力学性能

赵振铎 陈金虎 原凌云 潘小娟

(山西太钢不锈钢股份有限公司技术中心,太原 030003)

摘要 通过 ER90S-B9 焊丝和焊条 (/% : 0.08 ~ 0.12C, 0.4 ~ 0.6Si, 0.5 ~ 1.4Mn, 8.5 ~ 10.5Cr, 0.85 ~ 1.15Mo, 0.18 ~ 0.29V, 0.06 ~ 0.10Nb, \leq 0.015Al, 0.03 ~ 0.07N) 对 P91 钢管 (/% : 0.09C, 0.45Si, 0.32Mn, 8.9Cr, 0.95Mo, 0.21V, 0.78Nb, 0.014Al, 0.05N) 进行氩弧焊打底、焊条电弧焊填充及盖面焊接。结果表明, P91 钢焊缝无裂纹、夹渣、弧坑、气孔等缺陷, 焊缝组织为回火索氏体, 部分区域为回火马氏体, 母材和热影响区为回火索氏体; 接头的抗拉强度 R_m 653 ~ 665 MPa, 屈服强度 $R_{p0.2}$ 497 ~ 504 MPa, 伸长率 A 21.8% ~ 22.9%, 冲击功 63.8 ~ 77.2 J, 均满足 GB5310-2008 及 AMSE SA335-2007 标准要求。

关键词 马氏体耐热钢 P91 钢管 焊接接头 组织 力学性能

Structure and Mechanical Properties of Welded Joint of $\Phi 336$ mm \times 31 mm Pipe of Martensite Heat Resistant Steel P91

Zhao Zhenduo, Chen Jinhu, Yuan Lingyun and Pan Xiaojuan

(Technology Center, Shanxi Taigang Stainless Steel Co Ltd, Taiyuan 030003)

Abstract The welding process with tungsten-arc inert (argon)-gas (TIG) backing, shielded metal-arc welding (SMAW) covered electrode filling and capping on P91 steel tube (/% : 0.09C, 0.45Si, 0.32Mn, 8.9Cr, 0.95Mo, 0.21V, 0.78Nb, 0.014Al, 0.05N) has been carried out by using ER90S-B9 welding wire and covered electrode (/% : 0.08 ~ 0.12C, 0.4 ~ 0.6Si, 0.5 ~ 1.4Mn, 8.5 ~ 10.5Cr, 0.85 ~ 1.15Mo, 0.18 ~ 0.29V, 0.06 ~ 0.10Nb, \leq 0.015Al, 0.03 ~ 0.07N). Results show that the welded joint of P91 steel tube without crack, slag inclusions, crater and blowhole etc welding seam defects, the structure of welding seam is tempered sorbite with tempered martensite in partial region and the structure of base metal and heat affected zone is tempered sorbite; of welding joint the mechanical properties are tensile strength R_m 653 ~ 665 MPa, yield strength $R_{p0.2}$ 497 ~ 504 MPa, elongation A 21.8% ~ 22.9%, and impact energy 63.8 ~ 77.2 J all meet the requirement of standard GB5310-2008 and AMSE SA 335-2007.

Material Index Martensite Heat Resistant Steel P91, Steel Pipe, Welding Joint, Structure, Mechanical Properties

P91 钢是美国于 20 世纪 70 年代末开发的新型马氏体耐热钢^[1-3]。P91 钢焊接时, 如焊接工艺选择不当、焊工操作不当, 很容易产生焊接冷、热裂纹、夹渣等缺陷^[4-5]。

1 试验方法

焊接试验用材料为 P91, 原材料采用 50 t 电弧炉冶炼加 LF 精炼, 并经 VD 真空脱气处理后模铸成 8 t 钢锭, 再经锻造、制管后成材, 相应的国标为 10Cr9Mo1VNbN, 其化学成分为 (/%): 0.09C, 0.45Si, 0.32Mn, 0.014P, 0.008S, 8.9Cr, 0.95Mo, 0.21V, 0.78Nb, 0.014Al, 0.05N。钢管规格为 $\Phi 336$ mm \times 31 mm。

采用氩弧焊打底、焊条电弧焊填充及盖面的焊接方法, 对两支开坡口的 P91 管进行对接焊接, 焊接示意图如图 1 所示。

2 焊接工艺

(1) 氩弧焊打底选用焊材为 $\Phi 2.5$ mm 的

ER90S-B9 焊丝, 焊条电弧焊填充及盖面选用 $\Phi 2.5$ mm、 $\Phi 3.2$ mm 的 ER90S-B9 焊条, ER90S-B9 焊丝及焊条的化学成分见表 1 所示。

(2) 最低预热温度不低于 200 $^{\circ}$ C。

(3) 严格控制层间温度保持在 300 $^{\circ}$ C 以下。

(4) 焊接采用手工焊, 氩弧焊打底时, 钨极为 $\Phi 2.5$ mm, 氩气流量为 10 ~ 15 L/min, 焊接电弧电压 11 ~ 15 V, 焊接电流 82 ~ 112 A, 焊接速度 56 ~ 62 mm/min。焊接线能量控制在 18 kJ/cm 以下以保证焊缝冲击韧性。焊条电弧焊填充及盖面的焊接工艺

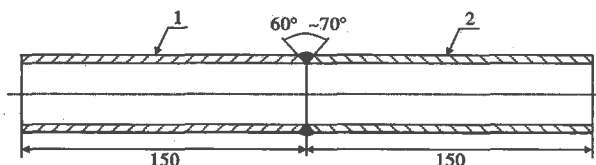


图 1 P91 钢管焊接示意图

Fig. 1 Schematics of welding of P91 steel pipe

表1 ER90S-B9 焊丝及焊条的化学成分 / %

Table 1 Chemical composition of ER90S-B9 welding wire and covered electrode / %

ER90S-B9	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V	Nb	Al	N
焊丝	0.08 ~ 0.12	0.40 ~ 0.60	0.5 ~ 1.4	≤ 0.020	≤ 0.010	8.5 ~ 10.5	0.85 ~ 1.15	0.18 ~ 0.29	0.06 ~ 0.10	≤ 0.015	0.03 ~ 0.07
焊条	0.08 ~ 0.12	0.40 ~ 0.60	0.5 ~ 1.4	≤ 0.020	≤ 0.010	8.5 ~ 10.5	0.85 ~ 1.15	0.18 ~ 0.29	0.06 ~ 0.10	≤ 0.015	0.03 ~ 0.07

参数如表2所示。

(5) 采用背面充氩保护工艺,背面充氩保护气体纯度 $\geq 99.99\%$,流量 4 ~ 20 L/min。打底时需要进行充氩保护,而且第二遍氩弧焊时,仍要继续进行充氩保护。

(6) 焊接完成后必须进行 300 ~ 350 $^{\circ}\text{C}$ 2 h 的焊后热处理。

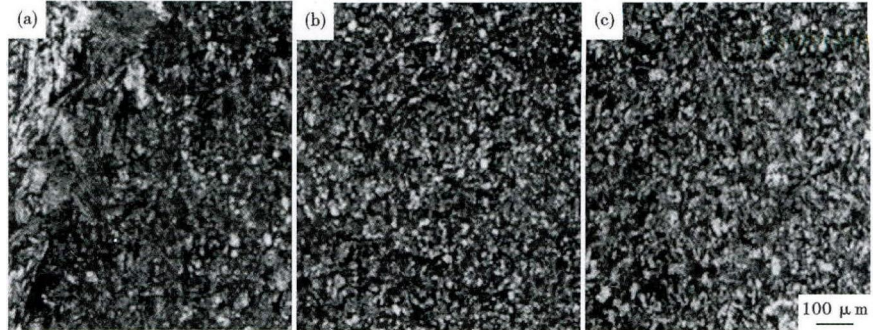


图2 P91 钢管焊接接头显微组织形貌:(a)焊缝;(b)热影响区;(c)母材

Fig. 2 Morphology of welded joint structure of P91 steel pipe: (a) welding seam; (b) heat affected zone and (c) base metal

3 试验结果分析

3.1 焊缝外观检验

外观检验显示,焊接试件的焊缝及其热影响区表面均无咬边,亦无裂纹、夹渣、弧坑、气孔等缺陷,焊缝与母材平滑过渡,焊缝余高均在 1 ~ 2 mm,焊缝高度高于母材表面,焊缝表面质量优良。

3.2 焊接接头显微组织

如图2所示,焊缝显微组织为回火索氏体,部分区域存在回火马氏体组织,没有发现裂纹、疏松、过烧组织,也无超标的异常组织,母材与热影响区显微组织为回火索氏体,焊接接头组织满足标准使用要求。

3.3 焊接接头的力学性能

焊接钢管拉伸试样的分析结果如表3所示,与标准比较,焊接接头处的力学性能均满足标准的要求。

对 P91 钢焊接接头进行了压扁试验,压扁后,经

表2 焊条电弧焊填充及盖面焊接工艺参数

Table 2 Parameters for filling and capping welding process with SMAW covered electrode

焊层数	焊材直径/mm	焊接电流/A	焊接电压/V	焊接速度/(mm·min ⁻¹)	每层填充金属厚度/mm
2 ~ 3	2.5	80 ~ 90	21 ~ 25	75 ~ 165	2 ~ 3
4 ~ 10	3.2	104 ~ 120	21 ~ 25	75 ~ 165	2 ~ 3

表3 P91 钢管焊接接头的力学性能

Table 3 Mechanical properties of P91 steel pipe welded joint

项目	试样编号	$R_{p0.2}$ /MPa	R_m /MPa	A / %
P91-P91 同种焊接	1-1	497	653	21.8
	1-2	504	665	22.9
GB5310-2008, AMSE SA335-2007		≥ 415	≥ 585	≥ 20

注:断裂位置在 P91 母材上。

表4 P91 钢管焊缝、熔合线和热影响区的冲击功
Table 4 Impact energy of welding seam, weld interface and heat affected zone of P91 steel pipe

材料	缺口位置	冲击功/J			均值/J
		69.3	77.2	63.8	
P91-P91 同种焊接	焊缝	69.3	77.2	63.8	70.1
	熔合线	92.1	99.7	94.5	95.4
	热影响区	106	104	105	105

观察焊缝表面无裂纹产生,压扁性能较好。

由表4可知,焊接接头处的冲击功均在标准 GB5310-2008、AMSE SA335-2007 要求的 40 J 以上。

4 结论

(1) 通过采用氩弧焊打底、焊条电弧焊填充及盖面的焊接方法,可获得外观质量良好的 P91 钢焊接接头,焊缝无裂纹、夹渣、弧坑、气孔等缺陷。

(2) 试制的 P91 钢焊接接头组织及力学性能均满足 GB5310-2008 及 AMSE SA335-2007 标准要求。

参考文献

- [1] John Hald, Vis Viswanathan, Fujio Abe. Energy Driven for Materials Research and Development[J]. Energy Materials, 2006, 1(1): 1-2.
- [2] 束国刚, 刘江南, 石崇哲, 等. 超临界锅炉用 T/P91 钢的组织性能与工程应用[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 2006.
- [3] 赵钦新, 朱丽慧. 超临界锅炉耐热钢研究[M]. 北京: 机械工业出版社, 2010.
- [4] 苏慧神, 于彬. T91/P91 钢焊接质量控制[J]. 热加工工艺, 2011, 40(17): 201-202.
- [5] 孙威. T91/P91 钢焊接材料的选择及其应用[J]. 电焊机, 2012, 42(9): 5-7.

赵振铎(1980-), 男, 博士(北京科技大学), 高级工程师, 特殊钢新产品开发和工艺研究。E-mail: zhaozd@tisco.com.cn

收稿日期: 2014-07-29