

doi:10.3969/j.issn.1003-4226.2024.01.016

Q345E 与 20 钢异种钢管氩电联焊工艺研究*

李亚军, 刘静, 马俊文, 谢思维, 刘旭勉, 肖莉
(中国石油集团济柴动力有限公司成都压缩机分公司, 四川 成都 610100)

摘要:采用氩电联焊对 Q345E 和 20 钢异种钢管进行焊接试验及焊接接头力学性能测试。结果表明:Q345E 和 20 钢异种钢管焊接接头具有良好的工艺性能,X 射线探伤不低于 II 级,抗拉强度分别为 542 MPa 和 536 MPa, -20 °C 冲击功不低于 33 J,侧弯试样弯曲面焊缝和热影响区没有裂纹,满足 NB/T 47014—2011 要求。

关键词:Q345E;20 钢;氩电联焊;力学性能

中图分类号:TG457.6 **文献标识码:**A

Research on TIG – SMAW united welding process of Q345E and 20 dissimilar steel pipes

Li Yajun, Liu Jing, Ma Junwen, Xie Siwei, Liu Xumian, Xiao Li

(CNPC Jichai Power Company Limited Chengdu Compressor Branch, Chengdu 610100, China)

Abstract: Welding test and welded joint mechanical properties of Q345E and 20 steel dissimilar steel pipes were carried out by TIG – SMAW united welding process. Results show that welded joints of Q345E and 20 steel dissimilar steel pipes have good process performance. X-ray flaw detection is not lower than grade II, tensile strength is 542 MPa and 536 MPa respectively, impact energy at -20 °C is not less than 33 J, and there are no cracks in weld and heat-affected zone on curved surface of lateral bending specimen, which meets requirements of NB/T 47014—2011.

Keywords: Q345E; 20 steel; TIG – SMAW united welding; mechanical property

氩电联焊是手工氩弧焊打底,手工电弧焊填充和盖面的焊接方法。与单独手工电弧焊相比,氩电联焊焊接质量好,射线探伤合格率高,氩弧焊打底无渣,避免清根,节约时间成本^[1-3]。以母材 Q345E 和 20 钢钢管为例,研究了异种钢管的氩电联焊工艺。通过焊接试验,研究了 Q345E 和 20 钢无缝钢管焊接接头的焊接工艺和力学性能,为工业管道异种钢焊接提供参考依据。

1 母材焊接性分析

1.1 化学成分

Q345E 和 20 钢管属于 GB/T 6479—2013《高压化肥设备用无缝钢管》中的钢种,Q345E 钢在 16Mn 系列合金钢基础上添加钒钛铌等细化晶粒的微量元素,严格控制 P 和 S 元素,提高低温冲击韧性和降低裂纹倾向^[4]。试验选用 $\varnothing 219 \times 8$ mm 的 Q345E 和 20 钢无缝钢管,正火处理后供货,Q345E 和 20 钢化学成分见表 1。

1.2 焊接性分析

根据国际焊接协会碳当量 C_{eq} 计算公式,计算出 Q345E 和 20 钢无缝钢管 C_{eq} 分别为 0.391% 和 0.286%,小于 0.400%,焊接性较好。为进一步提

表 1 Q345E 和 20 钢化学成分

Table 1 Chemical composition of Q345E and 20 steel

材质	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo	V	Cu
Q345E	0.14	1.40	0.37	0.007	0.009	0.08	0.02	0.002	0.003	0.02
20 钢	0.18	0.57	0.21	0.005	0.008	0.03	0.01	0.016	0.001	0.02

* 基金项目:中油济柴成都压缩机分公司资助项目(项目编号 2021D08 – B)。

高焊接接头抗裂性能,选用氧化性小的碱性焊接材料,降低焊接接头焊缝的扩散氢含量,减小裂纹出现概率。

2 氩电联焊工艺试验

2.1 试验材料

试验母材为长度150 mm的Q345E和20钢管,规格为 $\varnothing 219 \times 8$ mm。Q345E和20钢管的管端对接前用砂轮机或钢丝刷清除坡口及内外两侧至少20 mm范围内的水分、铁锈、油污等杂质。组对间隙为3.2 mm,钝边为1 mm,对接坡口为 60° V形,对接管端截面坡口形状如图1所示。

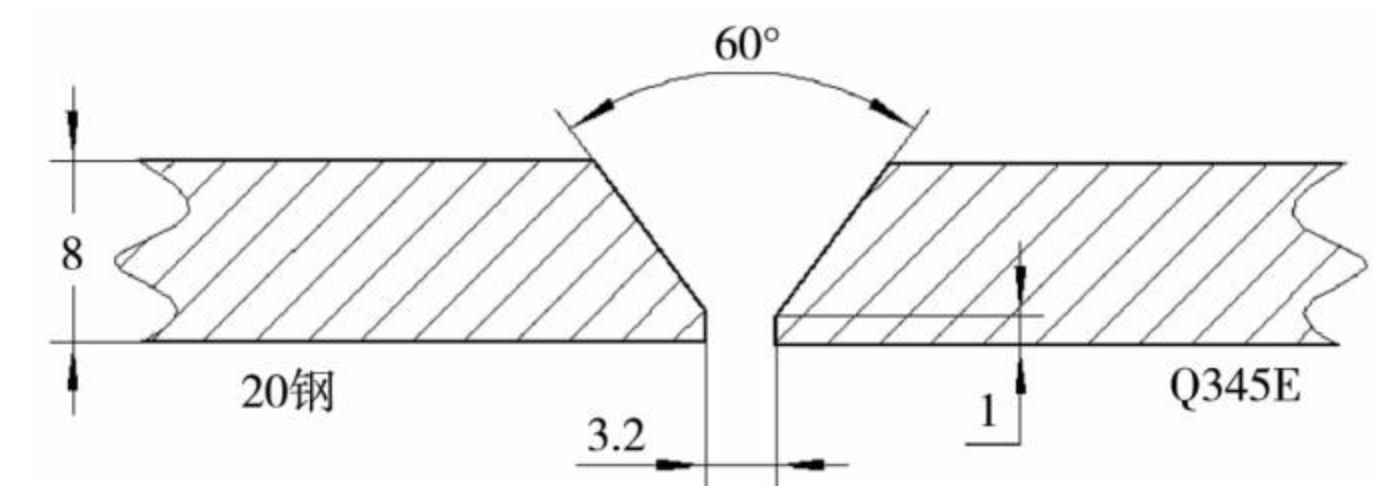


图1 钢管对接坡口形状 单位:mm

Fig. 1 Shape of steel pipe joint groove

试验焊材为规格2.4 mm ER50-G钨极氩弧焊丝,电焊条为低氢碱性E4315焊条,规格为3.2 mm,氩弧焊丝和电焊条均符合NB/T 47018—2017《承压设备用焊接材料订货技术要求》。电焊条焊前在 350°C 保温2 h烘干,然后放在焊条筒中随用随取。试验母材和焊材的力学性能见表2。

表2 试验母材和焊材的力学性能

Table 2 Mechanical properties of experimental materials and welding materials

材料	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	断后伸长率/%	冲击功/J
Q345E	≥ 345	490 ~ 670	≥ 24	$\geq 40(-40^\circ\text{C})$
20钢	≥ 245	410 ~ 550	≥ 21	$\geq 18(-20^\circ\text{C})$
ER50-G	≥ 390	490 ~ 670	≥ 18	$\geq 54(-30^\circ\text{C})$
E4315	≥ 400	≥ 490	≥ 20	$\geq 54(-30^\circ\text{C})$

2.2 焊接条件

钨极氩弧焊焊接时风速不超过2 m/s,焊条焊接时风速不超过8 m/s;雨雪天或空气相对湿度低于90%时禁止施焊。当环境气温低于 0°C 时,需要将坡口两侧100 mm范围内钢管预热到 15°C 以上^[5]。

2.3 焊接工艺

焊接设备为WS-400IGBT型氩弧焊和电焊两

用焊机,氩弧焊保护气体为氩气,气体纯度为99.99%。按照GB/T 20801—2020《压力管道规范工业管道》和ASME B31.3—2022 *Process Piping* 相关规定,当管道壁厚 $T > 25$ mm时,焊前需预热到 95°C 以上;当 $T \leq 25$ mm时,可以不用预热。当管道壁厚 $T > 20$ mm时,焊后需要进行热处理;当 $T \leq 20$ mm时,焊后不需要进行热处理。焊接过程中严格控制焊缝道间温度不高于 200°C ,防止焊接接头过热和晶粒长大。钨极氩弧焊打底焊接应尽量避免停弧,以减少焊接“冷接头”次数,提高焊接质量,焊接电流135 ~ 150 A,焊接电压10 ~ 14 V,焊接速度7 ~ 9 cm/min,氩气保护气体流量10 ~ 15 L/min;电焊条填充和盖面时,焊接电流95 ~ 115 A,焊接电压19 ~ 24 V,焊接速度7 ~ 13 cm/min。焊接过程中要清除焊缝道间的焊渣、飞溅、咬边等缺陷。

3 焊后检验

3.1 外观

试件焊接后按照NB/T 47014—2011《承压设备焊接工艺评定》进行焊缝外观检验,接头焊缝成形美观,没有出现未焊透、未熔合、气孔、粘渣和裂纹等缺陷。焊缝余高最高处为1.7 mm,符合GB/T 20801.5—2020《压力管道规范工业管道 第5部分:检验和试验》中不大于3.0 mm的要求。

3.2 无损检测

按照NB/T 47013—2015《承压设备无损检测》对焊接接头进行100%射线探伤试验,技术等级为AB级。检测结果符合GB/T 20801.5—2020中不低于II级的要求。

3.3 力学性能

3.3.1 拉伸试验

异种钢材焊接要求焊缝金属的抗拉强度不低于较低母材抗拉强度,不高于较高母材抗拉强度,Q345E和20钢管焊接焊缝金属抗拉强度要求为410 ~ 670 MPa。依据NB/T 47014—2011对焊接接头截取2个横向拉伸试样,室温拉伸试验按照GB/T 228.1—2021《金属材料 拉伸试验 第1部分:室温试验方法》进行,试验结果见表3,从表3可以看出,焊接接头的抗拉强度符合NB/T 47014—2011要求。拉伸试样断裂宏观形貌如图2所示,从图2可以看出,断裂位置位于20钢母材处。

3.3.2 冲击试验

异种钢焊接要求焊缝金属冲击韧性不低于塑性

表 3 焊接接头拉伸试验结果
Table 3 Results of tensile test of welded joint

试样编号	试样宽度/mm	试样厚度/mm	断裂载荷/kN	抗拉强度/MPa	断裂位置
LS-1	20.00	6.86	74.32	542	20 钢母材
LS-2	19.68	6.90	72.26	536	20 钢母材



图 2 拉伸试样宏观形貌

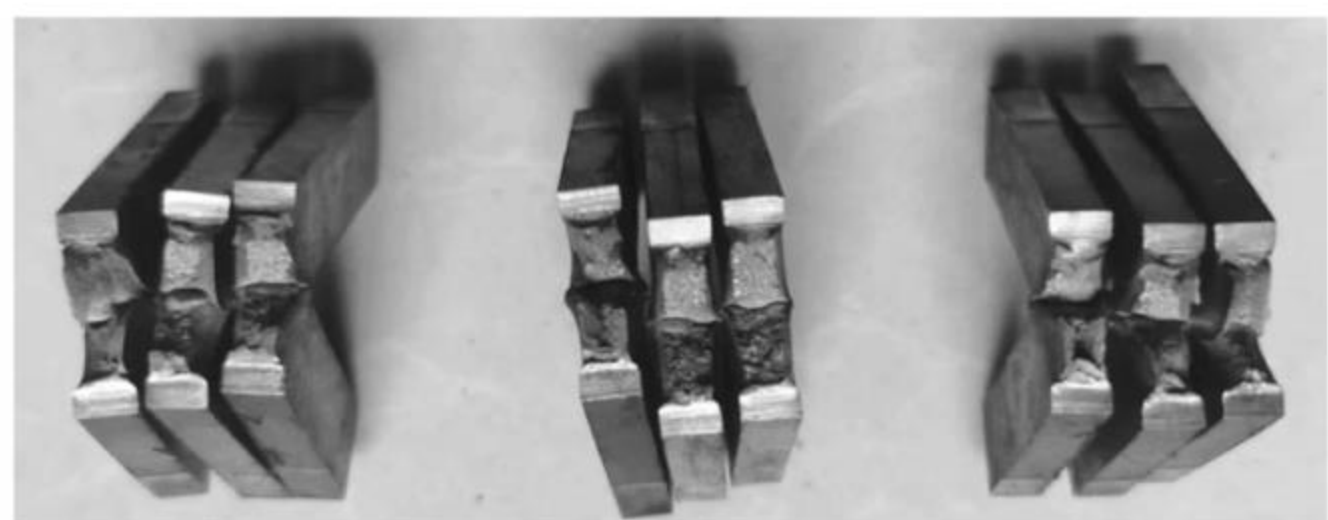
Fig. 2 Macro morphology of tensile samples

较差一侧母材的性能, Q345E 和 20 钢焊缝金属 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冲击韧性不能低于 20 钢母材的冲击韧性。依据 NB/T 47014—2011 对焊接接头截取 9 个冲击试样, 冲击试样尺寸为 $5 \times 10 \times 55\text{ mm}$, 开 V 型缺口, 坡口角度为 45° , 深度为 $(2.00 \pm 0.05)\text{ mm}$, 其中 3 个坡口位于焊缝, 3 个位于 20 钢热影响区, 3 个位于 Q345E 钢热影响区。按照 GB/T 229—2020《金属材料 夏比摆锤冲击试验方法》进行冲击试验, 焊接接头冲击试验结果见表 4。从表 4 可以看出, $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 焊缝和热影响区冲击功满足规定要求, 且富余量较大。冲击试样断裂宏观形貌如图 3 所示。由图 3 可以看出, 断裂试样为韧性断裂。

表 4 焊接接头冲击试验结果

Table 4 Results of impact energy test of welding joint

试样位置	试验温度 $T/^{\circ}\text{C}$	冲击功 KV_2/J	评定结果
焊缝	-20	33、68、38	合格
20 钢热影响区	-20	51、49、71	合格
Q345E 热影响区	-20	68、94、78	合格



(a) Q345E 热影响区 (b) 焊缝 (c) 20 钢热影响区

图 3 冲击试样断裂宏观形貌

Fig. 3 Macro morphology of fractured impact samples

3.3.3 侧弯试验

依据 NB/T 47014—2011 对焊接接头截取 4 个侧弯试样, 试样厚度 10 mm 。按照 GB/T 2653—

2008《焊接接头弯曲试验方法》进行侧弯试验, 压头直径 40 mm , 弯曲角度 180° , 在弯曲面上均无裂纹。说明选用的焊接材料和制定的焊接工艺适合 Q345E 和 20 钢异种钢管的焊接。

4 结语

对 $\text{O}219 \times 8\text{ mm}$ 的 Q345E 和 20 钢异种钢管焊接接头进行 100% RT 检测结果不低于 II 级, 抗拉强度分别为 542 MPa 和 536 MPa , 断裂位置位于 20 钢母材处, $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 焊缝和热影响区冲击功大于 33 J , 侧弯试验合格, 满足 NB/T 47014—2011 规定要求。说明 Q345E 和 20 钢异种钢管焊接选用的焊接材料和制定的焊接工艺参数合理可行。

参考文献

- [1] 李海明, 李津, 胡建洪, 等. 固定管斜 45° 氩电联焊操作要点[J]. 机械制造文摘-焊接分册, 2019(1): 37-41.
- [2] 郑春雷, 杨永强, 欧阳建国. Q345E 与 20CrMnTiH 异种钢焊接工艺研究与应用[J]. 金属制品, 2021, 47(5): 48-49.
- [3] 李亚军, 曾柏森, 赵太源, 等. 压力容器 D 类焊缝的焊接工艺评定[J]. 焊管, 2022, 45(9): 22-26.
- [4] 赵太源, 徐向阳, 肖莉, 等. 压缩机管道用 Q345E 无缝钢管的焊接工艺研究[J]. 石油和化工设备, 2019, 22(7): 22-25.
- [5] 全国锅炉压力容器标准化技术委员会. 压力管道规范 工业管道 第 4 部分: 制作与安装: GB/T 20801.4—2020[S]. 北京: 中国标准出版社, 2020.

(收稿日期: 2023-09-28)

作者简介

- 李亚军 1985 年生, 中国石油集团济柴动力有限公司成都压缩机分公司高级工程师。
- 刘 静 1981 年生, 中国石油集团济柴动力有限公司成都压缩机分公司高级工程师。
- 马俊文 1988 年生, 中国石油集团济柴动力有限公司成都压缩机分公司设计工程师。
- 谢思维 1990 年生, 中国石油集团济柴动力有限公司成都压缩机分公司工程师。
- 刘旭勉 1990 年生, 中国石油集团济柴动力有限公司成都压缩机分公司工程师。
- 肖 莉 1987 年生, 中国石油集团济柴动力有限公司成都压缩机分公司高级工程师。