

文章编号:1002-025X(2011)07-0064-03

超级奥氏体不锈钢 S31254 焊接的应用

董正军

(四川石油天然气建设工程有限责任公司, 四川 成都 610213)

摘要: 不锈钢 S31254 是一种新型高合金不锈钢, 通过对其焊接性能的分析 and 工艺试验, 确定了合理的焊接工艺, 并在伊朗 MIS 项目施工焊接实践中得到验证和应用。

关键词: S31254 钢; 脉冲氩弧焊; 焊接应用; 过程控制

中图分类号: TG457.11 **文献标志码:** B

0 前言

伊朗 MIS 高盐高酸性油田原油处理厂建设项目中, 部分工艺系统选用了超级奥氏体不锈钢 S31254 材质的管道。其中 S31254 钢是一种新型高合金不锈钢, 组织为典型的纯奥氏体, 化学成分介于普通奥氏体不锈钢与 Ni 基合金之间, 由于 Ni, Cr, Mo 合金元素含量较高, 使得奥氏体组织的稳定性、耐腐蚀性得以提高, 特别是 Mo 含量高, 使其具有良好的抗 Cl 应力腐蚀性能。该材料目前在国内处于开发应用初期, 鲜见相关施工焊接的报道。伊朗 MIS 项目所用 S31254 不锈钢管为国内最具实力的某大型钢厂的首次试验性小批量生产, 通过海运到伊朗。项目现场总焊接量约为 1 600 个焊口 (管径范围 $\phi 21.3 \text{ mm} \sim \phi 355.6 \text{ mm}$)。由于该不锈钢焊接在本公司尚属首次, 缺乏可供借鉴的经验。公司为此组织专业人员技术攻关, 从理论分析到实际操作, 查阅了大量的相关资料, 经反复试验摸索, 最终掌握了 S31254 材料的焊接性能、焊接方法及其参数, 在伊朗 MIS 工程建设中得到了应用。

1 S31254 不锈钢性能

1.1 化学成分及力学性能

笔者试验用材料为 S31254 钢, 该钢符合 ASTM A312 中的 S31254 标准, 其化学成分和力学性能分别见表 1, 表 2。

表 1 S31254 钢的化学成分 (质量分数) (%)

名称	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	N
标准	0.02	0.8	1.0	0.03	0.01	19.5~20.5	17.5~18.5	6.0~6.5	0.5~1.0	0.18~0.22
材质证明书	0.016	0.5	0.6	0.014	0.001	19.67	18.2	6.08	0.67	0.19

表 2 S31254 钢的力学性能

项目	R_m /MPa	R_d /MPa	A (%)
标准	≥ 650	≥ 300	≥ 35
材质证明书	710	370	52

1.2 性能分析

从表 1, 2 可以看出, S31254 为 C 含量低、Mo 含量高的高镍铬合金, 其组织为不含游离铁素体的纯奥氏体。一般来说, 如果奥氏体不锈钢中含有超过室温下奥氏体溶解量的 C (室温下的奥氏体的 C 溶解量为 0.02%), 就会导致晶间“贫铬”, 而晶间“贫铬”是产生晶间腐蚀的根源, 因此解决晶间腐蚀的根本措施就是控制钢中的 C 含量; 另一方面, 由于 Cr 是形成铬化膜的主要元素, Mo 元素可以使不锈钢在含有 Cl 的介质中形成保护膜, 因此, 适当提高 Cr, Mo 含量将显著提高奥氏体不锈钢抗点蚀能力。S31254 钢 $w(\text{C})0.016\%$, 而 $w(\text{Cr})19.67\%$, $w(\text{Mo})6.08\%$, 因此从理论上讲, 其具备较高的抗晶间腐蚀和点蚀的能力。

2 施焊中易出现的问题及应对措施

2.1 热裂纹

S31254 钢是单相奥氏体组织, 其焊接接头易出现热裂纹, 主要是弧坑裂纹, 原因主要有^[1]: ① S31254 不锈钢为高 Ni 合金材料, Ni 易与 S 和 P 形成低熔共

晶物；②焊缝金属为单相奥氏体柱状晶体组织，容易产生杂质偏析及晶间液态薄膜；③由于焊接过程的不均匀受热过程使焊缝金属在凝固期间产生拉应力，而被拉开的缝隙没有足够的液态金属来填充，进而产生弧坑裂纹。故为防止弧坑裂纹需采取如下措施：①严格控制母材和焊材中 S, P 等有害元素的含量；②采用大角度坡口焊接，即采用小的熔合比；③降低焊接热输入，即小电流快速焊；④严格控制道间温度，避免焊缝过热产生高温液化裂纹；⑤选择合理的焊接结构、焊接接头形式及焊接顺序，以尽量减小焊接应力；⑥在焊接熄弧处应进行打磨后施焊，以避免弧坑裂纹。

2.2 应力腐蚀开裂

引起应力腐蚀开裂必须具备 3 个条件：①腐蚀介质或者腐蚀环境；②金属材质在该环境中具有应力腐蚀开裂的倾向；③拉应力。这 3 个条件缺一不可。从焊接的角度，就是要控制焊后应力来避免应力腐蚀开裂的产生。

S31254 不锈钢与碳钢相比，在物理性能上有很大的差异，其电阻就为碳钢电阻的 5 倍；其热导率低，仅约为碳钢热导率的 1/3，使得热量传递速度缓慢，热变形增大，导致焊后应力较大。因此焊接时必须选择膨胀系数较小的 Ni 基焊材，达到尽量减少焊后应力的目的。

2.3 晶间腐蚀

S31254 钢焊接过程中接头处在快速连续加热过程中，处于敏化区（450~850℃）的热影响区易造成晶间贫铬，产生晶间腐蚀。因此要选择合理的焊接方法和合理的焊接工艺参数，尽量减少热输入，减小热影响区的宽度；强制焊接区快速冷却，减少在敏化区的停留时间；选用超低碳焊材。

3 焊接工艺试验

焊接试验由本公司焊接技术中心组织专家在国内完成，通过对 S31254 钢的焊接进行技术攻关，查阅相关技术文献，在理论分析基础上，经过多次试验比较，最终选择了脉冲氩弧焊工艺，焊丝选用 ERNiCrMo-3（符合 AWS/SFA 5.14 标准），确定了焊接工艺参数^[2]，见表 3。

表 3 焊接工艺参数

焊接层数	焊接方法	焊接材料		焊接电流		电弧电压 /V	焊接速度 / (cm·min ⁻¹)
		型号	直径/mm	极性	电流/A		
1	GTAW	ERNiCrMo-3	2.4	DCEN	70~85	8~10	5.5
2-5	GTAW	ERNiCrMo-3	2.4	DCEN	80~90	8~10	6~10
6	GTAW	ERNiCrMo-3	2.4	DCEN	80~95	8~10	8

严格按照规范（IPS-C-PI-290，ASME IX-2007，NACE TM0177）对试件进行检测。笔者对试件经过无损检测、力学试验、金相分析、抗 SSC 性能测试，均合格，故其最终确定了焊接工艺评定，并制定了焊接工艺规程。

4 焊接应用

4.1 焊工资格

选拔优秀焊工进行专门培训考试，持证上岗。到伊朗现场按照伊朗 IPS 规范，上岗前在法国船级社（Bureau Veritas）和伊朗 IPAC 这 2 个监理公司的工程师的共同见证下再进行入场考试，同时必须是持双证的焊工才具备现场施焊资格。

4.2 机具材料准备

（1）机具：①选用米勒公司 Maxstar 350 型脉冲氩弧焊机；②选用便携式机械切割类型坡口机，项目上选用的是美国 D.L.Rici 公司 NB 系列电动型机械切割坡口机。

（2）主要材料：氩气和焊丝。氩气纯度须不得低于 99.99%；焊丝需要有合格证和证明文件，同时需外观检查无异常，验收合格后入库，并做好登记，随取随用。

（3）辅助材料：①隔离球、水溶纸，用于充氩密封。焊接前需准备满足各种管材规格的隔离球和水溶纸，以保证焊缝背面的氩气保护；②激光测温笔，用于对焊接过程中道间温度测量，为焊接方法、焊接参数及措施的调整提供依据。

4.3 过程控制

4.3.1 坡口加工与组对

项目所用钢材厚度为 3.91~9.53 mm，开坡口时，选用 V 形坡口，如图 1 所示，坡口加工采用机械冷加工。坡口焊缝的打磨要用不锈钢专用砂轮片。组对前，对坡口和坡口两侧至少 50 mm 范围内清理干

净,可用丙酮清理,以保证清洁质量。组对时错边量应控制在0.5 mm以内,因焊接熔池粘滞性强、流动性差及膨胀系数大等,坡口角度和组对间隙应比普通钢材大。

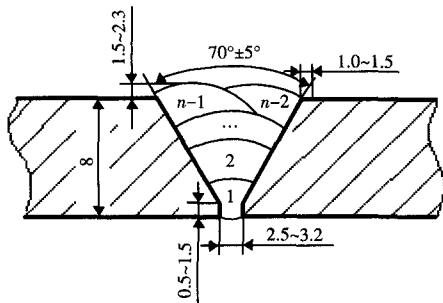


图1 坡口形式及尺寸示意图

4.3.2 氩气保护

为防止焊缝氧化,焊接过程中应采用氩气保护。内充氩采用隔离球或水溶纸密封,而且施焊前要确认里面氩气置换充分,测定 $\varphi(O_2) \leq 5.0 \times 10^{-5}$,防止焊缝背面氧化。施焊过程中要注意控制氩气流量,背面和正面氩气流量分别控制在5~15 L/min,7~13 L/min之间,背面保护气体流量要比正面的小,防止干扰电弧的稳定燃烧。实际操作要做到施焊时提前送气,停焊时滞后停气。

4.3.3 定位焊

定位焊是正式焊接的一部分,要做到完全焊透、熔合良好,无焊接缺陷,焊缝平滑过渡到母材。定位焊后应连续进行正式焊,正式焊时要打磨定位焊缝,从2个定位焊之间起焊,保证每层焊道成形良好,减少应力集中产生机械裂纹的可能性。

4.3.4 道间温度控制

焊接时应采用小电流、快焊速、窄焊道及多层多道焊的工艺,道间温度控制在80℃以下,根据需要用水进行强制冷却,减少焊缝处高温停留时间。

4.3.5 防风防雨

焊接期间要注意防风避雨措施,遇到雨雪天、大气相对湿度超过90%或风速超过5 m/s,若不采取有效措施不得焊接。每个作业班组都配有自制的防风防雨焊接作业防护棚,原则上所有焊接作业都在防护棚内进行。

5 质量检验

5.1 外观检查

每道焊缝完成后都要进行外观检查,无气孔、夹渣、咬边、裂纹等缺陷,焊缝平滑均匀、成形良好,余高1.5~2.3 mm,外观检查合格。

5.2 无损检测

按照标准ASME V—2007和ASME B31.3—2007进行100%RT和100%UT检测。项目共有焊口1619个,平均RT一次合格率98.21%,质量优良,不合格焊缝主要缺陷是气孔,未见裂纹,经一次修补后合格,满足规范要求。焊缝统计数据见表4。

表4 焊口检测统计

直径/mm	21.3	26.7	33.4	48.3	60.3	88.9	114.3	168.3	219.1	273	323.8	355.6
壁厚/mm	2.11	2.77	3.38	3.68	3.91	5.49	6.02	7.11	8.18	9.27	9.53	9.53
焊口数/个	19	34	189	4	367	235	257	79	125	163	34	113
RT一次合格焊口/个	18	34	189	4	366	235	243	77	122	157	32	113
RT一次合格率(%)	94.73	100	100	100	99.73	100	94.55	97.47	97.6	96.32	94.12	100

5.3 压力试验

施工完成后,按正常程序用检验合格的清水进行强度试验、用空气进行严密性试验,焊缝无泄漏或其他异常,焊接质量得到进一步的验证。

6 结论

实践证明,超级奥氏体不锈钢S31254的焊接,按照焊接工艺评定和焊接工艺规程所选择的焊接材料、工艺参数符合实际,施工过程控制措施得当,能确保焊缝力学性能满足相关标准规范和使用要求。

参考文献:

- [1] 吴明傲. 超级奥氏体不锈钢S31254钢的焊接[J]. 焊接技术, 2007, 36(4): 40-42.
- [2] 川庆钻探公司焊接技术研究中心. 焊接工艺评定文件(MIS-PDP-PR-5173, MIS-WPS-SS04)[Z]. 2010.

作者简介:董正军(1964—),男,湖北荆门人,工程师,国家一级注册建造师,1984年毕业于承德石油学校,1997年毕业于四川轻化工学院,获得第二学位,现任川庆钻探公司伊朗项目部副经理,一直从事项目生产技术管理工作。