

超级双相钢复合板的焊接及质量控制

大庆油田工程建设有限公司建材公司 (黑龙江 163453) 李德昌 郭晓春 官云胜

【摘要】 通过对超级双相钢复合板的特点进行分析, 根据试验制定了相应的焊接工艺, 提出了防止缺陷的焊接工艺方法和保证产品焊接质量的措施。

复合板是指覆层金属具有抗腐蚀性能, 而基材采用的碳钢或合金钢具有强度的优势, 因此本身具备耐蚀性好、强度高的优点。其中以不锈钢为覆层、以低合金钢或铬钼钢为基材的复合钢板是最常见的组合形式。同时由于双相钢具有铁素体和奥氏体的双重性, 既具有铁素体不锈钢的导热系数大、耐点蚀、缝隙腐蚀及氯化物应力腐蚀的特点, 又具有奥氏体不锈钢抗晶间腐蚀、力学性能、焊接性能好的特点, 被广泛应用于石油化工、煤化工、气化工等加工领域。而超级双相不锈钢是适用于特别腐蚀情况下的高合金双相钢, 本身具有更广阔的应用前景, 目前该钢种的使用价值在国内越来越受到广泛重视。本文以较为典型的 Q345R + SAF2507 超级双相钢复合板 (28 + 3) mm 为例, 着重论述该材料的焊接及热处理工艺。

1. Q345R + SAF2507 超级双相钢复合板的特性分析

为更好地了解该复合钢的性能, 做到有的放矢, 保证产品焊接质量得到有效的控制, 我们对两种材质的特性进行了细致的分析和比较: Q345R 为比较常见的低合金高强度钢, 本身靠合金元素锰的固溶强化获得高强度, 焊接性较为良好, 但是如果在板厚 > 26mm 使用时, 会出现氢致冷裂纹、焊缝热裂纹以及热处理不当的再热裂纹等, 其化学成分和力学性能如表 1、表 2 所示。

表 1 Q345R 的化学成分 (质量分数) (%)

C	Si	Mn	P	S
≤0.20	≤0.55	1.20 ~ 1.60	≤0.025	≤0.015

表 2 Q345R 的力学性能

抗拉强度 R_m /MPa	屈服强度 R_{el} /MPa	伸长率 (%)
500 ~ 630	325	21

SAF2507 是具有较高的铬、钼和氮含量的超级双相钢, 耐蚀性基本等同于不锈钢中较强的 316L, 同时具有很高的屈服强度, 其焊接性较接近奥氏体不锈钢, 但是由于其又具备铁素体钢的特点, 所以对焊接材料的化学成分要求是十分严格的。其化学成分和力学性能如表 3、表 4 所示。

表 3 SAF2507 的化学成分 (质量分数) (%)

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	N
≤0.030	≤0.8	≤1.20	≤0.035	≤0.020	25	7	4	0.3

表 4 SAF2507 的力学性能

抗拉强度 R_m /MPa	屈服强度 R_{el} /MPa	伸长率 (%)
800 ~ 1000	550	25

从以上表中可看出, 两者虽然化学成分差别很大, 但相对的伸长率差别很小。也就是说, 它们的热膨胀性相近。在此基础上, 从物理性能上再与奥氏体不锈钢做进一步的分析对比, 如表 5 和图 1 所示。

表 5 三种材质的热导率比较 (单位: $W/m^2 \cdot ^\circ C$)

材质	20℃ 热导率	100℃ 热导率
Q345R	47.5	48
316L	14	15
SAF2507	14	15

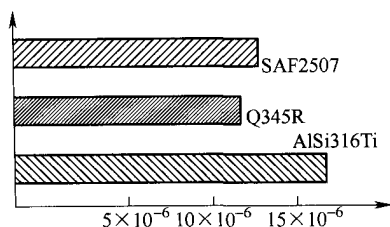


图1 三种材质的热膨胀率比较 (20~100℃)

从以上分析可以看出, Q345R 与 SAF2507 复合板在热膨胀方面是比较接近的, 而由于其热导率的不同, 在焊接过程中, 除严格选择焊材之外, 必须严格控制其每一个热过程, 包括预热温度、层间温度及热处理的控制, 才能使其焊接质量得到保证。

2. 焊接工艺的制定

(1) 焊接方法及材料 根据产品结构, 并结合几年来我们生产此类产品的实际情况, 应用该材料的产品直径较小, 一般在 $\phi 500 \sim \phi 800\text{mm}$ 之间较多。这样, 焊接方法主体焊缝选择焊条电弧焊 (SMAW), 接管法兰等配件选用钨极氩弧焊 (GTAW) 较为适宜。对于 SAF2507 材料选用其焊缝组织中奥氏体较多优势的焊材, 焊条电弧焊选用 25. 10. 4. LR, 钨极氩弧焊选用 25. 10. 4. L, 过渡层选用 E309MoL 和 E5015, 其化学成分如表 6 所示。

表 6 焊接材料化学成分 (质量分数) (%)

牌 号	元 素	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	N
25. 10. 4. L		0. 020	0. 3	0. 4	0. 020	0. 015	25	9. 5	4. 0	0. 25
25. 10. 4. LR		0. 03	0. 5	0. 7	0. 030	0. 025	25	9. 5	4. 0	0. 25
E309MoL		0. 030	0. 5	1. 5	0. 01	0. 005	22. 5	13	2. 0	—
E5015		0. 12	0. 60	0. 90	0. 025	0. 015	—	—	0. 45	—

(2) 坡口形式 针对产品的特点, 分别制定了符合需要的坡口形式, 如图 2~图 5 所示。

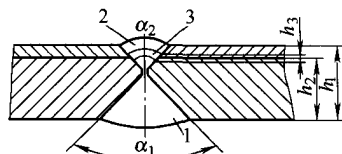


图2 纵缝坡口形式

1. 基层焊缝 2. 覆层焊缝 3. 过渡层焊缝

注: $h_1 = 28 + 3\text{mm}$ $h_2 = 28\text{mm}$ $h_3 = 2 \sim 3\text{mm}$

$\alpha_1 = 60^\circ$ $\alpha_2 = 60^\circ$

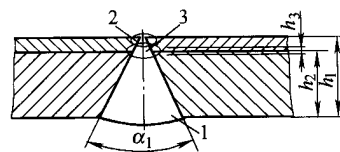


图3 小环缝、接管法兰坡口形式

1. 基层焊缝 2. 覆层焊缝 3. 过渡层焊缝

注: $h_1 = 28 + 3\text{mm}$ $h_2 = 28\text{mm}$

$h_3 = 2 \sim 3\text{mm}$ $\alpha_1 = 60^\circ \sim 65^\circ$

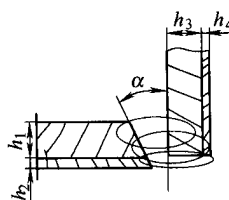


图4 人孔、接管单面焊坡口形式

1. 基层焊缝 2. 过渡层焊缝 3. 覆层焊缝

注: $h_1 = 28\text{mm}$ $h_2 = 3\text{mm}$ $h_3 = 3 \sim 6\text{mm}$

$h_4 = 3\text{mm}$ $\alpha = 50^\circ \sim 55^\circ$

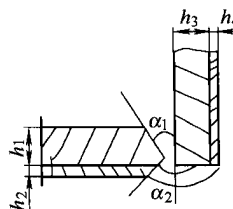


图5 人孔、接管双面焊坡口形式

1. 基层焊缝 2. 过渡层焊缝 3. 覆层焊缝

注: $h_1 = 28\text{mm}$ $h_2 = 3\text{mm}$ $h_3 = 3 \sim 6\text{mm}$

$h_4 = 3\text{mm}$ $\alpha_1 = 45^\circ \sim 50^\circ$ $\alpha_2 = 40^\circ \sim 55^\circ$

(3) 焊接顺序及参数 对于较大直径容器的焊接, 在焊工可以方便进行内外焊接操作的情况下, 先焊接基层, 后焊接过渡层, 最后是覆层, 是常见的工艺方法。而对于小直径的产品, 由于操作条件的限制, 必须先焊接覆层, 然后焊接过渡层及基层。此时, 覆层选用覆层焊材, 过渡层及基层的大部分 (约占基层的 2/3) 均应选择过渡层焊材, 最后用基层焊材盖面, 焊接参数如表 7 所示。需要说明的是, 纵缝焊接时, 为防止焊缝开裂及覆层剥离等缺陷的发生, 与环缝接触处距离 50mm 处的过渡层和覆层不得施焊, 一定要待环焊缝基层焊接后, 再焊接纵缝两端。

表 7 超级双相钢复合板焊接参数

焊 材	参 数	焊条直径/mm	焊接电流/A	电弧电压/V	焊接速度/m · h ⁻¹	备注
SMAW 覆层 25. 10. 4. LR		3. 2	80 ~ 95	19 ~ 21	4 ~ 6	—
SMAW 覆层 25. 10. 4. LR		4. 0	120 ~ 135	22 ~ 24	6 ~ 8	最后盖面
GTAW 覆层 25. 10. 4. L		2. 0	75 ~ 85	17 ~ 19	4 ~ 5	单面打底焊
SMAW 过渡层 309MoL		3. 2	85 ~ 110	20 ~ 22	5 ~ 7	—
SMAW 过渡层 309MoL		4. 0	120 ~ 140	22 ~ 25	6 ~ 8. 5	单面填充
SMAW 基层 J507		3. 2	80 ~ 95	19 ~ 21	4 ~ 6	双面焊打底
SMAW 基层		4. 0	125 ~ 145	22 ~ 25	6 ~ 9	填充、盖面

3. 焊接质量的控制

以上工艺确定后, 通过严格的焊接工艺评定, 其结果和指标均符合各项技术要求; 由于该复合板两种钢的热导率差别很大, 使焊缝的熔合线附近具有很大的附加应力, 很容易出现熔合线附近裂纹。同时, 如果焊材稍偏离使用, 会造成基层渗铬、镍, 形成脆硬组织或覆层渗碳降低抗蚀能力, 因此焊接施工中要严格执行焊接工艺, 防止缺陷的发生。

(1) 焊前准备 ①焊接前焊材一定严格按照产品说明书进行烘干和存放。②由于该复合板材较厚, 且产品直径较小, 所以焊前必须采用电加热方式对母材进行预热, 一般预热温度应在 110℃ 左右, 范围不低于焊缝两侧 100mm。③纵缝焊接的引弧板和熄弧板一定要以覆层面对齐。

(2) 焊接方法 焊接过程中采用小热输入进行, 多道快速焊接, 严格控制焊接热输入, 一般控制在 0. 2 ~ 1. 5kJ/mm。要严格控制层间温度, 如果发现层间温度稍高, 要立即停下来, 采用风冷及时进行冷却, 避免引发脆性区温度的停留时间过长, 不利于焊接熔池的有效控制, 正常情况下控制层间温度在 110℃ 左右。

采用单面焊接时, 由于过渡层的焊接和大部分基层均采用过渡层焊材, 当焊接致基层部分时, 施焊温度要稍高些, 控制在 150℃ 左右。

焊接角焊缝时, 一定要使接管内壁的覆层与壳体覆层相熔, 并且保证组对时的端部对齐, 并圆滑过渡, 避免混层。

(3) 焊后处理 对于主体焊缝, 对内部最后覆层焊缝焊接后, 再焊一道工艺焊缝, 然后进行打磨, 保持焊缝圆滑过渡, 这样相当于对焊缝及热影响区进行了焊后消氢、消应热处理。

由于产品直径相对较小 ($\phi 500 \sim \phi 800\text{mm}$), 材

料较厚 (28 + 3mm), 产品拘束度较大, 焊接后必须消除应力热处理。但是, 由于超级双相钢 SAF2507 的脆性敏感性很大, 很容易形成 σ 相, 同时为防止加热时间过长, 造成壳体表面氧化或覆层韧性降低, 必须选择合适的热处理规范, 以保证材料的原有性能。其热处理曲线如图 6 所示。

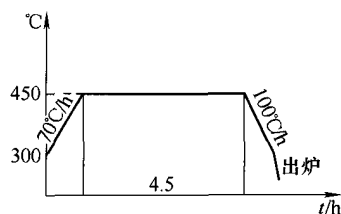


图 6 Q345R + SAF2507 热处理曲线

4. 结语

(1) 通过进行系列的焊接工艺试验、焊接工艺评定, 选择最合适的焊接材料和最优良的焊接工艺, 确保了产品的一次合格率, 提高了产品质量和效率。

(2) 由于材料的特殊性, 所以应尽量避免焊缝返修, 尤其是覆层焊缝, 以避免渗碳或造成组织脆化。

按照以上工艺, 几年来我们生产了黑水过滤器等超级双相钢复合板设备, 运行至今效果良好。

MW (20120424)

~~~~~

## “现场解决方案”栏目征文

为使读者了解最先进的技术、最新的行业动态、最新的技术产品等内容, 本刊编辑部现面向广大读者征集“现场解决方案”栏目的优秀稿件。内容可以是焊接与切割技术在贵企业的应用案例分析、小经验和小窍门等, 希望广大热心读者踊跃投稿。

投稿网址: [www.metalworking1950.com](http://www.metalworking1950.com);

投稿邮箱: [rb1950@126.com](mailto:rb1950@126.com)