

双相不锈钢 S32101 焊接工艺优化

孟祥刚

宁波连通设备集团有限公司, 浙江 宁波 315000

[摘要]对 AP1000 乏燃料水池采用的双相不锈钢 ASTM A240 UNS S32101 的焊接工艺进行研究分析, 分别采用焊条电弧焊 (SMAW), 药芯焊丝气保焊 (FCAW) 及熔化极气保焊 (GMAW), 进行相应的焊接工艺评定工作, 对比不同焊接方法的焊缝力学性能, 生产效率, 焊接质量, 生产成本, 选出适用于生产施工的最佳焊接工艺。

[关键词]双相不锈钢; 力学性能; 焊接方法; 焊接工艺

DOI: 10.33142/ec.v2i5.377

中图分类号: TG457.11

文献标识码: A

Optimization of Welding Process for Duplex Stainless Steel S32101

MENG Xianggang

Ningbo Connecting Equipment Group Co., Ltd., Zhejiang Ningbo, China 315000

Abstract: the welding process of duplex stainless steel ASTM A240 UNS S32101 used in AP1000 spent fuel pool is studied and analyzed. (SMAW), flux cored wire gas shielded welding (FCAW) and melting electrode gas shielded welding (GMAW) are used respectively. The corresponding welding process evaluation work is carried out, and the welding mechanical properties, production efficiency, welding quality and production cost of different welding methods are compared, and the best welding technology suitable for production and construction is selected.

Keywords: Duplex stainless steel; Mechanical properties; Welding method; Welding process

引言

AP1000 核电项目乏燃料水池采用的材料为双相不锈钢 S32101, 水池壁板厚度 12.7mm, 水池底板厚度 25.4mm, 焊缝拼接均要求全熔透, 焊缝形式为 V 型坡口带垫板, 传统的焊接方法为 SMAW, 但由于 SMAW 生产效率很低, 对焊工的技能水平依赖较高, 焊缝成型不美观, 焊缝盖面后, 打磨量大, 人工成本高, 为改变这一现象, 特研究药芯焊丝气保焊 (FCAW) 及熔化极气保焊 (GMAW) 焊接工艺, 并与 SMAW 焊接工艺进行对比分析, 选出适合车间及现场施工最佳工艺。

1 双相不锈钢 S32101 简介

双相不锈钢 S32101 是以 Fe-Cr-Ni-N 合金系为基础, 并调整成分使母材金属的微观组织由大约 50%铁素体和 50%奥氏体组成的不锈钢。它既具备奥氏体不锈钢优良的韧性和焊接性, 又具备铁素体不锈钢的高强度和耐氧化物应力腐蚀性能, 具有奥氏体和铁素体不锈钢的双重性能, 由于化学成分, 焊接工艺, 热处理工艺等因素的影响, 要达到 50:50 的相平衡状态是非常困难的。根据实验经验, 当铁素体含量在 35-60%之间, 双相不锈钢能获得较理想的耐腐蚀性能和力学性能。

2 焊接工艺试验

为检验每种焊接方法对应焊接接头的力学性能, 分别采用三种焊接方法进行焊接工艺评定试验, 焊接完成后, 加工理化试样, 并进行理化试验, 试验项目有拉伸, 弯曲, 焊缝中铁素体含量测定, 晶间腐蚀, 焊缝及热影响区-40℃冲击, 通过数据对比分析, 选出力学性能较好的一组。

2.1 试验材料

工艺试验所使用双相不锈钢板 S32101 为国内生产材料, 板厚 δ 25.4mm, 板材规格为 δ 25.4*180*500, 板材的化学成分及力学性能见表 1-2;

表 1: ASTM A240 S32101 化学成分要求 (%)

元素	C	Mn	Si	S	P	Cr
成品分析	≤0.04	3.95~6.05	≤1.05	≤0.02	≤0.035	20.75~22.25
实测值	0.025	4.82	0.59	0.004	0.017	21.67
元素	Ni	Cu	Mo	Co	N	

成品分析	1.28~1.77	0.07~0.85	0.07~0.85	≤0.05	0.18~0.27	
实测值	1.44	0.14	0.18	0.04	0.21	

表 2: ASTM A240 S32101 力学性能要求

性能	室温		高温 (130℃)	
	要求值	实测值	要求值	实测值
屈服强度 Rp0.2/MPa	≥450			
		490		331
抗拉强度 Rm/MPa	≥650			
		692		593
断后伸长率 A (%)	≥30			
		36		39%
硬度 HB	≤290	220		
冲击吸收功 AkV(J) (1)	≥27	72, 65, 69		
铁素体含量	35%-65%	53.8%		

(1) 冲击试验温度 ≤ -40℃

2.2 焊接材料

充分考虑焊材与母材的化学成分和力学性能的配备性以选择焊材。焊材所焊的熔敷金属无论在强度、塑性和冲击韧性上均不能够低于被焊钢种的最低值。此外，还应当全面考虑由于焊缝导致的缺陷、焊接工艺、坡口形式等因素，三种焊接方法的焊材及使用气体分别如下表 3 所示：

表 3 焊材

焊接方法	焊材型号及规格	保护气体
SMAW	E2209-16 Φ3.2	/
FCAW	E2209T1-1 Φ1.2	99.9%CO ₂
GMAW	ER2209 Φ1.2	98%Ar+2%O ₂

2.3 焊接位置及坡口形式

影响双相不锈钢焊接接头冲击性能的主要因素为焊接热输入，由于立位置焊接时，产生的焊接热输入比其他位置大，按照 ASME 标准的规定立位置的焊接合格可以覆盖其他位置，另车间制作基本为平缝，现场拼装采用立式拼装方案，大部分焊缝均为立缝，所以焊接位置定为立位置最具有代表性，坡口的选择与图纸要求相同，采用 V 型坡口带垫板的形式。如图 1 所示。

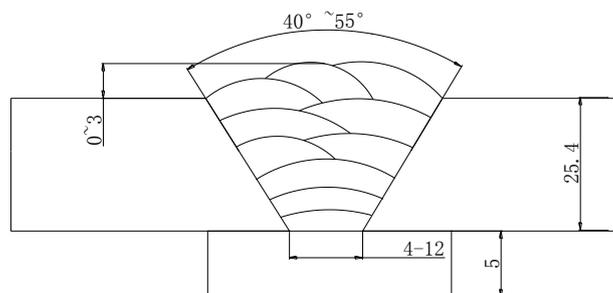


图 1 焊缝接头示意图

2.4 焊接

焊接选用公司技能熟练的焊工，考虑到焊后焊缝需进行拉伸，弯曲，冲击等相关试验，焊接过程中应严格控制层间温度在 150℃ 以下及控制焊接热输入。焊接参数如表 4 所示：

表 4: 焊接参数

焊接方法	焊材	电流(A)	电压(V)	速度(cm/min)	最大热输入(KJ/CM)
SMAW	E2209-16 Φ3.2	109-110	21-27	6.9-8	25.8
FCAW	E2209T1-1 Φ1.2	135-140	25-26	12.7-15.2	17.3

GMAW	ER2209 Φ1.2	95-120	18-22	12-14	13.2
------	-------------	--------	-------	-------	------

2.5 理化性能检测

焊接完成后进行理化试件的加工，加工图见 2 所示，检测结果见表 3；

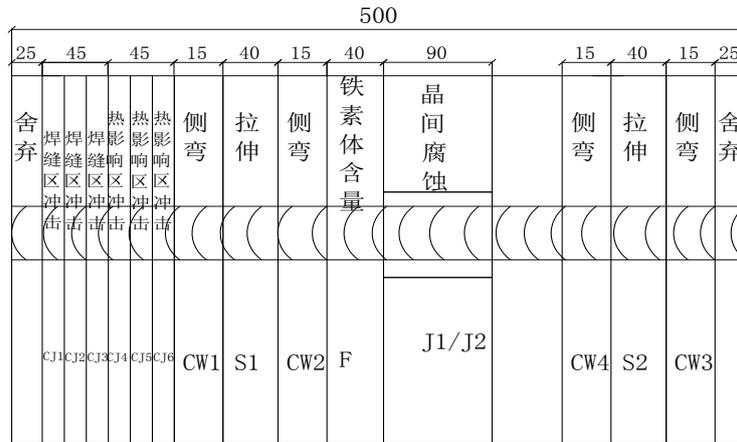


图 2: 化学分析试件取样图

表 5: 焊接试验数据

序号	试验项目	合格标准	SMAW	FCAW	GMAW
1	拉伸试验	抗拉强度 $\geq 650\text{MPa}$	700, 712	725, 720	749, 748
2	侧弯	弯曲后裂纹小于 3mm	合格	合格	合格
3	铁素体含量	35%~65%	40%	41%	44%
4	晶间腐蚀	弯曲 90° 无裂纹	合格	合格	合格
5	焊缝区冲击	-40℃冲击值 $\geq 27\text{J}$	38, 42, 46	36, 36, 35	90, 91, 94
6	热影响区冲击		83, 56, 66	33, 30, 33	40.52.32

3 理化试验结果与分析

从理化性能检测数据方面可以看出，GMAW 的焊缝的冲击功明显高于 SMAW 和 FCAW 的，这除与焊材本身的性能有关外，还与焊接方法有很大的关系，由于 GMAW 焊接采用脉冲焊，大大降低的实芯焊丝的使用电流，进而降低了焊缝中的焊接热输入。从而使焊缝有更高的冲击韧性余量。而 FCAW 和 SMAW 相对来说焊缝冲击余量较少，若在实际生产中控制不当，焊缝的冲击性能有可能达不到规范要求。

4 焊缝外观质量对比

焊缝外观质量对比见表 6；

表 6: 三种焊接方法表面成型质量

SMAW 焊缝外观	FCAW 焊缝外观质量	GMAW 焊缝外观质量
		



从外观质量可以看出来, SMAW 焊缝的外观质量最差, 焊接完成后, 打磨量非常大, 由于热输入较大, 焊缝表面发黑, FCAW 的表面凹凸不平, 偶尔还出现咬边的现象。而 GMAW 的焊缝成型最好, 焊缝表面有很清晰的鱼鳞纹, 焊缝饱满且表面呈银白色。

5 价格对比

根据市场调研三种焊材的价格, 发现药芯焊丝 E2209T1-1 的焊丝价格最高, 实心焊丝 ER2209 次之, 焊条 E2209-16 价格最低。

6 焊接方法确定

通过以上力学性能, 焊缝表面成型质量, 焊材价格对比, GMAW 焊接均比另外两种焊接方法有优势, 最终确定采用 GMAW 的焊接方法代替 SMAW 进行双相不锈钢的焊接。

7 产品应用

GMAW 现场及车间应用过程中发现, GMAW 焊接效率是 SMAW 焊接效率的 2-3 倍, 大大提高了现场施工进度, 同时由于 GMAW 焊缝成型很好, 减少了焊缝打磨量, 同时提高了焊缝表面 PT 检测合格率, 大大减少了人工成本和返工成本。

8 结论

通过焊接工艺试验, 焊接效率对比, 焊丝成本对比, 发现 GMAW 有如下优点:

GMAW 焊缝成型美观, 比 FCAW 和 SMAW 焊缝成型均要好, 焊缝表面 PT 检测合格率提高, 焊缝打磨量降低。

采用 GMAW 进行焊接工艺试验, 由于采用脉冲过渡的方式, 焊接电流较小, 从而降低了焊缝的热输入量, 试验结果显示焊缝金属的冲击功较高, 有效避免了双相不锈钢焊接后, 焊缝冲击值急剧降低的情况。

ER2209 的实心焊丝比药芯焊丝要有价格优势, 可以节约焊丝采购成本

GMAW 焊接效率为以往 SMAW 焊接效率的 2-3 倍, 大大提供人工效率和施工进度。

根据以上数据及总结, 对于双相不锈钢 S32101 车间制作及现场焊接施工, 可以采用 GMAW 的焊接方法代替传统的 SMAW 焊接工艺, 可以大大提高生产效率, 节省施工成本。

[参考文献]

[1] 朱金胜, 廖素萍. 双相不锈钢焊接工艺研究[J]. 工程建设, 2013(2): 23-124.

[2] 李庆光, 冯江猛, 袁明德, 郑东光. S32101 双相不锈钢焊接性及在 AP1000 核电站中的应用[J]. 电力建设, 2013(3): 100-103.

[3] 修延飞, 王朋飞, 董永志, 朱跃德. 核电用 S32101 双相不锈钢的焊接性研究[J]. 中国新技术新产品, 2014(14): 53-54.

作者简介: 孟祥刚 (1989-): 学历: 本科, 毕业沈阳理工大学, 专业: 材料成型及控制工程, 现有职称: 助理工程师。