

文章编号:1002-025X(2014)07-0012-03

# 保护气体对镍基药芯焊丝堆焊层性能的影响

张 杰

(东方电气集团东方锅炉股份有限公司, 四川 自贡 643001)

**摘要:** 通过工艺试验, 选用气体保护药芯焊丝 Ni6625, 直径 1.2 mm, 保护气体 C1 (CO<sub>2</sub>) 和 M21 (Ar+CO<sub>2</sub>), 堆焊基材 1.7335 (1Cr-0.5Mo), 其堆焊层化学成分、综合力学性能均能满足 EN 规范要求。采用保护气体 C1 其堆焊层综合力学性能、耐腐蚀性能优于采用保护气体 M21。

**关键词:** 堆焊; Ni6625 镍基药芯焊丝; 堆焊层性能; 保护气体的影响

**中图分类号:** TG455      **文献标志码:** B

东方电气集团东方锅炉股份有限公司首次承接制造的大型煤气化炉项目, 其气化炉内件的制造在我国尚属首次, 全面采用欧洲标准, 产品结构特别紧凑、复杂, 制造难度特别大。气化炉内件管屏材料主要为 1.7335 (1Cr-0.5Mo), 其中管屏堆焊技术是制造的难点。在由管子与扁钢组焊成的圆柱状管屏的内、外壁大面积堆焊镍基 Ni6625 材料, 堆焊层厚度 4~6 mm, 由于堆焊基材母材壁较薄, 堆焊面积大, 焊接变形控制难度大。

为了减少焊接变形, 保证堆焊质量, 提高焊接效率, 通过分析, 拟采用镍基药芯焊丝气保焊堆焊工艺。为此, 选用了不同的保护气体, 开展了一系列的焊接工艺试验。

## 1 工艺试验

### 1.1 试验母材

母材为 SA-387GR11CL2 钢板, 化学成分见表 1, 板厚 30 mm, 加工试样 (270 mm×150 mm) 2 块。

表 1 母材 SA-387GR11CL2 的化学成分 (质量分数) (%)

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
0.05~0.16	0.50~0.80	0.40~0.65	≤0.025	≤0.015	1.00~1.50	≤0.25	0.45~0.65

### 1.2 药芯焊丝的熔敷金属化学成分及性能

焊丝选用满足 EN ISO14172 的药芯焊丝 Ni6625, 直径为 1.2 mm; 根据焊材制造公司推荐, 焊接保护

气体可选用 (EN ISO14175) M21 (15% < φ(CO<sub>2</sub>) ≤ 25%, φ(Ar) 其余) 和 C1 (φ(CO<sub>2</sub>) 100%)。熔敷金属化学成分见表 2。

表 2 药芯焊丝 Ni6625 的熔敷金属化学成分 (质量分数) (%)

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Fe	Cu	Ti	Nb+Ta
0.030	0.12	0.34	0.010	0.007	21.60	8.60	64.80	0.40	0.01	0.23	3.69

### 1.3 制作试样 2 组

采用保护气体 C1 所堆焊的试样编号为 S1; 采用保护气体 M21 所堆焊的试样编号为 S2 (图 1)。

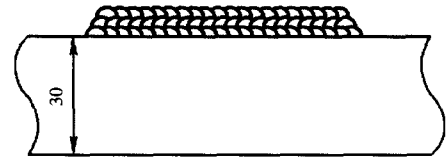


图 1 堆焊试样示意图

堆焊前, 需打磨、清除待堆焊面氧化皮、油污等污染物。堆焊区域为 150 mm×160 mm, 堆焊 3 层, 堆焊厚度 6~7 mm, 层间温度 ≤100 °C, 堆焊焊道搭接量 60%~70%, 堆焊方向为试样长度方向, 焊接工艺参数见表 3。

表 3 焊接工艺参数

试样编号	焊接方法	焊接电流 /A	电弧电压 /V	焊接速度 v/(mm·min <sup>-1</sup> )	保护气体		
					类别	气压 /MPa	流量 Q /(L·min <sup>-1</sup> )
S1	FCAW	150~180	26~28	300~400	C1	5~7	20
S2	FCAW	150~180	26~28	300~400	M21	5~7	20

堆焊后立即进行后热处理, 300~400 °C, 时间 3~4 h; 打磨焊缝 PT, UT 探伤面。堆焊层进行 100% PT, 合格标准按 EN 571-1, 合格级别 EN 1289 I 级; 堆焊层焊缝 100% UT 探伤, 合格标准按 ISO

15614-7。试样退火处理 660 ℃，时间 4 h。

1.4 试样检验

1.4.1 无损探伤检验

试样堆焊层焊缝 100%PT 检测按 EN 571-1，合格级别 EN 1289 I 级；堆焊层焊缝 100%UT 探伤，

合格标准按 ISO 15614-7 (任何大于  $d=8$  mm 平底孔信号的缺陷是不允许存在)；PT 检测、UT 检验合格。

1.4.2 熔敷金属化学成分

化学成分检测 3 组，包括母材、堆焊层，位置为堆焊层距母材表面高度，见表 4。

表 4 熔敷金属化学成分 (质量分数) (%)

试样编号及位置	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Nb+Ta	Cu	Ti	Fe
S1 母材	0.16	0.63	0.53	0.015	0.001	1.41	0.49	0.05	0.003	0.07	0.005	96.5
S1 堆焊层 3 mm	0.03	0.28	0.31	0.007	0.004	21.72	8.52	58.0	3.36	0.04	0.23	7.30
S1 堆焊层 6 mm	0.04	0.20	0.31	0.004	0.007	21.71	8.50	63.80	3.43	0.02	0.21	1.42
S2 母材	0.19	0.68	0.56	0.020	0.001	1.45	0.52	0.05	0.003	0.07	0.005	96.4
S2 堆焊层 3 mm	0.03	0.27	0.29	0.006	0.004	22.45	8.56	61.5	3.48	0.04	0.26	2.76
S2 堆焊层 6 mm	0.04	0.19	0.27	0.004	0.007	22.02	8.50	63.75	3.62	0.02	0.25	0.93
标准值 (面层)	≤0.10	≤0.50	≤0.50	≤0.015	≤0.015	20.0-23.0	8.0-10.0	≥55.0	3.15-4.15	≤0.50	—	≤7.0

1.4.3 弯曲、硬度试验

分别按 ISO 15614-7, NB/T 47014—2011 标准要求进行试验，弯曲、硬度试验结果见表 5，图 2；侧弯试样如图 3 所示。

表 5 弯曲、硬度试验结果

试样编号	取样位置	弯曲 ( $D=4t$ )	硬度 HV <sub>10</sub>			
			堆焊层 3 mm	堆焊层 6 mm	HAZ	母材
S1	堆焊层	侧弯 120°, 未裂	267	269	195	177
		侧弯 120°, 未裂	277	263	193	173
		侧弯 180°, 未裂	281	266	174	176
		侧弯 180°, 未裂	273	268	203	173
		侧弯 180°, 未裂	267	259	210	171
		侧弯 180°, 未裂	282	266	201	175
S2	堆焊层	侧弯 120°, 未裂	286	279	200	186
		侧弯 120°, 裂 1.0mm	263	279	203	179
		侧弯 180°, 裂 4 mm	277	269	214	179
		侧弯 180°, 裂 1.0 mm	299	286	204	182
		侧弯 180°, 裂 2.5 mm	277	278	201	180
		侧弯 180°, 裂 4.0 mm	281	271	219	183

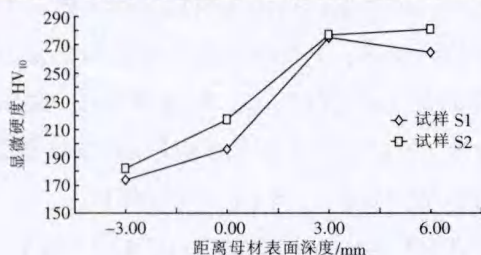


图 2 堆焊层断面硬度测试结果



图 3 堆焊弯曲试样外观形貌

1.4.4 金相检验

试样 S1 的宏观、微观检验均未发现缺陷，堆

焊层熔合良好。母材组织为 B+F，热影响区组织为 B+少量 F (图 4)；距母材 3 mm 处堆焊层组织为 A (图 5a)，距母材 6 mm 处堆焊层组织为 A (图 5b)。



图 4 试样 S1 的热影响区微观组织

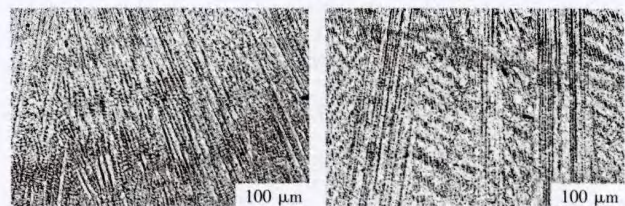


图 5 试样 S1 的堆焊层的微观组织

试样 S2 的宏、微观检验均未发现缺陷，堆焊层熔合良好。母材组织为 B+F，热影响区组织为 B (图 6)；距母材 3 mm 处堆焊层组织为 A (图 7a)，距母材 6 mm 处堆焊层组织为 A (图 7b)。

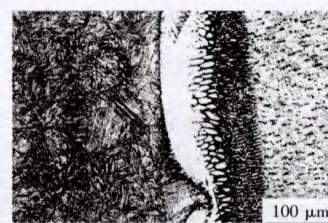
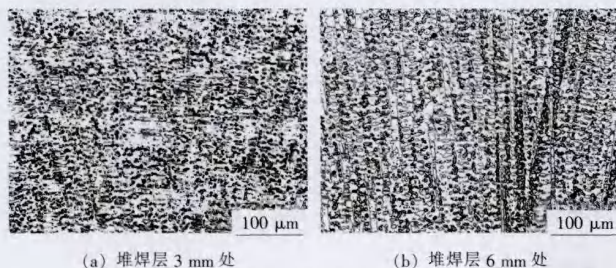


图 6 试样 S2 的热影响区微观组织



(a) 堆焊层 3 mm 处 (b) 堆焊层 6 mm 处

图7 试样 S2 的堆焊层微观组织

#### 1.4.5 晶间腐蚀试验

试样 S1 腐蚀试验按 ASTM G28 A 法进行, 其腐蚀率为  $1.48 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ , 最大晶间腐蚀深度为  $130 \mu\text{m}$ ; 试样 S2 腐蚀试验按 ASTM G28 A 法进行, 其腐蚀率为  $2.02 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ , 最大晶间腐蚀深度为  $127 \mu\text{m}$ 。

## 2 试验分析

### 2.1 保护气体对堆焊层力学性能的影响

为了评价堆焊层的综合力学性能是否能够满足 NB/T4 7014—2011《承压设备焊接工艺评定》、ISO 15614-7—2007《金属材料焊接工艺规范和评定 第7部分: 堆焊》的要求, 对采用 C1, M21 保护气体所焊试件, 各制作 2 组弯曲试样。

由表 5 可见, 保护气体为 C1 的试样按 ISO 15614-7 的要求侧弯  $120^\circ$  2 支、按 JB 4708—2000 要求侧弯  $180^\circ$  4 支, 均未裂; 保护气体为 M21 的试样侧弯  $120^\circ$  1 支开裂 (按 ISO 15614-7 评判合格, 其标准不允许有  $>3 \text{ mm}$  的单个缺陷), 侧弯  $180^\circ$  4 支均开裂 (NB/T 47014—2011 要求: 试样拉伸面上的堆焊层内不得有  $>1.5 \text{ mm}$  的任一开口缺陷, 在熔合线内不得有  $>3 \text{ mm}$  的任一开口缺陷), 按 NB/T 47014—2011 评判不合格。侧弯起裂位置在熔合线区域, 从图 2 可见, 保护气体为 M21 的试样熔合线区域的硬度高于保护气体为 C1 的试样熔合线区域的硬度, 其塑性和韧性呈下降的趋势, 弯曲容易开裂。

由表 4 可知, C1 气体保护焊过渡层 (堆焊层 3 mm)  $w(\text{Cr})21.72\%$ ,  $w(\text{Ni})58.0\%$ ; 混合气体 M21 保护焊 (堆焊层 3 mm)  $w(\text{Cr})22.45\%$ ,  $w(\text{Ni})61.5\%$ 。随着保护气体中  $\text{CO}_2$  含量的减少, 电弧气氛的氧化性降低, 过渡到焊缝中的合金元素含量增加, 熔敷

金属的淬硬性增大, 使熔敷金属的强度提高, 塑性和韧性有所下降, 易出现弯曲开裂现象。

### 2.2 晶间腐蚀

晶间腐蚀试验结果表明, 采用药芯焊丝气体保护焊焊丝 SNi6625 直径 1.2 mm, 其堆焊层具有良好的耐腐蚀性能, 能够满足设备技术要求; 药芯焊丝保护气体为 C1 的熔敷金属腐蚀率低于保护气体为 M21 的, 堆焊层耐腐蚀性能更好。

### 2.3 焊缝增碳问题

从试验结果来看, 采用  $\text{CO}_2$  焊与混合气体保护焊, 焊缝碳含量基本保持不变。焊缝的碳含量是增加还是减少主要取决于焊丝、母材的原始碳含量。在电弧高温下  $\text{CO}_2$  气体发生分解反应:  $\text{CO}_2 \rightarrow \text{CO} + \text{O}$ , 产生的氧有氧化性, 会使熔滴、熔池中合金元素、碳氧化、烧损。实心焊丝气体保护焊熔池没有良好渣壳的保护, 熔池与保护气体充分接触, 反应较完全, 会使焊缝增碳。而药芯焊丝  $\text{CO}_2$  气体保护焊是一种  $\text{CO}_2$  气体-焊剂联合保护焊方法, 兼有  $\text{CO}_2$  气体保护焊和焊条电弧焊的优点, 电弧稳定, 熔池有良好渣壳的保护, 保护效果好, 焊缝增碳不明显。

## 3 结论

(1) 在基材 1.7335 (1Cr-0.5Mo) 上, 采用气体保护药芯焊丝 SNi6625 直径 1.2 mm, 保护气体 C1, M21 堆焊, 堆焊层的组织为树枝状奥氏体, 堆焊层与基体熔合良好; 其堆焊层化学成分和综合力学性能均能满足 EN 规范要求, 腐蚀试验按 ASTM G28 A 法进行, 抗晶间腐蚀能力能够满足设备技术要求。

(2) 采用保护气体 C1, 其堆焊层综合力学性能、耐腐蚀性能优于采用保护气体 M21 堆焊层。

(3) 采用保护气体 C1, 其成本大大低于保护气体 M21, 大幅度降低了制造成本, 保证了堆焊质量。

### 参考文献:

- [1] 国旭明, 杨功斌. 保护气体对高强度熔敷金属组织与性能的影响[J]. 热加工工艺, 2012, 41(7): 141-142.
- [2] 王天先.  $\text{CO}_2$  气保药芯焊丝堆焊侧弯不合格原因分析[J]. 电焊机, 2010(2): 74-76.