

Hastelloy C—22 合金的焊接

银鹭重工有限公司锅炉技术部 (福建厦门 361111) 黄龙飞
 江联能源环保股份有限公司技术部 (江西南昌 330001) 王燕秋
 竣业过程机械设备有限公司技术部 (江苏江都 225267) 王 仓

【摘要】 阐述了 Hastelloy C—22 (以下简称 C—22) 合金的焊接性及焊接工艺特点, 并分别采用氩弧焊和焊条电弧焊进行试验, 证明在焊材选择及工艺参数制定合理的情况下, 两种焊接方法均能满足要求。

哈氏 C 系列合金是 Ni-Cr-Mo 合金, Cr 能在合金表面形成致密的氧化膜 (钝化), 提供抗氧化环境的能力, 而钼主要提供抗还原环境的能力, 因此 C 系列合金可以应用于既有氧化介质又有还原介质的环境中, 具有优异的抗恶劣腐蚀环境的能力, 是实现很多化工工艺不可或缺的材料。而在 C 系列合金中, C—22 合金比其他现有的 Ni-Cr-Mo 合金 (Hastelloy C—276、C—4、HAYNES 625 等) 拥有更好的总体抗腐蚀性能, 常用在热交换器、膨胀节波纹管、氯化系统、酸洗系统以及核燃料再生等场合, 因此, 探讨 C—22 合金的焊接工艺, 对更好地利用及推广 C—22 合金具有重要意义。

1. C—22 合金的焊接性分析

(1) 焊接热裂纹 镍基合金的主体元素是 Ni, 而 Ni 是促进热裂纹敏感性很高的元素, 可显著降低有害元素 (S、P) 的溶解度, 引起偏析, 又能与许多元素形成熔点很低的低熔化合物或共晶, 在应力的作用下, 有利于热裂纹的形成。因此, 应尽量限制母材和焊材中 S、P、C 的含量, 焊接之前, 应清除坡口及其附近 25mm 范围内含有能与 Ni 生成低熔共晶的元素 (S、P、Pb、Sn、Zn 等) 的污染源。焊接工艺应采用小的热输入, 严格控制层间温度。

(2) 气孔 镍基合金固液相温度间距小, 液态焊缝金属流动性差, 即使增大焊接电流也不能改进焊缝金属的流动性, 反而会起到有害作用, 在焊接的快速冷却凝固的条件下, 液态金属中的气体来不及逸出, 便容易形成气孔。所以, 焊前应清除坡口及近缝区的油污、氧化

物等杂物。为获得良好的焊缝成形及有利于液态金属中气体逸出, 可对焊枪进行小幅度摆动, 但摆动幅度不宜超过焊条或焊丝直径的 3 倍。

(3) 焊缝热影响区的腐蚀倾向 对于 Ni-Cr-Mo 系镍基合金来说, 焊材选择合理的前提下, 在某些特殊腐蚀介质中, 焊缝热影响区发生腐蚀的几率高于焊缝区。因为焊缝热影响区在高温状态下有可能会发生合金烧损, Cr、Mo 等碳化物沉淀, 引起晶界贫 Cr、贫 Mo 而造成在某些介质中的晶间腐蚀及应力腐蚀, 所以, Ni-Cr-Mo 合金焊接时, 应尽量缩短在高温的停留时间, 以避免 Cr、Mo 等元素损失。

2. 试验材料及工艺制定

(1) 试验材料 本次试验采用两副 C—22 试板, 其厚度均为 12.7mm, 第一副试板编号为 1[#], 其用到的焊丝为 ERNiCrMo—10, 规格为 $\phi 2.4\text{mm}$ 。第二副试板编号为 2[#], 其用到的焊条为 ENiCrMo—10, 规格为 $\phi 3.2\text{mm}$ 。各材料的化学成分及母材力学性能分别如表 1 和表 2 所示。

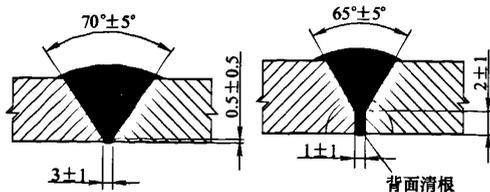
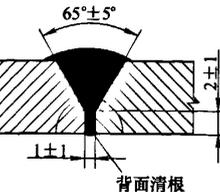
表 1 母材和焊材的化学成分 (质量分数) (%)

	C	Mn	Fe	S	Si	Ni
母材	0.004	0.21	3.77	0.001	0.05	57.36
焊丝	0.002	0.25	2.80	0.001	0.05	56.71
焊条	0.006	0.49	4.47	0.003	0.11	55.84
	Cr	Co	Mo	P	W	V
母材	21.64	0.51	13.29	0.003	3.02	0.01
焊丝	22.38	0.04	14.30	0.006	3.13	0.01
焊条	22.06	0.01	13.80	0.004	3.01	0.02

表2 母材力学性能

母材	抗拉强度	屈服强度	伸长率	硬度
	R_m /MPa	$R_{p0.2}$ /MPa	A (%)	HRB
Hastelloy C-22	745	385	61.5	85

(2) 焊接工艺制定 1[#]和2[#]试板分别采用氩弧焊和焊条电弧焊,其装配坡口图分别如图1和图2所示。

图1 1[#]试板装配坡口图图2 2[#]试板装配坡口图

装配之前,采用丙酮对坡口及其周围25mm范围内擦拭干净,焊接应尽量采用短弧作业,不摆动或稍微摆动,快速焊接,严格控制层间在90℃以下。1[#]试板焊接时反面采用99.999% Ar进行保护,并且在焊前约1min提前通入氩气。填丝过程中,焊丝不能与钨极接触或直接深入电弧的弧柱区,以免造成夹钨。焊接结束时,焊丝不应立即脱离氩气保护区,否则,再次焊接前,应将焊丝端头剪去,以免造成夹渣。收弧时,弧坑应填满,以免产生裂纹。2[#]试板焊接时,应尽量降低电弧的高度。正面焊接完成后,反面采用碳弧气刨加打磨方式清根,打磨去除的母材厚度不得<3mm。两副试板的具体焊接参数如表3所示。

表3 试板焊接参数

试板编号	焊接方法	焊接材料	焊接层次	焊接电流/A
1 [#]	GTAW	ERNiCrMo-10 ($\phi 2.4$ mm)	打底	90~100
			其他	100~110
2 [#]	SMAW	ENiCrMo-10 ($\phi 3.2$ mm)	打底	85~90
			其他	90~95
试板编号	电弧电压/V	焊接速度/ $\text{cm} \cdot \text{min}^{-1}$	层间温度/℃	气体流量/ $\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$
1 [#]	12~14	9~11	≤ 90	8~10 (正)
				15~20 (反)
2 [#]	22~25	20~28	≤ 90	8~10 (正)
				15~20 (反)
2 [#]	22~25	20~28	≤ 90	—
				—

3. 试板检验项目及结果

根据 JB/T 4756—2006《镍及镍合金制压力容器》规定,首先对1[#]和2[#]试板分别进行外观检查,并未发现裂纹、未熔合、咬边、氧化色等现象。然后对1[#]和2[#]试板分别进行射线与着色检查、化学成分分析、拉伸试验、硬度测试和弯曲试验,其试验分别如表4、表5、表6、表7及表8所示。

表4 无损检验项目及结果

试板编号	检验项目	检验标准	拍片数量	检验级别	结果
1 [#]	100% RT	JB 4730—2005	4张	I (3)、II (1)	合格
	100% PT	JB 4730—2005	—	I	合格
2 [#]	100% RT	JB 4730—2005	4张	I	合格
	100% PT	JB 4730—2005	—	II	合格

表5 焊缝的化学成分(质量分数)(%)

试板	C	Mn	Fe	S	Si	V
1 [#]	0.003	0.22	3.75	0.001	0.04	0.01
2 [#]	0.005	0.34	3.76	0.003	0.07	0.012
试板	Cr	Co	Mo	P	W	Ni
1 [#]	22.08	0.45	13.58	0.002	3.12	余量
2 [#]	22.01	0.48	13.20	0.001	2.95	余量

表6 拉伸试验结果

试板编号	试样编号	实验温度	抗拉强度 R_m /MPa
1 [#]	L1-1	室温	785
	L1-2	室温	785
2 [#]	L2-1	室温	780
	L2-2	室温	820

表7 硬度测试结果

试板编号	测试部位	硬度值 HRB
1 [#]	焊缝	87、84、89
	热影响区	75、80、85
2 [#]	焊缝	85、91、88
	热影响区	80、87、87

表8 弯曲试验结果

试板编号	弯曲类型	试样数量/个	弯曲角度(°)	弯心直径/mm	结果
1 [#]	侧弯	4	180	40	合格
2 [#]	侧弯	4	180	40	合格

4. 结语

(1) C-22 焊接时,采用氩弧焊和焊条电弧焊,焊材分别采用 ERNiCrMo-10 和 ENiCrMo-10,其力学性能、硬度、化学成分各项指标均能满足要求。

(下转第47页)

表6 焊接试验力学性能结果

编号	接头拉伸		全焊缝金属拉伸			侧弯	最高 HV ₁₀	低温冲击功 A _{KV} (-20℃) /J	
	R _m /MPa	断裂位置	R _{el} /MPa	R _m /MPa	A ₅ (%)			焊缝	热影响区
1	585	母材	535	660	24	未裂	224	44.7	47
2	525	母材	420	560	28.5	未裂	215	122	167
3	550	焊缝	405	565	29	未裂	229	173.3	50
4	580	母材	495	600	26	未裂	251	67	181
5	565	母材	515	635	26	未裂	303	107.6	58
6	—	—	635	715	52	—	312	—	—
8	—	—	500	645	26	—	220	—	—

各接头的试验结果表明:

(1) 从接头拉伸和焊缝金属拉伸试验结果可以看出, 各种接头的焊缝强度均高于母材标准值。

(2) 从对接接头冷弯试验和焊缝金属拉伸试验结果可以看出, 对接接头弯曲 180° 后受拉面均完好未裂, 所有焊缝金属的伸长率均满足母材标准要求, $A > 22\%$, 表明焊接接头的塑性良好。

(3) 各接头宏观断面酸蚀检验未发现裂纹等缺陷, 接头熔合良好。U 肋坡口角焊缝的熔透率为 90%, 高于设计要求。

(4) 从接头低温冲击功 A_{KV} (-20℃) 结果表明, 焊缝及热影响区的 A_{KV} (-20℃) 均大于 27J, 表明焊接接头的低温韧度良好, 满足设计要求, 且有较大储备。

(5) 接头各区的硬度值均低于 350HV₁₀, 在焊接过程中未产生脆硬组织。

(6) 通过焊缝化学成分分析, 表明所选焊接材料在成分上和母材基本匹配。

4. 圆柱头焊钉焊接工艺评定

圆柱头焊钉焊接工艺评定试验按照《建筑钢结构焊接技术规程》(JGJ81—2002) 进行, 焊接 10 个焊钉, 焊接接头形式及参数如表 7 所示, 经过外观检查合格后, 选取 5 个进行 30° 弯曲试验, 另外 5 个进行接头拉伸试验。弯曲试验照片见图 3, 拉伸试验接头照片见图 4, 力学性能试验结果见表 8。



图3 焊钉弯曲试验



图4 焊钉拉伸试验

表7 焊钉焊接工艺评定试验项目表

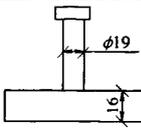
板厚组合 (材质)	坡口形式	位置 方法	焊接材料
ML15 焊钉 + 顶板 (Q345D)		平位 SW	ML15 焊钉及 配套磁环
焊接电流 /A	焊接时间 /s	焊钉伸出 长度/mm	极性
1680	0.9	5~6	直流正极性

表8 焊钉焊接接头力学性能试验结果

弯曲 30°	接头拉伸/kN (断于杆身)
完好	126, 122, 128, 130, 135

焊钉试验结果表明: ①试样弯曲至 30° 后焊接部位无裂纹。②接头拉伸拉力均 > 119.28kN, 且未在焊缝断裂, 符合《建筑钢结构焊接技术规程》(JGJ81—2002) 焊钉焊接工艺评定相关要求。

5. 结语

焊接工艺评定结果均能满足西屋堡钢箱梁制造规则和设计技术要求。施工实践表明本次焊接工艺评定对不同的焊接工艺因素进行了考虑, 涵盖了全部焊缝, 为制定焊接工艺指导书打下了基础, 在此基础上制定焊接工艺规程和工艺措施合理, 焊缝一次探伤合格率高, 保证了大桥的焊接质量达到优良水平。MW (20100112)

(上接第 43 页)

(2) C—22 的焊接, 应采用小热输入, 快速焊接, 严格控制层间温度, 缩短高温停留时间, 以避免产生热裂纹、热影响区晶间腐蚀等。

(3) C—22 焊接时一定要注意对材料的清洁及保护, 防止污染。MW (20091227)