



双相不锈钢换热器材料选用及焊接技术

杨亚辉

【摘要】 双相钢材料因其优异的耐蚀及强度性能，已普遍用于石油化工领域。通过对双相钢换热器的材料选用分析及其设备制造过程中的焊接技术的介绍，阐述针对该换热器材料选用注意事项及其制造焊接工艺和要点，为双相钢制设备的制造提供经验。

关键词： 双相钢；耐腐蚀；抗点蚀当量；金相试验

某石化公司压力过滤机改造项目中，需制造换热器备台，该设备主体材料为系列双向不锈钢。由于2205系列双相不锈钢屈服强度相当于一般奥氏体不锈钢的2~2.5倍，所以在设计阶段可以实现厚度薄型化和轻量化。以下从材料选择及焊接方面，对该双相钢换热器的制作进行详细介绍。

1. 设备简介

产品名称为废气冷却器，I类容器。其结构如图1所示。该设备要求按GB151—1999《管壳式换热器》及《固定式压力容器安全技术监察规程》进行制造和验收。对管程主要焊缝的无损检测A，B类焊缝进行100%的射线探伤，按照JB/T4730.2—2005标准的II级合格。主要设计参数如表1所示。

2. 材料选择

管程介质为废气（氮气、水蒸气、含微量可结晶固体及含腐

蚀性介质对甲基苯甲酸），选用具有耐蚀性能好的2205系列双相不锈钢作为管程主体材料。管箱筒体及封头为S22053、厚度12mm板材，换热管及接管为S32205牌号无缝钢管。从经济角度考虑，管板及设备法兰与介质接触部位采用堆焊E2209焊材，基层为16MnIV锻件。

（1）材料化学成分与力学性能 该设备选用的2205双相不锈钢板的化学成分如表2所示，

选用2205双相不锈钢换热管的化学成分如表3所示。

该设备选用2205双相不锈钢板的力学性能如表4所示，选用2205双相不锈钢换热管的力学性能如表5所示。

（2）耐腐蚀性 双相不锈钢耐均匀腐蚀的能力是保证设备长周期运行的重要因素，是标准奥氏体不锈钢的超级替换产品。钢的抗点蚀和缝隙腐蚀的性能主要由Cr、Mo和N的含量所决定，

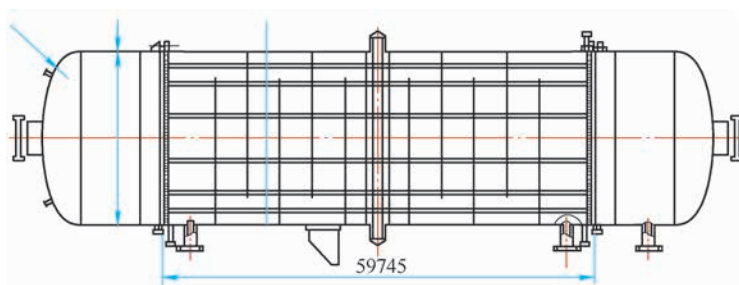


图 1

表1 设计参数

名称	设计压力/MPa	设计温度/℃	工作介质	最高操作压力/MPa	最高工作温度/℃
壳程	0.69	60/-19.5	冷却水	0.45	38
管程	0.70	190/-19.5	废气	0.4	151

表2 2205双相不锈钢板化学成分 (质量分数) (%)

C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Mo	N	Cu
0.016	0.39	1.36	0.001	0.021	22.5	5.71	3.12	0.18	—

表3 2205双相不锈钢换热管化学成分 (质量分数) (%)

C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Mo	N	Cu
0.025	0.43	1.42	0.001	0.025	22.36	5.22	3.16	0.18	—

表4 2205双相不锈钢板力学性能

非比例延伸强度/MPa	抗拉强度/MPa	伸长率 (%)	硬度 (HRC)
564	781	40	21

表5 2205双相不锈钢换热管力学性能

非比例延伸强度/MPa	抗拉强度/MPa	伸长率 (%)	硬度 (HRC)
680	835	30	20.5
670	830	35	21

用于衡量这个性能的参数为PRE值。该台设备用2205系列双相钢要求PRE值>35。按上述化学成分,选用的2205双相不锈钢板及换热管的点蚀当量满足此要求。

3. 焊接性分析

双相钢金相组织由铁素体和奥氏体组成,因此双相不锈钢兼有奥氏体及铁素体不锈钢的双重特性。由于双相不锈钢与奥氏体不锈钢相比,屈服强度是奥氏体不锈钢的2倍,热膨胀系数与碳钢相近,导热系数大,对晶间腐蚀不敏感,但在低温加热区会产生475℃脆化,在中温加热区850℃时,停留5min,会出现脆性的σ相沉淀析出,在高温区会有明显的晶粒粗化倾向,这些都将明显地降低钢的力学性能和抗应力腐蚀性能。而焊接过程的热输入,无法避免经过高温加热冷却过程。焊接热输入的大小,直接影响着焊缝和热影响区中铁素体的含量。热输入太小,不利于奥氏体析出;热输入太大,则会引起合金元素Cr、Ni、Mo的烧损,导致材料的耐腐蚀性能下降,力学性能恶化,不能得到良

好的相组织。因此,选择合适的焊接参数十分重要。

双相钢焊接重点关注其焊接接头组织,减少焊接过程中不均匀加热和冷却对双相钢焊接接头中铁素体和奥氏体的比例影响。根据本台设备特点,对于双相钢筒体焊接及管板堆焊选用焊条电弧焊,换热管与管板焊接采用钨极氩弧焊的焊接方法。

4. 双相钢板焊接

(1) 焊接方法 焊接坡口形式如图2所示。选用焊条电弧焊,焊材E2209,φ3.2mm、φ4.0mm,焊条熔敷金属化学成分如表6所示。

(2) 焊接参数 焊接参数如表7所示。施焊前,焊条应300℃

烘干2h,并置于保温桶内。坡口及两侧除油污。采用小规范多层多焊道焊接,层间温度<150℃。

(3) 产品焊接 产品焊接试板为500mm×150mm两件,点焊在筒体纵焊缝延长线上,并与筒体同时施焊。焊缝进行100%射线检测及100%着色检测,合格后按图3作试件准备。

(4) 金相检测 按ASTM A923 方法A,采用放大倍数至少为400的显微镜检查,合格指标:金相试验结果显示组织均匀,晶界无有害沉淀物和二次相。

采用AXIO金相显微镜,对焊缝、母材进行机械抛光,采用铁氰化钾,氢氧化钾水溶液侵蚀,其显微组织分别如图4、图5所示。

(5) 硬度检查 采用HV10硬度计,在距试验内外表面2mm的区域沿一直线各取8个点进行检查,要求硬度不超过HV310,位于热影响区和熔合区的检查

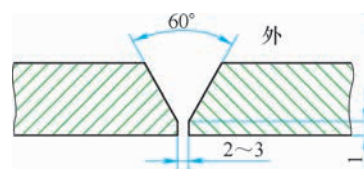


图2 坡口形式

表6 焊条E2209熔敷金属化学成分 (质量分数) (%)

项目	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Mo	N
标准值 (GB983—2012)	≤0.04	≤1.0	0.5~2.0	≤0.03	≤0.04	21.5~23.5	7.5~10.5	2.5~3.5	0.08~0.2
φ3.2mm	0.021	0.69	1.12	0.0065	0.015	22.51	8.7	3.01	0.16
φ4.0mm	0.023	0.71	1.18	0.005	0.014	23	9.02	3.19	0.16

表7 焊接参数

焊层	焊接材料	极性	焊接电流/A	电弧电压/V	焊接速度/mm·min ⁻¹
1	E2209、φ3.2mm	直流反接	100~120	20~23	130~160
2~4	E2209、φ4.0mm	直流反接	150~170	20~23	150~180

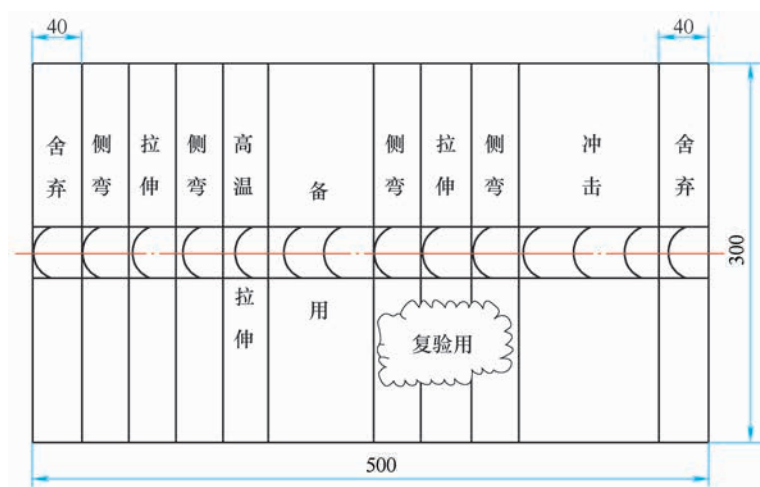


图 3

点应尽可能靠近。依据标准GB/T2654—2008，检测结果如表8所示。

(6) 铁素体含量检测 按GB/T6401点数法计算，并用磁性法测量做比较，合格指标为母材铁素体含量40%~60%；焊缝铁素体含量35%~60%，用点数法测量区域和测量次数如下：①焊缝两边的母材区厚度中间各测量1次（共2点）。②焊缝中心线的顶部、中部和根部各测量1次

（共3点）。焊缝、母材的铁素体含量如表9所示。

(7) 力学性能试验 分别做拉伸、弯曲及-40℃冲击试验，按NB/T47016—2011（JB/T4744）执行。各项力学指标合格（见表10）。

5. 管板堆焊

(1) 焊接方法 采用焊条电弧焊，焊材E309L、 $\phi 4.0\text{mm}$ （过渡层）+E2209、 $\phi 4.0\text{mm}$ （复层），焊条E309L焊条熔敷金属化学成分如表11所示。

(2) 焊接参数 堆焊焊接参数如表12所示。

(3) 焊接过程及检测 ①焊前彻底清除堆焊层表面的油污及杂质。②焊接过程应严格控制热输入，采用尽量小的焊接电流及较快的焊接速度。③过渡层及复层焊接完成后分别进行100%着色检测。④堆焊层表面进行铁素体含量检测，采用磁性法，每块管板不少于6点，合格指标为铁素体含量：40%~60%，堆焊层铁素体含量如表13所示。

表8 硬度结果 (HV10)

位置	焊缝	热影响区	母材	备注
内表面	254、268	235、254、292、249	268、249	合格
外表面	251、260	233、240、266、251	228、237	合格

表9 焊缝、母材的铁素体含量（质量分数）（%）

测量位置	第1点	第2点	第3点
焊缝	42.1	43.2	42.3
母材	47.2	49.5	—

表10 焊接接头的力学性能

材料	抗拉强度 /MPa	断裂位置	弯曲试验 (180°， $d=40\text{mm}$)	KV(-40℃)/J
2205 板厚12mm	770	母材	侧弯合格	58、56、55

表11 焊条E309L($\phi 4.0\text{mm}$)熔敷金属化学成分（质量分数）（%）

项目	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Mo	Cu
标准值 (GB983—2012)	≤ 0.04	≤ 1.0	0.5~2.0	≤ 0.03	≤ 0.04	21.5~23.5	12~14	≤ 0.75	≤ 0.75
实测值	0.036	0.77	1.55	0.003	0.020	24.5	13.2	0.23	0.01

表12 管板堆焊焊接参数

焊层	焊接方法	焊接材料	极性	焊接电流/A	电弧电压/V	焊接速度 / $\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$
1	SMAW	E309L $\phi 4.0\text{mm}$	直流反接	140~150	20~22	160~180
2	SMAW	E 2 2 0 9 $\phi 4.0\text{mm}$	直流反接	140~150	20~22	160~190



图4 焊缝金相组织（500×）

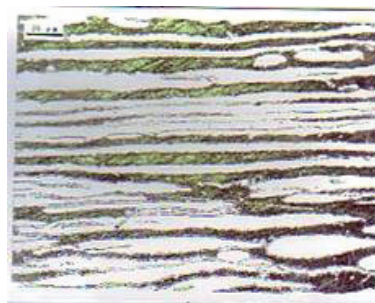


图5 母材金相组织（500×）

(4) 堆焊层金相检测 按 ASTM A923 方法A, 采用放大倍数至少为400的显微镜检查, 合格指标为: 金相试验结果显示组织均匀, 晶界无有害沉淀物和二次相。显微组织如图6所示。

6. 换热管与管板焊接

该台换热器其换热管规格为 $\phi 19\text{mm} \times 2\text{mm}$, 与管板连接方式为强度焊+贴胀。焊接坡口形式如图7所示。焊接方法选用钨极氩弧焊, 选用E2209焊丝, 其化学成分如表14所示。焊接参数如表15所示。

焊接过程注意事项: ①焊前坡口及两侧除油污。②氩气流量: $8 \sim 10\text{L/min}$, 喷嘴直径 12mm , 钨极直径 2.5mm 。③第一层焊接结束后, 用 0.05MPa 干空气加肥皂泡检漏。④采用磁性法测量接头铁素体含量, 测量点数为焊接接头的1%, 且不少于10点, 并应均匀取点。合格指标为铁素体含量 $35\% \sim 60\%$, 铁素体含量如表16所示。⑤焊接完成后, 对焊缝进行100%着色检测。

7. 结语

采用上述焊接方法及相应焊接参数, 设备施焊完毕, 焊缝经各项检测符合技术要求, 管头经水压试验后无一渗漏, 为2205双

表13 堆焊层铁素体含量 (质量分数) (%)

第1点	第2点	第3点	第4点	第5点	第6点
45.1	43.7	44.5	46.9	42.8	43.8

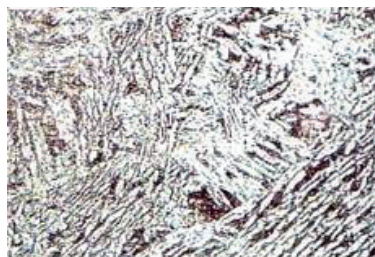


图6 堆焊层金相组织 (500×)

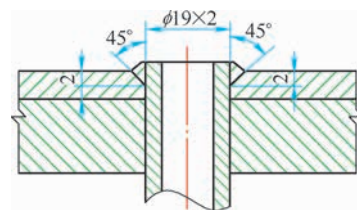


图7 坡口形式

表14 焊丝E2209 ($\phi 2.0\text{mm}$) 熔敷金属化学成分 (质量分数) (%)

项目	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Mo	N
标准值 (YB/T5092—2005)	≤ 0.03	≤ 0.9	$0.5 \sim 2.0$	≤ 0.02	≤ 0.03	$21.5 \sim 23.5$	$7.5 \sim 9.5$	$2.5 \sim 3.5$	$0.08 \sim 0.2$
实测值	0.024	0.47	1.51	0.006	0.02	23.39	7.9	2.8	0.13

表15 换热管与管板焊接参数

焊层	焊接方法	保护气体	极性	焊接电流 /A	电弧电压 /V	焊接速度 /mm·min ⁻¹
1	GTAW 自熔	氩气	直流正接	90~110	13~15	100~120
2	GTAW 填充焊丝	氩气	直流正接	90~110	13~15	100~120

表16 管头焊缝铁素体含量 (质量分数) (%)

第1点	第2点	第3点	第4点	第5点	第6点
40.1	41.2	39.8	40.5	43.1	44.7
第7点	第8点	第9点	第10点	第11点	第12点
43.7	44.5	44.8	39.5	45.9	49.3

相不锈钢制设备的制造和焊接提供可借鉴经验。

参考文献:

- [1] 张建勋, 等. 2205双相钢的焊接性研究综述[J]. 焊管, 2005, 28 (5): 6-10.

- [2] 岳斌, 等. 2205双相不锈钢的焊接工艺研究[J]. 化工机械, 2009, 36 (1): 5-8.

作者简介: 杨亚辉, 天津滨石化设备有限公司。

MW 20160522

诚邀您进入“焊接切割技术交流群”

长期以来, 关注“焊接切割联盟”微信的粉丝, 经常向小编咨询各种焊接切割技术方面的问题。由于小编知识有限, 无法一一为大家解答问题。因此, 为了更好地为广大粉丝排忧解难,

小编特组建“焊接切割技术交流群”, 邀请广大从事焊接切割专业的朋友进入我们大家庭, 共同分享经验, 解决问题!

加入方式: 添加小编为好友, 小编会邀请您进入该群。



扫描上方二维码, 加小编为好友!