

提高不锈钢容器焊接接头抗蚀性能工艺分析

杨世生

(山东新马制药装备有限公司 山东 淄博 255086)

摘要：不锈钢作为现阶段最常见的容器结构材料，基于其自身材质的特性，在实际使用过程中则会表现出相对较大的优势作用。但由于不锈钢容器的焊接接头常会接触到众多具有腐蚀性的介质，因此在这样的介质腐蚀下则会表现出严重的损坏现象，影响到不锈钢容器的使用效果。基于此，需要实施相应的措施，以提升不锈钢容器焊接接头的抗蚀性能。本文分别阐述了三种焊接工艺对焊接接头抗腐蚀性能的影响，通过对焊接接头进行性能检测，判断检测结果工艺的可行性，最终研究结果证明钨极氩弧焊加填丝焊接效果满意，最后全面探索有效的工艺措施。

关键词：不锈钢；焊接；抗蚀性能；工艺措施

0 引言

不锈钢是一种常见的金属材料，因为具有技术成熟、成本低等优点而成为各行业存储介质的首选方法。但是就目前研究认为，在不锈钢焊接过程中因为受到焊接热循环等因素影响，HAZ（焊接热影响区）的耐腐蚀性和组织结构会出现明显变化，可能会对焊接接头的性能产生影响。所以为了能够提高焊接质量，应该寻找到提升不锈钢容器焊接接头性能的合理方法，这也是本文研究的主要目的。

1 试验材料与试验方法

1.1 试验材料分析

为分袖不锈钢容器焊接接头性能变化情况，本文次研究中使用 SUS316 奥氏体不锈钢，该材料的厚度为 3.0mm。根据相关学者的研究可知，为提升焊接接头的抗腐蚀性能，在焊接期间应选择与母材相关元素含量相似的超低碳材料。为满足这一加工要求，在本次研究中选择了对应的焊丝，该焊丝的直径为 1.2mm，焊丝与母材的相关化学成分如表 1 所示。在焊接结束后对样本进行 X 射线探伤检测，根据探伤检测结果判断是否存在质量缺陷问题。

1.2 焊接工艺

在焊接之前，先对焊接面进行详细打处理，在对坡口位置进行打磨后可用丙酮彻底擦拭焊接部位，确保可清除焊接部位的油污等潜在质量缺陷。分别采用三种焊接方法进行加工，三种焊接方法的相关工艺参数如表 2 所示。

1.3 腐蚀状态评估

在按照表 2 的相关数据对材料进行焊接之后，获得试样材料，在焊接试板各取 30mm 试样（图 1），采用硫酸 + 硫酸铜 + 铜（屑）的方法对材料性能进行检测，在维持微沸状态 16h 进行质量评估，在腐蚀后经显微镜判断其腐蚀状态。

电化学腐蚀试验是评估其抗腐蚀性能的重要标准，在本次检测中采用常规三电极体系进行评估，选择参比电极为饱和甘汞电极，使用 Pn 为辅助电极，检测到电解质参数为 1mol/L。试验中通过恒电位仪对腐蚀部位进行扫描，设定扫描速率为 50mV/min，电位范围为 -600 ~ 1200mV，记录扫描过程中发现的电流变化情况，将相关数据绘制成曲线图。

在计算腐蚀速率中，可按照公式（1）进行计算。

$$\text{腐蚀速率} = \frac{K\Delta m}{Atp} \tag{1}$$

式中： t — 暴露时间（h）；

A — 暴露面积（ cm^2 ）；

Δm — 失重（g）；

p — 密度（ g/cm^3 ）；

K — 常数。

表 1 母材与焊丝的化学成分资料表（部分）

材料	Si	Ni	Mo	Mn
母材	1.00	10.0 ~ 14.0	2.0 ~ 3.0	2.00
焊丝	0.036	12.29	2.44	1.75

表 2 三种焊接工艺的数据参数资料表

焊接工艺	焊接电流 I/A	焊接电压 U/V	焊接速度 / (mm/s)	坡口角度 / °
钨极氩弧焊	120 ~ 130	20 ~ 22	2.0 ~ 2.1	—
熔化极钨极氩弧焊	110 ~ 120	20 ~ 22	3.0 ~ 3.3	60
钨极氩弧焊加填丝	135 ~ 140	20 ~ 22	1.6 ~ 1.8	60

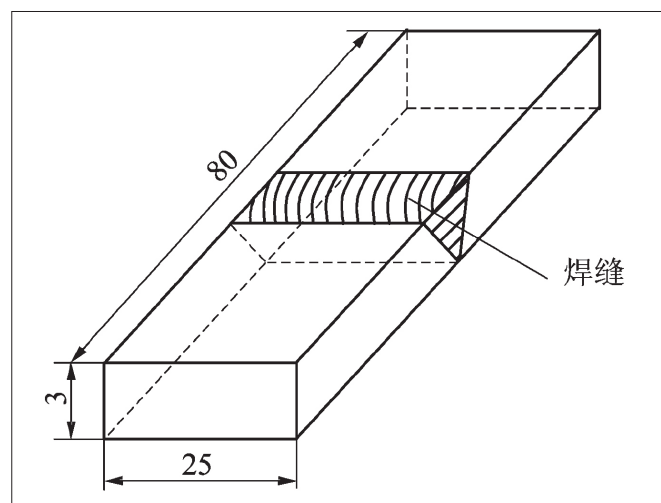


图1 取样方案

2 试验结果分析

2.1 晶间腐蚀分析

在本次研究中分别对三种焊接工艺在硫酸+硫酸铜+铜(屑)溶液中的晶间腐蚀形态进行分析后,最终探查结果显示,晶间腐蚀前后的焊缝存在明显的微形态变化,其中,在钨极氩弧焊焊接方法下,通过观察发现抗晶间腐蚀性能下降明显,微观观察发现沿晶界有明显的腐蚀沟壑现象(图2)。

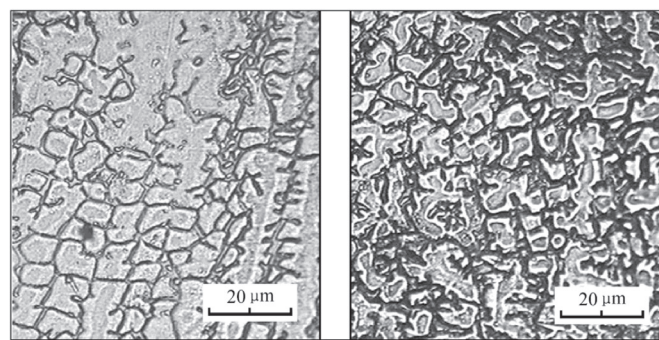


图2 晶间腐蚀示意图

出现这一结果的原因可能为:在采用钨极氩弧焊焊接工艺时,因为对母材的输入热量值较高,所以在焊接过程中更冗余造成母材的融化,进而形成了较大的焊缝区域;当焊缝快速冷却时,随着温度的下降会导致沿晶间隙位置析出大量的铁、铬等微量元素,所以在焊接接头抗腐蚀性能分析中,可以发现大量的腐蚀沟壑现象,这些沟壑具有宽而深的特征,呈网状均匀分布在焊接接头位置。相比之下,熔化极钨极氩弧焊在焊接过程中因为焊丝做电极,因此出现严重的焊丝融化现象,此时焊缝热输入量增加,经焊丝过渡后,会导致焊缝区域内的铬、镍等元素含量增加,所以可以降低晶界周围发生的偏析等质量缺陷。而在微观检查中,也没有发现晶界周围出现严重的腐蚀现象。最后,在钨极氩弧焊加填丝工

艺中,因为镍、铬等元素含量明显提升,没有发现严重的腐蚀沟,但是因为焊丝融化过程中热量散发的更加均匀,所以焊缝中的热输入量更小,此时奥氏体晶粒规格要明显小于熔化极钨极氩弧焊工艺,其晶界增加,在单位面积检测上发现晶界上的碳化物析出不明显,晶间腐蚀情况与熔化极钨极氩弧焊工艺相比更理想。

根据上文的研究发现,在焊接工艺的选择中,钨极氩弧焊加填丝工艺的抗腐蚀性能更理想。

2.2 电化学腐蚀分析

在计算电化学腐蚀问题中,可以按照公式(2)计算。

$$\Delta W = \frac{(E_c - E_a)t_e}{96500AR} \quad (2)$$

式中: ΔW — 阳极腐蚀量 (g/cm^2);

A — 阳极面积 (cm^2);

t — 腐蚀时间 (s);

E_a — 阳极电位 (V);

E_c — 阴极电位 (V);

e — 阳极金属克当量 (g);

R — 电阻 (Ω)。

该方法主要通过腐蚀电流的大小来判断接头抗腐蚀性能变化情况,一般认为,致钝电流不同,腐蚀电流越小则证明抗腐蚀性能越理想。根据腐蚀电流的变化情况可以发现,三种焊接工艺的抗电化学腐蚀性能从弱到强的排序分别为:钨极氩弧焊<熔化极钨极氩弧焊<钨极氩弧焊加填丝。出现这一结果的原因为:在钨极氩弧焊加填丝与熔化极钨极氩弧焊工艺中,焊接人员可通过焊丝向焊缝中添加了一定的镍与铬等金属之后有助于改善焊缝的状态,例如,有助于改善焊缝区晶界位置的显微偏析现象等,同时随着铬元素含量提升本身有助于增强接头的抗腐蚀性能。

从另一角度来看,焊缝区域的热输入量变化本身会导致合金成分出现显微偏析,这一因素也会影响腐蚀动力学变化。在焊缝区域内组织的不均匀程度会改变表面钝化膜的状态,若焊缝组织结构均匀且无异常时,焊接过程中表面所形成的钝化膜具有更强的抗腐蚀性能;若焊缝区域的合金元素发生了严重的偏析现象后,会导致焊接部位的钝化膜功能衰弱,其抗腐蚀性能受到影响。

对三种焊接工艺进行对比,因为钨极氩弧焊只是母材熔化后形成的焊缝区,所以在该部位可能会出现严重的母材熔化问题,此时因为高温停留时间长,所以焊接过程中会形成大量析出物,这是影响其抗腐蚀性能的重要原因,同时在其形态进行评估后发现,在母材-熔合线-焊缝位置上的宏观成分几乎无变化情况,再加之晶界面积在总面积中的占比较小,所以在微观上难以识别偏析。

因此,从电化学腐蚀的角度来看,钨极氩弧焊加填丝与熔化极钨极氩弧焊技术的焊接接头抗腐蚀性能整体优于钨极氩弧焊技术。

3 提升不锈钢容器焊接接头抗蚀性能的工艺分析

3.1 优化整体焊接工艺

在结合固定的不锈钢母材和其实际的工作环境进行综合分析之后,对焊接材料实施科学合理的选择之后,需要注重对不锈钢容器的焊接接头实施必要的焊接工艺优化。在正式焊接施工中,一般需要应用到较小的焊接电流,并同时形成速度较快的焊接效果。在完成一次焊接后,需要及时检验焊接缝,避免出现过宽的焊接缝问题。同时需要注重焊接的接弧方式,一般需要应用到短弧焊接的方式,并且需要注意,在焊接过程当中对焊条的固定,避免出现横向摆动的问题,并保持持续稳定的直线前进焊接进度。

对不锈钢容器的焊接接头实施焊接时,如若遇到多层结构的焊接,则需要注意分层清理不锈钢结构,保障在完成一层的焊接工作后,及时对掉落焊渣进行彻底清除处理,并形成完全冷却的效果之后再次实施下一层的焊接处理,这样能够保障不锈钢容器的各层之间形成固定且合理的温度效果,避免出现过热现象影响到焊接效果。同时为了能够在焊接中形成高效的焊接效果,则需要能够保障焊接头的冷却速度,可以以外力作用的方式加速焊接接头冷却,一般情况下则会应用到冷水或是垫板的不同方式实施处理。以更加快速的冷却效果保障焊接密度与硬度。

焊接接头处所产生的焊接缝需要接触到腐蚀介质,这样的应用环境要求避免其在温度过热下造成晶间腐蚀问题,则需要保障在最后环节实施焊接处理。完成焊接后,为了能够形成更加良好的抗腐蚀作用,可以应用到固溶方式或是对不锈钢容器的焊接接头实施稳定处理,强化其基础性质,并应用到酸洗钝化的方式,保障其能够呈现出良好的抗蚀性能。

3.2 合金化应用

在不锈钢材料中增加合金化材料,可以有效使不锈钢焊接接头在合金化元素的作用下提高其抗蚀性能。经过相关研究表明,钼元素和镍元素都具有较强的抗腐蚀性能,在不锈钢材料中添加钼元素和镍元素这类合金化

元素可以有效改善不锈钢材料内部的液态共晶状态,进而提高不锈钢接头的抗蚀性能。

与此同时,合金化元素中的硅元素和铝元素在氧化反应过程中,其布斯自由能会相对降低,进而形成可以保护不锈钢材料的氧化硅和氧化铝。并且,硅元素和铝元素还可以有效在不锈钢材料的内部氧化层中聚集,使不锈钢氧化层的密实度得以提高,在合金化元素聚集的过程中可以有效减缓氧的扩散速率,进而提高不锈钢焊接接头的抗高温能力和抗氧化能力,进一步提高其抗蚀性能。

另外,在不锈钢材料中加入 Cr 合金元素可以有效提高其电极电位,使其抗腐蚀能力增强。合金元素的使用可以使不锈钢接头表面形成一层稳定的钝化膜,对不锈钢做钝化处理,将不锈钢中活泼的金属表层反应转化成惰性的表层,阻隔其与外界具有破坏性物质的接触,减少不锈钢焊接接头表面发生反应,提高其抗蚀性能。

4 结语

不锈钢容器的广泛应用,为各行各业形成良好的发展助益,但是在实际当中,由于长时间接触腐蚀性介质,因此将会产生一定的腐蚀问题,最终影响到不锈钢容器的使用寿命,尤其是针对于焊接接头来讲,更容易出现腐蚀问题,因此,需要以更加有优化的工艺措施提升不锈钢的抗蚀性能,才能够形成良好的应用效果。

参考文献:

- [1] 王超冉,李东.铁素体不锈钢/16Mn 钢厚板异种钢电子束焊接接头的组织与冲击韧性[J].机械工程材料,2022,46(02):35-42.
- [2] 张德文,李兰现,王洪亮,等.12Cr 超级马氏体不锈钢焊接性及工艺特点[J].科学技术创新,2022(05):42-45.
- [3] 郭猛,胡立国,刘海伟,等.焊接参数对轨道交通车辆不锈钢磁控电阻点焊的影响[J].城市轨道交通研究,2022,25(02):43-46.
- [4] 毛晓军.浅析不锈钢管道施工的焊接变形控制[J].中国设备工程,2022(02):113-114.

作者简介:杨世生(1984-),男,汉族,山东莒县人,本科,工程师,研究方向:制药装备不锈钢容器焊接加工。