

要根据 Schaeffler 组织图和 Tomman 理论 $n/8$ 定律来确定焊条的成分以满足对焊缝金相组织的需要。

理想的过渡层焊缝组织是 $\gamma + (5\% \sim 10\%) \delta$ 铁素体, δ 铁素体含量太多时, 在高温下容易转变为 σ 脆性相, 反而降低焊缝的抗裂性和抗晶间腐蚀性能^[9]。过渡层焊接材料宜选择 25-13 型(即 Cr 含量在 25% 左右, Ni 含量在 13% 左右的合金材料), 以补充母材对它的稀释^[9]。当焊缝稀释率小于 30% 时, 根据 Schaeffler 图可确定过渡层焊缝为 $\gamma + (5\% \sim 10\%) \delta$ 铁素体组织。因此, 本试验选用中国大西洋 25-13 型超低碳 CHS062 奥氏体不锈钢焊条作为过渡层焊缝的焊接材料, 采用 J427 焊条作为盖面层的焊接材料。用 J427 焊条盖面层是因为: 首先, 用 J427 焊条焊接 20 钢, 符合等强度接头设计原理, 可以形成等匹配焊接接头, 从而满足焊接接头所必须的强度和刚度的要求; 其次, J427 属于低氢型焊条, 焊缝中的含氢量极低, 从而使焊缝金属有很好的抗冷裂纹能力以及很好的塑性和韧性。

以 $\phi 56$ mm 管径为例, 焊接接头坡口形式如图 1 所示, 为 V 型坡口, 间隙 2.0 mm, 钝边 0.5 mm(即衬层厚度), 坡口角度 70° 。焊接工艺参数如表 1 所示。

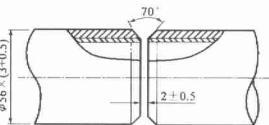


图1 焊接接头坡口形式

表1 焊接工艺参数

焊接材料	层次	焊接电流/A	焊接电压/V	电源极性
CHS 062, $\phi 2.5$	第1层	58~67	25~30	直流反接
J427, $\phi 3.2$	第2层	82~86	23~28	直流反接

2 焊接接头性能分析

复合管焊接接头的性能关键取决于过渡层(即第1层)焊缝, 盖面层用 J427 焊条作为填充材料, 焊缝性能是合格的, 通过对过渡层焊缝性能的研究分析, 即可确定所选焊接工艺的合理性, 焊接接头组织性能检测部位如图 2 所示。



图2 焊接接头组织性能检测部位示意图

2.1 过渡层焊缝金相组织分析

过渡层焊缝中心部位(图2中的1区)的金相组织如图3所示(试样用10%草酸水溶液电解腐蚀, 腐蚀电压 6 V, 电流密度 $0.05 \sim 0.1 \text{ A/cm}^2$, 时间 $20 \sim 30 \text{ s}$)。

可看出, 过渡层均为 $\gamma + \delta$ 双相组织。光镜照片中, 白色的是 γ 基体, 黑色的是 δ 铁素体; 电镜照片中, 黑色的是 γ 基体, 白色的是 δ 铁素体, δ 铁素体以粒状为主, 还有少量为蠕虫状。按 GB1954-80“铬镍奥氏体不锈钢焊缝铁素体含量测量方法”中金相法的规定测定的 δ 铁素体含量在 $6\% \sim 8\%$ 之间, 是理想的焊缝组织。

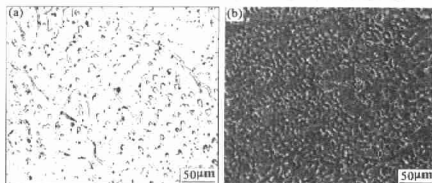


图3 过渡层焊缝金相组织(a-光镜图; b-SEM图)

2.2 过渡层焊缝 EDS 成分分析

图3(b)区域的能谱(EDS)化学成分分析结果见图4。可看出, 过渡层焊缝 Cr、Ni 含量和 0Cr18Ni9 母材基本一致, Cr、Ni 含量分别为 21.41% 和 10.71%。Cr 的含量已超过 12.5%, 根据 Tomman 理论的 $n/8$ 定律, 焊缝已达到与 18-8 钢同一电极电位区。因此过渡层焊缝的化学成分是比较理想的。

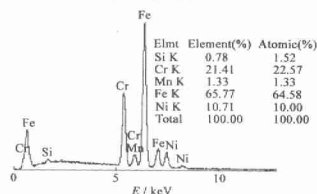


图4 过渡层焊缝 EDS 化学成分分析

2.3 焊接接头 EDS 线扫描分析

通过 EDS 线扫描分析, 可以对焊接接头熔合区整体的成分分布规律进行分析, 有助于准确把握熔合区的情况, 进而对焊接接头整体性能作出判断。沿图2所示的线扫描部位对过渡层焊缝与 0Cr18Ni9 不锈钢母材界面进行的 EDS 线扫描分析, 结果如图5所示。

图5(a)从左到右依次为过渡层焊缝、熔合区和 0Cr18Ni9 母材, 图中白色条虫状的组织是沿奥氏体晶界分布的 δ 铁素体, 黑色的是奥氏体基体。熔合区组织中, 交互结晶区清晰可见, 奥氏体晶粒为等轴晶, 这种金相组织保证了熔合区的抗裂性能和抗晶间腐蚀性能, 是理想的金相组织。沿图中细线位置进行扫描, 结果对应于图5(b)。图5(b)中竖线为熔合线位置, 其左、右分别为焊缝和不锈钢母材的元素含量分布。可看出, 焊缝、熔合区和 0Cr18Ni9 母材的合金元素含量基本一致, 说明了从过渡层焊缝到 0Cr18Ni9 母材的冶金结合

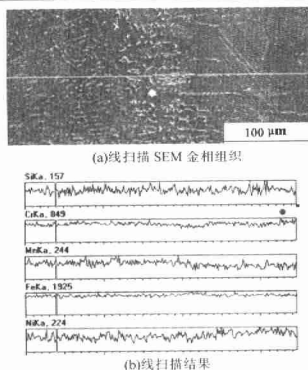


图5 焊接接头EDS线扫描

是良好的,这就保证了焊接接头的强度和抗腐蚀性能与不锈钢母材基本相同。因此,从EDS线扫描分析也说明了焊接工艺的选择是合理的。

2.4 焊接接头力学性能分析

拉伸试验按GB2651-89“焊接接头拉伸试验方法”进行,结果如表2所示。可看出,焊接接头的 σ_b 值为426~464 MPa,都介于20钢的410 MPa和0Cr18Ni9奥氏体不锈钢的520 MPa之间。拉伸试验的断口均在母材上,离熔合区均有一定距离,说明焊接接头基本上属于等强度匹配接头,可满足20/0Cr18Ni9复合管实际使用要求。同时也说明,从强度角度讲,熔合区的组织和性能是合格的,并非薄弱环节。

表2 焊接接头拉伸试验结果

试样编号	σ_b /MPa	断裂位置	断口距熔合线距离/mm
1	458	母材	16
2	464	母材	19
3	438	母材	20
4	426	母材	21

(上接第35页)

4 结论

(1)通过正交试验,得到X70弯管的推荐工艺参数为:加热温度1050℃,冷却速度20℃/s,推进速度30 mm/min,回火温度530℃。

(2)随加热温度的升高,弯管力学性能的变化趋势是强度增加,韧性降低。当加热温度在950~1050℃时,X70弯管可获得较好的强韧水平。

(3)随冷却速度的增加,X70弯管的强韧性增加。当冷却速率为30~40℃/s时,X70弯管可获得较好的

3 结论

(1)采用手工电弧焊方法和超低碳CHS062奥氏体不锈钢焊条焊接20/0Cr18Ni9复合管的过渡层焊缝,焊缝、熔合区和0Cr18Ni9母材的化学成分基本一致,从而保证了焊接接头与不锈钢母材基本相同的抗腐蚀性能。

(2)过渡层焊缝组织为 $\gamma+\delta$ 双相组织, δ 铁素体形状为粒状,含量为6%~8%,是比较理想的焊缝金相组织,能有效提高焊缝的抗晶间腐蚀和抗热裂性能。

(3)焊接接头的 σ_b 值介于20钢和0Cr18Ni9母材之间,属于等强度匹配接头,可以满足20/0Cr18Ni9复合钢管实际使用要求。

因此,本研究确定的手工电弧焊方法以及相应的焊接材料和焊接工艺参数是适合于薄不锈钢内衬20/0Cr18Ni9复合管的焊接工艺,符合复合管实际使用工况的要求,是合理的焊接工艺选择,具有很强的工程实用性。

参考文献:

- [1] 白天海,熊瑞莲,张恒,等. 不锈钢复合管焊接方法[P]. 中国:CN 1354061A, 2002-06-19.
- [2] 张其恒, 堵庭庭. 不锈钢焊接[M]. 北京:机械工业出版社, 2000.484-485.
- [3] Luo W. The corrosion resistance of 0Cr19Ni9 stainless steel arc welding joints with and without arc surface melting [J]. Materials Science and Engineering, 2003, A345:2-3.
- [4] Folkhard W. Welding metallurgy of stainless steel [M]. Wien: Springer-Verlag, 1988.125-143.
- [5] 中国机械工程学会焊接学会. 焊接手册第2卷(第2版)[M]. 北京:机械工业出版社, 2001.807-808. [3]

(责编/责校:姜鸿恩)

强韧水平。

(4)X70弯管弯曲段在经受不同温度的回火后,其拉伸性能和冲击性能变化幅度较小。当回火温度在530~550℃时,弯曲段有较好的强韧配合。

(5)弯管在加工过程中的推进速度对性能有一定的影响,随推进速度的提高,弯管的强韧水平提高,当推进速度为30 mm/min时,可得到较好的强韧水平。[3]

(责编/责校:姜鸿恩)