

浅析SAF2205双相不锈钢焊接工艺

侯延斌

【摘要】 本文通过分析双相不锈钢SAF2205的材料特性，研究此类材料的焊接特性。通过实际操作，研究总结了其焊接工艺特点，制定了焊接工艺，通过开展焊接工艺评定验证了焊接工艺的正确性。将该工艺应用于实体工程，确保了焊接质量，提高了施工效率。

关键词： 双相不锈钢；焊接；工艺

1. 概述

双相不锈钢由铁素体和奥氏体组成，同时具有铁素体不锈钢导热系数高，热膨胀系数小，超塑性好和奥氏体不锈钢良好的耐点蚀及耐氯化物应力腐蚀能力等优点，制造过程是通过正确控制各合金元素比例和热处理工艺，使其固溶组织中铁素体相和奥氏体相各约占50%，从而保持了奥氏体不锈钢和铁素体不锈钢的共同优点。此类钢材对焊接工艺要求极为严格，焊接工艺控制不好，就会使焊缝及热影响失去双相不锈钢固有的双相组织比例，导致焊缝及热影响区的综合性能下降。

2. SAF2205双相不锈钢管的性能特点

SAF2205双相不锈钢对应我国标准牌号为022Cr23Ni5Mo3N，其主要化学成分和主要力学性能如表1、表2所示。

SAF2205双相不锈钢中含有钼元素，在低应力下有良好的耐氯化物应力腐蚀性能。一般18-8型奥氏体不锈钢在氯化物溶液中容易发生应力腐蚀，而双相不锈钢却有良好的抵抗能力，同时还具有良好的耐腐蚀疲劳和磨损腐蚀性能，有较高的强度和疲劳强度，屈服强度是18-8型奥氏体不锈钢的两倍，SAF2205双相不锈钢与奥氏体不锈钢相比，导热系数大，线膨胀系数小，焊接过程中焊接变形比18-8型奥氏体不锈钢小。

3. SAF2205双相不锈钢焊接性分析

(1) SAF2205双相不锈钢

焊接的难点就在于其焊接接头是否仍能获得与母材相同或相近的两相组织，这也是保证焊接接头及热影响区是否具有与母材同样性能（包括力学性能和耐腐蚀性能等）的关键所在。

(2) 合理设计焊接接头，避免腐蚀介质在焊接接头部位聚集，降低或消除应力集中，消除或降低焊接接头残余应力，为此结构设计时要尽量采用对接接头，避免十字交叉焊缝。

(3) 采用小的热输入，即小电流，大的焊接速度，减少横向摆动，待前一道焊缝冷却到层间温度要求范围之内，再焊下一道，避免焊缝高温停留时间过

表1 SAF2205化学成分（质量分数） (%)

C	Cr	Ni	Mn	P	S	Mo	Si	N
≤0.03	22~23	4.5~6.5	≤2.0	≤0.03	≤0.02	3.0~3.5	≤1.0	0.14~0.20

表2 SAF2205力学性能

抗拉强度/MPa	屈服强度/MPa
≥655	≥450

长,防止出现 δ 相和475℃脆化。

4. SAF2205 双相不锈钢焊接工艺

(1) 焊前准备 为了取得优良的焊接接头,施工人员必须掌握双相不锈钢的焊接特性和注意事项,施工之前对施工人员从施工的整个过程,对每个环节进行详细的技术交底。采用机械加工的方法,对坡口及两侧20mm范围内氧化膜、油污等进行清理打磨。焊接坡口形式为V形,钝边为0~2mm,坡口角度为 60° ~ 70° 。

(2) 焊接方法 根据工程特点,对双相不锈钢管道采用钨极氩弧焊和焊条电弧焊的焊接方法。钨极氩弧焊采用直流正接,钨极氩弧焊的特点是焊接质量优良,焊缝成形美观,广泛用于管道的封底焊缝及薄壁管道的焊接。焊条电弧焊采用直流反接,焊条电弧焊是最常用的焊接方法,其操作灵活方便,并可实现全位置焊接。钨极氩弧焊的保护气体采用纯度 $>99.99\%$ 氩气,管道封底焊时,对其根部进行充氩保护,焊缝厚度 $>5\text{mm}$ 时可停止根部充氩保护。

(3) 焊材的选择 通过分析SAF2205双相不锈钢的化学成分和力学性能,为保证焊接接头组织性能满足要求,一般选用与母材成分相同或相近的焊接材料。由于含碳量对抗腐蚀性有很大的影响,因此熔敷金属含碳量不应高于母材。选用适合的焊接材料不会发生焊接热裂纹和冷裂纹,通过分析选用焊条E2209(化学成分见表3)和氩弧焊焊丝ER2209(化学成分见表4)。

表3 E2209焊条化学成分标准值和复验实测值(质量分数) (%)

成分	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	N
标准值	≤ 0.03	≤ 0.90	0.50 ~ 2.00	≤ 0.030	≤ 0.030	21.50 ~ 23.50	7.50 ~ 9.50	2.50 ~ 3.50	≤ 0.75	0.08 ~ 0.20
实测值	0.024	0.62	1.07	0.014	0.006	23.00	9.07	3.22	0.014	0.15

表4 ER2209焊丝化学成分标准值和复验实测值(质量分数) (%)

成分	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	N
标准值	≤ 0.03	≤ 0.90	0.50 ~ 2.00	≤ 0.030	≤ 0.030	21.50 ~ 23.50	7.50 ~ 9.50	2.50 ~ 3.50	≤ 0.75	0.08 ~ 0.20
实测值	0.016	0.45	1.38	0.012	0.002	21.86	8.50	3.19	0.042	0.16

焊材使用前必须复验合格后方可使用,保证熔敷金属的化学成分及力学性能。同时应测定铁素体体积分数。

(4) 焊接参数的选择 焊接热输入的大小,在焊接双相不锈钢过程中起非常重要的作用。焊接参数决定焊接热输入的大小,它不仅能影响焊缝金属中合金元素的分配,而且影响焊缝金属的两相比和焊接接头的力学性能和耐腐蚀性能,具体大小要根据焊材规格和焊件厚度选择。

双相不锈钢焊接过程中层间温度的控制极为重要,通过研究分析,双相不锈钢在 $450\sim 850^{\circ}\text{C}$ 温度区间是焊缝金属的晶间腐蚀敏感温度区间,在焊接过程中应尽量减少在此温度区间的高温停留时间,加快冷却速度,防止出现 δ 相和475℃脆化,避免晶间腐蚀裂纹的发生倾向。通过分析,层间温度控制在 $\leq 80^{\circ}\text{C}$ 最佳,由于不锈钢的导热能力比普通钢材差,所以焊接过程中需要采取一定的措施快速降低层间温度,来提高生产率,细化晶粒组织,提高焊缝的综合性能。

(5) 焊接工艺评定 根据

工程需要,进行了不同规格及不同焊接方法的焊接工艺评定,对工艺评定试件进行了拉伸、弯曲、金相、晶间腐蚀等试验。通过试验结果分析,预制定的焊接工艺合理,工艺评定结果合格(见图1)。通过焊接工艺评定报告的各项工艺参数,编制焊接工艺规程,应用于实际工程中。

5. 操作要点

(1) 双相不锈钢的清理 必须使用不锈钢专用磨光片进行打磨清理。双相不锈钢施工过程中严禁与其他碳钢材料进行接触,应做好隔离防护,包括焊接过程中地线的接触必须使用不锈钢专用地线夹(见图2)。

(2) 定位焊 应使用双相不锈钢边角料切割形成的卡块进行定位焊(见图3),待打底焊



图1 焊接工艺评定试样

(下转第34页)



图3 Virtual Welding 焊接模拟平台

式编码的标记印制在手册的每一页上。如果读者想要查看任何附加信息，仅需使用智能手机或平板电脑的摄像头扫描上述编码标



图2 不锈钢地线夹的使用



图3 对口定位焊

完成之后使用磨光机切除。切除不应损伤母材，并将其残留焊疤清除干净、打磨修整。

(3) 层间温度控制 焊接过程中，每焊完一道焊缝再进行下

记，随后相关应用软件便会提供有关虚拟焊接、焊接工艺三维模拟和虚拟焊工培训最主要优势的视屏。此测试程序可帮助用户以一种有趣的方式从根本上理解焊接工艺。这种游戏可向用户传授初步的焊接经验。计分制度和不同的等级可提升用户的学习积极性。安卓和苹果用户均可免费使用 Virtual Welducation Basic 应用。

WeldConnect: 寻找解决方案的应用

伏能士的 WeldConnect 应用，可帮助用户确定特殊手动焊接应用所需的适当焊接参数。用户仅需输入正在使用的电源和焊

接工艺、材料厚度、焊接速度、焊缝结构及母材、填充金属和保护气体。可通过手动或使用智能手机扫描材料表面的二维码来进行数据录入。WeldConnect 可应用此数据迅速准确地计算熔敷效率和能量输入，并提出适当的焊接解决方案；而不再需要查看电源或了解正确的参数。可将存储后的结果以作业形式无线传输至 TPS/i 电源或通过电子邮件发送给朋友和同事实现共享。此应用的好处是使用方便且可指导用户进行顺序操作，因而能够帮助用户迅速配置适当的焊接解决方案。在德国和英国，安卓和苹果用户可免费使用 WeldConnect。

MW 20171204

一道焊缝焊接之前，使用红外线测温仪进行层间温度的测量，层间温度低于焊接工艺规程要求的值方可进行下一道焊缝的焊接。为减少在焊接过程中焊缝的高温停留时间，加快焊缝冷却速度，防止出现 δ 相和475℃脆化，避免晶间腐蚀裂纹的发生倾向，可使用蘸有纯净水的干净的白布贴敷在管道坡口两侧来加快焊缝及两侧母材的降温速度，从而提高生产率，细化晶粒组织，提高焊缝的综合性能。

(4) 焊接过程中的注意事项 各项工艺参数必须严格控制在焊接工艺规程规定范围之内。采用直线运条，不作横向摆动，大口径焊口采用双人对称焊，层间焊接接头要错开15~20mm，收弧一定要填满。每道焊缝厚度不要超过焊条直径，宽度不要超过

焊条直径的3倍。

(5) 焊后检测 焊后对焊缝进行100%外观检查，外观检查合格后进行相应的无损检测。

6. 结语

SAF2205 双相不锈钢具有良好的力学性能和耐腐蚀性能，应用前景广阔。在生产过程中，应根据工艺评定结果，通过制定详细的工艺规程，并在焊接施工过程中严格执行，才能保证了双相不锈钢两相组织的比例，提高焊缝金属的抗腐蚀性能，避免晶间腐蚀裂纹的发生倾向，从而提高焊缝的综合性能，保证工程的焊接质量。

作者简介：山东电力建设第一工程公司

MW 20171125