超低碳不锈钢管 TB316L 与管板 Q345 管口焊工艺评定

东方电气河南电站辅机制造有限公司 （灵宝 472501） 李革宣 刘新红

【摘要】针对 JD350 低压给水加热器使用于发电机组的冷凝器中，其换热管与管板的设计要求是密封焊贴胀结构，在选择合理的焊接方法，确定正确的焊接工艺及焊接参数方面进行了理论分析及工艺评定。

1. 概述

在我公司承制的某项目——JD350 低压加热器管束焊接中，管板为 GB 4726 Q345、Ⅲ级锻件；换热管为 ASME 标准 SA688M TP316L、ϕ16mm × 1.0mm，属超低碳奥氏体不锈耐酸钢，与国标 GB 3280—1992 中 00Cr17Ni14Mo2 材质相对应。由于异种钢焊接性的差异较大，差别较大的异种钢之间的焊接性分析、工艺评定试验就显得较难，所以解决此异种钢焊接有重要的意义。

2. 焊接性分析

（1）在一定使用环境下，焊接隐性缺陷对材料的影响 TP316L 具有综合的耐腐蚀性、足够的强度、极好的塑韧性、优良的焊接性能和冷加工性能。在氧化环境中有良好的耐腐蚀性和耐热性能，但对氯离子（Cl^-）介质特别敏感，易发生应力腐蚀，在这种介质中，如有夹杂物、贫铬区、晶界、位错在表面暴露出来，使钝化膜在这些地方首先破坏，从而该局部遭到严重阳极腐蚀，最易引起不锈钢的点腐蚀。此类钢在加工过程中当温度达到 600 ~ 850℃会发生敏化，在晶界析出铬含量很高的 σ 相（$(Cr、Fe)_{23}C_6$），其邻近区会发生贫铬，贫铬的金属在腐蚀介质作用下，被腐蚀溶解产生晶间腐蚀。

（2）物理性能的差异对焊接的影响 与 Q345 相比，超低碳不锈钢 TP316L 的物理性能有以下特点：①高的电阻率，约为 Q345 的 5 倍。②大的线膨胀系数，比 Q345 大 40%，并随着温度的升高，线膨胀系数的数值也相应地提高。③低的热导率，约为 Q345 的 1/3。超低碳不锈钢 TP316L 与 Q345 异种钢焊接时，由于这两种材料热导率和线膨胀系数有很大差异，会产生很大的焊接残余应力，所以成为焊接接头裂纹的主要原因之一。同时，热导率的不同还会引起被焊材料熔化不同步，熔池形成和金属结合不良，导致焊缝结晶条件变坏，焊缝性能和表面成形质量很差。

（3）焊接冶金对焊缝的影响 超低碳不锈钢 TP316L 和 Q345 异种钢焊接时，两种不同母材金属形成的焊接接头中焊缝、两个热影响区和两个熔合区都应具有不低于或至少接近母材金属的性能。

焊接时，焊接接头熔合区的化学成分不均匀性较明显，焊缝金属与焊缝两侧金属成分差异较大（见表 1），焊缝金属同母材金属之间就形成一个异种材料的连接区。

表 1 TP316L 和 Q345 化学成分比较

钢号	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
Q345	≤ 0.20	≤ 0.55	1.0 ~ 1.6	≤ 0.025	≤ 0.015	—	—	—
TP316L	≤ 0.035	≤ 0.75	≤ 2.00	≤ 0.040	≤ 0.030	10.0 ~ 15.0	16.0 ~ 18.0	2.0 ~ 3.0

这种成分不均匀性的程度与焊接参数大小有关，特别是与施焊过程中均匀性和稳定性关系更大。

熔合区的成分不均匀会导致金属组织与性能不均匀。TP316L 与 Q345 异种材料焊接时，如果在 Q345 一侧熔合区生成了严重的不均匀搅拌层，则出现 Ni、Cr 含量低于奥氏体不锈钢而高于 Q345 的水

平，其含量又接近于Q345水平的特殊成分带，因此Q345侧焊缝熔合区有可能出现马氏体组织，形成裂纹。

3. 针对问题制定焊接工艺

（1）焊接方法的确定　由于管壁较薄，为避免在敏化温度区停留时间过长，应采用温度集中、冷却速度较快的焊接方法。焊接冶金对成分影响较大，而异种钢间焊缝中成分一致性直接影响着焊缝性能，在高度自动化的焊接条件下，焊缝区的不均匀程度可以得到控制，所以采用脉冲自动钨极氩弧焊是最佳的焊接方法。

（2）焊接材料的选择　由前面分析的两种母材的物理性能可知，线膨胀系数、热导率不同会增大焊接应力、焊缝结晶先后顺序有别及成形不良。如果选用塑性较好的焊接材料，就可缓冲焊接应力，控制过渡结晶的先后，进而可保证焊缝的成形。YB/T 5092标准中不锈钢焊丝H12Cr24Ni13Si的焊缝金属具有良好的力学性能、抗裂性能、抗氧化性能、耐热及耐腐蚀性能，焊接异种钢有优良的焊接性。H12Cr24Ni13Si焊丝的化学成分如表2所示。

表2　焊丝的化学成分（质量分数）（%）

C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni
0.060	2.05	0.400	0.011	0.020	23.83	13.26

（3）坡口的选择　熔合区的化学成分、组织对焊缝的影响最大，为避免由于焊接应力引起焊缝金属开裂或脆化，以减小熔合比，所以采用单边V形45°坡口，如图1所示。

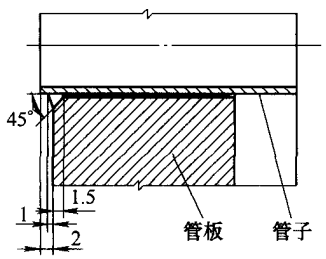

图　1

（4）焊接参数选择　焊接参数如表3所示。

（5）技术措施　为了保证异种金属焊接接头具有良好的综合力学性能，使焊缝成分的金相组织与性能均匀，在熔焊时要将自动氩弧焊中钨极位置偏离管口边缘1～2mm位置（见图2），使焊接电弧弧柱中心略偏向管板，以保证待焊处两侧的金属均匀同步地熔化和凝固，达到焊缝性能和成形优良。另外，确保焊接参数稳定，保证异种焊接接头熔合区的组织和性能的均匀性和一致性。

表3　管口接头角焊缝焊接参数

焊接参数项目				
	T_{11}：1.36s	I_{11}：80A	T_{12}：0.16S	I_{12}：135A
	T_{13}：0.16s	I_{13}：58A	T_{14}：1.38S	N_{11}：370°
	T_{51}：2s	H_{51}：2mm	U_{51}：10.6	N_{51}：370°
	H_{52}：3mm	V_{21}：300‰	V_{32}：50‰	V_{31}：200‰

注：T为时间，I为焊接电流，N为机头旋转角度，H为焊脚高度，U为焊丝的送丝速度，v为旋转线速度。

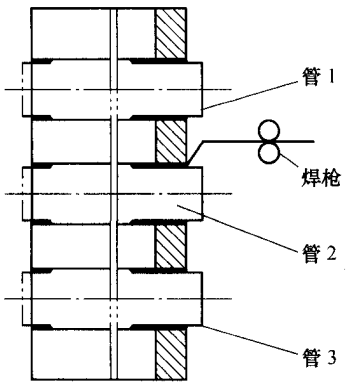

图2　钨极位置

4. 结语

焊接10个管口，焊后按GB 151—1999附录B做渗透检测，并加工金相试样进行检查，结果全部合格。

目前，电厂用低压加热器非常普遍，在设计参数及使用条件满足下，超低碳不锈钢换热管与碳钢管板间焊接一直是个难题。我公司承制的JD350低压加热器已投入使用，得到了业主的好评。

MW　（20120519）

“现场解决方案”栏目征文

为使读者了解最先进的技术、最新的行业动态、最新的技术产品等内容，本刊编辑部现面向广大读者征集“现场解决方案”栏目的优秀稿件。内容可以是焊接与切割技术在贵企业的应用案例分析、小经验和小窍门等，希望广大热心读者踊跃投稿。

投稿网址：www.metalworking1950.com；

投稿邮箱：rb1950@126.com