

超级双相不锈钢焊接工艺试验

罗林

【摘要】通过对超级双相不锈钢管道手工钨极氩弧焊工艺试验数据的分析及总结，得出超级双相不锈钢S32750焊接在选择合适焊接材料前提下，通过设置合理的焊接参数并进行严格控制焊接热输入、层间温度等措施，能够保证超级双相不锈钢焊缝铁素体组织和奥氏体相平衡，实现其满足要求的力学性能和耐腐蚀性能，对今后超级双相不锈钢S32750焊接施工具有指导意义。

关键词：超级双相不锈钢；相平衡；耐腐蚀；焊接参数；钨极氩弧焊

1. 概述

我公司承建的某核电站一级海水膜反渗透系统（RO）管道采用超级双相不锈钢，标准牌号UNS S32750（25Cr-7Ni-3.7Mo-0.3N）。一方面，此材料应用于海水环境中，设计要求对焊缝进行100%RT检测，对焊缝质量要求极高；另一方面此材料首次应用于该核电站，我公司缺少可以借鉴的焊接经验。因此经过前期一系列焊接工艺试验及查阅大量相关资料，可以确定合适的焊接参数是双相不锈钢焊接质量的重要保证。

2. 超级双相不锈钢的性能

对比奥氏体不锈钢与超级双相不锈钢的化学成分及力学性能（见表1、表2），可知超级双相不锈钢的Cr、Mo含量显著提高，有助于形成铁素体，提高钢的耐腐蚀性能。Mo能提高抗氯离子产生的点腐蚀和应力腐蚀性能。Ni是扩大奥氏体区的元素，与Cr配合以获得双相组织。添加N、Cu，Cu可以提高钢对非氧化性介质的抗蚀能力，进一步扩大钢的稳定性范围。

超级双相不锈钢具有良好的焊接性，选择合适的焊接材料不易产生焊接热裂纹和冷裂纹。焊接接头具有良好的力学性能、耐应力腐蚀、点腐蚀及缝隙腐蚀性能。但是在焊接热循环的作用下，焊接热影响区多次受热，易使铁素体相增加且晶粒粗大；超级双相不锈钢的合金含量较高，

表1　材料化学成分对比（质量分数）　（%）

元素材料	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	N	Cu
S32750	≤ 0.030	≤ 0.080	≤ 1.200	≤ 0.035	≤ 0.020	24.000 ~ 26.000	6.000 ~ 8.000	3.000 ~ 5.000	0.240 ~ 0.320	≤ 0.500
A312TP304L	≤ 0.035	≤ 1.000	≤ 2.000	≤ 0.045	≤ 0.030	18.000 ~ 20.000	8.000~ 13.000	—	—	—
A312TP316L	≤ 0.035	≤ 1.000	≤ 2.000	≤ 0.045	≤ 0.030	16.000 ~ 18.000	10.000~ 14.000	2.000 ~ 3.000	—	—

表2　材料力学性能对比

性能材料	抗拉强度/MPa	屈服强度/MPa
S32750	≥800	≥550
A312TP304L	≥485	≥170
A312TP316L	≥485	≥170

过慢冷却会导致有害相的析出。这些情况都可能破坏奥氏体及铁素体间的相平衡关系，直接影响焊接接头的力学性能和耐腐蚀性能。因此，应从焊接工艺方面采取适当措施进行改善或解决。

3. 超级双相不锈钢的焊接工艺

（1）焊接方法的选择　管道全位置焊接的特点及我公司多年不锈钢焊接施工经验，通常管道采用钨极氩弧焊或氩电联焊焊接方法。钨极氩弧焊的能量集中、热输入量小、气体对焊缝熔池的保护效果好、化学成分损耗最小、焊接质量容易控制，因此超级双相不锈钢焊接采用钨极氩弧焊，能够更好的控制焊接质量，保证良好的力学性能及抗腐蚀性能。

（2）焊接材料的选择　依据母材化学成分及力学性能，选择型号为ER2594的焊丝，其化学成分如表3所示。ER2594焊丝的化学成分：w_{Cr}=25.5%，w_{Ni}=9.2%，w_{Mo}=3.5%，w_{N}=0.25%。当PREN值大于40时，才允许称这种焊缝金属为“超级双相不锈钢”（PREN是在含氯的潮湿环境中抗腐蚀点的半定量指示值）。

随着我国对核电安装技术自主研发力度的加大，核电工程用材料日趋国产化。目前上海大西洋焊接材料有限公司已具备生产超级双相不锈钢焊丝ER2594的能力，大大缩短了进口焊材的运输周期，即降低成本。此外，依托项目已成功运用此焊材进行施焊活动。因此选用国产ER2594焊丝是可行的。

（3）焊接参数的选择　工艺试验执行ASME B31.1及ASME Ⅸ（2001版至2003年补遗）及设计文件等相关要求。

首先，坡口及焊道示意：试件母材型号为S32750，规格为ϕ114.3mm×6.02mm，开V形坡口，坡口及焊道如图1所示；焊材型号为ER2594，规格为ϕ2.0mm。采用单面焊双面成形焊接工艺，对打底层焊接质量要求高。电流过大，容易烧穿；电流过小，容易造成未熔合或未焊透。

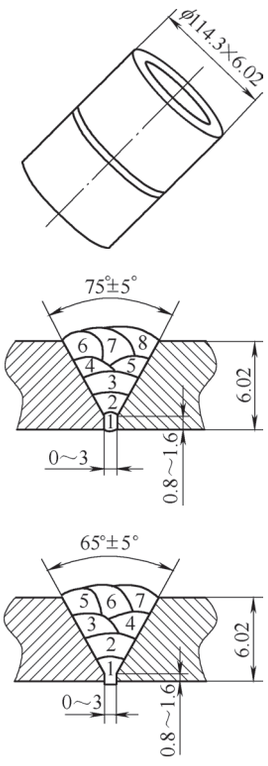


图1　坡口及焊道示意

表3　焊材化学成分（质量分数）　（%）

元素 / 材料	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	N	Cu	W
ER2594	≤ 0.030	≤ 1.000	≤ 2.500	≤ 0.030	≤ 0.020	24.000 ~ 27.000	8.000 ~ 10.500	2.500 ~ 4.500	0.200 ~ 0.300	≤ 1.500	≤ 1.000

其次，焊接试验参数：参考我公司多年的不锈钢焊接施工经验，在采用相同的焊接方法、保护气体、焊材，以及严格控制层间温度、热输入的前提下，依据焊层分布、坡口尺寸、焊接电流等不同焊接参数进行4组试验（焊接过程见图2）。

最后，焊接注意事项：第一，坡口加工尺寸应满足WPS要求。

第二，焊件组对前应将坡口及距离坡口50mm的表面彻底清



图2　焊接过程

除，不应有水汽、磷化物、含碳材料（如：油、漆、垢、锈、毛刺及卤素等），且不得有裂纹、夹层等缺陷。采取隔离堆放等适当措施，防止铁元素对超级双相不锈钢的污染。

第三，温度低于10℃时，严禁施焊。

第四，焊件不得强行组对，做好防变形措施。

第五，严禁在坡口之外的母材表面引弧和试验电流，并应防止电弧擦伤母材。施焊过程中应保证起弧和收弧处的质量，收弧时应将弧坑填满。

第六，焊接定位焊缝时，应采用与根部焊道相同的焊接材料和焊接工艺施焊。定位焊点数宜为2点、3点或4点且为均分固定，厚度不宜超过2/3管壁厚，以保证焊缝在正式焊接过程中不致开裂。若发现缺陷必须清除干净。

第七，保护气体采用氩气，纯度≥99.99%。

第八，严格按照选定的相关参数进行焊接，为了使焊接工艺试验可覆盖实际施工的大管径、厚壁的管道，在试件过程中应使用尽量大的参数范围。

第九，严格控制焊接热输入≤1500J/mm，在保证焊接质量的前提下，尽量采用小电流、快速焊、小的热输入、多焊层、多焊道进行施焊。

第十，严格控制层间温度小于120℃。

第十一，在后续焊道焊接前，须对前一焊道仔细进行外观检查并做层间清理，去除所有影响焊道间良好熔合的其他物质。打磨时要防止产生过热区，保证焊缝表面成形良好。

（4）焊缝外观检查及无损检测　焊缝外观检查执行ASME B31.1—2001版+2003补遗第136.4.2条，焊缝射线检测执行ASME Ⅴ—2001版+2003补遗（验收执行ASME B31.1-2001第136.4.5条）。

（5）破坏性试验　依据ASME Ⅸ及设计要求对超级双相不锈钢焊接工艺进行拉伸、弯曲等破坏性试验，试验项目及试样数量如表4所示。

经一系列试验及查阅大量资料表明：①打底层电流过大时，严重影响焊接质量。②对比SJ-2、SJ-3及SJ-4试验结果（见表5）可知，采用小电流、快速焊、小的热输入及合理控制焊接层数更有助于保证焊缝的耐腐蚀性能及奥氏体-铁素体的相平衡（奥氏体、铁素体相比例分别满足30%~65%），从而获得良好的焊接质量。

4. 结语

（1）在严格控制层间温度的前提下，合理控制焊接热输入量、多层焊、多道次及低熔敷率，钨极氩弧焊能够保证超级双相不锈钢的相平衡及耐腐蚀性。

（2）在保证焊接质量的前提下，尽量采用小电流、快速焊、小的热输入进行施焊。

（3）使用99.99%的纯氩，且注意控制氩气保护效果。

（4）可适当增大焊缝坡口角度，以便于控制熔合比，调整焊缝金属成分，进而调节超级双相不锈钢的相平衡。

（5）奥氏体不锈钢及超级双相不锈钢均具有良好的耐腐蚀性及焊接性，但是超级双相不锈钢耐氯化物应力腐蚀性能优于奥氏体不锈钢，且产生热裂纹的倾向较低。因此超级双相不锈钢已逐渐应用于海水及废水处理装置、造纸、石油化工设备等对耐腐蚀性能要求苛刻的环境，具有广阔的应用前景。

表4　破坏性试验相关要求

序号	试验项目	试样数量	
1	横向拉伸试验	2个	
2	弯曲试验	面弯试样	2个
		背弯试样	2个
3	腐蚀试验	2个	
4	金相试验（母材、热影响区、焊缝）	1个	

表5　试验结果

试验项目 试验组号	焊缝外观目视检查	焊缝无损检测	力学试验		理化试验	
			拉伸试验	弯曲试验	腐蚀试验	金相试验
SJ-1	不合格	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
SJ-2	合格	合格	合格	合格	不合格	合格
SJ-3	合格	合格	合格	合格	合格	合格
SJ-4	合格	合格	合格	合格	合格	合格

作者简介：罗林，中国核工业二三建设有限公司。
MW 20170924