

氢气压缩机组321不锈钢的焊接工艺

吴晓华　梁孟帅

【摘要】针对氢气压缩机组的特殊使用工况，选择了含稳定化元素的奥氏体不锈钢321作为压力容器和管路系统的主要材质。本文说明了材料选择依据，并详细分析了该材料的焊接性和注意要领，进行了焊接工艺评定，并制定了合理的焊接工艺。

关键词：氢气压缩机；焊接工艺；321不锈钢；液化裂纹；热裂纹

1. 概述

中亚国家某客户采用往复式压缩机组用于压缩氢气进行柴油增氢作业，业主要求该机组上所使用的压力容器和压力管道分别按照ASME Ⅷ-1和ASME B31.12进行设计、制造和检测。氢气具有极高的易燃易爆危险特性，特别是氢气压缩机组上的设计压力为2.2～6.7MPa，故分离器、缓冲罐和管路系统均属于承压设备，且最低金属温度为-45℃，操作温度为70～112℃，因此对产品的材质选择和焊接质量具有很高的等级要求。

碳钢或低合金钢材料焊接时发生氢致裂纹的主要因素有三个：淬硬组织、拘束应力和氢的聚集，其中氢含量对于诱发延迟裂纹具有重要的影响。此外，随着低温环境的降低，也会造成碳钢和低合金钢材的冲击韧性不断降低。受制于最低金属温度、较高的氢分压和材料的耐蚀性等影响因素，可供选择的材料有低温钢或奥氏体不锈钢。因此，设计人员在综合考虑使用工况、材料性能和采购受限情况后，最终选择了具有良好低温韧性、抗氢性能和稳定性的奥氏体不锈钢321，即板材和管材分别采用ASME SA—240M 321和ASME SA—312M TP321。

2. 焊接性分析

奥氏体不锈钢321属于300系列奥氏体不锈钢中的一种，因为其含有稳定化元素钛可以稳定碳，阻止其生成M23C6型铬的碳化物，从而可以降低由于局部贫铬造成敏化的可能性，而敏化会导致在奥氏体钢中产生晶间腐蚀，其化学成分如表1所示。

3. 焊接工艺制定

（1）焊接方法和焊材选用

基于保证焊接质量和提高生产效率的考虑，主要采用钨极氩弧焊（GTAW）和药芯焊丝气体保护焊（FCAW）进行焊接作业。而在选用相应的焊接材料时，通过采购调研发现市场上多为含铌的填充金属，因此分别选用了实芯在焊接321不锈钢时，一般选用含有少量钛或铌作为稳定化元素的填充金属，这是由于这两种元素可以和碳结合以减少富铬碳化物的析出，从而增加对晶间腐蚀的抵抗能力。对于含钛元素的填充金属，并不适合采用埋弧焊工艺，这是由于只有一小部分钛能够过渡到焊缝金属中。

表1　321不锈钢的化学成分（质量分数）　（%）

标准	牌号	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Ti	N
SA—240M	321	0.02	0.66	0.90	0.033	0.001	17.44	9.30	0.18	0.01
SA—312M	TP321	0.02	0.67	1.00	0.024	0.001	17.55	9.12	0.21	0.02

焊丝AWS A5.9 ER347和药芯焊丝AWS A5.22 E347T1—1，两者的具体化学成分如表2所示。

（2）压力容器和管路的焊接工艺　对于压力容器壳体纵缝和环缝，其坡口形式均设计为单面外侧V形，以方便焊接施工作业。其中壳体纵缝的焊接工艺为：背面增加陶瓷衬垫的FCAW打底+FCAW填充盖面焊；壳体环缝的焊接工艺为：GTAW打底焊+FCAW填充盖面焊。对于管路对接焊缝，其坡口形式均为V形。焊接工艺为全GTAW焊接，但当壁厚≥6mm且管径≥89mm时，也可选择GTAW打底焊+FCAW填充盖面自动焊接，以提高生产效率和焊接质量。本次产品的施焊工艺及焊接参数如表3所示。

（3）焊接注意事项　第一，凝固裂纹的防止。凝固裂纹是奥氏体不锈钢焊接时常见的问题，裂纹敏感性主要取决于成分。控制以得到FA模式凝固，在焊接熔敷金属中得到FN=3～20的铁素体含量，可以有效地避免焊缝凝固裂纹。使用WRC—1992相组分图进行分析，计算母材的镍当量和铬当量分别为10.20%和17.44%，计算焊丝的镍当量和铬当量分别为10.98%和19.63%，可以得出当焊缝中母材成分为30%～50%时，熔敷金属中的铁素体含量FN=10～12，因此具有良好的抗裂纹性。另外，降低杂质含量和减少焊接拘束度也能够有效避免凝固裂纹。

第二，液化裂纹的防止。实际产品焊接过程中在热影响区也发现有断续微裂纹的情况，多发生在使用碳弧气刨清根或清理缺陷，但未彻底打磨清理掉渗碳层时。因此建议禁止使用碳弧气刨或者在碳弧气刨后必须至少打磨3mm厚的渗碳层。热影响区液化裂纹仅能通过渗透检测发现，因此建议在焊接完成后增加渗透检测，以避免潜在的质量隐患。另外，降低焊接热输入可以在焊缝周围的热影响区产生很陡的温度梯度，从而限制了可能产生液化的区间，降低液化裂纹发生的可能性。

4. 焊接工艺评定

按照ASME Ⅸ进行焊接工艺评定，焊接参数如表4所示，其中PQR01为背面充氩气的单面焊，而PQR02为背面打磨清根的双面焊，层间温度控制在≤120℃。焊接接头的力学性能试验结果如表5所示，拉伸试验和弯曲试验均合格，满足了该规范要求。

5. 结语

奥氏体不锈钢321具有良好的焊接性，选用含钛或铌的填充金属可以保证焊缝金属的耐蚀性。在产品制造过程中应控制使用碳弧气刨，以避免因渗碳而造成液化裂纹的产生。焊接过程中应选择较小的热输入，可以有效避免凝固裂纹和液化裂纹等热裂纹缺陷。

参考文献：

[1] 周勤，杨兴有，李军民. 柴油加氢装置中氢气管道的材质选择[J].化工与医药工程，2014，35（60）.

表2　填充金属的化学成分（质量分数）　（%）

标准	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo	Nb
ER347	0.012	0.550	1.70	0.014	0.0020	19.20	10.56	0.0100	0.010	0.60
E347T1－1	0.020	0.644	1.57	0.012	0.0014	18.59	10.33	0.0017	0.008	0.32

表3　产品施焊工艺及焊接参数

接头部位	母材厚度/mm	焊接方法	焊材型号	焊材规格 ϕ/mm	焊接电流/A	电弧电压/V	焊接速度/cm·min^{-1}	气体流量/L·min^{-1}
管子对接	4~6	GTAW	ER347	2.4	120~140	14~16	7	15
壳体纵缝	12	FCAW	E347T1—1	1.2	180~220	22~28	20	25
壳体环缝	12	GTAW	ER347	2.4	120~150	14~16	7	15
		FCAW	E347T1—1	1.2	180~220	22~28	20	25
接管+壳体	4~12	FCAW	E347T1—1	1.2	180~220	22~28	20	25

表4　焊接工艺评定选用的焊接参数

试件编号	母材厚度/mm	焊接方法	焊材型号	焊材规格 ϕ/mm	焊接电流/A	电弧电压/V	焊接速度/cm·min^{-1}	气体流量/L·min^{-1}
PQR01	8	GTAW	ER347	2.4	130~150	14~16	7	15
PQR02	8	FCAW	E347T1—1	1.2	200~240	24~30	20	25

表5 焊接工艺评定力学性能试验结果

试件编号	抗拉强度/MPa		面弯试验	背弯试验
PQR01	600	590	完好	完好
PQR02	550	560	完好	完好

作者简介：吴晓华，杭州皓华压力容器有限公司；梁孟帅，杰瑞石油天然气工程有限公司。

MW 20170716