

水溶纸在核电产品焊接中应用可行性研究

李树辉

哈电集团 秦皇岛 重型装备有限公司, 河北 秦皇岛 066206

摘 要 : 溶纸制品是一种遇水易溶胀变质分解的纸张, 利用水溶纸的特性, 可以在产品焊接前在待焊部位制成相应形状和尺寸的腔室用于充氩保护, 在焊后用水冲洗溶解而排出, 针对水溶纸开展了测试和焊接试验, 了解和掌握水溶纸的使用特性和使用方法, 确定相应操作和工艺规范, 论证了水溶纸在核电产品上应用的可行性。

关 键 词 : 水溶纸; 核电产品; 焊接

Feasibility Study on the Application of Water-Soluble Paper in Nuclear Power Product Welding

Li Shuhui

Harbin Electric Group Qinhuangdao Heavy Equipment Co., Ltd. Qinhuangdao, Hebei 066206

Abstract : Dissolved paper products are a type of paper that is prone to swelling, deterioration, and decomposition when exposed to water. By utilizing the characteristics of water-soluble paper, chambers of corresponding shapes and sizes can be made at the welding site for argon protection before welding. After welding, they can be washed with water to dissolve and discharged. Tests and welding experiments were conducted on water-soluble paper to understand and master its usage characteristics and methods, determine corresponding operation and process specifications, and demonstrate the feasibility of its application in nuclear power products.

Keywords : water-soluble paper; nuclear power products; welding

核电产品中经常采用不锈钢或镍基合金单面焊的设计结构, 上述材料单面焊时需要在焊缝背面进行气体保护, 焊缝背面的保护效果至关重要, 如保护不良容易造成焊缝成形不良, 影响焊缝质量, 为保证获得良好的焊缝背部保护效果和焊接质量, 通常需要进行背部充氩保护, 焊缝背部充氩保护的方式最常用的方法有整体充氩法、局部跟踪充氩法、造气室法。核电产品制造中经常存在尺寸较大且结构复杂特殊的产品, 当焊缝背部空间有限而不可达或焊后不便于对保护装置操作时只能采用整体充氩, 但所需要的氩气较多, 导致材料成本和工作量较大, 且密封效果不良会影响保护效果。

一、水溶纸制品

水溶纸制品是一种遇水易溶胀变质分解的纸张, 利用水溶纸的特性, 可以在产品焊接前在待焊部位制成相应形状和尺寸的腔室用于充氩保护, 在焊后用水冲洗溶解而排出, 采用此种方式可以解决以上问题, 但需要对水溶纸及水溶胶带的使用工艺性、溶解过程及其对核电产品清洁防腐等影响进行验证, 因此有必要开展相应试验研究, 掌握水溶纸制品的使用要求和方法, 确定相应操作和工艺规范, 论证水溶纸在核电产品上应用的可行性^[1]。

(一) 用途

水溶纸具有药用作用, 也可以用于保密文件以及金属焊接等, 不同的用途对质量指标有不同的要求, 在用于药用方面, 要强调无毒无害, 在用于保密用纸方面, 要注重白度, 除了方便书写外, 还要方便销毁, 放入水中便能够及时化解, 快速销毁。在用于焊接

上, 要求水溶纸具有易溶特点以外, 还需要保证不被腐蚀^[2]。

(二) 水溶纸使用条件

水溶纸用于金属焊接时, 需要注重预防高温氧化, 降低金属材料的机械强化, 并对水溶纸的耐腐蚀性造成一定影响。由此, 在实际使用中, 多采用氩弧焊方式。在管材上, 因其外壁有氩气保护, 如果此时内壁缺乏保护措施, 则会导致氧化危险发生。基于此, 在实际应用中, 可以选择利用水溶纸对管道两端位置进行封堵, 阻止管内的空气流动, 最大化降低内壁氧化, 从而对管道进行保护^[3]。

二、研究内容及过程

(一) 水溶纸(水溶胶带)固有特性分析研究

水溶纸制品是一种以羧甲基纤维素钠盐为主要成分的纸张,

作者简介: 李树辉(1985—), 男, 高级工程师, 主要从事核电设备及压力容器焊接技术工作, E-mail: lishuhui6408@163.com

偏碱性、白色。水溶纸遇水溶解分散的原理为：当将水溶纸放入水中时，由于纤维之间的氢键断裂，纤维素变得很容易分离，但是纤维素之间又存在着错综交织的物理结构，若不赋予机械分离作用，很难完全分散成单根纤维^[4]。一般水温越高、水流压力越大水溶纸的分散溶解性越好，碱性条件下分散溶解性变化很小，酸性溶液中就很难分散溶解。实物图片详见图1所示：



图1 水溶纸及水溶胶带实物

（二）水溶性试验及分析

经试验表明，水溶纸制品遇水可在5-10S内即可快速溶胀变质，在水流冲击或适当外力振动搅拌下分解成无强度、硬度的棉絮状细小纤维（虽不能完全溶解殆尽，但可用水流冲洗清除排除，即使有部分残留也易于清除。

水溶纸制品毛细浸润性不明显，使用过程中若需要完全通过水溶清除，应保证水溶纸制品能够充分与水接触。

（三）水溶纸制品温度影响试验分析

通过试验发现，当加热温度150℃左右时，外观和水溶性变化不大，对水溶纸及胶带性能没有影响可以正常使用，当加热到180℃时水溶纸制品颜色变黄，遇水可溶解但已明显不充分，当加热到250℃时，颜色变为褐色甚至是黑色，遇水已不能溶解，水溶胶带也失去粘性^[5]。

（四）接管类产品模拟水溶试验

选用常用焊接类接管进行水溶性模拟试验，为保证气体保护腔室的密封性，需采用水溶性胶带对水溶纸及产品侧壁进行粘合。

通过模拟试验表明，对于水溶纸溶解及清除必须使用充分流动状态的水流，特别是在制备氩气保护腔室需在产品侧壁使用水溶性胶带进行密封时，由于水溶胶带与产品接触面贴合相对较为密实，易在产品中有一定残留，水流冲洗时起到了冲刷效果，能够保证清除彻底。

在排除水溶纸时，当排水通道尺寸较小时易造成碎屑状水溶纸堆积堵塞，试验过程进行了验证试验，当排水通道相当于直径30mm以上时不易堵塞，当使用明显的水流时水溶纸溶解排除较为充分，产品侧壁部分不易残留，且不存在堵塞的风险^[6]。

在保证密封效果的前提下，为保证产品焊接后水溶纸的有效清除，避免残留和堵塞风险应避免水溶纸过量使用，通过试验发现一般情况使用单层水溶纸即可满足要求，特殊情况下不超过2层，且严格杜绝将水溶纸揉团使用。

（五）水溶纸制品焊接应用试验

按2.3条已对水溶纸制品温度影响进行了测试，将结合产品模拟焊接试验，进一步验证水溶纸的使用性能，在正常生产环境下

分别采用不锈钢管焊接试验和碳钢管件加热试验^[7]。

不锈钢管焊接试验，焊接保护气体腔室水溶纸位置距离焊接坡口约100mm，焊接过程正常，当水溶纸处最高温度达到了125-130℃，且略有变色，焊接后焊缝气体保护效果良好，水溶纸制品经自然水流状态溶解清除状态正常。

碳钢管件加热试验，焊接保护气体腔室水溶纸位置距加热坡口位置约120mm，当水溶纸位置温度达到130℃时开始变色，当温度达到180-190℃时开始整体变色且较为严重，水溶效果不良，溶解不充分。

按前期温度影响试验证明，当水溶纸受热温度较高导致颜色明显变化时会影响其水溶性，实际施焊环境下水溶纸变色温度与专门针对水溶纸进行的温度影响试验中水溶纸开始变色的温度不同（分别为130℃和180℃），分析可能是由于专项试验时是在室内加热炉内进行，与实际施焊环境存在差异^[8]。

（六）水溶纸使用要求及注意事项

1. 水溶纸用于制作焊接用的氩气室，根据其水溶特性，一般只能用在介质为水、蒸汽的系统管道。油、气等其他介质，因水溶纸无法溶解，无法使用，如在气体、油、碱性介质的系统设备上使用水溶纸，焊接工作完成之后必须清理水溶纸，并进行确认。

2. 水溶纸粘贴前，确认管道、设备的内表面无水、无穿堂风，以免影响水溶纸的使用效果。由于水溶胶带经过粘贴后相对水溶纸不易去除，溶解过程一般需要比较充分的水流，因此水溶胶带可选择使用，仅在当水溶纸自身无法有效形成密闭保护气体空间，需要在容器侧壁进行严密粘贴的情况下使用^[9]。

3. 根据管道、设备的口径大小，进行裁剪，切勿过量使用。粘贴时，水溶纸应展开平整，或用水溶胶纸将水溶纸贴好，贴紧管道内壁，且粘贴数量不得超过2层，禁止将水溶纸揉成一团塞入管道、设备，防止过量水溶纸无法溶解引起管道堵塞。

4. 由于水溶纸在施焊环境中处于120-130℃时易变质影响正常使用，因此使用时必须保证其与焊缝之间足够的距离，特别是需要进行焊前预热的情况下，则水溶纸的位置需要根据可能加热到的管道位置进行适当调整，确保水溶纸在溶解前的工作环境温度低于120℃。

5. 在焊接后采取措施将进行清理，如无法清理而采用水洗时，应尽量采用带有一定压力的水流，且保证排水通道足够大，以避免造成堵塞^[10]。

（七）水溶纸制品化学成分测试

核电产品对清洁度有明确的要求，RCC-M法规清洁防污染相关要求为：与一回路流体接触的设备耐腐蚀表面严禁受到可释放出氯化物或氟化物、含卤素 25ppm 以上的水、硫及硫化物、易分解出（Pb、Hg、P、Zn、Cd、Sn、Sb、Bi、As、Cu 及稀土元素）等物品造成的污染，与二回路的水和蒸汽接触的设备在最终清洁度后禁止使用含有Cl、F、Pb、Hg、S、As元素、亚硝酸盐、铬酸盐和磷酸盐的物品或工具，除上述要求外明确提出了对于保护焊缝背面用的可溶纸制品，其卤素或含硫量小于 0.10%（重量百分数）。研究过程对试验用水溶纸制品进行了化学分析详见

下表1。

表1 水溶纸制品化学成分分析

类别	化学元素 / 测定值 (μ g/g)						
	氯离子	氟离子	溴离子	硫	P	Zn	Cd
水溶纸	71.5	335.3	42.7	56.9	51.0	1.2	0.17
水溶胶带	423.3	256.7	113.3	172.5	159.8	2.5	0.83
	Sn	Sb	Bi	Cu	Hg、Pb、As、Ce、La、Cr		
水溶纸	10.8	35.0	8.3	2.3	未检出		
水溶胶带	66.7	141.7	58.3	5.8	未检出		
项目	硫酸根离子		亚硝酸根离子		磷酸根离子		
水溶纸	170.7		889.2		156.3		
水溶胶带	517.5		未检出		489.6		

经分析试验用水溶纸制品尚不能满足核电产品核级部件使用要求，但可以满足常规产品使用，实际使用过程应结合产品要求及水溶纸制品实际成分进行评估^[11]。

三、研究结论

针对水溶纸开展了水溶试验和高温测试等模拟测试和焊接试

验，了解和掌握水溶纸的使用特性、环境、使用方法，同时通过模拟产品采用水溶纸构建氩气保护腔室，进行单面焊背部保护焊接操作试验，进一步对水溶纸的使用方法、要求及注意事项进行试样验证，通过试验确定焊接温度适用范围、距离焊缝尺寸等操作规范和工艺参数，焊后采用清水冲洗，试验其溶解特性和排除效果。水溶纸高于150℃时，则不会溶解，需要进行粉碎，由此，在使用过程中，需要与焊缝之间保证足够的距离，由此，在溶解前需要保证工作环境温度不高于150℃，控制好温度。

通过焊接工艺试验研究证明了当水溶纸处于120-130℃时易变质影响正常使用，因此使用时必须保证其与焊缝之间足够的距离，特别是需要进行焊前预热的情况下，确保水溶纸在溶解前的工作环境温度低于120℃。

通过焊后水溶试验发现当采用水洗时应尽量采用具有明显流动状态的水流，且保证排水通道足够大，以避免造成残留和堵塞，产生异物。

水溶纸的使用对于常规产品能够满足使用要求，但对于核电产品对清洁度有明确的要求，特别是当焊后清理不当易造成残留的情况，因此对于特殊部件产品使用前应进行评估。由此，在实际应用中，要求相关部门安排专业人员在现场监督检查水溶纸使用情况，保证水溶纸能够被规范使用。

参考文献

[1] 侯立成. 水溶纸在核电厂焊接过程中的应用与研究 [J]. 中小企业管理与科技, 2020(24):170-171.

[2] 冯杰才, 刘树磊, 骆传万, 等. 核电异种金属焊接材料及方法研究现状 [J]. 焊接, 2022, (3).

[3] 孙清洁, 张清华, 赵永庆, 等. 核电厂定位销局部干法水下 TIG 焊接工艺 [J]. 焊接学报, 2024, 45(2):7-12.

[4] 吴晔华, 陈鹏, 刘一搏, 等. 核电 SC 结构模块拼装焊接变形量仿真研究 [J]. 金属加工 (热加工).2020, (6).

[5] 马新朝. 单因素分析法在核电设备管道典型焊接问题处理流程中的应用 [J]. 电焊机. 2023, 53(12).

[6] 吴镐东. 核电小直径衬管全位置自动化焊接设备研制 [D]. 广东: 华南理工大学, 2023.

[7] 许春雷. EPR 核电站安全壳内部换料水池天花板的焊接 [J]. 焊接, 2012, (02):65-68+71.

[8] 黄毓晖, 司晓法, 翁硕, 等. 疲劳损伤对核电汽轮机焊接转子接头应力腐蚀开裂敏感性的影响 [J]. 焊接学报, 2020, 41(4):12-19, 37.

[9] 周海涛, 徐连玉, 赵振亮, 等. 核电站大径厚壁不锈钢管道焊接技术探究 [J]. 电力设备管理, 2020, (06):148-150.

[10] 牟童, 陈威. 高温气冷堆核电厂主蒸汽管道焊接见证件不合格问题研究和经验反馈 [J]. 核安全, 2024, 23(1):14-19.

[11] 冯杰才, 刘树磊, 骆传万, 等. 核电异种金属焊接材料及方法研究现状 [J]. 焊接, 2022(3):52-57.