

锆合金板材焊接惰性气体保护装置的改进和应用

Improvement and Application of Welding Inert Gas Protective Device for Zirconium Alloy Plate

供稿|胡旭坤^{1,2,3}, 马安国^{1,2,3}, 张鹏飞^{1,2,3}, 徐滨^{1,2,3} / HU Xu-kun^{1,2,3}, MA An-guo^{1,2,3}, ZHANG Peng-fei^{1,2,3}, XU Bin^{1,2,3}

内 容 导 读

在核级锆材加工产业链中, 锆合金带材作为三代核电机组燃料元件定位格架材料, 是核反应堆中的关键结构材料。在加工生产过程中, 需将锆合金板材拼焊成卷后进行轧制, 因此对焊缝质量提出了很高的要求。锆及锆合金本身对于氧、氮、氢等的气体杂质非常敏感, 受热很容易与空气中的氢、氧、氮发生化学反应, 为减少焊缝表面氧化以及焊缝变形等缺陷, 选用便于进行焊缝气体保护的无填丝自动钨极氩弧焊, 利用较大口径的焊枪喷嘴和焊缝上表面保护托罩及下表面充氦气的方式进行空气隔离。文章主要介绍了国核宝钛锆业股份公司改进连续焊接机组的焊机气体保护装置, 以达到焊缝不被氧化目的, 为锆合金带材工业化生产提供了技术支持。

随着经济的迅速发展, 人们对能源的需求急剧增加, 这就迫使核反应堆技术朝着高燃耗燃料、高反应堆热效率以及安全可靠的方向发展, 于是对燃料元件用锆合金提出了更高的要求^[1]。锆合金带材作为三代核电机组燃料元件定位格架材料, 是核反应堆中的关键结构材料, 是核电安全运行的重要保证。核用锆合金带材生产过程中, 需将板材拼焊成卷后进行轧制, 这对焊缝质量提出了很高的要求。本文主要介绍了国核宝钛锆业股份公司通过改进连

续焊接机组的焊机气体保护装置, 从而有效减少焊缝表面氧化以及焊缝变形等缺陷。

实验材料及方法

实验材料

本文选用的锆合金化学成分如表1所示。采用真空自耗电炉冶炼成铸锭, 并经锻造、热轧、冷轧成厚度约为1.0 mm的板材。

作者单位: 1. 国核宝钛锆业股份公司, 陕西 宝鸡 721013; 2. 国家能源核级锆材研发中心, 陕西 宝鸡 721013; 3. 陕西省核级锆材重点实验室, 陕西 宝鸡 721013

表1 锆合金板材化学成分(质量分数, %)

化学元素	Sn	Nb	Fe	Zr
含量	0.9~1.1	0.8~1.2	0.09~0.12	余量

实验方法

选用某公司生产的便于进行焊缝气体保护的无填丝自动钨极氩弧焊进行焊接; 利用较大口径的焊枪喷嘴和焊缝上表面保护托罩及下表面充氩气的方式进行空气隔离, 以达到焊缝不被氧化目的。焊接参数如表2所示。

表2 锆合金板材焊接工艺参数

项目	钨极直径/mm	焊接电流/A	焊接电压/V	焊接速度/(mm/min)	坡口形式
参数	1.6~2.0	90~130	8~15	350~500	平板对接

原有装置存在的缺点

焊缝表面氧化严重

由于焊机头保护气体装置(结构如图1所示)的上拖罩与焊枪连接固定, 在焊枪行走过程中, 上拖

罩距离母材焊缝距离过远, 导致氩气不能有效的保护焊缝周围区域, 且上拖罩内表面形状为方形, 易出现气体滞留在死角, 不利于气体完全有效的保护焊缝。下表面出现氧化则是由于下拖罩气槽较窄, 焊接连接处与下拖罩气槽形成半封闭空间, 导致焊接时氩气只能沿带材宽度方向运动, 很难保护到焊缝周围的区域。焊缝氧化照片如图2所示。

焊缝表面存在凹陷

焊缝下表面的凹陷是由于保护气流量过大, 焊接中焊缝背面熔池在成形时无法形成平面或凸面。

改造方案及结果

改造方案

改进后上表面焊缝保护装置如图3所示。上拖罩与焊枪分离, 使上拖罩的运动不受焊枪运动限制, 能够更有效的防止氧化; 其次, 将上拖罩的上壳形状改为圆弧过渡, 减少气体滞留死角, 改变进气方式, 气体从尾部进入(之前是从上部中间进气, 进气

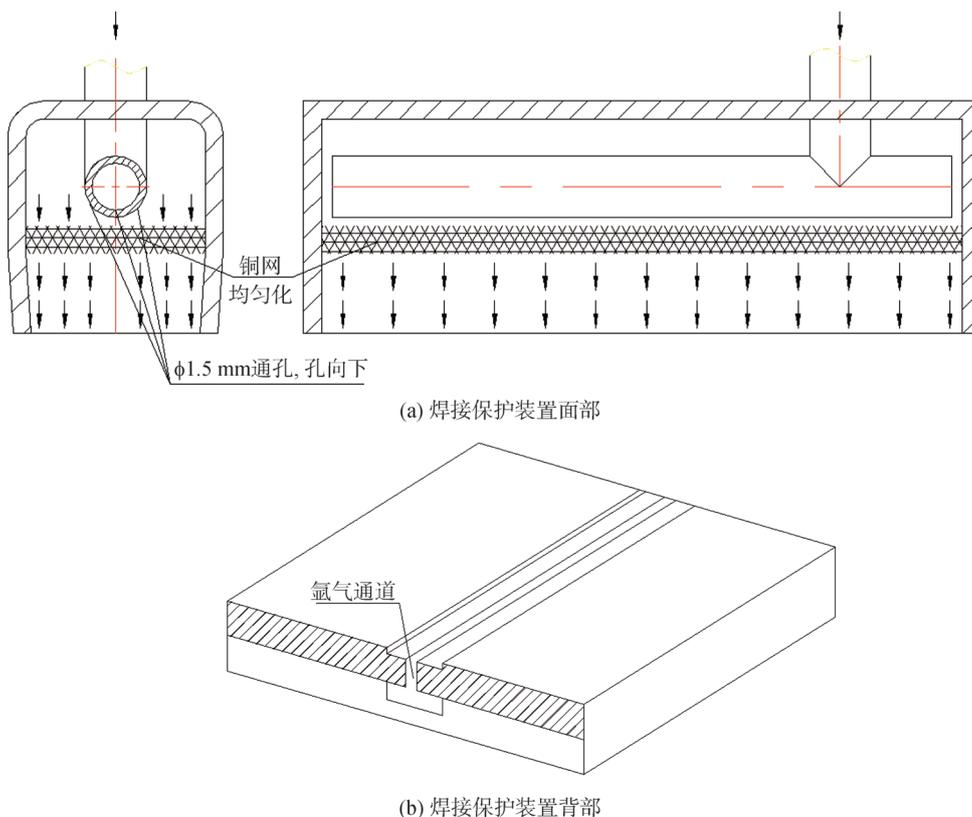


图1 焊接保护装置示意图



图2 焊缝氧化照片

嘴附近易出现死角), 如图3所示, 在进气管上面开孔, 使气体能够均匀有效的覆盖保护焊缝。

改进后下表面焊缝保护装置如图4所示, 下托罩铜板进行改造, 在铜板的气槽长度方向两侧各加工两道V形或U形槽, 并将槽子连接起来, 增加背部保护气的保护面积, 从而使氩气完全覆盖焊接热影响区。

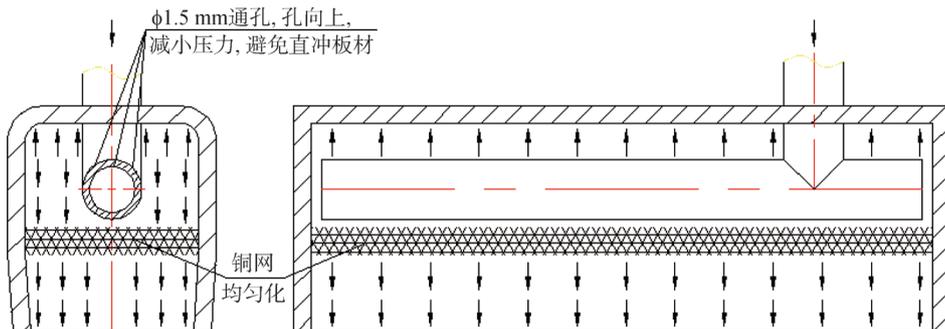


图3 焊缝上表面焊接保护装置示意图

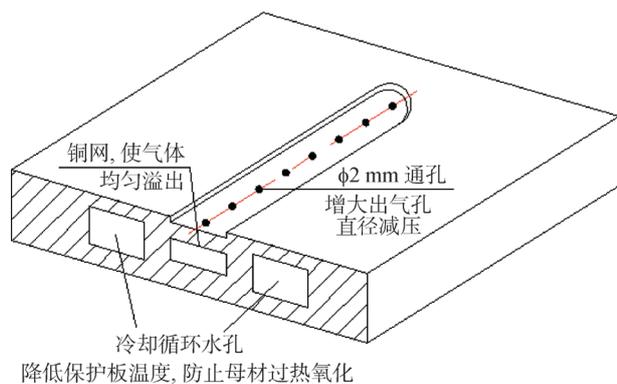


图4 焊缝下表面焊接保护装置示意图

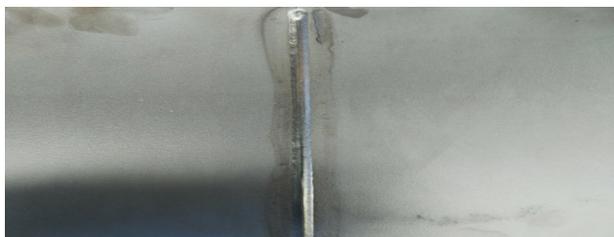


图5 焊缝照片

改造结果

焊接完成以后, 通过目测检查, 锆合金板材上下焊缝及热影响区成型良好, 均呈银白色, 无氧化现象(如图5所示), 说明针对锆及锆合金的高温化学活性采用的保护措施是可行的。

另外对焊接后焊缝进行了渗透探伤及力学性能检测, 渗透探伤结果表明焊缝正反表面无裂纹。对厚度为1.0 mm焊接板材做室温拉伸实验, 抗拉强度达到580~630 MPa、断后延伸率为5.5%~10%, 与母材性能接近。在对焊缝进行真空退火后, 做室温拉伸实验时, 焊缝的抗拉强度优于母材, 断裂处均出现在母材部位, 见图6, 具体数据见表3。

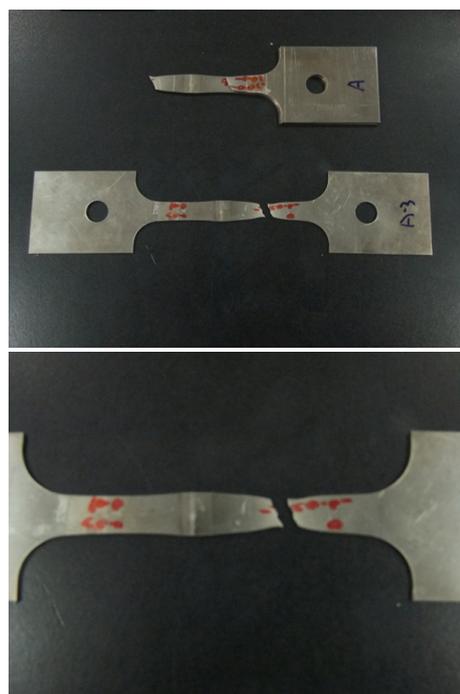


图6 退火态焊缝拉伸实验图片

(下转第 71 页)

着广阔的理论前景和发展空间，这不仅在生产工艺上是一次创新，在节能减排的大背景下，也是一次有效的改革。

结束语

(1) 通过一系列的理论验证，本次设计的分压改造方式完全满足公司对氮气使用的要求，对此次方案实际发挥的作用进行了验证。

(2) 通过本次设计改造，公司在节能领域向前迈进一大步，并掌握了今后在该领域的重点方向与技术。

(3) 实施的改造方案对氮透机组、能源管网以及能源调节中心的操作准则进行标准化管理程序修订，确保后续相关作业规范管理。

参考文献

- [1] 刘晓鹏, 张小永. 英格索兰C150MX5N2型氮压机降压节能改造. 冶金动力, 2017(11): 38
- [2] 袁忠, 颜成文, 欧慷. 空分装置的节能技术改造. 石油和化工节能, 2007(1): 27

作者简介: 赵小喜(1983—), 男, 本科, 工程师, 动力能源厂厂长助理。E-mail: zhaoxiaoxicq@126.com。

(上接第 66 页)

表3 焊缝力学性能

实验材料	实验温度/℃	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	断后延伸率/%	板材焊缝状态
锆合金	室温	546	620	6.5	冷轧状态
锆合金	室温	550	623	5.5	冷轧状态
锆合金	室温	416	529	23	退火状态
锆合金	室温	425	527	23	退火状态
锆合金	室温	425	526	22.5	退火状态

结束语

研究和探索锆及锆合金的焊接特性，制定严谨的焊接工艺，做好焊接过程中的高纯氩保护工作，是保证锆及锆合金板材焊缝质量的关键因素。在施焊过程中，根据设备状况，合理调解和改善气流量，严格执行各项操作规程，按照工艺要求的步骤逐项落实，是保证锆及锆合金焊接质量的前提和基础。

参考文献

- [1] 李中奎, 刘建章. 新锆合金在两种不同介质中的耐蚀行为. 稀有金属材料与工程, 1999(2): 101
- [2] 中国机械工程学会焊接学会. 焊接手册: 材料的焊接. 第2版. 北京: 机械工业出版社, 2001

作者简介: 胡旭坤(1983—), 男, 陕西周至人, 工程师, 在国核宝钛锆业股份公司从事技术质量管理工作。通信地址: 721013陕西省宝鸡市高新大道206号, E-mail: hxklzy1314@126.com。