

燃料贮存格架制造过程中发现的问题与改进分析

胡家菲

(江苏省核工业二七二地质大队 江苏 南京 210003)

摘要: 本文简略阐述了燃料贮存格架的构成和工艺, 分析了当前常见的燃料贮存格架制造问题及其形成原因, 并从变形控制、参数优化以及提高清洁度几方面着手对燃料贮存格架制造问题的改进策略进行了详细分析, 旨在为相关研究人员提供参考, 切实提高燃料贮存格架激光焊接质量和效率。

关键词: 燃料贮存格架; 激光焊接; 变形控制

0 引言

在核电站的贮存系统和燃料操作中, 燃料贮存格架是至关重要的设备之一, 其能够对反应堆卸出的燃料组件进行短期贮存。现阶段我国核电机组的建设规模正处在不断扩大的过程中, 这使得我国对于格架的需求有所增加。然而从目前的实际情况来看, 我国所采用的格架大多属于国外进口产品, 其不仅有着极为昂贵的价格, 还有着较长的采购周期, 难以支撑核电事业的持续平稳发展。

1 燃料贮存格架的构成和工艺

1.1 构成

对于燃料贮存格架来说, 贮存小室是其中比较基础的贮存单元, 其同燃料组件之间有着直接的接触, 其对于格架本身制造工艺的应用有着重要影响。贮存小室的构成比较简单, 具体包括小底板、包覆板、中子吸收体以及方管。对方管外侧和包覆板展开焊接工作, 进而构建起一个保护腔室, 这便能够在一定程度上起到固定中子吸收体的作用, 还能够达到一定的保护效果。对方管底部和小底板进行焊接, 进而组成相应的燃料贮存套筒, 并利用螺栓将底板和贮存小室相连。在方管顶部, 根据其四个方向分别设置 50mm 高的导向口, 这样便可以为燃料组件更好地进入到方管当中创造良好的条件。

在整个格架中, 底板是至关重要的支撑底座, 需要从不同的功能需求出发, 分别在与底板相对应的各个单元格中对支腿安装孔、吊装孔以及流水孔进行设计。调节支腿处在底板的下方, 其构成包括底垫板、半圆板、螺套以及调节螺杆四部分。在调节螺杆的上部分包括长方形凹槽, 下部分则为球面结构, 其同底垫板之间共同形成了铰接形式, 调节支腿最主要的功能便在于对格架水平度进行调整, 与此同时, 其还能够对格架

起到一定的支撑作用。

1.2 工艺

在贮存小室的制作方面, 其全长为 4280mm, 内腔是 226mm×226mm, 顶端则是锥形导向段, 其最大扩腔是 240mm×240mm。在全场范围内, 其直线度要求是 0.5mm。在燃料活性段的高度上对中子吸收体板进行设置, 与此同时, 通过厚度在 0.8mm 的不锈钢板的应用实现对其的覆盖与保护, 利用间断焊接的方式对包覆板进行固定。贮存小室同燃料组件之间存在直接接触, 并且还要对中子吸收体进行固定和保护, 贮存小室本身有着相对较高的精度要求, 其实际加工质量将会对燃料贮存格架本身的质量造成一定的影响, 这也是未来制造工艺研究的关键内容。底板尺寸大小由燃料格架尺寸决定, 底板上分别开孔, 用于流水、吊装以及安装支腿调节工具。其在规格和功能上存在一定的差异性, 整体呈现出更加复杂的特点。但立足于制造工艺进行分析, 底板的结构依然比较简单, 可以采用数控机床加工等方式完成加工。在调节支腿的制作上, 调节螺杆中包括长方形凹槽, 其所使用的是数控机床加工方式, 这一工艺发展至今已经相对成熟, 可以充分同加工精度要求相适应。对于底板和贮存小室之间的连接来说, 格架所选用的是螺栓连接结构, 此举能够有效突破以往常用焊接结构的局限性, 在总装的过程中, 工作人员可以通过螺栓将底板和贮存小室有效连接起来, 接下来再进行调整就位, 并于最外围对加固框架进行焊接, 具体包括隔板和立柱两部分。

在方管的制造工艺方面, 其涉及多种类型, 例如可以使用圆管通过胀管进行成型或者 C 型管对接拼焊完成等。本研究使用的为 C 型不锈钢板对接焊工艺。具体工艺路线如下: 板材的激光切割下料, 激光切割机在实际应用的过程中有着较好的质量, 其切口宽度大多维持在 0.1 ~ 0.5mm 范围之内, 而且其精度较高, 切口表面有着良好的粗糙度, 通常情况下不用对其进行

再加工便可以进行焊接。针对那些板厚处在 6mm 以下的材料而言,由于等离子切割与激光切割相比有着更大的热变形,所以一般情况下不会使用等离子切割方式,而是尽可能采用冷冲切和激光切割的形式,以免工件受热后出现变形问题产生碰撞切割头的现象。制作方管所使用的为厚度是 2mm 的不锈钢板,所以在本工艺中更适合采用激光切割的工艺。在进行激光切割下料的过程中,激光切割机能够充分展现出其精密性,确保其对角线尺寸的精确性,同时还能够为焊接边直线度提供充足的保障,这有助于为最终成型质量的提升提供充足的保障。下料后上折弯机单片折弯成 C 型板,沿一长边折弯成 C 型板,将两个合格的 C 型管拼接固定在工装上点焊两条焊缝,点焊要保证错边 $\leq 0.2\text{mm}$,焊缝间隙 $\leq 0.03\text{mm}$,焊点间距 $\leq 50\text{mm}$ 。焊接填写焊接记录并检查点焊后错边量及焊缝间隙,检查合格后的套筒转激光焊接机进行两条焊缝焊接。焊接后做尺寸检查、焊缝 VT 和 PT 检查。

2 燃料贮存格架制造过程中发现问题与改进策略探究

2.1 问题及产生原因

本文所述项目中使用的燃料贮存格架在贮存套筒焊缝方面存在一定的质量隐患,具体包括焊缝腐蚀以及锈蚀两种。试验研究表明,本项目所检测的贮存套筒所具有焊缝缺陷具体表现为成型不良、咬边、根部缩沟及未焊透等。其中根部缩沟及未焊透这一问题大多集中在焊缝的端部,长度大概处在 3 ~ 15mm 范围之内。上述问题产生的原因包括以下几点:

首先,在贮存套筒的焊接方面,焊缝氧化是比较常见的缺陷之一,在使用激光焊的过程中,母材和焊缝金属都会产生一定的氧化现象,因为焊缝背面没有使用相应的保护气体,所以导致其氧化问题相对严重,而在焊缝正面,其受到保护气体流量不充分的影响也面临着轻微氧化的问题。

其次则是焊缝形成不良问题,因为激光焊接在实际应用阶段面临着焊缝窄以及光斑小等特点,所以其在实施的过程中往往要求焊件装配位置同配合间隙有着更高的精度。焊缝形成不良问题产生最关键的原因在于焊件并没有处在同一水平面上,与此同时,设备与工装组对间隙面临着不一致的问题。能否实现对于焊接参数的科学设置直接关系到焊缝表面成形质量,而在这一过程中,焊接速度的把控是最为关键的影响因素。贮存套筒所使用的 C 型板本身属于薄壁奥氏体不锈钢,在对其实施焊接的过程中有极大的可能性会产生变形问题,所以为了最大限度降低其出现焊接变形的可能性,工作人员应当尽可能提升其焊接速度,在原有的基础上对焊接时间进行缩短。但结合实际情况来看,高

速激光焊接工作的开展不可避免地会产生熔池特性和高冷却速率,这会在极大程度上增加焊缝产生驼峰焊道的可能性。基于此,工作人员在确保焊接变形能够充分满足焊接变形的要求相符合的基础上,需要强化落实对于焊接速度的合理控制,进而起到对于驼峰焊道的抑制作用。此外,在激光焊实施阶段有可能会产生匙孔效应,其同样会有可能滋生焊缝形成不良问题。匙孔的构成包括金属蒸汽以及等离子体,气体对激光能够展现出良好的吸收辐射作用,所以在激光焊接时有可能会面临焊接欠缺稳定性的现象,进而导致焊接接头表面呈现出凹凸不平的特点。

最后,方筒在完成制造之后需要经过通过性试验,验证其直线度,然后在车间放置一段时间,此时其焊缝表面会出现一定的锈蚀问题,但根据相关经验教训来看,前期项目燃料贮存格架问题最集中的便在于存在于焊缝表面的大量锈蚀。针对这些锈蚀部位展开全方位的分析工作之后能够发现焊缝的锈蚀呈现出不均匀、点状以及疏松等特点,整体位于焊缝的中间位置,为亮黄色。这也代表着造成焊缝表面存在锈蚀的根本原因并非焊接氧化,由于焊接氧化过程需要经历较长时间的高温状态,氧化层更加坚硬并且致密性高。在产生强力摩擦并且面临着外来污染物时便有可能会出现焊缝锈蚀问题,在对不锈钢薄板进行焊接的过程中有可能出现变形问题,所以若是没有高效落实对于焊接过程的合理控制,便会使得方通产生尺寸变形问题。在后续针对方筒所开展的通规试验当中,方筒同通规之间将会产生直接摩擦,若是摩擦过大会破坏相应部位的钝化膜。如果制造车间有着一定的污染物,特别是带有腐蚀性元素离子的污染物,一旦其在格架的不锈钢表面上进行黏附,便有极大的可能会导致不锈钢钝化膜遭到破坏,继而造成格架表面出现点蚀问题,最终产生锈蚀。

对于存在局部破损和有着严重不锈钢划伤的部位来说,在不锈钢表面上所黏附的硫化物与基体相比属于阳极所以会产生溶解,溶解后所形成的物质会对周边的氧化膜造成破坏,进而迅速对这一基体进行转变,使其转化为阳极开始产生腐蚀作用,硫化物在溶解过程中所产生的物质会对不锈钢摩擦破坏部位起到一定的活化作用,进而避免破坏部位出现再钝化现象。但若是腐蚀性阴离子吸附在不锈钢钝化膜上之后, Cl^- 便有可能再次进入到氧化膜当中对其造成污染,也有可能对氧的吸附点进行替代,破坏膜并产生点蚀,因为 Cl 和 S 都存在于其中,所以当 Cl 同硫化物等物质之间产生相互作用时会在短时间范围内迅速产生点蚀。在项目现场中,格架焊缝面临着一定的腐蚀和锈蚀问题,上述现象产生的主要原因包括金属表面破损、污染物

以及摩擦等因素的综合作用。

2.2 变形控制

贮存套筒的 C 型板是薄壁板,其厚度仅有两毫米,在对其进行焊接操作的过程中有极大的可能性会出现变形现象,所以工作人员需要针对性地采取变形控制措施,在没有对这一技术进行改进之前,使用的刚性固定装备作为防变形工装。其具体指的是对单独的工装进行设计,通过对于工装压板的应用,将需要焊接的 C 型板固定的激光焊机上,并保障其具有较高的稳定性。在初期开展焊接工作的过程中,工作人员并没有对薄板本身的刚性进行充分考虑,所以在自动压制对中的过程中,如果对两件 C 型板进行施压之后,其并未处在同一水平面上,使得激光头测距值存在严重的离散现象,难以充分同焊缝功率参数要求相符合,其既会产生焊缝成形不良的问题,严重的情况下还会造成焊接变形。通过工作人员所开展的反复现场试验和分析工作,最终决定采用新设计的组对工装代替以往的原压板工装。该方式的应用能够在组对过程中实现对于间隙的合理控制,在此过程中还能够确保两件 C 型板能够始终处在同一个水平面上,在原有的基础上对装配精度进行提升,更好地同激光焊机激光测距的实际要求相适应。方管焊缝两端未焊透及根部缩沟问题,可以通过加设引弧板和收弧板,并保证板面高度与焊缝高度齐平来改善。

2.3 参数优化

除了要强化开展变形控制以外,工作人员还应当从实际情况出发,合理使用不同的离焦量数据、速度以及功率展开组合焊接以及对比试验,进而在不断探究的过程中精确找到最优的参数。基于固有的焊接工艺进一步促进焊接激光功率的提升,在原有的基础上对焊接速度进行降低,不断增多保护气体流量以及背面保护气体,氦气依旧是正面保护气体,在此过程中还要对气体的纯度进行进一步的提高,使其满足 99.999% 的要求,这样便可以在极大程度上缓解焊缝成形不良以及焊缝氧化等问题。

2.4 提高清洁度

首先,在 C 型板组对之前,工作人员需要对其清洁度展开全方位的检查工作,在 C 型板来料时,应当

明确判断其表面的锈蚀情况,如果存在锈蚀则需要采取相应的措施进行妥善清理。与此同时,工作人员应当确保焊接和装配工作均能够在无尘车间内进行,切实提升车间整体的清洁度,以免造成奥氏体不锈钢表面污染。

其次,工作人员应当针对 C 型板组对以及点焊的清洁度展开控制工作,在检查阶段,工作人员应当确保按照要求佩戴手套,以免用手直接同设备相接触进而导致设备被汗渍污染,不洁的手套同样会造成铁素体污染,在实际开展组对以及激光焊接工作的过程中应当严格规范其操作,避免对其板材的表面造成损伤。

最后,在完成 C 型板的焊接工作后需要对其进行全方位清理,例如,若是焊接过后焊缝的表面存在缺陷,应当先对其缺陷进行打磨,并在表面上使用丙酮、酒精以及 A 级水等进行清理。当前改进后的工艺措施已经在诸多项目的燃料贮存格架焊接工作中实现了推广应用,高效解决了诸多焊接变形以及焊缝氧化等问题,在极大程度上提升了焊接效果。

3 结语

综上所述,燃料贮存格架作为核电项目中的重要设备,有着极为关键的功能,而其在投入之后便不能够对其更换或者是维修,所以对其有着较高的质量要求,高效开展激光焊接工作有助于提升格架质量,对于其应用年限的延长和应用效率的提升有着重要意义。因此,相关研究人员应当加强对其的重视,进而切实保障其应用成效。

参考文献:

- [1] 高俊根. 乏燃料贮存格架激光焊接问题分析及改进措施[J]. 电焊机, 2021, 51(11): 136-140.
- [2] 孙四中, 王哲, 许贵平, 等. 乏燃料贮存格架制造工艺过程尺寸控制[J]. 机械设计与制造工程, 2018, 47(5): 96-98.
- [3] 梅侦, 孙福江, 朱刚, 等. 海洋核动力平台乏燃料贮存格架设计及安全分析研究[J]. 核动力工程, 2021, 42(3): 177-182.