

AFA 3G 燃料组件制造技术研究

中广核铀业发展有限公司 邱卫卫 王敏

摘要：在社会经济不断进步与发展过程中，新型材料的出现为各行各业发展带来了机遇与挑战。其中，AFA 3G的运用有效提高了核电产业的经济性，为核电企业的长远发展提供了有力保障。基于此，本文将重点围绕AFA 3G燃料组件制造技术加以研究，以供参考。

关键词：AFA 3G燃料；组件制造；技术分析

当前，我国多数核电站开始借助AFA 3G提高技术质量。然而，由于此类燃料组件在使用过程中破损率较高，经常会出现燃料组件损伤及破损状况，不利于技术大范围运用。由此可见，围绕AFA 3G燃料组件制造技术加以分析尤为关键，是保障核电企业技术运用经济性的重要研究内容。

一、AFA 3G燃料组件分析

AFA 3G燃料组件是指在原有2G技术形式中添加了优化后的高燃耗组件，是一种基于AFA 2G优化升级的技术形式。在AFA 3G组件中，技术人员在传统的燃料棒包壳管中添加合金物质，并进一步增加组件的长度。此外，系统导向管参数大小发生改变，原有的焊接形式也转变为胀接技术。与此同时，在AFA 2G组件中燃料棒的技术形式采用相同富集度的方式加以处理，而在优化之后的组件中则增设了不同的其他组件，并在结构中安装了3层的格架架构，此种制造技术的优化进一步提升了组件的使用效果。

二、当前AFA 3G燃料组件制造技术分析

（一）燃料棒组装与焊接

为强化AFA 3G燃料组件的制造生产效果，技术人员对原有的AFA 2G设计与生产体系进行细致分析，并围绕压塞机等设备开展了系统优化，以此满足组件生产需求。在具体工作中主要存在以下两个技术难点：

1. 制造过程中气胀问题的研究与处理

在传统的AFA 2G技术中，燃料棒主要是以Zr-4为主要原材料，此种材料具备一定的使用性能，但是极易受到损坏。为此，在AFA 3G技术中新运用了M5

合金材料，此种材料的抗腐蚀性能更强。主要是以焊接形式组装，如激光、电子束等技术形式。为有效解决此种材料焊接后的运用问题，工作人员对制造开展系统的鉴定工作，然而鉴定结果显示燃料棒底部存在严重的气胀问题，从参数指标来看，甚至达到30%左右。在针对气胀原因开展分析过程中，技术人员认为是此类合金材料的硬度和强度不够，以至于极易出现无效腔状态。在此种环境下，焊缝的整体冷却效果较差，为保障冷却作用满足现实需求，包壳管便会加快收缩，从而堵死气体正常的释放通道，导致在焊缝区域周围产生明显的气胀。根据目前相关研究，若想解决气胀问题，便要在制造环节缩短焊接时间，同时增大电子束，以此在确保焊接效果的同时防止零件热量较高产生膨胀问题。

2. 堵孔焊腐蚀试样不达标

在AFA 3G燃料组件制造过程中，经常会出现样品腐蚀测试之后产生白色产物的情况。这是因为在前期试样制造的过程中充氮不达标，以至于在焊接时受到环境影响而难以达标。此情况也间接说明焊室环境的质量直接会影响焊接的抗腐蚀性能，在后续制造过程中应该强化对焊室清洁度的关注，避免这类问题出现。

（二）燃料组件骨架安装与焊接

1. 工装设计

AFA 3G骨架相比于过去的设计取消了上管座的设置，在结构中增设了3层半跨距搅浑格架并在原有组件的基础上运用了厚度加大的导向管，导致整体结构尺寸出现了明显变化，此后续应针对骨架组装等工序开展重新设计，例如，配套零件装置等，以此满足骨架生产需求。

2. 骨架点焊

原有的AFA 2G导向管在使用过程中极易出现损毁，而在AFA 3G导向管中增加了外壁的厚度，因此，在后续骨架焊接过程中需要调整焊接的参数信息。结合目前实际来看，厚度差异较大，在点焊过程中极易出现不完全焊接的状况。为此，技术人员开展了技术

试验,最终认为可借助熔核技术强化点焊的质量效果。

3. 骨架导管以及其他零件焊接

在AFA 3G燃料组件制造生产中,组件组装等工序需要在骨架结构焊接完成之后开展,因此,后续胀接位置的精准度、变形量的管控效果等因素都会直接对产品的制造效果产生影响。与其他工序相比,导向管的胀接处理技术对专业度和经验度的要求较高,技术人员在前期精准的完成工装调试操作。为此,后续技术人员对胀接操作进行系统优化,将原有的平台更改为胀接平台,并开展工装优化,从源头上提高工装的安装质量。数据分析显示,在此种技术处理背景下,组件安装的误差可被控制在0.05mm范围内,且所有的零件尺寸以及参数信息都能满足胀接技术运用的实际需求,可有效保障AFA 3G骨架制造水准。

(三) 燃料组件组装

AFA 3G组装技术与之前的技术形式并无明显差别,但是外形尺寸方面变化较大,以至于下管座的尺寸更小,需要重新根据框架结构完成设计优化。在具体操作中,技术人员需要针对AFA 3G中的上下管座情况重新规划螺钉的运用,以此满足胀形装置的实际需求。然而,在此方面也存在部分技术难点。一方面,套筒螺钉经常会出现“咬死”状态。在安装上管座过程中会出现异常“咬死”现象,即使涂抹了润滑剂,后续也很难完成高精度度的胀接操作,依旧会在外力影响下导致套筒螺钉出现“咬死”状况。为此,技术人员对套筒螺钉开展技术优化,对装配方面进行更改与完善,有效降低此种情况发生。另一方面,AFA 3G技术运用中由于前期套筒螺钉出现异常“咬死”情况,以至于后续裙边破裂的发生概率进一步提升。产生此情况的关键因素在于AFA 3G技术中的裙边厚度更小,且材料的变形量更小,而胀形的速度却更快,若是依旧采用原有技术中的参数指标,很容易导致裙边材料在受力作用下出现破裂状况。目前,技术人员经过多次研究发现,若是受力在10MPa以下,则此时的结构既能够满足胀形需求,也不会产生破裂状况,这也为后续技术优化提供了借鉴与技术支持。

三、AFA 3G燃料组件制造难点以及处理方式

(一) 技术难点

AFA 3G燃料组件在制造过程中主要包括零部件生产及组件组装,其中燃料棒制造主要运用M5合金材料,在操作中最为关键的环节是上下端塞的焊接、加工和后续处理,这也是AFA 3G生产中的核心管控区域,是影响生产质量的直接因素。与此同时,导向管的运用也是AFA 3G生产中的重要优化体现。此种导向管属于变内径的技术形式,因此,在点焊过程中难

度较高,熔核经常会出现十分不规则的状况,以至于难以满足技术需求。

(二) 处理措施

1. 积极借鉴国内外经验

为有效解决AFA 3G燃料组件生产中存在的不足,技术人员应该加大对以下内容的重视:第一,在引入技术过程中尽可能地挑选成熟的技术形式。第二,强化生产制造环节的质量管控效果,加大对AFA 3G制造难点的研究,寻求有效的解决方式。第三,运用现有技术形式实现工艺创新。在具体工作中要求在使用AFA 3G之前应综合运用国内外技术经验,详细分析现有技术材料以及文件数据内容,然后通过组织专题会议的方式讨论并掌握AFA 3G技术关键。此外,需派遣专家人员完成技术学习,并制定详细的技术引入计划书,利用专家学习与交流的方式确保后续制造生产质量。

2. 强化质量管控工作

AFA 3G燃料组件生产之前,工作人员应该围绕技术条件及图纸等信息数据编制完善的技术文件,包括技术标准、技术运用规范信息等,并结合国内外专家提出的建议,对不适合运用在AFA 3G中的部件加以创新与优化。此外,制造生产人员均要参与质量教育工作,深入分析可能存在的问题及产生原因,以此使工作人员在面对问题时有责任心,科学完成技术运用及制造监督管控。

3. 将AFA 3G燃料生产作为核心开展工作

制造团队需要定期开展工作会议,围绕AFA 3G制造技术的引入加以研究,并以此为核心确保技术运用及部件改造优化的科学性与合理性。例如,在工装分析的过程中,便需要针对图纸等信息加以分析。与此同时,工程师应与制造人员开展分析,制定详细的组装和制造生产规划方案,以此避免问题的出现。

4. 充分运用现有技术条件

为保障制造安装的效果能够满足现实需求,工作人员应该针对AFA 3G燃料棒焊接及上下管座安装等工序的重点环节加以确认,并通过电子束焊接测试的研究,确认焊接管控重点。例如,在导向管胀接过程中便可多次开展测试工作,以此解决导向管与套管胀接过程中的平整度问题,确保其满足0.15mm以内的标准需求。

四、AFA 3G燃料组件制造质量优化中的技术运用

(一) 制造优化经验

一方面,要以宏观角度完成职责规划,在制造过程中需围绕总目标来生产,确保各方人员科学完成工作任务。另一方面,AFA 3G组件制造的过程中涉及

诸多专业技术,需要各部门通力合作,确保技术运用的科学性。此外,应做好现场规划协调工作,在保障总目标设定的同时在合同中添加具体的节点计划,包括节点验收等信息,确保制造流程的科学性,保障制造质量。

(二)AFA 3G燃料组件拆解修复技术分析

目前,AFA 3G燃料组件在使用过程中较常见的问题是燃料棒的损坏。燃料棒作为主体结构的关键部分,一旦出现损坏,技术人员要及时完成破损组件的更换和修复工作。其中,修复工作最为常见,能够有效减少资源浪费,保障成本管控质量。

1.原理

过去,技术人员运用不锈钢材质的燃料棒完成组件的更换和修复。在具体工作中,技术人员会对破损组件进行结构拆解,然后加以存储,并将新的燃料棒安装在目标区域。哑棒的材料类型较多,每种形式在使用中的优劣情况也有所差异,其中不锈钢材质的材料使用最为普遍,可降低对设计参数的影响,确保企业的经济性。

2.技术过程

本文将以 17×17 型号的燃料组件(图1)作为分析对象,该组件包括骨架以及上下管座和燃料棒等。其中,骨架中设有11格架、导向管以及上下管座。

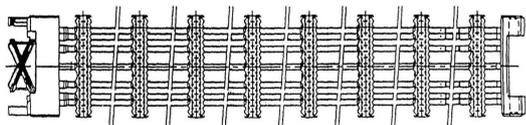


图1 组件示意

在后续技术修复过程中应该按照以下步骤操作:首先,在拆卸结构之前需要对外观加以检查,确认各区域没有多余异物,且螺钉等材料不存在丢失等情况。然后,便可开展上管座拆除工作。先用工具完成区域固定,之后在水下监控技术的运用下,拆卸结构中的螺钉等材料,所有的拆卸材料应该按照要求放置在收集桶等标准位置。例如,将旧螺钉放置在容器内,以此为后续的操作处理提供保障。运用抓具去除结构中的上管座,并将其放置在工具架上。其次,应用工具开展燃料棒区域定位,确保燃料棒区域不存在位移情况,然后取出燃料棒并按照拉拔力限值要求缓慢提升破损区域材料,直至完全抽离整体组件,将破损组件放置在储存容器中。需要注意的是,在拔取过程中,不可以破坏周围的结构,要时刻关注燃料棒的表面情况,

并做好外观检查。最后,在修复中关键的不锈钢棒复原环节。在此过程中,需要运用工序将不锈钢材料放置在组件区域中,在安装过程中要注意下端头在进入定位格栅之前,应该运用视频监控完成区域定位,并利用点动的形式完成下降操作,直至其通过其他结构,才能开展后续的复原安装。在上管座复原过程中,通过工具的使用,将上管座放置到燃料组件正上方,缓慢地移动将其恢复到目标区域,并运用套筒螺钉进行固定,完成胀形操作。在胀形完成后,要做常规检查,确认其满足组件安装要求。全部复原完成后,外观检查尤为关键,要确保没有其他多余物质,且螺钉安装满足精准度需求。拆解修复技术的运用可以有效保障资源管控效果,降低经济成本。为进一步提高技术运用质量,降低风险因素影响,要求技术应用全过程必须在水下完成,且应时刻监管参数数据,并运用保守值作为核心开展技术应用,防止对其他部件产生影响。在完成后再根据现实与实际拉拔力数据的对比,分析组件状态。具体要求拉拔力范围应该小于计算限值,这样才能满足技术应用标准。总而言之,对于核电站发展来讲,AFA 3G燃料组件的制造效果尤为关键,在后期工作中必须加大对细节管控,科学自主研究,并综合国内外技术运用经验,强化技术运用,加强对制造关键节点的质量管控,以此保证组件生产质量。

五、结论

综上所述,AFA 3G已经成为核电站发展的重要燃料组件形式,为进一步强化组件的运用效果,延长组件的使用寿命,减少运用中的维修次数,要求相关人员应强化组件制造水平,并结合实际运用强化制造细节管控,以此确保燃料组件的性能效果,为相关产业的长远发展提供技术支持。

参考文献:

- [1]姚波,向文欣,叶臣.AFA3G LE燃料组件的结构特点和设计论证[J].核动力工程,2020,36(S1):40-43.
- [2]汪俊,刘杨.压水堆核电厂AFA3G燃料组件径向等效导热率研究[J].核安全,2020,13(02):66-70.
- [3]廉志坤,吴春虎,杨有清.AFA 3G型燃料组件导向翼和搅混翼的修复[J].机械设计与研究,2019,29(05):21-25.
- [4]刘文进,曾忠秀,吴万军.燃料组件由AFA 2G改为AFA 3G对反应堆堆内构件地震响应的影响[J].核动力工程,2019,34(05):25-29.
- [5]刘波,童慎修,吴平.AFA 3G燃料组件骨架导向管与格架的压力电阻焊工艺研究[J].核动力工程,2019(05):70-74+87.