

## 控制棒驱动机构钩爪及连杆 自动氩弧堆焊关键技术及装置研发

Research and development on key technology and device of automatic TIG welding latch arm and latch link

王德斌<sup>1</sup>, 刘刚<sup>1</sup>, 王丰<sup>1</sup>, 史晓辰<sup>1</sup>, 周文<sup>2</sup>

WANG De-bin<sup>1</sup>, LIU Gang<sup>1</sup>, WANG Feng<sup>1</sup>, SHI Xiao-chen<sup>1</sup>, ZHOU Wen<sup>2</sup>

(1.上海核工程研究设计院, 上海 200233; 2.北京雷蒙赛博机电技术有限公司, 北京 101407)

**摘要:**以控制棒驱动机构钩爪和连杆的自动氩弧堆焊技术为主要对象, 在对钩爪及连杆的功能和性能要求以及成型工艺分析的基础上, 通过研制专用的自动氩弧堆焊装置及配套堆焊制造工艺, 采用自动氩弧堆焊技术制造钩爪, 样件通过1000万次的耐磨性能试验, 验证了堆焊钩爪及连杆满足性能要求, 从而确保控制棒驱动机构安全可靠运行。该研究开发了小孔、齿面弧形多层自动化堆焊工艺技术和适用于钩爪及连杆堆焊的专用自动化焊接装置, 实现自动化堆焊, 焊接质量稳定、效率高、经济性好。

**关键词:**控制棒驱动机构; 钩爪及连杆; 自动氩弧堆焊技术; 耐磨性能试验

**中图分类号:** TL351+.5; O313.4

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1009-0134(2017)01-0127-03

### 0 引言

在压水堆中, 控制棒驱动机构(CRDM)的作用是在垂直方向定位控制棒组件。通过CRDM改变或保持控制棒组件的位置, 实现反应堆的启停、反应堆正常运行中调节或维持堆芯的功率水平以及在事故工况下的快速停堆。控制棒驱动机构简图如图1所示, 每台驱动机构有2组钩爪, 每组钩爪由三套钩爪、销轴和连杆组成。上面一组钩爪为可动钩爪, 即该组钩爪除了能通过摆动进出驱动杆齿槽, 还可以做上下升降一步的步跃运动; 下面一组钩爪为固定钩爪, 固定钩爪只能做进出驱动杆

环齿槽的动作, 并可略有上下间隙窜动。钩爪与驱动杆的齿槽啮合设计是不自锁的, 当所有电磁工作线圈供电切断时, 驱动杆连带控制棒组件便能在重力作用下快速脱离钩爪而落下。钩爪的寿命直接影响驱动机构的寿命。

本研究来源于国家重大专项课题“AP1000核岛重大设备设计技术研究”(课题编号: 2010ZX06001-002), 通过研制专用的自动氩弧堆焊装置及配套堆焊制造工艺, 采用机械性能优良的304LN作为钩爪基体, 并在钩爪齿面及销孔等摩擦部位自动氩弧堆焊钴基合

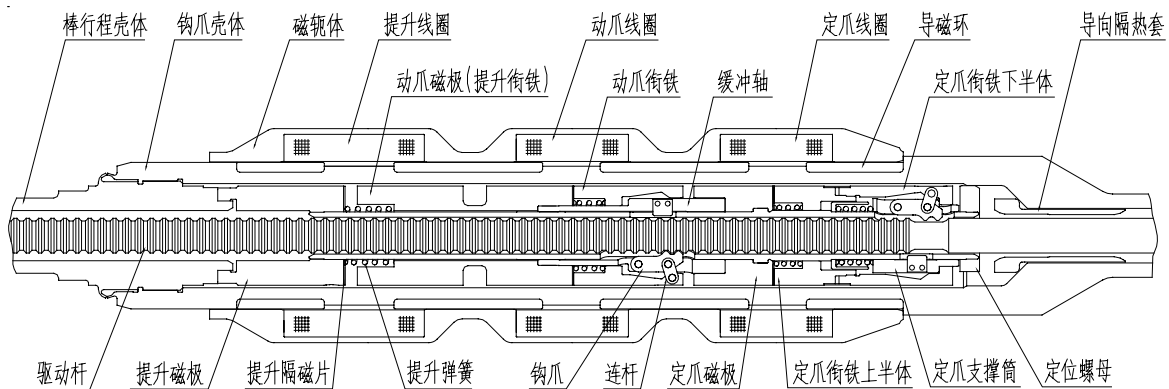


图1 控制棒驱动机构结构简图

收稿日期: 2016-10-11

基金项目: 国家科技重大专项资助项目(2011ZX06002-002)

作者简介: 王德斌(1983-), 男, 甘肃人, 工程师, 硕士, 主要从事核电站反应堆设备设计研究工作。

金,使钩爪兼顾良好的韧性和耐磨性,确保控制棒驱动机构安全可靠运行;同时通过大大减少活化材料的使用,进而大大降低二次激发辐射剂量。采用自动氩弧堆焊,工艺稳定可靠,堆焊层化学成分稳定,整体热输入低,热变形和热应力小,易实现自动化批量生产。

## 1 产品性能及成型工艺分析

CRDM运行可靠性、步跃寿命提升很大程度依赖于钩爪部件,同时先进堆型的电厂负荷跟踪的需求,对钩爪部件寿命提出更高要求;此外CRDM性能指标显著提升,这对钩爪部件可靠性提出更为严苛要求。

钩爪及连杆做为钩爪部件的关键零部件,其性能对机构的寿命和运行可靠性至关重要。每套驱动机构有两组钩爪组成,每组钩爪由3套钩爪、销轴和连杆组成。综合分析功能要求和运行环境,钩爪应具备良好的耐磨性和一定的冲击性能。

现阶段钩爪的成型工艺,主要有两种方式:整体铸造钩爪和氧乙炔堆焊钩爪。整体铸造钩爪是采用Stellite6合金整体铸造,其优点为成型工艺较为简单,可控性强,易于批量生产;缺点为钴合金耐冲击性能较差;且整体为钴合金,增加了堆内钴元素的含量。氧乙炔堆焊钩爪是在奥氏体不锈钢基体(304LN)表面堆焊钴基合金。其优点实减少了钴元素在整个产品中的成分占比,在保障表面耐磨性能的前提下,兼顾了韧性。缺点是氧乙炔堆焊手工操作,工艺可控性弱,产品一致性差,难以实现自动化,人为不可控因素较多,具有成品率较低的技术缺陷;易导入C、H等化学元素,使得堆焊层的化学成分难以控制;对母材的预热温度和预热均匀性要求非常高。

面对目前的技术现状,很有必要创新性开发一种新的技术、新的工艺。即研发适用于小孔堆焊、工艺稳定可控、易于检测、可实现钩爪及连杆自动化批量生产的堆焊工艺及装置,该新技术需具有可靠性和经济性、整体寿命提高等优势。经大量试验和摸索,创新性的提出自动氩弧堆焊(TIG)钩爪及连杆。

## 2 自动氩弧堆焊技术研究

### 2.1 自动氩弧堆焊技术方案

采用机械性能优良的304LN控氮不锈钢作为钩爪基体,使用专用装置在钩爪齿面及销孔等摩擦部位自动氩弧堆焊硬度高的Stellite6钴基合金,使钩爪兼顾良好的韧性和耐磨性。针对上述技术方案,需对钩爪及连杆的结构进行创新设计。图2和图3为适用于自动氩弧堆焊新技术新工艺的创新结构设计,图中黑色部分为堆焊部位。

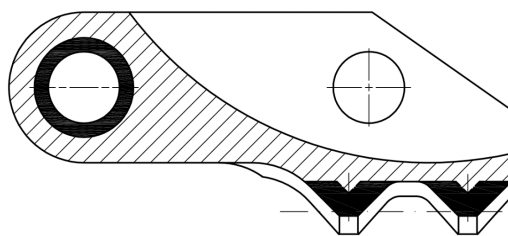


图2 堆焊钩爪结构设计

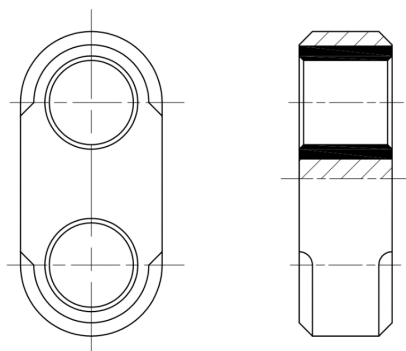


图3 堆焊连杆结构设计

钩爪结构设计上创造性地采用了母材嵌入堆焊层钩齿的结构。母材与堆焊层的接触面积增大,两种材料的结合强度提高。由于齿面堆焊层厚度更均匀,齿面堆焊层的工艺稳定性和机械性能都进一步提高。

堆焊主要的技术难度在于小孔的小电流自动化堆焊。分析堆焊的钩爪的结构特点,如图4所示,其一大难点就是小孔的堆焊可实施性和可达性。此小孔堆焊层宽度2.25mm,深度25mm,堆焊后的小孔直径仅有9.5mm。需开发定型的小孔小电流自动化堆焊技术、多层堆焊工艺,保证堆焊层化学成分的稳定性和质量的可靠性。此外采用自动氩弧堆焊技术研制的钩爪及连杆的具体参数及指标应满足相关技术要求。研制完成的堆焊专用自动化焊接装置应满足焊接工艺规范中对焊接参数的要求。其中较重要的技术指标为:堆焊材料推荐使用ERCoCr-A或Stellite6,硬度值应达到HRC42~45;堆焊后最终机加工前表面硬度值需达到HRC42~45。

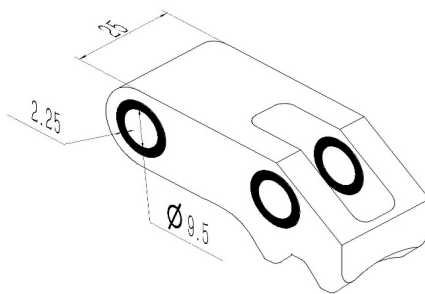


图4 小孔堆焊示意图

## 2.2 Stellite6焊丝的焊接性能分析

用Stellite6焊丝熔敷的堆焊层金属的特征是一个由大约13%共晶碳化铬以网状分布在Co-Cr-W固溶基体中的超共晶结构。该结构使材料具有抵抗低应力磨损和抗某种程度冲击所需的综合性能。其也具有有良好的抵抗金属对金属磨损的能力。基体的高合金含量也提供了良好的抗腐蚀、抗氧化和在最高为650℃工作温度下的红硬性。这些合金不发生同素异形转变,因此对基体进行热处理,不会失去他们的性能。根据ASME SFA-5.13 得到Stellite6焊丝的AWS类别为: ECoCr-A。ECoCr-A焊丝堆焊的典型硬度值为: HRC23-47。因此,为了获得HRC42-45这个的硬度范围,必须合理控制焊接电流、焊接速度、预热温度、层间温度、保温温度、保温时间等各者之间的关系。

## 2.3 堆焊层硬度研究

根据304L控氮不锈钢和Stellite6焊丝的化学成分和力学性能,进行了试件的单层堆焊。从硬度分布结果来看,单层堆焊的堆焊层硬度值不均匀,且平均硬度值低,稳定性差,无法满足堆焊层的硬度要求。分析原因主要是母材基体为304LN不锈钢,硬度值较低;焊材为Stellite6合金,硬度值较高。母材密度低于焊材密度,由于母材稀释的原因,单层堆焊的硬度值低。后采用减小焊接电流和焊丝直径的多层堆焊工艺堆焊,均值满足HRC42-45的要求,且硬度分布均匀,如图5所示。

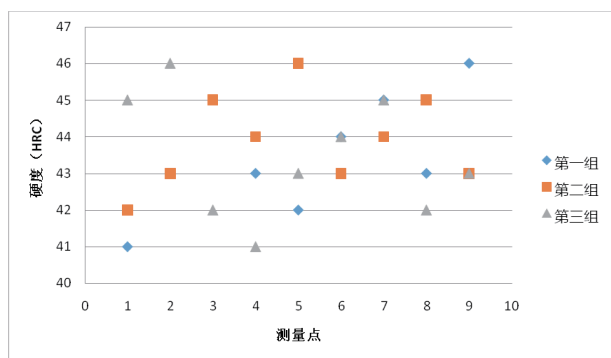


图5 多层堆焊硬度分布图

## 2.4 防止堆焊层产生裂纹的研究

钴基合金属于硬质合金,堆焊时易产生裂纹。应采取焊前预热,焊后保温缓冷,合理的焊接工艺参数等措施,避免产生裂纹。若预热温度过低,将使堆焊初期堆焊层冷却速度过快,易产生裂纹。层间温度过高会引起热影响区晶粒粗大,使304L控氮不锈钢基体的冲击韧性下降,若层间温度低于预热温度则可能在堆焊过程中产生裂纹,因此层间温度需稍高于预热温度。堆焊后的冷却速度过快,堆焊层将会因为温度骤降产生裂纹。降低堆焊层的冷却速度,使工件能均匀缓慢冷却下来,从而

减少产生裂纹的倾向。

经过分析、计算、实验,制定了在304L控氮不锈钢基体上堆焊Stellite6合金的堆焊工艺规范,并研制了堆焊专用自动化装备,由小孔堆焊装置和齿面堆焊装置两套装备组成。最终堆焊样件实际性能指标满足所有技术指标要求,堆焊层机加工后液体渗透检验均未发现技术文件规定的缺陷存在。图6为堆焊钩爪结构示意图。

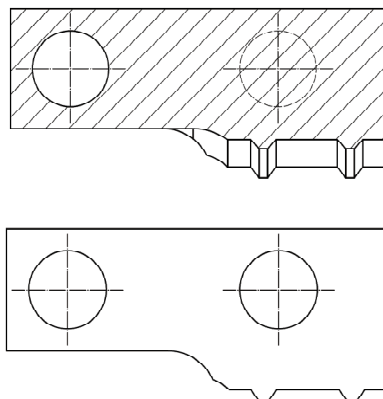


图6 堆焊钩爪结构示意图

## 3 产品耐磨性能试验验证

### 3.1 试验方案

产品耐磨性能试验验证的检验CRDM钩爪及连杆试件在试验介质为常温、常压、去离子水,并且更苛刻(72步/分钟)的工作条件下,能否完成工作循环次数600万次和900万次的寿命要求。

采用CRDM钩爪及连杆耐磨性能试验装置,对钩爪及连杆试件900万次的动作分为8个阶段进行试验。在规定的里程碑数,分别对钩爪、连杆、承重销轴、钩爪支撑销轴,动爪衔铁支撑销轴,驱动杆、缓冲轴,动爪衔铁的关键磨损部位进行测量和记录。对所记录的数据进行整理分析,得出影响钩爪及连杆磨损的规律。

### 3.2 试验数据分析

产品耐磨性能试验获得了大量试验数据,得到了影响钩爪及连杆的磨损规律,验证了钩爪及连杆的耐磨性能,为钩爪及连杆的优化设计提供支持。

总体分析各类数据及曲线,可得出以下结论:

1) 钩爪,连杆,销轴等各试件的质量随着运行步数的增加逐步减小,试件的各孔的直径增大,销轴的直径减小,实际的磨损趋势与理论磨损趋势相吻合。

2) 钩爪齿面,驱动杆齿面随着运行步数的增加磨损量逐渐增大,实际的磨损趋势与理论磨损趋势相吻合。

【下转第133页】

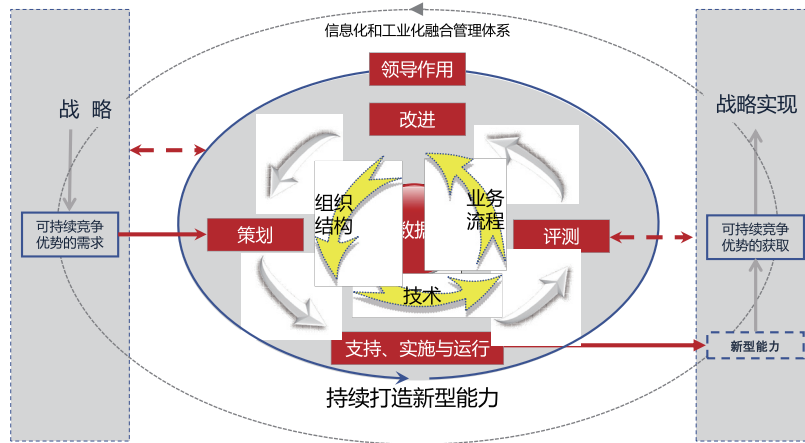


图2 两化融合管理体系的基本框架

## 参考文献:

[1] 王钦.新工业革命背景下的管理变革:影响、反思和展望[J].2014,36(12):176-185.  
[2] 周佳军,姚锡凡.先进制造技术与新工业革命[J].计算机集成制造系统,2015,21(8):1963-1978.  
[3] 吴澄,孙优贤,王天然,祁国宁.信息化与工业化融合战略研究:中国工业信息化的回顾、现状及发展预见[M].北京:科学出版社,2013.  
[4] 肖彬,郭颖.两化融合背景下企业管理创新的理论框架研究[J].科研管理,2015,36(S1):54-60.

[5] 吴澄.“两化融合”和“深度融合”——我国工业信息化的现状、问题及未来展望[J].自动化与信息工程,2011,32(3):1-8.  
[6] 周剑.应探索两化融合背景下的中国制造业管理新模式[N].中国工业报,2016.8.  
[7] 周剑.两化融合管理体系构建[J].计算机集成制造系统,2015,21(7):1915-1929.  
[8] 安筱鹏.两化融合管理体系体现了新工业革命的发展理念和方向[J].中国信息化,2015(12):7-9.  
[9] 中国两化融合服务联盟.两化融合管理体系贯标评定成果报告(2016)[R].2016.8.

【上接第129页】

3) 钩爪背槽及连杆厚度曲线,只是在前100万步有微量变化,之后一直趋于平行。且动爪衔铁连杆槽和缓冲轴钩爪槽曲线一直趋于平行状态。由此看出试件运行过程中的侧向只有微量磨损或无磨损,说明各试件只受微小的侧向力或者无侧向力,与设备运行状态符合。

4) 通过观察可知各个试件无论是质量还是尺寸,前100万次曲线变化较为明显。由于各个试件都是通过机械加工出来的,棱角处存在毛刺。还有随着运行步数的增加,各个接触面的粗糙度减小,由此运行同样步数的情况下试件的磨损量减小。由此可知实际的曲线变化与理论变化相符合。

5) 1000万次的耐磨性能试验的完成,验证了堆焊钩爪及连杆完成900万次的寿命要求。从本试验采集的大量宝贵试验数据分析得出,CRDM堆焊钩爪及连杆的使用寿命远大于设计寿命,大大提高了钩爪及连杆的可靠性,进而验证了氩弧堆焊工艺的可行性。

## 4 结论

本研究研制成功了满足技术要求、适用性广的自动

氩弧堆焊钩爪及连杆及自动化焊接装置。并通过局部模拟试验装置考核验证了技术的可行性和可靠性。本研究研制的自动氩弧堆焊制造工艺与国内外现有的同类技术比较,具有一定优势:

1) 定型的小孔小电流自动化堆焊技术、多层堆焊工艺,保证了堆焊层化学成分的稳定性和质量的可靠性,进而提高了钩爪的使用寿命。

2) 开发的适用于钩爪及连杆的堆焊专用自动化焊接装置,能够最大程度实现自动化,保证堆焊稳定性和优品率,提高了生产效率和经济性。

北京雷蒙赛博机电技术有限公司作为该成果的共同研制单位,在此一并致谢。

## 参考文献:

[1] 孙汉虹,程平东,缪鸿兴,张维忠,朱鑫官,翁明辉.第三代核电技术AP1000[M].中国电力出版社,2010.9.  
[2] 沈小要.控制棒驱动机构动态提升特性研究[J].核动力工程,2012,33(1):51-56.