

STEP 系列燃料组件未装配的上管座工艺改进研究

余桂锋 张艺程
中广核铀业发展有限公司
DOI:10.12238/etd.v6i4.15453

[摘 要] 本研究阐述了原先STEP系列燃料组件中上管座部件的单元件未装配的上管座制造工艺以及待改进的方向,并提出了改进思路,按照改进思路设计了工艺试验试样以及专用的焊接工装,进行了工艺试验。结果显示:焊接工装可有效解决管座圆弧较薄处熔穿出现黑色氧化物的问题,增加框板与连接板厚度预留量能解决由于热变形量过大导致的尺寸不合格的问题。
[关键词] STEP系列燃料组件; 上管座制造工艺; 改进; 研究
中图分类号: TH706 文献标识码: A

Research on Process Improvement of Upper Tube Seat for STEP Series Fuel Components
Without Assembly

Guifeng She Yicheng Zhang
CGN Uranium Industry Development Co., Ltd.

[Abstract] This study elucidates the manufacturing process of the previously unassembled upper pipe socket and the directions for improvement, and proposes improvement ideas. According to the improvement ideas, process test specimens and specialized welding fixtures were designed, and process tests were conducted. The results showed that the welding fixture can effectively solve the problem of black oxide melting through the thin arc of the pipe socket. Increasing the reserved thickness of the frame plate and connecting plate can solve the problem of dimensional nonconformity caused by excessive thermal deformation.
[Key words] STEP series fuel components; Manufacturing process of upper pipe seat; improvement; study

前言

STEP系列燃料组件中的上管座部件由未装配的上管座、板弹簧等零部件构成,其中作为单元件的未装配的上管座是最重要的组成部分,其焊接质量决定了上管座部件的机械性能,会影响到核燃料组件在反应堆内的安全性^[1]。付思特已对未装配的上管座焊接工艺做出了初步研究,得出了较为适宜的焊接参数,但还存在问题需解决,即圆弧处容易熔透导致背部出现黑色氧化物,热变形较大导致产品尺寸无法满足图纸要求^[2]。本研究基于此,对未装配的上管座制造工艺进行探究。

1 STEP系列燃料组件未装配的上管座制造工艺

STEP系列燃料组件未装配的上管座由框板与连接板组装焊接而成,其制造工艺为:框板与连接板的组装点焊固定→自动焊接→消应力热处理→机械加工^[3]。本研究采用的焊接方法为钨极惰性气体保护焊接,组装点焊为直流焊接,过程中使用氩气作为保护气体,自动焊接为脉冲焊接,使用氩气作为保护气体。焊接完成后,对焊缝进行外观及理化检验,分析结果逐步改进,最后得到合适的制造工艺。

2 试验过程与分析

表1 点焊固定参数

参数名称	参数值
保护气体的类型和流量	氩气 8±1L/min
电极材料与直径	钨钨 Φ1.6mm
喷嘴直径	Φ9.5mm
焊接电流	60±6A

表2 自动焊接固定参数

参数名称	参数值
保护气体的类型和流量	氩气 10±1L/min
电极材料与直径	钨钨 Φ2.4mm
喷嘴直径	Φ12mm
焊枪与工件的距离	0.7mm±0.2mm
焊枪角度	90°±5°
占空比	50%
脉冲频率	7hz

本研究使用的设备为福尼斯TT2200数字式氩弧焊机,搭载福尼斯TT3000数字式氩弧焊机的焊接机器人;试验过程中的辅

料为无水乙醇、无尘布、氩气(纯度 $\geq 99.995\%$)、氦气(纯度 $\geq 99.995\%$)、洁净棉纱手套、不锈钢丝刷、电刻笔。试验过程中的固定参数见表1与表2。

2.1 预试验

根据STEP系列燃料组件未装配的上管座结构,设计了围板自动焊接试样、框板自动焊接试样,使用铜块加工了两块弧形垫块,如图1所示,使其在焊接过程中可紧贴围板自动焊接试样的弧面。取围板与框板自动焊接试样,将两者长边相对,利用数字式氩弧焊机按照表1参数点焊固定,利用TIG焊接机器人按照表2与表3进行自动焊接,表中焊接参数参照原公司内部工艺参数卡,其中3组焊接时使用弧形垫块,另外3组不使用作为对照。

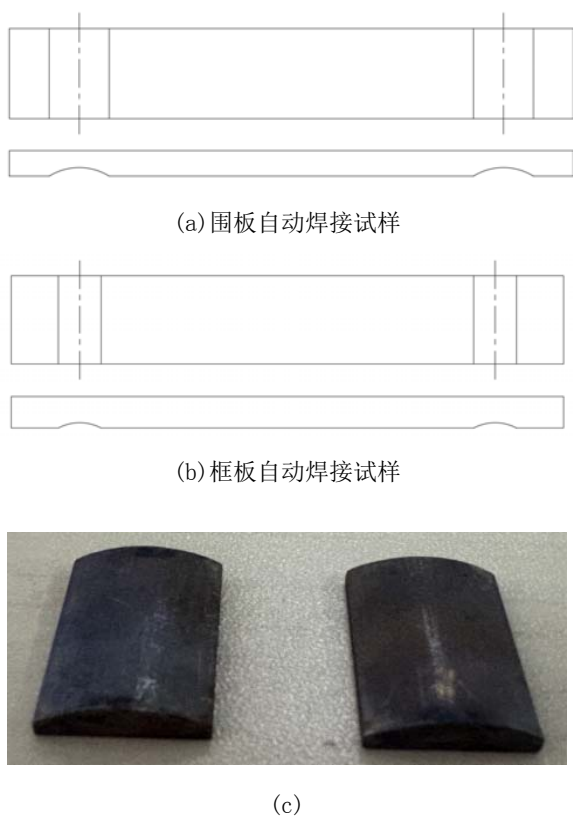


图1自动焊接试样与垫块(a围板自动焊接试样,b框板自动焊接试样,c垫块)

表3 工艺参数表

序号	峰值电流	基值电流	焊接速度	是否使用垫块
1	190A	50A	0.12m/min	是
2	190A	50A	0.12m/min	是
3	190A	50A	0.12m/min	是
4	190A	50A	0.12m/min	否
5	190A	50A	0.12m/min	否
6	190A	50A	0.12m/min	否

焊接完成后观察焊缝背面,发现仅3组未使用垫块的试样在圆弧处出现了黑色氧化产物,如图2所示,这是由于焊接过程中

试样背部无惰性气保护,过热甚至熔融态的金属会与空气中的氧气剧烈反应,最终形成黑色氧化物附着在焊缝背部,这种氧化物的存在是不允许的,它不仅会影响焊缝的机械和抗腐蚀性能,甚至影响反应堆内安全。而紧贴在圆弧处的垫块不仅可以有效地隔绝过热金属与空气直接接触,也可以一定程度的加快散热,控制圆弧区的熔深。

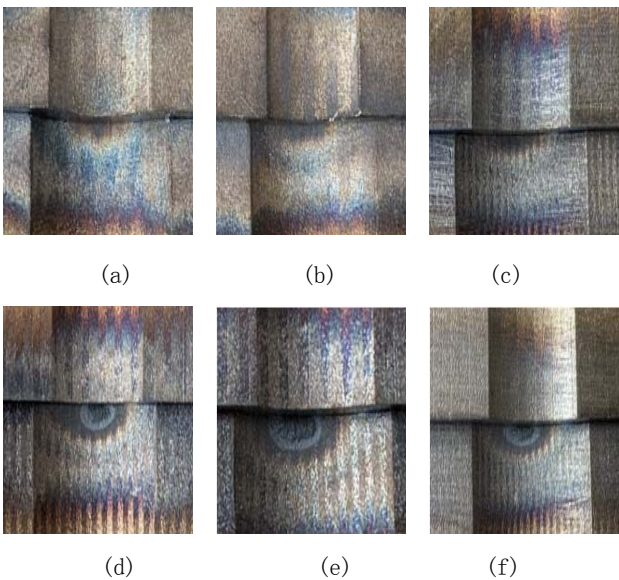


图2 焊缝背部

(a、序号1,b、序号2,c、序号3,d、序号4,e、序号5,f、序号6)

综上,圆弧处背部增加垫块可以有效解决焊缝背部易熔透导致黑色氧化物产生的问题。

2.2 STEP系列燃料组件未装配的上管座实体试验

本文设计了STEP系列燃料组件未装配的上管座焊接工装,如图3所示,在焊接过程中铜质垫块可紧贴焊缝背部。使用焊接工装进行管座实体试验,将框板与连接板组装点焊,内部安装焊接工装,使用表2与表3中的参数进行焊接,焊接完成后对管座进行消应力热处理,框板与连接板在初始状态厚度预留0.5mm余量,热处理结束后进行机械加工铣削去除。机械加工完成后先进行外观检查与渗透检查,随后利用线切割设备制备金相试样,送做金相检查,取样位置如图4所示,每个面取5个位置,共20个位置,以机械加工过程中的铣削量体现焊接热变形量。

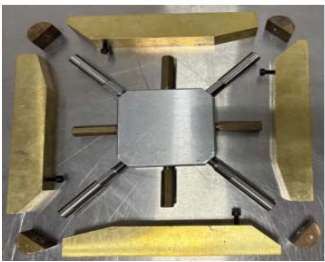


图3 焊接工装

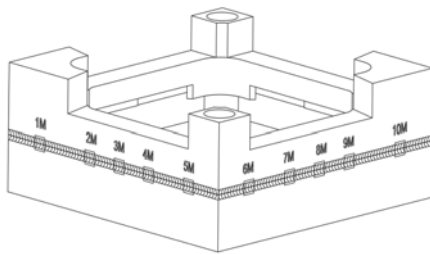


图4 金相取样位置

焊接并机械加工完成后,对所有焊缝外观放大3倍进行检查,未发现裂纹、未融合及未焊透等焊接缺陷,并且焊缝背部均未发现黑色氧化物,焊缝外观检查满足技术条件要求;对所有焊缝进行渗透检查,渗透时间15min,干燥时间5min,显像时间30min,经与B3型渗透试块对比,判定渗透检查结果合格,满足技术条件要求;金相检查结果显示,所有焊接接头内部无裂纹,且熔深全部 $>2.5\text{mm}$,满足图纸与技术条件要求,合格。

在机械加工过程中,发现由于未装配的上管座受热变形,四个侧面均为中心向外凸出的弧面,侧面的四角处最后被铣刀铣削,因此以铣刀刚铣光四角时的进刀量作为热变形量。四个面的热变形量在 $0.42\pm 0.03\text{mm}$ 范围内,虽然此时满足图纸条件,但框板与连接板在初始状态下只预留 0.5mm 余量,热变形量几乎与预留量持平,易发生热变形量过大导致尺寸超差的情况。

综上,新设计的焊接工装可有效解决焊缝背部产生黑色氧化物的问题,但还存在热变形量过大导致未装配的上管座尺寸不合格的问题,因此还需对未装配的上管座生产工艺进行改进。

2.3改进后的未装配上管座实体试验

解决热变形量过大问题可从两方面考虑,降低热输入量以及增加框板与连接板的厚度预留量,降低热输入量虽然可以减少热变形量,但可能出现焊缝熔深不满足图纸与技术条件的情况,因此研究者从增加框板和连接板厚度预留量的角度进行工艺改进。考虑到如果框板与连接板整体都增加厚度预留量,机械加工时铣削量也会增加,导致焊缝熔深不满足要求,因此只增加部分区域的厚度预留量,如图5所示,即焊接区域预留量为 0.5mm ,其余区域预留量为 2.25mm ,此时框板与连接板体积变大,整体

的热容量会增加,在保证产品尺寸的同时也可适当的减小热变形量。

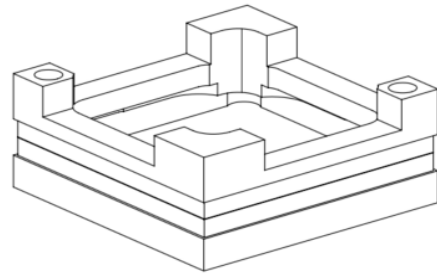


图5 工艺改进后待焊接的未装配上管座

按照上一节的焊接方法与参数对改进后的未装配上管座进行焊接,机械加工结束后同样对焊缝进行外观检查、渗透检查和金相检查,结果显示,所有焊缝外观、渗透和金相检查结果合格,满足技术条件要求,由于框板与连接板初始状态留有足够的余量,铣刀进给至指定深度即能满足尺寸要求。

综上,增加框板与连接板部分区域厚度预留量,可解决由于热变形量过大导致的尺寸不合格的问题。

3 结论

(1)在STEP系列燃料组件未装配的上管座背部圆弧处安装垫块可解决熔穿并产生黑色氧化物的问题。

(2)通过增加框板与连接板部分区域厚度预留量并使用焊接工装,焊接后的STEP系列燃料组件未装配上管座在满足图纸与技术条件的前提下,降低了由于热输入量过大而导致产品尺寸不合格的风险。

[参考文献]

[1]李莎.燃料组件上管座单元件国产化焊接工艺研究[J].核动力工程,2014,35(S1):110-112.

[2]付思特,余璇,盛国福,等.STEP系列压水堆燃料组件上管座TIG焊接工艺研究[J].热加工工艺,2022,51(05):119-122.

[3]钟建伟,盛国福,余国严,等.基于KUKA弧焊机器人的燃料组件上管座焊接工作站[J].电焊机,2020,50(11):115-119+147.

作者简介:

余桂锋(1991--),男,汉族,福建莆田人,硕士研究生,工程师,从事核燃料零部件加工研究。