

CN9100200

CNIC-00350

SMI-0002

中国核科技报告

Zr-4合金定位格架电子束焊接工艺研究

TECHNOLOGY OF ELECTRON BEAM

WELDING FOR Zr-4 ALLOY

SPACER GRID

(In Chinese)



原子能出版社

中国核情报中心

China Nuclear Information Centre

CNIC-00350

SMI-0002

Zr-4合金定位格架电子束焊接工艺研究

TECHNOLOGY OF ELECTRON BEAM

WELDING FOR Zr-4 ALLOY SPACER GRID

(In Chinese)

裴秋生 吴学义 杨其顺

(西南材料研究所, 四川)

中国核情报中心

原子能出版社

北京·1989.10

TECHNOLOGY OF ELECTRON BEAM WELDING FOR Zr-4 ALLOY SPACER GRID

Pei Qiusheng Wu Xueyi Yang Qishun

(Southwest Material Institute, sichuan)

ABSTRACT

The welding technology for Zr-4 alloy spacer grid by using vacuum electron beam was studied. Through a series of welding technological experiments, metallographic examinations of seam structure and detecting tests for welding defect by X-ray detectoscopy, a good welding technology was selected to meet the requirements. The experimental results indicated that the Zr-4 alloy spacer grid welded by vacuum electron beam welding is feasible.

Zr-4合金定位格架电子束焊接工艺研究

裴秋生 吴学义 杨其顺

(西南材料研究所, 四川)

摘 要

介绍了应用真空电子束焊接方法对Zr-4合金定位格架进行的焊接工艺研究。通过焊接工艺试验, 焊缝组织的金相检验, X射线探伤对焊缝缺陷的检验, 选出了满足设计要求的焊接工艺。结果表明Zr-4合金定位格架应用真空电子束焊接是可行的。

关键词 电子束焊接 定位格架 Zr-4合金

一、序 言

近年来, 国外正在研究在沸水堆和压水堆使用以锆合金做格架条带和网板, 用镍合金做弹簧的两种材料相组合的定位格架。美国燃烧公司锆合金格架焊接方法采用的极气体保护焊^[1]; 也有采用激光焊接、电子束焊接。但都没有资料介绍。锆合金定位格架的研究工作在我国处于初始阶段。上海核工程研究院研制的锆合金定位格架, 焊接方法采用真空电子束焊接。本课题进行电子束焊接可行性工艺研究, 为锆合金定位格架的设计和制造提供依据。

二、Zr-4合金定位格架简介

1. 17×17 定位格架由4块厚度为0.6mm的网板与32块厚度为0.4mm的条带组装而成。见图1。

2. 焊接接头形式: 见表1。

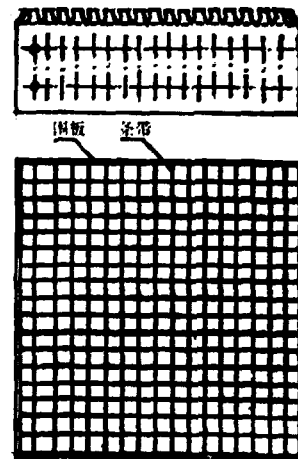


图1 17×17 Zr-4合金定位格架

表1 焊接接头形式

形式	条带与条带对接	条带与面板T字连接	条带与面板搭接	面板与面板搭接
名称	"十"字定位焊	"丁"字定位焊	搭接三焊	搭接缝焊
俯				
侧				

三、17×17定位格架电子束焊接技术要求^[4]

1. 面板与面板连接处焊缝要焊透。
2. 条带与条带熔化点焊，焊珠高不小于0.6mm，直径为1mm。
3. 条带与面板“丁”字形熔化点焊，焊珠高不小于0.6mm，直径为1mm。
4. 条带桩头与面板表面在 $\phi 3$ 球坑内熔化点焊，焊点熔深不小于0.6mm。
5. 焊缝进行X射线探伤检查，灵敏度报实测值。
6. 金相检验焊深处提供金相组织照片，焊接接头拉伸强度检测，实报数据。

四、试 验

1. 17×17定位格架电子束焊接设备

型号：EBW (6) —523644真空电子束焊机（日本电气公司产）

主要性能指标：加速电压：60~150kV；电子束流：0~40mA；最大熔接深度：40mm（SUS304）；工作室尺寸：1320mm×920mm×1150mm；束流偏转：1) 频率：10~10000Hz；2) 角度： $\pm 2^\circ \max$ ；对准焊缝精度：0.08mm。

2. 焊接夹具

(1) 焊接夹具的设计是该项工艺研究的重要项目，在设计中主要考虑了：a. 格架在焊接中定位可靠、准确。b. 控制格架尺寸，调整焊接间隙。c. 一次装夹多位焊接。d. 装夹方便，制造容易。

(2) 结构、定位、调整原理：见图2-a、2-b。

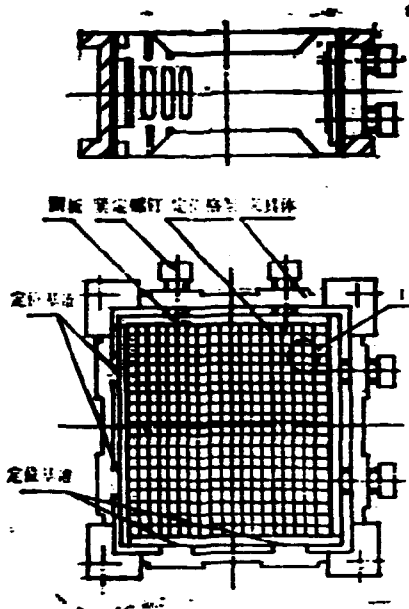


图2-a焊接夹具

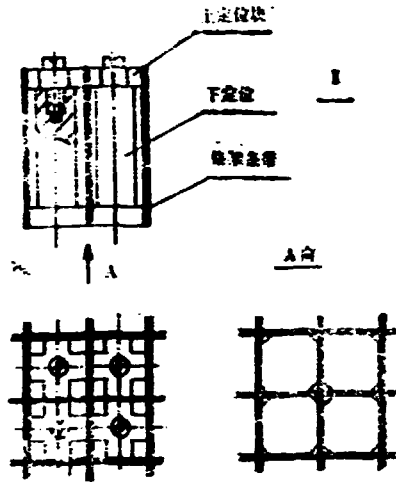


图2-b焊接夹具

焊接夹具由夹具体、四块钢板、八个固定螺钉、289个上定位块、289个下定位块构成。将格架放入四块钢板中，将钢板、格架一同放入夹具体内。压紧固定螺钉，装上289个上定位块和289个下定位块。最后拧紧八个固定螺钉，通过钢板使格架可靠地定在夹具体内。

3. 试验方法及程序：见图3

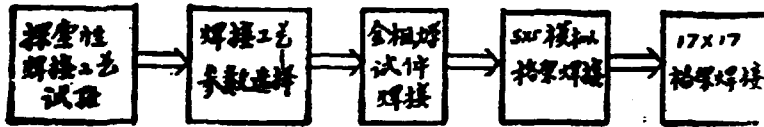


图3 试验方法及程序简图

4. 焊缝组织金相分析

用McF-2型光学显微镜进行组织观察，测量晶粒尺寸和焊点、焊缝熔深。用HXD-1000型数字显微硬度计，测量焊件不同部位显微硬度。

5. 焊接接头的机械性能测试

用拉伸试验测试焊接接头的破断强度。

6. 焊缝内部质量X射线探伤

- (1) 暗场选用黑塑料制作。
- (2) 选用富士电子显微镜软片作为X射线照相软片。
- (3) 射线源用TY-0530-1软X射线机。
- (4) 用自制透度计。见图4。

在III号透度计细丝外侧平行粘帖 $\phi 0.07\text{mm}$ ， $\phi 0.03\text{mm}$ 铜丝各一根。

(5) Zr-4合金定位格架
探伤工艺：见图5。



图4 透变计a—— $\phi 0.07\text{mm}$ 康铜丝；
b—— $\phi 0.03\text{mm}$ 康铜丝。

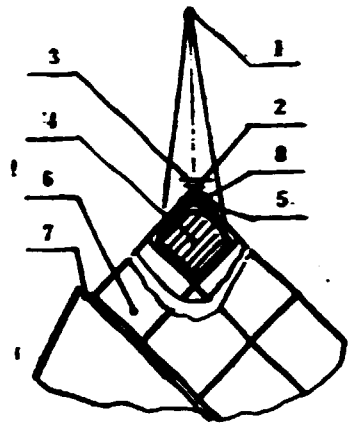


图5 探伤工艺简图

1——射线源TY0530-1软片射线机；2——计数器；
3——自制透皮计；4——四支撑；5——富士电子显
示软片；6——定位格架；7——射线源固定架；
8——射线线屏蔽块。

五、试验结果和讨论

1. 焊接工艺参数

见表2。

表2 焊接工艺参数

焊接接头形式	加速电压 kV	束电流 mA
条带与条带交叉点焊	120	1
圆板与条带棒头点焊	130	1
圆板与条带“丁”字接头点焊	140	1.2
圆板与圆板直角缝焊	110	1.5

焊点的熔深和焊珠尺寸直接与电子束输入功率，电子束作用时间有关。在选择参数时，首先考虑要控制热影响区为最小范围。当电子束输入功率根据熔深要求确定后，选择高加速电压值，低电子束流值，电子束作用时间为最小值。以上三种点焊接头焊接参数，选用了120kV至140kV的加速电压值，1至1.2mA的电子束流值，焊接时间控制在0.1~0.2s。

2. 焊点，焊缝外形尺寸及宏观金相焊深数据

见表3。

3. 焊接接头机械性能检测结果（试验温度23.5℃）见表4。

4. 焊缝金相组织观察

为了选择满足技术要求的焊接工艺参数和给出各种焊接接头的熔深，焊接结构的宏观和显微组织，对Zr-4合金真空电子束焊缝进行了金相分析研究并给出初步结果。

Zr-4合金焊缝的金相检验，关键问题是组织显示，用一般方法很难显示Zr-4合金焊缝

表3 焊点焊缝外形尺寸及熔深数据

焊缝接头形式	焊珠高度	焊珠直径d	焊筋高度	焊点直径d	焊缝宽度	熔深数据
	mm	mm	mm	mm	mm	mm
“十”字交叉焊点	0.61~0.71	1.12~1.18	0.30~0.49			0.71~0.72
棒头焊点				1.37~1.49		0.69
“丁”字焊点	0.55~0.71		0.12~0.19	1.26~1.69		0.69
直角焊缝					1.29~1.46	熔透 0.71~0.72

表4 破断载荷测量值P_b

接头形式	“十”字交叉焊点	棒头焊点	“丁”字接头焊点	直角焊缝
检测状态	P _b /点	P _b /点	P _b /点	P _b /10mm
破断载荷 kN	0.56	0.66	0.44	1.05

组织，又因定位格架所用带材很薄（0.4~0.6mm），焊接时焊区与基体温差不大，造成焊区晶粒急剧长大，热影响区晶粒也粗大，区域很宽。很难区别焊区和热影响区的组织，不易给出精确的熔深数据。为此，我们对制样方法和显示剂的选择做了大量探索工作。最终采用电解抛光或化学浸蚀抛光。选用以氢氟酸为主的浸蚀液，在室温下可以清晰地显示出晶粒组织。能明显区分焊区，热影响区和基体的显微组织，可较精确的测试出焊区的熔深。



图6 焊区粗大晶粒组织 200x

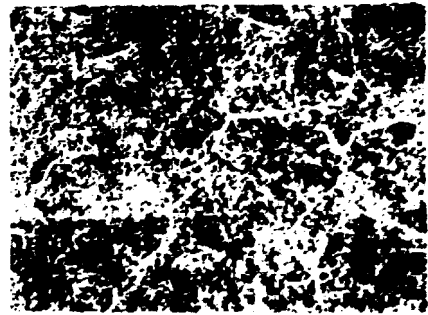


图7 热影响区粗大晶粒组织 200x

图6、7、8分别是焊接接头的焊区，热影响区和基体的显微组织。由图清楚表明，焊区、热影响区晶粒粗大，焊区为粗大柱状晶粒，单颗晶粒长度约为0.03~0.08mm，而基体为等轴状细晶粒，组织均匀，平均直径约为0.01mm。

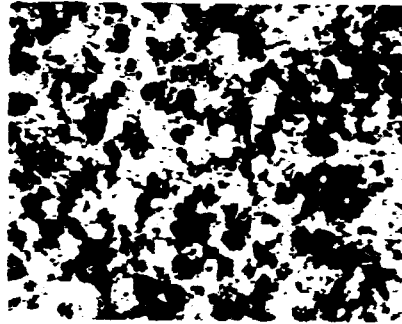


图8 合金基体显微组织，为等轴状晶粒

5. 显微硬度测量结果 见表5。

表5 不同接头的显微硬度(Hr)测试结果

接头形式	硬 度 值		
	热影响区 (由焊缝到熔深)	热影响区 (由熔深到熔合)	基 体
“十”交叉点焊	200~219	220~217	191
“丁”字接头点焊	178~193	209~192	187
斜头点焊	178~203	213~184	181
直角点焊	182~199	206~190	180

由表中数据可知，不同焊接接头形式的各区域显微硬度值基本相近，同一个区域数值比较一致，共同特征是所有形式的焊缝热影响区的显微硬度值都高于其它两个区域。热影响区硬度值偏高是由于热应力引起的残余应力所致。

6. 定位格架角焊缝X射线探伤结果表6所示，X射线探伤灵敏度为0.03mm。图10为实测Zr-4合金17×17定位格架角焊缝X射线照相放大图片，照片中焊缝上的小白点，在X射线照相底片上死测为 $\phi 0.1\text{mm}$ 气孔。

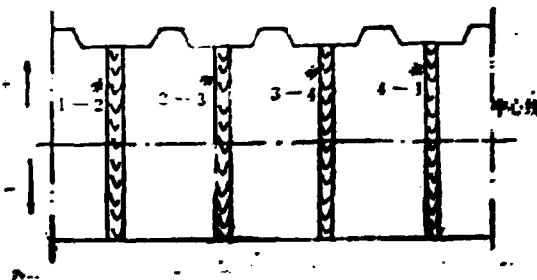


图9 四个角焊缝示意图

表6 17×17定位格架角焊缝射线探伤结果

编号 序号	1-2°			2-3°			3-4°			4-1°		
	气孔尺寸 mm	气孔数 (个)	距中心尺寸 mm	气孔尺寸 mm	气孔数 (个)	距中心尺寸 mm	气孔尺寸 mm	气孔数 (个)	距中心尺寸 mm	气孔尺寸 mm	气孔数 (个)	距中心尺寸 mm
1	φ0.07	1	+3	<0.1	2	+2 +13						
2				<0.1	1	+13						
3	φ0.1	1	-3									
4	φ0.07	1	+12				φ0.07	1	+6			
5										φ0.13	1	+4
										φ0.07	1	-8
6	φ0.1	1	-4				φ0.1	1	-10	φ0.07	1	-8
										0.03	1	-14
7							φ0.03	1	-2			
							φ0.1	1	-6			
8	φ0.2	1	+4				φ0.07	1	+13	φ0.07	2	+4
9										φ0.07	1	-9
	φ0.07	1	-16									
10	φ0.03	1	+0.5							φ0.07	1	-19

*1-2, 2-3, 3-4, 4-1为胶片编号, 分别代表四个角焊缝



图10 X射线照相放大图片

六、讨论

1. 从我们进行的焊接工艺研究的结果来看, 采用电子束焊接方法是可以应用到铝合金定位格架的焊接中。(以EBW(6)52-36-44电子束焊机为例)

1) 焊接的稳定性主要取决于加速电压和电子束流的稳定性, 该机加速电压的稳定性为设定值的 $\pm 1\%$ 以内, 电子束流的稳定性为, $<5\text{mA}$ 时, $\pm 0.05\text{mA}$; $>5\text{mA}$ 时, 为设定值的 $\pm 1\%$ 。由这两个主要性能数据看, 格架在大批量生产中, 焊点、焊缝的质量是稳定、可靠的。

2) 焊接过程中, 可以通过光学显微镜直接对准焊接部位, 对准精度可达 0.08mm 。

3) 铱是一种活泼的金属, 很容易被气体杂质所污染, 焊接时必须采取必要的保护措施。真空电子束焊接是在 10^{-4} mmHg至 10^{-5} mmHg, 高真空条件下进行, 就此而言, 真空电子束焊接方法是铱合金的理想焊接方法之一。

2. 铱合金定位格架焊接方法要采用真空电子束焊接, 还要进行大量的研究工作。

- 1) 实现微机控制全部焊接程序, 提高生产效率, 满足大批量生产。
- 2) 焊片的格架进行热工水力试验, 堆内综合考验。
- 3) 焊后格架外形尺寸, 形状位置精度的保证。
- 4) 制定满足堆内运行的定位格架电子束焊接技术要求。

七、结 论

1. 结果表明所选用的焊接工艺是正确的, 达到了预定的技术指标, 获得了初步成果。

2. 对Zr-4合金电子束焊缝进行化学浸蚀观察, 能清晰显示焊区组织, 明显区别焊区, 热影响区和基体的显微组织, 可测出熔池的有效厚度。

3. 四种典型焊接组织的有效焊深都达到技术要求的尺寸, 所有焊区组织均无显微裂纹等缺陷, 但晶粒尺寸都比基体显著增大, 四种结构焊缝的显微硬度数据基本一致, 热影响区的显微硬度值略高于焊区和基体。

4. 焊缝X射线探伤结果表明, 所选用的探伤工艺能检测出 $\phi 0.03$ mm的气孔, 准确给出气孔数量和位置, 角焊缝气孔最大尺寸为 $\phi 0.2$ mm, 最小尺寸为 $\phi 0.03$ mm。

5. 电子束焊接中, 电子束输出功率有较高的稳定性和重复性; 焊机装有较高精度的光学显微镜, 保证束流准确作用在焊接部位; 焊接是在高真空条件下进行, 因此, 只要按正确的焊接工艺参数对定位格架进行焊接, 就可以保证焊接质量, 由工艺研究的结果和电子束焊接所特有的优越性表明, 铱合金定位格架采用真空电子束焊接是可行的, 是比较理想的焊接方法。

参 考 资 料

- (1) B·波斯普曼, T·德尔兹著 《铱》 213~242页, 1965年
- (2) 《机械设计设计手册》 编写组 《原子能工业机械设计材料手册》 394~417页, 原子能出版社, 1979年
- (3) 核工业部科技情报研究所编 《国外核电站压水堆燃料元件设计》, 1980年
- (4) 上海机电工程所设计室, 内部资料, 《Zr-4合金定位格架电子束焊接技术要求》, 1987年

CHINA NUCLEAR SCIENCE & TECHNOLOGY REPORT

书号: 15175-00350

P.O.Box 2103

Beijing, China

China Nuclear Information Centre