

压水堆燃料棒焊缝 X 射线照相 检验方法

1 范围

本标准规定了压水堆燃料棒(以下简称燃料棒)焊缝 X 射线照相检验方法和技术要求。

本标准适用于燃料棒环形焊缝和密封焊点缺陷的检验。

本标准的原理和方法可适用于控制棒、可燃毒物棒和中子源棒环形焊缝和密封焊点缺陷的检验,也可供导向管部件环形焊缝缺陷检验参考。但须注意区分材质的不同。

2 方法提要

燃料棒一般结构和焊缝位置见图 1。

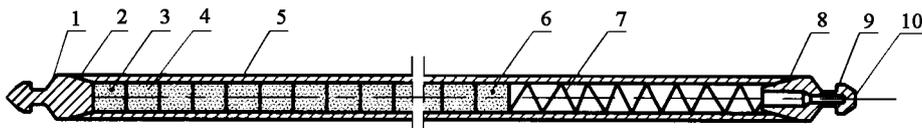


图 1 燃料棒结构和焊缝位置示意图

- 1—下端塞;2—下端环形焊缝;3—隔热块;4—UO₂ 芯块;5—包壳管;
6—隔热块;7—弹簧;8—上端环形焊缝;9—上端塞;10—密封焊点

包壳管和端塞的材质是锆合金。环形焊缝照相采用厚度补偿法,厚度补偿块按所检焊缝形状和尺寸制造。材质须与包壳管、端塞的材质相同,且须经 X 射线检验合格。

厚度补偿块示意图见图 2。孔径加工精度: $\phi D \pm \begin{smallmatrix} 0.25 \\ 0.15 \end{smallmatrix}$ mm,在保证补偿块适度刚性的前提下,厚度应尽可能的小。透照时将燃料棒环形焊缝插入补偿块孔内,形成一个组合体。

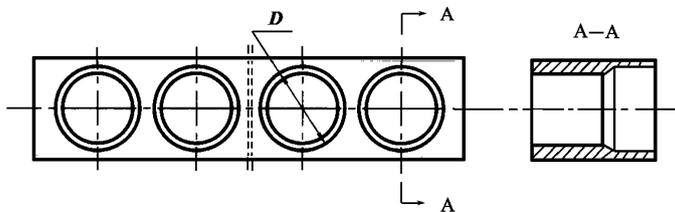


图 2 厚度补偿块示意图

密封焊点可与上端环形焊缝共用一个补偿块,置于 X 射线透照场内一起透照。

3 设备和材料

3.1 工业 X 射线机 X 射线管两端高压峰值不得低于 320kV, 焦点尺寸应不大于 4.0mm X4.0mm。

3.2 象质计 象质计材质应与包壳管、端塞相同。结构见图 3。每级阶梯厚度须与该级上两个孔的直径相等。阶梯级数一般为 3 级。

从 0.16Mm、0.20mm、0.25Mm、0.32Mm、0.40mm 和 0.50mm 数值系列中选取一个数值。这个数值应与燃料棒制造和验收技术条件中焊缝允许缺陷尺寸相当, 将这个数值作为第二梯级的厚度和孔径, 再将这个数值的前一个数值和后一个数值作为第一梯级和第三梯级的厚度和孔径。梯级厚度和孔径加工精度: 下偏差为 0mm, 上偏差为 +0.015Mm。

3.3 增感屏 铅增感屏, 前屏厚度为 0.01Mm~0.03Mm, 后屏厚度为 0.05Mm~0.06Mm。屏材质应均匀, 表面平整, 不准有油脂、斑痕及机械损伤。

3.4 观片灯 最小亮度应不小于 30cd/m², 尽可能达到 100cd/m² 或更大些, 且光线漫射, 光度可调。

3.5 评片室 评片室内光线不得在底片表面产生反射。

3.6 胶片 使用颗粒细、感光度低、反差高的胶片。胶片本身的灰雾度应不大于 0.3。

3.7 密度计

4 照相的技术要求

4.1 将燃料棒插入补偿块的圆孔内时, 要使环形焊缝、密封焊点处在孔内规定的位置, 使全部被照燃料棒的环形焊缝处在一条直线上。透照时, X 射线发生器窗口中心指示器应对准此直线的中点。

所有被透照件如燃料棒与补偿块的组合体、象质计、铅字标记都要处在有效透照场内, 都要处在射线投影正面。不允许象质计、铅字标记的投影与焊缝投影重叠。象质计应放置在补偿块上表面, 且须处在射线照相最不利的位置。

透照件布置见图 4。

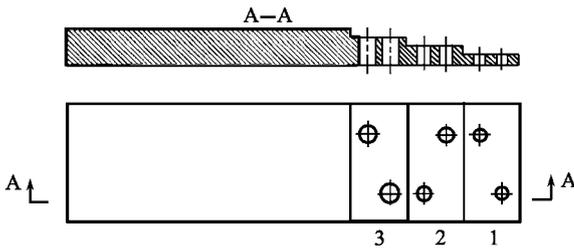


图 3 象质计示意图

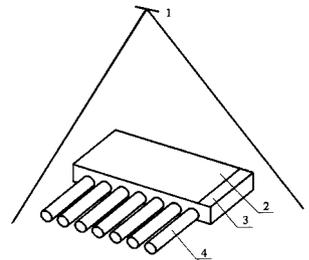


图 4 透照件布置示意图

1—X 射线源及照射场; 2—补偿块;
3—象质计, 铅字标记位置; 4—燃料棒

4.2 大于燃料棒制造与验收技术文件规定的焊缝余高应修磨。焊瘤、飞溅透照前需加以修整。

4.3 象质计灵敏度应等于或优于 2.5%。

$$\text{象质计灵敏度} = \frac{\text{底片上可见象质计量小孔的高度}}{\text{穿透厚度}} \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

4.4 几何不清晰度应小于 0.1Mm。

几何不清晰度 U_g 按下式计算:

$$U_g = \frac{d \cdot s}{f - S} \dots\dots\dots (2)$$

式中: d ——X 射线管焦点对角线长度, mm;

S ——射线透过工件上表面到胶片的距离,mm;

f ——焦距,mm。

4.5 用厚度 5Mm 的铅板做屏蔽板,用 1Mm~5Mm 的铅板作背板。在背板与暗盒之间放置一个铅字符号“B”(B 的高度为 13Mm,厚度为 1.6Mm),若在较黑背景上出现“B”的较淡影像说明背散射线防护不够,应予重照。

4.6 各种标识标记要求清晰整齐。

4.7 象质计在底片上同时清晰显示出的两个最小孔,应等于或小于燃料棒制造与验收技术条件中允许的气孔尺寸。

有效评片区域内不得有脱膜、划伤、指纹等。

4.8 在象质计符合 4.7 要求的孔所在梯级上测量底片密度,必须在 1.5 至 3.5 之间,最好在 2.1 至 2.4 之间。

4.9 不符合 4.1、4.6、4.7、4.8 的规定或发现胶片有制造上的缺陷,应重新透照。

4.10 应根据设备、胶片、增感屏和被检材质及本标准有关规定,选用合适的曝光曲线或通过工艺评定试验确定透照参数。

5 检验步骤

5.1 在暗室内将增感屏和胶片装入暗盒,增感屏屏面和胶片应相互贴紧,按 4.1、4.5 和 4.6 的规定放置被透照件、屏蔽板和铅字标记。

5.2 关闭防护门,按仪器操作规程启动仪器,按透照参数对焊缝进行透照,环形焊缝应透照三次。每次透照完成之后,将燃料棒转动 120° ,再进行下一次透照。

5.3 按胶片说明书提供的程序和参数或公认的有效方法对透照后的胶片进行暗室处理。

处理溶液应保持在良好的状态下,应注意温度、时间和抖动对冲洗效果的影响。自动处理时,还应精确地控制传送速度及药液的补充。

6 缺陷评定

6.1 评片人员必须经过培训,并取得核工业无损检测人员射线检测方法 II 级(含 II 级)以上资格证书。

6.2 评片人员每年须做一次视力检查,校正视力不得低于 1.0,并要求距离 400mm 能读出高为 0.5mm 和间隔 0.5mm 的一组印刷字母。

6.3 所评定的底片质量应符合 4.6、4.7、4.8 的规定,底片应在干燥后进行观察。评片时,对底片上不需要观察或透光量过强的部分应适当屏蔽。

6.4 应按燃料棒制造与验收技术条件中规定的要求对焊缝缺陷进行评定。

7 报告单和原始记录内容

7.1 检验报告单一般应包括下列内容:

a)透照日期、班次;b)底片编号;c)燃料棒编号;d)返修燃料棒编号和废品燃料棒编号;e)返修部位;f)缺陷部位及性质;g)评片员签字。

7.2 原始记录内容除检验报告单的内容外,还应包含设备型号、胶片型号、透照参数、暗室处理参数、操作人员名单和当班负责人。

8 底片及资料保管要求

8.1 底片应按日期顺序装袋,保管在干燥通风房间的专用柜内。

8.2 原始记录应编号并与底片一起保管。