

# 核电 PTR 储罐下封头带垫板对接焊缝射线检测底片的黑线影像

王俊龙, 张 洋, 杨建龙, 刘子淇

(核工业工程研究设计有限公司, 北京 101300)

**摘要:** 对核电站反应堆换料水池和乏燃料水池冷却和处理系统(PTR 储罐)下封头射线检测底片出现的两种黑线影像进行研究, 结合底片影像特点对工件进行解剖验证, 分析了黑线产生的原因及其特点, 为后续带垫板对接焊缝射线检测底片的评定提供了参考。

**关键词:** 带垫板焊; 黑线; 射线检测

中图分类号: TG115.28

文献标志码: A

文章编号: 1000-6656(2021)09-0031-03

## Radiographic testing films black lines on butt welding with backing plate on the nuclear power PTR storage tank bottom head

WANG Junlong, ZHANG Yang, YANG Jianlong, LIU Ziqi

(Nuclear Industry Research and Engineering Co., Ltd., Beijing 101300, China)

**Abstract:** The two black line images appearing in the radiographic detection film of the lower head of the nuclear power plant reactor refueling pool and spent fuel pool cooling and processing system (PTR storage tank) were studied, and the workpiece was anatomically verified based on the characteristics of the film image, and the black line was analyzed. The cause and characteristics of the line production may provide a reference for the subsequent evaluation of the radiographic inspection film of the butt weld with a backing plate.

**Key words:** welding with backing plate; black line; radiographic testing

某核电站反应堆换料水池和乏燃料水池冷却和处理系统(PTR 储罐)下封头发生泄漏事件, 因此后续对该堆型核电的 PTR 储罐焊接工艺进行了改进, 将焊接工艺由搭接焊改成带垫板的对接焊工艺, 并新增了射线检测。变更前只需进行 100% 渗透检测(PT)和 100% 泄漏检测(LT), 变更后检测方法增加了 100% 射线检测(RT)。PTR 储罐下封头位置受限, 为满足射线检测条件, 设计增加了矩形检测通道, 其规格为 12 000 mm×200 mm×100 mm(长×宽×高), 因此, PTR 储罐下封头对接焊采用带垫板的焊接工艺(见图 1)。PTR 储罐下封头材料为镍基合金不锈钢, 其厚度为 6 mm, 矩形探伤通道壁厚为

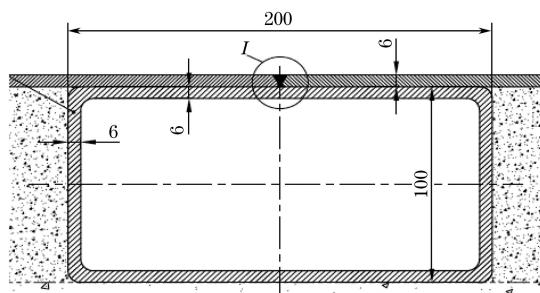


图 1 带垫板的对接焊缝结构示意

6 mm。射线检测时, 发现底片中容易出现黑线形状的异常影像, 笔者对该现象展开了研究。

## 1 底片黑线影像特征

射线检测时大量的底片中会出现两种黑线影像(见图 2), 图 2(a)中, 一种黑线影像位于距离焊缝中心线两侧 1 mm 范围内(有时也只出现在焊缝中心线单侧), 该影像有时酷似线状、条状缺陷的影像, 且

收稿日期: 2021-03-10

作者简介: 王俊龙(1984—), 男, 本科, 工程师, 主要从事无损检测方面的研究工作

通信作者: 王俊龙, wangjunlong@cni23.com

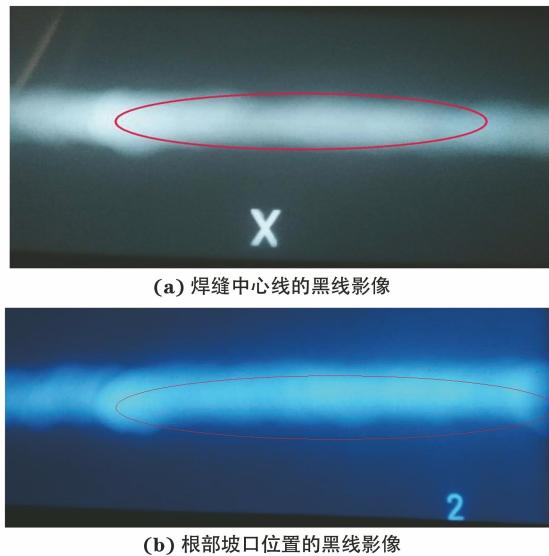


图 2 射线检测底片中出现的黑线影像

平行于焊缝,还伴有羽毛状条纹,出现条状黑线影像的焊缝中心黑度低于焊缝其他部位的<sup>[1]</sup>;图 2(b)中,另一种黑线影像位于焊缝坡口根部边缘附近,一般会出现在整条焊缝的两端,由于焊缝背面带垫板,

无法对照其外观进行核实。

## 2 黑线影像分析

### 2.1 宏观金相检验

在邻近焊缝中心线位置的黑线和坡口根部边缘附近位置的黑线处各截取了一个试样,同时也在没有黑线显示的位置截取了一个试样,对 3 个试样进行宏观金相检验(见图 3)。结果表明,图 3(a),3(b),3(c)中均未发现焊接缺陷,仅在图 3(c)中发现垫板与 PTR 底板贴合不紧密,存在一定的间隙,且 PTR 底板坡口位置向内倾斜并带有一定的幅度[见图 3(c)中红圈位置]。初步分析可知,造成底板向内弯曲变形的原因有两种:① 焊接热输入不均匀造成的收缩变形;② 底板被剪板机剪切时造成的变形。由于 PTR 底板局部有弯曲的部分,无法与垫板贴合紧密,就会形成一定的空间;射线检测时,由于空气的密度和钢的密度不同,透过完好工件的透射线强度与透过带有空气工件的透射线强度不一致,所以在底片上形成了黑线影像<sup>[2]</sup>。

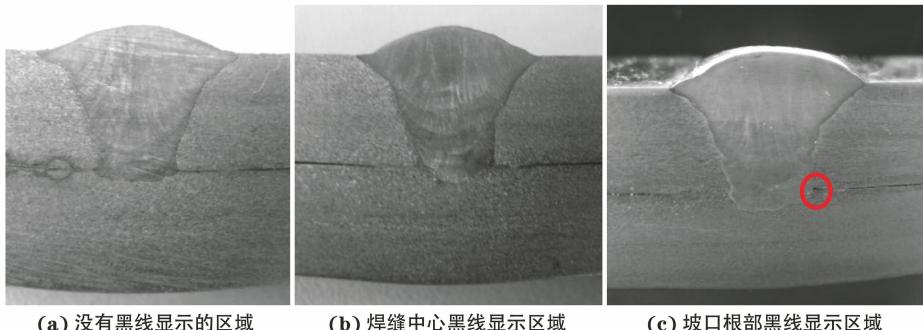


图 3 试样的宏观金相检验结果(15×)

通过宏观金相分析可知,图 3(b)中位于焊缝中心 1 mm 以内的黑线,不是由焊接缺陷造成的影像,同时薄壁不锈钢焊缝容易产生衍射现象,因此,初步判断此种黑线可能是衍射影像,后续将通过相关试验进一步验证其是否为衍射影像。从图 3 的宏观金相检验结果中并未发现焊接缺陷,仅发现了 PTR 底板与垫板贴合不紧密形成的间隙,由此可见,该间隙是产生黑线的根本原因。该黑线影像不具备根部未熔合的底片影像特征,不在根部焊趾线上,靠近母材侧没有明显钝边加工痕迹的影像,靠近焊缝中心侧也不呈曲齿状,黑度也不减小。根部未熔合影像一般在焊缝根部焊趾线上,靠近母材侧有明显的钝边加工痕迹的影像,靠近焊缝中心侧呈曲齿状,且黑度减小<sup>[1]</sup>。

### 2.2 微观金相检验

对上述 3 个解剖试样进行显微金相分析,放大倍

数为 200 倍,3 个试样垫板间隙的金相检验结果如图 4 所示。结果表明,3 个试样中也未发现微观焊接缺陷,在没有黑线显示区域和焊缝中心线位置附近有黑线区域,PTR 板与垫板间隙很小,几乎可以忽略不计[见图 4(a),4(b)];而坡口根部边缘位置附近黑线显示区域底板与垫板之间的间隙非常大[见图 4(c)],在宏观金相检验时(放大倍数为 15 倍)就已经能清晰地分辨。由此可知,小的间隙没有在底片上产生黑线影像,较大的间隙会在底片上形成黑线影像,通过解剖试验也证实坡口根部边缘位置附近产生的黑线影像不是根部未熔合,只是由工件结构异常或者底板与垫板贴合不紧密产生的间隙所导致的。

## 3 衍射影像辨识与去除

通过宏观和显微金相分析,验证了焊缝坡口根

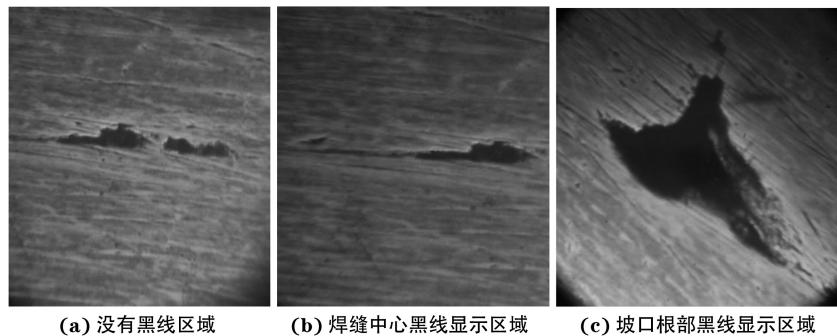


图 4 3 个试样垫板间隙的金相检验结果(200×)

部边缘位置附近射线检测影像中黑线产生的原因,但并未发现焊缝中心黑线产生的原因,考虑焊缝中心区域的黑线显示为衍射影像。衍射影像常位于焊缝中心线两侧,且距离焊缝中心线一般不超过 1 mm,该影像有时似线状、条状缺陷影像,且平行于焊缝,还伴有羽毛状条纹,出现条状黑线影像的焊缝中心黑度低于焊缝其他部位。

与真实的焊接缺陷影像相比,衍射影像有以下几个特点:①图像比较虚;②影像轮廓线并不是很清晰;③焊缝中心会出现亮度区;④距离焊缝中心线不超过 1 mm;⑤条状黑线与焊缝纵向平行或羽毛状与焊缝波纹平行<sup>[2]</sup>。另外,还可通过试验来确定黑线影像是否为衍射影像,衍射影像可以通过改变 X 射线入射角度和管电压的方法来消除,而改变 X 射线入射角度和管电压对真实的焊接缺陷影响不大<sup>[3]</sup>。

笔者改变了 X 射线入射角度并进行试验,X 射线入射角度为 90°时,黑线影像显示清晰;X 射线入射角度为 80°时,黑线影像显示模糊;X 射线入射角度为 70°时,黑线影像消失。改变 X 射线管电压并进行试验,管电压为 120 kV 时,黑线影像显示清晰;管电压

为 150 kV 时,黑线影像显示模糊;管电压为 180 kV 时,黑线影像消失。试验结果表明,衍射影像可通过改变 X 射线入射角度和管电压来消除。

#### 4 结语

综上所述,对不锈钢薄板带垫板的对接焊焊缝,采用 X 射线透照时,底片上不仅会出现宏观的焊接缺陷影像,还会出现因 PTR 底板与垫板贴合不紧密产生的间隙影像和晶体的衍射影像。衍射影像可以通过改变 X 射线入射角度和改变电压的方法来消除,焊接缺陷则不能。对于焊接缺陷影像、衍射影像和 PTR 底板与垫板间隙影像的判定,评片人员可以通过对工件材料、焊接工艺、透照条件等因素进行综合分析,进而给出正确的评判结果。

#### 参考文献:

- [1] 范雄. X 射线金属学[M]. 北京: 机械工业出版社, 1981.
- [2] 强天鹏. 射线检测[M]. 北京: 中国劳动社会保障出版社, 2007.
- [3] 坦纳. X 射线衍射形貌术[M]. 赵庆兰译. 北京: 科学出版社, 1985.

(上接第 30 页)

证,试验结果表明该方法对重型炼化设备的筒体对接焊缝分区更为准确。后经实际应用,得出了此方法操作简单便捷、黑度均匀、稳定性高、减少了黑度不符的废片率的结论,值得在行业范围内进一步推广。

#### 参考文献:

- [1] 强天鹏. 射线检测[M]. 北京: 中国劳动社会保障出版

社, 2007.

- [2] 王勇, 吴凯, 陈海英, 等. 一种辨别暗袋曝光的方法[J]. 无损检测, 2015, 37(11): 82-83.
- [3] 李华桃. JB/T 4730. 2—2005 中关于底片黑度及亮度值得注意的几个问题[J]. 无损探伤, 2006, 30(3): 28-29.