

薄壁圆环激光焊缝 X 射线实时成像检测应用

刘尊伟, 余波, 李建文, 王增勇

(中国工程物理研究院 机械制造工艺研究所, 四川绵阳 621900)

摘要:利用射线照相的替代技术——X 射线实时成像检测技术, 对某薄壁圆环的焊缝进行了实时成像检测, 结果表明该技术可以检测出试环焊缝中最小为 0.4 mm 的孔型缺陷, 像质计测定的检测灵敏度优于 2%。

关键词:射线检测; 实时成像; 焊缝; 灵敏度

中图分类号: TG115.28

文献标识码: A

文章编号: 1000-6656(2006)09-0466-03

Radioscopy Applying to Thin-wall Laser Jointing Rings

LIU Zun-wei, YU Bo, LI Jian-wen, WANG Zeng-yong

(Institute of Machinery Manufacturing Technology, CAEP, Mianyang Sichuan 621900, China)

Abstract: As a new technology substitution of film radiography, radioscopy is used to test the welding of jointing ring. The result shows that the hole style defect with ϕ 0.4 mm can be detected and its image quality indicator sensitivity is lower than 2%.

Keywords: Radiographic testing; Radioscopy; Welding; Sensitivity

激光焊接为某薄壁圆筒状产品的关键工序, 为保证产品质量, 在产品焊接前需对试环进行工艺试验, 试环直径约为 ϕ 300 mm, 壁厚 5 mm, 焊后要求对焊缝内 >0.5 mm 的气孔数量严格控制。由于激光焊缝的深宽比大, 焊缝细窄, 且该产品的焊缝位置靠近大厚度的结构, 用 X 射线照相法检测费时费力, 且由于结构限制, 焊缝影像不易检出, 但 X 射线实时成像技术可弥补这一不足。目前, X 射线实时成像技术已广泛应用于气球钢瓶焊缝、天然气管道焊缝等结构较为简单且批量较大的电弧焊缝检测中, 且已颁布了相应的气瓶焊缝检测的国家标准, 部分替代了传统的射线照相法^[1~8]。下面对该结构激光焊缝的实时成像检测作一简单介绍。

1 X 射线实时成像基本原理^[1,2]

X 射线实时成像(Radioscopy)是指随着成像物体的变动, 通过数字化信息处理, 图像迅速改变的电子学成像方法, 是射线检测的一种。与常规的 X 射

线照相技术相比, 其检测图像可直接从显示器上观察和测量, 大大缩短了胶片透照和处理所需的时间, 提高了检测速度。目前, 射线检测正逐渐由传统胶片成像技术向非胶片检测技术过渡。虽然在成像质量上, 特别是当缺陷尺寸 <0.25 mm 时, 传统的胶片图像质量要远优于 DR(数字射线技术)的图像质量, 但从长远看, 非胶片 X 射线技术(如实时成像技术等)和 ICT(工业计算机断层扫描成像)是发展的必然趋势。

实时成像有许多方面与射线照相的要求相同, 如正确考虑射线能量和透照方向、严格控制散射线及滤波、像质计和标记的使用等, 但实时成像一般要经历从射线强度分布 $\rightarrow$ 可见光图像 $\rightarrow$ 视频信号 $\rightarrow$ 信号转换、传送、处理和显示的过程, 不同过程对图像的质量具有不同程度的影响。因此, 实时成像检测也必须作一些特殊的考虑。

2 X 射线实时成像技术在工业中的应用

2.1 与胶片照相技术的对应关系

射线实时成像系统的性能指标包括灵敏度、空

收稿日期: 2006-03-15

作者简介: 刘尊伟(1964~), 男, 从事无损检测工作。

间分辨力、对比度灵敏度、不清晰度、信噪比和调制传递函数(MTF)等。X 射线实时成像系统最关心的性能是空间分辨力和对比度灵敏度。空间分辨力(常简称分辨力)是指射线实时成像系统识别小细节的能力。其单位为线对/毫米(lp/mm)或线对/厘米(lp/cm);对比度灵敏度是 X 射线实时成像系统在射线通量改变时引起亮度变化的能力,它通常规定为系统可识别的被检物体厚度的百分比。

对工业应用来说,单纯的考虑某一具体指标并没有实际的意义,而系统的综合性能才是用户最为关心的。在 GB 17925—1999 标准^[3]中,对射线照相的三大要素——灵敏度、黑度和几何不清晰度,规定了与之对应的实时成像图像质量的相应指标为灵敏度、灰度和图像分辨力,并参照 GB 3323 和 JB 4730 标准规定,用像质计测定实时成像系统的灵敏度,要求透照质量不低于 AB 级,底片的黑度为 1.5~3.5(对应灰度为 80~230 级)、图像分辨力参考英国 BS 7009 标准有关内容并经换算分为三档^[4],即厚度<6 mm 图像分辨力 ≥ 2.2 lp/mm、厚度为 6~25 mm 图像分辨力 ≥ 1.8 lp/mm、厚度 ≥ 25 mm 图像分辨力 ≥ 1.6 lp/mm。这些指标与标准底片质量是等同或等效的,可以保证焊缝成像质量。该标准很好地解决了射线照相与实时成像技术间的过渡和衔接问题,因而为实时成像技术在工业中的应用铺平了道路。

目前,实时成像技术已广泛应用于液化气钢瓶和管道对接焊缝质量的检测中^[3~8],并制定了相应的国家标准^[4,7]。

2.2 检测能力计算

由射线检测原理可知,对一定厚度的工件,在满足穿透的前提下,焦点越小,图像越清晰;要穿透更厚的工件,需要提高射线管电压,只能采用大焦点,但图像清晰度下降,工件内部的细小缺陷难以发现,因此实时成像检测时要综合考虑各方面的因素。

检测前,需根据检测对象,确定出检测参数,即几何放大倍数 M 和系统分辨力 R 。图像放大倍数的定义是屏幕上的显示尺寸与实际透照物尺寸之比,是评定缺陷尺寸的主要依据,其计算方式为

$$M = \frac{L}{L_1} = 1 + \frac{L_2}{L_1} \quad (1)$$

式中 L ——射线管焦点至图像增强器距离

L_1 ——射线管至被检材料表面距离

L_2 ——被检材料至图像增强器距离

随着放大倍数的增大,图像的几何不清晰度也

随之增大,为此应根据 X 射线实时成像系统的固有模糊度 U_s 与 X 射线机焦点尺寸间的关系,在合理范围内确定图像的最佳放大倍数 M_{opt} ,即

$$M_{opt} = 1 + \left(\frac{U_s}{d}\right)^{\frac{3}{2}} \quad (2)$$

式中 d 为 X 射线管的焦点尺寸。

根据 GB 17925—1999 标准中规定的 X 射线实时成像系统固有模糊度测试方法,是在显示屏上观察测试卡的影像,观察到栅条刚好重合的一组线对,则该线对所对应的栅条间距即为系统的固有模糊度 U_s ,即

$$U_s = \frac{1}{R} \quad (3)$$

式中 R 为系统的分辨力,单位为 lp/mm。

在确定了 M_{opt} 和 U_s 后,系统可检测出的最小缺陷尺寸 d_{min} 按下式计算

$$d_{min} = \frac{U_s}{M^{\frac{2}{3}}} \quad (4)$$

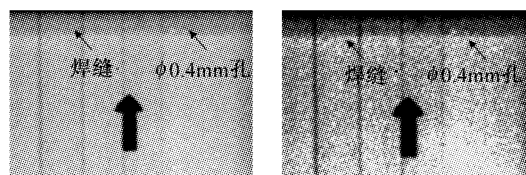
2.3 检测参数确定

采用线对卡,按 GB 17925—1999 标准测得系统的分辨力 R 约为 3.0 lp/mm,由式(3)算出系统固有模糊度为 0.33 mm。采用 0.8 mm 焦点的 X 射线机时,由式(2)得出试环透照的最佳放大倍数为 1.27。由此即可算出该系统可检出最小直径为 $\phi 0.28$ mm 的缺陷,满足产品焊缝内部质量要求。

2.4 检测试验验证

将试环放置在样品移动转台上,以靠近图像增强器一侧的焊缝作为主检测区域,按计算出的最佳放大倍数调节好焦距、物距和射线偏转角度后,调节 X 射线管电压和管电流,在满足 X 射线穿透能力的同时,提高图像对比度。为验证检测灵敏度,在焊缝区域放置了 Fe10/16 像质计。得出的典型焊缝图像见图 1。可见,实时成像可分辨出薄壁圆环激光对接焊缝中长径约 0.4 mm 的自然缺陷。

需要说明的是,虽然圆环的单壁厚度仅为 5 mm,但实时成像检测采用的是双壁双影法检测,在灵敏度计算时,应采用双壁厚度计算。由图 1 可



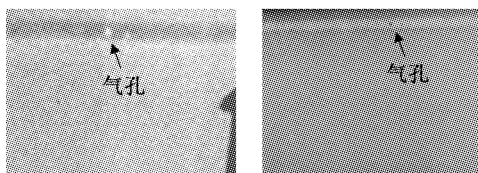
(a) 处理前

(b) 处理后

图 1 焊接试环双壁投影实时成像检测结果

见,可以分辨出铁像质计 $\phi 0.16 \text{ mm}$ 的丝(即第 5 根细铁丝),检测灵敏度为 1.6%,达到 JB 4730—1994 标准规定的 AB 级质量要求。未经处理的图像对比度较差,图像比较暗淡模糊,对图像进行处理后试环焊缝清晰可见,焊缝区域发现有两个气孔缺陷,经测量左侧较大气孔长径约 0.7 mm,右侧较小气孔长径约 0.4 mm。

为比较实时成像与射线照相法在灵敏度上的差异,采用同一形式的单壁单影布局,在其它参数不变的情况下,得出的图像见图 2。由图 2 可见,焊缝中的三个小缺陷均可检出,检测灵敏度均满足 JB 4730 AB 级照相要求,但在成像质量上,射线照相的灵敏度要高一个像质指数,气孔缺陷形状更清晰,更易于分辨,可明显分辨标记左侧最小缺陷长径约 0.3 mm 的气孔,而实时成像检测图像中该小缺陷却不易分辨。



(a) 实时成像检测结果 (b) 胶片照相检测结果

图 2 焊接试环单壁投影射线检测结果

3 结论

X 射线实时成像可明显检测出薄壁圆环激光对

接焊缝中 $\phi 0.4 \text{ mm}$ 左右的孔型缺陷,检测灵敏度优于 2%,满足 JB 4730—1994 标准规定的焊缝检测 AB 级质量要求。但由于系统本身的不足,目前和胶片射线照相在小缺陷检出能力和图像质量上还存在一定的差距,通过优化实时成像检测参数和改进图像处理方法,可进一步提高检测图像质量和效果,进而完全实现薄壁圆环的实时成像检测。

参考文献:

- [1] 郑世才,刘建春,吴东流,等. 射线实时成像检验技术[J]. 无损检测,1996,18(7-12):202.
- [2] 郑世才. 射线实时成像检验技术[J]. 无损检测,2000,22(7):328-333,336.
- [3] GB 17925—1999,气瓶对接焊缝 X 射线实时成像检测[S].
- [4] 曾祥照. 气瓶对接焊缝 X 射线实时成像检测标准概述[J]. 无损检测,2000,22(9):419-422.
- [5] 曾祥照,张忠诚,张正荣. X 射线数字化实时成像技术在天然气管道焊缝探伤中应用的可行性[J]. 无损检测,2001,23(12):530-534.
- [6] 曾祥照,简志良. X 射线实时成像在液化气钢瓶焊缝探伤中的应用[J]. 无损检测,1999,21(2):61-64.
- [7] 唐鹏林. 计算机实时成像在钢瓶探伤中的应用[J]. 无损检测,1999,21(4):182-183.
- [8] 王世勋. 制定直管对接焊缝射线实时成像检验标准时应考虑的几个技术问题[J]. 无损检测,1998,20(9):261-262.

欢迎订阅 2007 年度《压力容器》杂志

《压力容器》杂志是由国家新闻出版署批准出版的中央级刊物,中国机械仪表类核心期刊,国内外公开发行。国内统一刊号 CN34—1058/TH,国际连续出版物编号 ISSN1001—4837。《压力容器》杂志为月刊,大 16 开本,64 页,2007 年度每期定价仍为 8.00 元,全年定价 96.00 元。国外由中国国际图书贸易总公司(北京 399 信箱)发行,国外发行代号 1529BM。国内邮局征订代号 26-10。

《压力容器》杂志是中国压力容器学会会刊,自 1984 年由国家科学技术委员会批准创刊以来,一直被压力容器界视为权威性杂志之一。《压力容器》杂志主要报道超高压、高压、中低压压力容器和气瓶、

换热器、塔器等壳体、大型高压管道、通用机械(如压缩机、制冷机等)承压辅助设备等的标准规范、试验研究、结构设计、材料工程、制造与安装、焊接技术、无损检测技术、安全分析、检验与修复、使用管理以及国内外压力容器研究技术进展、与压力容器行业有关的工程建设项目信息等。

欢迎广大读者到当地邮政局(所)订阅。

地址:安徽省合肥市长江西路 888 号,邮编:230031;电话:(0551) 5335456,5335515;传真:(0551)5335453;E-mail:pvt@chinapvt.com;网址: <http://www.chinapvt.com>。