

射线检测图像中焊缝和缺陷的提取方法

张晓光^{1,2}, 孙 正³, 胡晓磊¹, 宦宇越¹

1. 中国矿业大学 机电工程学院, 江苏 徐州 221116

2. 哈尔滨工业大学 现代焊接生产技术国家重点实验室, 哈尔滨 150001

3. 枣庄学院 物理与电子工程系, 山东 枣庄 277160

摘 要: 针对射线检测图像中焊缝和缺陷难于准确检测提取问题, 基于逐级局部化处理, 提出了一种实用的检测方法. 方法充分利用了图像本身已包含的信息, 首先通过条带区域特征检测确定焊缝区域在原始图像中的大致位置, 然后通过列灰度波形分析确定焊缝边界和缺陷所在的局部区域, 并粗分标记区域类型为非裂纹类和裂纹类, 最后分别采用基于分水岭变换和 Beamlet 变换 (子束变换) 的方法实现了对焊接缺陷的检测提取. 结果表明, 该方法能较准确地检测各种射线图像的焊缝边界和焊接缺陷, 具有良好的适应性和实用性.

关键词: 射线检测图像; 焊缝; 缺陷提取; 分水岭变换; 子束变换

中图分类号: TP206.1 文献标识码: A 文章编号: 0253-360X(2011)02-0077-04



张晓光

0 序 言

射线检测是广泛应用的焊接质量检测方法, 其检测结果是焊接缺陷分析和质量评定的重要依据^[1]. 随着现代生产技术的飞速发展, 射线检测焊接缺陷的自动化逐渐成为该领域的热点课题^[2]. 由于射线检测本身的一些特点, 使得产生的检测图像具有对比度不高、光照不均、缺陷边缘模糊、图像噪声多、存在较大的背景起伏等特点, 所以如何正确提取缺陷信息成为自动化检测技术中的一大难题^[3,4].

对于射线检测图像中缺陷的提取, 如果能先确定缺陷所在的局部区域, 然后在此区域中采用特定方法进行缺陷提取, 将提高缺陷检测的准确性^[5]. 基于这种思想, 该方法充分利用图像本身已包含的信息, 依次获取焊缝区域位置、焊缝边界、缺陷所在局部区域、缺陷特征等信息, 完成整个缺陷提取过程. 试验结果表明, 该方法对射线检测图像中焊缝边界和缺陷特征的提取取得了较好的效果.

1 方法描述

在检测图像中, 焊缝所在区域只是整幅图像的

一部分, 而缺陷又总是位于焊缝内局部区域中 (图 1), 因此, 传统的进行全局图像处理提取缺陷的方法往往效果很不理想. 基于逐级局部缺陷提取的思想, 提出了一种实用的射线检测图像焊接缺陷提取方法, 其主要包括焊缝所在区域的确定、焊缝边界的确定、缺陷所在区域的确定、局部缺陷特征提取等部分, 有效地完成了焊缝边界和缺陷特征的提取.



图 1 原始含缺陷射线检测图像示意图

Fig. 1 Original X-ray image with welding defect

1.1 焊缝所在区域的确定方法

通常, 在规范的射线检测图像中焊缝区域一般位于图像中间部分, 而编号等文字信息位于图像偏上或偏下的区域中, 而且焊缝区域的图像纹理特征与其它区域存在较明显差异, 如图 1 所示. 将检测图像的上述几何和代数特征作为先验知识加以利用, 提出了采用横向条带纹理度量的焊缝区域确定方法. 方法描述如下.

步骤 1: 对于经小波预处理后的 $w \times h$ 焊接图像

P' , 计算 P 的平均亮度 m_p 和一致性 U_p , 以及 P' 中间 $w \times h$ 区域的平均亮度 m_0 和一致性 U_0 .

步骤 2 $w \times h$ 采用的矩形窗 S 以 l 为纵向间隔, 从 P 的中间区域向上移动, 并计算矩形窗区域的平均亮度 m_1 和一致性 U_1 . 如果 $m_1 < m_p - |m_0 - m_p|$ 且 $U_1 > (U_0 + U_p)/2$ 矩形窗停止向上移动, 否则, 继续移动直到满足条件为止, 结束时记录矩形窗上界的位置作为初步确定的焊缝区域上边界 b_1 .

步骤 3 与步骤 2 类似, S 从 P 的中间区域向下移动, 结束时记录矩形窗下界的位置作为初步确定的焊缝区域下边界 b_2 .

步骤 4 为保证确定的区域完全包含焊缝部分, 再将 b_1, b_2 各向外扩展 c 得到 b'_1, b'_2, b'_1 和 b'_2 之间的区域即为确定的焊缝区域.

1.2 焊缝边界的确定方法

对于焊缝区域图像 I , 其任一列的灰度曲线在对应区域的不同部分时存在明显的波形变化^[3]. 可以看出焊缝边界点对应于各列灰度曲线从两端向中间开始直线上升的位置, 因此, 可以通过分析各列灰度波形的的方法确定焊缝的边界.

一般, 经过预处理后的焊缝区域图像仍然存在各种噪声干扰, 在列灰度曲线上表现为锯齿状的起伏, 因此需要首先对各列灰度曲线进行光滑样条拟合处理, 然后分析拟合后的曲线确定焊缝边界. 要确定列灰度曲线上对应于边界点的位置, 最容易想到的方法是求取微分并结合阈值进行判定, 但这种方法适应性较差, 获得的焊缝边界受噪声影响会出现很多毛刺. 针对这些问题, 提出了通过相邻间隔点数计算确定焊缝边界的方法, 具体描述如下.

对于焊缝区域的某一系列, 可看作为有一个元素的一维数组, 其前半部分对应图像的上半区域, 其后半部分对应图像的下半区域. 该列的图 2 为焊缝边界及缺陷区域确定方法示意图, 图 2 中的曲线为该列的灰度值曲线. 首先对其前半部分 F_1 取其前 m 个数的中值作为搜索焊缝上边界点时的起始取值, 对应图中号线所示的位置, 接着以 c 为递增间隔依次确定 n 个值, 对应图 2 中 1 ~ n 号线所示的位置, 一般 $c=5, n \leq 10$ 然后按图 2 中箭头方向依次计算中包含在每两条相邻间隔线间点的个数. 如果个数小于 c 这样可近似保证结束搜索时的两条相邻线间只存在一个连续线段且斜率 λ , 则认为边界点已找到, 并将 F_1 中值最接近于当前两相邻线平均值的点作为确定的上边界点 m_1 . 同理, 在后半部分 F_2 中找到 m_2 这样图像任一系列中对应于焊缝上下边界的点即被确定. 对焊缝区域图像的每一列依次采用上述方法, 可初步确定所有边界点, 然后对初步确定的边

界点再进行光滑拟合, 即可得到较平滑的焊缝边界.

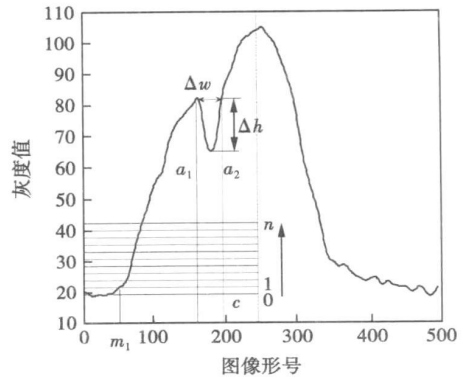


图 2 焊缝边界及缺陷区域确定方法示意图

Fig 2 Schematic drawing of recognizing weld boundaries and defect regions

实际应用时, 需先对焊缝区域图像 I 进行自适应亮度校正, 以便消除不均匀亮度对检测效果的影响. 具体方法为, 首先计算 I 的平均亮度 m_1 和平均对比度 σ_1 , 并对 I 进行全局直方图均衡化得到图像 I_1 , 然后按焊缝延伸方向划分 I_1 成多个小矩形区域, 依次计算各矩形区域的平均亮度 m_2 和平均对比度 σ_2 , 如果 $m_2 > 0.8 m_1$ 且 $\sigma_2 > \sigma_1/2$ 则对该区域做直方图均衡化, 否则将 I_1 中相应区域的值赋予该区域, 最后即可得到亮度校正后的图像 I' .

1.3 焊缝边界的确定方法

一般如果图像的某列穿越缺陷, 则其列灰度波形会出现明显凹陷或尖峰突变, 如图 2 所示. 穿越的缺陷类型不同, 其对应的凹陷或尖峰形状也不同^[3], 因此可以通过度量列灰度曲线中凹槽或尖峰的垂直变化度 Δh 和宽度 Δw 来粗略判定此列是否穿越缺陷以及穿越缺陷的类别^[4]. 统计表明, 对于拟合处理后的图像, 当某一系列的灰度曲线在焊缝区域出现凹陷或尖峰, 且垂直变化度 $\Delta h > 5$ 时, 可初步认为此列穿越缺陷.

在焊缝区域图像进行逐列检测后, 可得到各列是否含缺陷, 以及各列中缺陷的边界位置 a_1, a_2 . 对检测到的相邻含缺陷列进行合并形成小区域, 其中上下边界由各含缺陷列中 a_1 的最小值和 a_2 的最大值确定, 实际处理中列号相差不超过 10 的列可合并在一起; 而后为防止过度分割和漏检, 将相隔不超过 30 列的区域再次合并在一起, 然后整体向外扩充 20 个像素, 即完成含缺陷局部区域的确定. 取区域内各含缺陷列中凹陷或尖峰宽度 Δw 的中值可以对区域所含缺陷进行粗分类, 一般各 Δw 的中值小于 5

时可认为区域包含裂纹类缺陷,否则认为区域包含非裂纹类缺陷.后续则可以根据裂纹类和非裂纹类缺陷的各自特点,采用不同的方法进行局部缺陷的提取.

1.4 基于分水岭变换的非裂纹类区域缺陷提取方法

分水岭变换是非常有效的区域分割方法,其基本思想是将整个灰度图像看作为地形表面,每个像素的灰度值表示该点的位置高度,如果可以从各极小值处注水,则当来自不同极小值的水面将要汇合在一起时所确定的分水线即为图像区域的分割线^[9].分水岭变换的主要缺点是在灰度图像的分割过程中,常因噪声等局部因素影响而产生过分割现象^[7].

为克服分水岭变换的过分割问题,在利用分水岭变换进行非裂纹类缺陷分割提取时,可以通过设定标记符的方法控制分割过程^[6],具体步骤如下.

步骤 1:以 3×3 模板对局部含缺陷图像进行平滑滤波.

步骤 2:以 d 为深度阈值,对图像极小区域中深度为 d 的极小区域进行标记,作为内部标记符.

步骤 3:对内部标记符之间的中间位置进行标记,作为外部标记符.

步骤 4:以内部和外部标记符为指导,修改灰度图像,以保证局部最小区域仅出现在标记位置.

步骤 5:对修改后的图像应用分水岭变换,完成分割过程,得到缺陷检测结果.

1.5 基于 Beamlet 变换的裂纹类缺陷提取方法

Beamlet 变换^[8,9]是新的多尺度几何分析方法,它以不同尺度,不同方向的线段作为基,图像沿基做线积分,积分值作为目标函数进行线特征提取^[10].

Beamlet 变换能克服传统的直线提取算法对噪声敏感的缺点,较好地连接直线而不会断裂.这里采用局部 Beamlet 变换来进行裂纹缺陷提取,方法描述如下.

步骤 1:将初步确定的局部含裂纹区域图像通过连续使用底帽变换和顶帽变换完成对图像背景的估计和消除.

步骤 2:将处理后的局部图像进行划分或扩展,得到若干个大小为 128×128 的图像.

步骤 3:在图像的各条边线上进行点标注,每两个点之间构成一条 Beamlet,然后使用 2 尺度确定 Beamlet 上所有图像数据点.

步骤 4:计算并分析 Beamlet 变换系数,确定并保存符合条件的 Beamlet 上的图像数据作为初步检测结果.

步骤 5:以 5×5 模板对初步检测图像进行膨胀以消除间断,然后进行细化处理,并消除孤立像素,得到最终的检测结果,即完成局部区域裂纹缺陷检测.

2 试验结果

为检验方法的有效性和适应性,文中采用不同来源和缺陷类型的射线检测焊接图像进行试验分析,其中图 3 a 为含气孔缺陷的原始射线检测图像,图 4 a 为含放射状裂纹缺陷的原始射线检测图像.这里选择一般较少涉及的含放射状裂纹的焊接图像进行试验,其目的在于检验方法对于较难提取缺陷的实际效果.图 3 d 为用 1.4 算法处理后的图像,图 4 d 为用 1.5 算法处理后的图像,试验结果如下.

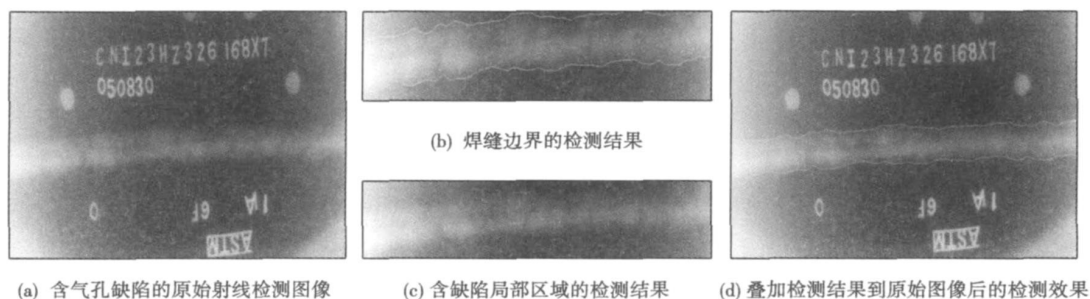


图 3 含气孔缺陷的焊接图像及其检测结果

Fig. 3 X-ray image with holes and detection results

从试验结果可以看出,在焊缝边界检测方面,提出的方法对于不同的图像都取得了较好的效果;在非裂纹类缺陷检测方面,方法的检测效果较好,并没

有出现分水岭变换常见的过分割现象,但受背景模糊的影响,对不明显缺陷的检测结果其形状可能会出现偏差;在裂纹类缺陷检测方面,方法对一般较少

涉及的放射状裂纹缺陷仍取得了较好效果, 其检测结果基本反映了原始缺陷的形状特点, 但受图像背

景以及方法中膨胀处理的影响一些微弱的末端小分支在检测结果中没有体现。

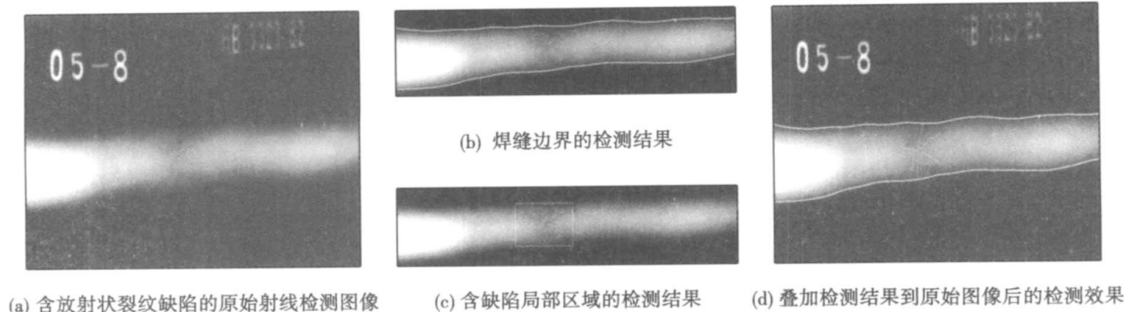


图 4 含放射状裂纹缺陷的焊接图像及其检测结果

Fig 4 X-ray image with cracks and detection results

3 结 论

(1) 针对焊缝图像的复杂性, 要准确提取焊缝边界和缺陷, 首先局部化处理粗分标记区域再进行分类处理, 可减少微弱缺陷在缺陷提取过程中的丢失。算法中将粗分含缺陷区域类型为非裂纹类、裂纹类两种, 在保证更好检测缺陷同时有利于提高计算机处理的效率。

(2) 对非裂纹类区域中的缺陷提取采用基于分水岭变换就可实现非裂纹缺陷的提取, 而对裂纹类缺陷区域处理则需采用 Beamlet 变换的方法。试验表明, 所提算法适合亮度特别不均匀图像中裂纹缺陷的检测。

参考文献:

[1] 孙 怡 孙洪雨, 白 鹏, 等. X射线焊缝图像中缺陷的实时检测方法 [J]. 焊接学报, 2004 25(2): 115—118
Sun Yi Sun Hongyu Bai Peng et al Real time automatic detection of weld defects in X-ray images [J]. Transactions of the China Welding Institution 2004 25(2): 115—118

[2] 张晓光 林家骏. X射线检测焊缝的图像处理与缺陷识别 [J]. 华东理工大学学报 2004 30(2): 199—203
Zhang Xiaoguang Lin Jiajun Research of image processing and defect recognition for industrial radiographic weld inspection [J]. Journal of East China University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2004 30(2): 199—203.

[3] 刚 铁 王东华. X射线检测图像中缺陷的自动提取和分割

[J]. 焊接, 2001(5): 6—9
Gang Tie Wang Donghua Defect extraction and segmentation automatically in X-ray inspection images [J]. Welding & Joining 2001(5): 6—9

[4] 张晓光. 射线检测焊缝图像中缺陷提取及识别的研究 [D]. 上海: 华东理工大学, 2003.

[5] Gayer A Sava A Shihb A Automatic recognition of welding defects in real time radiography [J]. NDT International 1990 23(3): 131—136

[6] Soille P Morphological image analysis: Principles and application [M]. New York: Springer 2003.

[7] Ajaknaja Anand R S Kumar P Flaw detection in radiographic weldment images using morphological watershed segmentation technique [J]. NDT&E International 2009 42(1): 2—8

[8] Donoho D L Huo X Beamlets and multiscale image analysis [R/OI]. Stanford University 2001 [2009—09—08]. <http://www.stat.stanford.edu/~donoho/Reports/2001/BeamletM-SI051101.Pdf>

[9] Donoho D L Huo X Beamlet Primitives: A new form of multiresolution analysis suited for extracting lines, curves, and objects from very noisy image data [J]. SPIE San Diego 2000(1): 434—444

[10] 屈庆春, 彭玉华, 杨明强. 基于 Beamlet 变换的线特征检测 [J]. 中国图象图形学报, 2007 12(3): 500—504.
Qu Qingchun Peng Yuhua Yang Mingqiang Line detection based on beamlet transform [J]. Journal of Image and Graphics 2007 12(3): 500—504

作者简介: 张晓光 男, 1963 年出生, 博士, 教授, 博士生导师. 主要从事图像信息处理及智能控制、工业过程检测及控制装置等方面的科研和教学工作. 发表论文 60 余篇. Email: doctorzkg@163.com

the motion trajectory of welding gun was planned. The 3D model of the welding equipment based on Pro/Engineer working environment was established. The definition of the motion jointing and the parameters of servomotors were set. The virtual prototype motion simulation experiment of the welding equipment was run. The motion trajectory curve was created and the simulation errors was analyzed. The correctness of modeling the mathematic model was validated, which provided the simulation technology support of virtual prototype for developing and manufacturing the welding equipment.

Key words: Petroleum drill valve intersection surface motion simulation trajectory curve

Extraction method of welding seam and defect in ray testing image ZHANG Xiaoguang², SUN Zheng, HU Xiaolei, HUAN Yuyue (1. College of Mechanical and Electrical Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China; 2. State Key Laboratory of Advanced Welding Production Technology, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China; 3. Physics & Electronic Engineering Department, Zaozhuang University, Zaozhuang 277160, China), P 77—80

Abstract: A practical detection method which takes advantage of the information contained in the image itself is presented based on local treatment gradually for attacking the difficulties in accurately detecting and extracting weld seam and defect in ray testing image. First of all, the approximate location of the weld zone in the original image is determined by detecting the regional characteristics of bands, then the local area where the weld boundaries and defect are in is determined by analyzing gray column waveforms, and the area types are divided into the categories of non crack and crack class roughly, finally the detection and extraction of welding defects are realized by using the methods based on Watershed Transform and Beamlet Transform respectively. The results show that the method can accurately detect the weld boundaries and weld defect in various ray images and has good adaptability and practicality.

Key words: ray testing image welding seam defect extraction Watershed Transform Beamlet Transform

Numerical modeling of welding distortion in thin-walled mild steel pipe DENG Dequn, TONG Yangang, ZHOU Zhongyu (College of Materials Science and Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045, China), P 81—84

Abstract: A thermal-mechanical non-linear finite element method based on ABAQUS was developed to simulate the temperature, residual stress and strain fields in thin-walled structures welded by arc fusion welding processes. The welding temperature field and the welding distortion in a thin-walled mild steel pipe were predicted by using the developed finite element method. Meanwhile, experiments were carried out to measure the actual welding distortion in the thin-walled pipe welded by an arc welding robot. The coincidence between the simulation and the experimental results confirmed the validity of the numerical simulation method. The numerical simulation method has established a

foundation for prediction of welding distortion in thin-walled structure used in practical engineering.

Key words: finite element method numerical simulation welding temperature field welding distortion

Microstructure and properties of rapidly solidified Ag-Cu-Sn ternary brazing fillers XU Jinfeng, ZHANG Xiaocun, DANG Bo, DAI Weigang (1. School of Material Science and Engineering, Xi'an University and Technology, Xi'an 710048, China; 2. Changshu Shuanghua Electronic Co., Ltd., Changshu 215500, China), P 85—88

Abstract: The phase constitution, morphology, electrical resistivity and mechanical properties of $Ag_{42.47}Cu_{57.53-x}Sn_x$ ($x=12, 23, 12, 94, 13, 65$, mass fraction%) prepared by melt spun method are investigated. The results indicate that the microstructure of the alloys consists of (Ag)₂-Cu and a few of Cu₁₃-Sn phases, with the rise of tin content, the electrical resistivity increases for refining of the microstructure and increasing of grain boundary amount and solute trapping, on the other hand, fine crystal strengthening and solution hardening will result in the increment of tensile strength from 280 to 360 MPa, but the elongation reduces from 5% to 2.8%. The ranges of solidus and liquidus temperature of those alloys are 590 to 616 °C and 615 to 622 °C respectively, and the temperature range increases with the increasing of tin content.

Key words: ternary alloy quenched brazing filler rapid solidification microstructure properties

Dynamic compensation for deformation in laser welding of 3D joint seam GONG Shihua, YU Junfeng, YANG Jianzhong, LIBIN (State Engineering Research Center of Manufacturing Equipment Digitization, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China), P 89—92

Abstract: As there is deformation perturbation in the laser welding process of 3D joint seam, the real time measurement and dynamic compensation in the welding process is used to track accurately a 3D trajectory. The real time measuring of the 3D joint seam welding is achieved with a laser visual sensor on a five-axis NC welding machine tool, the bias information of tracking joint seam is transformed from measuring coordinate system to workpiece coordinate system, the feed amount of axes is compensated real time, and the dynamic compensation in the welding process of 3D joint seam is realized. The stability of the pop closed control system with 3D joint seam measuring feedback is analyzed, and the proposed arithmetic is testified by experiment, which indicates that the real time measuring and dynamic compensation in the 3D joint seam welding process satisfies the track control requirement in 3D laser welding.

Key words: laser welding 3D joint seam dynamic compensation visual sensor

Effect of CuAl₂ Phase on Properties and Microstructure of Cu/Al Brazed Joint ZHANG Ma², XUE Songba¹, JI Feng, LOU Yinbin, WANG Shiqiang (1. College of Materials