

铝合金焊缝图像的焊接区域提取与缺陷尺寸形状保真

吴 林¹, 戴 明¹, 李 岩²

(1. 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;

2. 北京时代集团公司 开发四部, 北京 100085)

摘 要: 针对焊缝图像的特点, 探讨了焊接缺陷自动识别中焊接区域提取的问题, 提出了三角拟合法焊道分割、焊道边界滤波修正等方法。并在此基础上, 针对焊接缺陷尺寸与形状修正的问题, 定义了缺陷矩形与终矩形的概念, 设计了缺陷矩形生成策略、缺陷矩形的分割与生长循环、终矩形内缘提取等方法, 在焊道区域提取、缺陷的尺寸与形状的保真方面取得了较好的效果。

关键词: 焊缝图像; 图像处理; 区域提取; 三角拟合分割; 形状保真

中图分类号: TG113.28 文献标识码: A 文章编号: 0253-360X(2001)02-01-04



吴 林

0 序 言

应用新技术来提高效率、提高质量在无损检测领域是一个持续不断的过程^[1]。当焊缝 X 射线照片含有大量需要检测的缺陷时, 人工判别是一项艰巨而困难的任务^[2]。多年来, 针对焊接缺陷的自动识别, 国内外进行了大量的研究。文献[2~5]采用图像处理方法进行焊缝缺陷的自动识别, 提出了一些压缩焊缝图像信息、提取焊接缺陷的方法, 但对于焊接区域的完整提取和缺陷尺寸与形状的保真方面尚缺乏有效措施。本文在对铝合金焊缝射线底片扫描获得的数字图像进行充分分析的基础上, 提出了针对焊接区域提取和缺陷形状与尺寸保真的一系列新方法, 力求做到完整提取焊接区域, 真实反映焊接缺陷的形状与尺寸。

1 焊接区域提取

在焊缝图像中, 包括焊接区和非焊接区两大部分, 焊接区域即为焊道, 作者关心的焊接缺陷仅存在于焊道区内, 成功的提取焊道区域, 去除焊道外大量的干扰信息, 必将大大降低图像处理的难度。从焊缝图像的灰度直方图(见图 1)可以看出, 焊道与背景是大目标与大背景之间的关系, 呈现出明显的双峰特性。本文认为在焊道区域提取中应达到如下指标:

(1) 所提取焊道区域应具有一定的完整性, 防止发生缺陷漏判; (2) 焊道提取中带入的焊道外背景干扰信息尽量少, 防止影响缺陷提取或发生误判。

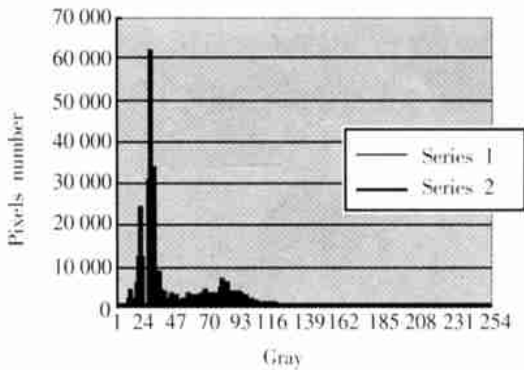


图 1 焊缝图像灰度直方图

Fig. 1 Weld image histogram

1.1 三角拟合法分割焊道区域

由于熔焊焊缝所具有的特殊截面形状, 在射线照相过程中形成如图 2 所示的灰度分布, 尽管焊缝

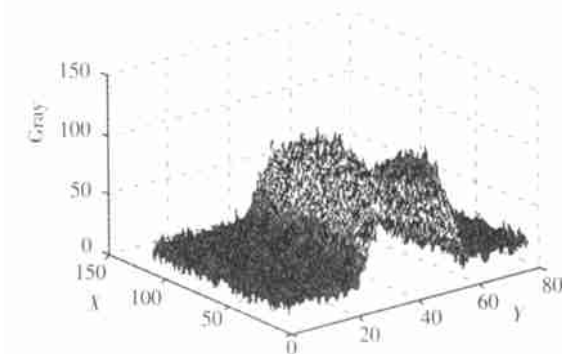


图 2 焊缝图像整体灰度分布图

Fig. 2 Gray distribution of weld image

图像对比度较差,焊道区灰度仍呈现出陡峭的二次曲线分布规律。

该图像局部噪声严重,为了进行有效的拟合,首先沿焊道截面方向,利用二维傅立叶变换去除图像的高频干扰,即

$$I(k_1, k_2) = \text{FFT}\{i(n_1, n_2)(-1)^{n_1+n_2}\}, \quad (1)$$

$$G(k_1, k_2) = I(k_1, k_2) \times L(\omega_1, \omega_2), \quad (2)$$

$$i_f(k_1, k_2) = R\{\text{IFFT}\{G(k_1, k_2) \times (-1)^{n_1+n_2}\}\}, \quad (3)$$

式中: $i(n_1, n_2)$ 和 $I(k_1, k_2)$ 分别代表傅立叶变换前后的图像; $G(k_1, k_2)$ 为经低通滤波后的频率响应; $i_f(k_1, k_2)$ 为滤波后的空域图像; $L(\omega_1, \omega_2)$ 为低通滤波器。

如上所述,焊接区域与非焊接区域在灰度直方图上表现出明显的双峰特性,大致提取焊接区域并非难事,因此本文首先采用全局域值法,分割出焊接区域中灰度较高的部分,即焊道中心区域,全局域值将由下面的公式决定

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{A_i + B_i}{2}}{n}, \quad (4)$$

式中: X 代表全局域值; A_i 代表第 i 行的最低灰度值; B_i 代表第 i 行的最高灰度值; n 代表总行数。

分割后,本文以像素行为单位,采用三角拟合法求焊道的宽度,如图 3 所示。

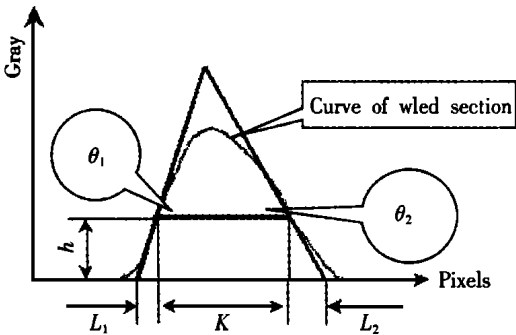


图 3 三角拟合法分割焊接区域

Fig. 3 Weld area segment based on triangle simulation

$$W = K + L_1 + L_2, \quad (5)$$

$$L_1 = h \times \text{ctg}(\theta_1), \quad (6)$$

$$L_2 = h \times \text{ctg}(\theta_2), \quad (7)$$

$$h = X - B, \quad (8)$$

式中: W 为焊道宽度; K 为第一次分割时的焊道中心区宽度; L_1 、 L_2 为中心区向左右扩展的宽度; θ_1 、 θ_2 分别为拟合三角形两边的倾角,这两角由如下步骤求出。(1) 全局域值分割后,针对某一像素行,取其分割边界点,以该点为中心,隔点采样,上下各取 20 个点,并记录其坐标值;(2) 求切比雪夫意义下的拟合直线。

$$\phi(X) = a_0 + a_1X. \quad (9)$$

由该直线可获得三角形两边倾角。

B 为三角形底边的灰度值,该值由直方图求得得到。由于原直方图(图 1)噪声较大,所以先用一维傅立叶变换进行了滤波处理

$$h'(g) = \text{IFFT}[\text{FFT}[h(g)] \times G(K)], \quad (10)$$

式中: $h(g)$ 为直方图; $h'(g)$ 为滤波后的直方图; $G(K)$ 为低通滤波器。

滤波后求导,如图 4 所示取其第二个过零点处的灰度值为 B 。

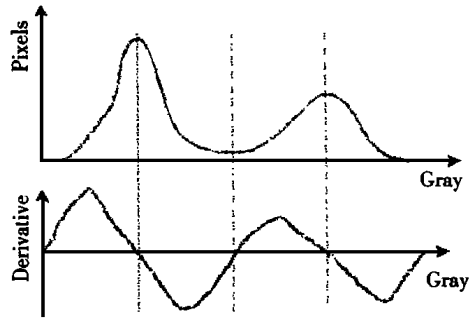


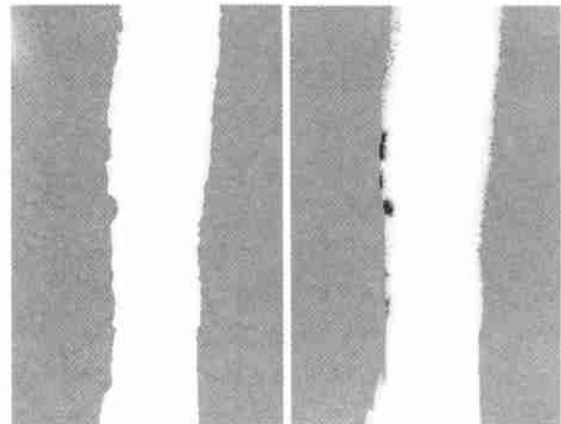
图 4 灰度直方图及其一阶导数图

Fig. 4 Gray histogram and its derivative image

1.2 焊道边缘修正

这时分割出的焊道区比实际焊道区域要稍小,其原因见图 3。另一方面,其边缘起伏较为严重,而焊道的真实边缘是较为平滑的,因此进行焊道区域修正是必要的。

修正过程中,采用中值滤波,以图像边缘为准,以焊道边缘到图像边缘的距离为滤波对象,对焊道两侧分别进行滤波。滤波将采用一维窗口,本文窗口宽度取 9 个像素,中值将平滑滤波焊道的边缘,同时由于分割焊道略小于实际焊道宽度,不会将焊道外干扰带入焊道区域。修正后,焊道图像的改善是明显的,例如图 5 中原来被分割到外面的缺陷,又得到了恢复。



(a) Before filtering (b) After filtering

图 5 焊道滤波效果图

Fig. 5 Effect of weld area filtering

2 缺陷形状与尺寸修正

在成功提取焊道区域之后, 分割焊接缺陷变得较容易了, 由于二维熵算法在小目标的分割中表现出了良好的性能, 本文在此将该算法应用于焊道内的缺陷提取, 具体算法见文献[6] 。

虽然该算法分割效果是较好的, 但不可避免的噪声也会被分割出来, 那么就要做去除噪声存活缺陷的工作, 对于本文在此应用了基于数学形态学的腐蚀与膨胀法去噪。

令 $E = R^2$ 或 Z^2 分别为二维欧几里德空间和欧几里德栅格。二值图像目标 X 是 E 的子集。用 B 代表结构元素(集合), B^S 代表结构元素 B 关于原点 $(0, 0)$ 的对称集合:

$$B^S = \{-b; b \in B\} \text{。} \tag{11}$$

膨胀:
$$X \oplus B^S = \bigcup_{b \in B} X_{-b} = \{z \in E; B_z \cap X \neq \phi\} \text{。} \tag{12}$$

腐蚀:
$$X \ominus B^S = \bigcap_{b \in B} X_{-b} = \{z \in E; B_z \subset X\} \text{。} \tag{13}$$

考虑到此时噪声的面积较小, 选择 3×3 模板。可是尽管缺陷存活下来, 但其尺寸和形状已严重失真, 这将影响识别和评判工作的准确性, 可见缺陷的尺寸与形状修正在图像处理后期是至关重要的。见图 6。

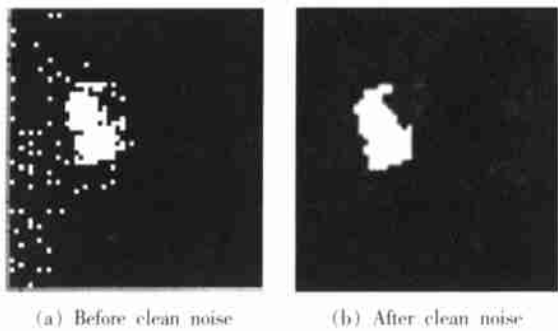


图 6 二值图像的去噪效果

Fig. 6 Effect of cleaning noise in binary image

2.1 缺陷矩形的生成

本文在此用到了缺陷矩形的概念, 定义如下: 缺陷矩形即指在缺陷和背景组成的二值图像中, 以某一缺陷构成的连通区域为准, 在图像坐标系中获取该区域之最大 X 与 Y 值 (X_1, Y_1) , 最小 X 与 Y 值 (X_2, Y_2) , 以 (X_1, Y_1) 、 (X_2, Y_2) 为准形成的矩形。缺陷矩形如图 7 所示。

要获得缺陷矩形必须对缺陷进行定位, 采用的搜索定位策略如图 8 所示。

2.2 缺陷矩形的分割与生长循环

将缺陷定位以后, 采用缺陷矩形的分割与生长循环来调整缺陷区域, 其过程如下。

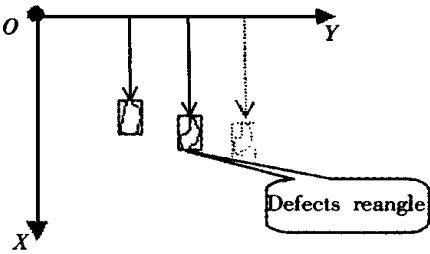


图 7 图像坐标系及缺陷矩形

Fig. 7 Image coordinate and defects rectangle

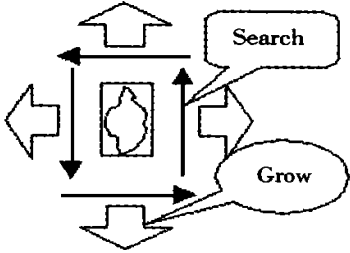


图 8 分割与生长示意图

Fig. 8 Segmentation and growth sketch map

(1) 首先在缺陷矩形内寻找现有缺陷区域的质心, 该质心由如下公式确定

$$(\overline{X}, \overline{Y}) = \left(\frac{\sum_{i=0}^N X_i}{N}, \frac{\sum_{i=0}^N Y_i}{N} \right) \text{。} \tag{14}$$

(2) 恢复缺陷矩形内的原始灰度, 并进行滤波与增强以削平缺陷区的灰度起伏。

(3) 以记录质心为生长点, 质心周围 3×3 方阵为初始生长区域, 进行缺陷区域生长。生长过程遵循以下原则

$$|f(X) - m_r| < k \times \sigma \text{,} \tag{15}$$

式中: $f(X)$ 代表某像素灰度值; m_r 代表已有区域平均灰度值; σ 代表已有区域的标准偏差; k 为比例系数。

(4) 在区域生长之后重新分割图像, 沿缺陷矩形四边分别向内一个像素分别搜索亮点, 如某一边搜到亮点, 则该边向外平移两个像素(这是缺陷矩形的生长步长)。

(5) 根据四边新位置重画缺陷矩形, 恢复矩形内灰度, 迭代直至缺陷矩形不再长大为止。

2.3 终矩形内的边缘提取

本文定义终矩形概念如下: 即经历分割与生长循环之后, 缺陷矩形不再长大, 此时的缺陷矩形定义为终矩形。

要想较真实地反映缺陷的形状, 用域值或区域

生长法进行分割是难以满足要求的, 因此本文在终矩形内用边缘提取法来获得缺陷区域。本文在此按边缘检测、边缘连接和边缘细化三步进行。本文应用三角模板来增强图像边缘。增强可用如下公式描述

$$X_3=2\times \sqrt{(X_1-X_4)^2+(X_6-X_4)^2}。(16)$$

如图 9 所示, 缺陷尺寸与形状的准确性获得了明显的提高。

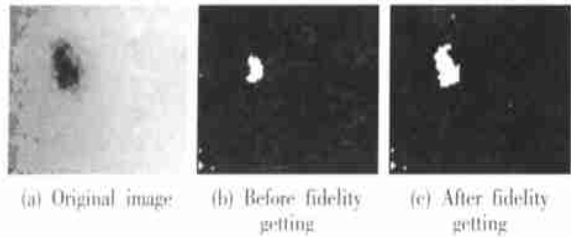


图 9 保真修正效果

Fig. 9 Effects of fidelity getting

图 10 展示了一个典型的焊缝图像经上述方法处理的结果。

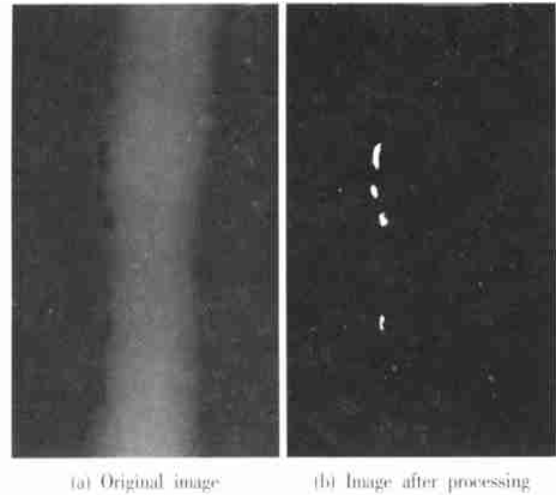


图 10 焊缝 X 光图像

Fig. 10 X-ray image of weld

3 结 论

针对焊接缺陷自动识别中焊接区域提取的问题, 本文提出了三角拟合法焊接区域分割和焊道边界滤波。焊接区域提取的准确度足以确保没有缺陷遗漏, 并且被误提取的焊道外信息少到不会干扰缺陷提取。为了在焊缝区域中精确提取缺陷, 针对焊接缺陷尺寸与形状修正设计了缺陷矩形生成策略、缺陷矩形的分割与生长循环、终矩形内边缘提取等方法, 可以较好地实现缺陷的尺寸与形状的保真。

参考文献:

[1] Kaftandjian V, Joly A, *et al*. Automatic detection and characterisation of aluminium weld defects: comparison between radiography, radioscopy and human interpretation[C] . EC NDT' 98, 1998, 3 (10): 34 ~ 41.

[2] Buschke E, Kirchner B. Are new software technologies of benefit to the operator? [C] . Proceedings of the 7 th European Conference on Non- Destructive Testing, May, 1998.

[3] Cherfa Y, Kabir Y, Drai R. X-rays image segmentation for NDT of welding defects[C] . Proceedings of the 7 th European Conference on Non- Destructive Testing, May, 1998.

[4] 孙忠诚 等. 焊缝 X 射线探伤数字图像处理方法研究[J] . 无损检测, 1992, 14(2): 37 ~ 44.

[5] 许志祥, 等. X 射线焊缝图像计算机质量检测[J] . 焊接学报, 1992, 13(1): 1 ~ 6.

[6] 张毅军, 等. 二维熵图像域值分割的快速递推算法[J] . 模式识别与人工智能, 1997, 10(3): 259 ~ 264.

作者简介: 吴 林, 男, 1935 年出生, 教授, 博士生导师, 现代焊接生产国家重点实验室主任。主要从事机器人焊接、焊接自动化等领域的研究。已发表论文 150 多篇。

(编辑: 闫秀荣)

我国科技开放的 9 大政策与措施

日前科技部部长朱丽兰透露, 科技部通过了《“十五”期间国际合作发展纲要》, 对中国国际科技合作工作进行了部署。她指出, “十五”期间, 推动中国国际科技合作的主要政策和措施有以下几个方面: 1. 促进中国科技自主创新能力的提高; 2. 推动中国高新技术产业化的发展, 促进高新技术产业走向世界, 推动企业的技术创新活动向国际惯例靠拢, 积极主动地融入国际社会; 3. 实施“走出去”的开放战略, 推动科技兴贸。以国际和国内两种市场和两种资源的合作开发为出发点, 大力推进对亚、非、拉的合作, 实施技术出口与开发国外资源及市场品种的新战略; 4. 加强部门、地方及企业各层次的对外合作, 大力扶持企业研发机构和科技型企业研发的国际化, 支持民营企业享受同等待遇参与国际科技合作计划与项目; 5. 大力开发和利用国外智力资源; 6. 积极推进西部对外科技合作, 为西部地区开辟国际合作渠道, 开发国际科技资源; 7. 为海外人才参与国内科技发展和经济建设创造条件; 8. 制定重大国际科技合作计划, 设立国际合作基金; 9. 建设一支高素质的国际科技合作队伍。

(摘自《中国科技产业》)