

文章编号: 1004-4213(2010)01-0184-4

基于自适应模糊阈值分割的韧窝图像分析*

李新城, 郭鑫鑫, 朱伟兴

(江苏大学 机械工程学院, 江苏 镇江 212013)

摘要:为了探明钢材韧窝直径与常规力学性能之间的关系, 对其精确测取与统计, 并尽量减小在测量分析中人为因素的影响, 利用自适应模糊阈值分割法对韧性断裂产生的钢材等轴韧窝图像进行分析及二值分割, 实现了韧窝与背景的分离. 为了快速准确的测得韧窝直径, 对基于 Freeman 链码的多区域面积的算法进行了改进. 改进后的算法可高效、便捷、准确的测取韧窝直径. 由此为后继的韧窝定量分类分析工作提供了依据.

关键词:韧窝; 图像处理; 特征处理; 阈值分割

中图分类号: TP391

文献标识码: A

doi: 10. 3788/gzxb20103901. 0184

0 引言

在各种钢铁材料的断裂失效分析中, 通过对断口组织的微观分析研究可以了解断裂过程的机理及原因, 继而探明提高材料力学性能的影响因素. 然而, 由于钢材韧窝的定量微观分析较难进行, 加之韧窝分析时面临的诸多不确定因素, 长期以来只能依靠专业人员以人工测量与统计的工作模式进行. 由此模式必然带来诸如效率低、大量的重复性劳动及大量的人力资源浪费. 此外, 这种分析效果主要取决于人的主观因素故难免产生主观误差.

为此, 本文应用自适应模糊阈值分割法对韧性断裂产生的钢材等轴韧窝图像进行分析及二值分割, 并对基于 Freeman 链码的多区域面积的算法进行了改进, 可高效、便捷、准确的测取韧窝直径. 由此为钢材韧窝的定量分类分析工作提供了可靠依据.

1 韧窝图像的二值化

1.1 预处理

韧窝图像的二值化处理是为了能将韧窝与背景的分离, 但由于材质、设备等各种因素的影响使得扫描得到的韧窝图像产生偏明、偏暗现象. 因此在图像二值化前, 必需对图像的亮度和对比度进行灰度变换来提高韧窝边界的对比度以避免丢失灰度变化小的边界信息.

1.2 自适应模糊阈值分割

鉴于韧窝图像的多样性, 特别是针对背景复杂的韧窝图像分析时, 则不能应用传统的整体阈值法. 为此, 本课题组结合韧窝组织图像的特点, 引入了图像的自适应模糊阈值分割法^[1]. 应用结果表明, 该方法具有很好的鲁棒性、有效性.

首先, 设预处理后的图像 X 的大小为 $M \times N$ (M 和 N 分别为图像的长和宽, 单位为像素), 有 L 级灰度, $h(k)$ 为图像 X 中灰度取 k 的像素个数. 则原图像的直方图可表示为

$$h(k) = \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} \delta\{f(i, j) - k\} \quad (1)$$

式中 $k = 0, 1, 2, \dots, L-1$, $f(i, j)$ 表示 (i, j) 处的灰度值, 将直方图归一化为 $H(k)$. 对直方图做两次变换, 令第一次变换后直方图为 $h_{b1}(k)$ 归一化为 $H_{b1}(k)$, 第二次变换后直方图为 $h_{b2}(k)$ 归一化为 $H_{b2}(k)$.

$$h_{b1}(k) = \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} g\{e(i, j)\} \delta\{f(i, j) - k\} \quad (2)$$

$$h_{b2}(k) = \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} e(i, j) \delta\{f(i, j) - k\} / H(k) \quad (3)$$

式中: $g\{e(i, j)\} = \{1 + e(i, j)\}^{-2}$, $e(i, j) = \max_{x, y=-1}^1 \{f(i-x, j-y)\} - \min_{x, y=-1}^1 \{f(i-x, j-y)\}$

令 $h_{b0}(k) = H_{b1}(k) + H_{b2}(k)$, 将 $h_{b0}(k)$ 归一化后从而得到新直方图. 模糊阈值分割实质是对图像直方图进行加权平均, 得到模糊率曲线, 其极小值对应分割阈值. 假设 $\mu(x)$ 是在 L 级灰度上的隶属函数, 若像素 (m, n) 灰度为 x_{mn} , 则隶属度为 $\mu(x_{mn})$, 其中 $m = 0, 1, 2, \dots, N-1$, 表示像素 (m, n) 具有明亮性的程度. 则定义图像的模糊率为

$$\gamma(X) = \frac{2}{MN} \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} \min\{\mu(x_{mn}), 1 - \mu(x_{mn})\} \quad (4)$$

* 国家自然科学基金 (50775102) 和江苏大学模具科技创新项目资助

Tel: 0511-88780856

Email: plnet1107@sina.com

收稿日期: 2008-09-24

修回日期: 2008-11-12

隶属函数为

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & 0 \leq x \leq q - \Delta q \\ 2 \left[\frac{(x - q + \Delta q)}{2\Delta q} \right]^2 & q - \Delta q \leq x \leq q \\ 1 - 2 \left[\frac{(x - q + \Delta q)}{2\Delta q} \right]^2 & q < x \leq q + \Delta q \\ 1 & q + \Delta q < x \leq L \end{cases} \quad (5)$$

由式(5)可知, $\mu(x)$ 由窗宽 $c = 2\Delta q$ 及 q 决定, 而 q 是在灰度区间上是遍历的, 故只需确定 c 即可. 本文工作表明, c 的取值对于分割结果好坏起决定作用, c 取值越小, $\mu(x)$ 曲线越陡峭, 当其作用于 $h(k)$ 所得到的模糊率曲线在灰度直方图的谷点就可能出现振荡, 从而产生假阈值; c 取值越大, $\mu(x)$ 曲线越平坦, 在模糊率曲线上就可能会平滑掉直方图上的谷点, 造成阈值丢失. Murthy 等人证明了窗宽 c 大于两峰间的距离时, 则不能保证求出正确阈值. 当窗宽 c 小于两峰间距离时, 必定存在最小模糊率, 因而可取得正确阈值^[2]. 鉴于钢材的韧窝图像的窗宽 c 均小于 5, 故 c 取 4 时, 由隶属函数计算得到模糊率曲线极小值点数 n . 将此 n 值作为判据, 与 $\lambda - 1$ (由于二值图像的像素类别数 λ 为 2) 相比较, 若 $n = \lambda - 1$, 则此时窗宽 c 为最佳窗宽, 若 $n > \lambda - 1$, 则令 $c = c + 2$ 重新计算模糊率曲线, 直至 $n = \lambda - 1$ 为止. 由此即可得到极小值对应的阈值从而实现图像的二值化.

2 韧窝形态的特征处理

韧窝图像经前文二值化处理后实现了韧窝与其背景的分割, 能完整的提取韧窝的特征信息, 但仍不可避免地存在一定程度的信息误差. 信息误差的起因分别是: 1) 个别模糊的韧窝边界在预处理和二值化后, 形成了边界缺失, 造成两韧窝的交集现象如图(1); 2) 个别韧窝的中心因显微成像时的光线反射造成中心偏亮, 在二值化后形成孔洞如图(2). 鉴于这些特征信息误差会影响韧窝的精确定量分析, 故必需加以处理.

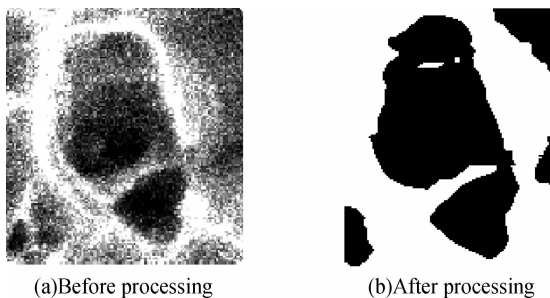


图1 韧窝边界缺失图像
Fig. 1 the disappearance of the border

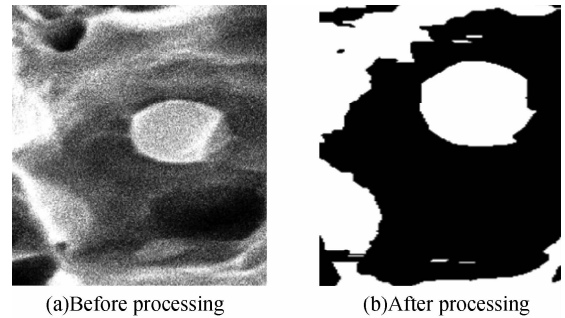


图2 韧窝空洞图像
Fig. 2 Holes image

针对第一类信息误差, 采用极限腐蚀、膨胀的方法^[3]加以处理. 对韧窝先进行极限腐蚀, 直到韧窝被腐蚀到心部时, 再逐层膨胀来恢复韧窝的边界, 以此实现两韧窝的分离, 如图(3). 针对第二类信息误差, 则采用 Freeman 链码提取的轮廓信息, 来定位检测内部是否有空洞的存在^[4], 并使用改进了的扫描线种子填充算法^[5]来消除韧窝中心的孔洞, 其处理结果如图(4).



图3 特征处理后的图像
Fig. 3 Separated feature image



图4 填充图像
Fig. 4 Filling image

3 韧窝直径的测取

韧窝图像经二值化和特征处理后, 转化为黑白二色的图像, 图中一个个近似圆形的黑点则是原图像中韧窝大小的直观反映. 在对韧窝直径进行测量时, 首先要求出韧窝的面积, 而现行的基于 Freeman 链码的多区域面积的算法^[6]无法适应韧窝形态的不规则性, 不能精确计算出韧窝的面积. 为此本文对这种方法进行了改进, 以期高效、便捷、准确

的测取韧窝直径。

以 Freeman 链码的方式表示相邻点位置的矢量关系. 图像坐标的原点为左上角, 即左上角坐标原点为(0,0)向右为 x 坐标增大方向, 向下为 y 坐标增大方向. 在数字图像中, 8 连接实际上是 8 个方向上的折线连接, 为此定义 8 个方向为 0、1、2、3、4、5、6、7, 分别表示 0° 、 45° 、 90° 、 135° 、 180° 、 225° 、 270° 、 315° 八个方向, 如图(5).

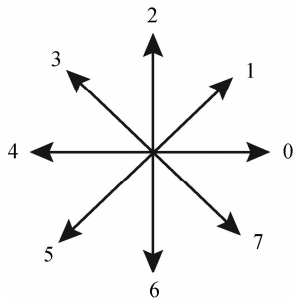


图 5 Freeman 链码定义

Fig. 3 Freeman boundary encode's definition

设由此得到目标的边界及边界的每个像素点的坐标为 pixel x 、pixel y . 得到图像边界位置后找出 pixel y 的最大值和最小值(b, b'), 在此范围内得出每一行中即像素点的纵坐标 pixel y 相等情况下, pixel x 的最大值和最小值(a, a')并通过判断像素值来确定是否属于韧窝面积, 二值化后的图像像素值为 0 或 255, 当像素值为 0 时则确定为韧窝. 通过在(b, b')区间对(a, a')范围内进行遍历运算, 得出每个韧窝所占的像素面积, 设像素面积 S_i , 整个图像中韧窝的像素面积平均值为 S , 直径记为 $D=2\sqrt{S/\pi}$, 由此得到的值并不能直接使用, 还需要根据标尺转化为实际值 $d=D/\text{标尺}$. 标尺定义为比例尺所含的像素与比例尺的长度比(如图 6). 这是因为数字图像是离散化的图像, 以像素作为空间度量的单位, 而像素本身的空间信息需要标尺来定义, 这样才能进行计算值与实际值的转换.

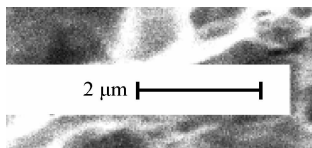


图 6 比例尺长度

Fig. 6 Scale length

为了防止二值图像中韧窝的遍历检测方式可能造成的韧窝重检或漏检现象, 必需对检测过的韧窝采取反运算使原来检测过的像素值与背景色相同(0 转化为 255), 直到整幅图像像素均为 255 时结束运算.

4 韧窝定量的分类分析结果

本文对随机抽取的超细晶粒钢因塑性变形而断裂产生的韧窝图像(图 7)应用上述方法进行定量的分类分析后, 得出了每个韧窝所占的像素面积, 如表 1.

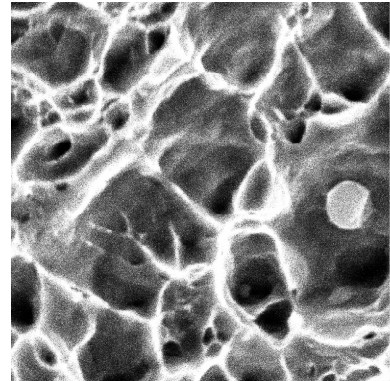


图 7 韧窝图像

Fig. 7 Dimple image

表 1 韧窝像素面积

Table 1 Pixel area of dimple

No.	Area	No.	Area
0	151	18	18 961
1	3 353	19	8 095
2	286	20	92
3	5 499	21	520
4	46	22	5 573
5	4 071	23	343
6	2 349	24	35
7	547	25	2 786
8	1 218	26	1 440
9	4 776	27	151
10	64	28	2 330
11	339	29	702
12	539	30	675
13	57	31	4 831
14	272	32	45
15	61	33	716
16	1 961	34	182
17	5 454	35	248

由此可直接得像素面积的平均值为

$$S = \sum_{i=0}^n S_i / n = \sum_{i=0}^{35} S_i / 35 = 78\,246 / 35 = 2\,173.5$$

平均直径为

$$D = 2 \sqrt{S/\pi} = 2 \sqrt{2\,173.5/\pi} = 52.6$$

根据标尺转化为实际值

$$d = \frac{52.6}{170/2(\mu\text{m})} = 0.62 \mu\text{m}$$

由此计算方法, 求出韧窝实际直径, 并对其进行分类可以得出图 8.

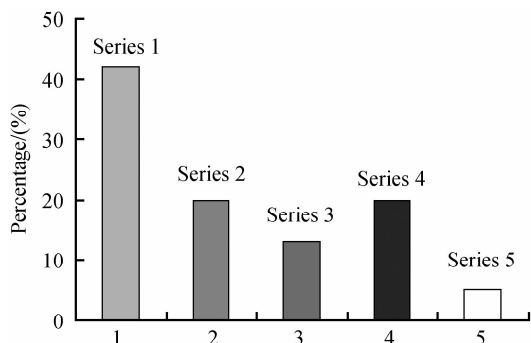


图 8 韧窝直径分类统计

Fig. 8 Classified dimple diameter image

图 8 中:纵坐标为各类韧窝所占比例:1 为直径 $0 < d < 0.25 \mu\text{m}$ 的韧窝;2 为直径 $0.25 \mu\text{m} \leq d < 0.5 \mu\text{m}$ 的韧窝;3 为直径 $0.5 \mu\text{m} \leq d < 0.75 \mu\text{m}$ 的韧窝;4 为直径 $0.75 \mu\text{m} \leq d < 1 \mu\text{m}$ 的韧窝;5 为直径 $0.75 \mu\text{m} \leq d < 1 \mu\text{m}$ 的韧窝。

5 结论

采用自适应模糊阈值分割法能够很好的使韧窝与背景分离.利用本文所改进的基于 Freeman 链码的多区域面积计算方法能够针对韧窝形态的不规则性和多样性,高效、便捷、准确的测取韧窝直径,并精确计算出韧窝的面积.由此为后继的按照韧窝实际直径大小进行韧窝的定量分类分析工作提供了可靠依据.此外,本文工作对诸如韧窝边界缺失、韧窝空洞等问题亦提出了很好的处理方法,这是其它任何非人工韧窝分析模式都难以做到的.该方法还具有

优异的普适性,可以推广应用于材料领域、一切背景复杂、形态复杂的断口测量分析分类工作.

参考文献

- [1] CHEN Guo, ZUO Hong-fu. The image adaptive thresholding by index of fuzziness[J]. *Acta Automatica Sinica*, 2003, **29**(5):791-796.
陈果,左洪福.图像的自适应模糊阈值分割法[J].自动化学报,2003, **29**(5):791-796.
- [2] MURTHY C A, PAL S K. Histogram thresholding by minimizing graylevel fuzziness[J]. *Information Sciences*, 1992, **60**:107-135.
- [3] SUN Ji-ping, WU Bing, LIU Xiao-yang. Cellular neural network applying manner in pre-processing image [J]. *Chinese Journal of Computers*, 2005, **28**(6):985-990.
孙继平,吴冰,刘晓阳.基于膨胀/腐蚀运算的神经网络图像处理方法及其应用研究[J].计算机学报,2005, **28**(6):985-990.
- [4] ZHU Yu, JIANG Lin-jia. Synthesis tracing algorithm for region localization of SEM image[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2008, **37**(2):391-394.
朱煜,江林佳.基于图像跟踪的孔洞目标提取与区域定位研究[J].光子学报,2008, **37**(2):391-394.
- [5] YU La-sheng, SHEN De-yao. A refinement of the scan line seed fill algorithm[J]. *Computer Engineering*, 2003, **29**(10):70-72.
余腊生,沈德耀.扫描线种子填充算法的改进[J].计算机工程,2003, **29**(10):70-72.
- [6] WU Yuan-min. Method for calculating areas of multiple regions in image based on freeman chain code[J]. *Computer Engineering and Applications*, 2008, **44**(15):199-201.
吴元敏.基于 Freeman 链码的图像中多个区域面积的计算算法[J].计算机工程与应用,2008, **44**(15):199-201.

Image Processing of Dimples Based on Image Adaptive Thresholding by Index of Fuzziness

LI Xin-cheng, GUO Xin-xin, ZHU Wei-xin

(Department of Mechanical Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang, Jiangsu 212013, China)

Abstract: In order to minimize the impact of anthropogenic factor and to study the relationships between dimple diameter and common mechanical properties, computer image processing technology is introduced to measure and count the size and number of dimples in metallographic image formed by ductile fracture. The dimples are segmented very well by using an adaptive method for image thresholding based on index of fuzziness. An improved multiregional area algorithm based on Freeman chain is presented. It proves that this algorithm can detect and measure dimple diameter rapidly and accurately. It also provides quantitative results for further classify and analysis of dimples.

Key words: Dimple; Image processing; Characteristic processing; Threshold segmentation



LI Xin-cheng was born in 1956. She obtained her Ph. D. degree from Nanjing University of Science and Technology in 1999. Now she is a professor at Jiangsu University. Her research interests focus on image processing of material structure and the application of pattern recognition.