

钢金相图像中晶粒度的估算方法

孙秋冬, 颜文英, 邱勇平, 高顺富

(上海第二工业大学电子电气工程学院, 上海 201209)

摘要: 晶粒度估算是金属性能分析的重要基础。对钢金相图像中晶粒的晶粒度、面积、平均面积、弦、长轴、短轴、直径和平均直径进行了定义, 提出用填充剔除计数法进行晶粒颗数的统计, 给出了一个晶粒平均面积和平均直径的估算公式。最后, 给出了一个晶粒直径计算算法。描述的晶粒度估算方法改进了从前的粗略估算方法, 使计算精确度获得极大的提高, 为金相图像的更深入分析, 如对金属晶粒度的评级、机械性质的分析等提供了很大的帮助。

关键词: 钢金相图像; 晶粒度; 平均直径; 平均面积; 估算方法

中图分类号: TH123 **文献标识码:** B

0 引言

金相分析是对金属进行研究和性能测试的重要手段^[1]。在显微镜下观察, 绝大多数的金属材料是由许多细小的晶粒组成。传统的材料学理论认为, 晶粒细小材料的常规力学性能如拉伸强度、韧性、塑性等均相对较好; 晶粒的尺寸还会影响金属的疲劳强度^[2]。因此, 在金属性能分析中, 晶粒尺寸(即晶粒度)的估算显得十分重要。

1 钢金相图像中的晶粒度定义

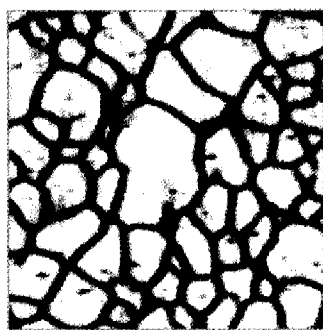


图1 一幅典型钢金相图像

Fig. 1 A typical steel metallographical image

图1是一幅典型的钢金相显微图像。从图像中可知, 金属是由许多大小各异的微小晶粒组成, 晶粒与晶粒之间由晶界分隔开。由于金属中的晶粒个体大小各异, 而晶粒个体通常不能决定金属的性能, 分析某粒晶粒的大小因而没有特别意义, 晶粒度往往表征的是晶粒的平均尺寸。

定义1 金相图像中的晶粒度: 在金相图像中, 单位面积中晶粒的平均尺寸就被定义为晶粒度。

晶粒的尺寸可以由其面积来表征, 但有时候也可以由其直径来表征。因此, 实际上晶粒度的估算就是其面积或直径的估算。

收稿日期: 2005-10-08; **修回日期:** 2006-01-20

作者简介: 孙秋冬(1963—), 男, 浙江黄岩人, 副教授, 研究方向为电子技术、信息处理和软件工程。

2 金相图像预处理和晶粒计数

2.1 金相图像预处理

由于金相的显微原始图像往往存在噪声,晶粒与晶界间大多数情况下不是很清晰,不便于计算机分析,因此,有必要在计算机自动分析前进行适当的预处理。

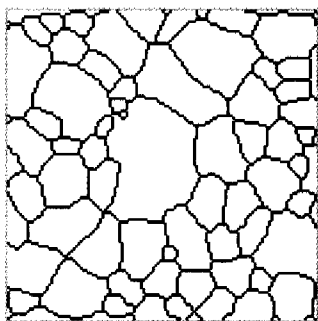


图 2 图 1 中图像的预处理结果

Fig. 2 The image preprocessing result of Fig. 1

如图 1 所示的钢金相图像经图像二值化、噪声去除和细化等预处理^[3],得到如图 2 所示的晶粒分明的金相二值图像。

2.2 晶粒计数

单位面积中晶粒的数量与晶粒的尺寸有关。晶粒的大小对金属的拉伸强度、韧性、塑性等机械性质有决定性的影响^[4]。因此,晶粒的计数在金相分析中具有相当重要的意义。

物体计数的方法有很多种,本文根据金相图像二值化后晶粒的封闭特征,采用填充剔除计数法^[3]。

所谓填充剔除计数法,就是根据行或列扫描图像,当第一次碰到一个物体(白色)时,计数器加一,且将该物体填充为别的颜色(黑色),以后再扫描到该物体时,扫描程序不再将其当作物体,即该物体在一次计数后就被剔除,从而保证了该物体被计数一次。

由于细化后的晶界是八连通的网状线条,因此,应用填充剔除计数法时,必须注意选用四连通的方式填充晶粒。根据填充剔除计数法对图 2 进行晶粒计数,结果为 $N=85$,即如图 2 所示的金相图像共有 85 颗晶粒,与实际相符。

3 晶粒度估算

金属晶粒的尺寸(或晶粒度)对其在室温及高温下的机械性质有决定性的影响,晶粒尺寸的细化也被作为钢的热处理中最重要的强化途径之一^[5]。因此,在金属性能分析中,晶粒尺寸的估算显得十分重要。

3.1 晶粒面积估算

在平面图像中,晶粒的晶粒度有时由其面积来表征。晶粒的面积定义为:

定义 2 晶粒面积:在数字图像中,晶粒的面积就是其所占的像素数。

单个晶粒的面积没有实际意义,但一定区域中所有晶粒的平均面积却可以用来反映金相的晶粒度。

对于如图 2 所示的金相图像,其晶粒的平均面积可以用下式来粗略估算^[3]:

$$ASG = \frac{S - P_B}{N}, \quad (1)$$

其中 ASG 代表晶粒的平均面积, S 为图像的大小, P_B 为晶界所占的总像素, N 为图像中晶粒的颗数。在图

2 中, $S=128 \times 128$, $N=85$, P_B 可由晶界跟踪算法^[3]统计获得, 其值为 1 862, 故 $ASG=170.8$ 个像素。

分析图 2 可知, 图像边界处的许多晶粒是不完整的, 将它们用在统计数据中是不精确的, 往往会造成平均面积变小, 因此, 为了克服这一缺点, 更精确的统计方法是剔除不完整的晶粒, 然后求出所有完整晶粒面积的平均值。

图像边界处的不完整晶粒可以这样剔除: 将图 2 图像向四周各扩展一个白像素点, 使图像边界处的不完整晶粒成为一个连通的整体, 然后将其填充为黑色。由于图 2 中白色的封闭区域是晶粒, 因此被填充为黑色的不完整晶粒将不被统计。

剔除图 2 中不完整的晶粒后, 结果如图 3 所示。用填充剔除计数法对图 3 重新进行晶粒计数, 结果为 $N=46$ 。

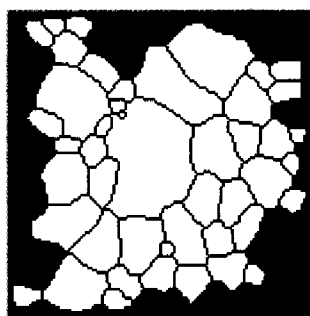


图 3 完整晶粒图像
Fig. 3 Complete grains image

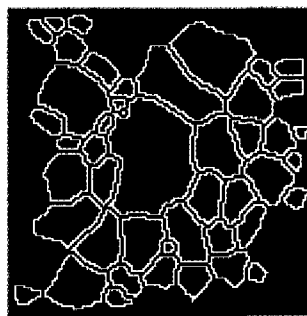


图 4 所有晶粒的四方向边界跟踪结果
Fig. 4 Four-direction boundary tracking result of all grains

对于如图 3 所示的金相图像, 其晶粒的平均面积可以用下式来表示:

$$ASG = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N S_n, \quad (2)$$

其中 ASG 代表晶粒的平均面积, S_n 为图像中第 n 个晶粒的面积, N 为图像中完整晶粒的颗数。

利用“基于四方向试探跟踪的面积计算算法”^[6]跟踪图 3 中所有晶粒的边界, 结果如图 4 所示。该算法能在跟踪的同时计算出每颗晶粒的面积。然后, 根据式(2)计算可得, 完整晶粒平均面积 ASG 为 222.3 个像素。

比较式(1)和式(2)的计算结果, 式(1)的计算结果明显偏小。由于式(1)将残缺的晶粒都统计在 N 中了, 但残缺晶粒的面积只能统计部分, 因此, 其计算结果偏小是可想而知的。式(2)的计算结果相对而言要精确得多, 因为它统计的都是完整的晶粒。

3.2 晶粒直径估算

更多时候, 晶粒尺寸是由其直径来表征的。例如, 许多金属的屈服应力 σ_y 和晶粒直径 d 之间满足 Hall—Petch 关系^[5]:

$$\sigma_y = \sigma_0 + k_y d^{\frac{1}{2}}, \quad (3)$$

式中 σ_0 和 k_y 为常数。可见, 晶粒直径的计算是很有必要的。与直径计算有关的定义如下:

定义 3 晶粒的弦: 晶粒边界上两点之间的连线称为弦, 如图 5 中的线段 AE 所示。

定义 4 晶粒的长轴: 最长的弦称为长轴, 用 d_l 来表示, 如图 5 中的线段 AB 所示。

定义 5 晶粒的短轴: 与长轴垂直的弦中最长的弦称为短轴, 用 d_s 来表示, 如图 5 中的线段 CD 所示。

定义 6 晶粒直径: 晶粒的长轴和短轴的平均值近似为直径, 用 d_G 来表示, 即

$$d_G = \frac{1}{2}(d_l + d_s). \quad (4)$$

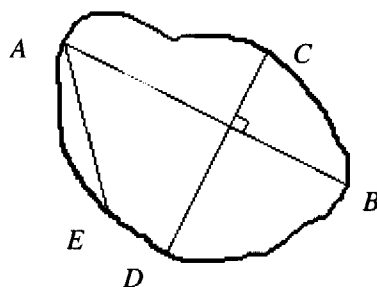


图5 晶粒的弦、长轴和短轴

Fig. 5 The chord, long axes and short axes of grain

根据以上定义, 可以用以下算法来计算晶粒的直径。

算法1 晶粒直径计算算法:

步骤1 根据图4所示的晶粒边界跟踪结果, 确定晶粒边界上的某一点, 求出以它为一端点的最长弦, 并与前次计算的结果比较, 长则取而代之, 短则保持前次结果作为晶粒的最长弦; 直至穷尽边界上所有点, 所得结果为长轴;

步骤2 计算长轴的斜率, 并以它的负倒数作为短轴的斜率;

步骤3 在连接长轴两端的一条边界线上, 确定某一点, 求出以它为端点且斜率与短轴斜率最相近的弦, 并比较前次的弦长, 长则取而代之, 短则保留前次的弦, 直至穷尽所有可能的点, 所得结果为短轴;

步骤4 计算长轴和短轴的平均值作为直径。

单个晶粒的直径也不具实际意义, 式(3)中的晶粒直径 d 实际上是一定区域中所有晶粒直径的平均值, 其表达式为

$$d = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N d_{Gn}, \quad (5)$$

其中 d 代表晶粒的平均直径, d_{Gn} 为图像中第 n 个晶粒的直径, N 为图像中完整晶粒的颗数。

根据算法1和式(5), 计算图4中所有晶粒的平均直径, 结果为15.3个像素距离。

4 结束语

本文对数字钢金相图像进行了晶粒度和晶粒的面积、平均面积、弦、长轴、短轴、直径、平均直径等的定义, 为钢金相分析提供了依据。文中描述的晶粒度估算方法发展了从前的粗略估算方法, 计算的精确度获得极大的提高; 填充剔除计数法能精确地统计出图像中晶粒的数量; 晶粒平均面积和直径的估算公式方便实用, 但在实际应用中还需根据金相图像的分辨率, 将面积和直径的单位从像素单位换算为实际单位。

作为对金相图像进行更深入分析的基础, 本文的晶粒度估算方法对金属晶粒度的评级、机械性质的分析等都有很大的帮助。

参考文献:

- [1] Honeycombe R W K. Steels Microstructures and Properties[M], Edward Arnold, 1980.
- [2] 俞德刚, 谈育熙. 钢的组织强度学——组织与强韧性[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1983.
- [3] 孙秋冬, 凌君谊, 颜文英, 戴虹. 金属显微图像初步分析与压缩[J]. 中华学术论坛, 2004(5):16-18.
- [4] 周捷, 王印培, 柳曾典等. 分形金相的初步探讨——关于晶粒度的分形特征[J]. 华东理工大学学报(自然科学版), 2000, 26(2):188-199, 211.

[5] 霍尼库姆 R W K 著, 傅俊岩等译. 钢的显微组织和性能[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1985.

[6] 孙秋冬, 高顺富, 邱勇平. 数字化封闭图形对象的面积计算[J]. 计算机软件与应用, 2005(7):102-103,137.

The Estimate Methods of Grain Size in Steel Metallographical Image

SUN Qiu-dong , YAN Wen-ying , QIU Yong-ping , GAO Shun-fu

(School of Electronic and Electrical Engineering, Shanghai Second Polytechnic University, Shanghai
201209,P.R.China)

Abstract: The estimate of grain size is the important base of metallographical analysis. The definitions of grain size, area, average area, chord, long axes, short axes, diameter and average diameter are given in this article. A filling-elimination method is also produced for counting the number of grains in the metallographical image. The equations for calculating average area and diameter of grains are presented too. Finally, an algorithm for calculating grain's average diameter is given. The estimate methods of grain size in steel metallographical image described in this article improve upon the calculating precision of former wide approach, and also are very helpful for more deep analysis of steel metallographical image such as the grain level evaluation, mechanical property and so on.

Keywords: steel metallographical image; grain size; average diameter; average area; estimate methods