

基于图像分析软件的晶粒尺寸分布统计

朱家明

(中国科学院力学研究所非线性力学国家重点实验室,北京 100190)

摘要:利用图像分析软件不仅能定量测量材料的晶粒度,还能得到材料的晶粒尺寸分布图。介绍了统计晶粒尺寸分布和定量测量晶粒度的方法及怎样计算平均晶粒半径和标准差。为研究晶粒尺度对材料性质的影响和材料的理化检测提供准确丰富的依据。

关键词:晶粒度;晶粒尺寸分布;标准差;正态分布;拟合

中图分类号: TG115.213.1 文献标识码: A

The Measurement of Grain Size Distribution Through Image Analysis Software

ZHU Jiaming

(State Key Lab. of Nonlinear Mechanics(LNM), Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

Abstract: Not only the grain size of the material can be measured quantitatively, but also the grain size distribution can be obtained by using the image analysis software. The method of estimating grain size distribution, average grain size and standard deviation are presented. This method will provide precise and affluent data for researching the dependence of properties of materials on grain size and for physical and chemistry test.

Key words: grain size; grain size distribution; standard deviation; normal distribution; fitting

0 引言

晶粒尺度是金属材料的重要组织特征参数^[1-3],因为材料的晶粒尺度及晶粒分布是影响材料性质的重要因素。目前广泛使用的晶粒度测量方法是人工比较法^[1-2],这种方法只能粗略的得到晶粒大小的等级,其精确度不能满足科学研究的需要,并且此法的测量结果常因人而异^[1,4],存在较大误差。另外,人工比较法得出的是晶粒的平均尺度,反应不出材料中晶粒的均匀程度。

利用图像处理软件定量测量晶粒的面积,然后使用面积法计算晶粒度能有效减小人工测量带来的误差,且这种方法还能给出晶粒尺寸分布图、平均晶粒半径和方差,从而为研究晶粒尺度对材料性质的影响和材料的理化检测提供更准确丰富的依据。

根据 GB6394-2002,本文基于 Image-Pro Plus (简称 IPP) 软件,以工业纯铁为例介绍如何使用图像分析软件定量测量晶粒度、统计晶粒尺寸分布、计算平均晶粒半径和方差。

1 方法和范例

IPP 软件是一款金相照片处理软件,虽然软件

具有自动识别晶粒的功能,但这一功能在实际应用时存在困难。事实上,当相邻晶粒间的晶界较模糊或晶界与晶粒的灰度差不大时,软件会将相邻的几个晶粒识别为一个晶粒,且还可能将图像中的污渍或杂质当成一个晶粒。针对这种情况,作者建议使用手动描图法描绘出晶粒轮廓,并将轮廓图保存后便使用和修改。

下面以工业纯铁的金相图为例介绍使用图像分析软件定量测量晶粒度、统计晶粒尺寸分布、计算平均晶粒半径和标准差的具体方法。该方法有以下 3 个步骤:

1) 进入 IPP 软件中的 Count/Size 模块,手动描绘出金相照片中的晶粒轮廓,如图 1(b)所示。在实际描绘过程中应把照片中轮廓清晰的所有晶粒描绘出来。对于晶界模糊的晶粒,为了使统计的晶粒分布最大程度上接近真实的分布,应该进行人工干预。进行人工干预时要遵守以下 3 个注意事项:

- a. 对于那些若隐若现晶界如果能判断的确是晶界而非污渍,那么就把它描绘出来。
- b. 对于实在不易判断是否被晶界隔开的晶粒

收稿日期:2012-09-14

作者简介:朱家明(1988-),男,河南省新乡市人,硕士生,主要从事热电材料的研究。

不进行统计,把它当成实验中的坏点排除掉。

c. 因为一般不易判断晶界的晶粒的面积较大,为了防止人工干预过多地排除这些大晶粒使统计结果偏离真实,要对多张照片进行统计。

2) 描图工作完成后 IPP 软件将自动计算出每个晶粒的面积,由此可根据 GB6394-2002 计算出晶粒半径,并在 origin 中统计晶粒分布。

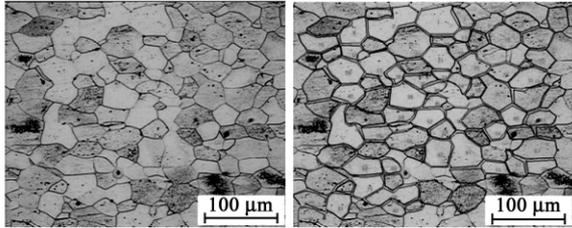


图 1 工业纯铁金相图及晶粒轮廓描绘图

图 2 为统计出来的图 1 所示金相照片的晶粒分布,其中直方图表示在某一晶粒尺寸范围内的晶粒个数,实线是对直方图的正态分布拟合。由图可知,统计出来的晶粒分布基本符合正态分布的规律,因而反映了真实的晶粒分布情况,这也说明步骤 1) 所述的描绘晶粒轮廓的方法是合理的。

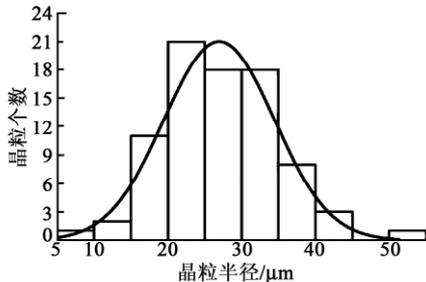


图 2 晶粒分布统计图

3) 为了使统计结果更接近真实情况,同时减小其他因素的影响,应对多张照片中的晶粒半径进行计算,并把这些数据放在一起组成整体样本对晶粒尺寸分布进行统计。通过对晶粒尺寸分布进行正态分布拟合得到平均晶粒半径和方差(这里把单张照片中参与测量的所有晶粒称为子样本,把所有子样本汇总到一起做为整体样本)。

依照上述步骤本文描绘并计算了 3 张金相照片中的晶粒(3 个子样本),共计 201 个晶粒(整体样本)的半径,统计了该种材料的晶粒分布如图 3 所示。图 3 是对 3 张金相照片(子样本)及由这 3 张照片组成的整体样本的晶粒分布及对整体样本的正态分布拟合,纵轴表示在相应半径范围内的晶粒个数所占晶粒总数(201 个晶粒)的百分比,实线是整体

样本的正态分布拟合曲线。

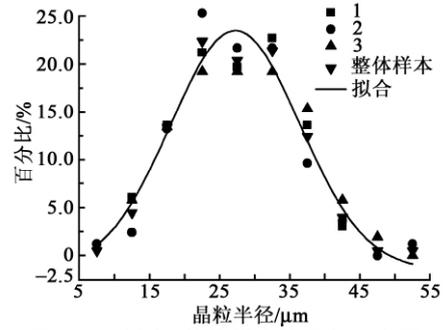


图 3 子样本、整体样本的晶粒分布图

将图 3 中的 3 个子样本分别与整体样本进行对比发现,3 个子样本的统计结果与整体样本结果相吻合,且都符合正态分布。这说明利用图像处理软件进行晶粒分布统计能得到很好的结果,且通过比较子样本和整体样本的统计结果可获悉统计结果是否反映了真实的晶粒分布情况。通过正态分布拟合可得到平均晶粒半径、标准差和与截线法测得的平均晶粒半径的相对误差如表 1 所示。

表 1 图像分析计算结果及其与截线法结果的相对误差

平均晶粒半径/ μm	标准差/ μm	平均晶粒半径误差/%
27.22	9	0.11

由表 1 可知,利用图像分析软件计算出的平均晶粒半径与截线法得到的平均晶粒半径的相对误差只有 0.11%,这进一步表明利用图像分析软件计算晶粒尺寸的可靠性。算出平均晶粒半径后就可计算晶粒度,GB6394-2002 中晶粒度^[4]为

$$G=3.321\ 928\lg n_a-2.954 \tag{1}$$

式中: G 为晶粒度; n_a 为每平方毫米内的晶粒数(通过 IPP 软件可直接算出)。

由图 3 和式(1)可看出,利用上述方法进行晶粒分布统计不仅能得到准确的晶粒度,还可获得晶粒的尺寸分布、平均晶粒半径和标准差,其中晶粒尺寸分布是评定材料性质的重要依据,它包含了平均晶粒半径和标准差等重要信息。下面举例说明晶粒尺寸分布在评价材料晶粒均匀性中的应用。图 4 为前、后两次购买的工业纯铁的晶粒分布统计图。从图中可看出,第 1 次购买的工业纯铁的晶粒半径和标准差小于第 2 次购买的工业纯铁的晶粒半径和标准差,即第 1 次购买的工业纯铁的晶粒比第 2 次购买的均匀,但如果用传统的人工比较法测量很难看出两次购买的材料间的差异。所以晶粒尺寸分布图

是评价材料晶粒均匀性的有力工具。

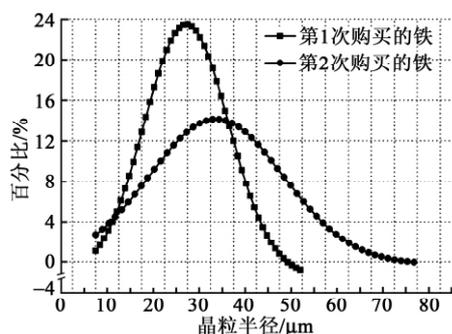


图4 前、后两次购买的工业纯铁的晶粒分布图

2 结束语

利用图像分析软件处理金相照片不仅能得到晶粒度,还可得到晶粒的尺寸分布、平均晶粒半径和标

准差等信息,为研究晶粒尺度对材料性质的影响和材料的理化检测提供准确丰富的依据。利用图像分析软件定量测量晶粒度、统计晶粒尺寸分布、计算平均晶粒半径和标准差,其具有传统方法不可比拟的优越性。

参考文献:

- [1] 秦国友. 定量金相[M]. 成都:四川科学技术出版社, 1987.
- [2] 刘羽辉. YB27-77 金属材料物理性能检验标准工作手册[S]. 北京:技术标准出版社,1982.
- [3] 汪守朴. 金相分析基础[M]. 北京:机械工业出版社, 1986.
- [4] 曾文涛. GBT 6394-2002 金属平均晶粒度测定法[S]. 北京:中国标准出版社,2003.
- (上接第 579 页)
- [9] ZHENG P, ZHANG J L, SHAO S F, et al. Piezoelectric properties and stabilities of CuO-modified Ba(Ti, Zr)O₃ ceramics[J]. Appl Phys Lett, 2009, 94:032902.
- [10] KUMADA N, OGISO H, SHIROKI K, et al. Rising T_C in Bi and Cu co-doped BaTiO₃ [J]. Mate Lett, 2010, 64:383-385.
- [11] 田靓, 史智峰, 崔斌. 掺镍钛酸钡纳米粉体及其陶瓷的溶胶-凝胶制备[J]. 西北大学学报, 2006, 36(1): 68-72.
TIAN Liang, SHI Zhifeng, CUI Bing. Preparation of nano-powder and ceramics of Ni doped barium titanate by Sol-Gel method[J]. Journal of Northwest University, 2006, 36(1): 68-72.
- [12] 王智民, 韩基新, 刘静波. 掺镧改性钛酸钡纳米多晶粉体的制备和表征[J]. 无机材料学报, 2002, 17(5): 945-952.
WANG Zhiming, HAN Jixin, LIU Jingbo. Preparation and properties of barium titanate nano polycrystalline powder with La doping[J]. Journal of Inorganic Materials, 2002, 17(5): 945-952.
- [13] 唐斌, 张树人, 袁颖, 等. 钛酸钡陶瓷中居里点移动规律与机理研究进展[J]. 真空科学与技术学报, 2007, 28(2): 120-125.
TANG Bing, ZHANG Shuren, YUAN Ying, et al. Latest progress of Curie point shift of barium titanate ceramic and its mechanisms[J]. Chinese Journal of Vacuum Science and Technology, 2007, 28(2): 120-125.
- (上接第 584 页)
- [3] 杜娟, 冯颖, 胡跃. 基于形状记忆合金驱动器的微纳定位系统鲁棒自适应控制[J]. 控制理论与应用, 2011, 28(4): 479-484.
DU Juan, FENG Ying, HU Yueming. Robust adaptive control for nanopositioning system based on shaped-memory alloy actuators[J]. Control Theory & Applications, 2011, 28(4): 479-484.
- [4] 汪金军. 形状记忆合金驱动器在引信中应用的相关基础研究[D]. 南京:南京理工大学, 2009.
- [5] 王蒙, 阳能军, 龙宪海, 等. 基于声发射技术的碳/环氧复合材料拉伸损伤模型[J]. 四川兵工学报, 2011(10): 144-146.
WANG Meng, YANG Nengjun, LONG Xianhai, et al. The tensile damage model of carbon/epoxy composite materials based on the acoustic emission[J]. Journal of Sichuan Ordnance, 2011(10): 144-146.
- [6] 万见峰, 王健农, 陈锦松. 马氏体预相变的临界驱动力及非线性特征[J]. 金属学报, 2005, 41(6): 573-576.
WAN Jianfrng, WANG Jiannong. Critical driving force and nonlinear characteristics of martensitic pretransition[J]. Acta Metallurgica Sinica, 2005, 41(6): 573-576.
- [7] 商泽进, 王忠明. 形状记忆合金梁的非线性弯曲变形[J]. 机械工程学报, 2011, 47(18): 28-32.
SHANG Zejin, WANG Zhongmin. Nonlinear bending deformation of shape memory alloy beam[J]. Journal of Mechnacal Engineering, 2011, 47(18): 28-32.
- [8] 赵连城, 蔡伟, 郑玉峰. 合金的形状记忆效应与超弹性[M]. 北京:国防工业出版社, 2002.
- [9] 胡长德, 赵美容, 刘颖伟, 等. 压电微悬臂梁共振频率的检测系统[J]. 压电与声光, 2009, 31(6): 935-938.
HU Changde, ZHAO Meirong, LIU Yingwei. Resonance frequency detection of piezoelectric micro-cantilever[J]. Piezoelectrics & Acoustooptics, 2009, 31(6): 935-938.