

基于 MATLAB 的铸造铝青铜金相组织分析

徐建林 王智平 王延露 路阳 李文生

(兰州理工大学 甘肃省有色金属新材料省部共建国家重点实验室,兰州 730050)

文摘 针对传统金相定量分析中准确度低、速度慢的缺点,利用 MATLAB 平台对铸造多元高铝青铜合金(HSWAB)的金相组织进行滤波、增强及二值化处理,分析可得到该金相图中的一些金相特征参数。结果表明,利用 MATLAB 软件来实现铸造铝青铜金相组织的分析测量是完全可行的,能有效地提高工作效率及得到直观、准确的结果,对铝青铜材料的研究和应用提供强有力的技术支持。

关键词 铝青铜,金相,MATLAB

Microstructure Analysis for Aluminum Bronze Based on MATLAB

Xu Jianlin Wang Zhiping Wang Yanlu Lu Yang Li Wensheng

(State Key Laboratory of Gansu New Non-Ferrous Metal Materials,
Lanzhou University of Science & Technology, Lanzhou 730050)

Abstract Due to poor degree of accuracy and lower speed in traditional quantitative analysis of microstructure, microstructure of cast aluminum bronze called HSWAB alloy is analyzed and measured based on image processing toolbox of matlab in this paper. Results show that the method can improve efficiency and obtain audio-visual and accurate analysis. This technology will be one of the strong technical supports in future aluminum bronze research and application.

Key words Aluminum bronze, Microstructure, MATLAB

1 引言

铝青铜合金是民用与军事工业中非常重要的一种工程结构材料,被广泛地应用于制造飞机起落架动筒的衬套、船舶的螺旋桨、螺纹、模具、齿轮坯料等高应力下工作的耐磨零件^[1~2]。有关应用计算机对铝青铜金相组织定量分析的研究未见报道。本研究利用 MATLAB 平台来实现铝青铜金相组织的定量分析,为进一步研究铝青铜、揭示其组织与性能的关系提出技术支持。

MATLAB 是由 Math Works 公司推出的用于数值计算、信号处理和图形显示的应用软件,具有可

靠、高效、稳定的数值运算功能和方便的可视化界面以及其他高级程序设计语言的接口,越来越受到各行各业科技工作者的重视。利用 MATLAB 可实现焊接温度场、铸件凝固过程模拟图像的可视化分析^[3~4],本文利用 MATLAB 5.3 和其图像处理工具箱对一种自主开发研究的铸造铝青铜合金金相组织图像进行了处理和分析。

2 铸造铝青铜金相特征

本研究工作主要以多元铸造高铝青铜(HSWAB)为研究对象,其化学成分为:76%~78% Cu, 12%~14% Al, 3%~4% Fe, 1.0%~1.5% Mn,

收稿日期:2004-09-10

基金项目:甘肃省自然科学基金项目(ZS032-B25-029);教育部“春晖计划”资助项目(z2004-1-62010)

作者简介:徐建林,1970年出生,副教授,主要从事材料科学与计算机应用研究工作

0.1% ~ 0.3% Ni和其他微量合金元素。图 1 为在实验条件下 HSWAB 合金的金相组织,该合金由 α 、 β 、 γ 相构成。其中 γ 相是一种介稳定组织,类似于钢中的马氏体。晶界处存在的 β_2 相是以 Cu_9Al_4 化合物为基的固溶体,属于硬脆相,它的存在可提高合金的硬度,但很容易造成合金塑性的降低,尤其要避免其形成网状结构。金相组织中的 $\text{Al}_3\text{Cu}_2\text{Fe}$ 也就是俗称的 β_1 相,它具有很高的硬度 (700 HV),呈点状的弥散分布,可提高合金的性能。在相周围等处还存在以铜为基的 β_1 固溶体,这是由于 β_1 相的析出,使周围区域富 Cu,而 Fe、Al 等元素含量较低而形成的, β_1 相为面心立方晶格,有较高的强度和塑性。因此,HSWAB 合金的显微组织特征为在强度、硬度较高的 β_1 基体中弥散分布着硬度很高的 β_2 相,和具有一定塑性的 α 相。

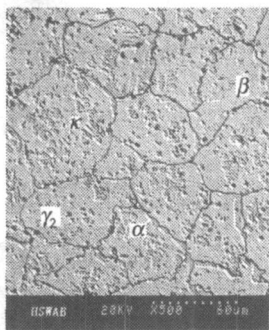


图 1 HSWAB 的铸态组织

Fig 1 HSWAB Microstructure

3 金相组织的 MATLAB 分析

从以上 HSWAB 合金的铸态组织的分析可看出该合金的显微组织形态具有如下特征: (1)从灰度上讲, α 相呈白色, β 相呈灰色, β_2 相与 γ 相呈黑色; (2)从几何分布上来讲, α 相分布在晶粒内部, β_2 相分布在晶界上; (3)形状上来看,晶界呈现网状结构并较细, β_2 相则为网状线条上聚集物,即呈块状。本研究主要检测的金相组织特征参数有晶粒大小、 α 相含量, β_1 相含量、 β_2 相含量和 γ 相含量。为此,采取的研究路线为:读入由 SEM 获取的铸造铝青铜金相组织原图,对图像进行滤波、增强和二值化处理,在此基础上根据所要分析的对象进行形态学、特征提取等处理方法,并通过区域统计等方法得到金相组织的特征参数。

3.1 图像的获取

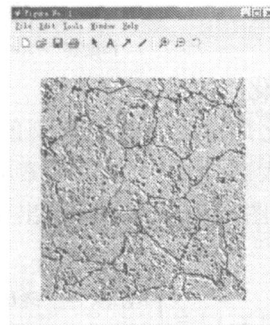
在 SEM 可直接得到铸造铝青铜金相组织图像,宇航材料工艺 2005 年 第 5 期

很多 SEM 系统可支持多种图像文件格式,如 BMP、JPEG、TIF 等。可利用图像处理工具箱中的 `imread()` 和 `imwrite()` 函数来实现,同时可利用 `imshow()` 函数将该图像显示出来。其程序如下:

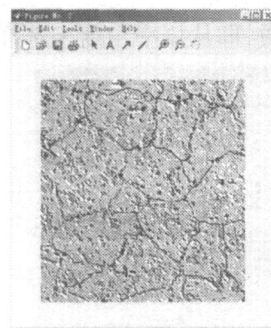
```
clear, close all
A = imread('ZQAL - 1. tif', 'tif');
imshow(A);
imwrite(A, 'ZQAL - 2. jpg', 'jpg');
```

3.2 图像滤波

输入计算机的图像,由于输入转换器件及电势不均匀性等因素的影响,使图像中含有各种各样的噪声。图 2(a)则是在图像获取时,由于电压的波动造成该图像含有“雪花”点,因此对含有噪声信号的显微组织图像必须要进行滤波处理。本研究采用维纳滤波法^[5],该方法可根据像素局部领域的统计估计进行像素式自适应 winner 滤波,最终目标是使处理图像与原始图像的均方误差最小。图 2(b)则是利用该命令对图 2(a)进行处理的结果,可以看出效果较好。滤波表达式为: $B = \text{winner2}(A)$ 。



(a) 含有“噪声”



(b) 去“噪声”后

图 2 “噪声”信号处理前后的金相组织

Fig 2 Microstructure before and after "noise" signal treatment

3.3 图像增强

从图像采集系统获取的图像常出现对比度较低的情况,此时图像整体偏暗或者偏亮,为此需要对图像中的每个像素点的灰度级别进行变换,扩大图像的灰度范围,以达到改善图像质量的目的。此处采用对比度调整法^[5],该方法是将原灰度数值进行线性变换,即若原图像的灰度范围为 $[a, b]$,变换后范围为 $[m, n]$,在 MATLAB 语言中提供了 `imadjust` 命令可完成上述线性变换。图 3(a)是亮度较高的铝青铜金相组织图片,图 3(b)是相应的直方图,可以

看出,该图像的对比度不高,即其灰度范围在 100 ~ 250 之间,若将图像数据映射到整个强度范围中,即 $[0, 255]$,则该图像的对比度将大大提高,如图 3(c)、(d)所示,这非常有利于后续图像处理。实现如下:

```
A = imread('ZQAL - 1.tif', 'tif'); imshow(A);
figure; imhist(A);
B = imadjust(A, [a b], [m n]);
figure; imshow(B);
figure; imhist(B);
```

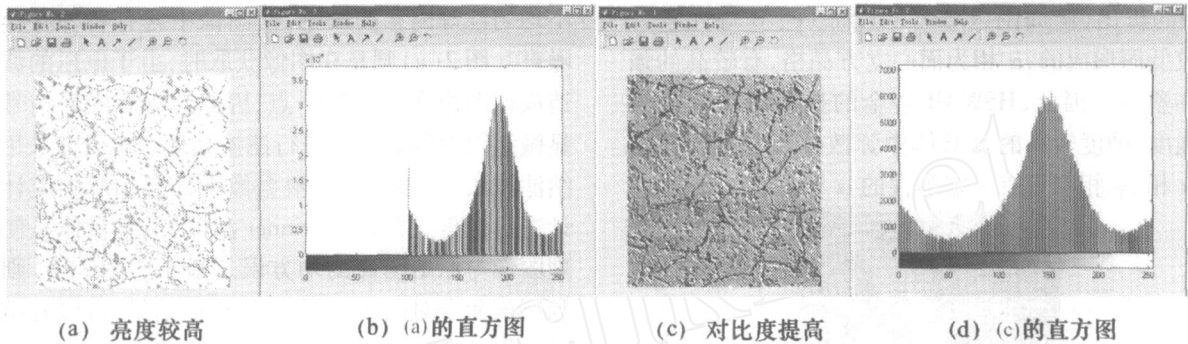


图 3 图像增强改善铝青铜金相组织图像

Fig 3 Grey adjust to improve microstructure image of HSWAB

3.4 图像二值化

图像二值化是对图像灰度取阈值,用 将图像数据分成两大部分:大于 的像素群和小于 的像素群,若输入图像为 $f(x, y)$,输出图像为 $f'(x, y)$,则:

$$f'(x, y) = \begin{cases} 1, & f(x, y) > T \\ 0, & f(x, y) < T \end{cases}$$

进行阈值选择是一个较复杂的问题,必须根据图像的统计性质,即从概率角度来选择合适的阈值。

本文采用最大方差阈值的设定方法来实现^[6]。该方法是阈值自动选择的最优方法,且效果良好。该阈值可通过相应的 MATLAB 程序计算得出,然后利用 `im2bw` 执行阈值处理,将灰度图像转换为二值图像。图 4(a)是图 1 的二值图像。该图可清晰地显现出晶界、 β_2 相与 α 相呈黑色,但并不能反映出相。若通过灰度倒置变换(可利用 `imadjust` 函数实现),再进行二值化处理,则可显示出 α 相,如图 4(b)、(c)所示。

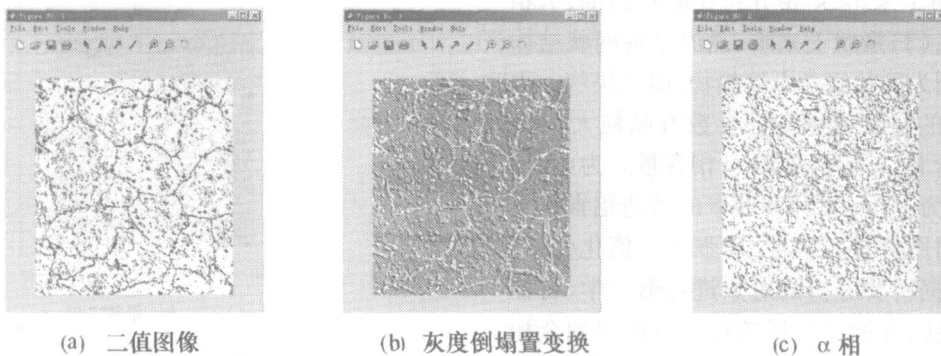


图 4 图像二值化处理

Fig 4 Binary Image

3.5 晶粒大小的测定

晶粒的大小对铝青铜材料的性能有着较为显著的影响^[7],本研究则采用平均截距法来测量晶粒的大小。该方法是用随机直线多次截取晶粒,若测量线总长度为 L ,截过的晶粒数目为 N ,则对连续分布的晶粒的大小 D 为:

$$D = L / N$$

由于二值化后的金相图中的黑色区域为晶界、相和 β_2 相,在进行晶粒尺寸测定时必须消除 β_2 相的影响。 β_2 相分布在晶粒内部,呈孤立的小岛状,而晶界呈网状,根据区域分割对 β_2 相进行提取^[8],并可将其像素点的灰度数值由 1 (黑色) 设为 0 (白色),这样即可消除 β_2 相的影响,如图 5 所示。

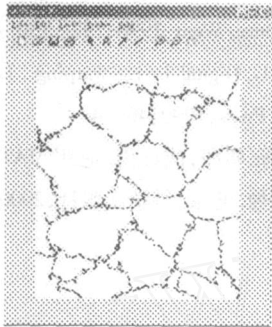


图 5 晶界提取

Fig 5 Acquisition of grain boundary

3.6 相含量的测定

由于 β_2 相与晶界联系在一起,在测定 β_2 相含量时必须消除晶界的影响。从前面铝青铜合金显微组织的分析可知, β_2 相是分布在相对较细的网状晶界上的聚集物 (即呈块状),因此本研究采用图像腐蚀、滤波与膨胀的方法来提取 β_2 相。腐蚀在数学形态学运算中的作用是消除物体边界点,它可以把小于结构元素的物体剔除。如果两个元素之间有细小的连通 (如晶界将 β_2 相联在一起),当结构元素足够大时,通过腐蚀运算可以将两个物体分开。图像的腐蚀运算可以利用 MATLAB 提供的 `erode()` 函数来实现。腐蚀运算会将有效区域的面积减小,为了恢复有效区域的形态,还应对图像进行复原,即图像膨胀。膨胀运算可以利用 MATLAB 提供的 `dilate()` 函数来实现。通过这两步操作可以从铝青铜合金显微组织的二值化图像中提取出 β_2 相,如图 6 所示。 β_2 相含量通过测定该相在铝青铜合金金相组织中的

面积百分比来确定,利用像素统计的方法得出,即

$$\beta_2 \% = F_{\beta_2} / F$$

式中 β_2 % 为 β_2 相百分含量; F_{β_2} 为 β_2 相在图像中所占的面积 (像素数); F 为图像中的总面积 (总像素数)。

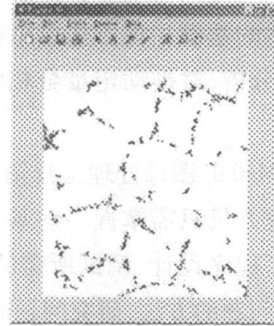


图 6 β_2 相的提取

Fig 6 Acquisition of β_2 phase

对铝青铜合金显微组织的二值化图像中的相进行测定时要消除晶界和 β_2 相的影响。本研究采用目标选择区域的方法来提取 β_2 相^[9]。即采用 `bwlabel()` 函数对晶界和 β_2 相进行标记,并将标记处的像素数值设置为 0,则可消除晶界和 β_2 相,如图 7 所示。接着用面积测量法来实现 β_2 相含量的测定。

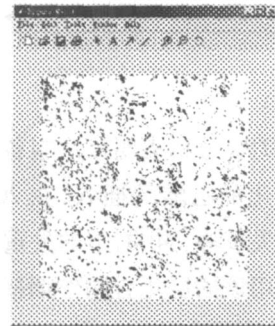


图 7 β_2 相的提取

Fig 7 Acquisition of β_2 phase

同理,可用面积测量法来实现 β_2 相含量的测定。 β_2 相的含量可根据图 4 (a) 确定,在该图形状态下,白色区域即为 β_2 相,统计 β_2 相所占区域的像素即可确定其百分含量。

通过以上对铝青铜合金铸态金相 (图 1) 处理后可得:晶粒尺寸为 $49 \mu\text{m}$ 、相含量为 50.16%、 β_2 相含量为 9.23%、相含量为 27.24%、相含量为

13. 36%。

4 结论

(1)利用 Matlab软件来实现铸造铝青铜金相组织的分析、测量是完全可行的,这为铝青铜的深入研究、揭示其组织与性能的关系提供了强有力的技术支持,奠定科学的基础。该方法也可扩展应用于其他材料的金相分析,对推动定量金相学具有积极作用。

(2)运用 Matlab图像处理工具箱不需要传统的繁琐编程,研究人员只需掌握一些基本的处理等函数,从而节省了程序设计、调试所需的时间,可集中精力思考解决问题的方法,研究问题的本质,提高了效率及质量。

参考文献

- 1 Sadayappan M, Zavakil R, Sahoo M. Mechanical properties of aluminum bronze alloy C95400. AFS Transaction, 2001; 109: 745 ~ 758
- 2 Park T D, Kim D Y, Youn J G. A study on factors determining tensile properties of Ni - Al bronze casting. AFS

Transactions, 2001; 109: 697 ~ 702

- 3 项安,徐雪松,贾剑平. 焊接温度场热图像的 MATLAB 软件分析技巧. 南昌航空工业学院学报, 1999; 13 (3): 17 ~ 20, 38
- 4 张新平. Matlab图形图像处理在材料研究中的应用. 铸造技术, 1999; 24 (5): 375 ~ 377
- 5 王晓丹,吴崇明. 基于 MATLAB 的系统分析与设计——图像处理. 西安:西安电子科技大学出版社, 2000: 69 ~ 70
- 6 Kenneth R. Castleman, digital image processing. U. S. A.: Prentice-Hall International, Inc. 1996: 470 ~ 478
- 7 Li Yuanyuan, Tungwai Leo Ngai, Wei Xia. Mechanical friction and wear behaviors of a novel high-strength wear-resisting aluminum bronze. Wear, 1996; 197: 130 ~ 136
- 8 Wolberg G. Digital Image warping. Los Alamitos: IEEE Computer Society Press, 1990: 46 ~ 47
- 9 陈桂明,张明照,戚红雨. 应用 MATLAB 语言处理数字信号与数字图像. 北京:科学出版社, 2000: 123 ~ 126

(编辑 任涛)

(上接第 43 页)

(2) TG - DTG分析表明该法制备的可膨胀石墨由于有容易气化的乙酸的插入,在 201 即出现一个较为明显的失重峰,540 下的失重率也较硫酸插层石墨的大。用该插层化合物作烟幕剂时可减少烟火药的用量,从而提高整弹的发烟效率。

(3)膨胀石墨蠕虫长度分布主要在 2.7 ~ 3.9 mm (接近于半波长)时,对 8 毫米波的衰减效果较好,可达到 11.61 dB。此外,膨胀石墨在红外波段具有特征吸收,密度较小,留空时间较长,有望成为良好的宽波段无源干扰材料。

参考文献

- 1 余勇. 无源干扰弹药的现状与发展趋势. 外军电子战, 2001; (2): 46
- 2 路远,凌永顺,时家明. 毫米波无源干扰研究. 光电对抗与无源干扰, 2002; (3): 13 ~ 16
- 3 Chung D D L. Review: Exfoliation of graphite. J. Mater. Sci., 1987; 22 (12): 1 801 ~ 1 810
- 4 Krone U W E et al. Pyrotechnic smoke composition for camouflage purposes. US 5656794, 1997
- 5 于仁光,乔小晶,刘伟华等. 新型环保材料膨胀石墨的化学法制备及性能. 化工生产与技术, 2003; 4 (6): 6 ~ 8

(编辑 李洪泉)