

# WS<sub>2</sub> 颗粒的分形特征<sup>①</sup>

邢鹏飞 翟玉春 田彦文 李会莉 刘越

(东北大学有色金属冶金系, 沈阳 110006)

**摘要** 用 Q900 自动图象分析系统测定了用 (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>WS<sub>4</sub> 热分解制备的 WS<sub>2</sub> 颗粒的分形结构, 得到 WS<sub>2</sub> 周边分维数  $D_f$  在 1.015~1.032 范围, 表面分维数  $D_s$  在 2.015~2.032 范围, 其分维数随着粒度减小而增大。给出了  $D_f$ 、 $D_s$  与颗粒等效直径  $d$  的关系,  $D_f$ 、 $D_s$  可以作为 WS<sub>2</sub> 颗粒形状和大小的表征值。

**关键词** WS<sub>2</sub> 粒度 形态 分维数 图象分析

(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>WS<sub>4</sub> 在保护气氛下, 300℃ 热分解后, 高温处理可制取高纯 WS<sub>2</sub>。由于温度、时间等条件的不同, 生成的 WS<sub>2</sub> 颗粒的大小和形态不同, 对其物化性质也产生影响, 所以准确地描述 WS<sub>2</sub> 颗粒的大小和形态是很有必要的。分形理论的发展为之提供了有力的方法, 即用分维数来表示颗粒的形态特征。自从 Mandelbrot 创立分形理论以来<sup>[1]</sup>, Avnir 和 Pfeifer<sup>[2]</sup>、Flook<sup>[3]</sup> 等都已经用实验验证了自然颗粒的表面是分形结构的, 但对化合物分解后所形成的颗粒是否具有分形结构, 还未见有关的研究报道。

## 1 实验

一般假定颗粒的周长为  $L$ , 面积为  $S$ , 体积为  $V$ , 具有  $D_f$  维的测度量为  $X$  时, 按分形理论有:

$$L \propto S^{1/2} \propto V^{1/3} \propto X^{1/D_f} \quad (1)$$

$$\text{即 } X^{1/D_f} = KS^{1/2} \quad (2)$$

两边取对数

$$\lg X = D_f \cdot \lg K + (D_f/2) \cdot \lg S \quad (3)$$

令  $D_f \cdot \lg K = C$ , 则(3) 式为:

$$\lg X = C + (D_f/2) \cdot \lg S \quad (4)$$

以  $\lg X$  为纵坐标,  $\lg S$  为横坐标作图, 斜率

为  $D_f/2$ , 测量  $n$  个不规则形状颗粒的面积和周长, 则可得到  $n$  维数组, 利用最小二乘法, 进行线性回归得到周边分维数  $D_f$ 。

控制不同的反应条件, 制得 18 个试样, 在 Q900 图象分析仪上进行检测。每个试样测定 12 个视场, 测定的总粒子数范围为 400~1200 个; 以象点为尺码, 每个象点的尺寸为 0.75  $\mu\text{m}$ 。把检测的数据用计算机处理, 输出各试样的周边长、颗粒的平均面积、粒度和其它参数, 颗粒的粒度用其等效直径来表示, 求得 WS<sub>2</sub> 试样的  $D_f$ 。结果如图 1 所示。

## 2 讨论

### (1) WS<sub>2</sub> 颗粒的分形特征

Meloy<sup>[4]</sup> 用傅立叶变换研究颗粒的投影图, 得到第  $n$  个傅立叶系数  $A_n$ , 取对数和  $\lg n$  构成坐标点能绘出一直线, 证明了颗粒投影图周边是具有分形特征的。从图 1 看出,  $D_f$  与粒度近似成一直线关系, 证明 WS<sub>2</sub> 颗粒周边显示了分形结构。每个颗粒周边都由多个原子的一小段边构成, 从一个特定的范围来观察, 周边上任何一部分放大到一定程度, 几乎和原来的一样, 即 WS<sub>2</sub> 颗粒具有统计的自相似周边。从图 2 看出, 由于温度和时间不同, WS<sub>2</sub> 颗粒

① 收稿日期: 1995-03-08 邢鹏飞, 男, 29 岁, 博士研究生

大小和周边的形状有所差异, 即其分维数随着条件的变化而变化, 对 WS<sub>2</sub> 颗粒周边可以用分形中的 Koch 曲线去近似。

(2) WS<sub>2</sub> 颗粒的粒度对周边分维数  $D_f$ 、表

$$D_s = D_f + 1 \quad (7)$$

从式(6)、(7) 看出,  $D_f$ 、 $D_s$  与颗粒直径  $d$  有关, 这说明是 WS<sub>2</sub> 粒度变化导致了  $D_f$ 、 $D_s$  的变化。WS<sub>2</sub> 颗粒表面也具有分形结构, 这表明用分维数来作为 WS<sub>2</sub> 粒度大小的表征值是可行的。

(3) 分维数  $D_f$ 、 $D_s$  是 WS<sub>2</sub> 颗粒形态的表征值

从图1看出,  $D_f$  在 1.015~ 1.032 之间, 则  $D_s$  在 2.015~ 2.032 之间; WS<sub>2</sub> 颗粒分维数越大, 颗粒周边越不光滑, 表面越不规则。 $D_f$  和  $D_s$  是定量描述 WS<sub>2</sub> 颗粒周边和表面复杂程度的一个统计量。用精确的数学分析方法来描述 WS<sub>2</sub> 颗粒的形态并不是很重要, 重要的是与 WS<sub>2</sub> 颗粒物化性质有关的、用于以比较为目的的数字。由于  $D_f$ 、 $D_s$  表征了 WS<sub>2</sub> 颗粒的形态, 这就为研究 WS<sub>2</sub> 颗粒的物理化学性质与颗粒形态的关系打下了基础。

图1 WS<sub>2</sub> 颗粒周边分维数  $D_f$  与粒度  $d$  的关系

### 3 结论

(1) WS<sub>2</sub> 颗粒具有分形结构, 周边分维数  $D_f$  为 1.015~ 1.032, 表面分维数  $D_s$  为 2.015~ 2.032。

(2) WS<sub>2</sub> 颗粒分维数随着粒度减小而增大,  $D_s$ 、 $D_f$  可作为 WS<sub>2</sub> 颗粒形态和大小的表征值。

图2 WS<sub>2</sub> 颗粒的形貌照片

面分维数  $D_s$  产生影响

WS<sub>2</sub> 颗粒周边具有分形结构, 其周长  $X$  和面积  $S$  是确定的, 对颗粒的等效直径  $d$  来说有:

$$S = (d/2)^2 \cdot \pi \quad (5)$$

将式(5) 代入式(3) 有:

$$\begin{aligned} \lg X &= D_f \cdot [\lg K + \lg(\sqrt{\pi}/2)] + D_f \cdot \lg d \\ &= C' + D_f \cdot \lg d \end{aligned} \quad (6)$$

其中  $C' = D_f \cdot [\lg K + \lg(\sqrt{\pi}/2)]$ ;  $D_f$  与等效直径  $d$  建立了关系。 $D_f$  与表面分维数  $D_s$  的关系则为<sup>[5]</sup>:

#### 参考文献

- 1 Mandelbrot B B. Fractal Geometry of Nature. San Francisco: Freeman, 1982.
- 2 Avnir D, Farin D, Pfeifer P. Nature, 1984, 308: 261.
- 3 Flook A G. Powder Technol, 1978, 21: 295- 298.
- 4 Meloy T P. Powder Technol, 1977, 17(1): 27- 36.
- 5 Mandelbrot B B, Passoja D E. J Nature, 1984, 308: 702.

(下转 41 页)

某些元素都能加以利用, 制成系列深加工产品, 因此资源的综合利用较好。

(3) 本流程虽针对以高铅锑合金为原料, 但其中间工序的生产技术条件及设备亦同样适用于以其它相应类型原料来制取相应类型的锑深加工产品。

## 参考文献

- 1 谢芳余. 见: 全国锑业发展专题研讨会论文集. 桂林: 有色总公司科技协作网锑协作组等, 1991: 28- 30.
- 2 赵天从. 锑. 北京: 冶金工业出版社, 1987: 515.
- 3 刘福求译. 湖南冶金, 1988, 5: 57- 60.
- 4 赵天从. 锑. 北京: 冶金工业出版社, 1987: 574- 592.

# FURTHER PROCESSING OF Sb-Pb ALLOY WITH HIGH LEAD CONTENT AND COMPREHENSIVE UTILIZATION OF Sb AND Pb IN THE ALLOY

Lai Chuanjie, Mei Xianzhi, Huang Kexiong, Zhao Ruirong  
*Institute of Metallurgical Physicochemistry and Chemistry Materials,  
Central South University of Technology, Changsha 410083*

**ABSTRACT** Using Sb-Pb alloy containing 3% ~ 10% Pb produced by some smelters in Guangxi as raw materials, further processing on antimony products has been studied as to develop a series of products. Cubic system, micro-particle, non-dusting and high percentage (99.999%) antimony trioxide, high percentage (99.999%) antimony and several lead base engineering alloys have been developed by means of technological process of pro-hydro-metallurgical method; moreover Sb and Pb in the Sb-Pb alloy have been utilized fully and effectively.

**Key words** Sb-Pb alloy with high lead content further processing comprehensive utilization

(编辑 李 军)

(上接 37 页)

# FRactal CHARACTERISTIC OF WS<sub>2</sub> PARTICLES

Xing Pengfei, Zhai Yuchun, Tian Yanwen, Li Huili, Liu Yue  
*Department of Nonferrous Metal Metallurgy,  
Northeastern University, Shenyang 110006*

**ABSTRACT** The fractal dimension of WS<sub>2</sub> particles produced from (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>WS<sub>4</sub> by means of thermal decomposition was measured with the Q900 automatic image analysis system. Experimental data showed that fractal dimension  $D_f$  of the outline ranged from 1.015~ 1.032, fractal dimension  $D_s$  of the surface ranged from 2.015~ 2.032, and fractal dimension increased with the decrease of particle size. The relation between  $D_f$ ,  $D_s$  and WS<sub>2</sub> particle equivalent diameter  $d$  was given.  $D_f$ ,  $D_s$  signified the characteristic of the morphology and size of WS<sub>2</sub> particles.

**Key words** WS<sub>2</sub> particle size particle shape fractal dimension

(编辑 李 军)