

基于分形理论的涂层质量评价指标表征现状研究

陈书赢, 王海斗, 徐滨士, 康嘉杰

(装甲兵工程学院 装备再制造技术国防科技重点实验室, 北京 100072)

摘要: 孔隙率、结合强度及表面粗糙度是评价涂层质量的重要指标。在目前的研究中, 孔隙率无法描述孔隙的数量、大小和不规则形态, 表面粗糙度无法同时表征涂层的整体粗糙形貌和局部细观特征。而采用分形理论对涂层的质量评价指标进行分析, 可以解决上述参数定量表征中存在的不足。本文综述了国内外分形理论在涂层上述指标表征中的研究应用情况, 同时, 还就采用分形维数定量判定涂层滚动接触疲劳失效模式进行了展望。

关键词: 涂层质量; 分形理论; 分形表征

中图分类号: TG174

文献标识码: A

文章编号: 1002-185X(2015)04-1035-06

表面涂覆主要通过热喷涂、电刷镀、物理气象沉积(PVD)、化学气象沉积(CVD)等手段, 在零件表面制备出优于本体材料性能的表面功能薄层^[1,2], 如 TiB₂ 涂层可以提高工件表面的硬度和耐磨性, ZrO₂ 是理想的热障涂层, Si-C-O-N 陶瓷涂层具有较好的光学性能等^[3-5]。由于涂层结构的特殊性, 在评价涂层质量时需要采用一些不同于其它均质材料的指标, 如孔隙率、结合强度等^[6,7]。这些评价指标包含着丰富的涂层服役性能及制备参数相关的信息, 因此, 如何表征涂层的质量评价参数, 进而建立其与涂层服役性能及制备过程之间的关系十分重要。

分形几何学产生于 20 世纪 70 年代末, 是一门以非规则几何形态为研究对象的新兴科学。由于自然界中普遍存在不规则的对象或现象, 因此分形几何又被称为描述大自然的几何学^[8]。近年来, 随着研究的不断深入, 分形理论在生物学^[9]、医学^[10]、地质学^[11]、化学^[12]、气象学^[13]、经济学^[14]等各学科领域得到了广泛的应用。研究表明^[15,16], 材料表面、截面以及界面形貌具有天然的分形特征, 因此, 众多学者对采用分形维数表征涂层表面粗糙形貌、截面孔隙以及界面结合强度进行了较为深入的探索。

1 分形

1.1 分形与分形维数

1975 年, B. B. Mandelbrot 通过大量的研究, 创立了分形理论, 并于之后给出分形的数学定义, “如果一个集合在欧式空间中的豪斯多夫维数 D_H 严格大于其

拓扑维数 D_T , 则该集合为分形集, 简称为分形”。1986 年, Mandelbrot 又给出另外一个比较通俗的定义“组成部分以某种方式与整体相似的形体称为分形”^[17]。

在传统的欧式几何中, 点、直线、平面和体都具有整数的维数, 分别是 0、1、2、3, 称之为拓扑维数 (D_T)。然而在自然界和几何中, 还存在许多无法用拓扑维数描述的物体和图形。分形维数则通过分数维数, 定量地描述了一个分形图形的“非规则”程度。

1.2 分形维数的计算方法

在分形理论逐渐完善的过程中, 许多学者针对不同的问题提出了许多行之有效的分形维数计算方法, 概括起来主要包括针对曲线和曲面分形维数的计算。

曲线分形维数的计算主要针对涂层表面形貌的轮廓曲线以及涂层/基体的界面结合形貌曲线, 分别用于表征涂层表面粗糙形貌和涂层/基体的结合强度, 具体计算方法主要包括: 盒计维数法、分规法、结构函数法、码尺法、协方差加权法、像素点覆盖法等^[18-22], 这里主要介绍一下应用最为广泛的盒计维数法^[18]。

如图 1, 将涂层/基体的界面结合形貌图像(图 1a)转换为二值化图像(图 1b), 提取出涂层/基体结合形貌曲线(图 1c), 采用不同边长的盒子(图 1d)覆盖提取出的曲线, 将盒子的边长分别记为 $r_1, r_2, r_3, \dots, r_n$, 对应的盒子个数分别为 $N(r_1), N(r_2), N(r_3), \dots, N(r_n)$ 。从而得到一组坐标 $(r_1, N(r_1)), (r_2, N(r_2)), (r_3, N(r_3)), \dots, (r_n, N(r_n))$, 采用最小二乘法拟合数据, 得到直线的斜率即为曲线的分形维数, 具体公式为:

收稿日期: 2014-04-16

基金项目: 国家杰出青年科学基金 (51125023); 国家重点基础研究发展计划 (“973”计划) (2011CB013405); 国家自然科学基金 (51275151); 北京市自然科学基金重大项目 (3120001)

作者简介: 陈书赢, 男, 1990 年生, 硕士, 装备再制造技术国防科技重点实验室, 北京 100072, 电话: 010-66718475, E-mail: small_csy@163.com

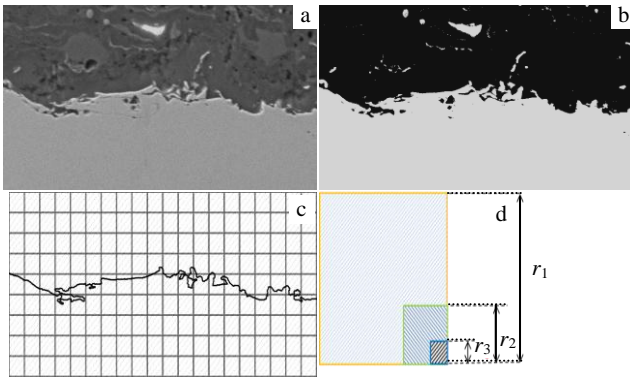


图 1 盒计维数法原理图

Fig.1 Box-counting method: (a) interfacial morphology, (b) binary image, (c) profile of interfacial morphology, and (d) box with different lengths

$$N(r_n) \propto r_n^{-D_b} \quad (1)$$

$$\log N(r_n) = -D_b \log(r_n) + C \quad (2)$$

式中， r_n 为测度，即盒子的边长， $N(r_n)$ 为测数，即边长为 r_n 时所用盒子的个数， D_b 为分形维数， C 为常数。

空间曲面分形维数的计算主要是针对涂层表面粗糙形貌的三维空间信息或图像色彩信息（包括 RGB 色彩信息，灰度信息等），采用的计算方法包括：立方体覆盖法、投影覆盖法、差分法等^[23-26]，这里主要介绍一下应用最为广泛的灰度级数法^[26]。

将大小为 $M \times M$ 图像的灰度值设为高程，用边长为 $e \times e \times e'$ 的立方体覆盖灰度值构成的空间曲面，在任意区域 $e \times e$ 上覆盖灰度值曲面的立方体个数记为 N ，随着立方体边长 e 不断改变， N 的值也在不断改变，因此有：

$$\log N = -D \log e + C \quad (3)$$

$$e' = G / M \quad (4)$$

式中， D 为图像的盒子维数， C 为常数， G 为图像灰

度级数。

除上述方法之外，分形维数的计算方法还包括功率频谱法，结构函数法，面积周长法等^[8]。

1.3 分形方法的研究步骤

采用分形理论对涂层进行研究的流程主要可以总结为以下几个步骤（如图 2 所示）：

a) 获取初步数据。涂层表面形貌的数据主要包括表面轮廓仪获得的峰谷高程数据，以及表面形貌 SEM 图像的像素数据；涂层/基体界面结合形貌以及截面孔隙形态的数据主要是指涂层截面的 SEM 图像；

b) 提取计算数据。对于涂层表面形貌，可直接采用表面轮廓仪获得的峰谷高程数据或者从涂层表面 SEM 形貌图中提取出图像的色彩信息，如图 3。对于涂层截面孔隙，可提取出涂层截面孔隙的二值化图像，如图 4。对于涂层/基体界面结合形貌，可提取出界面形貌曲线，如图 1c；

c) 计算分形维数。根据提取的数据，选定合适的分维计算方法，进行相应计算机编程，最后计算结果；

d) 分析讨论结果。结合涂层各参数的分形表征结果，探讨分形维数与涂层服役性能（包括涂层理化性能、力学性能、光学性能等）或涂层制备过程（包括制备参数、制备工艺、涂层材料等）之间定量、定性的关系。

2 分形表征涂层质量评价参数

2.1 分形维数表征涂层表面微观形貌

研究表明^[27-30]，表面形貌影响着涂层的服役性能，如耐磨性、感光性、润湿性、及显微硬度等。为构建表面形貌与涂层服役性能之间的关系，需要对涂层的表面形貌进行定量表征。随着对涂层表面粗糙形貌微观表征的不断深入发展，传统的表面粗糙度参数，如轮廓算术平均差 R_a 等，已不能满足同时表征涂层表面整

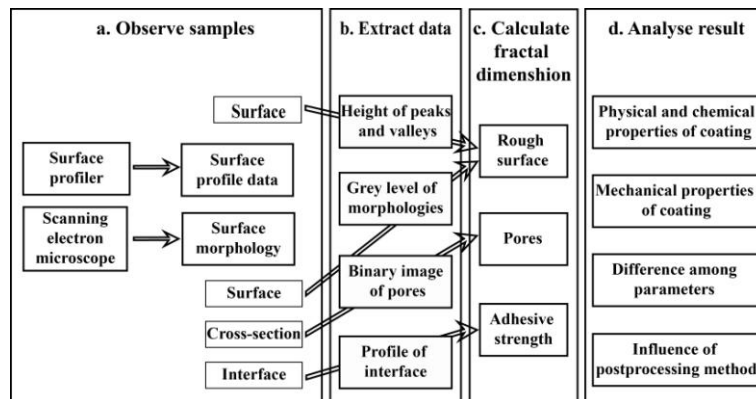


图 2 分形方法研究流程图

Fig.2 Process chart of the fractal method

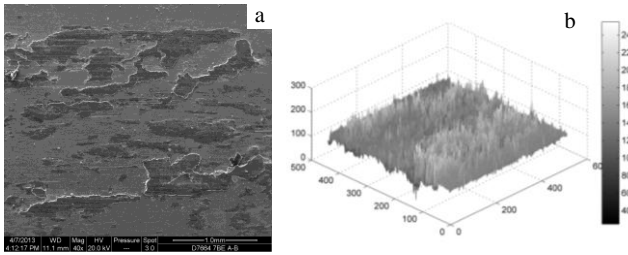


图3 SEM图像灰度级数转换示意图

Fig.3 Process of 3-D gray level graph from SEM: (a) SEM morphology of material surface and (b) 3-D gray level graph of SEM morphology

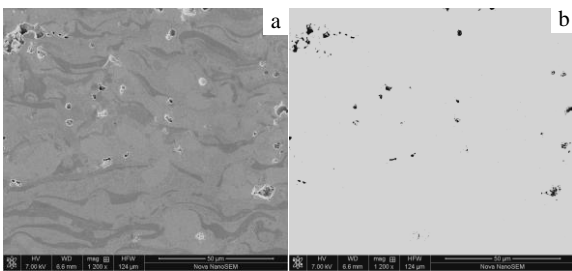


图4 孔隙二值化处理示意图

Fig.4 Process of binary image analysis: (a) SEM morphology of pores and (b) binary image of pores morphology

体粗糙形貌和局部细观形貌的要求，而分形理论则通过探索涂层整体与局部形貌之间的几何关系有效解决了这一问题^[31]。

Sofiane Guessasma^[32]等通过分析机械触针得到的表面轮廓曲线和光学显微镜得到的表面形貌图像，提取出用以表征热喷涂层表面形貌的曲线，并分别采用盒维计数法和香肠线法求解其分形维数。在图像处理过程中，Sofiane Guessasma 分别用腐蚀算子、膨胀算子和欧式距离映射算法(Euclidean Distance Map)对提取的曲线进行优化。实验结果表明，分形维数能够较好地表征涂层表面的粗糙形貌，但是不同的优化算法得到的涂层分形维数结果存在一定差异，经过比较，欧式距离映射算法优化的计算结果最佳。另外，涂层表面形貌的分形特性具有一定的尺度特性，即其自相似性仅在一定尺度范围内存在。

赵西江^[33]采用分形布朗随机场模型对仿生非光滑SiC涂层的摩擦磨损形貌进行研究，发现随着摩擦磨损的不断进行，涂层表面形貌的分形维数呈周期性变化。分形维数变化周期的大小反映了仿生涂层耐磨性能的优劣，变化周期越大，则涂层表面形貌的分形维数变化速率越慢，即涂层在摩擦磨损过程中形貌变化小，耐磨

性能较好。反之则说明涂层表面形貌变化大，维持原状的能力较弱，即涂层的耐磨性能较差。这一结果与涂层耐磨指数的测定结果完全一致，因此，采用分形维数变化周期的大小来表征涂层的耐磨性能是可行的。通过实验，赵西江还给出了3种不同载荷下，仿生非光滑SiC涂层耐磨性能最好的分形维数范围。

汪笑鹤^[34]、何国良^[35]等采用盒计维数法计算了纳米复合电刷镀层表面形貌的分形维数，发现随着镀层表面形貌分形维数不断增加，镀层的显微硬度不断减小，即二者成负相关的对应关系。郑金玲^[36]采用投影覆盖法计算电沉积Ni-SiO₂纳米复合镀层表面形貌的分形维数，同样证明了镀层显微硬度与分形维数的负相关关系。Liu Yan^[37]等采用布朗随机运动模型法测得电沉积纳米Al₂O₃/Ni-Co涂层表面形貌的分形维数，并探讨了涂层的润湿性与其分形维数之间的关系。Enrique Barrera^[38]等采用分形理论研究了黑钨涂层表面微观形貌与涂层的光学性能之间的关系。Guido Reisel^[39]等采用分形理论研究了铬氧化物涂层表面粗糙形貌与制备涂层粉末颗粒大小的关系。

2.2 分形维数表征涂层截面孔隙

孔隙影响着涂层的耐蚀性、导电性、隔热性、以及耐接触疲劳^[40-43]等性能，因此孔隙率是评价涂层质量的重要指标之一。然而，根据孔隙率的定义可以发现，这一参数只能表征出孔隙总体积占涂层总体积的百分比，无法反映出孔隙的大小、数量和不规则形态，不利于进一步探索熔融粒子的沉积机理以及涂层的服役性能。因此，有学者提出采用分形维数对涂层的截面孔隙进行定量表征^[44,45]。

J. F. Li^[44]等采用相关密度函数法和面积周长法对激光辅助火焰喷涂制备的氧化铝涂层截面孔隙的分形维数进行计算，结果表明，随着激光辐照强度的增加，孔隙的数量不断减小(如图5所示)，相关密度函数法计算的分形维数 D_G 也随之减小，能够较好表征孔隙数量的变化规律；孔隙的形态趋于规则并且面积不断减小，面积周长法计算的分形维数 D_P 同样随之减小，能够较好描述孔隙面积和不规则形态的变化规律。

C. X. Ding^[45]等采用面积周长法计算了Cr₃C₂-NiCr涂层空隙(包括孔隙、微裂纹等)的分形维数，并研究了其与涂层断裂韧性之间的关系。结果表明，空隙边界越不规则，其分形维数越大，且涂层的断裂韧性随之线性增大。

2.3 分形维数表征涂层/基体结合强度

涂层/基体的结合强度与许多因素相关，如涂层的制备参数及工艺、涂层材料、以及基体的表面形貌等^[46]。涂层/基体之间的结合形貌是非线性的^[47]，一般来说，

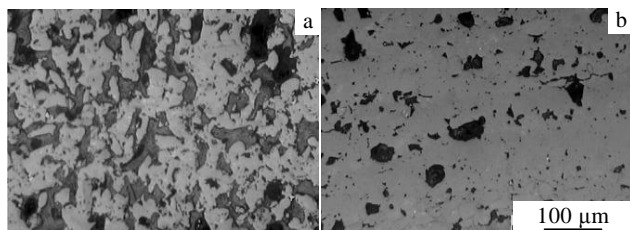


图 5 氧化铝涂层截面孔隙形貌图

Fig.5 Pores on the cross section of Al₂O₃ coating: (a) FLAME and (b) P1000

界面曲线的不规则程度能够反映熔融粒子冲击基体时的动能大小,对于同一喷涂工艺和材料制备的涂层,其界面曲线的分形维数与涂层/基体的结合强度有着良好的映射关系^[48]。

Shigeyasu Amada^[49]等通过改变喷砂压力的方法制备了不同结合强度的涂层,实验结果表明,涂层的结合强度随喷涂压力的增加先增大而后在一临界值处开始减小。分别采用粗糙度和盒计维数法对界面结合曲线进行定量表征,发现随着喷涂压力的增大,界面结合曲线的粗糙度不断增大,而分形维数则先增大随后在一临界值处开始减小,与结合强度变化规律较为吻合。所以 Shigeyasu Amada 认为,采用分形维数对涂层界面的不规则结合曲线进行表征,研究曲线形貌与涂层/基体结合强度之间对应关系较采用粗糙度的方法更为有效。

在另外一组实验中,Shigeyasu Amada^[50]等采用分形理论研究了喷沙角度与涂层/基体结合强度之间的关系。结果表明,喷沙角度在 70°~80° 之间时,涂层的结合强度最大,粘接底层分形维数的最大值也在这一区间,而此时,表面粗糙度的最大值却在 45°~70°。Shigeyasu Amada 认为,基体与涂层界面的抛锚效应能够在很大程度上提高涂层/基体的结合强度,但是,表面粗糙度却不能对其进行很好的表征。采用分形理论,恰好能很好地反应出涂层/基体界面的不规则程度,包括抛锚效应。

汪刘应等^[51]采用分形理论研究了超音速电弧喷涂 PS45 涂层的结合强度与电压之间的关系,发现涂层/基体界面形貌越复杂,其分形维数越大,涂层/基体的结合强度越高,并且随喷涂电压的增加而先减小后增大。华绍春^[52]采用分形理论研究了微弧等离子喷涂纳米 AT13 涂层的结合强度与喷涂电流及氩气压力之间的关系,发现涂层/基体界面形貌的分形维数(D)与其结合强度(σ)的对数值呈近似线性关系。

3 展 望

在目前的涂层滚动接触疲劳寿命研究中,涂层的失效模式基本都是根据失效位置的 SEM 图像定性地进行判断,没有定量判定的标准。通过前文综述可以发现,采用分形维数可以对涂层表面的不规则失效形貌进行定量表征,具体计算方法可以选用前文介绍的灰度级数法。通过对大量涂层失效形貌分形维数的进行计算,总结归纳出不同失效模式对应分形维数的取值范围,从而实现采用分形维数对涂层失效模式的定量判定。

4 结 语

1) 分形理论作为一种新兴的表征研究手段,在材料科学的部分领域已经取得了较好的效果,但是在涂层质量指标方面的研究相对较少,从前文的综述情况来看,涂层的表面、截面以及界面具有天然的自相似性和分形特征,所以分形理论在涂层质量评价指标的表征方面具有良好的应用前景和重要的科学意义。

2) 分形理论能够弥补传统涂层质量评价参数定量表征中存在的部分不足,在研究过程中可以根据具体的研究问题,选定合适的分形维数计算方法,对涂层的质量进行更为准确的评价和表征。

参考文献 References

- [1] Xu Binshi(徐滨士). *Nano Surface Engineering*(纳米表面工程)[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2004
- [2] Xu Binshi(徐滨士), Tan Jun(谭俊), Chen Jianmin(陈建敏). *China Surface Engineering*(中国表面工程)[J], 2011, 24(2): 2
- [3] Wang Gang, Jiang Shaoqun, Wang Zehua et al. *Rare Metal Materials and Engineering*[J], 2012, 41(S1): 215
- [4] Tan Xiaoping(谭小平), Liang Shuquan(梁叔全), Zhang Yong(张勇) et al. *Rare Metal Materials and Engineering*(稀有金属材料与工程)[J], 2010, 39(6): 1094
- [5] Tang Huidong(唐惠东), Sun Yuanyuan(孙媛媛), Li Longzhu(李龙珠) et al. *Journal of Ceramics*(陶瓷学报)[J], 2013, 34(1): 1
- [6] Du Linzhong(杜令忠), Xu Binshi(徐滨士), Yang Hua(杨华) et al. *Lubrication Engineering*(润滑与密封)[J], 2007, 32(1): 18
- [7] Wang Haidou(王海斗), Xu Binshi(徐滨士), Jiang Yi(姜祎) et al. *Transactions of the China Welding Institution*(焊接学报)[J], 2011, 32(9): 1
- [8] Zhu Hua(朱华), Ji Cuicui(姬翠翠). *Fractal Theory and Its Applications*(分形理论及其应用)[M]. Beijing: Science Press, 2011
- [9] Hong Wang, Joel Siopongco, Len J Wade et al. *Environmental*

- and Experimental Botany*[J], 2009, 65(2-3): 338
- [10] Jeremy Meier¹, Catherine Roberts, Kassi Avent *et al. Biology of Blood and Marrow Transplantation*[J], 2013, 19(3):366
- [11] Abhra Giri, Tarafdar S, Gouze P *et al. Journal of Applied Geophysics*[J], 2012, 87: 40
- [12] Hua Fei, Song Hu, Jun Xiang *et al. Fuel*[J], 2011, 90(2): 441
- [13] Hua Shougeng, Cheng Qiuming, Wang Le *et al. Landscape and Urban Planning*[J], 2013, 110: 25
- [14] Robert F. Mulligan, Roger Koppl. *The Quarterly Review of Economics and Finance*[J], 2011, 51(2): 201
- [15] Grzesik W, Brol S. *Journal of Materials Processing Technology*[J], 2009, 209(5): 2522
- [16] Valleta C, Lasseuxa D, Zahouani H *et al. Tribology International*[J], 2009, 42(8): 1132
- [17] Liang Xiaohu, Lin Bin, Han Xuesong *et al. Applied Surface Science*[J], 2012, 258: 6406
- [18] Peng Ruidong(彭瑞东), Xie Heping(谢和平), Ju Yang(鞠杨). *Journal of China University of Mining & Technology*(中国矿业大学学报)[J], 2004, 33(1): 19
- [19] Panida Bulpakdi, Burak Taskonak, Jiahau Yan *et al. Dental Materials*[J], 2009, 25: 634
- [20] Yuan C Q, Li J, Yan X P *et al. Wear*[J], 2003, 255: 315
- [21] Ge Shirong(葛世荣), Suo Shuangfu(索双富). *Tribology*(摩擦学学报)[J], 1997, 17(4): 354
- [22] Feng Zhigang(冯志刚), Zhou Hongwei(周宏伟). *Journal of Jiangsu University, Natural Science Edition*(江苏理工大学学报, 自然科学版)[J], 2001, 22(6): 92
- [23] Li Jian, Du Qian, Sun Caixin. *Pattern Recognition*[J], 2009, 42: 2460
- [24] Li Yexue(李业学), Gao Mingzhong(高明忠), Ma Kang(马亢). *Advances in Mathematics*(数学进展)[J], 2012, 41(4): 397
- [25] Kwaśny W, Dobrzański L A, Pawlyta M *et al. Journal of Materials Processing Technology*[J], 2004, 157-158: 188
- [26] Jiang Shuwen(蒋书文), Jiang Bin(姜斌), Li Yan(李燕) *et al. Tribology*(摩擦学学报)[J], 2003, 23(6): 533
- [27] Bai Xiuqin(白秀琴), Li Jian(李健), Yan Xinpin(严新平). *Lubrication Engineering*(润滑与密封)[J], 2005, 4(170): 19
- [28] Liu Xinhua(刘兴华), Wu Weidong(吴卫东), He Zhibin(何智兵) *et al. High Power Laser and Particle Beams*(强激光与粒子束)[J], 2007, 19(11): 1853
- [29] Pang Guibin(庞桂兵), Li Dianming(李殿明), Qi Xuezhong(齐学智) *et al. Journal of Mechanical Engineering*(机械工程学报)[J], 2012, 48(21): 105
- [30] Zhang Wenfeng(张文峰), Zhu Di(朱荻). *China Mechanical Engineering*(中国机械工程)[J], 2005, 16(13): 1188
- [31] Ge Shirong(葛世荣), Zhu Hua(朱华). *Tribology Fractal*(摩擦学的分形)[M]. Beijing: China Machine Press, 2005
- [32] Sofiane Guessasma, Ghislain Montavon, Christian Coddet. *Surface and Coatings Technology*[J], 2003, 173, 24
- [33] Zhao Xijiang(赵西江), Xu Zhong(徐中). *Study on Friction and Wear Topography of Bionic Coating Surfaces Based on Fractal Theory*(基于分形的仿生涂层表面摩擦磨损形貌研究)[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2012
- [34] Wang Xiaohe(汪笑鹤), Xu Binshi(徐滨士), Hu Zhenfeng(胡振峰) *et al. Electroplating & Finishing*(电镀与涂饰)[J], 2010, 29(11): 33
- [35] He Guoliang(何国良), Dong Yucui(董玉才), Shi Hongtao(史宏涛) *et al. Mathematics in Practice and Theory*(数学的实践与认识)[J], 2010, 40(20): 64
- [36] Zheng Jinling(郑金玲), Hu Xiaofang(胡小芳). *Electroplating & Finishing*(电镀与涂饰)[J], 2011, 30(9): 8
- [37] Liu Yan, Li Liang, Lu Guolong *et al. Transactions of Nonferrous Metals Society of China*[J], 2011, 21: 380
- [38] Enrique Barrera, Federico Gonzalez, Eduardo Rodriguez *et al. Applied Surface Science*[J], 2010, 256: 1756
- [39] Guido Reisel, Robert B. *Surface and Coatings Technology*[J], 2004, 185: 215
- [40] Fangxia Xiea, Xinbo Heb, Shunli Cao *et al. Electrochimica Acta*[J], 2013, 105: 121
- [41] Bilge Saruhana, Vasyl Ryukhtinb, Klemens Kelma. *Surface and Coatings Technology*[J], 2011, 205(23-23): 5369
- [42] Wang L, Wang Y, Sun X G *et al. Materials & Design*[J], 2011, 32(1): 36
- [43] Yan Yingjie, Guiru Liu Nash, Philip Nash. *International Journal of Fatigue*[J], 2013, 55: 81
- [44] Li J F, Stott F H. *Thin Solid Films*[J], 2004, 453-454: 229
- [45] Li J F, Ding C X. *Thin Solid Films*[J], 2000, 376: 179
- [46] Sen D, Naveen M Chavan, Rao D S *et al. Journal of Thermal Spray Technology*[J], 2010, 19(4): 805
- [47] Chen Yuhua(陈玉华), Wang Yong(王勇), Li Xinmei(李新梅). *Surface Technology*(表面技术)[J], 2003, 32(5): 8
- [48] Mohammadi Z, Ziaei-Moayyed A A, Sheikh-Mehdi Mesgar A. *Journal of Materials Proceeding Technology*[J], 2007, 194: 15
- [49] Shigeyasu Amada, Hiroshi Yamada. *Surface and Coatings Technology*[J], 1996, 78: 50
- [50] Shigeyasu Amada, Tohru Hirose. *Surface and Coatings Technology*[J], 1998, 102: 132
- [51] Wang Liuying(汪刘应), Wang Hangong(王汉功), Hua

Shaochun(华绍春) *et al.* *Rare Metal Materials and Engineering* (稀有金属材料与工程)[J], 2006, 35(2): 291

Liuying(汪刘应) *et al.* *Acta Physica Sinica*(物理学报)[J], 2008, 57(2): 1241

[52] Hua Shaochun(华绍春), Wang Hangong(王汉功), Wang

Status Quo of Characterization of the Coating Quality Metrics Based on the Fractal Theory

Chen Shuying, Wang Haidou, Xu Binshi, Kang Jiajie

(National Key Laboratory for Remanufacturing, Academy of Armored Forces Engineering, Beijing 100072, China)

Abstract: Porosity, adhesion strength, and surface roughness are important metrics of coating quality. However, currently, porosity can't describe the amount, size and irregular morphology of pores; surface roughness is not sufficient enough to give simultaneously global and local information about deposited rough morphology. Besides, the value is affected by calculating distance. Using fractal methodology to evaluate the quality of coatings can partly overcome the disadvantages of the metrics above. The paper gives a summary of the research status of using fractal methodology to characterize the metrics. At the end, using the fractal theory is forecasted to determinate the failure mode of coatings, and to research the relationship between pores and failure life of coatings.

Key words: coating quality; fractal theory; fractal characterization

Corresponding author: Wang Haidou, Ph. D., National Key Laboratory for Remanufacturing, Academy of Armored Forces Engineering, Beijing 100072, P. R. China, Tel: 0086-10-66718475, E-mail: wanghaidou@aliyun.com