



(12)发明专利



(10)授权公告号 CN 104296680 B

(45)授权公告日 2017.04.12

(21)申请号 201410543446.9

(22)申请日 2014.10.14

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 104296680 A

(43)申请公布日 2015.01.21

(73)专利权人 南京航空航天大学

地址 210016 江苏省南京市御道街29号

(72)发明人 丁文锋 奚欣欣 徐九华 傅玉灿

苏宏华 杨长勇 陈燕

(74)专利代理机构 南京经纬专利商标代理有限公司

公司 32200

代理人 曹翠珍

(51)Int.Cl.

G01B 11/24(2006.01)

G01B 11/30(2006.01)

(56)对比文件

CN 101995847 A,2011.03.30,

US 5444795 A,1995.08.22,

JP 特开平8-78492 A,1996.03.22,

CN 101520307 A,2009.09.02,

CN 101158573 A,2008.04.09,

张先伟等.软土微观结构表面起伏的三维可视化及分形维数的计算.《应用基础与工程科学学报》.2012,第20卷(第1期),

李成贵等.三维表面形貌的分形维数计算方法.《航空精密制造技术》.2000,第36卷(第4期),

李成贵等.三维表面形貌的分形维数计算方法.《航空精密制造技术》.2000,第36卷(第4期),

李成贵等.分形维数与表面粗糙度参数的关系.《工具技术》.1997,第31卷(第12期),

审查员 黄莉

权利要求书1页 说明书4页 附图2页

(54)发明名称

一种颗粒增强钛基复合材料磨削表面质量评价方法

(57)摘要

本发明涉及一种颗粒增强钛基复合材料磨削加工表面质量评价方法,是在试件磨削表面选取一定尺寸内的微小区域;以边长 δ 的立方网格对原始三维表面形貌进行划分,通过三角形拼接的方式对原始三维表面形貌进行重构;以磨削表面微小区域各点高度信息为基础,统计三维重构形貌表面积 $S(\delta)$,绘制 $\log \delta - \log S(\delta)$ 直线,获得其斜率;选取表面5-8处不同位置的微小区域并求其分形维数,再取它们的算术平均值作为最终评价结果。本发明提出通过三角剖分手段实现的微小区域分形维数作为三维评价参数,可以凭借其包含的巨大信息量,避免加工缺陷对磨削表面质量评价带来的不利影响,显著提高颗粒增强钛基复合材料磨削表面质量评价结果的可靠性。

1. 颗粒增强钛基复合材料磨削加工表面质量评价方法, 其特征在于, 利用三维微小区域分形维数定量评价颗粒增强钛基复合材料磨削加工表面, 包括以下步骤:

步骤1: 微小区域选取

在磨削试件表面随机选取微小区域, 微小区域的尺寸范围是在满足包含足量原始形貌信息前提下基于后续观察拍摄所采用设备的分辨率进行选取;

步骤2: 三角剖分: 通过三角形拼接的方式对原始三维表面形貌进行重构:

(1) 利用三维视频显微镜拍摄磨削表面微小区域三维表面形貌图并提取其中各点高度信息;

(2) 以(1)中各点高度信息为基础, 采用边长 δ 的立方网格对原始三维表面形貌进行划分, 连接发生干涉的立方单元竖直棱边与表面轮廓相交的四个顶点而在轮廓表面形成四边形, 将其对角顶点相连形成两个三角形, δ 取值范围需满足 $f(\delta) = a \times \delta^k$, a, k 为常数, $f(\delta)$ 为边长 δ 立方网格所对应步骤3中表面积计算值;

步骤3: 双对数直线坐标绘制

(1) 将步骤2(1)中点的高度信息作为原始数据, 借助MATLAB的计算功能统计步骤2(2)中全部三角形面积 $S(\delta)$, 即三维重构形貌表面积;

(2) 以 $\log \delta$ 为横轴, $\log S(\delta)$ 为纵轴, 基于最小二乘法原则在笛卡尔直角坐标系中绘制 $\log \delta - \log S(\delta)$ 直线;

步骤4: 通过计算步骤3中 $\log \delta - \log S(\delta)$ 直线斜率即可得到颗粒增强钛基复合材料磨削加工表面单个微小区域分形维数;

步骤5: 采用同样的方法, 选取表面5-8处不同位置的微小区域并求其分形维数, 再取它们的算术平均值作为最终评价结果。

2. 根据权利要求1所述的颗粒增强钛基复合材料磨削加工表面质量评价方法, 其特征在于微小区域的尺寸范围为 $665 \times 886 \mu\text{m}^2$, 设备分辨率 1600×1200 。

一种颗粒增强钛基复合材料磨削表面质量评价方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种颗粒增强钛基复合材料磨削加工表面质量评价方法,可用于磨削(包括精密、超精密磨削和抛光)加工零件表面质量评价。

背景技术

[0002] 现行的磨削表面质量评价参数主要包括以下两类:轮廓算数平均偏差Ra、轮廓均方根偏差Rq。然而,磨削加工形成的表面轮廓高度变化是一种非平稳的随机过程,这就导致以上所列常用评价参数受多尺度性影响较为显著,即对于不同的评价长度或所使用仪器的不同分辨率,相应测量结果往往相差较大。

[0003] 分形维数是分形理论中最为核心的内容,可用于定量描述分形集的不规则以及复杂程度。所谓分形集,是指几何集成或自然物体形成过程或分布特征具有无标度性(scale independent)和自相似性(self-similarity)。分形维数值可以是分数(分数维),其之于分形集,正如整数维之于欧氏几何集。一般认为,分形维数大意味着外形更为复杂,细节更为丰富。

[0004] 分形理论已应用于普通钢铁材料切削、磨削加工表面质量评价,其核心内容包括:采用高精度轮廓仪测取一段二维取样轮廓(见图1),而后经优化选择较为适宜的分形算法,计算该取样轮廓分形维数。尽管此方法可消除多尺度性带来的不利影响,但将二维分形理论应用于颗粒增强钛基复合材料磨削表面质量评价还存在诸多问题。原因主要在于:

[0005] 颗粒增强钛基复合材料由钛合金基体与弥散分布的增强颗粒构成,这与普通钢铁材料仅由金属或合金基体构成不同。由于增强颗粒具有的高硬度等特性,颗粒增强钛基复合材料磨削表面缺陷主要表现为:①增强颗粒在基体表面按压摩擦形成的凹槽;②增强颗粒被拔出形成的深坑;③增强颗粒被拔出后重新被挤压在基体表面形成的凸起;④高温环境下基体材料(如增强颗粒被拔出时会带有部分基体材料)的重新涂覆。上述因素均可导致二维取样轮廓不能反映颗粒增强钛基复合材料整个磨削加工表面的特征,造成已有的表面质量评价方法在颗粒增强钛基复合材料磨削表面质量评价过程中的可靠性较低。

发明内容

[0006] 发明目的

[0007] 本发明的目的是提供一种颗粒增强钛基复合材料磨削加工表面质量评价方法,解决现有评价方法存在的可靠性低的问题。

[0008] 技术方案

[0009] 采用三维微小区域分形维数评价颗粒增强钛基复合材料磨削加工表面质量,步骤如下:

[0010] 步骤1:微小区域选取

[0011] 在试件磨削表面随机选取待测微小区域。其尺寸范围需在遵循包含足量原始形貌信息这一前提之下基于后续观察拍摄所采用设备的分辨率进行选取。本发明采用尺寸范围

为 $665 \times 886 \mu\text{m}^2$ (设备分辨率 1600×1200)。

[0012] 步骤2:三角剖分:通过三角形拼接的方式对原始三维表面形貌进行重构

[0013] (1) 利用三维视频显微镜拍摄磨削表面微小区域三维表面形貌图并提取其中各点高度信息;

[0014] (2) 以各点高度信息为基础,采用边长 δ (δ 取值范围需满足分形集要求的标度不变性特质,即 $f(\delta) = a \times \delta^k$,此处 a 、 k 为常数, $f(\delta)$ 为边长 δ 立方网格所对应步骤3中表面积计算值)的立方网格对原始三维表面形貌进行划分,连接发生干涉的立方单元竖直棱边与表面轮廓相交的四个顶点则可在轮廓表面形成四边形,将其对角顶点相连而形成两个三角形。

[0015] 步骤3:双对数直线坐标绘制

[0016] (1) 将步骤2(1)中点的高度信息作为原始数据,借助MATLAB中数学计算功能统计步骤2(2)中全部三角形面积 $S(\delta)$,即三维重构形貌表面积;

[0017] (2) 以 $\log \delta$ 为横轴, $\log S(\delta)$ 为纵轴,基于最小二乘法原则在笛卡尔直角坐标系中绘制 $\log \delta - \log S(\delta)$ 直线;

[0018] 步骤4:通过计算步骤3中 $\log \delta - \log S(\delta)$ 直线斜率即可得到颗粒增强钛基复合材料磨削加工表面单个微小区域分形维数;

[0019] 步骤5:采用同样的方法,选取表面5-8处不同位置的微小区域并求其分形维数,再取它们的算术平均值作为最终评价结果。

[0020] 本方法的优点:与传统磨削加工表面质量的评价参数以及二维分形维数相比,本方法利用微小区域分形维数这一三维表面质量评价参数,显著提升了计算样本包含的真实形貌信息,避免了因颗粒增强钛基复合材料磨削加工表面缺陷给评价结果带来的不利影响,显著提高了评价结果的可靠性。

附图说明

[0021] 图1 二维分形维数计算用取样轮廓;

[0022] 图2 三维微小区域分形维数计算用取样区域;

[0023] 图3 三维微小区域分形维数计算过程中三角剖分示意图;

[0024] 图4 三维微小区域分形维数计算过程中测量尺度与测量结果双对数关系图($\log \delta - \log S(\delta)$);

[0025] 图5 颗粒增强钛基复合材料磨削表面三维微小区域分形维数评价过程取样区域,其中(a)磨削表面微小区域的凹槽;(b)磨削表面微小区域的凸起;(c)磨削表面微小区域无缺陷。

具体实施方式

[0026] 本发明通过以下步骤实现颗粒增强钛基复合材料磨削加工表面质量评价:

[0027] 实施例1:

[0028] 步骤1:微小区域选取

[0029] 在试件磨削表面随机选取尺寸范围为 $665 \times 886 \mu\text{m}^2$ 的微小区域。

[0030] 步骤2:三角剖分

[0031] (1) 利用三维视频显微镜KH-7700 (设备分辨率 1600×1200) 拍摄磨削表面微小区

域三维表面形貌图并提取全部 1600×1200 个点的高度信息;

[0032] (2) 以(1)中点的高度信息为基础,采用边长 δ 的立方网格对原始三维表面形貌进行划分,如图3所示,连接发生干涉的立方单元竖直棱边与表面轮廓相交的四个顶点而在轮廓表面形成四边形,将其对角顶点相连形成两个三角形。这种通过三角形拼接的方式对原始三维表面形貌进行重构的过程便是三角剖分。

[0033] 步骤3:双对数直线坐标绘制

[0034] (1) 将步骤2(1)中点的高度信息作为原始数据,借助MATLAB中数学计算功能统计步骤2(2)中全部三角形面积 $S(\delta)$,即三维重构形貌表面积;

[0035] (2) 以 $\log \delta$ 为横轴, $\log S(\delta)$ 为纵轴,基于最小二乘法原则在笛卡尔直角坐标系中绘制 $\log \delta - \log S(\delta)$ 直线,结果如图4所示。

[0036] 步骤4:通过计算步骤3中 $\log \delta - \log S(\delta)$ 直线斜率即可得到颗粒增强钛基复合材料磨削加工表面单个微小区域分形维数。采用同样的方法,选取表面5处不同位置的微小区域并求其分形维数,再取它们的算术平均值作为最终评价结果。

[0037] 实施例2.验证试验:

[0038] 图1和图2的对比可显示出微小区域分形维数在包含磨削表面特征信息量方面的巨大优势。现针对砂轮线速度 100m/s 、进给速度 6m/min 、切深 $10\mu\text{m}$ 开展颗粒增强钛基复合材料磨削试验。磨削结束后,采用触针式表面粗糙度测量仪测量表面微小区域指定位置的轮廓算数平均偏差 R_a 。取样长度为 0.8mm ,评价长度取5倍取样长度。采用触针式轮廓仪测量同样位置表面二维轮廓,扫描分辨率 $0.8\mu\text{m}$,扫描长度 5.6mm 。

[0039] 分别选取磨削速度 100m/s 时具有典型表面缺陷的微区域I((a)凹槽)、II((b)凸起)以及不具有明显缺陷的区域III(c)为样本,如图5所示。其中,竖直标识为轮廓算数平均偏差及二维分形维数取样方向及位置。另外,微小区域分形维数取样区域为图片所示全部区域,尺寸为 $665 \times 886\mu\text{m}^2$ 。

[0040] 表1显示了三种不同评价参数相应的评价结果。显然,轮廓算数平均偏差 R_a 以及二维分形维数评价结果因其评价过程涉及的表面细节信息少而保持不变。三维微小区域分形维数则因其包含足够多信息量,最终评价结果随不同表面细节状况显示出相应变化。这说明,同等条件下,轮廓算数平均偏差 R_a 与二维分形维数评价磨削表面的结果灵敏度低、可靠性差,而三维微小区域分形维数值评价磨削表面的结果灵敏度高、可靠性好。

[0041] 表1 三种不同评价参数的评价结果

[0042]

微区域 编号	轮廓算数平均偏差 $Ra/\mu m$	二维分形维 数	三维微小区域分形维 数 (本发明)
I	1.152	1.239	2.086
II	1.152	1.239	2.079
III	1.152	1.239	2.035

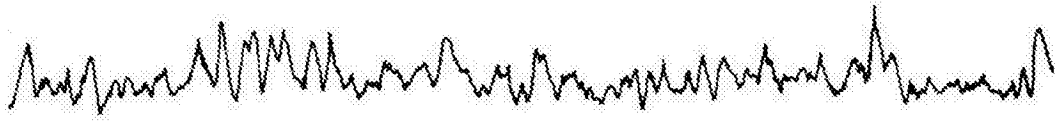


图1

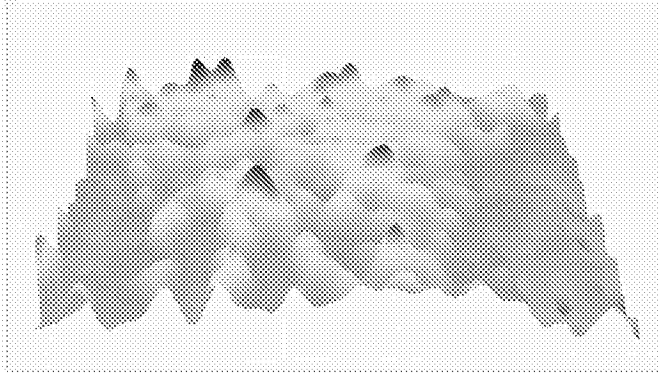


图2

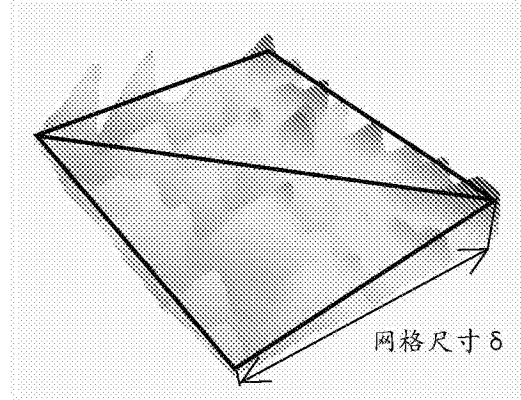


图3

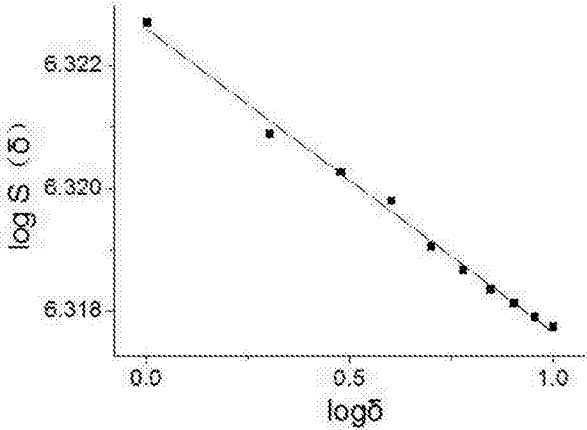
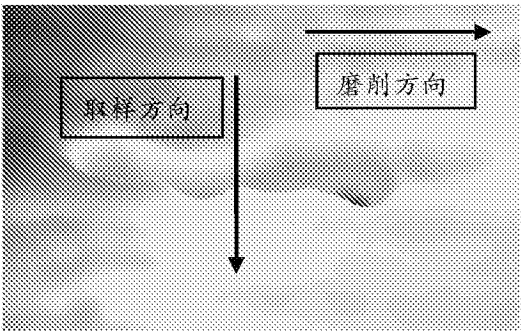
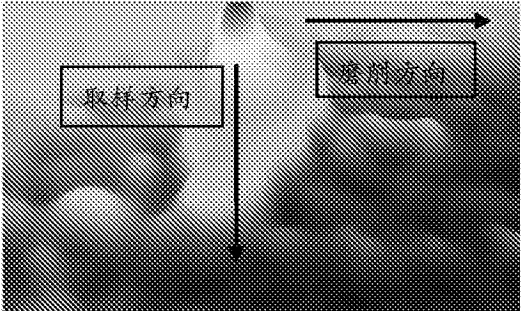


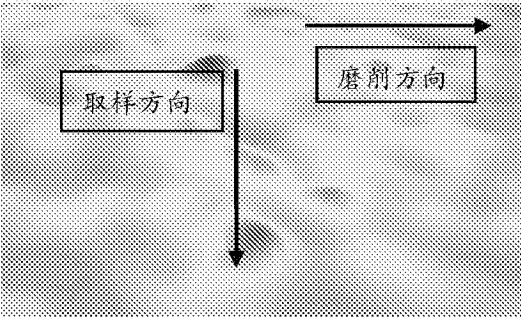
图4



(a)



(b)



(c)

图5